

# 機械工程實務 期末報告

---

2021/06/18

PREPARED BY  
機械工程實務 第17組

---

# 組員介紹

109年度 第2學期

PROJECT MANAGER

花雲鴻 B07502045

SOFTWARE ENGINEER

柯以忻 B07502093

DYNAMIC ENGINEER

陳子鈞 B07502076

STRUCTURE SPECIALIST

周佑綸 B07502075

3D DESIGNER

盧演整 B07502139

# 目錄

緒論	1. 設計概念	4
	2. 腦力激盪與進度推動	4
	3. 期末作品設計特色	4
	4. 作品簡介	5
功能需求	1. 動力	6
	2. 車體	6
	3. 轉向	6
	4. 循跡	7
	5. 成本	7
設計概念與布置	1. 緣起	8
	2. 三代車	11
	3. 轉向機構	18
	4. 針對期末爬坡之改善	20
	5. 車輪正向力分析	26
設計分析與驗證	1. 分析	27
	2. 繪製工程圖	31
	3. 製造	31
	4. 實驗設計	32
	5. 討論	34
DIGITAL TWINS	1. 簡介	35
數位孿生系統	2. 數位孿生實際應用	35
	3. 數位孿生系統應用於AIR FORMULA之效益	36
	4. 數位孿生系統 - 環境簡介	36
	5. 數位孿生系統 - 描述機器人機構	37
	6. 數位孿生系統 - 描述競賽場地	38
	7. 數位孿生系統 - 讓車子動起來	38
	8. 數位孿生系統 - 模擬結果	39
	9. 結論	48
工作進度與分工	1. 甘特圖	49
	2. 會議記錄	49
	3. 評分標準	49
課程回饋	1. 心得	50
附錄		57
工程圖		90

# 緒論

## 1-1 設計概念

在準備期中測試之初，我們從實作中心網站蒐集學長姊的資料與成果，並開始分析如何將其快速更迭至能符合期中測試的需求。在經過比對後我們認為期中測試與前幾年的需求比較起來多了雙向運動，因此我們快速依照轉向方式將資料進行分類，再整理出符合我們需求的設計方向，並製作出我們第一代的車子。

在第一次期中測試前我們做出了第二代，選擇了阿克曼作為二代的轉向機構，並利用紅外線進行循跡，然而結果不甚理想。因此在進行第二次期中測試之前我們重新製作了第三代，利用四輪驅動的方式，透過Encoder希望能較為穩定。雖然在測試之前取得多次不錯的成果，但在實際測試時卻由於沒有進行穩壓而出現意外，結果依舊不如我們所預期。

期末測試與期中測試的差異在於增加了坡度，本組以第三代作為基礎架構製作第四代：為了使爬坡的過程更順利，我們選擇用較大的輪子；而為了因應下坡的需求，我們將單邊的舵機裝在馬達上來作為我們的煞車裝置。除上述兩點之外，根據期中測試的經驗，我們將第二代所使用過的穩壓裝置重新安置。

## 1-2 腦力激盪與進度推動

本組的分工方式主要根據各自擅長的部份下去分配，若遇到困難則在討論時提出來大家一同思考解決方案。此種解決困難的方式讓大家能夠參與各個部份，並且匯集大家不同的觀點與意見，對於整車進度推動具有顯著的優良效果。然而，本組所採用的進度方式需要一定的討論時間來凝聚共識及互相學習。因此本組決定一週至少要開會三次(約10小時)。至於取得共識的方法，則是由組內有想法的人提出，大家討論過後如果沒有更好的想法、沒人能推翻這個論點，即得到共識。

## 1-3 期末作品設計特色

第三代作品設計特色	
光柵輪	利用光柵及編碼器記錄移動圈數，使整個行進過程更為穩定。
雙風扇	提供更大的推力並使整個車體行進時更為穩定。
平行轉向	利用四顆MG996R進行固定角度之平行轉向，最佳化移動路徑。

# 緒論

## 1-4 作品簡介

### 1-4-1期中作品

#### (1) 第一代：

第一代的氣動車除了風扇葉片以外，包含風環、底板、轉向機構等皆為參考2019年第XX組的學長姐的期末作品。

此代的特色為單輪組(前輪)轉向、重心偏後、風環高度增高並將所有車體須乘載的物品放置於同一層。

#### (2) 第二代

由於以往學長姐所設計的氣動車所需達成的目標與此次我們的目標並不相同，因此我們捨棄第一代氣動車的設計，並參考第一代做出了以下的改變：

- I. 將風環與風扇置於車體幾何中心
- II. 將轉向機構及紅外線辨識裝置設置於車體前後兩側
- III. 猜測學長姐將風環增高的原因應為考量到同樣放置在底板上的電池、控制板等會阻擋空氣流動。我們第二代的設計改為將鋁箔包、電池等體積較大的物品放置在新增的下板與上板中間，如此不僅可以降低重心避免翻覆，也可以省去阻擋空氣的考量。
- IV. 縮小無刷馬達架的體積，以求當風扇正轉、反轉時能夠提供大小相似、方向相反的推力。

#### (3) 第三代

再以第二代氣動車進行測試時，發現使用阿克曼轉向機構時，其各桿件間的旋轉接頭背隙過大，導致轉向的角度及靈敏度皆無法完成預期的目標；同時，紅外線的辨識方式只能得到當下車體的角度資訊，無法判斷此時車體的具體位置。

基於以上原因，我們設計了第三代的車體：

- I. 轉向方式改為直接將四個輪組分別接上四顆MG-90伺服馬達，馬達的輸出角度即為該輪的角度。
- II. 移除紅外線辨識裝置，改為在四個輪組上分別裝上編碼器，以判斷氣動車從出發開始的位移方向及距離。
- III. 將風扇數量從一組增加為兩組，以提供更大更穩定的推力。

### 1-4-2期末作品

#### (4)第四代

相較於期中測試，期末測試更包含了爬坡、下坡等的要求，因此我們根據第三代氣動車的基礎，作了以下改動後設計出了第四代氣動車：

1. 加大輪子的直徑，使爬坡過程能順利進行。
2. 使用伺服馬達與修剪過後的舵機作為剎車，在下坡時使用。
3. 重新將穩壓器安裝至氣動車上，以確保風扇所提供的推力一致。

# 功能需求

## 2-1 動力

為了使氣動車能夠在斜坡上執行前進、停止、後退的指令，風扇葉片設計與馬達轉速均需重新設計，以求在低噪音、低震動的情況下能達到最大的推進(煞車)力。

決定風扇、馬達、供電的選擇後，可以測量風扇在不同負載下所提供的推力並作圖記錄其關係。另外再測量

- (1) 輪胎與軸承間的摩擦力
- (2) 輪胎與地面的摩擦係數
- (3) 車體重量

，以此推算出在不同斜坡下需要多少負載才能達到要求。

## 2-2 車體

相較於在平面跑道上移動，要達到爬坡的要求必須同時追求車體的輕量化。因此車體設計的目標為：

- (1) 尺寸長寬應控制在210mm X 297mm以內。
- (2) 能乘載風環、馬達、電變、電池、鋁箔包、控制板、麵包板、輪組。
- (3) 能固定風環、馬達、電變、電池、鋁箔包、控制板、麵包板、輪組。
- (4) 重量不應過大導致風扇推力不足以爬坡或無法剎車。
- (5) 車體重心應盡量壓低並置於四個輪子的中間，避免在加(減)速及爬坡時翻覆。

按照測試時的計分標準，以上四項目標優先順序為(1)>(2)>(4)>(5)>(3)

## 2-3 轉向

應賽道要求，氣動車約需要能夠進行迴轉半徑小於約75公分的轉向，即能達成要求。

另外，有鑑於本組第二代氣動車的經驗，轉向時的反應時間與轉向精確度也應納入考量，根據我們測量時的經驗，若要將氣動車的路徑按定時、定角度的方法事先規劃好，轉向的反應時間應在0.3秒以內，轉向機構的背隙則需小於10度，否則調整時間與角度的參數將變得沒有意義；若是使用紅外線循跡並讓氣動車自行調整角度，反應時間應約在0.1秒以內，轉向機構的背隙約需小於5度，如此氣動車便能穩定的走在循跡線上。

# 功能需求

## 2-4 循跡

課堂要求為當氣動車在循跡路段上時，車體投影面積不能超出循跡線5秒，此項相對於其他要求十分寬鬆，實際上只要氣動車不失去方向衝出場外，都能達成上述的要求，因此我們將預先規劃好路線並輸入控制板中也列為選項之一，此種方法雖然並不能稱為循跡，但能夠有效率的完成課堂的需求。

## 2-5 成本

根據課堂要求，氣動車的製作成本必須在3000元新台幣以下，否則無法進行測試，因此成本控制為第一優先的考量。

ITEM	QTY	PART NUMBER	UNIT PRICE	TOTAL PRICE	MATERIAL	SOURCE
1	1	上底板	3mm密集板		實作中心雷射切割	
2	1	下底板				
3	1	風環				
4	11	風環扣件				
5	2	下風環扣件				
9	1	電池座底板				
6	4	風環固定件				
7	4	輪胎				
8	2	風扇扇葉				
10	4	輪架				
11	4	橡膠輪胎皮	10	40		祥昌電子
12	4	MG996	110	440		<a href="https://reurl.cc/kVYqRr">https://reurl.cc/kVYqRr</a>
13	2	2212 1000KV無刷馬達	150	300		<a href="https://reurl.cc/E2do6k">https://reurl.cc/E2do6k</a>
14	1	ZMR 30A雙向電變	165	165		<a href="https://reurl.cc/3NE3g0">https://reurl.cc/3NE3g0</a>
15	1	ZMR 40A雙向電變	200	200		<a href="https://reurl.cc/3NE3g0">https://reurl.cc/3NE3g0</a>
16	8	45mm銅柱	7	56		今華電子
17	1	2250mAh 4S鋰聚電池	867	867		<a href="https://reurl.cc/6yOLoM">https://reurl.cc/6yOLoM</a>
18	1	NodeMCU32 控制板	225	225		<a href="https://reurl.cc/qmA7xg">https://reurl.cc/qmA7xg</a>
19	4	培林	21	84		<a href="https://reurl.cc/Q7AWMq">https://reurl.cc/Q7AWMq</a>
20	1	鋁箔包	37	37		全聯福利中心
21	4	PHC-2 光耦合模組	70	280		祥昌電子
		總價		2694		

表一、Bill of Materials(三代)

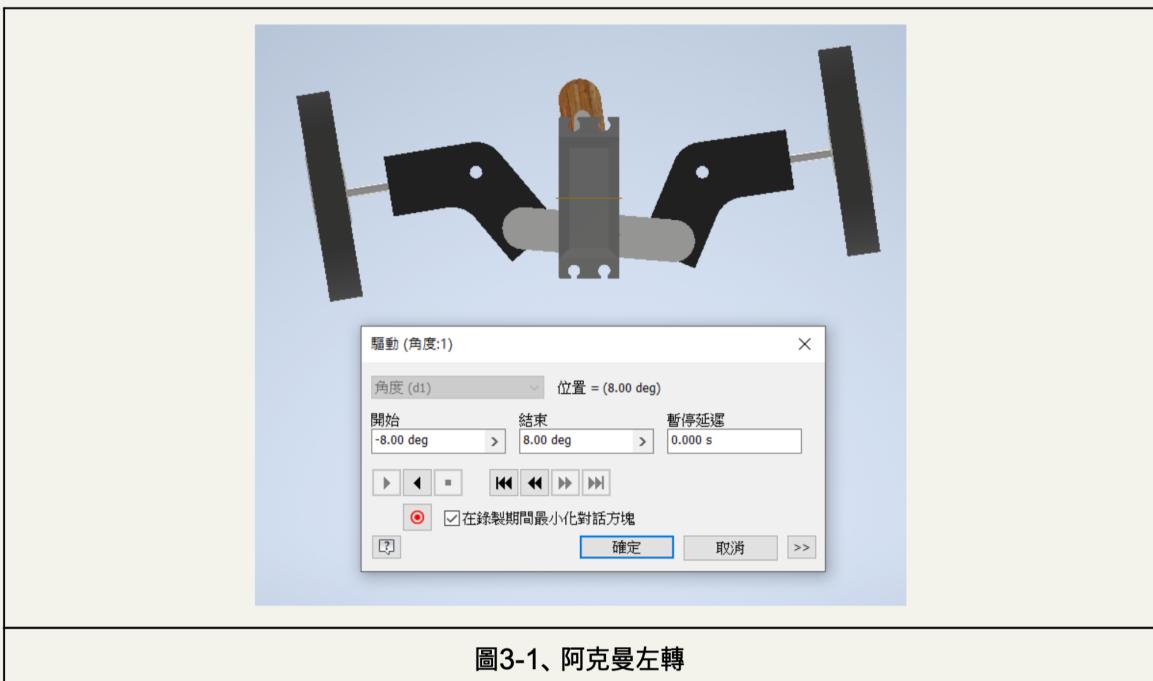
# 設計概念與布置

## 3-1 緣起

於第一次期中測試時，本組之二代車使用之轉向機構為阿克曼轉向、且為對稱之車體，大致可以整理出以下幾項待改進之設計：

### 3-1-1 轉向之角度難以量化：

由於阿克曼機構是透過伺服馬達控制轉動角度以連桿方式使得車輪能夠左右轉，如圖3-1。



雖然說能夠透過模擬將車輪相對車體轉向之角度算出，但在實測實本組發現角度很常會不如預期，在桿件之間很容易因產生背隙而造成最後在轉向上很大的誤差，也因此我們決定直接將輪子連接至馬達，以將中間會產生之角度誤差降至最低，此為三代車轉向之雛形。

### 3-1-2 共振問題、車體過重：

本組認為這兩個問題算是相依的，因為二代車重量需要較大之推力才能推動，因此風扇需要較高轉速才能推動車子，而在較高轉速下，本組採用一體成形之風環（如下圖3-2左）連接馬達，很容易因為與之共振而發出較高分貝之噪音，因此將風扇馬達固定處獨立成一馬達架以跟風環分開（圖3-2右），經實測過後發現能有效降低噪音，也因為需要較少材料，能有效降低重量58%，也因此會將這些設計延續至三代車，同時輕量化也為三代車之目標，以下則會介紹其他二代車所做的輕量化改善。

# 設計概念與布置

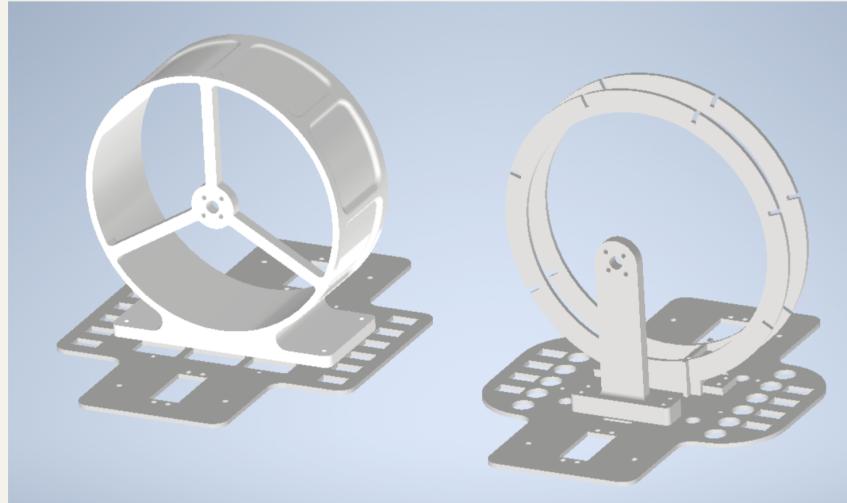


圖3-2、改良前及改良後（由左至右）

## 3-1-2-1 底板輕量化：

本組嘗試將在底板一些較不會受力處使用蜂窩狀結構、開洞輕量化，雖然對於密度本身就比較低的密集板做輕量化感覺沒什麼用，但實務上絕對不是徒勞，上板質量大約輕了16%、下版則為44%（根據需求移除的體積不同，因此輕量化的比例也不同）。

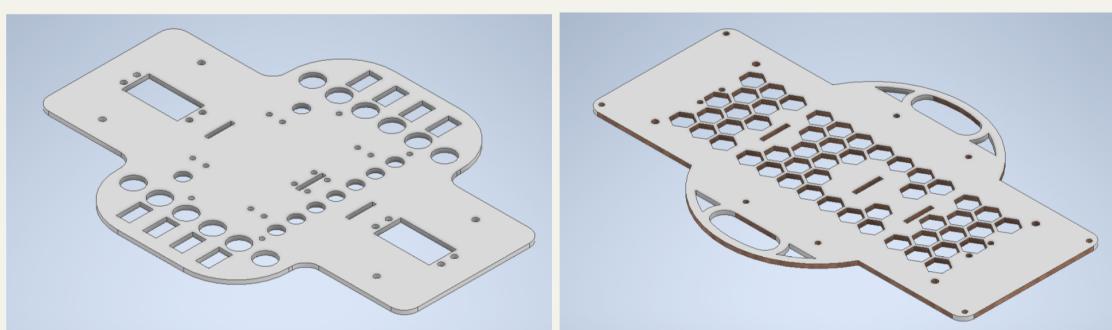


圖3-3、上下板輕量化示意圖

## 3-1-2-2 其他輕量化：

本組原本是以一體成形的方式（3D列印）將電池及鋁箔包固定於同一空間（如圖3-4），且此元件會放置於上下板間，以作為支撐。

# 設計概念與布置

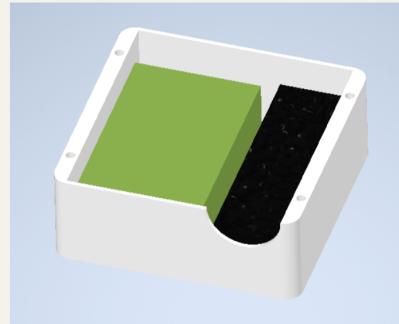


圖3-4、左側為鋁箔包，右邊為電池（半圓形之設計是電池走線方便設計的）

但為降低車體之重量，本組改以密集板列印之隔板以及兩側都放置銅柱之方式取代，如圖3-5，重量下降48%。



圖3-5、三層隔板+銅柱固定(另一側也會有兩根銅柱)

## 3-1-3 紅外線循跡之問題：

由於本組是採用預先規劃好路線並輸入控制板之方式循跡，因此在移動至第一循跡線時會因為起始位置而影響移動至第一循跡時車頭的位置，加上本組沒有使用編碼器，因此也會受到風扇推力不穩定之影響，再加上轉向機構之背隙(3-1-1)，車子於循跡線上的循跡表現相當不穩定，因此本組決定改成使用編碼器來直接以車子位移量來推算當前位置，以消除前述可能誤差來源。

# 設計概念與布置

## 3-2 三代車

綜合了期中檢驗及其之前的經驗，我們很快於期中檢驗之前後討論出三代車之雛形，主要會採平移（參見3-3-3）之方式移動到循跡線上、車頭車尾為長邊、動力來源為雙風扇，而車輪原本打算採用左右輪+前後牛眼（如圖3-6），循跡方式則是使用編碼器來計算車輪轉動圈數，轉換成移動距離，以下則會依序介紹三代車之設計及改良過程。

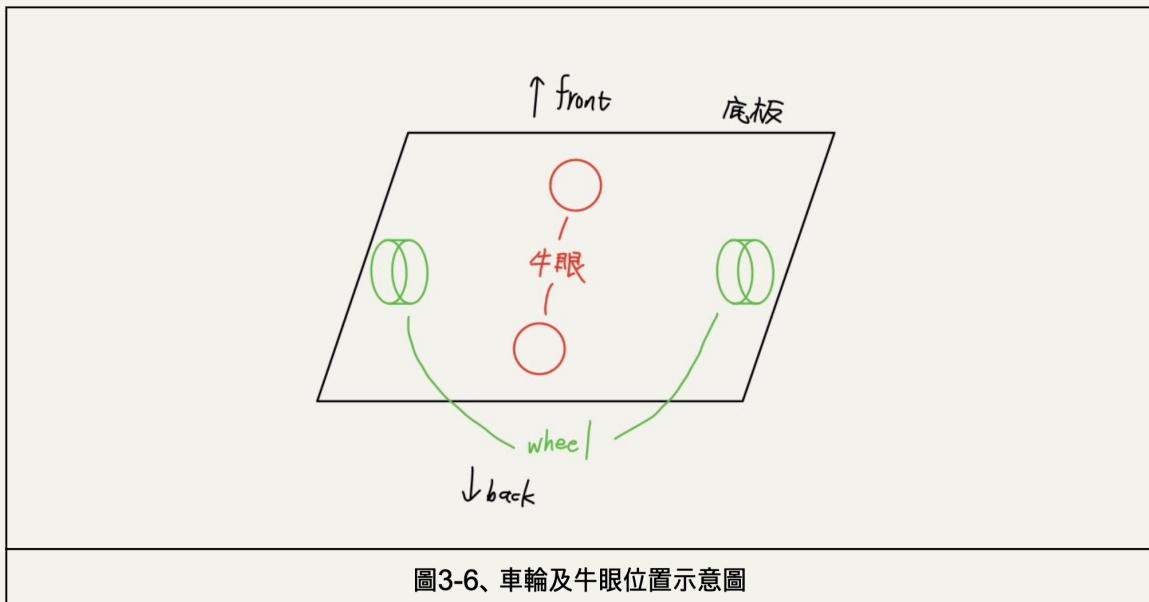


圖3-6、車輪及牛眼位置示意圖

### 3-2-1 車輪設計及裝配：

因為設計過程中考慮到牛眼及車輪之高度較難統一，很容易發生牛眼較高或輪子較高的情況，車子很可能會往特定方向傾斜，因此最後打算採用四輪之配置，四輪等高就不會有上述問題，車輪之裝配則會使用一輪架(Wheel Holder)將車輪固定。

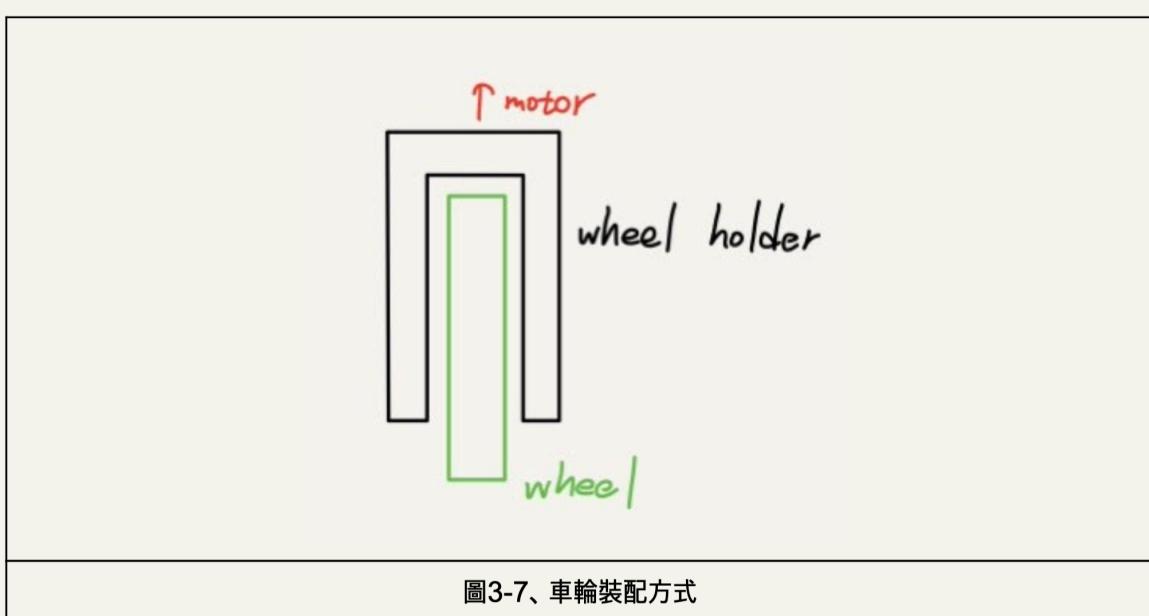
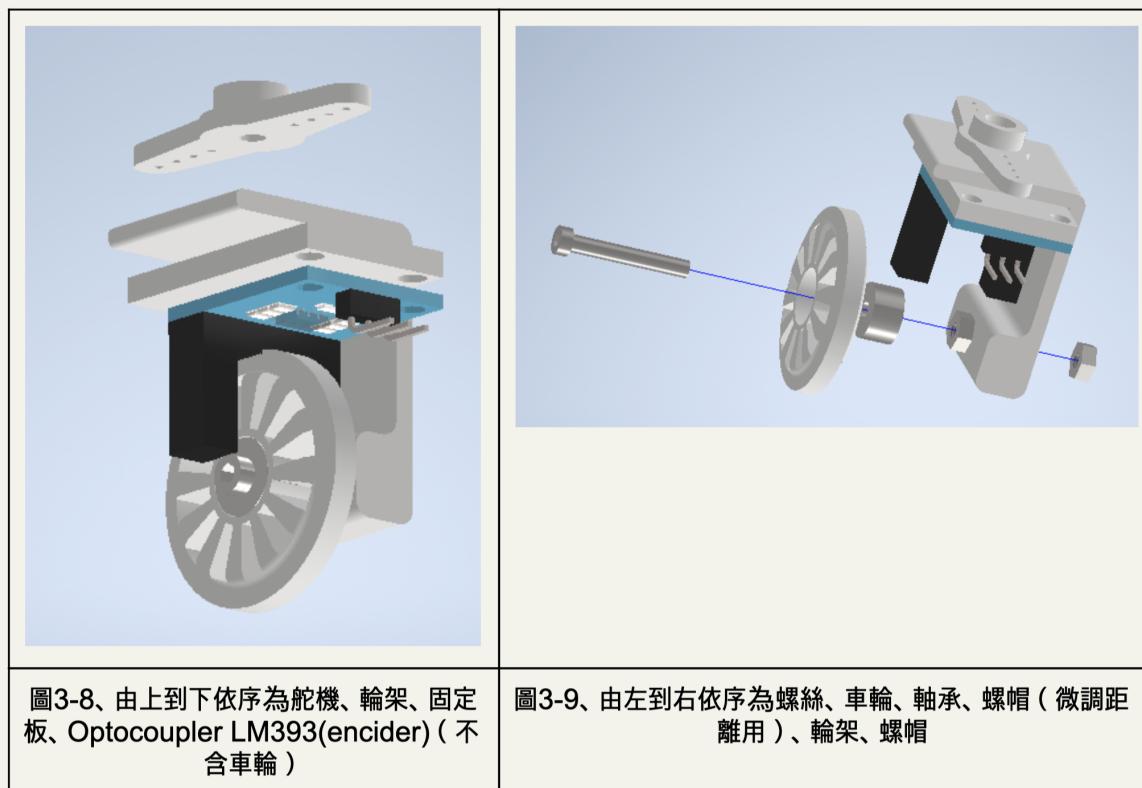


圖3-7、車輪裝配方式

# 設計概念與布置

輪架上方則會透過舵機連接至馬達，而Encoder則會透過一固定板與輪架連接，爆炸圖如下圖3-8、3-9，輪架與車輪連接方式則是透過螺絲螺帽配合，而車輪是以3D列印製造，並搭配外面購買到之胎皮。

考慮車輪中間要放置軸承放置較為困難，因此我們參考了二代車阿克曼夾持輪軸之方式（見3-3-2），將車輪分兩半列印（見3-2-1-1），再透過螺絲螺帽將其鎖緊，可以有效夾持軸承，而在輪架的設計上，為了讓車輪能大致在Encoder  $\cap$  形之中間位置，本組在設計時預先讓輪架在與車輪連接之平面向左擠出一實體，並且透過墊片或者螺帽來微調其距離。



## 3-2-1-1光柵輪之設計：

見圖3-10，運用此種夾持方式可以解決軸承在裝配至車輪中間之困難，可以有效的夾持軸承。

# 設計概念與布置

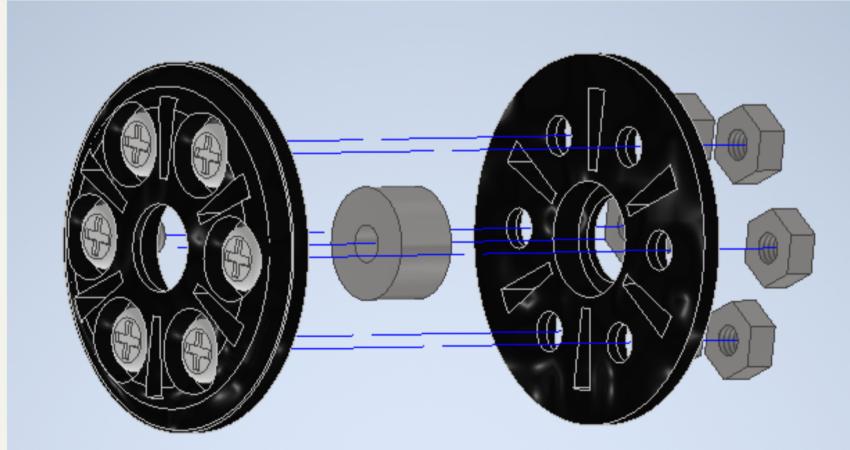


圖3-10、光柵輪及軸承之裝配爆炸圖

## 3-2-1-2 L型之輪架：

由車輪裝配方式之圖片，一開始本組本來想設計U型之輪架，但設計出來後發現裝配會變得相當困難，因此最後決定使用L型之輪架，不過顯而易見的是，因為輪子需要支撐車子的重量，因此其會受一向上之正向力，又此正向力會對輪架產生一力矩，會使得輪架產生應變，如下圖3-11之應力分析。

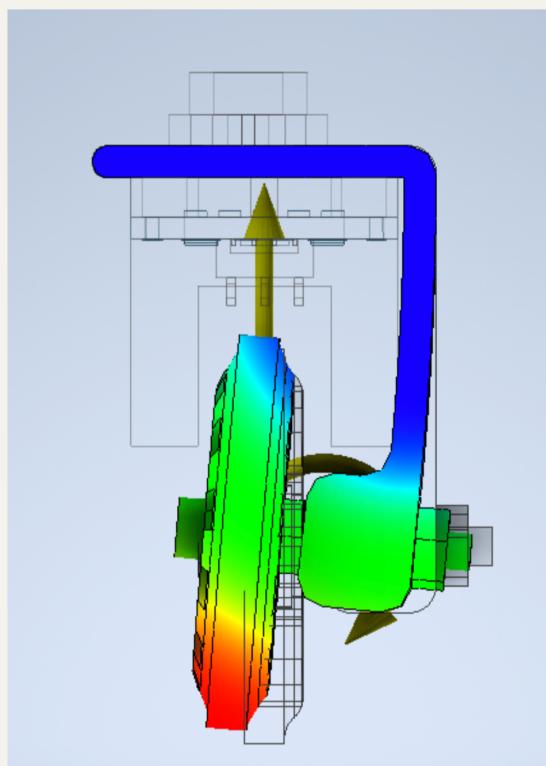
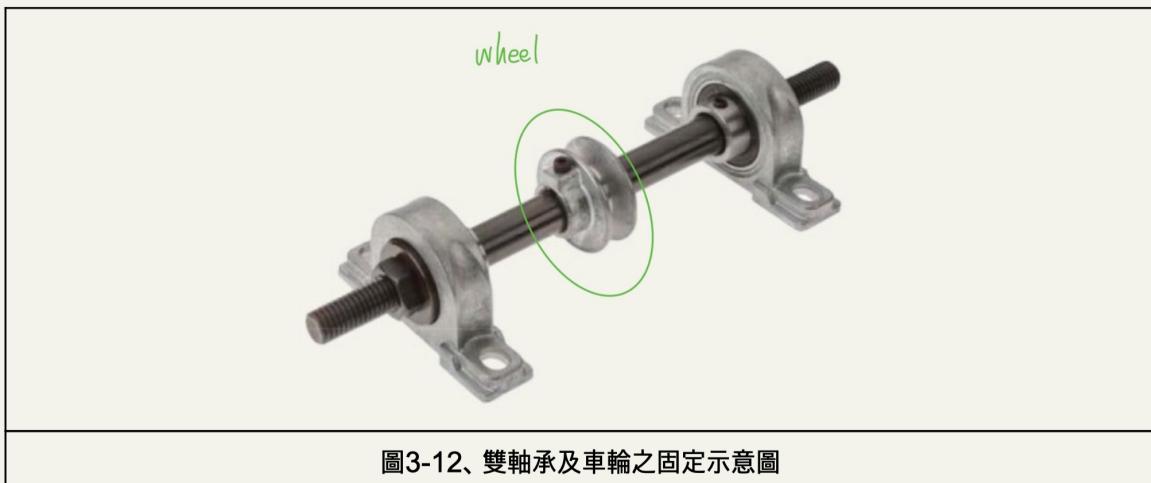


圖3-11、輪架受正向力造成之力矩產生之應變

# 設計概念與布置

由圖3-11可知，此應變會嚴重的影響車子於直行之表現，而本組之解決方法則是在製造的時候就增加輪架之強度，透過填料之增加，使得輪架能夠抵抗車體重量所帶來之力矩。

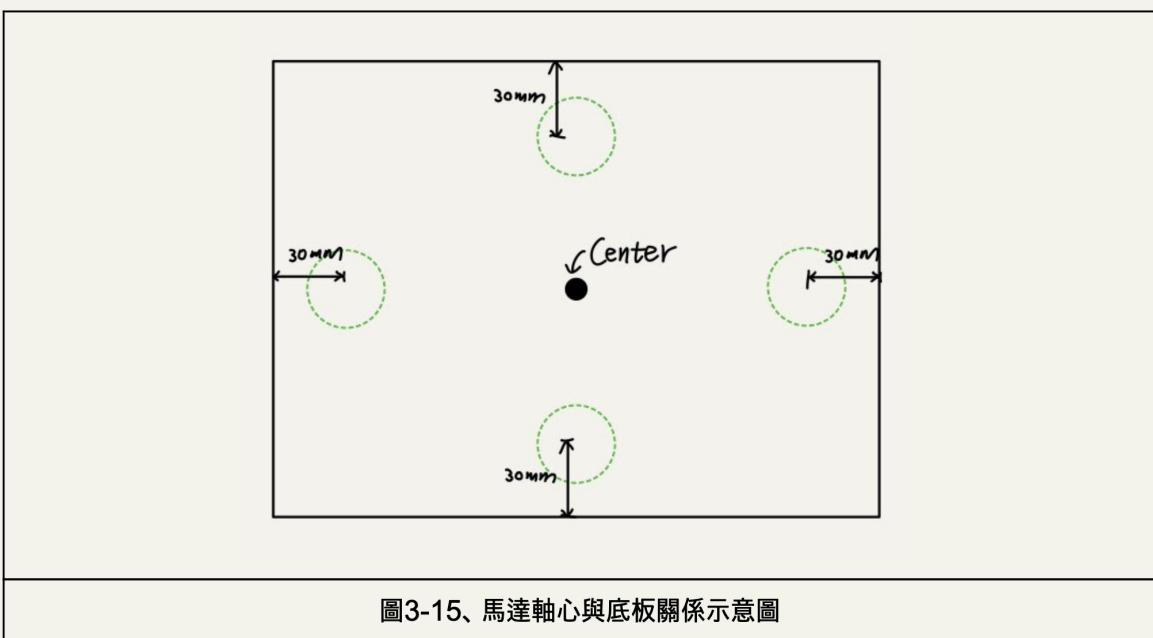
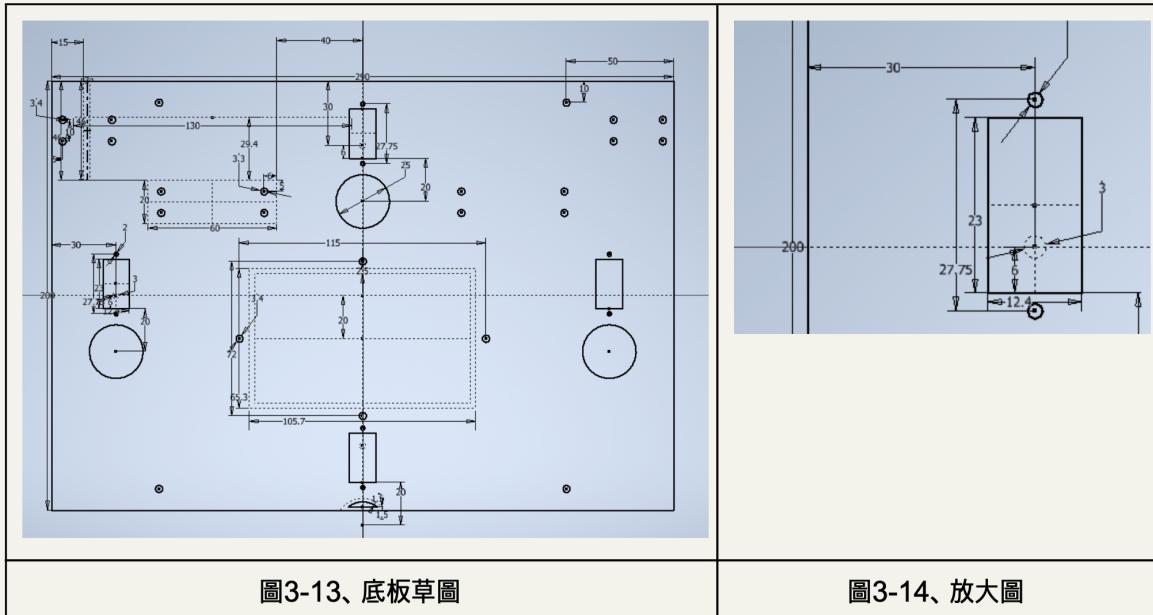
再來是有關車輪內單一軸承可能會造成的問題，也可能會造成車輪於行進時會有內傾或外傾的問題，因此本組在期中後決定以雙軸承（如圖3-12）之固定方式改良之，以減少車輪與地平面傾斜所造成之路線偏移（見3-4-1）。



## 3-2-1-3 車輪裝配位置：

在車輪位置的放置上，因為本組使用四顆馬達連接車輪，因此馬達與底板之連接處也決定了車輪之位置，又本組本來起初使用4顆Mg90s作為驅動車輪之馬達，而馬達之軸心不是位於馬達正中心，左右輪馬達放置在底板之位置自然也不會對齊底板之中心，本組使用馬達軸心作為車輪定位（詳見圖3-14放大圖），為了使四輪位置能對稱，將四顆馬達軸心與底板之邊界之距離都訂為30mm（見圖3-15）。

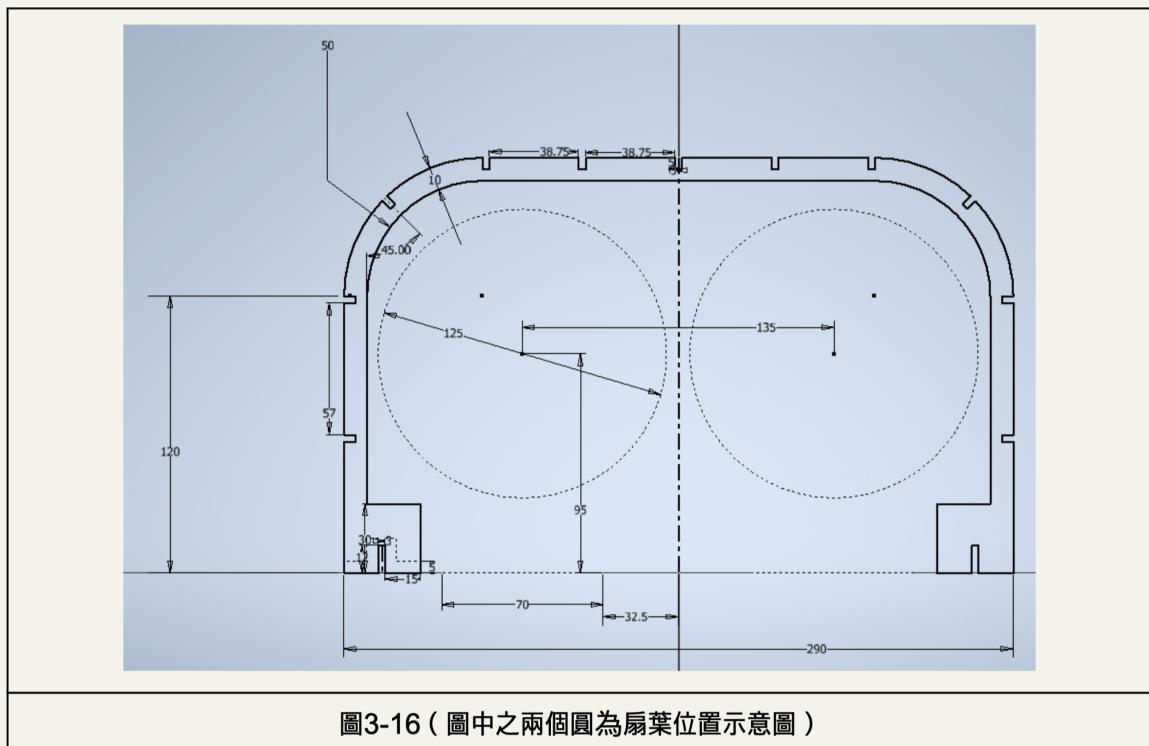
# 設計概念與布置



# 設計概念與布置

## 3-2-2 風扇、風環設計：

由於本組之三代車使用雙風扇作為動力，因此也需要比原本單風扇(直徑15cm)更大的風環；風扇直徑則沒有辦法使用原本風扇的直徑，考慮車體之寬度最多能到29.7cm，本組將底板寬度設為29cm預留空間，因此風環之橫向最大寬度也與底板寬度相同，定為29cm，再來則是考慮風扇和風扇、或風扇和風環間之尺寸問題，最後由圖3-16可見在風扇直徑大概小於125mm，可以順利擺放風扇，零件間也不會有干涉問題。（本組最後設計之風扇直徑為12cm）



補充：風環及上板之連接使用兩個L型之固定件夾持下風環扣件來固定，如圖3-17。

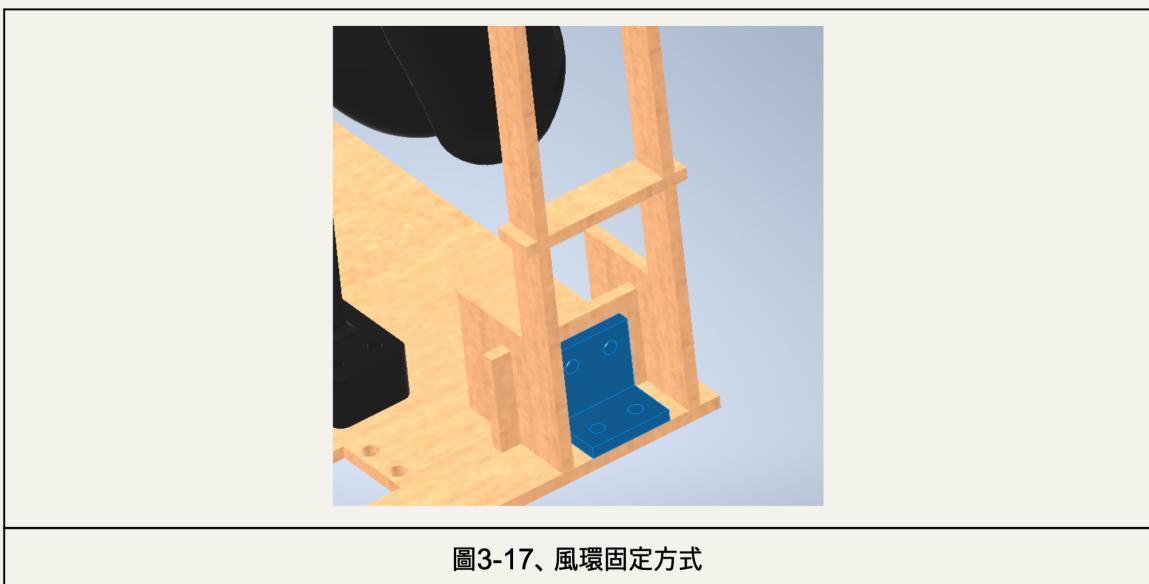


圖3-17、風環固定方式

# 設計概念與布置

## 3-2-4 三代車演進：

由3-2前述之設計概念，我們設計出了三代車的初版（如下圖3-18），起初為減輕整車重量，本組選用MG90S之伺服馬達驅動車輪轉向，但發現在裝上車輪組之後，馬達舵機連接輪組的軸會有餘隙，加上車輪受到之正向力，會造成車輪之傾斜，會發生如同3-2-1-2之問題，影響車子於直行之表現。

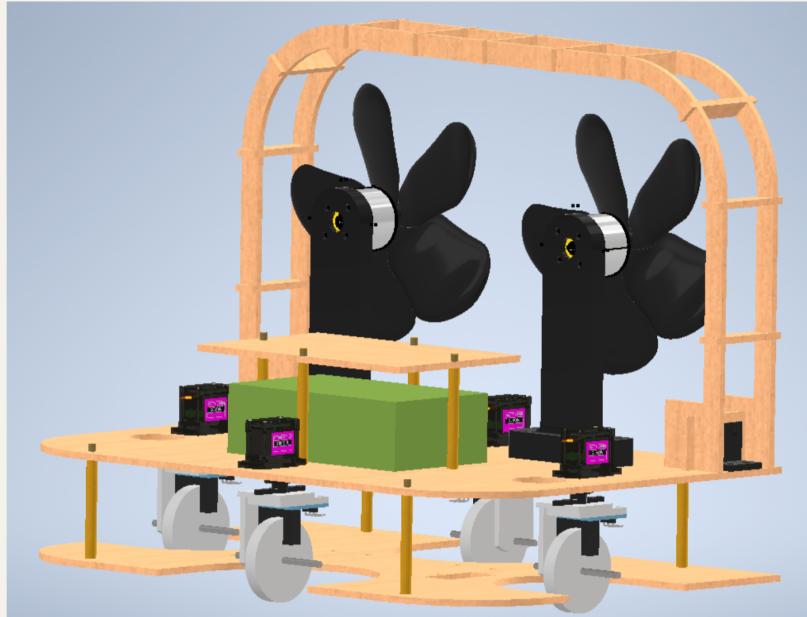


圖3-18、三代車初版

最後為了使馬達連接車輪處能夠克服上述問題，我們採用較大之MG996R馬達，結果在實際裝上後測試發現的確能有效改善車輪傾斜問題，至此完成第二次期中測試之三代車，如圖3-19。

# 設計概念與布置

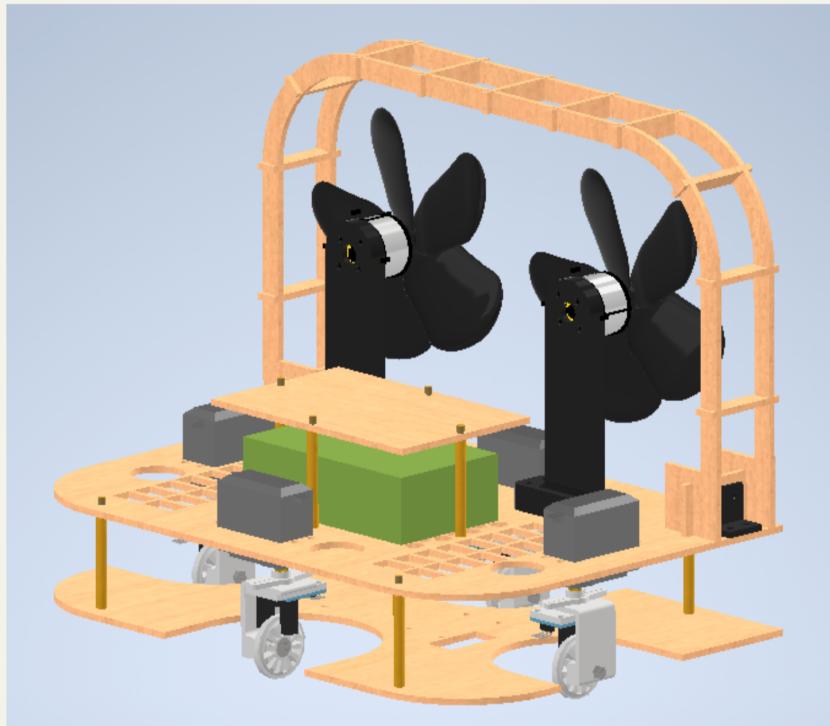


圖3-19、三代車期中測試版

## 3-3 轉向機構

本組的轉向機構從從一開始、期中測試到期末之前所採用的轉向機構皆不盡相同。由於各個時段所要解決的問題點不同，因此我們的轉向機構會採用過單輪轉向以及阿克曼，最後才改良成為平行轉向。

### 3-3-1 單輪轉向

起初，我們想要將機構盡可能地簡單化。在參考了學長姊與上網搜尋資料後，選擇了單輪轉向作為轉向機構。我們認為其穩定性高、機構簡單，若有不穩定的情形發生，亦可以加上牛眼協助平衡。

後來考慮到第二停止區的大小不方便做180度迴轉，若要讓車子利用倒退的方式沿著第二循跡線移動則會難以控制前進方向。因此放棄單輪轉向並嘗試使用阿克曼作為轉向機構。

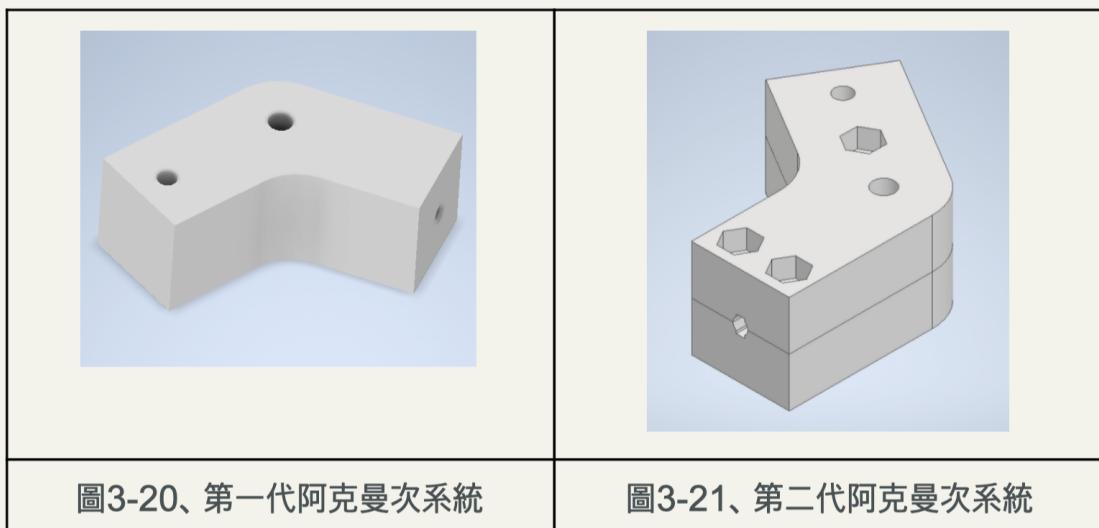
# 設計概念與布置

## 3-3-2 阿克曼

由於打算利用倒退的方式，本組認為做雙邊的阿克曼機構能夠更好的控制方向，藉由參考學長姊的阿克曼機構進行調整後製作出來。

然而在調整過程中遇到了一些困難。首先為畫完阿克曼桿件的CAD圖之後，我們還利用Inventor的動態衝突偵測去預測阿克曼所能轉動角度，發現其並不如我們的預期，轉動的角度非常小。在經由多次的調整與模擬後才達到滿意的結果。

除此之外，在實際裝設阿克曼時我們亦發現其中R-joint的部分並不能將其鎖死，之後選擇用螺絲釘將上下兩桿件之自由度限制在Z軸方向，既能維持其功能亦不會讓其結構鬆散。



## 3-3-3 平行轉向

在經過期中測試的失利後，我們發現阿克曼轉向的機構很容易出現不穩定的問題：內部零件與3D列印件的磨損可能使得轉向越來越不靈敏。並且我們發現就算利用阿克曼轉向，也會因為風罩及風扇的因素使得整台車子前後的條件不一致，並不能達到我們當初所預想的前後對稱。因此我們決定採用固定角度的平行轉向。

為了使整體更為穩定，我們除了將四顆輪子分別加裝在MG996R上，採用四輪驅動的模式外，也將角度固定在45、90、135度，讓輪子不要因為校準太多次而出現累積誤差。而因為減少轉向機構的複雜度，大幅減少了出現像阿克曼一樣的磨損問題。

更改轉向方式後還有一個最主要改變的點是在輪子側邊加裝光柵，利用Encoder去計算輪子所轉的圈數，配合上只須轉三種角度，整個車子的轉向與行進相較於之前來說穩定非常多。

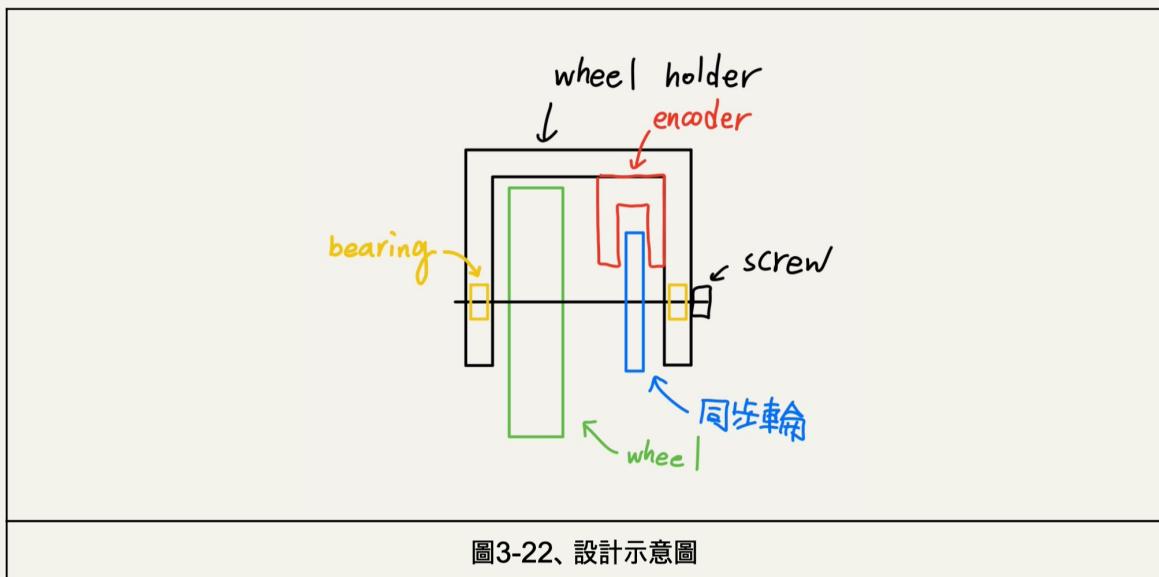
# 設計概念與布置

## 3-4 針對期末爬坡之改善

最後針對期末測試，本組採用的策略大致與期中相同，而在原本設計出之三代車上又多了幾項改善，分別為將原本較小的車輪置換成較大的車輪，以便爬坡、加裝煞車，以便車在走到第一停止區時可以停下來，以下會依序介紹。

### 3-4-1 車輪置換：

在第二次期中測試時，本組採用的是直徑僅有29.5mm之小車輪，但原本的三代車在由平面轉換成斜坡時，直徑較小的車輪很難成功將車體帶上斜坡，因此本組決定使用直徑較大的車輪，而由於二代車剛好有直徑69mm的大車輪，剛好省下買新車輪的成本，不過大車輪有兩個缺點，第一是車輪本身沒有光柵，因此需要自己以3D列印或雷切的方式製作，在設計上會花費不少時間；第二是車輪本身的厚度較，無法與原本使用之編碼器匹配，取捨之下本組最後決定設計新的Wheel Holder，如圖3-22。



其中軸承會放置在Wheel Holder的兩側，使用雙軸承跟三代車初版的單軸軸承比也可以減少車輪在行進時之餘隙，再來車輪、同步光柵輪會與螺絲一起轉動，設計出之組合會如圖3-23。

# 設計概念與布置

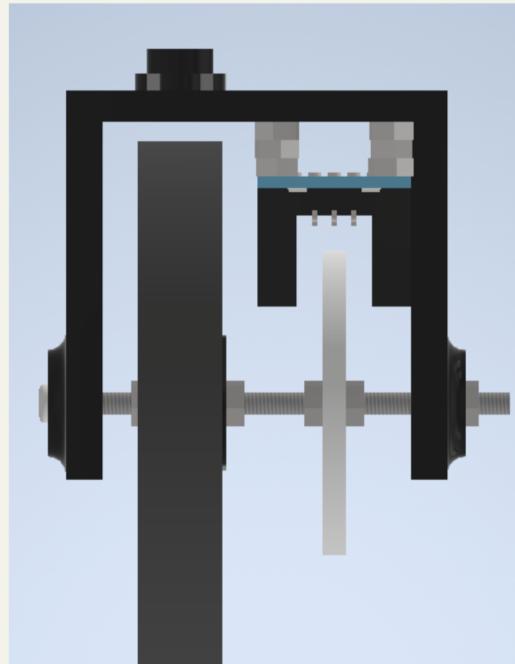


圖3-23、車輪組裝圖

註：車輪與螺絲之同步旋轉是透過3D列印之輪軸配合器（見圖3-24）與車輪以螺絲螺帽鎖緊，接著再使用螺絲作為輪軸從輪軸配合器中間攻牙，同步光柵輪亦使用此種方式攻牙，而為避免車輪於行進中之旋轉會造成配合器與螺絲有相對轉動造成車輪位移、會與Wheel Holder之內測或者是與Encoder干涉，由上圖可以看到車輪兩邊會以螺帽夾緊固定，同步輪亦是如此，使其可於固定位置旋轉。

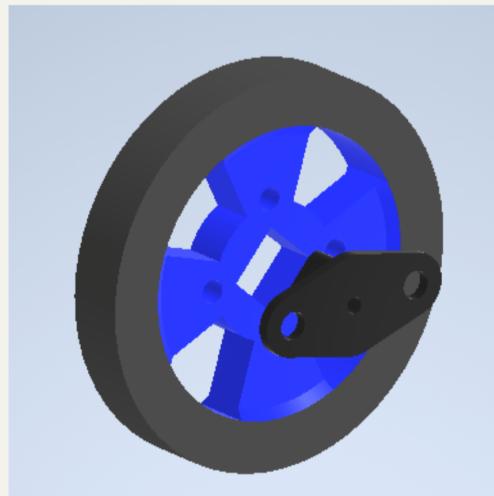
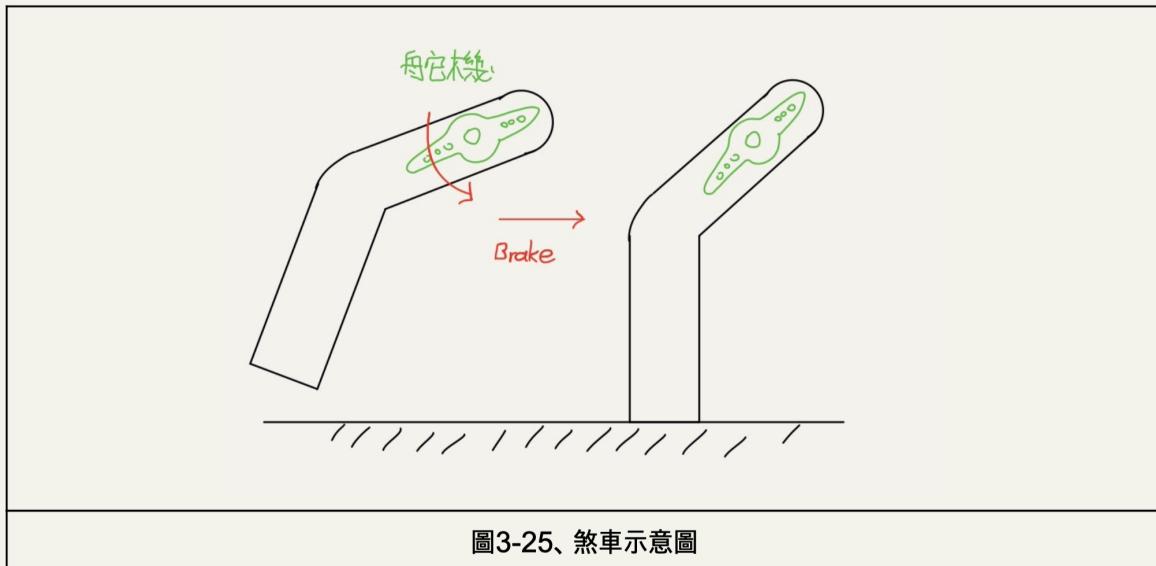


圖3-24、車輪及輪軸配合器爆炸圖

# 設計概念與布置

## 3-4-2 紊車：

在煞車的選擇上，本組選用在下板上放置MG90S馬達並連接以密集板製造的桿件（煞車桿）黏上砂紙跟地板摩擦之方式，而非以夾持輪子的方式，見圖3-25。



註：因為下板上面與於地面距離大約50mm（由圖3-26得知），因此單靠馬達連接舵機一定無法碰觸的地面，因此才會設計一根桿件與舵機連接，以此增加其可達到的距離。



# 設計概念與布置

## 3-4-2-1 紊車馬達之固定設計：

而首先要先設計一個可以將馬達之軸的方向轉成與地面平行的方向的元件，而此元件要能夠固定馬達、以及鎖在還有空間的下板上，在此將此元件稱作煞車馬達固定件，而本組將將此固定件設計為L型，見下圖3-27。



圖3-27、煞車組爆炸圖（左）

註：本組總共會加裝兩組煞車組，一左一右，為考慮接觸面積及平均兩側受力以免車體在只有煞車時因為接觸點不在正中心而受到重力產生的力矩而使車體可能於斜坡上發生旋轉改變車頭之方向，其中左右煞車裝配的方向會與下板左右方向之中心線成對稱，如下圖3-28。

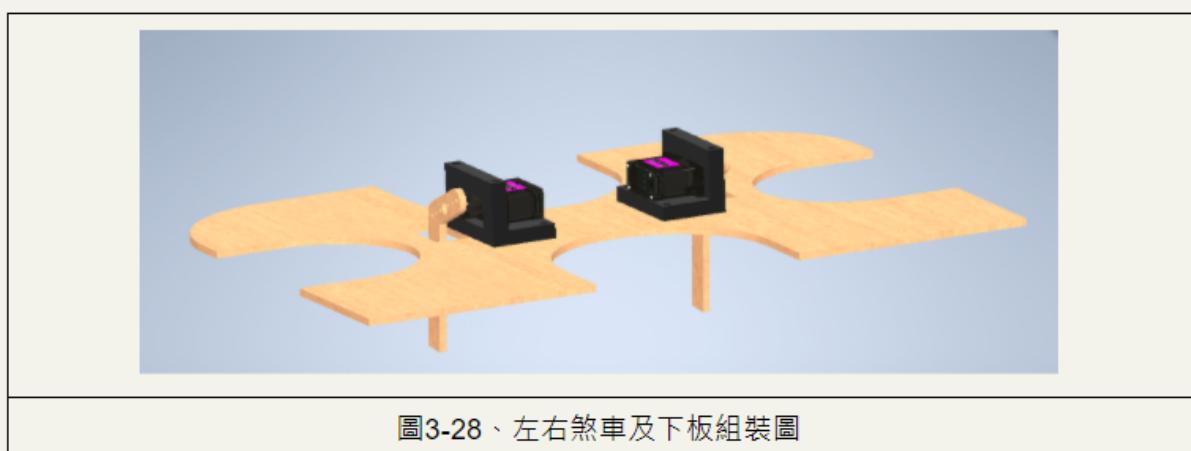
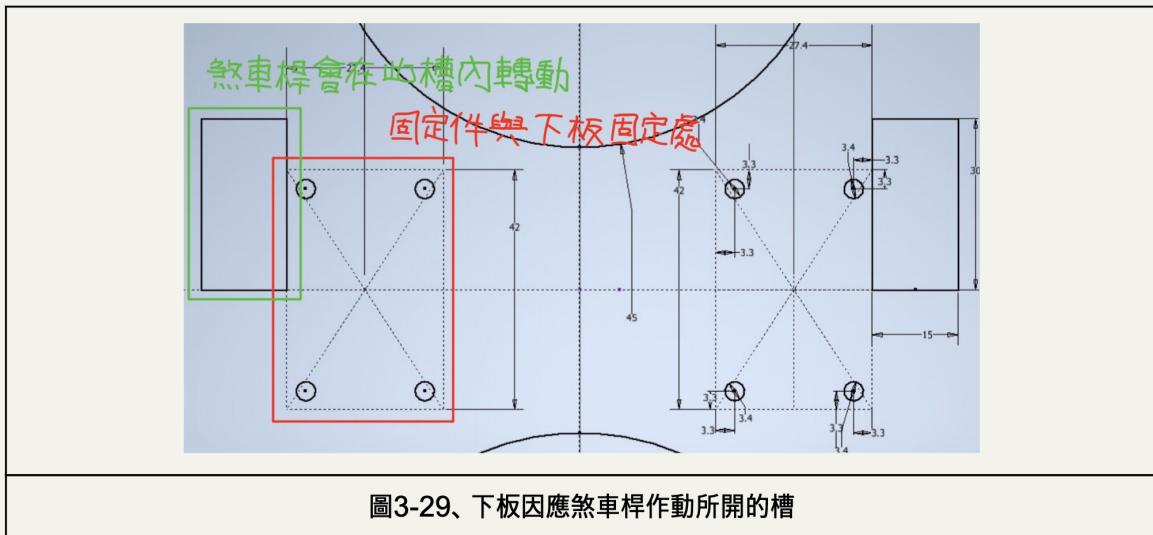


圖3-28、左右煞車及下板組裝圖

# 設計概念與布置

## 3-4-2-2 下板因應煞車桿之設計改良：

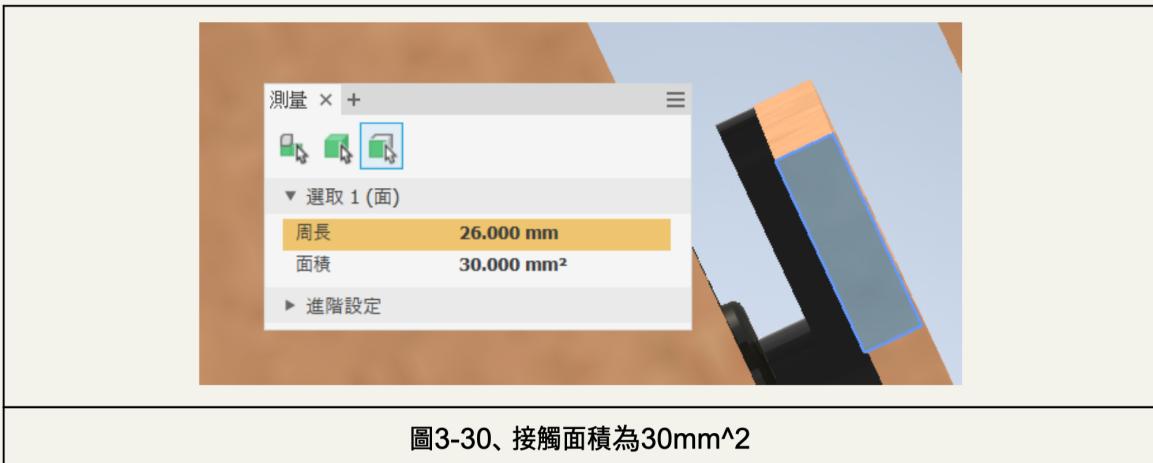
此外因為煞車桿需要與地面接觸，因此在下板需要開一個槽讓煞車桿可以在這之間自由地作動，而由於伺服馬達會在一指定之角度範圍轉動，因此只要確認煞車桿在角度之極值時不會與下板干涉即可，如下圖3-29。



註：本組總共會加裝兩組煞車組，一左一右，為考慮接觸面積及平均兩側受力以免車體在只有煞車時因為接觸點不在正中心而受到重力產生的力矩而使車體可能於斜坡上發生旋轉改變車頭之方向，其中左右煞車裝配的方向會與下板左右方向之中心線成對稱，如下圖。

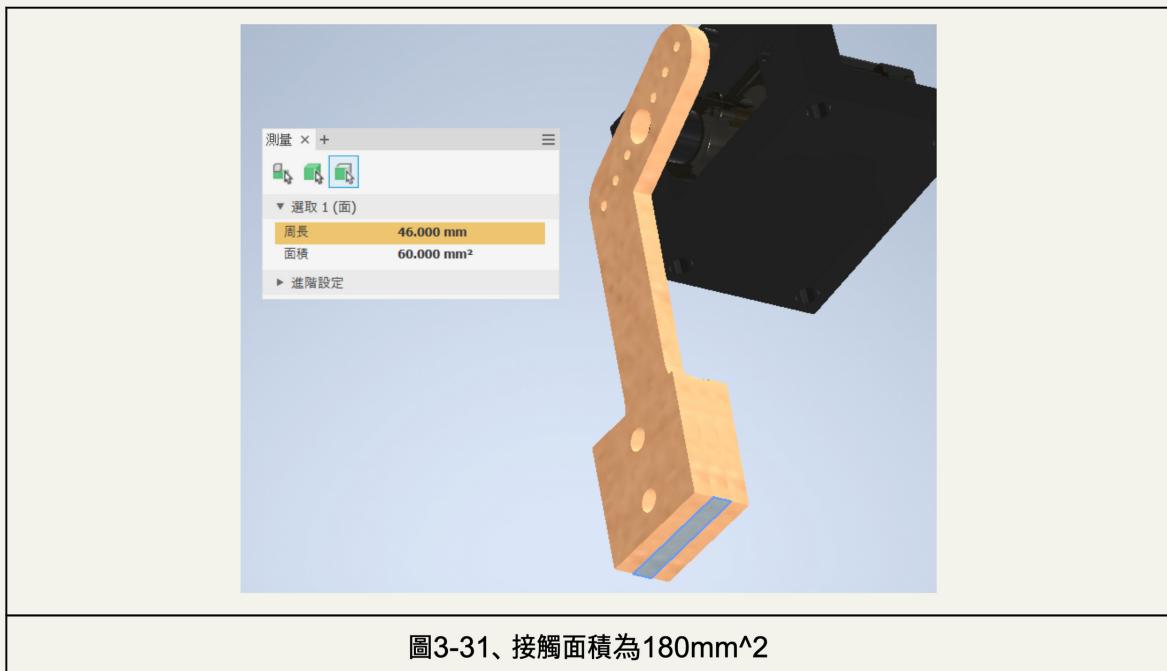
## 3-4-2-3 如何克服磨擦力不足之間題：

由於本組於遠距之前還沒嘗試過煞車桿與地面接觸能不能使三代車於停止區順利停下，因此仍無法實際評估上述方法是否需要改進，不過若是有磨擦力不足之情況，應該可以透過增加煞車桿與地面之接觸面積來增加摩擦力，原本單根煞車桿與地面之接觸面積如下圖3-30。



# 設計概念與布置

若要增加與地板之接觸面積，則可增加煞車桿與地板接觸端之長度（寬度固定為密集板厚度）、並且可以在兩側鎖上對地接觸面積一樣的增厚板，使接觸面積成倍數增長，如下圖，多鎖兩片接觸面積會是原本的3倍，再加上單個煞車桿之接觸面積為原本的2倍，總共就是6倍，即可有效達到增加摩擦力的效果。（因此也需要黏上面積較大的砂紙）



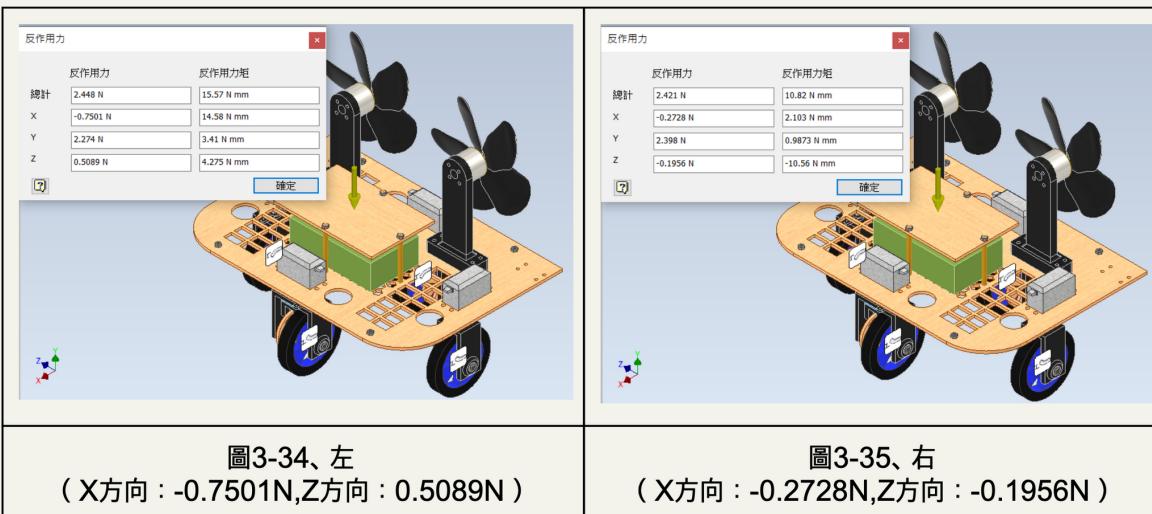
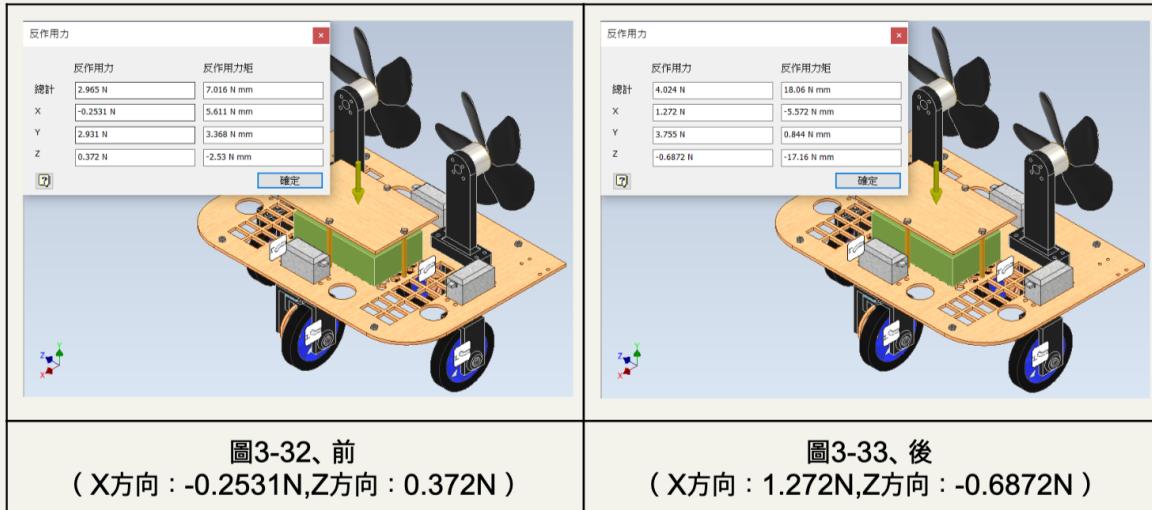
## 3-5 三代車之偏移問題

在期中測試前之練習中，本組還有遇到一個有趣的問題，由於本組沒有使用紅外線循跡，而是單純以編碼器來計算車輪轉動圈數換算成當前移動距離，進以控制伺服馬達改變車輪之轉向，但我們發現在車體移動時，作為車輪基準之車身也會跟著轉動偏移，理想上會希望車身會與置放在起點之ORIENTATION一樣，但偏移後會造成伺服馬達原本輸入的角度與車身會因為車身於行進中之偏移角度而造成誤差。至於造成的原因則有以下幾種可能：車輪之間可能不平行、兩風扇之推力不均所造成之力矩，及分布於四輪之正向力不同所造成之淨力矩等等其他因素，首先將第一點忽略，因為本組有對每個輪胎之伺服馬達進行校正，因此在此不討論；第二點的部分，則比較偏向馬達一買來即有的誤差，可能是在生產時造成誤差，至於兩者在經過控制板後所造成之誤差則忽略，照理輸入同一訊號應該會是相等的；因此本組將最後一個可能性以軟體分析。

# 設計概念與布置

## 3-5-1 車輪正向力分析：

將三代車之模型稍微簡化後進行應力分析，對於四輪皆施加約束，並添加重力於Y方向，計算地面施加於車輪之反作用力（正向力），模擬結果如下圖(3-32~3-35)。



首先先從前後輪來看（圖3-32、33），若質心位於X軸上，X方向之正向力不會對車體造成淨力矩，但Z方向之正向力則分別為0.372N（向右）、-0.6872N（向左），可以得知兩輪所造成之力矩會加總，使車身順時針旋轉。

再來看左右輪之結果（圖3-34、35），與前後輪之假設一樣，質心位於Z軸，因此忽略Z方向之正向力造成之力矩，X方向正向力分別為-0.7501N（向後）、-0.2728N（向後），可以得知右輪之力矩會被左輪抵銷，淨力矩使車身逆時針旋轉。

由上述之結果，可以發現前後、左右兩組車輪之淨力矩方向相反，在本次模擬由於沒有以實際質心位置去計算力矩，因此無法得知最後之偏轉結果，不過從此模擬的確可以得知，在整車零件、車輪之配置上，會影響到重心位置、甚至可能對於行進中的車身造成使其旋轉之力矩，為相當不樂見之結果。

# 設計分析與驗證

## 4-1 分析

### 4-1-1 流場分析

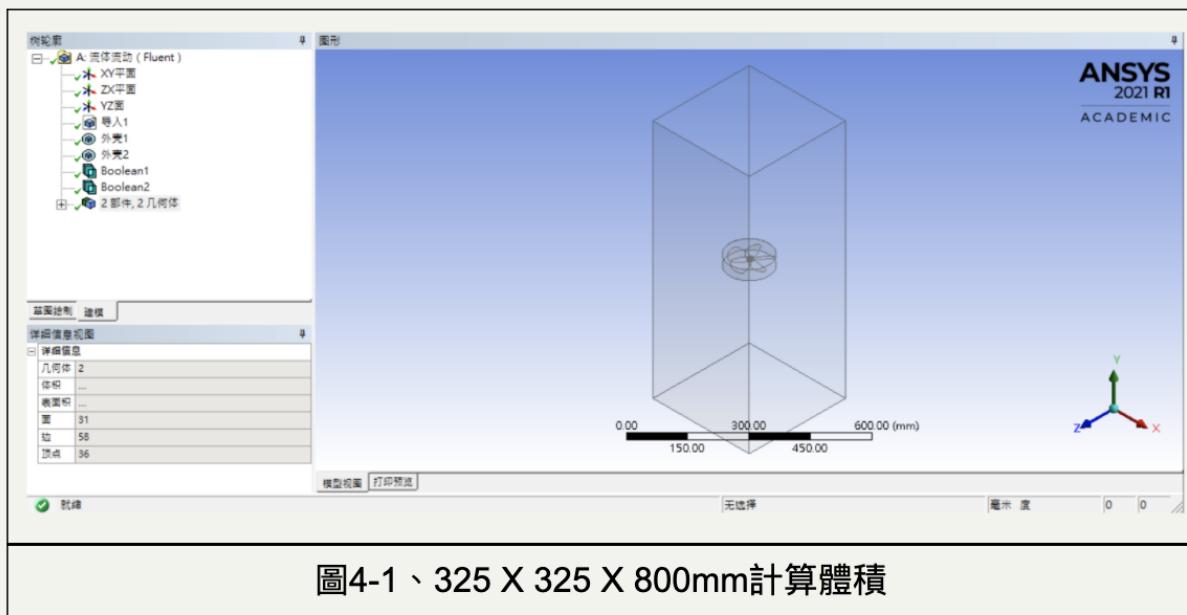
為了評估設計出的風扇能夠提供何種大小的推力，分別使用ANSYS Fluent 與 Solidworks Flow Simulation 進行流場分析，兩者皆是使用數值方法為基礎進行流體力學計算的軟體模組，並比較其數據。

#### 4-1-1-1 ANSYS FLUENT 模擬：

- GEOMETRY：

將待測風扇匯入ANSYS 中，並另外繪製一恰好包覆風扇之圓盤作為模擬時的旋轉體積塊，與一長方體之計算區域。

因為無法使用風道進行流場可視化實驗，因此參考量測原理與機工二Unit02中的可視化流場，風道中受風扇影響流向的空氣其範圍徑向寬度約為風扇直徑的2.5倍。本次進行模擬的風扇直徑為120mm，因此將計算區域的長寬訂為325mm X 325mm。另外，由於學生版ANSYS的運算有最大網格數的限制，計算體積如果太大會導致網格解析度過低，最後選擇將計算體積高度訂為800mm，以確保網格的解析度。



# 設計分析與驗證

## • MESH

將風扇與旋轉體積塊、計算區域建立網格。其中ANSYS student能計算的網格單元數最大上限為512000 unit，因此需要手動調整網格尺寸參數，在有上限的情況下將網格盡量分配在旋轉體積塊與風扇表面上，以求盡量準確的結果。

計算區域表面積最大網格尺寸：12mm

旋轉體積塊與風扇表面最大網格尺寸：6mm

總網格單元：486347

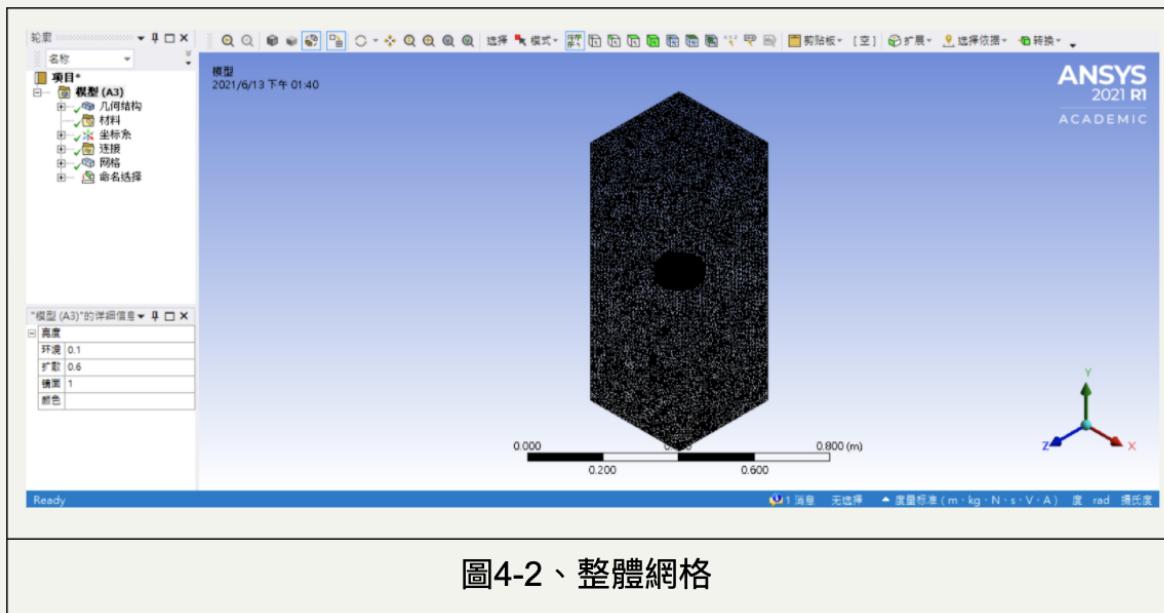


圖4-2、整體網格

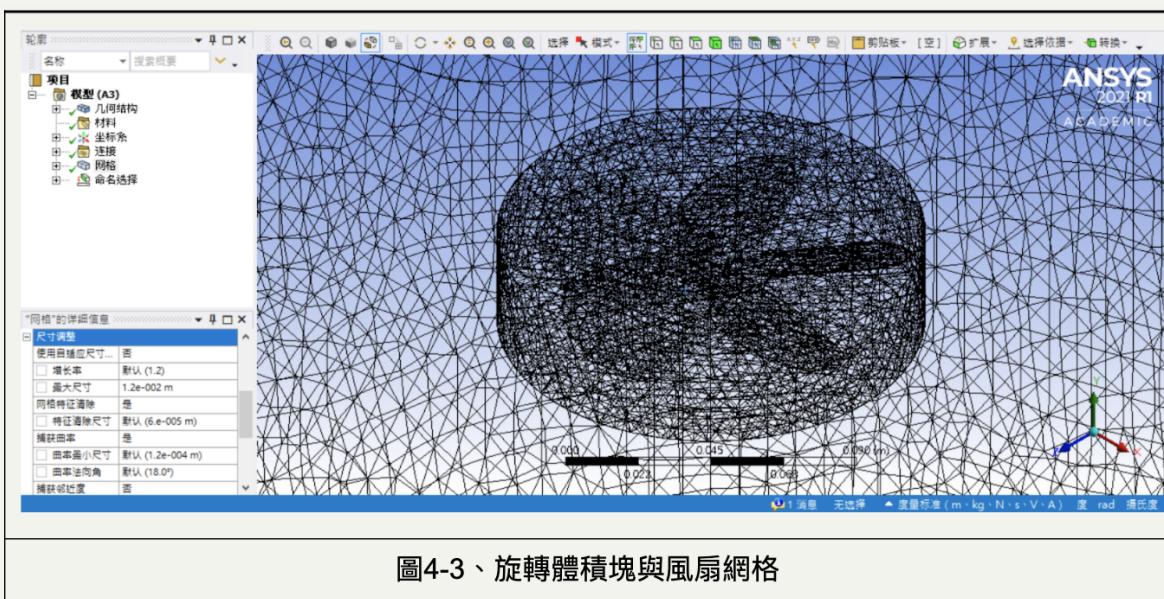


圖4-3、旋轉體積塊與風扇網格

# 設計分析與驗證

## • SETUP

將分析模式設定為暫態、進風口風速假設為1m/s、風扇轉速14800rpm、並選擇 Viscous Model 中的 realizable k-epsilon model 作為運算模型。其中轉速是由馬達的 Kv 值與電池電壓推算。

For turbulent kinetic energy  $k$ <sup>[4]</sup>

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \varepsilon$$

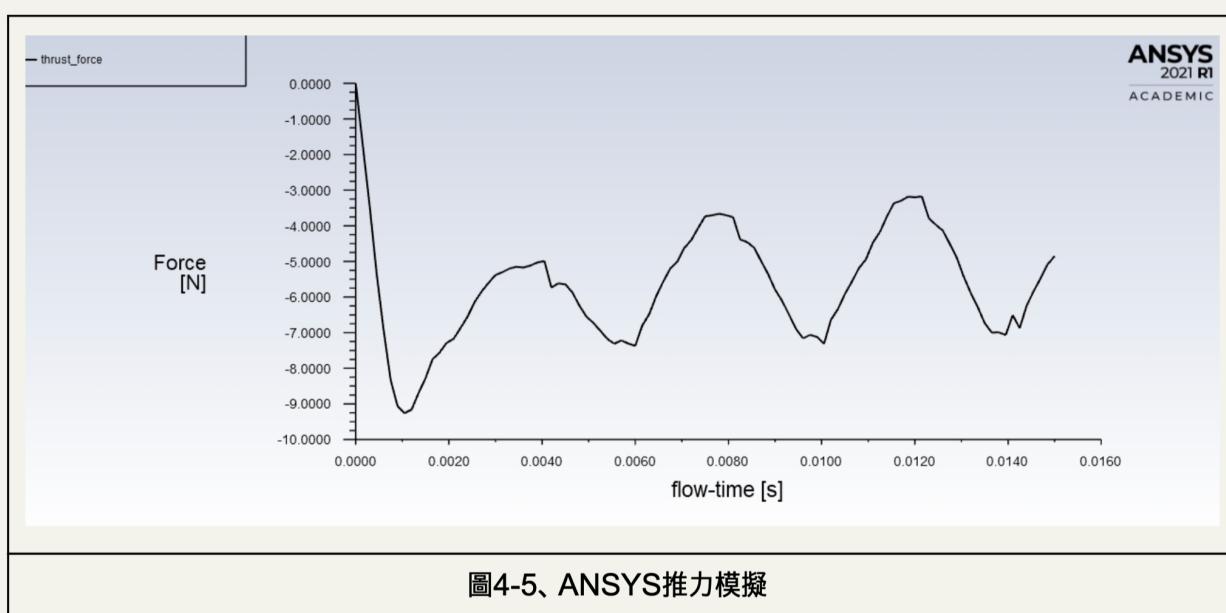
For dissipation  $\varepsilon$ <sup>[4]</sup>

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

圖4-4、k-epsilon model 方程式 [來源<https://reurl.cc/MAR5Lk>]

## • SOLUTION

設定 TIME STEP 為0.00015 S，共100次的 TIME STEP，每次 STEP 進行10次迭代，計算出風扇所能提供的推力大小共為5.7N。



# 設計分析與驗證

## 4-1-1-2 Solidworks Flow Simulation

另外我們也使用了 Solidworks 中的 Flow Simulation 模組進行相同的模擬，最後得到推力結果為 5.467N。

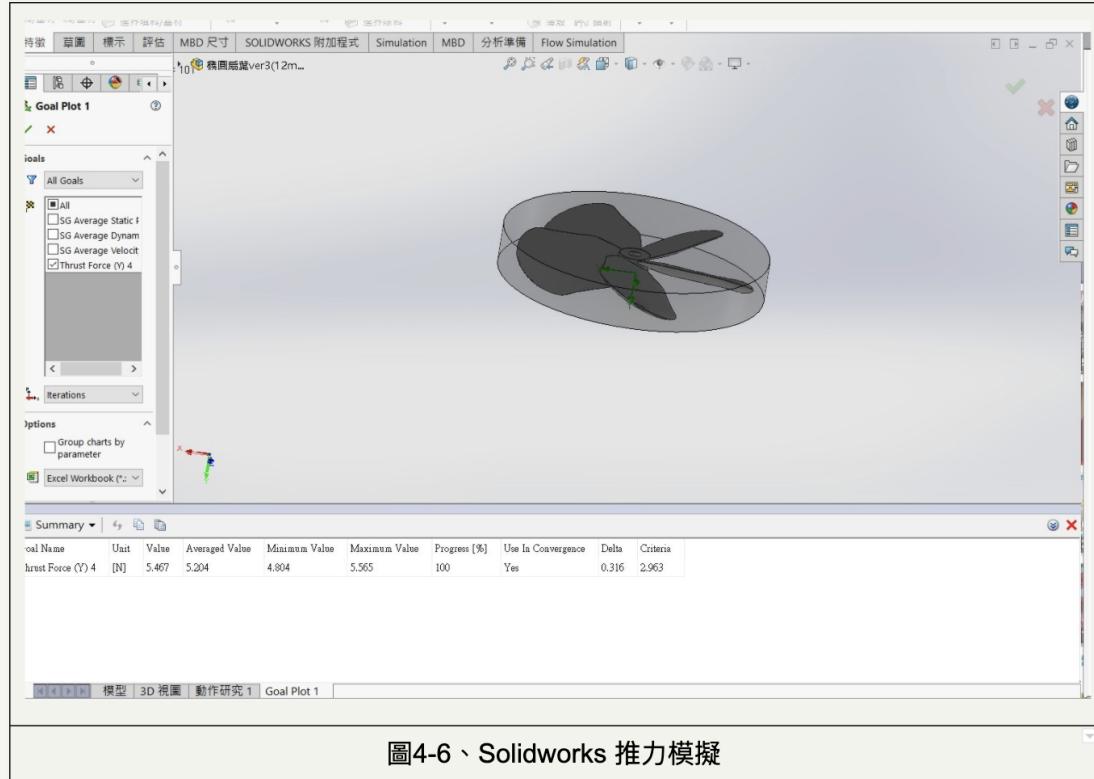


圖4-6、Solidworks 推力模擬

\*以上結果探討見 4-5討論

# 設計分析與驗證

## 4-2 繪製工程圖

\*參見工程圖

## 4-3 製造

### 4-3-1 3D列印

#### (1)線材

原本我們用PETG的線材，雖然耐熱性與韌性皆較高，但太容易「牽絲」，導致有製造上的困難。因此我們後來將線材換成PLA變解決了這個問題。

#### (2)過程

在3D列印的過程中，我們盡量還原原本CAD設計的樣貌：降低層高且用高解析度；在需要準確尺寸的面與列印面重合；讓列印的方向調整為需要較少支撐材，以防在拆除支撐材時產生不太多不必要的誤差；若支撐材太難拆除，則調整參數。

除上述問題之外，我們還遇過幾次印到一半就錯位的狀況。後來找出原因是頂絲鬆了，同步輪與電機軸沒有一起旋轉，只要將頂絲重新鎖緊便解決此問題。

### 4-3-2 雷切

我們採用敏捷開發(Agile Development)的方式進行設計，在設計完成後馬上進行測試，一旦發現問題就立即回去改設計，因此我們的prototype更替頻繁，可以更快的解決問題並優化結構。

### 4-3-3 驗證

在期末三代車之元件尺寸驗證部分，由於本組並沒有將三代車從實作中心出，因此無法驗證尺寸之誤差，在此整理期中測試時之元件誤差量測。本組在製造方式的選擇上相當簡單，除了一些軸承、馬達等非自行加工元件，分成3D列印及雷切，其中以3D列印製造的元件之平均誤差大約為0.217mm（絕對值）、以雷切製造的原件之平均誤差則為0.129mm，由兩者之整理數據可以得知雷切之製造誤差會比3D列印還要小，也對本組在後期輕量化上有很大的幫助，最後整理二代及三代之製造方法比例於下表，可以看到本組在後期以雷切製造的元件種類之比例有些微上升。

車\製造方法	雷切	3D列印
二代車	56.3%	43.7%
三代車	61.5%	38.5%

註：上表是以元件的種類來計算，而非元件之數量。

# 設計分析與驗證

## 4-4 分析

### 4-4-1. 風洞實驗

(1) 實驗目的：利用風洞以及控制體積的方式量測本組氣動車風扇所能產生的推力大小。

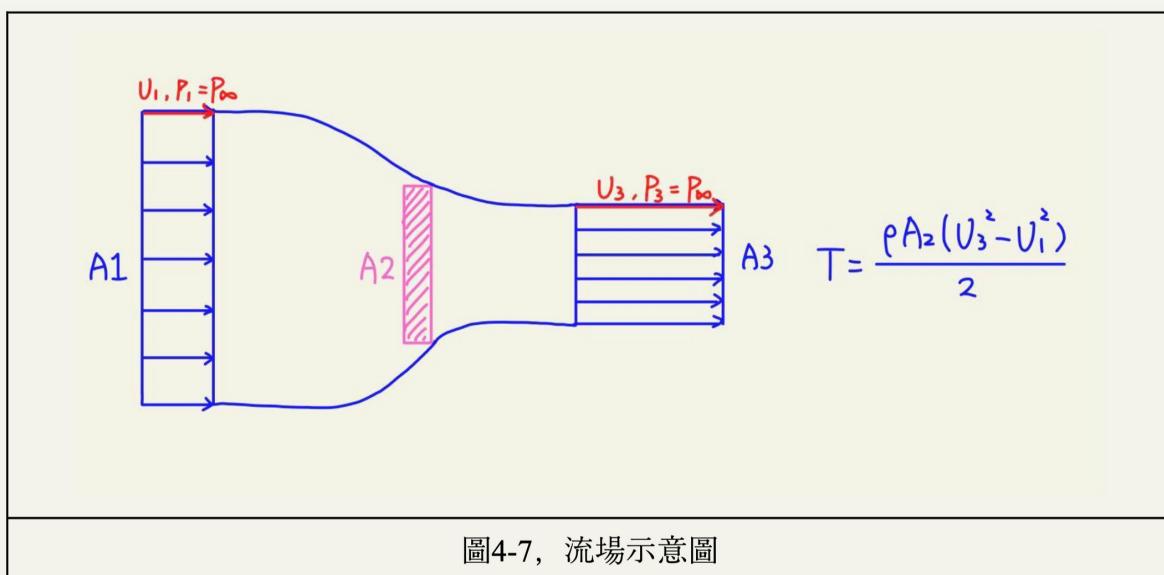
(2) 實驗假設：本組兩片風扇為完全相同，並且中心在兩個風扇的正中間。實驗過程忽略流體黏滯性所造成的影響。

(3) 實驗原理：

Actuator Disk Theory：

假設扇葉為Actuator Disk，其對流場施加能量與動量；而流體則假設為不可壓縮、非漩流，且為一維的均勻流。

使用質量、動量以及能量守恆可推導出風扇的推力，如下圖4-8。



### (4) 實驗流程：

- 先將氣動車置於風洞中，並利用煙線將流場可視化以便觀察流場。
- 根據本組組員寫的程式控制風扇的轉速。
- 利用熱線風速計分別在風扇前後進行量測，並且利用轉速計量測風扇的轉速。
- 最後利用量測出來的數據，根據Actuator Disk Theory計算出風扇推力T。

### (5) 結果分析：

由Actuator Disk Theory的推力公式： $T = (\rho A_2 (U_3^2 - U_1^2)) / 2$ ，其中 $\rho$ 為空氣密度，依據量測時的氣溫而定； $A_2$ 為風扇轉動時的圓面積； $U_1$ 及 $U_3$ 為扣除背景風速後的上下游風速。由上述公式可推算出風洞車風扇在特定轉速下所產生的推力。變更轉速並重複上述步驟則可精準量測到我們最需要的轉速。

# 設計分析與驗證

## 4-4-2. 馬達拉力計實驗

- (1) 實驗目的：直接利用馬達拉力計讀取風扇推力值。
- (2) 實驗假設：忽略流體黏滯力所造成的影響
- (3) 實驗流程：將風扇鎖在測試機的法蘭上，藉由控制供電的電壓改變風扇的轉速，風扇轉動所產生的推力會拉動後方的應變規，便可得到其所產生的推力值。



由於馬達拉力試驗計比一般拉力計多了一項能夠讀取電功率的功能，因此也可以得到力效(G/W)(拉力與電功率的比值)

### (4) 結果分析：

由於是利用應變規量測，所測得的推力應比風洞實驗更加精準，可以在量測結束後比較此兩種量測方式的差異，觀察趨勢是否相符，抑或是量測結果有重大差異則需要精進實驗或改善風扇。

下圖4-10、11是期中測試前我們對於第一代及第二代風扇做的實驗數據，讀值如圖：

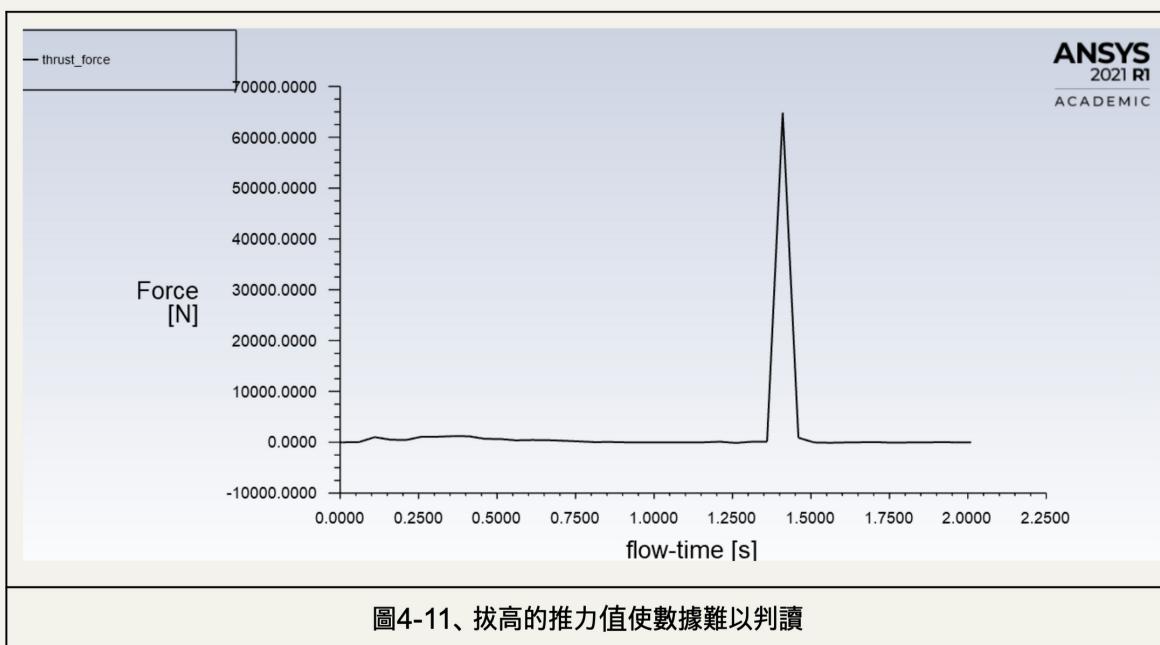
	
圖4-9，第一代風扇實驗讀值	圖4-10，第二代風扇實驗讀值

# 設計分析與驗證

圖4-11中第二代我們將第一代風扇的弦長增長、厚度增厚且攻角調大，在提供約16V的電壓下其所產生的電流也只有8.77A，離我們電變的極限電流40A還有很大一段差距，然而推力已經有233G。由於最後本組的風扇改成裝設兩個，本組預測調整後的三代風扇每一個在提供40A的電流之前，至少會達到原本最大推力的三分之二。

此最大推力理論上是能夠克服斜坡造成的摩擦力，因為本組在期中測試時所採用的供電為15~16V(藉由穩壓器穩定輸出電壓)，因此理論上在離上限有很大一段距離的情況下，非常有可能調整到適合的推力，克服傾角25度以下的斜坡。

## 4-5 討論



由於使用暫態分析，由上圖4-5可以發現，推力值會在3N~7N之間進行週期性的浮動，因此取其平均值作為推力數據。造成此現象的原因，推測是因為雖然風扇葉片是軸對稱的，但是計算區域設為長方體，並沒有根據風扇的旋轉軸對稱，因此當扇葉每旋轉一圈，推力值就會進行一次週期的浮動，此週期應與風扇轉速相呼應。我們也試著調高每次運算時的迭代次數，但當迭代次數提高的時候，運算的推力值可能將如圖4-7一般突然拔高或陡降，導致數據閱讀困難，如圖4-7。

經過以上ANSYS以及Solidworks的共同交叉模擬與分析，針對風扇推力的量值，Solidworks得到5.467N的結果，而ANSYS得到5.7N，原本進行Solidworks Flow Simulation就是為了避免其中一方的模擬出錯而出現不合理的推力值，但在經過比較後發現並沒有出現這樣的情況。

另外，Solidworks同時作為CAD軟體，在模擬過程中要修改計算區域或風扇的尺寸時也較為方便。

# Digital Twins 數位孿生系統

## 5-1 簡介

2002年，佛羅里達理工學院 Michael Grieves 博士首先提出了「Digital Twins數位孿生」的概念，2010年這個概念被美國 NASA 列入未來展望報告中，協助他們更有效率打造相關設備。

簡單來說，一個數位孿生系統可以將一個實際空間中的真實物體，以虛擬形式呈現於虛擬世界中。並且可以讓資訊於虛擬世界與實際世界中流通，讓兩者間可以互相達到狀態同步。如此我們便能夠在虛擬環境下，不停的測試模型。並且讓虛擬物體與實際物件相互修正，透過模擬進行最佳化迭代。

## 5-2 數位孿生實際應用

### 5-2-1 Siemens 西門子智慧工廠

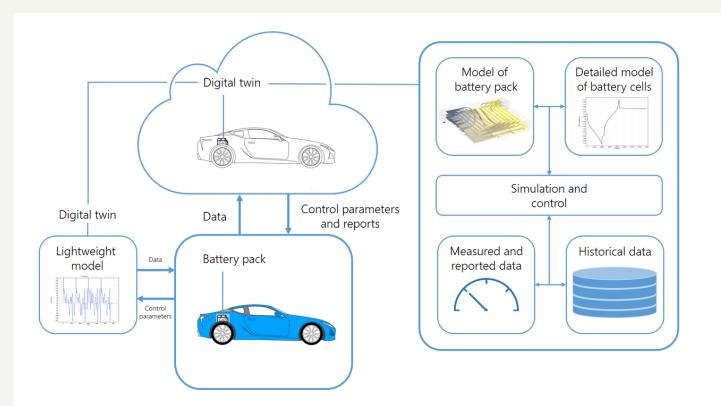
西門子的智慧工廠舉世聞名，利用數位孿生系統改造製造工程，是優化生產的關鍵。西門子在機械設上佈建感測器以蒐集數據，結合系統數據串連至西門子開發的 MindSphere 平台，創建數位孿生模擬生產情境，並進行數據分析。透過視覺化監控、模擬產品開發與生產運作等動態調適，幫助工廠提升生產效率。舉例來說，西門子利用數位孿生技術，幫助國際塗料製造商 Dulux 澳洲廠，大幅降低製造模型成本，最低批量從5,000升降至100升、處理循環快8倍。

### 5-2-2 Tesla 特斯拉電動車

電動車大廠特斯拉所賣出的每一台車，都有一個數位分身保存在系統上。特斯拉會根據車輛回傳的數據來調整車輛的系統，同時也應用在其後生產的車輛上，藉此提供車主更好的服務與可靠度。舉例來說，當你的 Model S 系統中產生了一些問題時，這些資料會回傳到特斯拉，系統就可以透過 OTA 軟體更新來解決你的問題，以及其他 Model S 車主的問題。



西門子利用數位孿生技術與塗料廠商 Dulux 合作，提升效率、降低成本。



Tesla利用數位孿生分析及維護大量使用者車輛，並適時提供OTA解決方案。

# Digital Twins 數位孿生系統

## 5-3 數位孿生系統應用於Air Formula之效益

### 5-3-1 減少設計變更的打樣成本，降低時間與金錢成本

期中前，我們建造了多款的原型機，其中每一輛都花費了大量的時間、金錢以及人力來進行設計、製造、組裝、調教乃至其後的改良更迭。為了產出最後上場的成品，我們花在其他原型機的時間成本與金錢成本為僅僅打造該最終產品的五至十倍。然而，應用在實際工程實務上，倘若每項最終產品前都要耗費如此巨大成本來進行，將會對整體專案管理帶來難以管理的隱形成本與不可預期的時間規劃災難。時至今日，在科技的幫助下，我們可以解決如此難題。利用數位孿生系統，我們可以改進產品開發時程與節省金錢成本。

### 5-3-2 在疫情下，以模擬取代真實進行評估

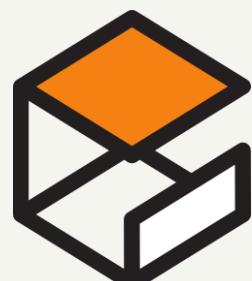
面對疫情帶來的重擊，我們不僅無法將大改後的新車體進行製造加工，更無法利用實體賽道進行測試。對我們來說，失去了體驗「機械工程實務」的機會。

然而，在實務中，面對疫情的威脅，工程師更倚賴現代科技的優勢，利用數位孿生以及虛實整合等工業4.0所提倡的技術，來協助自己將疫情所帶來的衝擊最小化，並透過這波浪潮升級與應用現代化的科技與技術。這也是我們企圖使用數位孿生系統所達到的目標，以模擬取代真實進行評估，以獲得良好的模擬結果，驗證設計的正確性，而並非僅止於紙上談兵。

## 5-4 Air Formula 數位孿生系統 - 環境簡介

### 5-4-1 Gazebo

Gazebo 是一款開源 3D 機器人模擬器，具備物理引擎、3D 圖形運算、感測器與雜訊模擬以及自定義外掛程式等等。Gazebo 支援多款環境與機器人描述格式，例如：URDF (Unified Robot Description Format)、SDF (Simulation Description Format)，提供我們良好的現實和虛擬對應描述。



### 5-4-2 ROS (機器人作業系統，Robot Operating System)

ROS 是專為機器人軟體開發所設計出來的一套開源中介軟體框架。ROS 提供類似於作業系統的服務，包括硬體抽象描述、底層驅動程序管理、共用功能的執行、程序間消息傳遞、程序發行包管理，它也提供一些工具和庫用於獲取、建立、編寫和執行多機融合的程序。



# Digital Twins

## 數位孿生系統

ROS最早於2007年釋出，至今已發展14年。其核心概念即是希望在機器人領域內的研究不必「重造輪子」，進而發展出更高層級的應用。ROS正是一個開源的共享平台，讓大家站在彼此的肩膀上爬得更高。

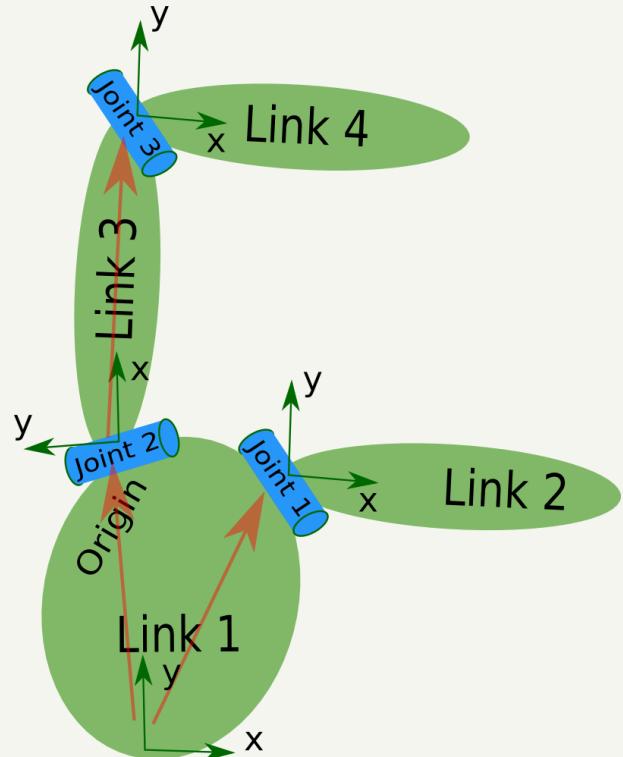
### 5-5 Air Formula 數位孿生系統 - 描述機器人機構

URDF (Unified Robot Description Format)，統一機器人描述格式，使用XML格式描述機器人的元素，為ROS中所使用的標準機器人描述文件。

利用URDF描述機器人，描述檔案主要架構如下：

- Robot
  - Link：描述桿件
    - Inertial：定義物理特性
      - Origin：描述質心位置
      - Mass：描述質量
      - Inertia：描述轉動慣量
    - Visual：定義視覺外觀
  - Joint：描述接頭
    - Origin：描述質心位置
    - Parent：描述父桿件
    - Child：描述子桿件
    - Axis：描述接頭軸向
  - Plugin：宣告使用的控制外掛

\*附錄1) URDF描述檔的原始碼



# Digital Twins 數位孿生系統

## 5-6 AIR FORMULA 數位 孿生系統 - 描述競賽場地

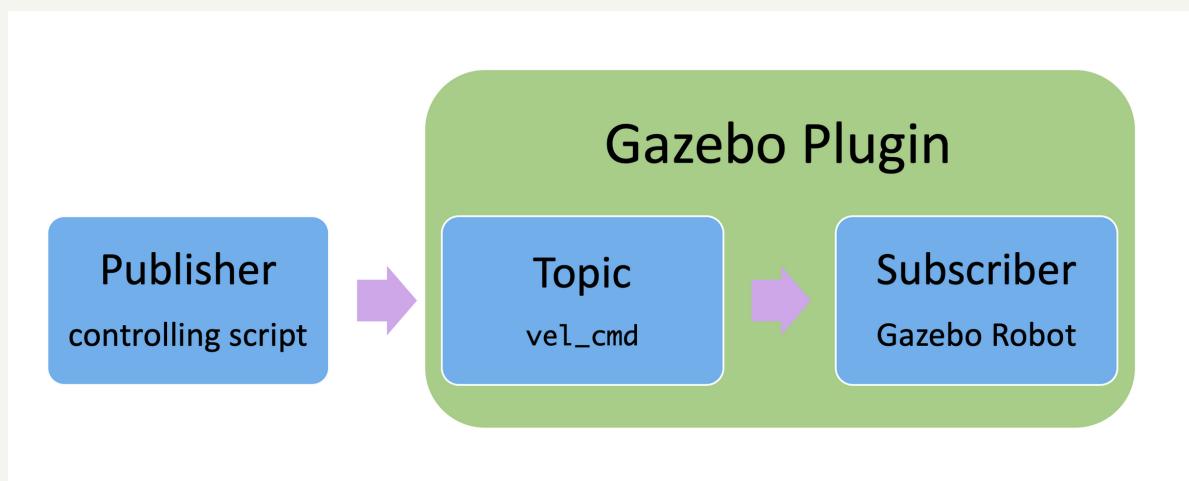
與描述機器人機構般如法炮製，但這次定義的屬性為Model。可利用Gazebo內建的製圖工具描繪出基本的場地幾何形狀。最後，輸出保存了場地資訊的SDF(Simulation Description Format)文件。

## 5-7 AIR FORMULA 數位 孿生系統 - 讓車子動起來

要讓Gazebo內模擬的物體受到控制需要利用Plugin，且透過ROS來進行指令的傳遞。ROS使用了Real-Time Publisher-Subscriber Protocol的Peer-to-Peer網絡傳輸協議。基本的架構包括Node、Message以及Topic。如下圖所示，Message會隨著箭頭由Publisher流向Topic最後至Subscriber。其中，Publisher和Subscriber都為ROS系統中的Node；而Topic則是連接Publisher和Subscriber的訊息橋樑。

我們於Gazebo Plugin內完成Topic以及Subscriber的實作，可以讓Plugin自Publisher接受到Message之後，統整訊息內容直接傳送給Gazebo內部的機器人使其依據指令作動。

\*附錄2) Gazebo Plugin的程式碼



# Digital Twins 數位孿生系統

其中，最為上層的Controlling Script為控制整體車子的指令來源。在此使用Python來實作。其功能為將轉向角度與輪子前進速度打包成Message，傳入Topic中。

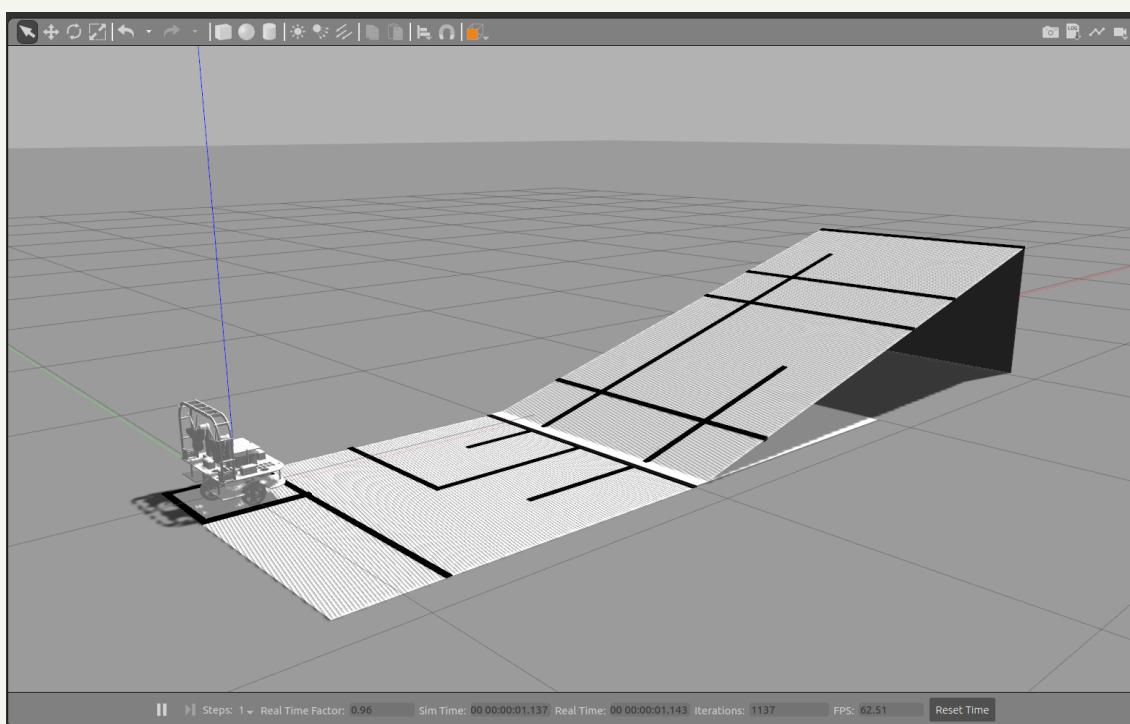
其中，控制四個輪子的轉向角度與實際中使用伺服馬達具有等價的控制效果。本次實作以控制輪子的前進速度，而不是透過控制施加在車體上的力，主要是因為關於車體的相關數據不足，包括關鍵的車體重量與輪胎及場地的摩擦係數等等。而選用控制車體前進速度可以帶來額外的優點，此舉可以模擬本組使用光柵輪後的控制結果。透過每60Hz的時間為單位累加計算所走時間，可類比於相同背景條件下的所走距離。此計數控制的模擬方法非常類似本組以光柵輪計數決定輸出作動的解決方案，故此模擬具有相當程度的擬真效果。

\*附錄3) Controlling Script的原始碼

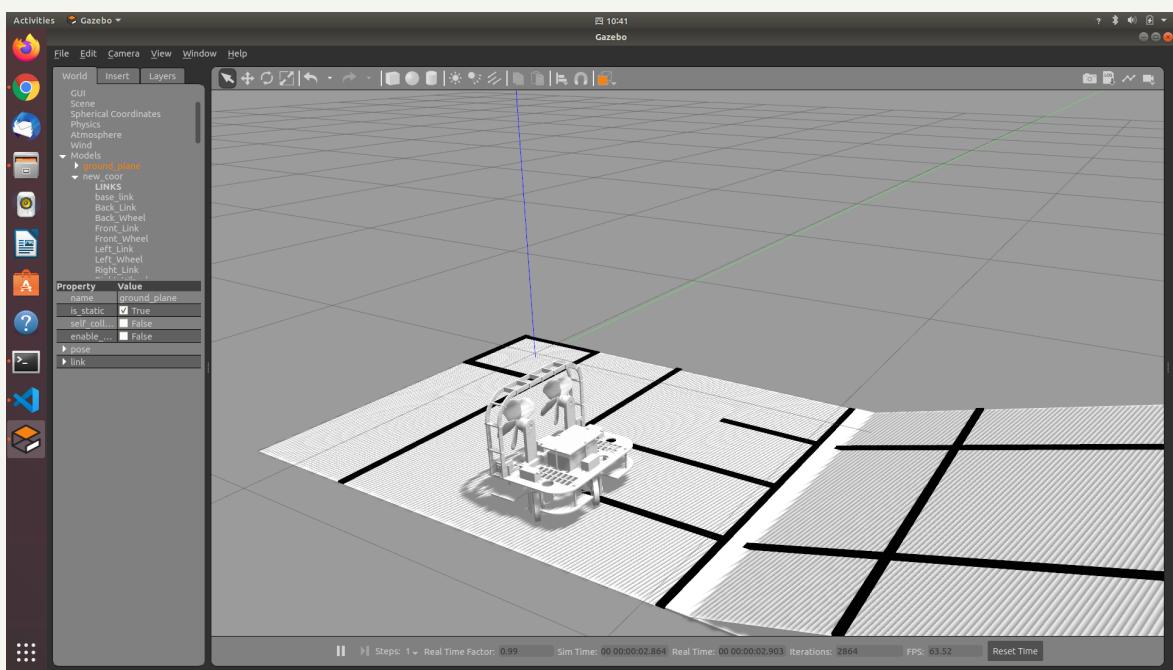
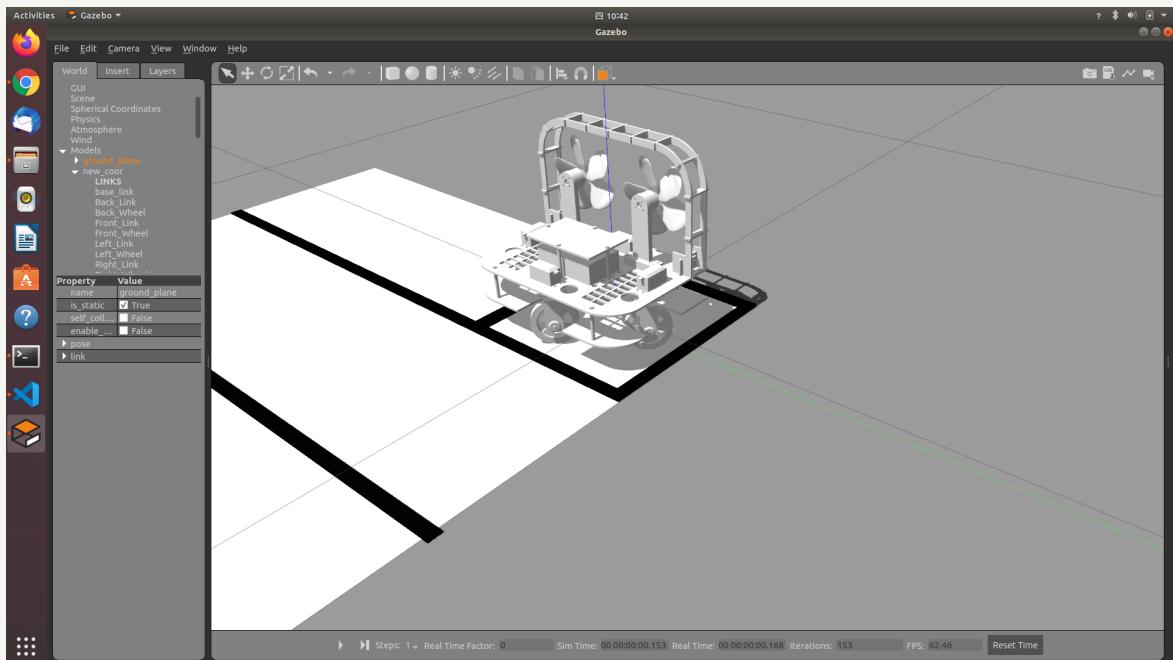
## 5-8 Air Formula 數位孿 生系統 - 模擬結果

利用上述的主要架構，以及整合其他Gazebo與ROS的相關套件。模擬順利的成功運作。可以完整地跑完整個賽道。

模擬成功畫面

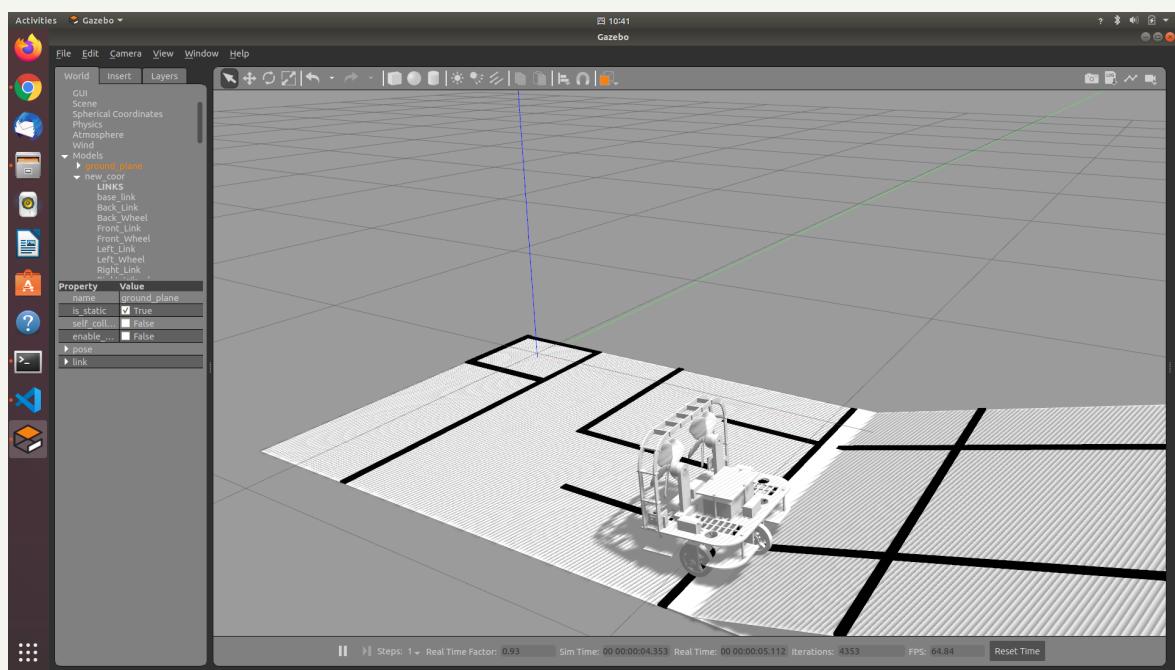
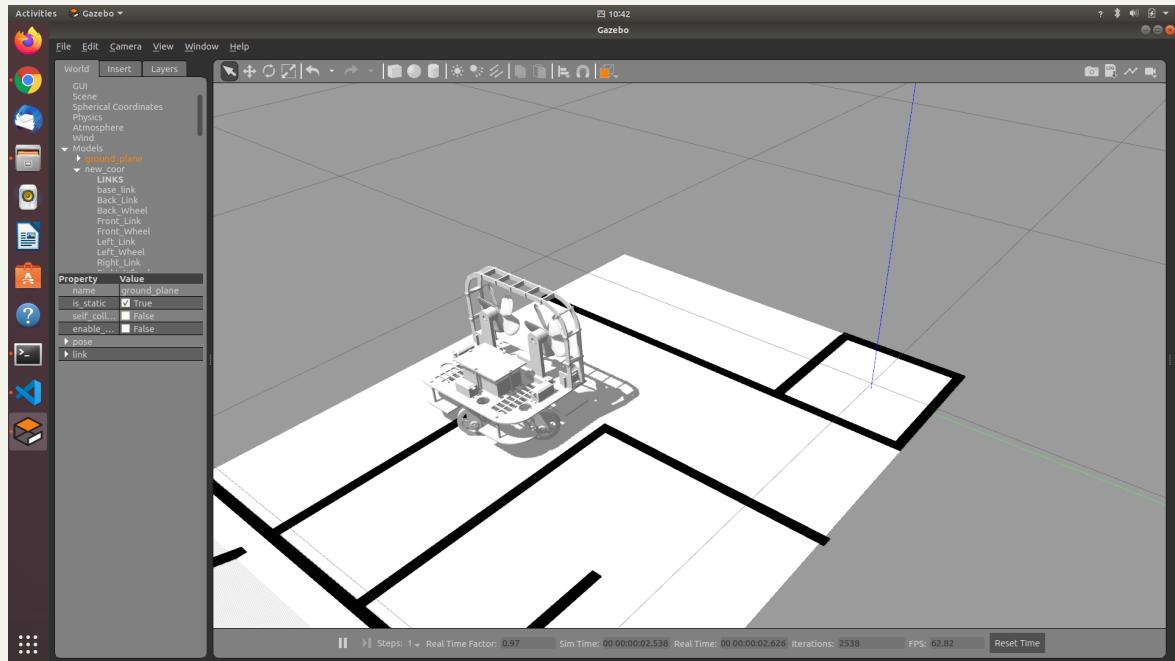


# Digital Twins 數位孿生系統



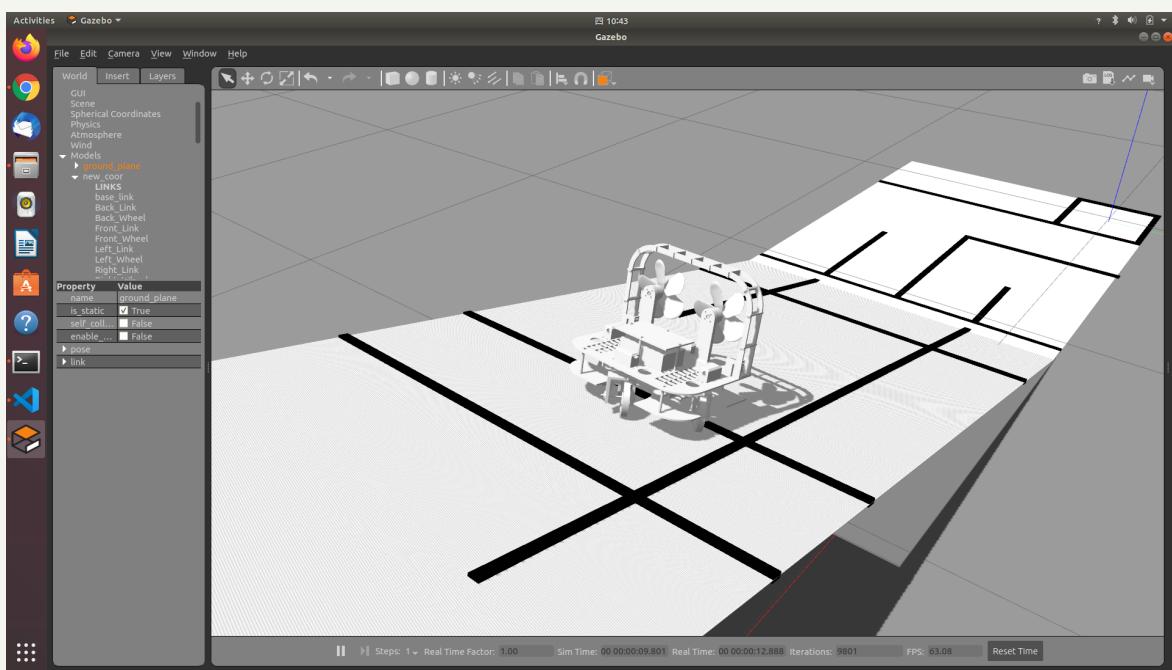
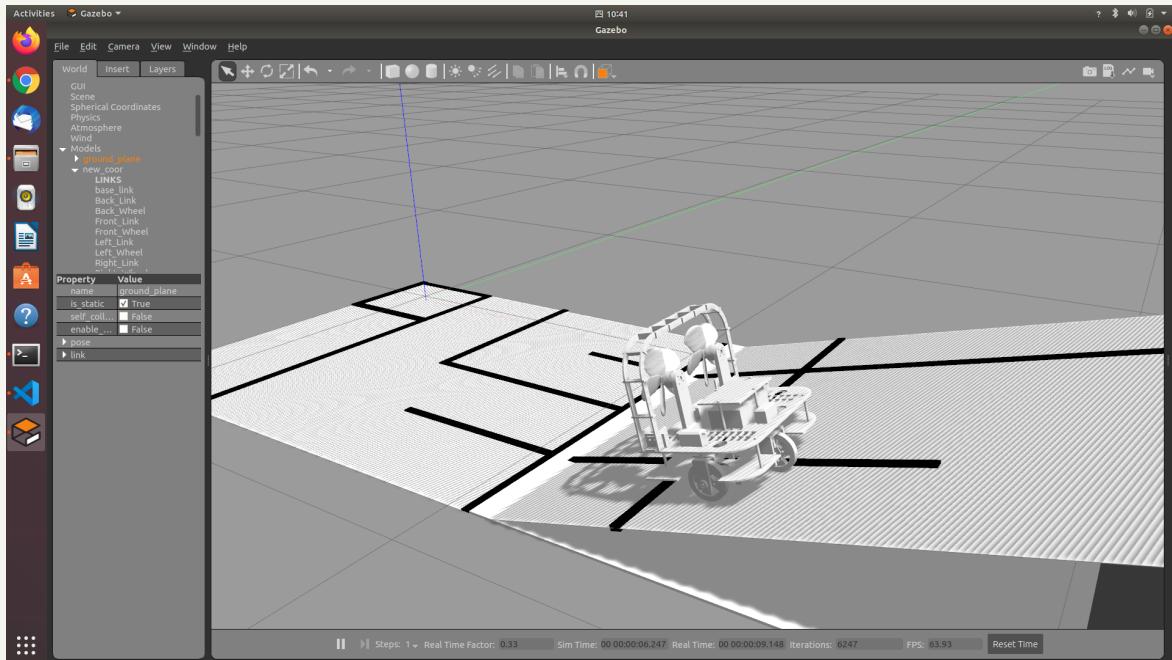
# Digital Twins

## 數位孿生系統



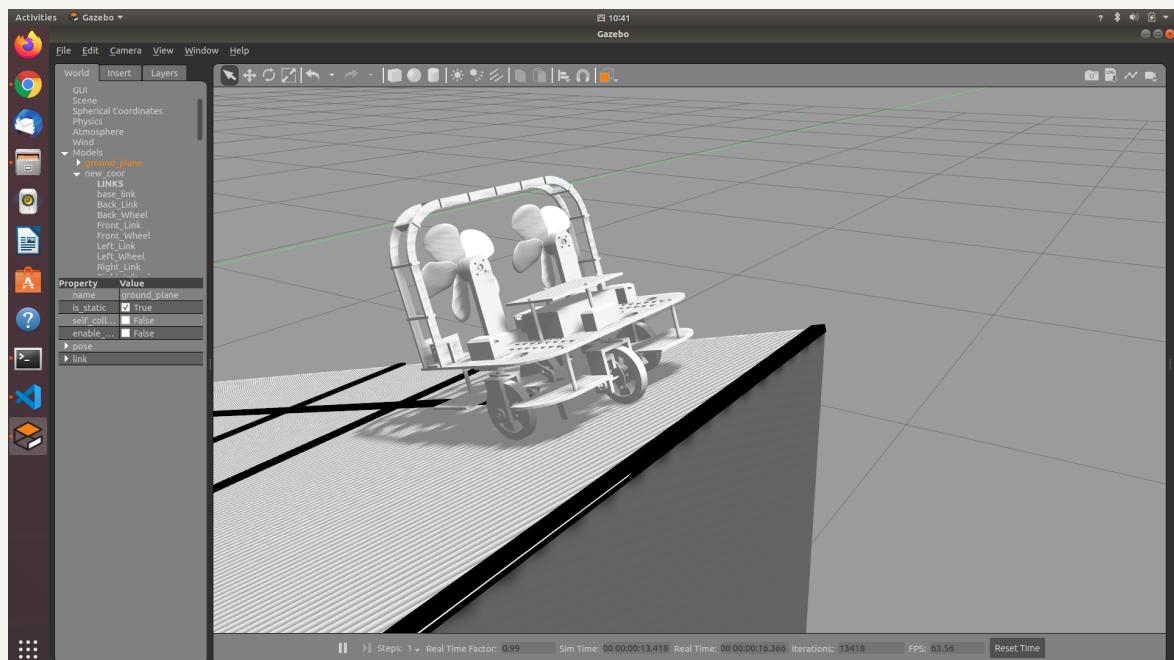
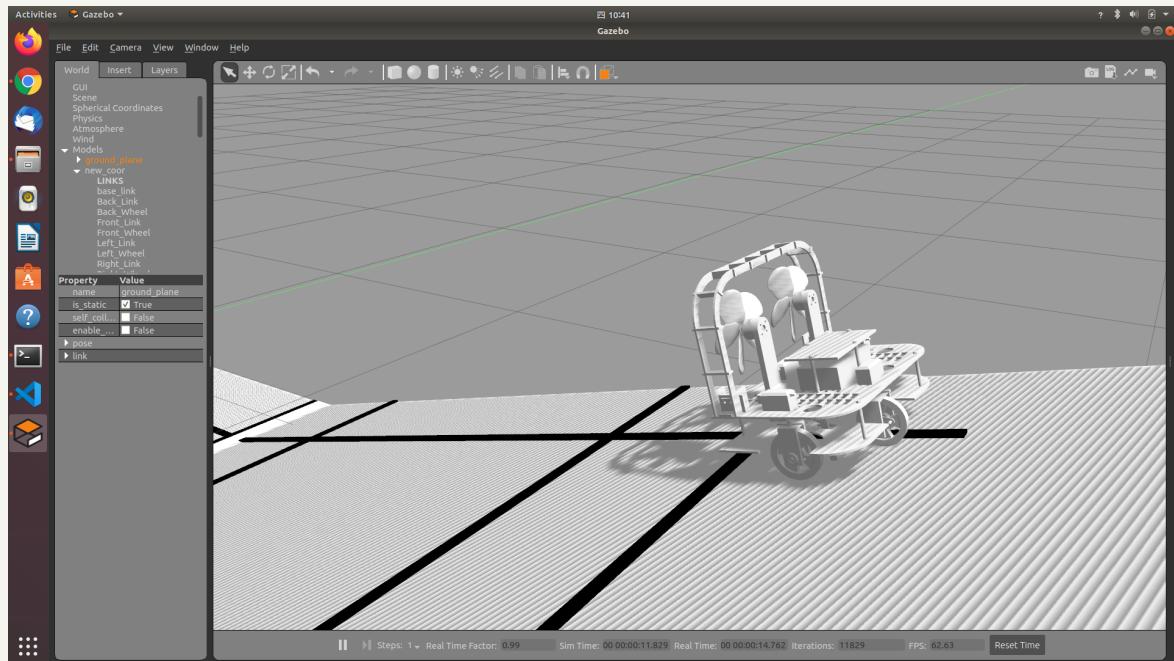
# Digital Twins

## 數位孿生系統



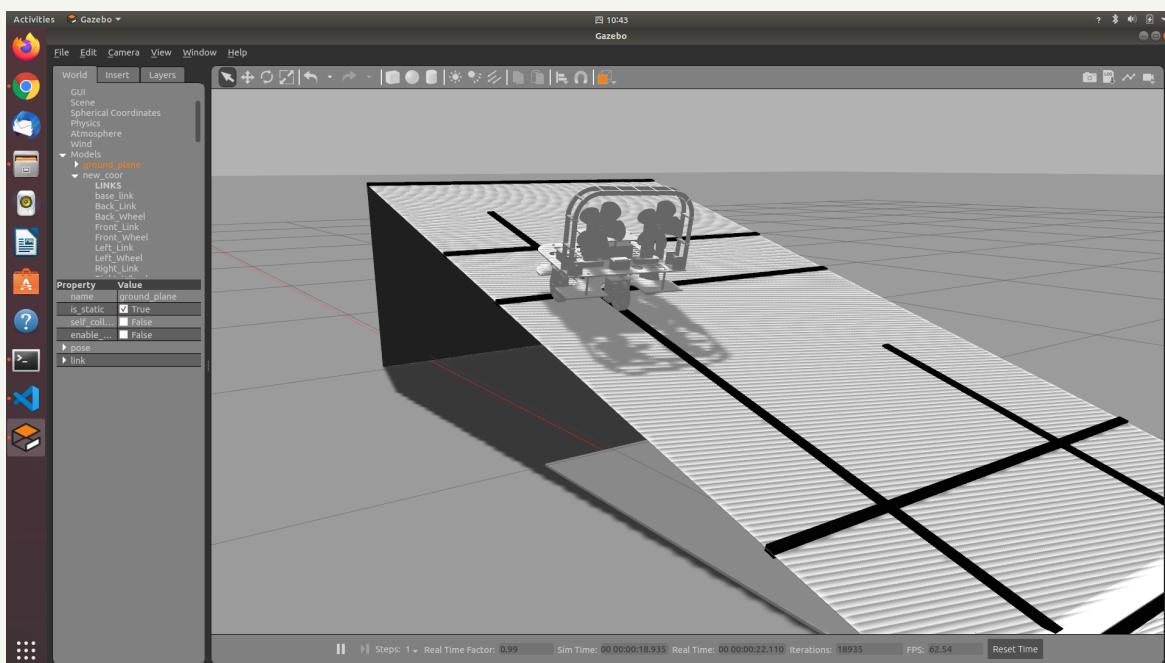
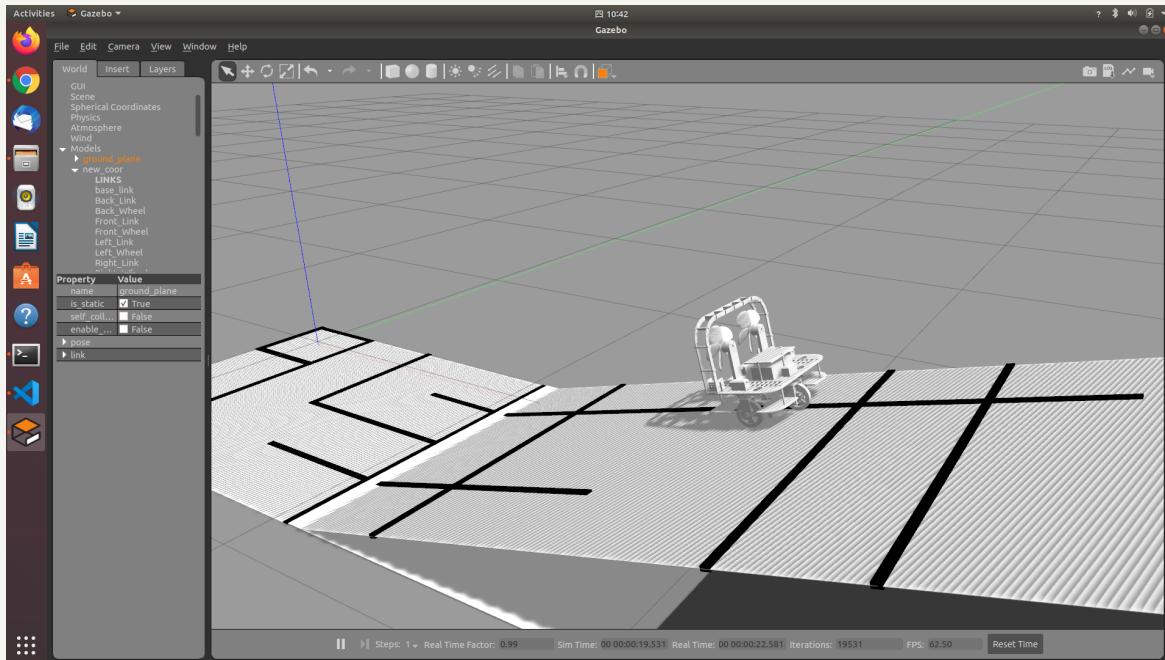
# Digital Twins

## 數位孿生系統

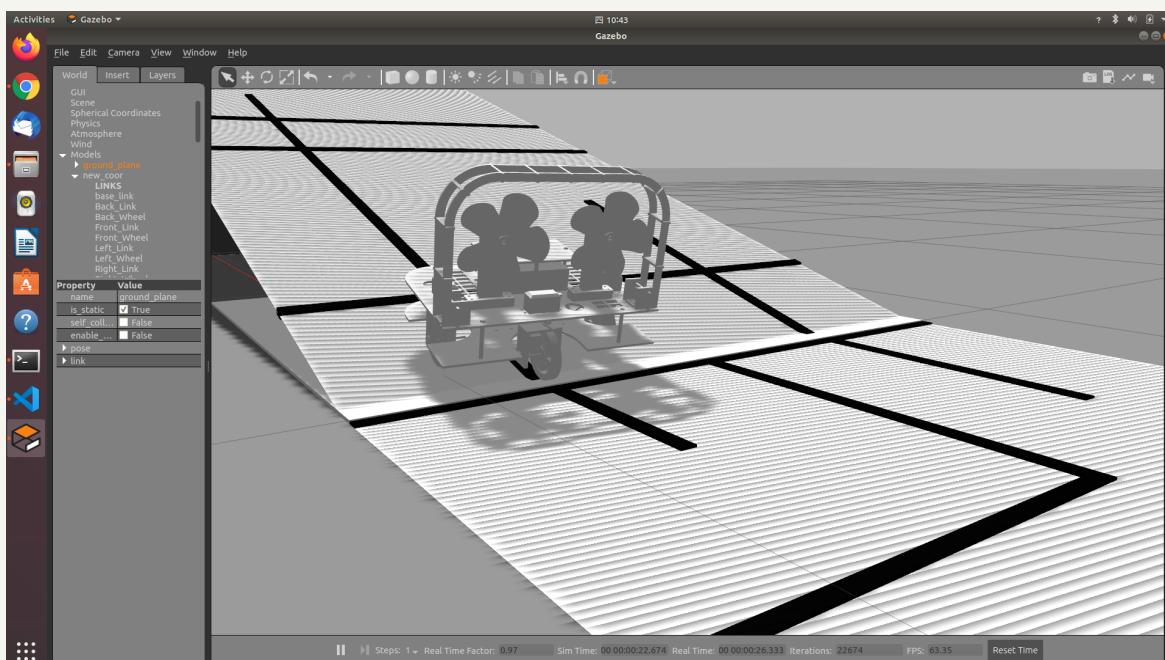
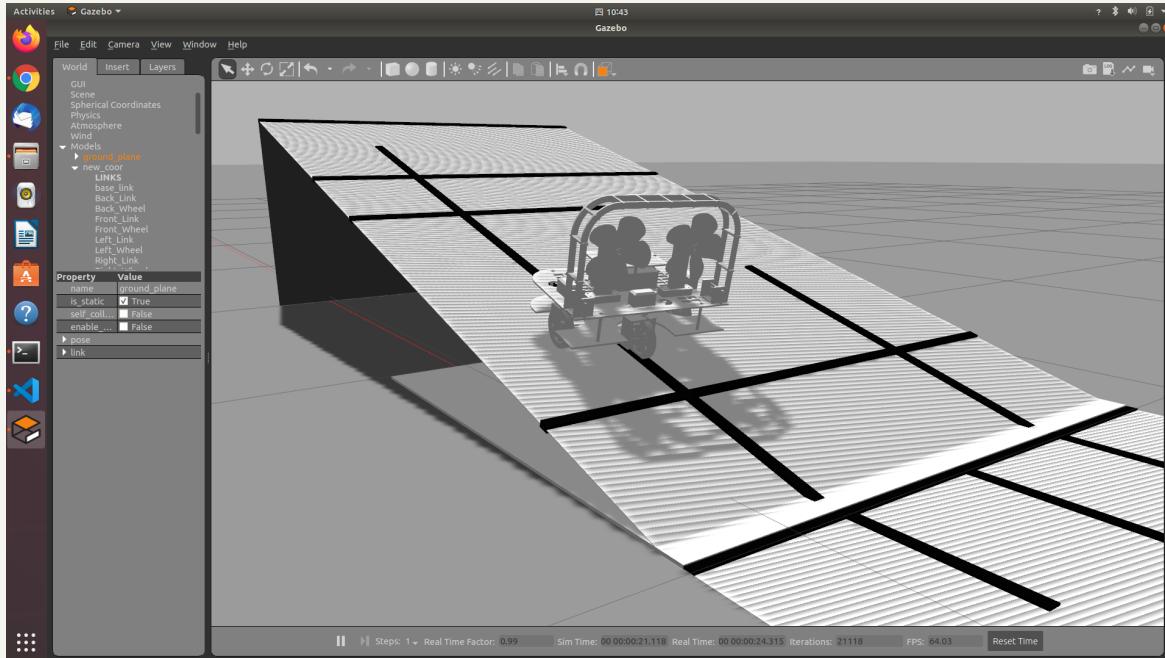


# Digital Twins

## 數位孿生系統

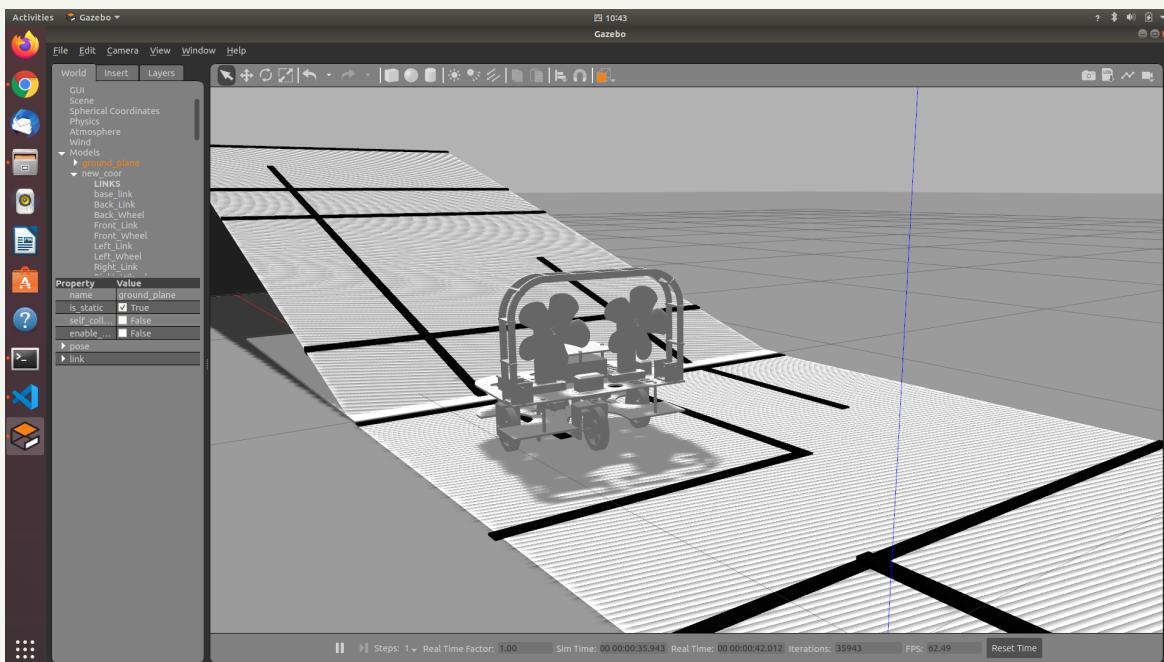
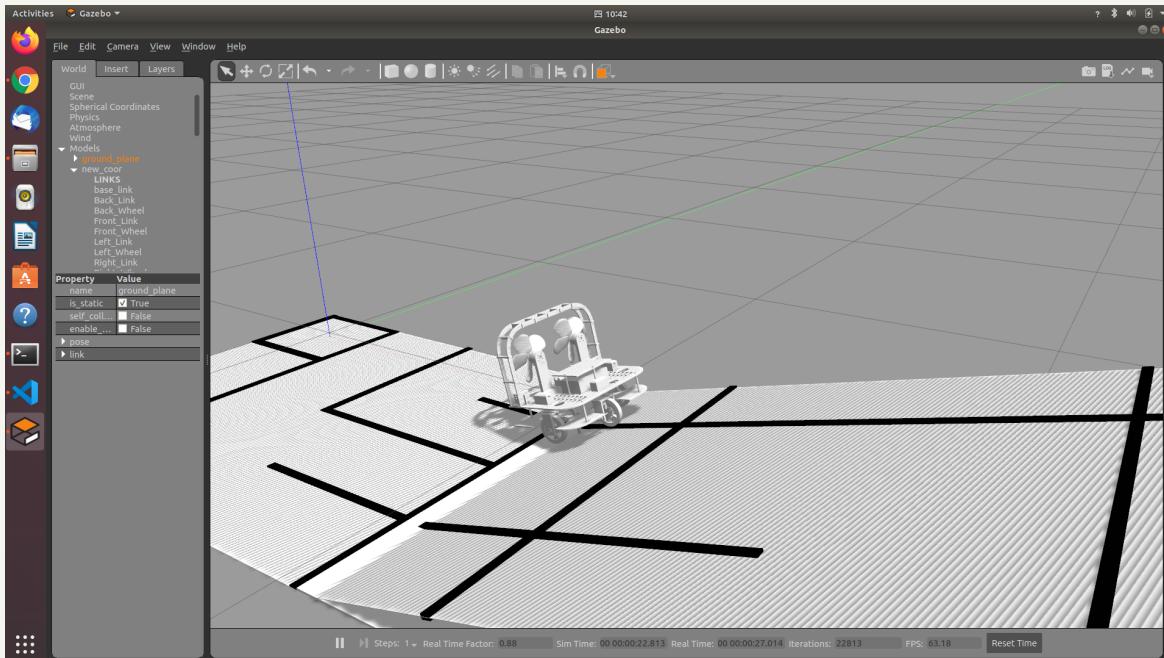


# Digital Twins 數位孿生系統



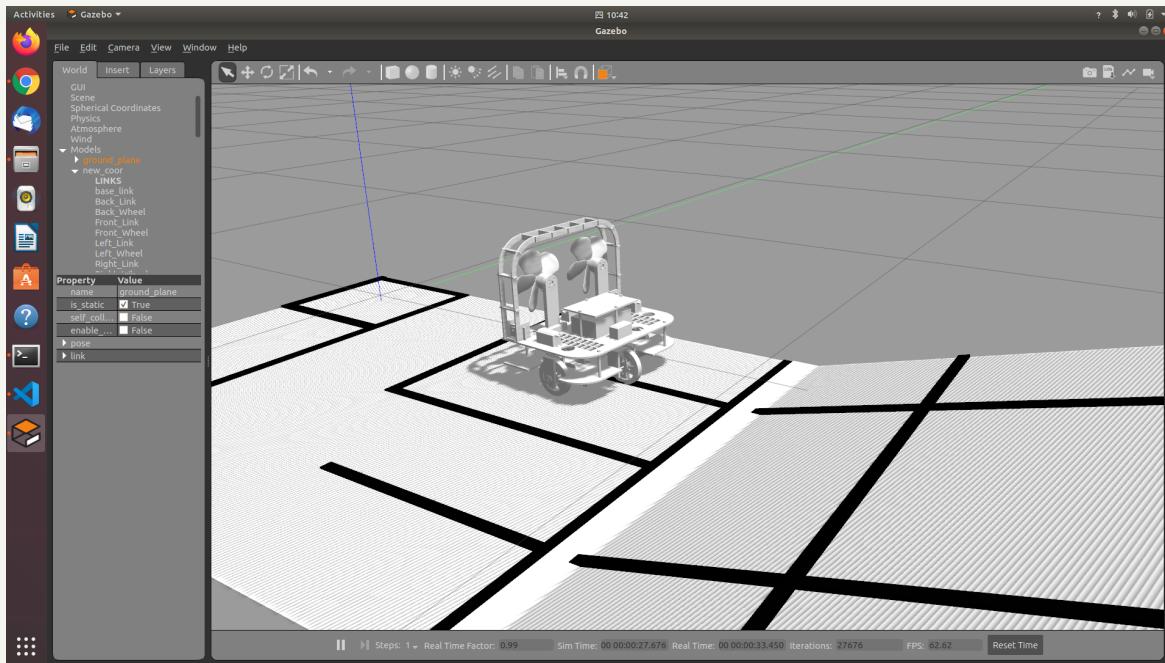
# Digital Twins

## 數位孿生系統



# Digital Twins

## 數位孿生系統



# Digital Twins 數位孿生系統

## 5-8-1 模擬所達成的成功設計更迭

在調整機器人動態時，發現車身的不平均質量分佈會使車身移動時逐漸得到一個 Yaw 軸向的角度偏移。這也是我們在疫情前試跑時所發現的問題之一。然而，我們卻無法精準的判斷此問題的產生原因，必須從機構、控制等等的層面，逐一的檢查，才能得出結果。

利用數位孿生系統，我們成功地重現此設計問題，並且精準的找出發生此問題的原因，減少許多研究錯誤所帶來的時間成本。即時更改設計，成功在模擬時避免此問題的發生。這也意味著，我們一步到位成功的修正此設計漏洞。利用了數位孿生系統，避免了多次修改所造成的效果。

我們期望數位孿生系統所帶來的「減少設計變更的打樣成本，降低時間與金錢成本」的應用效益，在此實務中完美的應證。

## 5-8-2 未來展望

這次應用數位孿生的契機下，我們體會到了數位孿生的強大，以及其應用所能夠帶來的無限應用。我們也確信，當數位孿生系統的孿生程度更加相仿時，能夠更加精準的模擬實際的現象。因此，如果有機會能具體測量所有零件的物理參數，以及進行實驗來得到相關動態的參數，此模擬系統將會更加的完善。在完成所有結構的搭建之後，便能將相關的感測器加入模擬，並且模擬出環境光源、背景雜訊等等的實際現象。數位孿生是一套可以無線趨近現實的模擬系統，當我們模擬的越加仿真，也代表我們越加的掌握關於車體與環境的細節，更能夠實際上保證我們成功的順利完成比賽。

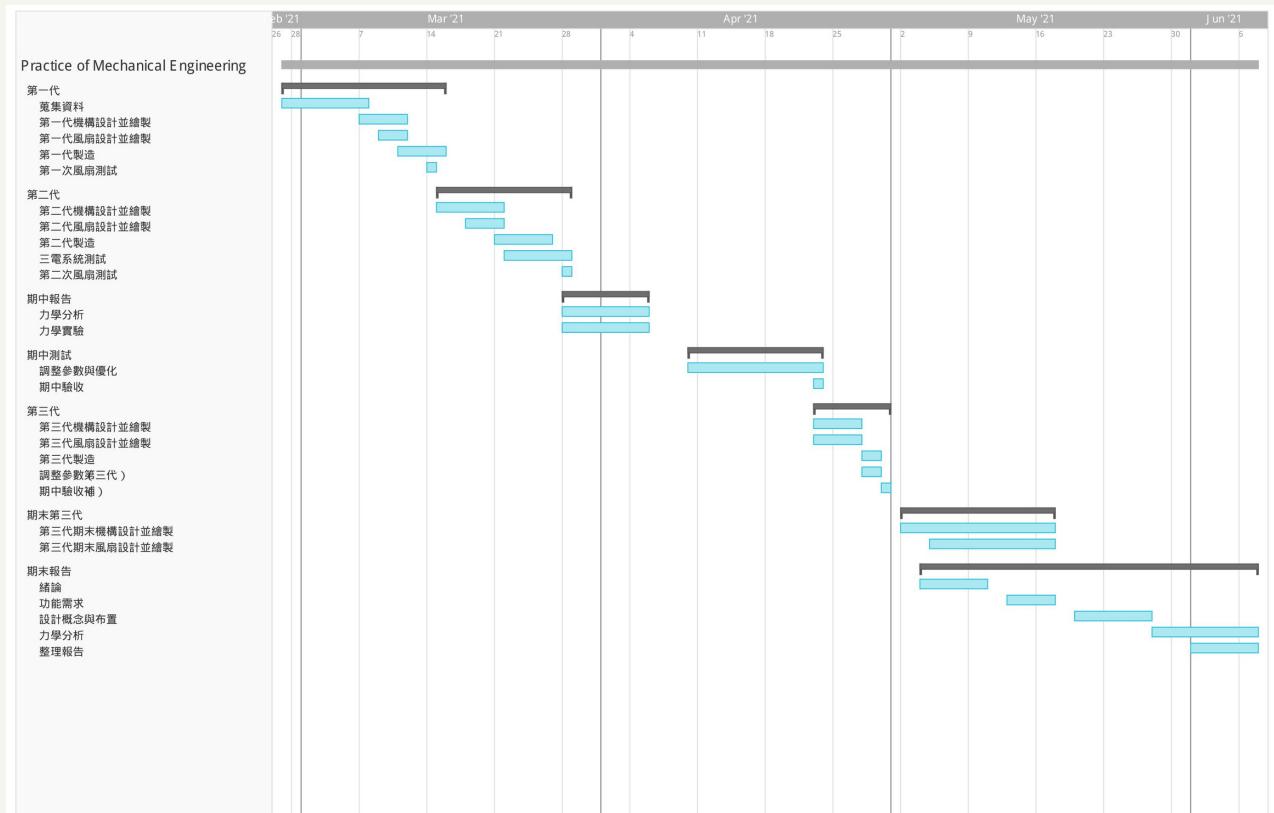
## 5-9 結論

本章節闡述了Digital Twins數位孿生所能夠在工程實務中所能帶來的效益。接著，研究了數位孿生對於機械工程實務Air Formula所帶來的應用，並實際的以實作付諸行動，將Air Formula的數位孿生成功地打造出來。利用數位孿生系統，成功地發現了設計問題，並且找出對應的解決方案。在過程中，我們也意外的收穫了關於ROS及Gazebo的寶貴實作經驗。更是在疫情的阻擋之下，讓辛苦設計的風動車成功的在賽道上奔馳。疫情澆不息我們對於風動車機械工程實務的熱情！

# 工作進度與分工

109年度 第2學期

## 甘特圖



## 會議記錄

\*附錄4) 會議記錄

## 評分標準

1. 工作效率與品質 40%
2. 觀點與創意發想 30%
3. 蘆清問題的能力 30%

# 課程回饋

## 心得

陳子鈞

B07502076

在進機械系前就耳聞大三的機械工程實務，在大一大二時也看著學長姐為了這門課忙的焦頭爛額、沒日沒夜。因此在進入大三前我已經能想像到大三會多麼辛苦，但我並沒有完全做好心理準備。

從上學期的機械設計原理開始，必修課不僅僅只是講述理論或做做實驗，開始要學著自己去摸索那些課堂上並未教授的東西。對於沒有實作經驗的我來說無疑是一到大坎。剛開始的我真的一點點概念都沒有，靠著有經驗的組員一步一步建立起了基礎概念，中間或多或少都拖慢了整個團隊的腳步，但我總歸是在上學期的機械設計原理中學到了許多關於實務的經驗。

下學期在面對這門課程之前，即便做了心理準備還是對未來感到十分的恐懼及迷茫。雖然有了基礎觀念，但由於課程難度比上學期高了幾個層次，因此好像又不那麼有用，因此還是跟著有大量經驗的組員學習居多。畢竟有了上學期的經驗，也為了不讓工作量擠在期中期末前後，本組從第二週便開始著手車子的設計，一週甚至固定約了三天的晚上來做車子。

一開始我們的效率說實在不是很好，而且會變成好像一週已經約三天做車子了，所以回家不會想要做事，都要帶過去永齡大家一起完成。除此之外我們採用的修正方法雖然看似效率很高(一出錯馬上改圖重新製造)，但實際上是製造的時間成本有點大，光是一個3D列印件可能就要卡掉一天，密集板重切加組裝一個晚上頂多做兩次就沒時間了。針對這點我認為應該要在製造之前就由全員審核過把可能的問題都確定移除之後再來製造或許會更有效率一點。

再來是經過這堂課後學到的東西，對於我來說當然學到很多知識包涵電、零件採買以及部分設計，也學到了團隊合作的模式，但學到最多的應該還是在甚麼都不知道的情況如何著手進行的能力。

# 課程回饋

## 心得

一般知識不用說，非常多都是靠著組員的經驗，在此也謝謝組員們的帶領。而團隊合作的部分，我們這組非常幸運的是大家合作的算是愉快，沒有甚麼爭執，但一個手斷掉一腳斷掉一個全身痠痛有時候真的會遇到許多困難。最後是摸索的能力，這門課或許想培養我們這方面的能力，但真的真的太辛苦。大家當然會互相交流，也會互相分享許多經驗，但有些事情沒有經歷過是真的很難有這方面的知識，就比如期中發生的那起意外，說實話當初也只有我們的組員雲鴻有跟他們說可能會有問題，其他像我一樣的一般人基本上只會認為是電池沒充飽。當然這沒辦法完全避免，也沒辦法期望教授們能夠預想到，但我想或許可以有學長姊的實作經驗分享，畢竟有些經驗是不會寫在過去的報告裡的。

再來必須提到的是運氣問題。本組的運氣極其差，差到非常不可思議的地步。從上學期的機械設計原理開始我們的車子每逢上場必出事，明明練習到確認每次都沒問題，但還是必在上場時出意外，甚至不知道能不能稱作意外。上學期的撞球車因為三顆MG996R在上場操作到一半時便有兩顆故障(新買的)，因此拿到了極低的成績；這學期期中測試時上場前雖然沒有預想會到100分(實際練習每次只測到70~90分)，但最後因為一些從沒發生過的機構問題而只有15分，我不認為場上的五分鐘足以校正這種突發狀況；第二次期中測試前為了預防出現第一次的狀況，我們在測試到確認連續三次都能滿分之後，我們便放入袋子再也沒動過，直到測試才取出進行測試。然而一上場就不會動，一步也不會動，後來發現是同時有兩條線掉下去，最後補測前明明成功驅動了，上場又出了意想不到的問題又無法行進。我認為這並不是一個單單的穩定性不足能帶過的事，這已經超出了我們預想的範圍，在組員精神已瀕臨崩潰的狀況下遇到這種事我想換作是誰都無法釋懷的。我們真的把期中的成績寄予影片，我想教授們應該也有看到我們的努力，還請斟酌給我們至少8成的分數。

最後我想感謝組員們、教授及助教們。謝謝組員在我甚麼都不會的時候帶領我，在我手骨折的時候為我著想讓我做一些比較不需要用到手的事。也謝謝大家願意好好的一起為這門課努力，不管我們的運氣有多差，每次都毫不放棄的想要做到最好。這學期辛苦大家犧牲了許多睡眠及讀書時間來修習這門課，希望大家都能獲益良多。

謝謝教授及助教們願意花時間來開設這門課，雖然我們因為常常遇到很多不可理喻的事情而向您們求助，但您們總是願意以理性的態度來解決問題及協助我們，希望這門課之後能越來越受同學們喜愛。

# 課程回饋

心得

花雲鴻

B07502045

機械工程實務是我從入學以來就覺得非常新鮮有趣的課程之一。對於動手實作非常感興趣的我，除了曾經加入臺大賽車隊進行三電系統的研發，更參加了無人飛行機的創思設計競賽，目前也是實作中心的管理人員。每一項和機械相關的實作機會都深深的吸引著我。在大三前，每次聽聞學長姊們分享關於機械工常實務的點點滴滴，都會讓我迫不及待的期待自己也能成為這一堂課的一份子。

正也是因為這份對於實作的熱忱，我在學期初找到了和我一樣同樣具有熱忱的好朋友們一起組隊來修習這一堂課。雖然，我的好朋友們並非全然和我一樣都擁有如此多的參賽經歷以及實務經驗，但是，他們卻和我一樣擁有一顆對於實作感到非常有熱忱的心靈。從學期初分完組，還記得我們從零開始地討論著車體該如何設計、如何借鑑往年經驗使自己的設計更加優良。每個星期，我們平均討論了三次，大約花了十個小時以上的時間投入在這堂課。看著我的朋友們從對於如何正確使用許多手工具感到一竅不通，到現在已經可以獨立的拆裝整台車子；看著我的朋友從面對著一行又一行密密麻麻的程式碼感到害怕和恐懼，但現在已經能分析車輛動態來調整控制參數。我很慶幸，也很感動。我找到了這堂課更加深層的意涵。所謂機械工程實務，不只是在課程，在現實中，也是個講求團隊合作的行動。看著組員們和自己的成長，我更加深刻的理解到，曾經的我，參加比賽只是集合原本各自都很有能力的人來完成一件事情；而機械工程實務讓我看到，如何讓原本對於實作一竅不通的人，開始找到熱情，燃燒一切的學習與奮鬥，最後享受成長的過程。

我們這組的熱情也深刻體現在期中測試上，當發現我們的車子無法順利的完成的測試，我們一部分的人開始研究為何會發生如此預期之外的結果，另一部分的人便開始研究如何解決先前既有的小瑕疵，快速進行設計迭代。期中測試結果非常出乎意料，與自行測試時的高分大相逕庭。我們使用了摩擦力與測試場地稍有不同的場地來自行進行測試。我們設計的連桿機構在面對不同場地時，會具有極度不同的反應與表現。因此，當我們發現了這個問題之後，立刻的修正，也順利的產出了下一個版本的車子。這些事情就發生在短短的不到一個星期的時間之內，我們對於追求車子能夠順利的拿到一百分具有非常強烈的熱情，也非常心甘情願地投入大量的時間來成就這一切。在第二次期中測試的前夕，我們理所當然的熬著夜的不停的測試著漸趨完美的車子。然而，就在這個令人感到興奮與期待的時刻。我們的車子在一次的測試中發生意外從實作中心的測試場地中摔落，並且摔斷了我們的葉片。組員們非常的生氣且難過。約莫在半夜兩點時摔斷葉片，要於測試前產出一個可以使用的槳葉，並且有足夠的時間在規定場地中重新針對該槳葉進行全套的測試，幾乎是不可能的。我們的期中測試成績也因此非常的不理想。

# 課程回饋

## 心得

儘管如此，到了期末，我們依舊非常努力地完善著期末報告。面對疫情，我們依舊希望看到我們的氣動車能夠如願於期末賽道上奔馳。因此，我們運用了數位孿生系統於虛擬之中實現我們的願望。我也很開心有這個特殊的契機能夠讓我有對於ROS和其他虛擬環境的實戰經驗，算是修習機械工程實務的意外收穫！

最後，感謝每個組員的盡心付出。儘管我們不停地面對困難與挫折；儘管子鈞手上包裹著石膏，而無法靈活的利用雙手，甚至忍著痛拆裝著風動車，實在是令人感到相當心疼；儘管以忻因行動不方便而較難出席，依舊努力嘗試著付出心力。也非常感謝老師們一直以來的指導。先前和老師交談後得知其面對這堂課所遭遇的各種困難我也非常的諒解。很開心有機會修習這堂機械工程實務，讓大家有機會聚在這裡。我想，我此生會永遠記得這堂曾經讓我連續三天沒有好好睡覺的必修課。

# 課程回饋

心得

柯以忻

B07502093

我們在這堂課上所碰到的問題大多都是在計畫進行到一半時才出現的，因此雖然在學期初的時候能夠按照進度或者超前進度的進行整台氣動車的製作，到在接近期中測試時仍然是忙的焦頭爛額，甚至到了正式上場前一個禮拜又決定先放棄之前的成果重新製作一台新的氣動車，在那段日子我們所有的組員都可以說是過得十分煎熬。

雖然重新製作一台新的氣動車確實讓情況改善了不少，但是就算如此，在第二次正式測試那天新的氣動車竟然又出現了前一個禮拜的測試中都不會出現的問題，組員們的精神都幾乎瀕臨崩潰。萬幸的是測試當天早上我們自己進行測試時候成功達成期中要求的影片有留存下來並讓教授看過，教授應該也能諒解在正式上場前一直都能順利驅動的氣動車在上場後卻突然一步都走不了的荒謬意外。

另外，我也對我的組員們感到非常的抱歉，在期中測試前兩個禮拜左右，因為我的疏於注意而讓自己的腳受了傷，到必須打石膏、拄柺杖才能走路的程度，因為行動不便以及必須時常回診，我在那段期間內過得十分辛苦，也因此降低了在永齡開會時的出席率。由於必須回醫院照X光、拆裝石膏，我甚至沒有辦法出席第一次的期中測試，看著組員們戰戰兢兢的討論著測試前的最後修改，我卻必須在醫院裡乾坐著什麼事都做不了，真的十分無助。

到了期末，因為疫情的關係使的期末測試無法順利進行而是改為書面報告的方式，這讓原本計畫在期末扳回一城拉高分數的我們十分錯愕，但為了防疫我們也接受了這個結果並盡力完善期末報告，希望能拿到一個不愧對於所付出努力的成績。

最後還是必須感謝教授與同組的組員們，大家為了這門課都付出了難以想像的心力、時間與金錢，即使上半學期在這門課上走得十分坎坷，我們也一起堅持到了最後並拿出了成果。教授與助教們也提供了我們非常多的幫助，連在半夜時教授都願意寫信回覆我們的問題，助教們也在搭建場地、確認規則上下了很大的功夫，感謝大家的付出。

# 課程回饋

## 心得

### 盧演整

B07502139

上完三年級第一學期參與的"機械設計"課程後，以爲第二學期參與的"機械工程實務"項目也差不多。也曾聽學長姐說過，這是機械工程系課程中最需要熬夜的課程之一。其實從開始之前開始就非常擔心。我當時就想，還有其他系訂選修課程也需要很多時間讀書，怎麼可能將心力都只集中於這門課程呢？

開學後的第一堂課就分5人1組。很榮幸能和現在的組員一起合作，仔細想想，我們這組的合作得很好。如此互相很好地引導，沒有出現過一次的意見衝突，因此我們團隊合作真的很好。我們組在第一個星期就和組員討論怎麼分工。剛開始以爲進度很快，但結果完全不是這樣。不管怎麼說，因爲無法保證親自製造車的情形下一次性成功，所以需要嘗試各種方法，也需要花費很長時間。

製造車模具有兩種。起初嘗試"阿克曼"，但第一次期中測試時，由於沒有像我們想象的那樣發揮效用，所以成績不佳。爲了進行第二次期中測試，我們從一開始重新造車，爲了方便組裝和方便驅動，沒有使用"ACKER 方向盤"，只是用伺服馬達調節輪子的角度來運轉，用編碼器代替紅外線感應器，在幾發痕處旋轉。新造的車可以在一週內快速製造並組裝好，在期中評價前夕，每組之間進行測試時，不僅能成功啓動，前後方向的直線行駛也能在短時間內完成。但是在正式期中測試時，也沒有像我們預想的那樣啓動，連直線行駛區間都沒能走好。起初認爲這個問題可能是光柵或輪子的問題，後來認爲可能是電池的問題。

我們兩次期中測試的成績都不佳，本想在期末更加努力地製作，但沒想到臺灣疫情加重，沒辦法再繼續團隊項目。我馬上回到韓國，和組員孩子們視頻通話，準備剩下的期末報告。不管怎麼說，期末評價都沒能完成課程，心裏非常遺憾。直到永齡關門的前一天，大家都在認真討論和組裝，但就這樣泡湯了，心裏沒有滿足感，只要有機會，就想重新製造。

感謝至今爲止帶領這個隊的我們的組員，花雲鴻，陳子鈞，周佑綸，柯以忻，感謝你們爲我最後3年級的團隊項目留下了美好的回憶。

# 課程回饋

心得

周佑綸

B07502075

我認為機械工程實務對我來說，是一堂很喜歡、卻也很討厭的課，用這樣矛盾的形容應該最適合不過了吧，從每個禮拜都花三天開會、到測試前沒辦法完美的跑完一次、晚上在永齡拼命加工，最後卻還是沒能得到理想的成績，我想，這門課或許是想告訴我們，努力不一定會獲得好結果吧。

一直以來我都會認為我們這一組超級認真，每個禮拜的討論時間都比其他組久，但最後的結果卻總是狠狠地賞了我一巴掌，剛上學期的機械設計原理一樣，只是這此和些微不一樣的人一起承受失敗，我不確定是不是我們努力錯了方向，但總會覺得很不甘心，也因此會想放更多的心力將這僅僅兩學分的必修做得更好，不過越是在意這門課，卻也使得花在其他必修上的時間越來越少，最後適得其反，兩敗俱傷。

在設計的過程中的確是很快樂的，但也覺得自己很累，不過想著有跟自己一樣熬夜研究氣動車的組員，感覺心情就好了不少，我認為組員跟上學期不同對同學來說，是一個很好的磨練，需要練習怎麼樣與不同的隊友合作，以及如何適應自己在團隊中角色的變換，例如上學期設計的部分主要是由另一位組員負責，而這學期則換到我來擔任這個角色，因此感覺自己也學會了不少東西，再來是我認為比較辛苦的點是，在可能有組員與自己努力的目標不一樣的時候，會有種少了一些動力的感覺，也因此可以跟自己朝著共同目標努力的組員是相當難能可貴的，很慶幸這學期同組的大家，都在自己擅長的部份為專題貢獻一份心力。

最後，在疫情下，三下的後半學期機械工程實務淪為機械工程報告，而因為本組於期中測試失利，也只能選擇報告占總成績50%的高風險配分，我認為這也算是相當不公平的一點吧，在期中測試上已經花了很多時間卻沒得到理想的成績，迫於無奈而要在期末報告上花更多的努力，來去彌補期中測試的失分，這豈不是相當不合理的一件事嗎？就好像是上學期的機械設計原理對我來說，就是實作+原理考試課一樣，我認為這兩樣東西就好像沒有完全地融合在一起一樣，有種各自為政的感覺，是我覺得相當可惜的地方，我認為這種原理課可以考慮往大一大二移，這樣大三才能專心在設計課上發揮，而非需要同時兼顧考試、以及實作，我認為這兩樣東西是乘法而非加法，可以讓原本僅有兩、三學分的課，對於學生造成十學分的負擔。

# 附錄 1

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<robot
  name="new_coor">
  <gazebo>
    <plugin name="set_vel" filename="libset_vel.so">
      <robotNamespace>/</robotNamespace>
    </plugin>
  </gazebo>
  <link
    name="base_link">
    <inertial>
      <origin
        xyz="-0.014847 -0.00021051 -0.020131"
        rpy="0 0 0" />
      <mass
        value="0.3" />
      <inertia
        ixx="0.28304"
        ixy="-1.3759E-03"
        ixz="-6.9648E-05"
        iyy="0.12574"
        iyz="-1.9336E-07"
        izz="0.34073" />
    </inertial>
    <visual>
      <origin
        xyz="0 0 0"
        rpy="0 0 0" />
      <geometry>
        <mesh
          filename="package://new_coor/meshes/base_link.STL" />
      </geometry>
    </visual>
    <collision>
      <origin
        xyz="0 0 0"
        rpy="0 0 0" />
      <geometry>
        <mesh
          filename="package://new_coor/meshes/base_link.STL" />
      </geometry>
      <surface>
        <friction>
          <ode>
            <mu>1000.0</mu>
            <mu2>1000.0</mu2>
          </ode>
        </friction>
        <contact>
          <ode>
            <min_depth>0.00000001</min_depth>
          </ode>
        </contact>
      </surface>
    </collision>
  </link>
```

# 附錄 1

```
<link
  name="Front_Link">
  <inertial>
    <origin
      xyz="0.01115 -0.019338 0.0006916"
      rpy="0 0 0" />
    <mass
      value="0.02" />
    <inertia
      ixx="5.5221E-06"
      ixy="-1.0068E-07"
      ixz="-6.1545E-08"
      iyy="8.254E-06"
      iyz="-1.0956E-07"
      izz="1.1677E-05" />
  </inertial>
  <visual>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Front_Link.STL" />
    </geometry>
  </visual>
  <collision>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Front_Link.STL" />
    </geometry>
    <surface>
      <friction>
        <ode>
          <mu>1000.0</mu>
          <mu2>1000.0</mu2>
        </ode>
      </friction>
      <contact>
        <ode>
          <min_depth>0.00000001</min_depth>
        </ode>
      </contact>
    </surface>
  </collision>
</link>
```

# 附錄 1

```
<joint
  name="Front_Steer"
  type="continuous">
  <origin
    xyz="0.07 0.00084995 0.0188"
    rpy="-1.5708 0 1.5708" />
  <parent
    link="base_link" />
  <child
    link="Front_Link" />
  <axis
    xyz="0 1 0" />
  <dynamics friction="100000"/>
</joint>
<link
  name="Front_Wheel">
  <inertial>
    <origin
      xyz="-6.3559E-09 -0.00018087 -1.2083E-08"
      rpy="0 0 0" />
    <mass
      value="0.03" />
    <inertia
      ixx="1.0277E-02"
      ixy="-1.7672E-10"
      ixz="-1.7255E-05"
      iyy="2.011E-02"
      iyz="-2.2583E-10"
      izz="1.0316E-02" />
  </inertial>
  <visual>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Front_Wheel.STL" />
    </geometry>
  </visual>
  <collision>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Front_Wheel.STL" />
```

# 附錄 1

```
</geometry>
    <surface>
        <friction>
            <ode>
                <mu>1000.0</mu>
                <mu2>1000.0</mu2>
            </ode>
        </friction>
        <contact>
            <ode>
                <min_depth>0.00000001</min_depth>
            </ode>
        </contact>
    </surface>
</collision>
</link>
<joint
    name="Front_Rev"
    type="continuous">
    <origin
        xyz="0 -0.041 0"
        rpy="3.1416 0 -1.5708" />
    <parent
        link="Front_Link" />
    <child
        link="Front_Wheel" />
    <axis
        xyz="0 1 0" />
</joint>
<link
    name="Back_Link">
    <inertial>
        <origin
            xyz="-0.01115 -0.019338 -0.0006916"
            rpy="0 0 0" />
        <mass
            value="0.02" />
        <inertia
            ixx="5.5221E-06"
            ixy="-1.0068E-07"
            ixz="-6.1545E-08"
            iyy="8.254E-06"
            iyz="-1.0956E-07"
            izz="1.1677E-05" />
    </inertial>
    <visual>
        <origin
            xyz="0 0 0"
            rpy="0 0 0" />
        <geometry>
```

# 附錄 1



```
<mesh
    filename="package://new_coor/meshes/Back_Link.STL" />
    </geometry>
</visual>
<collision>
    <origin
xyz="0 0 0"
rpy="0 0 0" />
    <geometry>
        <mesh
filename="package://new_coor/meshes/Back_Link.STL" />
        </geometry>
    <surface>
        <friction>
            <ode>
                <mu>1000.0</mu>
                <mu2>1000.0</mu2>
            </ode>
        </friction>
        <contact>
            <ode>
                <min_depth>0.0000001</min_depth>
            </ode>
        </contact>
    </surface>
</collision>
</link>
<joint
name="Back_Steer"
type="continuous">
    <origin
xyz="-0.07 -0.00085005 0.0188"
rpy="-1.5708 0 1.5708" />
    <parent
link="base_link" />
    <child
link="Back_Link" />
    <axis
xyz="0 1 0" />
    <dynamics friction="100000"/>
</joint>
<link
name="Back_Wheel">
    <inertial>
        <origin
xyz="1.1653E-08 0.00018087 7.1123E-09"
rpy="0 0 0" />
        <mass
value="0.03" />
        <inertia
ixx="1.0277E-02"
ixy="-1.7672E-10"
ixz="-1.7255E-05"
iyy="2.011E-02"
iyz="-2.2583E-10"
izz="1.0316E-02" />
    </inertial>
</link>
```

# 附錄 1

```
</inertial>
    <visual>
        <origin
            xyz="0 0 0"
            rpy="0 0 0" />
        <geometry>
            <mesh
                filename="package://new_coor/meshes/Back_Wheel.STL" />
            </geometry>
        </visual>
        <collision>
            <origin
                xyz="0 0 0"
                rpy="0 0 0" />
            <geometry>
                <mesh
                    filename="package://new_coor/meshes/Back_Wheel.STL" />
                </geometry>
            <surface>
                <friction>
                    <ode>
                        <mu>1000.0</mu>
                        <mu2>1000.0</mu2>
                    </ode>
                </friction>
                <contact>
                    <ode>
                        <min_depth>0.00000001</min_depth>
                    </ode>
                </contact>
            </surface>
        </collision>
    </link>
    <joint
        name="Back_Rev"
        type="continuous">
        <origin
            xyz="0 -0.041 0"
            rpy="3.1416 0 -1.5708" />
        <parent
            link="Back_Link" />
        <child
            link="Back_Wheel" />
        <axis
            xyz="0 1 0" />
```

# 附錄 1

```
● ● ●  
</joint>  
  <link  
    name="Left_Link">  
    <inertial>  
      <origin  
        xyz="0.00020377 -0.022463 7.8611E-08"  
        rpy="0 0 0" />  
      <mass  
        value="0.02" />  
      <inertia  
        ixx="5.5221E-06"  
        ixy="-1.0068E-07"  
        ixz="-6.1545E-08"  
        iyy="8.254E-06"  
        iyz="-1.0956E-07"  
        izz="1.1677E-05" />  
    </inertial>  
    <visual>  
      <origin  
        xyz="0 0 0"  
        rpy="0 0 0" />  
      <geometry>  
        <mesh  
          filename="package://new_coor/meshes/Left_Link.STL" />  
        </geometry>  
    </visual>  
    <collision>  
      <origin  
        xyz="0 0 0"  
        rpy="0 0 0" />  
      <geometry>  
        <mesh  
          filename="package://new_coor/meshes/Left_Link.STL" />  
        </geometry>  
      <surface>  
        <friction>  
          <ode>  
            <mu>1000.0</mu>  
            <mu2>1000.0</mu2>  
          </ode>  
        </friction>  
        <contact>  
          <ode>  
            <min_depth>0.0000001</min_depth>  
          </ode>  
        </contact>  
      </surface>  
    </collision>
```

# 附錄 1

```
</link>
<joint
  name="Left_Steer"
  type="continuous">
  <origin
    xyz="0 -0.115 0.0188"
    rpy="-1.5708 0 1.5708" />
  <parent
    link="base_link" />
  <child
    link="Left_Link" />
  <axis
    xyz="0 1 0" />
  <dynamics friction="100000"/>
</joint>
<link
  name="Left_Wheel">
  <inertial>
    <origin
      xyz="-6.0743E-09 0.0058191 6.3034E-08"
      rpy="0 0 0" />
    <mass
      value="0.03" />
    <inertia
      ixx="1.0277E-02"
      ixy="-1.7672E-10"
      ixz="-1.7255E-05"
      iyy="2.011E-02"
      iyz="-2.2583E-10"
      izz="1.0316E-02" />
  </inertial>
  <visual>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Left_Wheel.STL" />
    </geometry>
  </visual>
  <collision>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Left_Wheel.STL" />
```

# 附錄 1

```
</geometry>
    <surface>
        <friction>
            <ode>
                <mu>1000.0</mu>
                <mu2>1000.0</mu2>
            </ode>
        </friction>
        <contact>
            <ode>
                <min_depth>0.00000001</min_depth>
            </ode>
        </contact>
    </surface>
</collision>
</link>
<joint
name="Left_Rev"
type="continuous">
    <origin
xyz="0.006 -0.041 0"
rpy="-3.1416 0 -1.5708" />
    <parent
link="Left_Link" />
    <child
link="Left_Wheel" />
    <axis
xyz="0 1 0" />
</joint>
<link
name="Right_Link">
    <inertial>
        <origin
xyz="-0.00020377 -0.022463 -1.2751E-07"
rpy="0 0 0" />
        <mass
value="0.02" />
        <inertia
ixx="5.5221E-06"
ixy="-1.0068E-07"
ixz="-6.1545E-08"
iyy="8.254E-06"
iyz="-1.0956E-07"
izz="1.1677E-05" />
    </inertial>
    <visual>
        <origin
xyz="0 0 0"
rpy="0 0 0" />
        <geometry>
            <mesh
filename="package://new_coor/meshes/Right_Link.STL" />
```

# 附錄 1

```
</geometry>
  </visual>
  <collision>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Right_Link.STL" />
    </geometry>
    <surface>
      <friction>
        <ode>
          <mu>1000.0</mu>
          <mu2>1000.0</mu2>
        </ode>
      </friction>
      <contact>
        <ode>
          <min_depth>0.00000001</min_depth>
        </ode>
      </contact>
    </surface>
  </collision>
</link>
<joint
  name="Right_Steer"
  type="continuous">
  <origin
    xyz="0 0.115 0.0188"
    rpy="-1.5708 0 1.5708" />
  <parent
    link="base_link" />
  <child
    link="Right_Link" />
  <axis
    xyz="0 1 0" />
  <dynamics friction="100000"/>
</joint>
<link
  name="Right_Wheel">
  <inertial>
    <origin
      xyz="1.0092E-08 0.00018087 6.0002E-08"
      rpy="0 0 0" />
    <mass
      value="0.03" />
    <inertia
      ixx="1.0277E-02"
      ixy="-1.7672E-10"
      ixz="-1.7255E-05"
      iyy="2.011E-02"
      iyz="-2.2583E-10"
      izz="1.0316E-02" />
  </inertial>
</link>
```

# 附錄 1

```
● ● ●

</inertial>
  <visual>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Right_Wheel.STL" />
    </geometry>
  </visual>
  <collision>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://new_coor/meshes/Right_Wheel.STL" />
    </geometry>
    <surface>
      <friction>
        <ode>
          <mu>1000.0</mu>
          <mu2>1000.0</mu2>
        </ode>
      </friction>
      <contact>
        <ode>
          <min_depth>0.00000001</min_depth>
        </ode>
      </contact>
    </surface>
  </collision>
</link>
<joint
  name="Right_Rev"
  type="continuous">
  <origin
    xyz="0 -0.041 0"
    rpy="-3.1416 0 -1.5708" />
  <parent
    link="Right_Link" />
  <child
    link="Right_Wheel" />
  <axis
    xyz="0 1 0" />
</joint>
</robot>
```

## 附錄 2

```
● ● ●

#include <cmath>
#include <functional>
#include <gazebo/common/common.hh>
#include <gazebo/gazebo.hh>
#include <gazebo/gazebo_client.hh>
#include <gazebo/msgss/msgss.hh>
#include <gazebo/physics/physics.hh>
#include <gazebo/transport/transport.hh>
#include <string>
#include <thread>
#include <vector>

#include "ros/callback_queue.h"
#include "ros/ros.h"
#include "ros/subscribe_options.h"
#include "std_msgs/Float64MultiArray.h"
#include "std_msgs/String.h"

namespace gazebo
{
class RobotCarPlugin : public ModelPlugin
{
private:
    transport::SubscriberPtr wheelSubscriber;

    /// \brief A node use for ROS transport
private:
    std::unique_ptr<ros::NodeHandle> rosNode;

    /// \brief A ROS subscriber
private:
    ros::Subscriber rosSub;

    /// \brief A ROS callbackqueue that helps process messages
private:
    ros::CallbackQueue rosQueue;

    /// \brief A thread the keeps running the rosQueue
private:
    std::thread rosQueueThread;

public:
    void Load(physics::ModelPtr _model, sdf::ElementPtr /*_sdf*/)
    {
        this->model = _model;

        // Initialize ros, if it has not already bee initialized.
        if (!ros::isInitialized())
        {
            int argc = 0;
            char** argv = NULL;
            ros::init(argc, argv, "gazebo_client",
                      ros::init_options::NoSigintHandler);
        }

        // Create our ROS node. This acts in a similar manner to
        // the Gazebo node
        this->rosNode.reset(new ros::NodeHandle("gazebo_client"));
    }
}
```

## 附錄 2

```
● ● ●

// Create a named topic, and subscribe to it.
    ros::SubscribeOptions so =
        ros::SubscribeOptions::create<std_msgs::Float64MultiArray>(
            "/" + this->model->GetName() + "/vel_cmd", 1,
            boost::bind(&RobotCarPlugin::OnRosMsg, this, _1),
            ros::VoidPtr(), &this->rosQueue);

    this->rosSub = this->rosNode->subscribe(so);

// Spin up the queue helper thread.
this->rosQueueThread =
    std::thread(std::bind(&RobotCarPlugin::QueueThread, this));
}

public:
    void SetVelocity(const std::vector<double>& data)
    {
        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Front_Steer")
            ->SetPosition(0, data[0], false);
        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Back_Steer")
            ->SetPosition(0, data[0], false);
        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Left_Steer")
            ->SetPosition(0, data[0], false);
        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Right_Steer")
            ->SetPosition(0, data[0], false);

        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Front_Rev")
            ->SetVelocity(0, data[1]);
        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Back_Rev")
            ->SetVelocity(0, data[1]);
        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Left_Rev")
            ->SetVelocity(0, data[1]);
        this->model->GetJoint(this->model->GetName() + "::Right_Rev")
            ->SetVelocity(0, data[1]);
    }

public:
    void OnRosMsg(const std_msgs::Float64MultiArray::ConstPtr& _msg)
    {
        this->SetVelocity(_msg->data);
    }
```

## 附錄 2

```
// brief ROS helper function that processes messages
private:
    void QueueThread( )
    {
        static const double timeout = 0.01;
        while (this->rosNode->ok( ))
        {
            this->rosQueue.callAvailable(ros::WallDuration(timeout));
        }
    }

    // Pointer to the model
private:
    physics::ModelPtr model;

    // Pointer to the update event connection
private:
    event::ConnectionPtr updateConnection;
};

// Register this plugin with the simulator
GZ_REGISTER_MODEL_PLUGIN(RobotCarPlugin)
} // namespace gazebo
```

# 附錄 3

```
#!/usr/bin/env python3
from math import pi
import sys
import rospy
from std_msgs.msg import Float64MultiArray

if __name__ == "__main__":
    rospy.init_node('move_robot_car', anonymous=True)

    pub = rospy.Publisher("/new_coor/vel_cmd", Float64MultiArray,
    queue_size=10)
    rate = rospy.Rate(60)

    cnt = 0

    while not rospy.is_shutdown():
        cnt += 1
        if cnt < 180:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [-pi / 4.0, 10.0]
        elif cnt < 500:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [-0.0, 10.0]
        elif cnt < 650:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [pi / 4.0, 10.0]
        elif cnt < 655:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [0.0, 0.0]
        elif cnt < 780:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [0, 10.0]
        elif cnt < 1000:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [0.0, 0.0]
        elif cnt < 1450:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [0.0, -10.0]
        else:
            wheel_vels = Float64MultiArray()
            wheel_vels.data = [0.0, 0.0]

        try:
            pub.publish(wheel_vels)
            rate.sleep()

        except Exception as e:
            cnt = 0
            continue
```

## 附錄 4

會議時間	2021/2/27	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：

本次會議目標：分工

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	分工
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 分工 (車體, 風扇, 控制)</li><li>- 查資料</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 車體: 周, 盧</li><li>- 風扇: 陳, 花</li><li>- 控制: 柯</li></ul>

下次會議時間：3/1

---

會議時間	2021/3/1	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：分工

本次會議目標：開始畫圖

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	開始畫圖
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 參考B06學長畫的車體</li><li>- 開始畫圖, 調整尺寸</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- Inventor 組裝</li><li>- 雷切車體</li></ul>

下次會議時間：3/7

---

會議時間	2021/3/7	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：開始畫圖

本次會議目標：第一代機構設計並繪製

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	第一代機構設計並繪製
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 改一些尺寸</li> <li>- 組裝</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 繼續調整尺寸</li> </ul>

下次會議時間：3/8

---

會議時間	2021/3/8	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：第一代機構設計並繪製

本次會議目標：第一代風扇設計並繪製

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	第一代風扇設計並繪製
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 設計風扇</li> <li>- 計算參數 (angle of attack, drag/lift forces, etc.)</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 下一次討論時，開始組裝</li> </ul>

下次會議時間：3/11

---

會議時間	2021/3/11	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子	請假成員	

	鈞		
--	---	--	--

上次會議追蹤事項：第一代風扇設計並繪製

本次會議目標：第一代製造（1）

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	第一代製造（1）
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 組裝所有的零件</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 有一些需要改尺寸</li> <li>- 風扇要變小</li> </ul>

下次會議時間：3/14

---

會議時間	2021/3/14	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：第一代製造（1）

本次會議目標：第一代製造（2）

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	第一代製造（2）
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 組裝新的零件</li> <li>- 第一次風扇測試</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 開始畫第二代車</li> </ul>

下次會議時間：3/15

---

會議時間	2021/3/15	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：第一代製造（2）

本次會議目標：第二代機構設計並繪製

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	第二代機構設計並繪製
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 補充第一代車的缺點 = 第二代車</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 開始畫第二代車</li> </ul>

下次會議時間：3/18

---

會議時間	2021/3/18	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：第二代機構設計並繪製

本次會議目標：第二代風扇設計並繪製

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	第二代風扇設計並繪製
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 第二代風扇設計並計算參數</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 柯： 第二代風扇設計并計算參數</li> <li>- 花： 控制Arduino</li> </ul>

下次會議時間：3/21

---

會議時間	2021/3/21	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：第二代風扇設計並繪製

本次會議目標：第二代製造

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	第二代製造
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 第二代車組裝</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 該有錯尺寸的零件</li> <li>- 繼續組裝</li> <li>- 三電系統測試</li> </ul>

後續行動：

臨時動議：

下次會議時間：3/28

會議時間	2021/3/28	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：第二代製造

本次會議目標：第二次風扇測試

會議流程節點與時間：6：30PM

流程 A	第二次風扇測試
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 第二代風扇測試</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 期中診斷會用第二代風扇</li><li>- 開始寫報告</li></ul>

下次會議時間：4/2

會議時間	2021/4/2	會議地點	線上
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：第二次風扇測試

本次會議目標：期中報告分工

會議流程節點與時間：10：00AM

流程 A	報告分工
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 報告內容分工</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 花：設計分析與驗證</li><li>- 周：設計分析與驗證，工程圖</li><li>- 陳：緒論，設計概念與布置</li><li>- 柯：功能需求</li><li>- 盧：工作進度與分工，未來目標，排版</li></ul>

下次會議時間：2021/4/5

---

會議時間	2021/4/5	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：期中報告分工

本次會議目標：組裝第一代車，完成期中報告

會議流程節點與時間：1: 30PM

流程A	組裝第一代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 組完第一代車</li><li>- 測試第一代車</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 花：設計分析與驗證</li><li>- 周：設計分析與驗證，工程圖</li><li>- 陳：緒論，設計概念與布置</li><li>- 柯：功能需求</li><li>- 盧：工作進度與分工，排版</li><li>- 所有的組員：課程回饋</li></ul>

流程B	完成期中報告
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 完成所有內容的報告跟排版</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 補充設計分析與驗證</li><li>- 畫工程圖</li></ul>

下次會議時間：2021/4/8

---

會議時間	2021/4/8	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：組裝第一代車，完成期中報告

本次會議目標：完成期中報告

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	完成期中報告
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 完成期中報告與上傳</li> <li>- 排版報告</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4/9 打印報告交助教室</li> <li>- 填完期中測試時段</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/12

---

會議時間	2021/4/12	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：完成期中報告

本次會議目標：組完第一代車

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	組完第一代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 組裝新的風環</li> <li>- 確認需要補充的零件</li> <li>- 測風扇</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 需要買紅外線感測器（4個），螺絲（M4x60 &amp; M3x18）</li> <li>- 重新印阿克曼零件</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/15

---

會議時間	2021/4/15	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	柯以忻

上次會議追蹤事項：組完第一代車

本次會議目標：組完第一代車

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	組完第一代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 雷切紅外線固定板</li> <li>- 編碼系統（控制）</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4/16 在永齡繼續做組裝</li> <li>- 組3D列印的零件時，用墊片</li> <li>- 啓動紅外線感測器</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/16

---

會議時間	2021/4/16	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	柯以忻

上次會議追蹤事項：組完第一代車

本次會議目標：啓動紅外線感測器

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	啓動紅外線感測器
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 啓動紅外線感測器（1/10 懷）</li> <li>- 整理線</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 啓動第一代車</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/18

---

會議時間	2021/4/18	會議地點	永齡
出席成員	周佑綸，柯以忻，陳子鈞	請假成員	盧演整，花雲鴻

上次會議追蹤事項：啓動紅外線感測器

本次會議目標：啓動第一代車

會議流程節點與時間：1:30PM

流程 A	啓動第一代車
------	--------

討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 把一個壞掉的紅外線感測器換新的</li> <li>- 開始列印第三代風扇</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 風扇啓動的聲音超大</li> <li>● 改阿克曼角度跟尺寸</li> <li>● 找老師進行期中診斷</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/19

---

會議時間	2021/4/19	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：啓動第一代車

本次會議目標：調整阿克曼控制參數

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	調整阿克曼控制參數
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 調整阿克曼控制參數：1st turn, 2nd turn, 直走的阿克曼（馬達）角度</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 繼續調參數</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/20

---

會議時間	2021/4/20	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：調整阿克曼控制參數

本次會議目標：補充老師的feedback

會議流程節點與時間：10: 00PM

流程 A	補充老師的期中診斷
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 找老師討論期中診斷</li> <li>- 繼續調整阿克曼的轉向角度跟速度</li> <li>- 組新的阿克曼零件</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 一個馬達動不了</li> <li>● 反轉瑰麗不夠</li> <li>● 做第二代車：雷切（上/下地板，風環，風環扣鍵，下風環扣鍵）</li> <li>● esp32 要換種寫法</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/21

---

會議時間	2021/4/21	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：補充老師的期中診斷

本次會議目標：重新做一台車-第二代

會議流程節點與時間：6：30PM

流程 A	重新做一台車-第二代
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 組玩第二代車</li> <li>- 寫完esp32code</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 重新調整阿克曼角度跟速度</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/22

---

會議時間	2021/4/22	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	柯以忻

上次會議追蹤事項：重新做一台車-第二代

本次會議目標：準備期中測試

會議流程節點與時間：2：30PM

流程 A	準備期中測試
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 調阿克曼角度跟風扇的速度</li> <li>- 寫BOM</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 充完電池</li> <li>● 測試前上傳好code</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/23

---

會議時間	2021/4/23	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	柯以忻

上次會議追蹤事項：準備期中測試

本次會議目標：討論第二代車的問題，做新的第三代車

會議流程節點與時間：3: 00PM

流程 A	討論第二代車的問題，做新的第三代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 期中測試（15分）：車只能轉到第一循跡線</li> <li>- 先不使用阿克曼</li> <li>- 第三代車：帶光柵，兩個風扇</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設計第三代車</li> <li>● 重新畫風扇（小一點）</li> <li>● 買小輪子，牛眼</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/24

---

會議時間	2021/4/24	會議地點	永齡
出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：討論第二代車的問題，做新的第三代車

本次會議目標：確認零件的尺寸

會議流程節點與時間：4: 30PM

流程 A	確認零件的尺寸
------	---------

討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 先祖車輪跟光柵，看尺寸要不要改</li> <li>- 討論要帶幾個車輪跟牛眼（摩擦力與穩定關係）</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 該車輪固定板的尺寸，3D列印</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/25

---

會議時間	2021/4/25	會議地點	線上
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：確認零件的尺寸

本次會議目標：分工，做第三代車

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	分工，做第三代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3個人（盧，花，周）：負責第三代車</li> <li>- 2個人（柯，陳）：負責第二代車</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 第三代車確定用4個車輪，0個牛眼</li> <li>● 第三代車用mg90啓動車輪</li> <li>● 繼續調第二代車的參數（阿克曼角度與風扇速度）</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/26

---

會議時間	2021/4/26	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：分工

本次會議目標：雷切機構，組裝

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	雷切機構，組裝
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 重新雷切&amp;組裝第二代與第三代車體</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 決定4/30第三代車出賽</li> <li>● 繼續調整第二代車的參數</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/27

---

會議時間	2021/4/27	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：雷切機構，組裝

本次會議目標：組裝第三代車

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	組裝第三代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3D列印車輪和固定零件</li> <li>- 雷切，組裝</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 繼續組裝第三代車</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/28

---

會議時間	2021/4/28	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：組裝第三代車

本次會議目標：組裝第三代車

會議流程節點與時間：10: 00AM

流程 A	組裝第三代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 組完第三代車</li> <li>- 調第二代參數</li> </ul>

結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 停工           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 二代：線出了點意外燒</li> <li>○ 三代：沒有馬達，不能完成組裝</li> </ul> </li> </ul>
----	--

下次會議時間：2021/4/29

---

會議時間	2021/4/29	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：組裝第三代車

本次會議目標：組完第三代與測試，繼續調第二代車的參數

會議流程節點與時間：2: 30PM

流程 A	組完第三代與測試
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 組完第三代車</li> <li>- 寫完esp32 code</li> <li>- 準備4/30補測</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 調整第三代車馬達的角度跟風扇的速度</li> <li>- 充完電池</li> </ul>

流程 B	繼續調第二代車的參數
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 準備4/30補測</li> <li>- 繼續調整參數</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 決定放棄第二代車，4/30啓動第三代車出賽</li> </ul>

下次會議時間：2021/4/30

---

會議時間	2021/5/2	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸	請假成員	柯以忻，花雲鴻，陳子鈞

上次會議追蹤事項：設計期末第三代車

本次會議目標：確認新零件的尺寸（3D 列印零件）

會議流程節點與時間：6：30PM

流程 A	確認新零件的尺寸（3D 列印零件）
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 3D列印之前，再確認零件的尺寸，有錯就改</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 改車輪（更大的）</li><li>- 3D列印車輪固定零件</li></ul>

下次會議時間：2021/5/3

---

會議時間	2021/5/3	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，花雲鴻	請假成員	柯以忻，陳子鈞

上次會議追蹤事項：確認期末第三代車的零件尺寸

本次會議目標：確認期末第三代車的零件

會議流程節點與時間：6：30PM

流程 A	確認期末第三大車的零件
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 討論要不要使用軸承，決定軸承的牌子</li><li>- 畫軸承的固定零件</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 確認買軸承（SKF/NSK/NMB之一，603zz）</li><li>- 畫完軸承固定零件</li></ul>

下次會議時間：2021/5/4

---

會議時間	2021/5/4	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻	請假成員	陳子鈞

上次會議追蹤事項：確認第三代車子的零件

本次會議目標：重新分工，印第三代車機構

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	重新分工，印第三代車基本機構
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 雷切第三代車的基本機構（上/下地板），車輪固定零件</li><li>- 2個人開始寫期末報告</li><li>- 3個人負責第三代車</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 陳，柯開始寫期末報告</li><li>- 花，周，盧負責第三代車</li></ul>

下次會議時間：2021/5/5

---

會議時間	2021/5/5	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，周佑綸	請假成員	陳子鈞，花雲鴻，柯以忻

上次會議追蹤事項：重新分工，印期末第三代車機構

本次會議目標：組裝期末第三代車

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	組裝期末第三代車
討論內容	<ul style="list-style-type: none"><li>- 開始寫報告</li></ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"><li>- 動輪子時有摩擦</li><li>- 需要3D列印的零件（車輪固定板，第三代風扇）</li></ul>

下次會議時間：2021/5/13

---

會議時間	2021/5/13	會議地點	永齡
出席成員	盧演整，陳子鈞	請假成員	花雲鴻，柯以忻，周佑綸

上次會議追蹤事項：組裝期末第三代車

本次會議目標：組裝補充的零件

會議流程節點與時間：6: 30PM

流程 A	組裝補充的零件
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 補裝重新3D列印的零件</li> <li>- 2個輪子（前，後）用軸承 → 4個輪子（前，後，左，右）用軸承</li> <li>- 只有前後車輪用光柵（左右車輪不會用到光柵）</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 重新雷切下地板</li> <li>- 思考剎車方法</li> <li>- 買另外2個軸承</li> </ul>

下次會議時間：2021/5/17

\*因疫情的關係，機械工程實務改成線上上課

會議時間	2021/5/17	會議地點	線上
出席成員	盧演整，周佑綸，柯以忻，花雲鴻，陳子鈞	請假成員	

上次會議追蹤事項：組裝第三代車

本次會議目標：報告分工

會議流程節點與時間：8: 30PM

流程 A	報告分工
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 討論期末報告的A方案或B方案</li> <li>- 報告內容分工</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 最後選A方案</li> <li>- 花：設計分析與驗證</li> <li>- 周：設計分析與驗證，工程圖</li> <li>- 陳：緒論，設計概念與布置</li> <li>- 柯：功能需求</li> <li>- 盧：工作進度與分工，排版</li> <li>- 所有的組員：課程回饋</li> </ul>

後續行動：

臨時動議：

下次會議時間：2021/5/31

會議時間	2021/5/31	會議地點	線上
------	-----------	------	----

出席成員	盧演整, 周佑綸, 柯以忻, 花雲鴻, 陳子鈞	請假成員	
------	-------------------------	------	--

上次會議追蹤事項：報告分工

本次會議目標：討論工作進度

會議流程節點與時間：8: 30PM

流程 A	討論工作進度
討論內容	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 報告每個人的工作進度</li> </ul>
結論	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 補充期中報告的feedback</li> <li>- 思考【實驗分析】的內容</li> </ul>

