

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

082803

適應地形之運輸裝置的行動機構與遠端控制研究

學校名稱：苗栗縣公館鄉公館國民小學

作者：	指導老師：
小五 楊鎧嶸	謝祥宏
小六 呂濬博	湯千慧
小四 嚴宥倫	
小四 徐秋詠	
小四 江良禮	

關鍵詞：適應地形運輸、坡面行走、遠端控制

摘要

運輸裝置在不同結構設計下，獲以下結論：

- 一、**重心位置影響**：電池盒在前方速率穩定，平面折返走時，電池盒前上最快；上下坡折返走，在前下最快。
- 二、**最佳機型**：曲柄位置為右下，固定桿 9cm、前腿 4cm、曲軸 6cm、連桿 13cm 的配置最佳。
- 三、**腳底設計對運輸裝置上下坡**：以全止滑比較快，平面腳底比較快，能使運輸裝置走得最快。
- 四、**曲軸長度**：運輸裝置之前腳曲軸越長，前腿移動圈圈越大，而後腳移動的步伐越長。
- 五、**後腿支點**：運輸裝置後腿位置越高，後腳移動路徑越長。
- 六、**爬坡角度**：最佳機型的運輸裝置，能順利地爬上 20 度的坡度。
- 七、**運輸裝置在不同障礙物下**：間距為 2.5 公分時，速率最快；障礙物高度越高，速率越慢；人工步道之石頭高度 > 1.5 公分時速度變慢。

壹、前言

一、研究動機

資訊科技發達的現代，發展機械人的各項功能，將會幫助人類做很多事情，如救災現場、醫療科技及一些危險性的工作。在校本課程裡，學校老師教了許多機器人的類型，我們發現有關運輸機器人的研究，一般分為輪行與足行兩種形式，輪行機器人結構簡單、機動性高，相關研究也多，但足行機器人比輪行機器人，更具有適應地形及在鬆軟路面行走的優勢，可惜這方面的研究比較少。因此，我們設計了「適應地形的足行運輸裝置」並展開了一連串的研究，在救災現場，也希望能運用這個低成本的運輸裝置，協助運送物資。

研究流程圖，如右圖 1。



圖 1：研究流程圖

二、研究目的

我們針對運輸裝置的行動機構與遠端控制，進行一系列的研究，並根據研究目的，提出以下研究問題：

目的一、運輸裝置的行動機構與遠端控制研究。

研究 1-1：製作運輸裝置的行動機構。

研究 1-2：進行運輸裝置的藍牙操控設計。

目的二、比較貨艙位置，對運輸裝置前進、往返、上下坡的速率有何影響？

研究 2-1：不同貨艙位置，對運輸裝置前進的速率有何影響？

研究 2-2：不同貨艙位置，對運輸裝置往返的速率有何影響？

研究 2-3：不同貨艙位置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

目的三、比較四連桿各部件的位置，對運輸裝置往返、上下坡的速率有何影響？

研究 3-1：不同曲柄的擺放方式，對運輸裝置往返的速率有何影響？

研究 3-2：後腿鎖定於固定孔的支點位置不同時，對運輸裝置往返的速率有何影響？

研究 3-3：不同前腿長度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

研究 3-4：不同曲軸長度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

研究 3-5：不同連桿長度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

目的四：不同摩擦力配置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

研究 4-1：不同摩擦力位置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

研究 4-2：平面腳底與曲面腳底配置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

目的五：在最佳機型的條件下，探討運輸裝置適應地形的情形。

研究 5-1：不同坡度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

研究 5-2：不同障礙的地形，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

研究 5-3：不同障礙的地形高度，對運輸裝置的速率有何影響？

研究 5-4：實際在人工步道，測試運輸裝置行進的速率有何影響？

三、文獻探討

我們上網查閱相關資料後，發現有關足行機器人有 5 篇相關的研究，比較如下：

科別	作品名稱	研究結論
初小組 應用科學科	萬獸之王最高機密	<ul style="list-style-type: none">● 曲柄軸兩孔距離愈短，前腳的腳步就小。● 後軸旋轉點的位置低，後腳擺幅越小，走越小步。太低，底板會向上傾斜。● 底板前端負重力量會變大。
第 46 屆國中組 生活與應用科學	終極目標-萬獸之王 曲軸、連桿、後腳組 合的探討	<ul style="list-style-type: none">● 曲軸愈短，速率愈慢，拉力愈大。● 連桿愈短，速率愈快，拉力愈小。● 後腳孔位置愈高，速率愈快，拉力愈小。
第 55 屆國中組 物理科	The climbing strandbeest	<ul style="list-style-type: none">● 人類腳步軌跡傾斜的角度必須\geq地形起伏才可以順利走上樓梯或斜面。● 以 13 根連桿長度變化為操作變因，發現增加支架與上下兩組曲柄系統的連動軸長

科別	作品名稱	研究結論
		度，得以產生「最佳連桿比例」，以使腳步軌跡產生向上傾斜的角度。
第 55 屆高職組 機械科	步行機構綜合設計 原理之研究	<ul style="list-style-type: none"> ● 在步行機構不傾倒的狀態下，固定滑塊型可以達到 71 個步行循環/每分鐘，而四連桿型為 15 個步行循環/每分鐘。 ● 平行四連桿型機構較為輕巧，可以使用踝關節；固定滑塊型腳部無搖桿旋轉運動所以無法使用桌關節。 ● 以腳掌的運動軌跡來看，固定滑塊型步行機構的運動軌跡，在凸輪零件設計過程較為簡單。 ● ㄇ字腳掌結構有助於步行時的穩定性，但較不靈活。
第 57 屆國小組 生活與應用科學	進擊的萬獸-萬獸的 終極奧義	<ul style="list-style-type: none"> ● 6cm*6cm 大小的腳底板，前腳貼上防滑貼條，曲面的腳底是最佳的摩擦力組合。 ● 腿長愈長，且腿長比例相近，曲柄裝在第二孔是最穩定的設計。 ● 以交叉連桿設計，並將連桿加長，能使萬獸之王走得最快。 ● 兼顧行走速率快與拉力大，要在驅動所在位置加上防滑設計與增加配重，會有較佳效果。

根據相關文獻的探討後發現，以馬達、齒輪、曲軸和連桿組合而成的足行機器人，能以最簡便的方式製作與分析，透過模仿動物步行的姿態，在尺寸與形態設計上有最大的自由度，因此，我們先以簡易的材料，打造提出不一樣的設計：1. 在曲柄之外，新增一個「曲軸設計」 2. 挑戰「折返、上下坡、適應地形」的難題，期待能有更多的突破。有了最佳機型之後，能夠以雷切或 3D 列印的方式量產，推廣到實務應用。

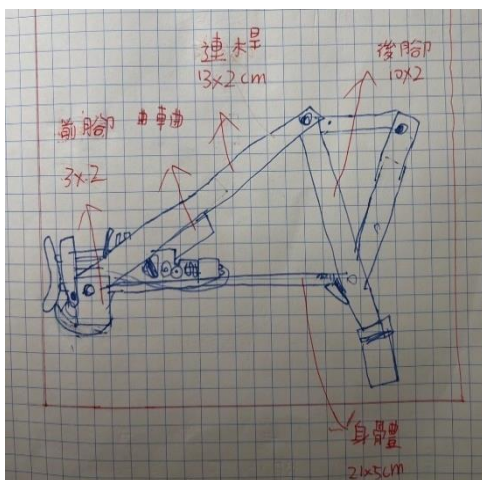


圖 2：運輸裝置設計圖

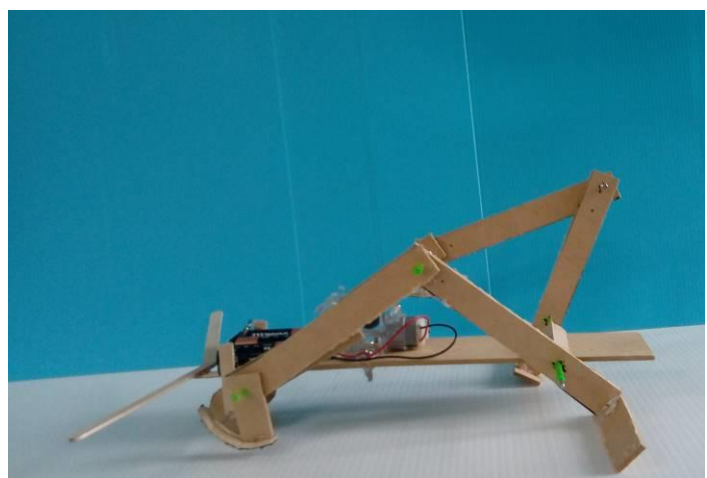


圖 3：曲軸設計的運輸裝置

貳、研究設備及器材

一、實驗材料：

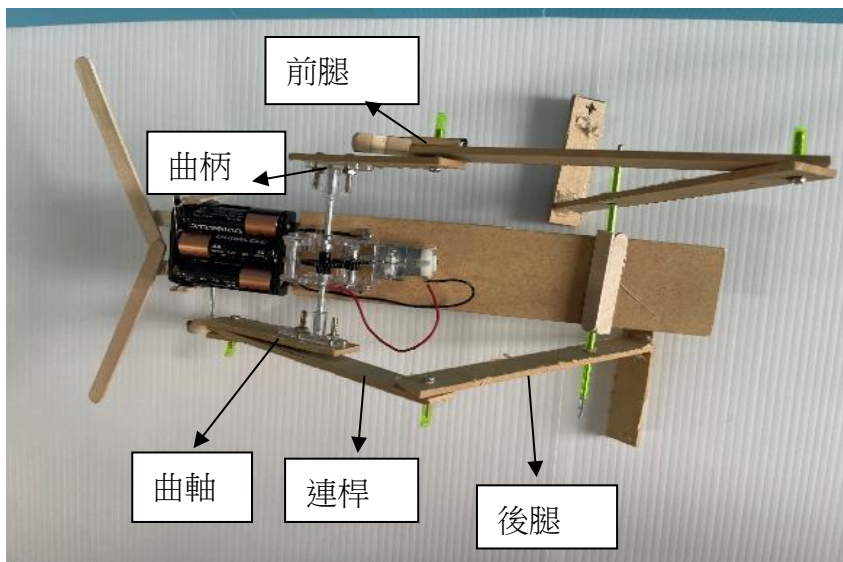
- (一) 四連桿設計的運輸裝置原型：齒輪盒 2 組、螺絲/螺帽數顆、電池盒 1 組、冰棒棍數支、長軸/短軸各 2 支、電線 2 組、密集板數片、矽膠管數支
- (二) 電池：同一廠牌
- (三) 增加摩擦力：桌球皮

二、實驗器材：

- (一) 工具箱 (內部包含手搖鑽、小扳手、防鑽板、熱融膠條、熱融槍、螺絲起子、剪刀、螺帽、螺絲、電線、電池盒、剪線鉗、長尺、量角器、鉛筆、簽字筆、雙面膠、絕緣膠帶、橡皮擦)、賽道
- (二) 測量工具：電子秤 (1 台)、磅秤(10KG)、三公尺魯班尺、鐵尺、碼表、平板電腦、數位電子量角器

三、實驗裝置

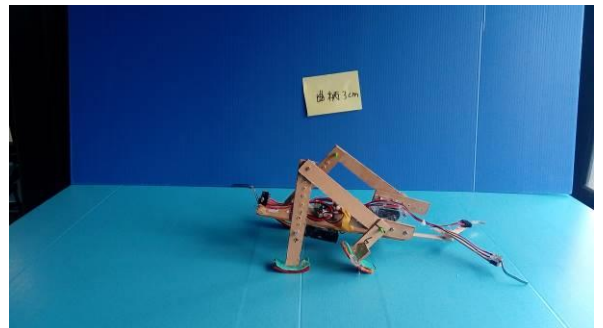
(一) 四連桿運輸裝置原型示意圖



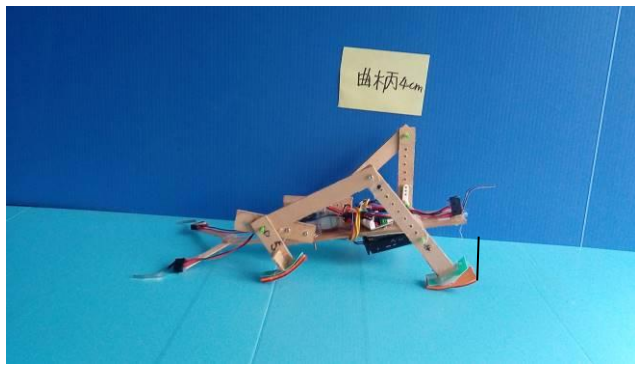
(二) 四連桿運輸裝置~曲軸設計



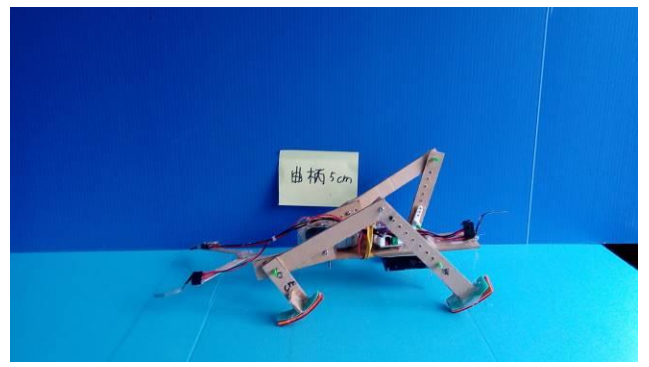
曲軸 2 公分



曲軸 3 公分



曲軸 4 公分



曲軸 5 公分

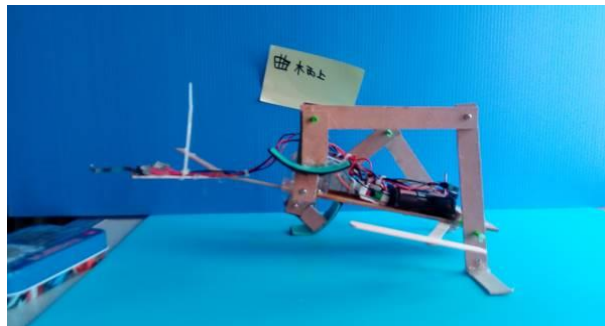


曲軸 6 公分

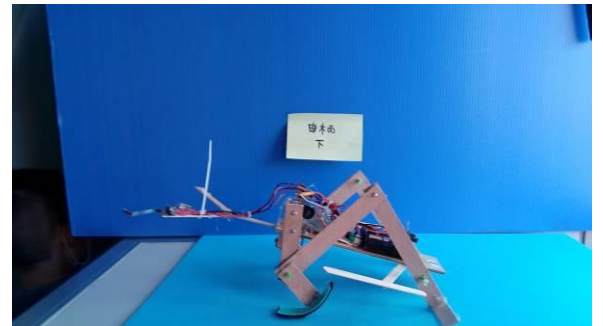


斜坡設計

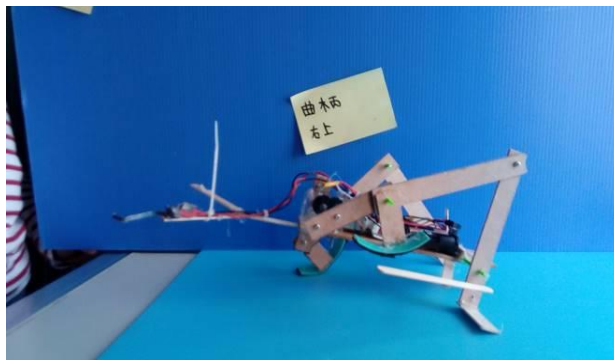
(三) 四連桿運輸裝置~曲柄擺放位置設計



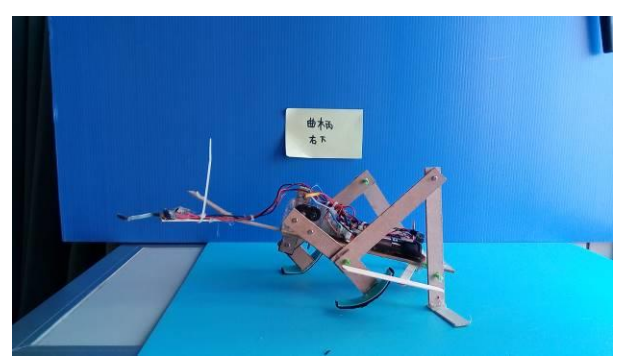
曲柄擺放位置-上



曲柄擺放位置-下

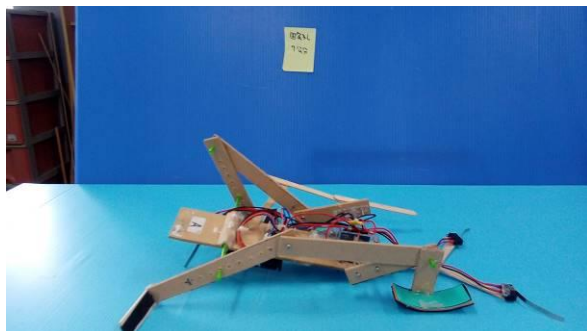


曲柄擺放位置-右上

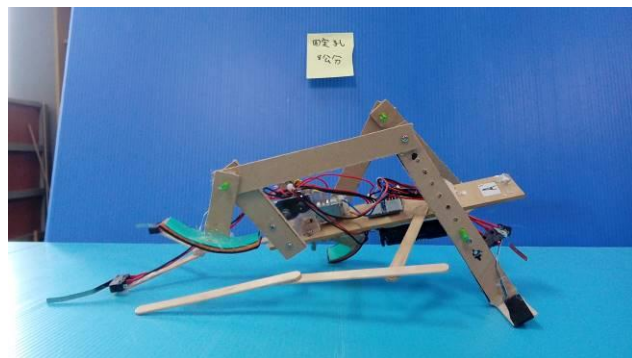


曲柄擺放位置-右下

(四) 四連桿運輸裝置~前後腿、連桿設計



後腿固定孔 7 公分



後腿固定孔 8 公分



前腿 5 公分



前腿 6 公分

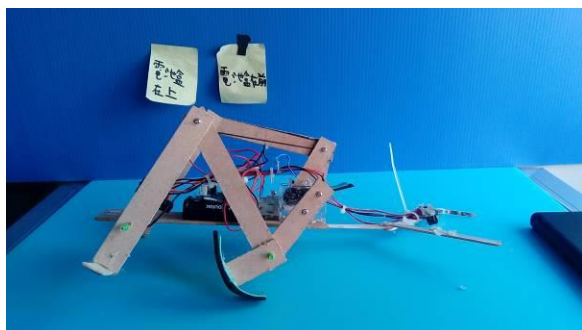


連桿 15 公分

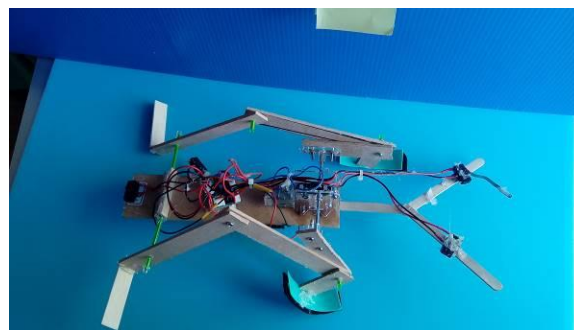


連桿 19 公分

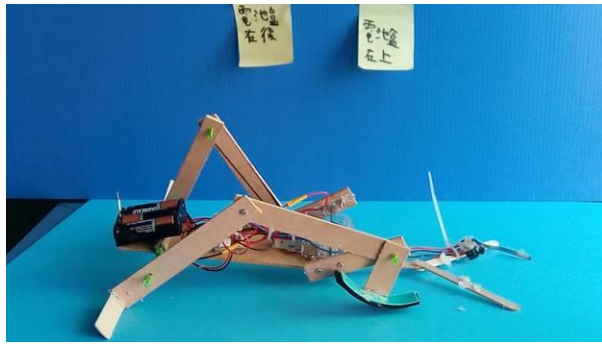
(五) 不同貨艙(以電池盒模擬)擺放位置



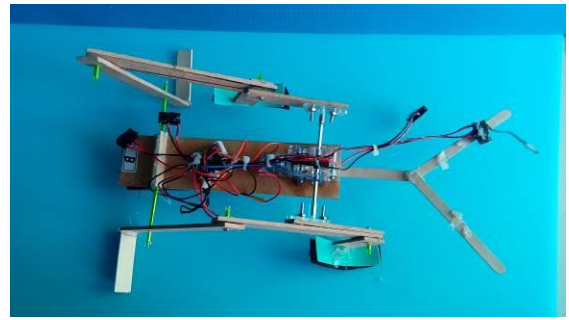
貨艙前上



貨艙前下



貨艙後上



貨艙後下

參、研究過程與研究結果

目的一、運輸裝置的行動機構與遠端控制研究。

研究 1-1：製作四連桿運輸裝置的行動機構。

【研究構想】

以馬達、齒輪、曲軸和連桿組合而成的四連桿運輸裝置，它能模仿動物步行的姿態，沒有唯一的尺寸，也沒有唯一的型態。在這個研究中，我們提出不一樣的設計：1. 在曲柄之外，新增一個「曲軸設計」2. 挑戰「折返、上下坡、適應地形」的難題。

【實驗步驟】

1. 製作長曲軸的四連桿運輸裝置的原型。
2. 將運輸裝置放到立光板賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置走完全程的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 1。

【研究發現】

1. 反覆 5 次實驗，發現四連桿運輸裝置速率穩定。
2. 四連桿運輸裝置走了 170 公分，平均花了約 10 秒左右，速率約 17 (公分/秒)。

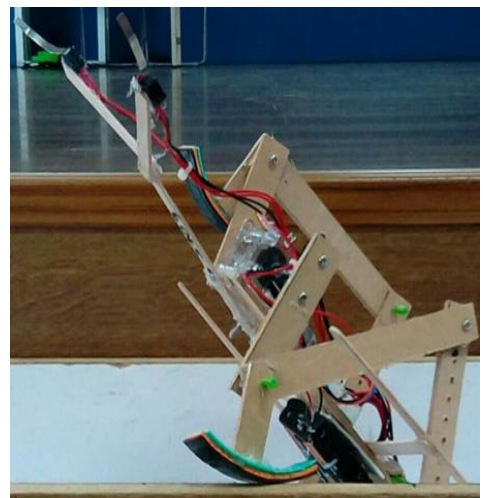
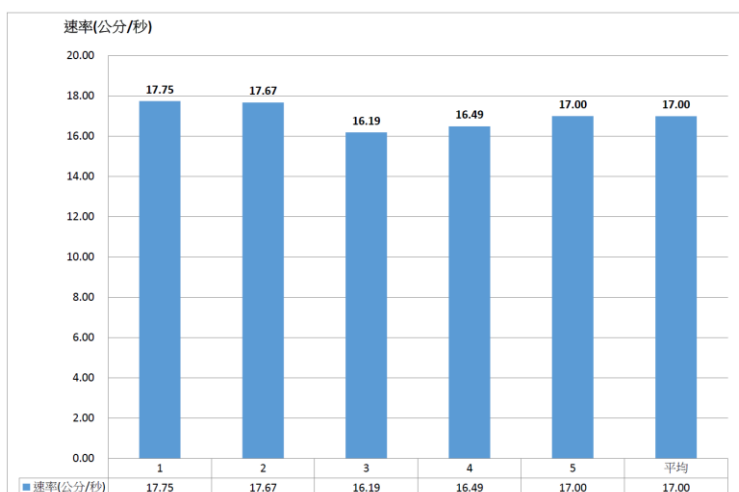


圖 4：四連桿運輸裝置的五次行進速率

研究 1-2：進行運輸裝置的藍牙操控設計。

【研究構想】

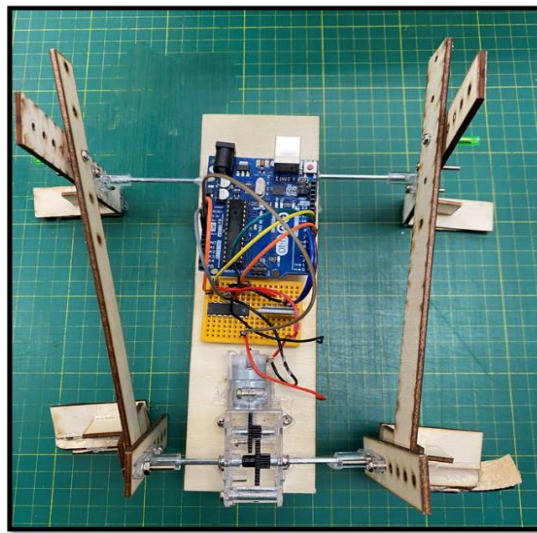
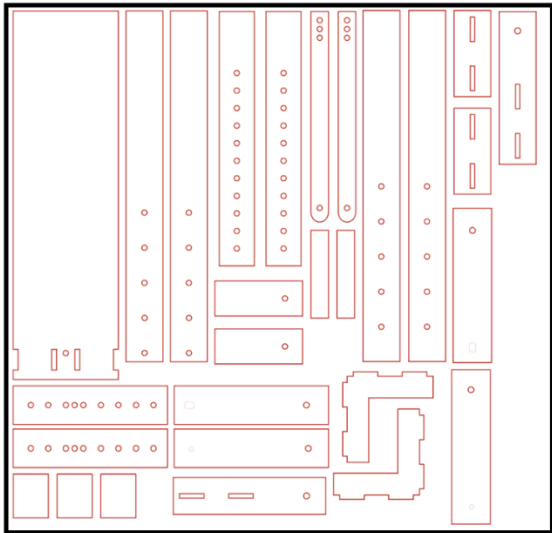
在多變的地形中，我們希望這個運輸裝置能夠隨著指令前進、停止、控制速度等，因此前往縣市的自造中心詢問老師們，協助進化我們的裝置。

【研究步驟】

1. 機構改良：嘗試使用雷切方式打樣，以減少手工製作的誤差。
2. 電源系統改良：原本的電源是使用 3 顆 3 號的鹼性電池，不僅重量重，且無法調速，希望能改為較輕的供電系統。
3. 運動操控核心：選用 Arduino UNO 板進行操控，並搭配手機藍芽遙控，希望能增加助個運輸裝置能更有機動性及智能性。

【研究結果】

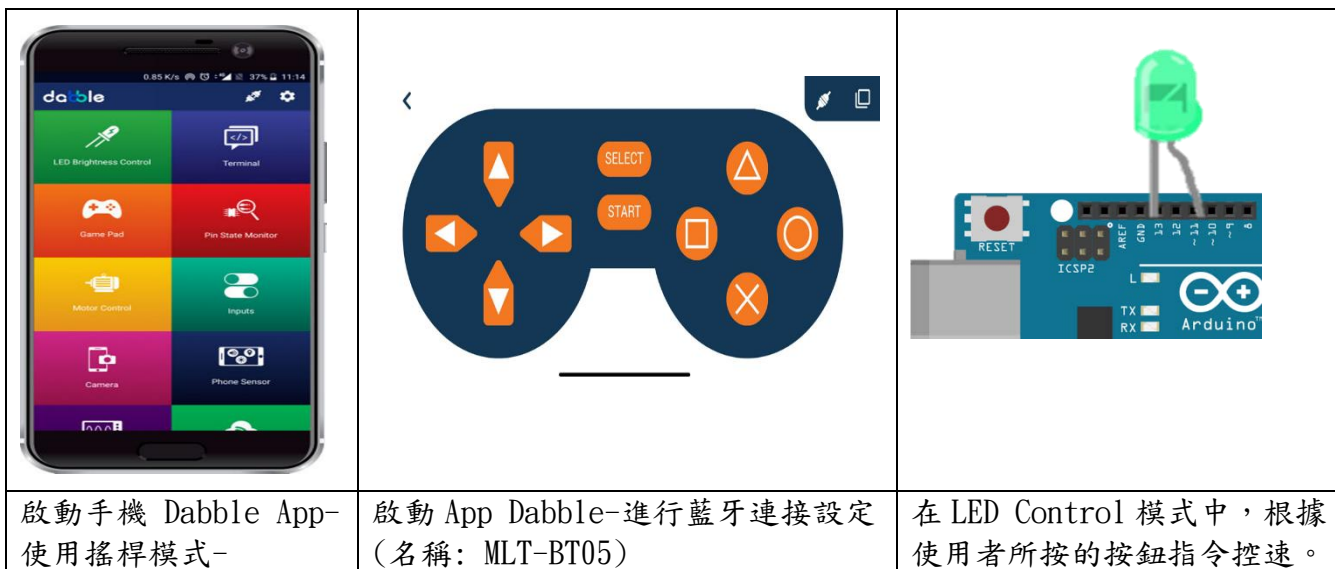
1. 採用楓木板，以雷切機進行木板切割，並定位開孔。相較於手工裁切及鑽孔，雷切較為精準，可以減少其他誤差的干擾。雷切設計圖及組裝完成圖如下：



2. 採用 14500 鋰充電電池供電給馬達控制電路，進而驅動馬達，重量輕且環保；並以 L293D IC 控制直流馬達，可達到正反轉及調速控制，材料及安裝接線如下。



3. 為了有效及時控制四連桿運輸裝置，我們使用藍牙感測器，連接 Arduino 板，並以手機下載 Dabble APP 進行控制馬達轉速及方向。



啟動手機 Dabble App-使用搖桿模式-

啟動 App Dabble-進行藍牙連接設定 (名稱: MLT-BT05)

在 LED Control 模式中, 根據使用者所按的按鈕指令控速。

藍芽控制說明：一開始先載入<Dabble.h>函式庫宣告全域變數，再設定通訊鮑率，以及腳位的功能設定。依照輸入的藍芽訊號決定對應的動作，前進、後退、加速、減速。在判斷速度時，希望用最簡便的方式顯示，因此決定依照全域變數”Speed”內的數值，控制數位訊號的輸出，控制 LED 燈顯示當前的速度為多少。**藍芽控制運輸裝置程式設計邏輯圖如圖 5。**

<pre>1 #include<Dabble.h> 2 int motorF = 8; 3 int motorB = 7; 4 int Speedpin = 9; 5 int Speed = 150;</pre>	<p>載入<Dabble.h>函式庫 宣告全域變數 motorF = 8 motorB = 7 Speedpin = 9 Speed = 150</p>
<pre>9 void setup() { 10 Serial.begin(9600); 11 pinMode(motorF, OUTPUT); 12 pinMode(motorB, OUTPUT); 13 pinMode(Speedpin, OUTPUT); 14 pinMode(15, OUTPUT); 15 pinMode(17, OUTPUT); 16 pinMode(16, OUTPUT); 17 digitalWrite(15, 0); 18 digitalWrite(17, 0); 19 digitalWrite(16, 0); 20 }</pre>	<p>設定通訊鮑率為 9600 將腳位的功能設定為輸出(10~15 行) 將數位訊號輸出 0(16~18 行)</p>
<pre>20 void loop() { 21 Dabble.processInput(); 22 if(GamePad.isUpPressed()){Forward(); } 23 if(GamePad.isDownPressed()){Back(); } 24 if(GamePad.isSquarePressed()){Speed=Speed+30;delay(300);} 25 if(GamePad.isCirclePressed()){Speed=Speed-30;delay(300);} 26 if(GamePad.isCrossPressed()){Stop();} 27 analogWrite(Speedpin, Speed); 28 if(Speed==120){digitalWrite(14,1);digitalWrite(16,0);digitalWrite(18,0);} 29 if(Speed==150){digitalWrite(14,1);digitalWrite(16,1);digitalWrite(18,0);} 30 if(Speed==180){digitalWrite(14,0);digitalWrite(16,1);digitalWrite(18,0);} 31 if(Speed==210){digitalWrite(14,0);digitalWrite(16,1);digitalWrite(18,1);} 32 if(Speed==240){digitalWrite(14,0);digitalWrite(16,0);digitalWrite(18,1);} 33 if(Speed>240){Speed=240;} if(Speed<120){Speed=120;} 34 Serial.println(Speed); 35 }</pre>	<p>依照輸入的藍芽訊號決定對應的動作 當 Up 按鍵被按下=>呼叫”Forward”函式，使運輸裝置前進 當 Down 按鍵被按下=>呼叫”Back”函式，使運輸裝置後退 當 Square 按鍵被按下=>將全域變數”Speed”加 30 並且延遲 300 毫秒，使運輸裝置速度增加 當 Circle 按鍵被按下=>將全域變數”Speed”減 30 並且延遲 300 毫秒，使運輸裝置速度減少 當 Cross 按鍵被按下=>呼叫”Stop”函式，使運輸裝置停止 使用”Speed”數值輸出為類比訊號，控制運輸裝置的快慢 接著是依照全域變數”Speed”內的數值控制數位訊號的輸出控制 LED 燈已顯示當前的速度為多少 120:腳位 14 輸出 1；腳位 16 輸出 0；腳位 18 輸出 0，只亮第一顆燈 150:腳位 14 輸出 1；腳位 16 輸出 1；腳位 18 輸出 0，亮第一、二顆燈 180:腳位 14 輸出 0；腳位 16 輸出 1；腳位 18 輸出 0，只亮第二顆燈 210:腳位 14 輸出 0；腳位 16 輸出 1；腳位 18 輸出 1，亮第二、三顆燈 240:腳位 14 輸出 0；腳位 16 輸出 0；腳位 18 輸出 1，只亮第三顆燈 接著依照全域變數”Speed”的數值來決定全域變數”Speed”的數值 >240: 全域變數”Speed”設為 240 <120: 全域變數”Speed”設為 120 最後將全域變數”Speed”的數值輸出到監控視窗</p>
<pre>36 void Forward() { 37 digitalWrite(motorF,HIGH);digitalWrite(motorB,LOW); 38 }</pre>	<p>函式”Forward” 將腳位”motorF”的訊號設為高；腳位”motorB”的訊號設為低，以控制 H 橋訊號，使運輸裝置前進</p>
<pre>39 void Back() { 40 digitalWrite(motorF,LOW);digitalWrite(motorB,HIGH); 41 }</pre>	<p>函式”Back” 將腳位”motorF”的訊號設為低；腳位”motorB”的訊號設為高，以控制 H 橋訊號，使運輸裝置後退</p>
<pre>42 void Stop() { 43 digitalWrite(motorF,LOW);digitalWrite(motorB,LOW); 44 }</pre>	<p>函式”Stop” 將腳位”motorF”的訊號設為低；腳位”motorB”的訊號設為低，以控制 H 橋訊號，使運輸裝置停止</p>

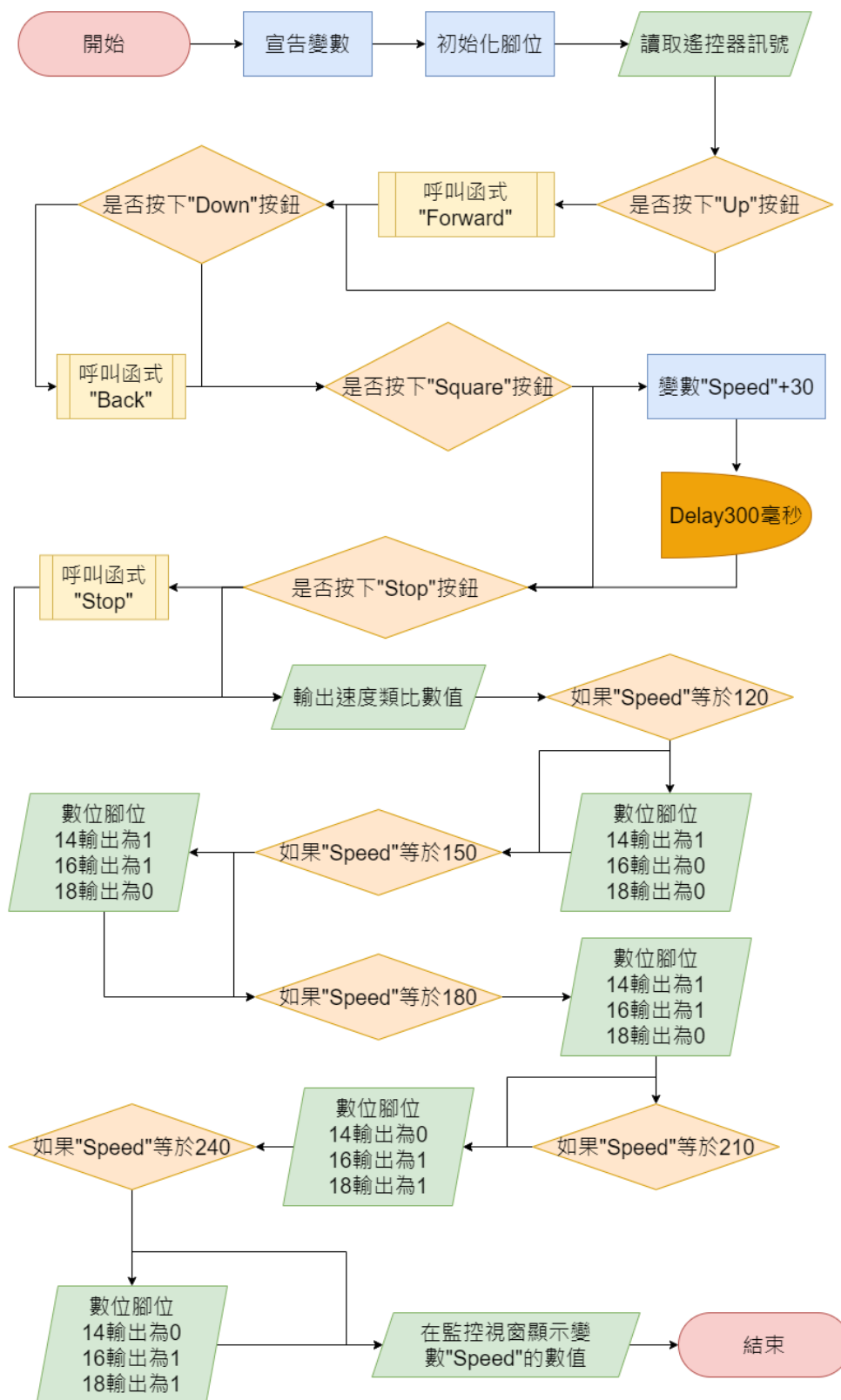


圖 5：藍芽控制運輸裝置程式設計邏輯圖

目的二、比較貨艙位置，對運輸裝置前進、往返、上下坡的速率有何影響？

研究 2-1：不同貨艙位置，對運輸裝置前進的速率有何影響？

【研究構想】

整個四連桿運輸裝置總重 240g，電池盒 100g 重，佔了整個機身 1/4 的重量，因此以電池盒擺放的位置，模擬運輸裝置中貨艙的位置，了解其對移動時的重心影響如何。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型。
2. 將電池盒模擬貨艙位置，分別黏貼在前上、前下、後上、後下，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置走完全程的平均速率。
4. 將結果記錄如圖 7。

【研究發現】

1. 貨艙位置在前方速率比較穩定。
2. 貨艙位置在後方速率比較不穩定。
3. 貨艙位置在前下最快，後下最慢。

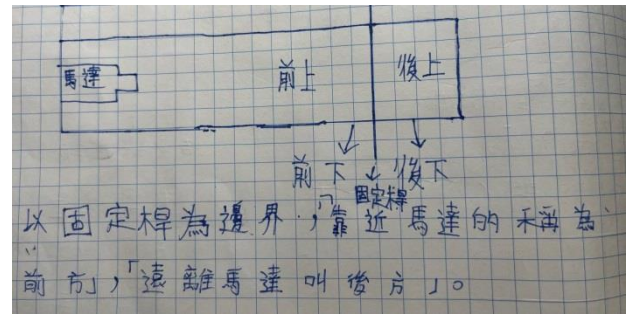


圖 6：研究流程圖電池盒黏貼位置說明

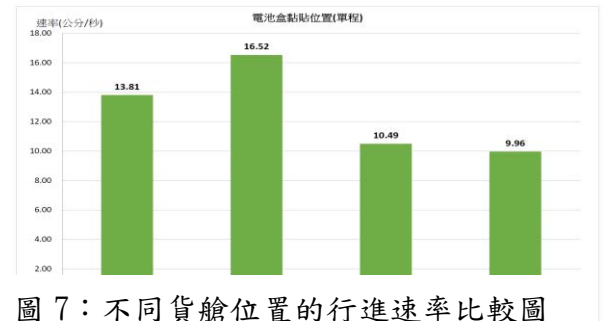


圖 7：不同貨艙位置的行進速率比較圖

研究 2-2：不同貨艙位置，對運輸裝置往返的速率有何影響？

【研究構想】

我們想知道四連桿運輸裝置，在救災現場可不可以往返運送物資，因此裝上觸控晶片，讓它能夠順利的完成任務。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將電池盒模擬貨艙位置，黏貼在前上、前下、後上、後下，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算四連桿運輸裝置往返的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 1、2，圖 8、9。

表 1：不同貨艙位置的行進時間比較

位置/時間	時間		
	往	返	總時間
前上	11.16	9.92	21.08
前下	10.63	18.54	29.17
後上	無法實驗	無法實驗	無法實驗
後下	17.66	14.77	32.43

表 2：不同貨艙位置的行進速率比較

位置/速率	速率(公分/秒)		
	往	返	速率差
前上	17.93	20.52	2.58
前下	19.00	10.83	-8.17
後上	無法實驗	無法實驗	無法實驗
後下	11.43	13.90	2.48

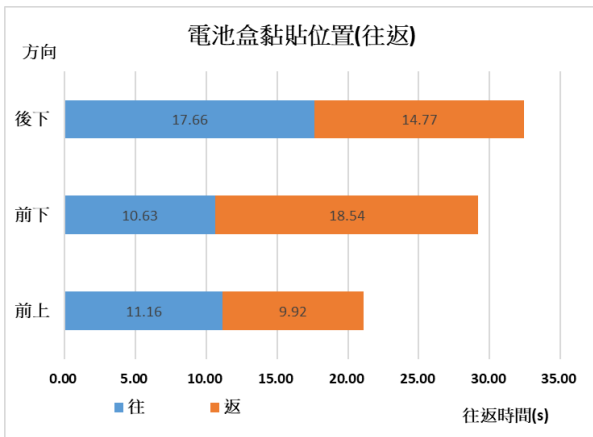


圖 8：不同貨艙位置的行進時間比較

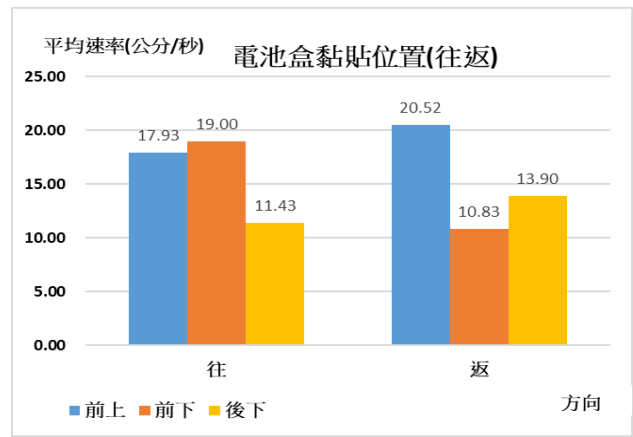


圖 9：不同貨艙位置的行進速率比較

【研究發現】

1. 貨艙位置前上最快，後下最慢。
2. 貨艙位置前下去程快，回程慢；後下則相反。
3. 貨艙位置前上則去回差不多。

【實驗結果與討論】

1. 四連桿運輸裝置去程是前驅動、長曲軸，和回程的行走方向相反，回程則轉為後驅動、長後腿。
2. 貨艙位置在後上，因為重心高，又在後方，所以會不停地爬出賽道。

研究 2-3：不同貨艙位置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

【研究構想】

現實生活中，到處都可以見到有坡度的地形。因此我們想挑戰上下坡+往返的任務。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將電池盒模擬貨艙位置，黏貼在前上、前下、後上、後下，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算四連桿運輸裝置上下坡的平均速率。
4. 將結果記錄如下圖 10。

【研究現】

1. 貨艙位置放前方，稍微可以前進一些。
2. 貨艙位置放後方，會被往後拉。
3. 貨艙位置放前下，在上下坡的時候較好。
4. 貨艙位置放後下最差。

【實驗結果與討論】

1. 電池盒可視為機械獸上的貨物，建議設計時要將貨艙設計於四連桿運輸裝置的前下方。

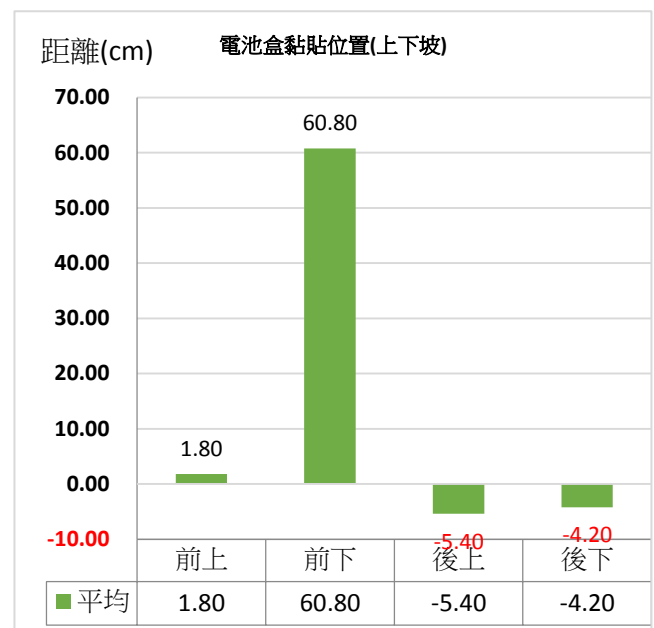


圖 10：不同貨艙位置，運輸裝置前進距離比較

2. 在四連桿運輸裝置中，靠近馬達與曲軸的地方，比較不會因為重物的晃動而影響前進。

目的三、比較四連桿各部件的位置，對運輸裝置往返、上下坡的速率有何影響？

研究 3-1：不同曲柄的擺放方式，對運輸裝置往返的速率有何影響？

【研究構想】

我們在偶然間發現曲柄裝錯了，卻發現四連桿運輸裝置跑得比原本的快，因此就開始這個實驗。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 固定左側曲柄三孔向下，右側曲柄分別改成上、右上、右下、下，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置往返的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 3、4，圖 12、13。

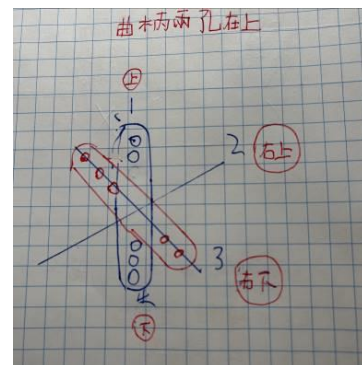


圖 11：曲柄擺放方式說明

表 3：不同曲柄位置，運輸裝置前進時間比較

曲柄位置/時間	時間 (秒)		
	往	返	總時間
0	19.61	6.76	26.37
180	13.27	13.144	26.41
225	10.96	10.08	21.04
315	10.27	7.85	18.12

表 4：不同曲柄位置，運輸裝置前進速率比較

曲柄位置/速率	速率 (公分/秒)		
	往	返	速率差
0	10.20	29.59	19.39
180	15.10	15.35	0.25
225	18.34	20.02	1.68
315	19.50	25.67	6.18

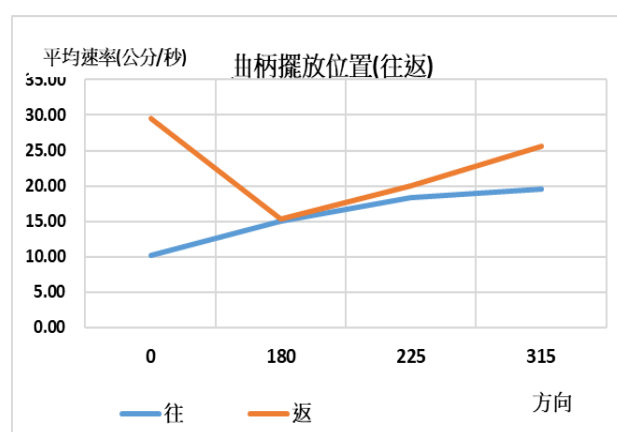
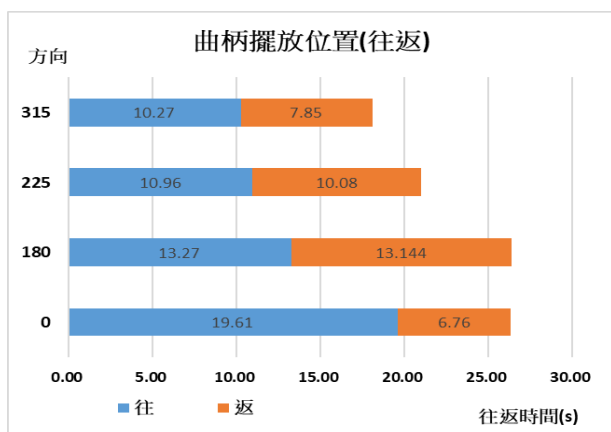


圖 12：不同曲柄位置，運輸裝置前進時間比較

圖 13：不同曲柄位置，運輸裝置前進速率比較

【研究發現】

1. 曲柄右下最快，下反而最慢。
2. 曲柄下像兔子同手同腳，去的時候慢，回來的時候快。
3. 右上和右下往返時間較快。
4. 我們原本熟悉的曲柄朝上反而是較慢的。

【實驗結果與討論】

1. 我們查閱資料，發現馬兒行走的對角線換步法，是一種三拍的步法，由左後腳開步，跳到右後腳和左前腳對角線的兩隻腳，同時間跨第二步，然後右前腳跨前一步完成慢跑動作。曲柄右上和右下跟馬兒慢跑的頻率接近，是一種3拍子的行走方式，反而走得比較快。
2. 兔子跳的走法，有點像撐竿跳，在後驅動的時候走最快。

研究 3-2：後腿鎖定於固定孔的支點位置不同時，對運輸裝置往返的速率有何影響？

【研究構想】

後腿固定孔的位置，像是一個「倒單擺」的設計，會影響連桿的擺幅，因此我們在後腿每隔 1cm 鑽一個孔，改變後腿鎖定於固定孔的支點位置進行測試。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將後腿的固定孔改為 10cm、9cm、8cm、7cm，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置往返的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 5、6，圖 14、15。

表 5：後腿支點位置對運輸裝置前進時間比較

後腿支點位置/時間	時間 (秒)		
	往	返	總時間
10cm	13.21	13.14	26.35
9cm	15.11	7.03	22.14
8cm	8.91	無法實驗	無法實驗
7cm	12.37	無法實驗	無法實驗

表 6：後腿支點位置對運輸裝置前進速率比較

後腿支點位置/速率	速率 (公分/秒)		
	往	返	速率差
10cm	15.17	15.35	30.53
9cm	13.58	32.01	45.59
8cm	22.46	0.00	22.46
7cm	16.55	0.00	16.55

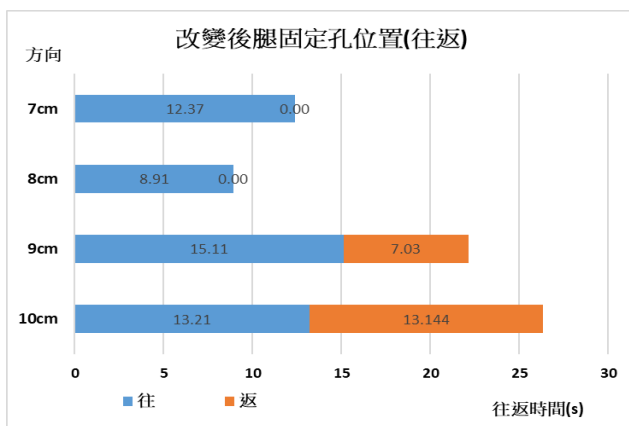


圖 14：後腿支點位置對運輸裝置前進時間比較

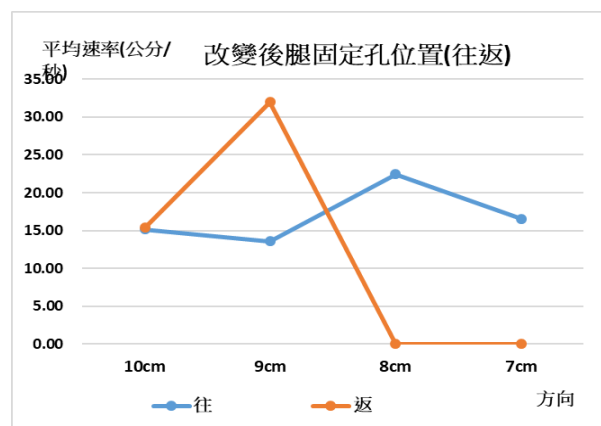


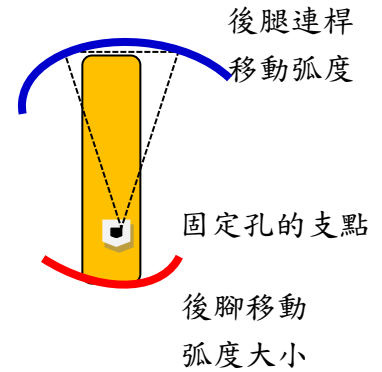
圖 15：後腿支點位置對運輸裝置前進速率比較

【研究發現】

1. 固定桿9cm的位置最佳。
2. 固定桿愈高，就愈跑不動。
3. 固定桿小於7cm無法實驗。

【實驗結果與討論】

1. 當運輸裝置後腳在踩踏地面的時候，便會帶動上方的連桿擺動，當固定桿愈高，擺動就更小，移動速率就更慢。
2. 以槓桿原理來看：當固定桿太高，上方從馬達供應的力量為施力點，下方地面的摩擦力為抗力點，當施力臂 < 抗力臂，就造成運輸裝置不能移動了。



研究 3-3：不同前腿長度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

【研究構想】

四連桿運輸裝置的原型是後腿長 10 公分，曲軸 6 公分，前腿 4 公分，我們想知道加長前腿，是能加快行進速率，於是進行以下的實驗。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將前腿的長度改為 4cm、5cm、6cm、7cm，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置上下坡的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 7、8，圖 16、17。

表 7：前腿長度對運輸裝置上下坡時間比較

前腿長度/時間	時間		
	上坡	下坡	總時間
4cm	30.364	6.646	37.01
5cm	35.65	8.26	43.91
6cm	52.71	7.24	59.96
7cm	無法實驗	無法實驗	無法實驗

表 8：前腿長度對運輸裝置上下坡速率比較

前腿長度/速率	速率(公分/秒)		
	上坡	下坡	平均速率
4cm	6.64	33.33	19.98
5cm	5.88	26.34	16.11
6cm	4.02	28.43	16.23
7cm	無法實驗	無法實驗	無法實驗

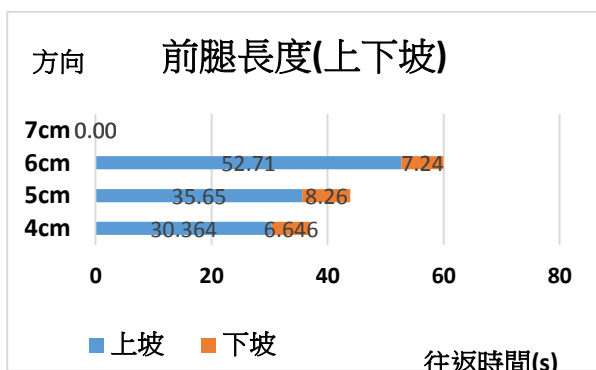


圖 16：前腿長度對運輸裝置上下坡時間比較

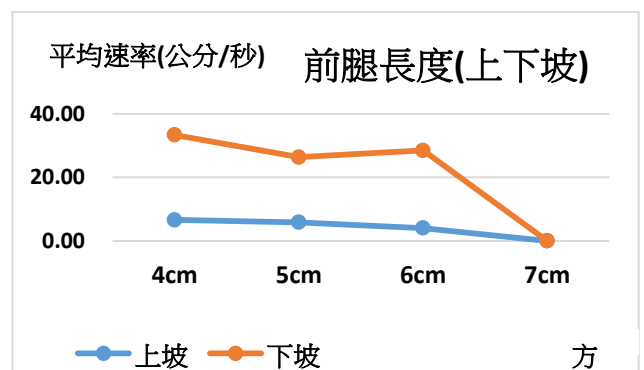


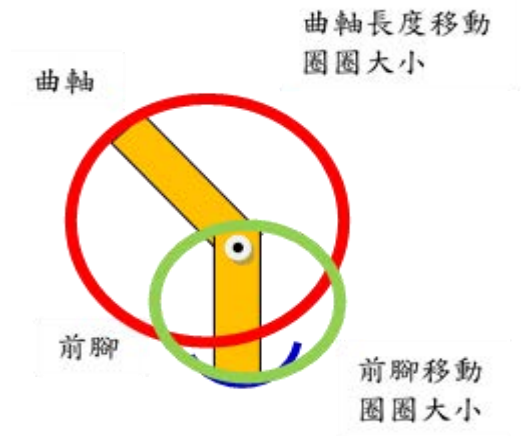
圖 17：前腿長度對運輸裝置上下坡速率比較

【研究發現】

1. 前腿 4cm 最快。
2. 前腿愈長愈慢，到 7cm 甚至無法實驗。

【實驗結果與討論】

1. 當前腿長 > 曲軸長度的時候，就無法行走。
2. 曲軸接收來自馬達的動力，為施力點，踩踏地板的前腿為抗力點，因此，當施力臂 < 抗力臂的時候，一樣會無法運動。



研究 3-4：不同曲軸長度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

【研究構想】

曲軸的長度，會影響步幅的大小，因此我們利用四連桿運輸裝置原型，改變曲軸長短，並測量前進的速率。

【實驗步驟】

1. 製作運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將曲軸的長度改為 6cm、5cm、4cm、3cm、2cm，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置上下坡的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 9、10，圖 18、19。

表 9：曲軸長度對運輸裝置上下坡時間比較

曲軸長度/時間	時間 (秒)		
	上坡	下坡	總時間
6cm	30.86	5.56	36.42
5cm	34.61	7.15	41.76
4cm	30.03	8.13	38.15
3cm	34.41	10.80	45.21
2cm	31.56	13.01	44.57

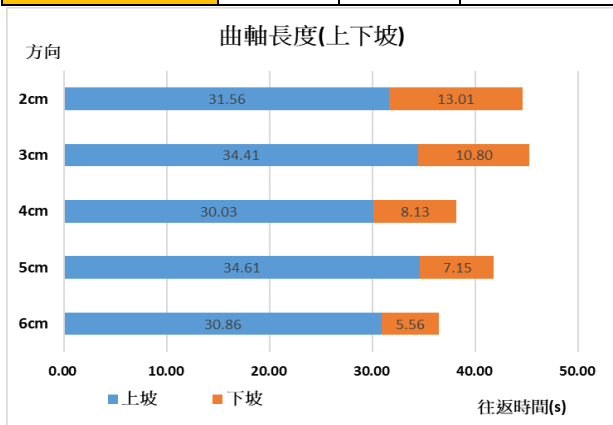


圖 18：曲軸長度對運輸裝置上下坡時間比較

表 10：曲軸長度對運輸裝置上下坡速率比較

曲軸長度/速率	速率 (公分/秒)		
	上坡	下坡	速率差
2cm	6.35	15.38	9.03
3cm	6.12	18.58	12.46
4cm	6.78	25.09	18.31
5cm	6.22	28.05	21.83
6cm	6.53	36.19	29.66

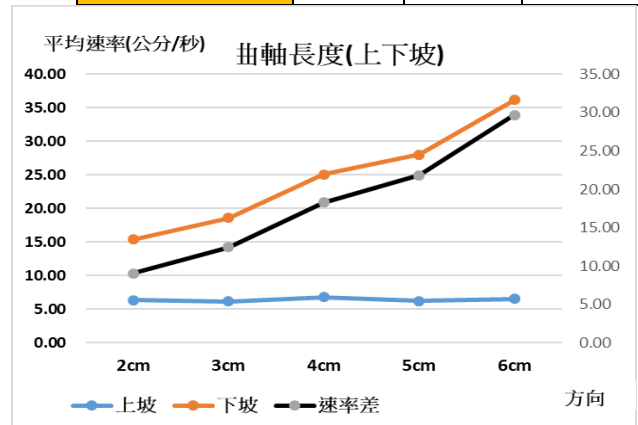


圖 19：曲軸長度對運輸裝置上下坡速率比較

【研究發現】

1. 曲軸 6cm 最快，曲軸 2cm 最慢。
2. 上坡都很慢，但下坡時，曲軸愈長，下坡愈快。

【實驗結果與討論】

下坡時曲軸愈長愈快，推測是因為下坡時的方向，讓曲軸改為後驅動，成為一種大輪軸的概念，幫助運輸裝置能快速的下坡。

研究 3—5：不同連桿長度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

【研究構想】

根據以往的研究，單連桿設計的機械連桿愈短，移動速率愈快；交叉連桿的則愈長愈快。我們好奇曲軸加長的四連桿運輸裝置，是否也會有類似的效果，因此進行以下研究。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將連桿的長度改為 15cm、13cm、11cm，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置上下坡的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 11、12，圖 20、21。

表 11：連桿長度對運輸裝置上下坡時間比較

連桿長度/時間	時間		
	上坡	下坡	總時間
15cm	28.8	8.162	36.962
13cm	22.36	7.85	30.21
11cm	31.66	8.37	40.03

表 12：連桿長度對運輸裝置上下坡速率比較

連桿長度/速率	速率(公分/秒)		
	上坡	下坡	速率差
15cm	7.17	25.17	16.17
13cm	9.20	26.26	17.73
11cm	6.50	24.26	15.38

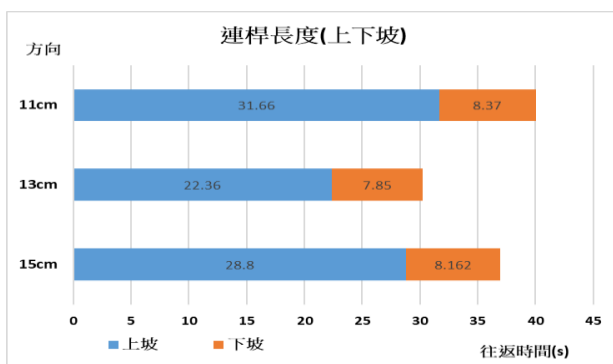


圖 20：連桿長度對運輸裝置上下坡時間比較

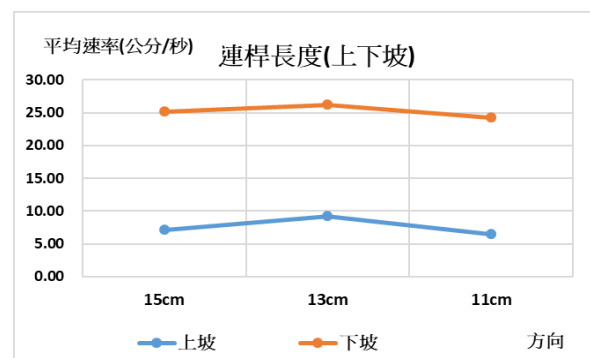


圖 21：連桿長度對運輸裝置上下坡速率比較

【研究發現】

1. 連桿 13cm 移動速率快，連桿 11cm 最慢。
2. 連桿 17cm 以上無法實驗。

【實驗結果與討論】

1. 連桿的最佳長度是 13cm，到底是實驗誤差，還是有其他的原因，值得再確認。
2. 連桿 17cm 以上無法實驗，與扭力不足有關連。

目的四：不同摩擦力配置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

研究 4-1：不同摩擦力位置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

【研究構想】

爬坡時，需要後方的摩擦力以反作用力的方式向前推進，但又想加快速率，因此想測試不同止滑位置，對四連桿運輸裝置上下坡有何影響。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將止滑的位置改為全止滑、前止滑、後止滑、無止滑，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置上下坡的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 13、14，圖 22、23。

表 13：止滑位置對運輸裝置上下坡時間比較

止滑位置/時間	時間 (秒)		
	往	返	總時間
全止滑	41.386	5.156	46.542
前止滑	無法實驗	無法實驗	無法實驗
後止滑	72.58	10.83	83.41
無止滑	無法實驗	無法實驗	無法實驗

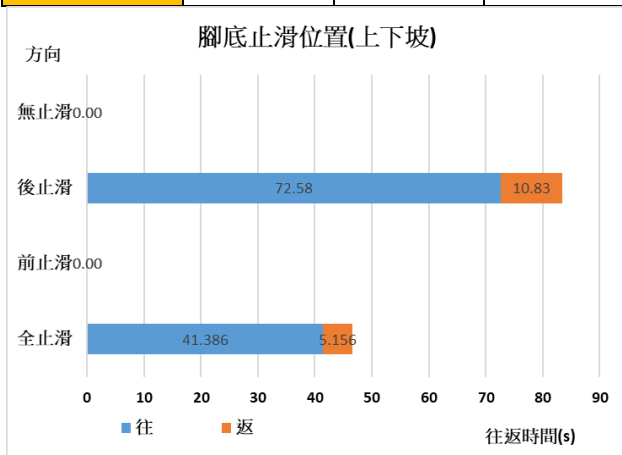


圖 22：止滑位置/對運輸裝置上下坡時間比較

表 14：止滑位置對運輸裝置上下坡速率比較

止滑位置/速率	速率 (公分/秒)		
	往	返	平均速率
全止滑	5.01	39.56	22.28
前止滑	無法實驗	無法實驗	無法實驗
後止滑	3.00	21.65	12.33
無止滑	無法實驗	無法實驗	無法實驗

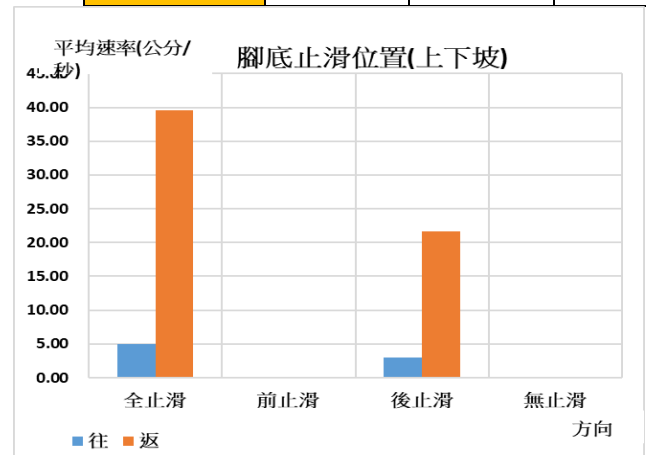


圖 23：止滑位置對運輸裝置上下坡速率比較

【研究發現】

1. 四連桿運輸裝置全止滑比較快。
2. 摩擦力位置為無止滑、前止滑，後腳會打滑，無法進行實驗。

【實驗結果與討論】

1. 全止滑四個接觸點都有摩擦力，能幫助機械獸順利的在賽道上移動。
2. 後止滑能幫助推動運輸裝置上坡，下坡時方向改變，變成前方有止滑，並沒有比較快。

研究 4-2：平面腳底與曲面腳底配置，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

【研究構想】

曲面的腳底與地面的接觸面積較大，我們很好奇，對於上下坡而言，曲面腳底是否也是最佳設計，因此我們以四連桿運輸裝置原型，採用曲面腳底，測量行走的速率。

【實驗步驟】

1. 製作四連桿運輸裝置的原型，在運輸裝置身上加觸控器和數字顯示電壓表。
2. 分別將運輸裝置的腳底改為平面腳底、曲面腳底，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置上下坡的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 15、16，圖 24、25。

【研究發現】

1. 平面腳底比較快，曲面腳底比較慢。
2. 平面腳底設計在上坡的時候比較快。

【實驗結果與討論】

1. 曲面腳底與賽道之間接觸點比較多，反而拖慢了速率，平面腳底適度的摩擦力反而比較快。
2. 平面腳底與曲面腳底的搭配，可以再多一點的嘗試，找到更多元的配置。

表 15：腳底配置對運輸裝置上下坡時間比較

腳底配置/時間	時間		
	上坡	下坡	總時間
曲面腳底	41.386	5.162	46.548
平面腳底	33.49	4.81	38.29

表 16：腳底配置對運輸裝置上下坡速率比較

腳底配置/速率	速率(公分/秒)		
	上坡	下坡	平均速率
曲面腳底	5.01	39.48	22.24
平面腳底	6.20	44.30	25.25

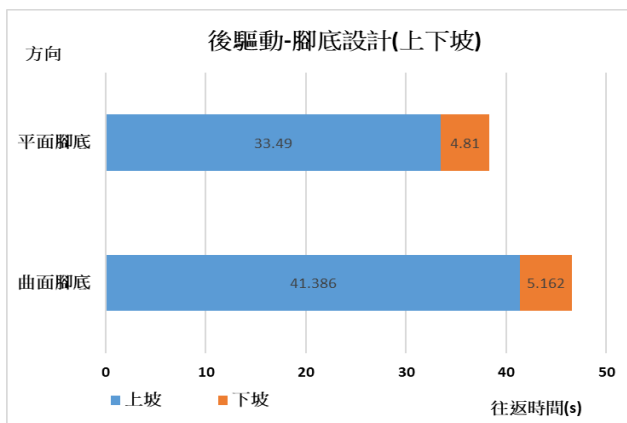


圖 24：腳底配置對運輸裝置上下坡時間比較

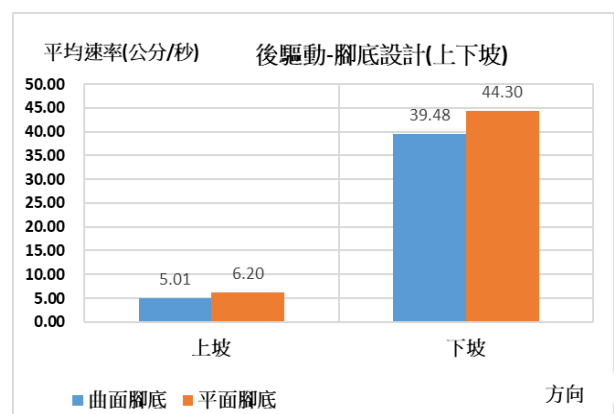


圖 25：腳底配置對運輸裝置上下坡速率比較

目的五：在最佳機型的條件下，探討運輸裝置適應地形的情形。

研究 5-1：不同坡度，對運輸裝置上下坡的速率有何影響？

【研究構想】

我們找出最佳的機型，想測試運輸裝置能走多大的坡度，因此進行以下實驗。

【實驗步驟】

1. 整理上述研究結果，討論與歸納運輸裝置的最佳條件，如表 17：根據結論製作一隻上下坡最佳效果的運輸裝置。
2. 分別將坡度調整為 10 度、15 度、20 度，再放到賽道上。
3. 按下開關，計時並進行攝影，計算運輸裝置上下坡的平均速率。
4. 將結果記錄如下表 18、19，圖 26、27。

表 17：運輸裝置的最佳條件

改變的因素	最佳效果
電池盒黏貼位置	前下
曲柄的擺放方式	右下
後腿固定孔的位置	9cm
前腿長度	4cm
曲軸長度	6cm
連桿長度	13cm
止滑位置	全止滑
腳底設計	平面腳底

【研究發現】

1. 運輸裝置能順利地爬上10-15度的坡度。
2. 坡度20度時，明顯的變慢。

【實驗結果與討論】

1. 隨著坡度增加，機械獸上坡的時間明顯增加，下坡速率愈快。
2. 能克服種種困難，讓運輸裝置爬上坡，還能返回順利下坡，我們感到非常開心！

表 18：不同坡度對運輸裝置上下坡時間比較

坡度/時間	時間 (秒)		
	上坡	下坡	總時間
10 度	19.90	7.00	26.90
15 度	20.20	6.51	26.71
20 度	43.45	5.57	49.02

表 19：不同坡度對運輸裝置上下坡速率比較

坡度/速率	速率(公分/秒)		
	上坡	下坡	速率差
10 度	10.32	28.83	19.57
15 度	10.06	31.49	20.78
20 度	4.84	37.98	21.41

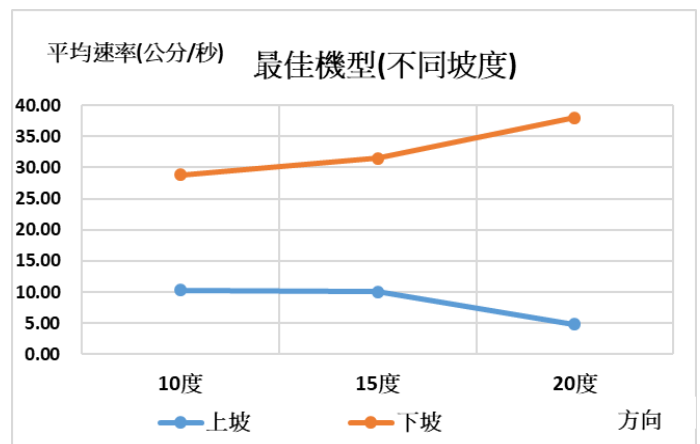
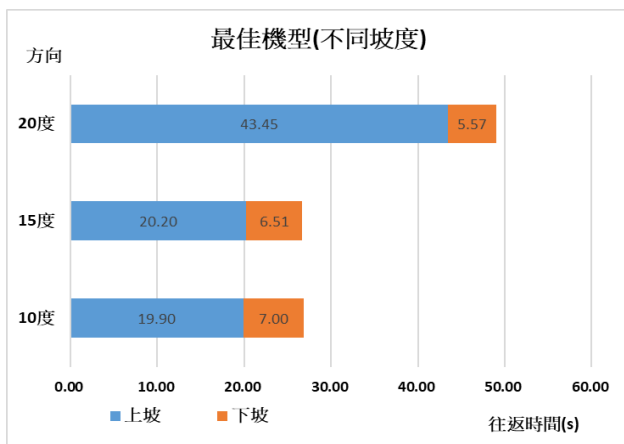


圖 26：不同坡度對運輸裝置上下坡時間比較

圖 27：不同坡度對運輸裝置上下坡速率比較

研究 5-2：不同障礙的地形，對運輸裝置的速率有何影響？

【研究構想】

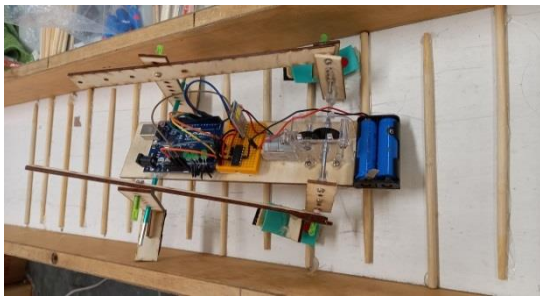
我們設計的運輸裝置可能會遇到不同障礙地形，例如高低起伏不同的地。因此，我們利用筷子在賽道中模擬不同程度障礙的地形，對行走快慢的影響。因此，進行以下實驗設計。

【實驗步驟】

1. 準備不同障礙物賽道：在 170 公分賽道上將直徑 0.5 公分筷子，每隔 10 公分黏 1 根筷子。
2. 將運輸裝置放到賽道上，測試 5 次行進時間，並計算平均速率。



3. 將直徑 0.5 公分筷子，改成每隔 5 公分、2.5 公分黏 1 根筷子在 170 公分賽道上，分別測試 5 次行進時間，並計算平均速率。



4. 將結果記錄如下圖 28、29。

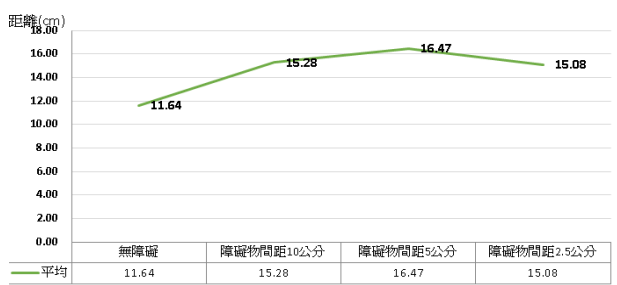


圖 28：不同障礙物對運輸裝置行進時間影響

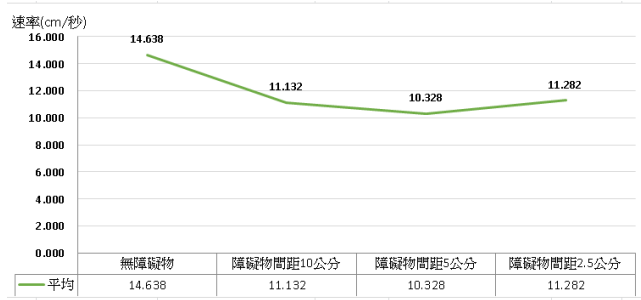


圖 29：不同障礙物對運輸裝置行進速率影響

【研究發現】

1. 沒有障礙物下，運輸裝置行儘速率最快14.638（公分/秒）。
2. 障礙物間距為2.5公分時，行進速率最快；而障礙物間距為5公分時，行進速率最慢。

【實驗結果與討論】

沒有障礙物下，運輸裝置行進速率最快，符合我們的預期。但是，當障礙物最密時（間距為2.5公分），行進速率最快。推測間距較密時，運輸裝置與障礙物的摩擦力較小。而障礙物間距為5公分，運輸裝置的腳，恰好卡住，因而行進速率最慢。

研究 5—3： 不同障礙的地形高度，對運輸裝置的速率有何影響？

【研究構想】

運輸裝置除了遇到不同程度障礙物，也可能遇到高低不同程度地形。我將筷子疊高，模擬不同高地地形，測試運輸裝置對行走快慢的影響。

【實驗步驟】

1. 準備不同高度障礙物賽道：在 170 公分賽道上，將直徑 0.5 公分筷子，每隔 10 公分黏將 2 根筷子疊高(高度 1 公分)。
2. 將運輸裝置放到賽道上，測試 5 次行進時間，並計算平均速率。



3. 在 170 公分賽道上，改將直徑 0.5 公分筷子，每隔 10 公分，分別將 3 根、4 根、5 根筷子疊高(高度成為 1.5 公分、2 公分、2.5 公分)，分別測試 5 次行進時間，並計算平均速率。



4. 將結果記錄如下圖 30。

【研究發現】

1. 沒有障礙物下，運輸裝置行儘速率最快 14.64 (公分/秒)。
2. 障礙物高度越高，行進速率越慢；障礙物高度越低，行進速率越快。

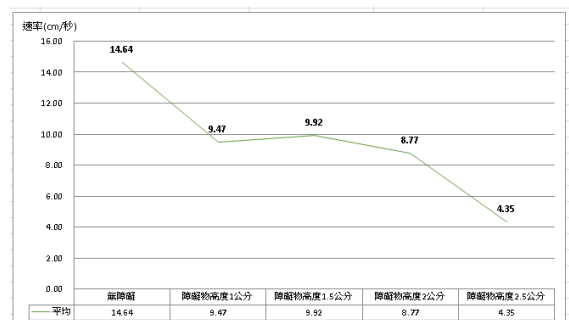


圖 30：不同障礙物高度對運輸裝置行進速率影響

研究 5-4：實際在人工步道，測試運輸裝置行進的速率有何影響？

【研究構想】

經由【研究 5-2、5-3 不同障礙物地形模擬實驗】，我們想測試運輸裝置遇到學校「人工步道」（石頭鋪成、光滑地板）對運輸裝置行走快慢的影響。

【實驗步驟】

1. 測量人工步道高度：實際測量校園中，人工步道高度（0.5 公分、1.5 公分、2.5 公分）。及用彈簧秤，測量光滑地板的摩擦力大小。
2. 將運輸裝置放到不同高度人工步道上（石頭鋪成），測試 5 次行進時間，並計算平均速率。
3. 改將運輸裝置放到另一種人工步道~光滑地板，測試 5 次行進時間，並計算平均速率。
4. 將結果記錄如圖 31。



【研究發現】

1. 人工步道~光滑地板，運輸裝置行進速率最慢(11.20 公分/秒)。
2. 人工步道~石頭鋪成的步道，石頭高度 1.5 公分時運輸裝置行進速度最快 (16.99 公分/秒)；石頭高度 2.5 公分時，運輸裝置行進速度最慢 (12.39 公分/秒)。
3. 運輸裝置在人工步道中石頭高度由 0.5 公分至 1.5 公分時，速度變快，而石頭高度超過 1.5 公分時，行進速度變慢。

【實驗結果與討論】

1. 運輸裝置在光滑地板上，由於摩擦力小，以致於腳底打滑，因而行進速率最慢。
2. 運輸裝置在人工步道當石頭高度大於 1.5 公分行進時，因運輸裝置腳跨不過去，因而行進速度最慢。



圖 31：不同人工步道對運輸裝置行進速率影響

肆、討論

我們在這個研究設計了「適應地形的足行運輸裝置」，並進行運輸裝置在「機構設計」、「適應不同地形及障礙物」的一連串的研究，期望未來在救災現場，能運用這個低成本的運輸裝置，協助運送物資。根據實驗結果，運輸裝置在「機構設計」、「適應不同地形及障礙物」分析如下：

一、後腿鎖定於固定孔的支點位置不同時，對四連桿運輸裝置系統行進之速率影響

我們從【研究 3-2】的實驗結果發現，當運輸裝置的後腿鎖定在固定桿的支點位置越高時，整體結構的後端部分會翹得越高，且使四連桿運輸裝置行走的速率會越快，如圖 32 示意圖。為

了更精確分析後腿鎖定固定孔不同位置(即圖32內所示的支點位置)的高低，對四連桿運輸裝置往返速率快慢的影響。我們利用Tracker觀察，並分析四連桿運輸裝置在行進時，左右兩支後腿位置分別移動的情形、後腳、前腳移動路徑以及曲軸移動路徑的比較結果，結果如表20和圖32。

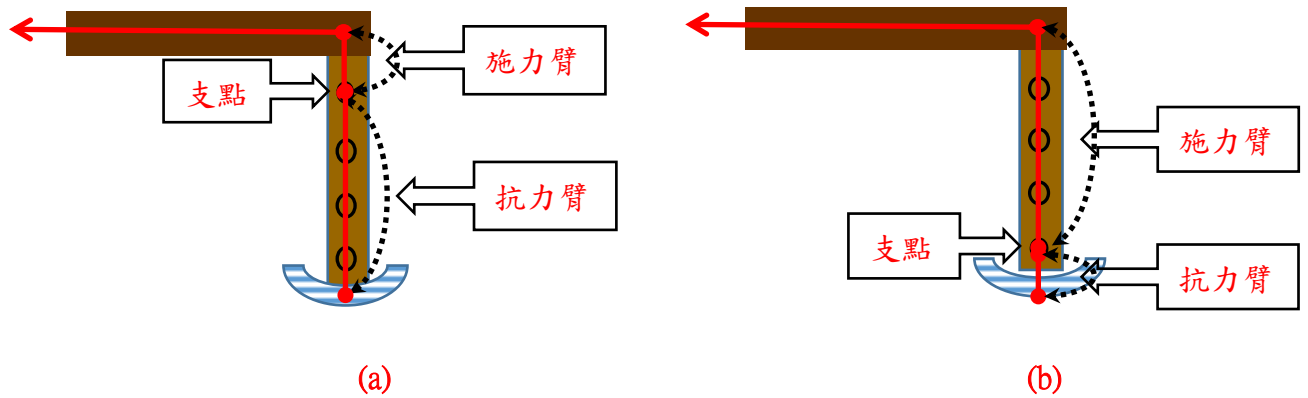


圖32：(a)後腿鎖定在固定桿上的支點位置越高，即後腿位置越短。(b)後腿鎖定的支點位置越低，即後腿位置越長。

表20：後腿鎖定在固定桿上的不同支點位置時(黑色實心)，對後腳來回擺動的弧度、前腳來回擺動的弧度及曲軸移動的路徑大小的比較表。

後腿鎖定支點不同位置	10cm	9cm	8cm	7cm
後腳連桿移動弧度	12.9 cm	12.0 cm	12.7 cm	11.2cm
後腳移動弧度大小	7.7 cm	8.26 cm	11 cm	12.8cm
曲軸大小	12.7cm	11.6cm	12.5cm	11.4cm
前腳移動圈圈大小	14.6cm	14cm	13.8cm	13.5cm

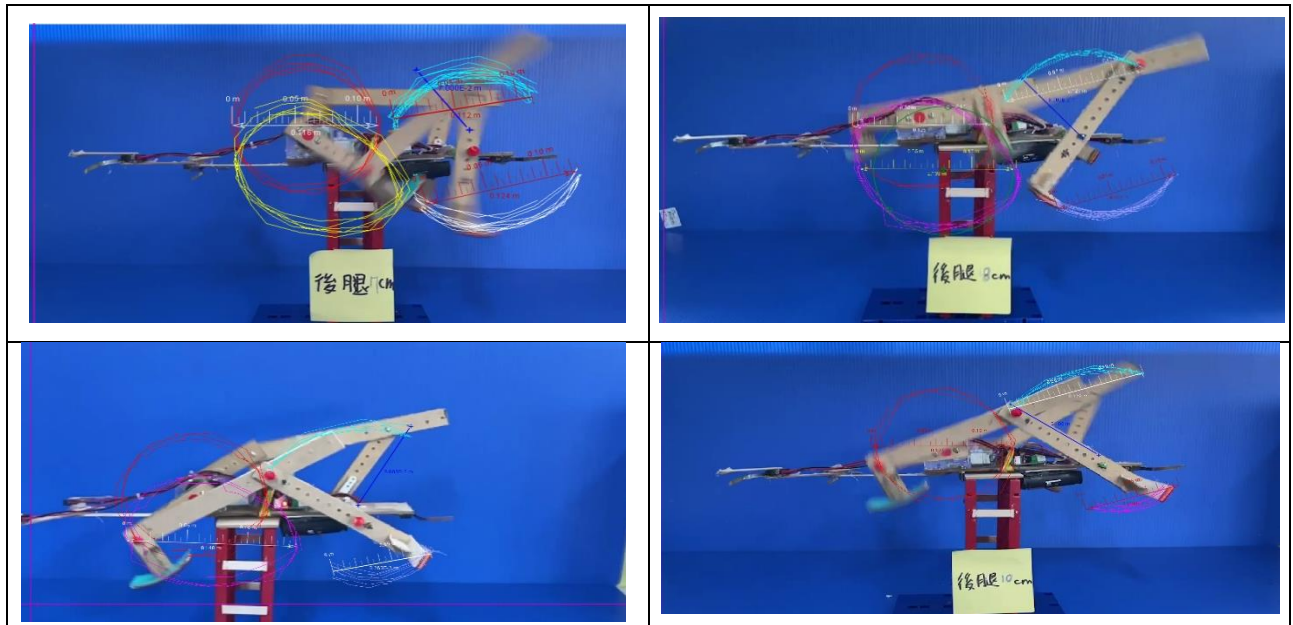


圖33：後腿鎖定不同支點位置，對前腳移動路徑大小及對後腳移動弧度影響

後腿鎖於固定桿的支點位置與施力臂、抗力臂如圖32所示。表20的實驗結果可得下列結果：

1. 後腿支點位置越高(7 cm)，後腳來回擺動的移動路徑越長(12.8cm)，顯示後腳跨步越大。
2. 後腿支點位置越低(10cm)，後腳來回擺動的移動路徑越短(7.7cm)，顯示後腳跨步越小。

根據槓桿原理解釋，當後腿位置越高（意即後腿位置越短），以致施力臂越短，故施力會越費力，因而使得在另一端產生後腳的移動較長，扭力較小的效果。而後腿位置越低（即後腿位置越長），施力臂越長，可提供越省力的效果，因而使得在另一端產生後腳的移動較短，但扭力較大的效果。

在四連桿運輸裝置進行爬坡時，除了希望運輸裝置移動速率要能快外，但也要有足夠的扭力，四連桿運輸裝置才能有足夠的力道爬行至終點。但是，通常扭力大，則速率慢；扭力小，則速率快，兩者效應是互相消長的影響。經由【研究3-2】的研究結果，發現當後腿的支點位置選擇在9 cm時，系統爬坡時，能產生的速率最快，且能取得適當的扭力，以使運輸裝置能達到終點。

二、不同曲軸長度，對運輸裝置往返的速率影響？

由【研究3-4】不同曲軸長度對運輸裝置上下坡的速率實驗，發現上坡、下坡，曲軸愈長愈快。更進一步利用Tracker分析不同曲軸長度（圖34），對移動路徑、前腳移動路徑以及曲軸移動路徑比較，結果整理成表21。

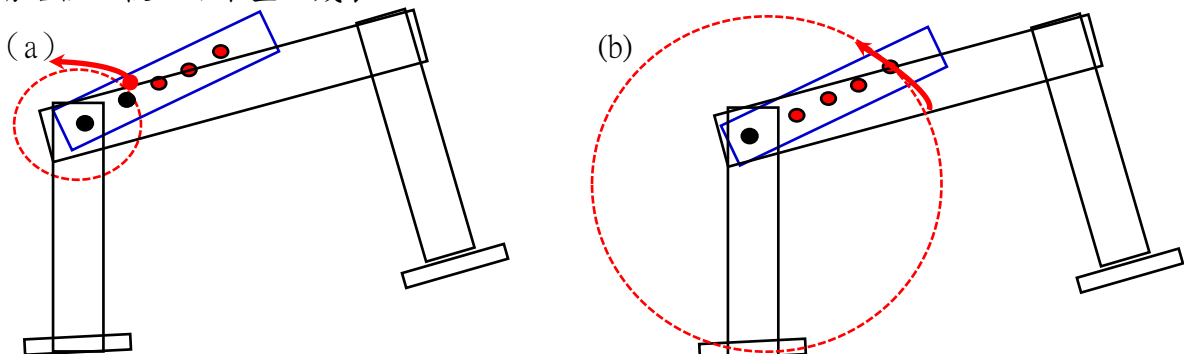


圖34：(a)前腿鎖定曲軸位置較短，即前腿移動時繞的圈圈較小。
(b)前腿鎖定曲軸位置較長，即前腿移動時繞的圈圈較大。

由表21、圖35以Tracker分析發現，當前腿鎖定曲軸位置較短(3cm)，即前腿移動時繞的圈圈較小(4.98cm)；前腿鎖定曲軸位置較長(6cm)，即前腿移動時繞的圈圈較大(12cm)。

又由於前腳連接在曲軸上，而前腳上的連桿連接後腿，當前腳之曲軸較長(6cm)時，後腳移動的步伐較長(9.44cm)；而前腳之曲軸較短(3cm)時，後腳移動的步伐較短(6.95cm)。

從上面討論獲得以下結論：當前腿鎖定曲軸位置較短時，前腿移動時繞的圈圈較小，後腳移動的步伐較短；前腳鎖定之曲軸位置較長時，前腿移動時繞的圈圈較大，後腳移動的步伐較長。

表21：不同曲軸長度，對移動路徑、前腳移動路徑以及曲軸移動路徑比較

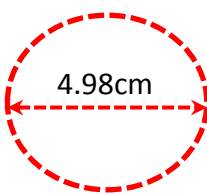
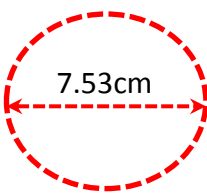
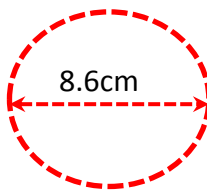
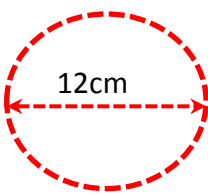
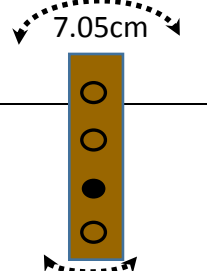
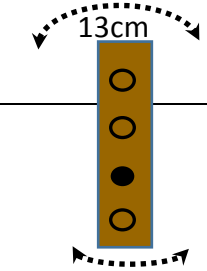
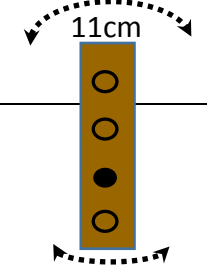
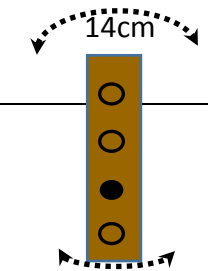


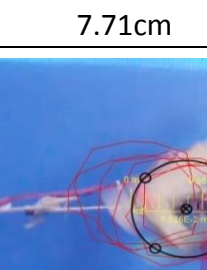

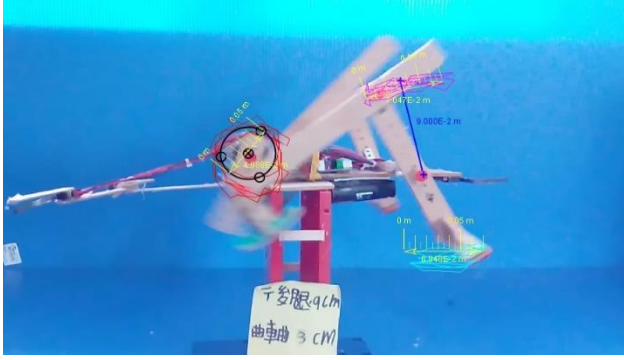
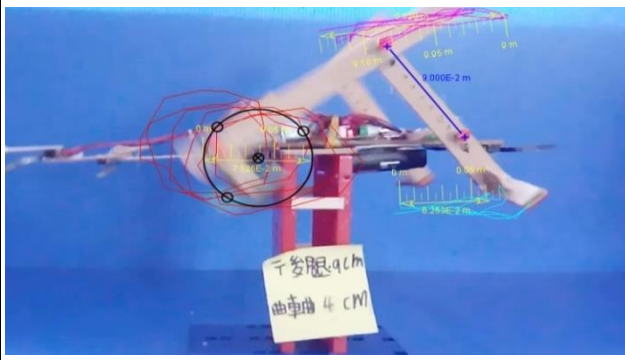
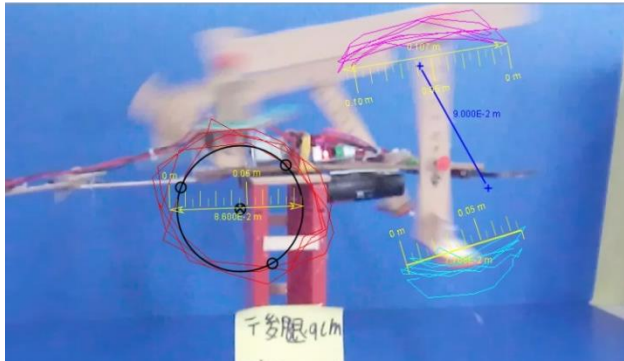
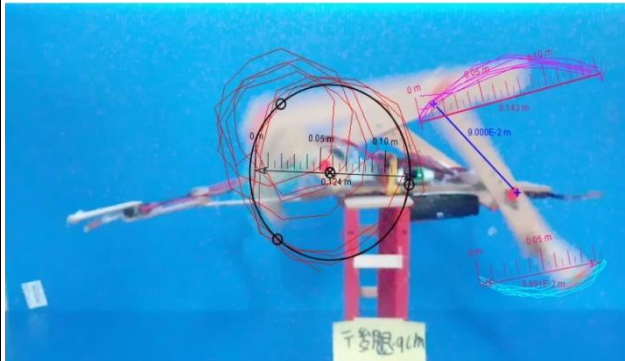
曲軸長度	3cm	4cm	5cm	6cm
前腳移動 圈圈大小				
後腳連桿 移動弧度				
後腳移動 弧度大小				
				
				

圖35：前腿鎖定曲軸位置長短，對前腳移動路徑大小及對後腳移動弧度影響

三、不同連桿長度，對運輸裝置往返的速率影響？

經過一連串的實驗之後，老師教我們運輸裝置是一種四連桿機構，當曲軸拉到最前方的時候，就是後腿向前的擺動位置；當曲軸到最後方的時候，後腿則向後拉動。在研究 3-5 的實驗中，我們發現連桿最佳的長度是 11cm，原來是受限於「曲軸的中心和後腿固定桿的距離」(圖 36)。在整個實驗過程中，慢慢的抽絲剝繭，終於將疑問解開了！

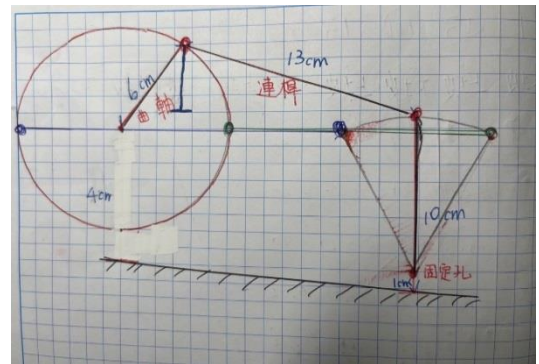


圖 36：四連桿模擬討論圖

四、不同曲柄的擺放方式，對運輸裝置往返的速率有何影響？

運輸裝置左右兩隻腿，分別有一個曲柄固定在曲軸上，讓馬達帶動曲柄，並帶動曲軸轉動。這兩隻曲柄擺放的位置不同時，對運輸裝置有何影響？由【研究 3-1】研究，分別設計四種曲柄擺放不同位置如表 22。


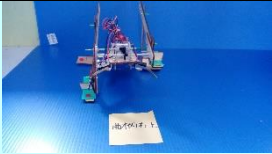
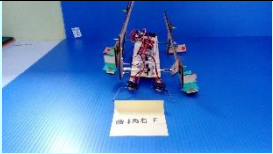











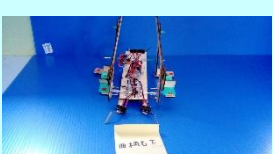

表 22：不同曲柄的擺放方式，對運輸裝置往返的速率影響

曲柄位置		曲柄一上、一下	曲柄一下、一右上	曲柄一下、右下	曲柄一下、一下
兩個曲柄位置	左前腳				
	右前腳				
兩個曲柄角度		180°	225°	315°	0° / 360°
上坡	速率排序	3	2	1	4
	比較			最快	最慢
下坡	速率排序	4	3	2	1
	比較	最慢			最快
上坡下坡兩腿施力方向					

運輸工具在爬坡時，主要往上爬的力為垂直分力，而下坡時，主要的力為水平分力。由【研究 3-1】研究發現曲柄都是在下時(兩個曲柄角度 0 度)，兩隻前腳同時著地(或懸空) (表 22)，在上坡時速率最慢，而下坡時速率最快。再由表 2 上坡、下坡運輸裝置兩腳施力方向，當兩個曲柄都是往下時，上坡時兩腳往後施力，往前爬坡的分力為最小，以至於上坡最慢，但是在下坡時反而是速率最快。

而在曲柄曲柄一上、一下時(兩個曲柄角度 180 度)，兩隻前腳一隻腳著地、另一腳懸空(表 23)，在下坡時速率最慢。由表 23 下坡兩腳施力方向分析，發現下坡時一腳往前用力，另一腳懸空往後用，兩者合力為最小。

表 23: 不同曲柄的擺放方式，前腳著地情形比較

曲柄一上、一下	曲柄一下、一右上	曲柄一下、右下	曲柄兩下
			
			
			
			

五、在最佳機型的條件下，探討運輸裝置適應地形的情形。

在最佳機型的條件下，由【研究 5-1】發現運輸裝置能順利地爬上 10~5 度的坡度，坡度越大爬行速率越慢。在爬坡時，往前力量分為水平方向與垂直方向。而運輸裝置在坡度越大時，往前的水平分力較小，因而爬行速率越慢。

在不同障礙地形下對運輸裝置影響，由【研究 5-2、5-3、5-4】發現障礙物間距為 2.5 公分時，行進速率最快；而障礙物間距為 5 公分時，行進速率最慢。在學校「人工步道」(石頭鋪成、光滑地板)實驗發現光滑地板，運輸裝置行進速率最慢，人工步道中石頭高度由 0.5 公分至 1.5 公分時，速度變快，而石頭高度超過 1.5 公分時，行進速度變慢。我們推測跟運輸裝置腳底的摩擦力有關。我們利用彈簧秤拉動密集板，分別進行不同障礙地形測量五次摩擦力，結果如下：

表 24：不同賽道摩擦力測試歷程


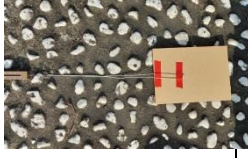


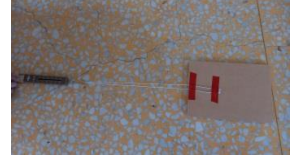




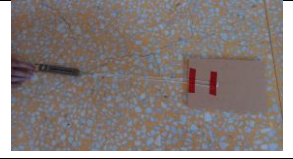
				
測試密集板與賽道 摩擦力	測試密集板與人 工步道摩擦力	測試密集板與人 工步道摩擦力	測試密集板與障 礙物時摩擦力	測試密集板與光滑 地板摩擦力
				
密集板加桌球皮(模擬 運輸裝置腳底)	測試運輸裝置與 賽道摩擦力	測試運輸裝置與 人工步道摩擦力	測試運輸裝置與 障礙物摩擦力	測試運輸裝置與光 滑地板摩擦力

表 25：不同賽道摩擦力比較

摩擦力(克) /賽道	賽道			光滑 地板	運輸裝置 (在賽道)	運輸裝置 (在人工步道)	運輸裝置 (在光滑地板)
	前段	中段	後段				
摩擦力測試 (5次平均)	19.00	20.00	20.00	11.00	61.00	87.00	17.00

由表 25 發現在光滑地板，摩擦力為(11 克)，運輸裝置在光滑地板行進時摩擦力為最小(17 克)，以致於運輸裝置腳底打滑，行進速率最慢。而運輸裝置後，在人工步道行進時，摩擦力變成 87 克，摩擦力變大。因此，運輸裝置在不同障礙物下，摩擦力大小影響前進速率。

伍、結論

運輸裝置在不同結構設計下，獲以下結論：

- 一、重心位置影響：電池盒在前方速率穩定，平面折返走時，電池盒前上最快；上下坡折返走，在前下最快。
- 二、最佳機型：曲柄位置為右下，固定桿 9cm、前腿 4cm、曲軸 6cm、連桿 13cm 的配置最佳。
- 三、腳底設計對運輸裝置上下坡：以全止滑比較快，平面腳底比較快，能使運輸裝置走得最快。
- 四、曲軸長度：運輸裝置之前腳曲軸越長，前腿移動圈圈越大，而後腳移動的步伐越長。
- 五、後腿支點：運輸裝置後腿位置越高，後腳移動路徑越長。
- 六、爬坡角度：最佳機型的運輸裝置，能順利地爬上 20 度的坡度。
- 七、運輸裝置在不同障礙物下：障礙物間距為 2.5 公分時，速率最快；高度越高，速率越慢；人工步道之石頭高度>1.5 公分時速度變慢。

陸、未來展望

本研究設計了「適應地形的足行運輸裝置」，並進行運輸裝置在「機構設計」、「適應不同地形及障礙物」的一連串的研究，提供未來「無人運輸裝置」，用在火場救災、運輸上，能更適應地形，也希望能運用這個低成本的運輸裝置，協助運送物資。期望未來無人運輸裝置，能更具智能，遇到不同地形能在結構上轉變，例如：為了適應地形跨越水溝，變換不同行進結構；能偵測溫度，進行不同災害應變（例如進入火場欲高溫時，能噴灑滅火材料），達到救災、減少人員傷亡、財產損失。

柒、研究心得

呂 00：第一次接觸足行機器人，是在我三年級的時候，那時我還僅僅覺得它只是一個特別的玩具，沒想到他會有這麼多的奧妙之處可以探索，透過這次科展，讓我重新認識了足行機器人，在它小小的身體裡卻包含了許多科學原理，像力學、槓桿原理等，也讓我明白生活處處是科學。在這次科展實驗中，我們常常遇到一些因為小零件鬆脫，導致整個實驗做不出來的問題。為了解決這個問題，我們在每次實驗前，都會認真檢查所有的小零件，而這件事也讓我體會~魔鬼藏在細節裡--「一個小細節，就可以決定成敗。」而所有的實驗，都是要在不斷的失敗中，找到成功的方法。最後也要謝謝指導我們的老師和陪伴我的團隊，是他們讓我在國小的最後一年，過得如此豐富又精采，我也會帶著這些美好的養分繼續前行，並用科展的精神，來面對未來各種挑戰。

楊 00：我們在實驗的時候遇到了許多困難，在我們組員一起合作下，先了解問題，想出創意解決方法。例如：為了要分析移動路徑，我們利用 Treacker 把每個影片上千個畫面一步步分析，利用電腦分析出路徑，讓我們更加了解曲軸長短對於前後腳移動步距離的影響。展現出解決問題能力。最後，也謝謝我們辛苦的指導老師，讓我們再次站上全國科展舞台。

嚴 00：我要謝謝我們的組長，每次我們不會修的機器人，他都會教我們。還要謝謝我的老師，每次我們沒力氣時，他就會說「加油！加油！快做完了。」我們聽到就會馬上把機器做完，盡快完成實驗。最感謝的是同組夥伴，我每次傷心時，他們都會圍過來逗我開心，我覺得進行科展實驗是我最快樂的一件事。

徐 00：當我做這個實驗時，有許多的挫折，有許多的疑惑，老師都會讓我們想一想、試試看。因為有同學、老師、家長的鼓勵，才能有今日的成果，最後我要再次感謝陪伴我一路走到這裡的夥伴，謝謝！

江 00：這次參與「足行機器人」科展實驗，讓我瞭解更多機械與電子相關知識，也更知道實驗時遇到挫折時該如何修正與改善，謝謝老師的指導，讓我有機會參與科展。

捌、相關參考資料

1. 鍾介恆、古家全、王宜平•萬獸之王最高機密。全國中小學科學展覽。
2. 謝奇霖、邱亞儒、童國毅、彭邦碩•終極目標-萬獸之王曲軸、連桿、後腳組合的探討。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。
3. 顏伯勳、蘇志堅、石宗正•The climbing strandbeest。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。
4. 陳宣翰、張晏嘉、羅武元•步行機構綜合設計原理之研究。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。
5. 謝昀蓁、李昀蓁、羅偉誠•進擊的萬獸—萬獸的終極奧義。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。

【評語】 082803

本作品針對一曲軸連桿機構組成的步行機器人，進行不同物理特性與設計參數實驗與探究，並研究對速度與爬坡角度的影響，具有科學研究精神。除了對於機構設計、重力配置等設計探究在移動速度與上下坡的影響外，也在各種障礙地形進行測試，歸納最佳設計參數，實驗設計廣泛多元，追求最佳設計的精神值得嘉許。若能有效利用機器人身上可用的空間，載運更多物品達成運輸需求，以及討論載物情形下對於系統的影響，將可提升本作品的實用性。

作品簡報

適應地形的運輸裝置之

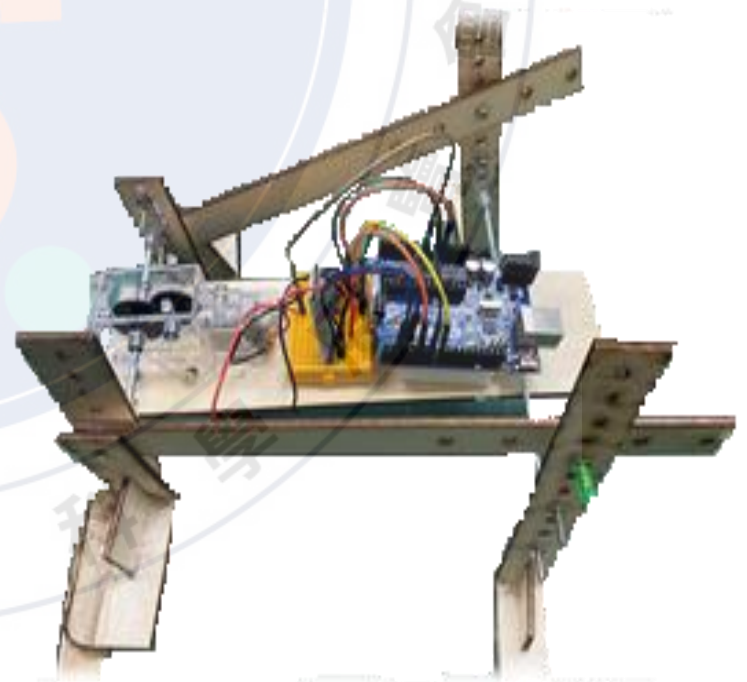
行動機構

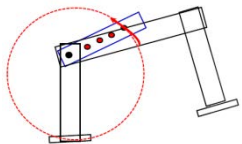
與遠端控制研究

科 別：生活與應用科學(一)機電與資訊

組 別：國小組

作品編號：082803





研究動機與目的

• 新聞報導**城中城大火**，**傷亡慘重**。我們心想能否利用學校老師教我們的許多機器人，進行改良，進入火場進行滅火，作為**救災機器人**呢？我們設計了「**適應地形的足行運輸裝置**」並展開了一連串的研究，在救災現場，也希望能運用這個低成本的運輸裝置，協助運送物資。

研究目的

研究問題

1. 行動機構與遠端控制

1-1 行動機構設計

1-2 藍牙操控設計

2. 貨艙位置

2-1 前進的速率

2-2 往返的速率

2-3 上下坡的速率

3 各部件的位置

3-1 曲柄的擺放

3-2 後腿固定孔的支點位置

3-3 前腿長度

3-4 曲軸長度

3-5 連桿長度

4 不同摩擦力配置

4-1 摩擦力位置

4-2 平面腳底與曲面腳

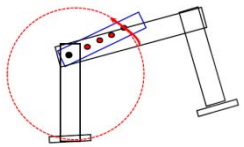
5 最佳機型

5-1 不同坡度

5-2 障礙的地形

5-3 障礙地形高度

5-4 人工步道實測



研究架構

適應地形之運輸裝置的行動機構與遠端控制研究

動機：足行機器人適應地形佳但研究不多

查閱文獻

製作行動機構

藍芽操縱設計

研究目的

往返任務

上下坡任務

適應地形

實驗設計

貨艙位置

四連桿部件

摩擦力配置

行動機構設計

曲柄擺放方式

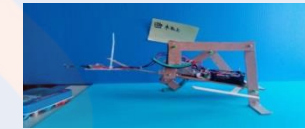
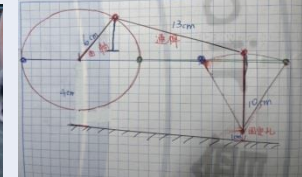
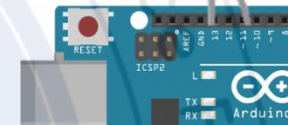
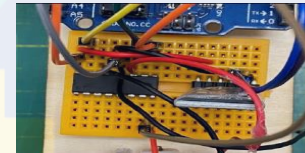
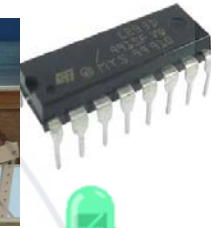
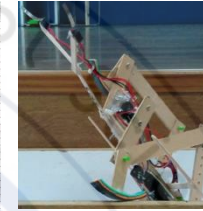
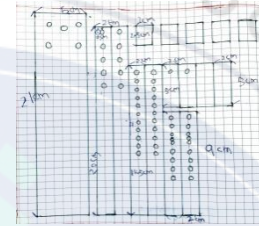
後腿鎖定於固定孔支點位置

前腿長度

曲軸長度

連桿長度

在最佳機型的條件下，探討運輸裝置適應地形的情形



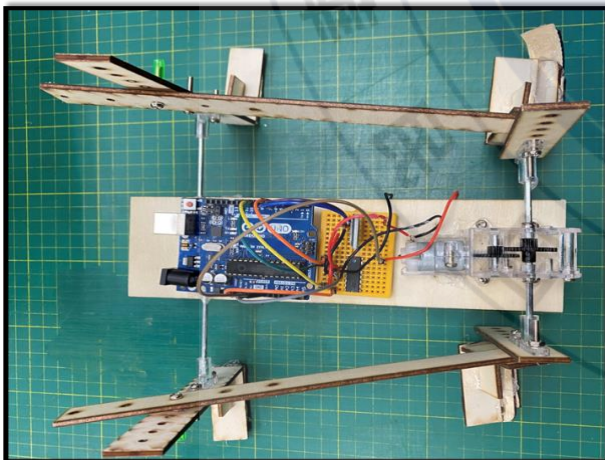
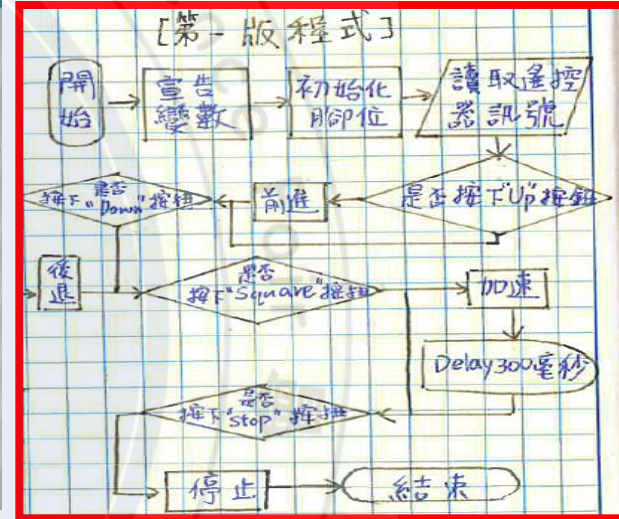
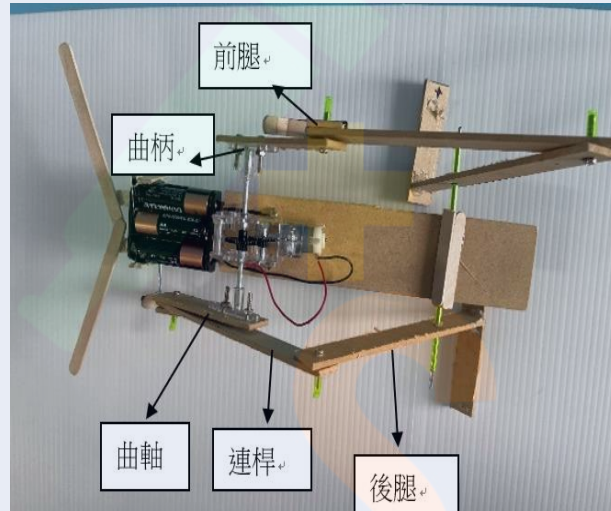
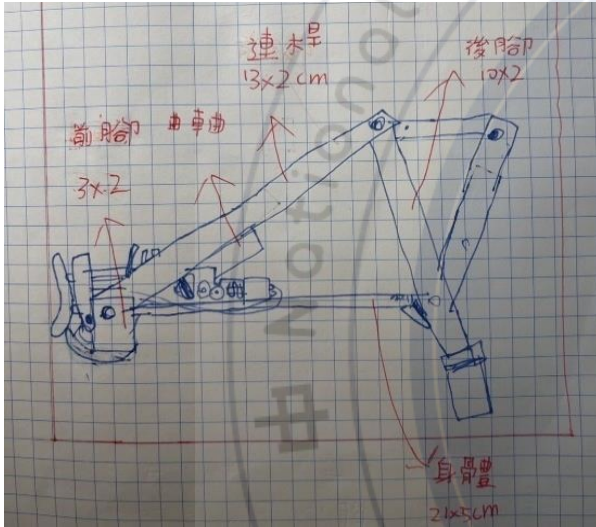
設計運輸裝置

探究運輸結構

最佳機型適應地形

研究方法與結果

一、運輸裝置的行動機構與遠端控制研究



🔴 啟動手機 Dabble App-使用搖桿模式

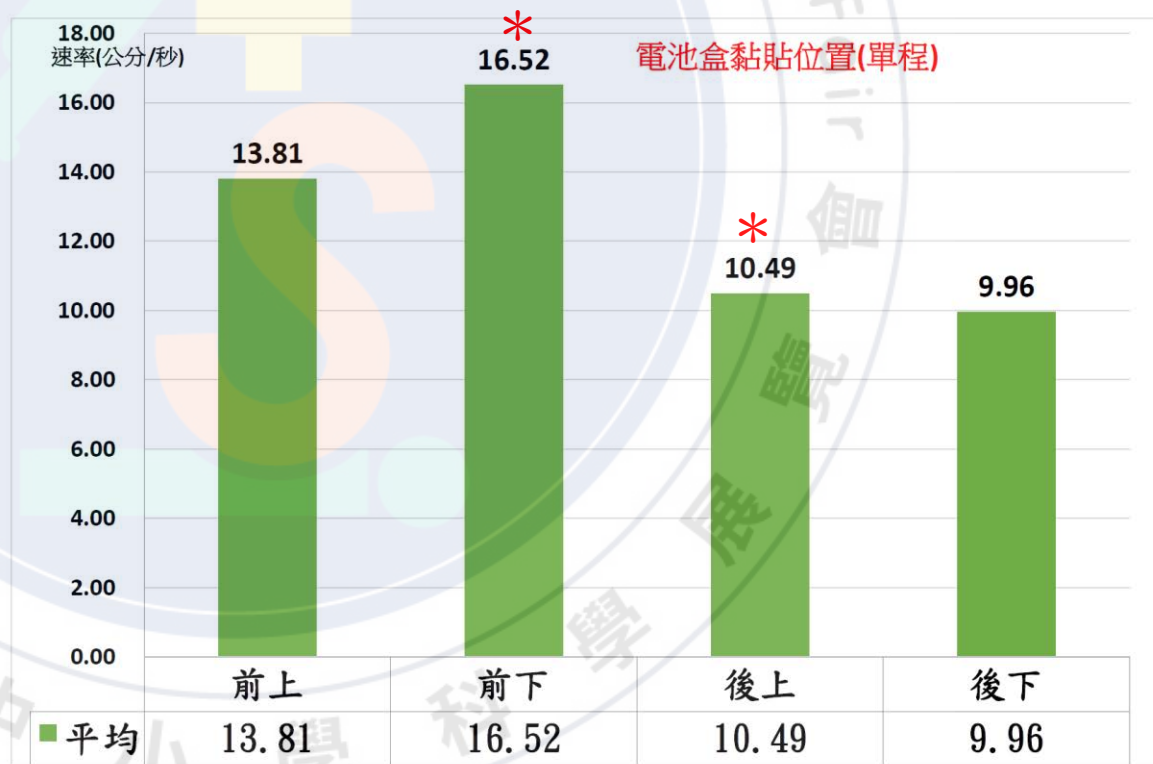
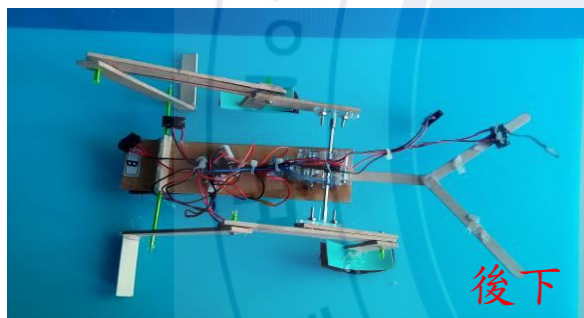
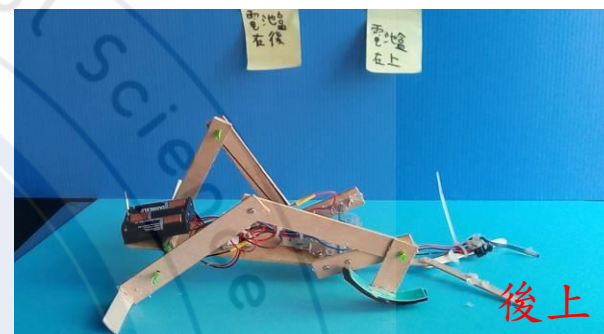
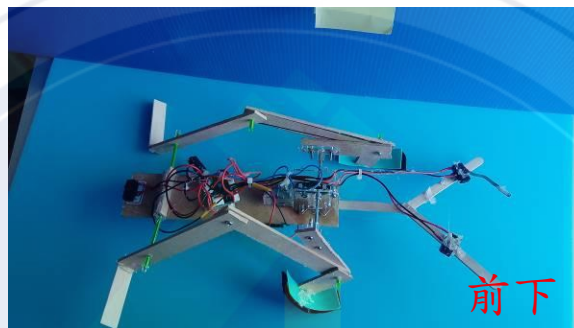


控制
往返

控制驅
動力

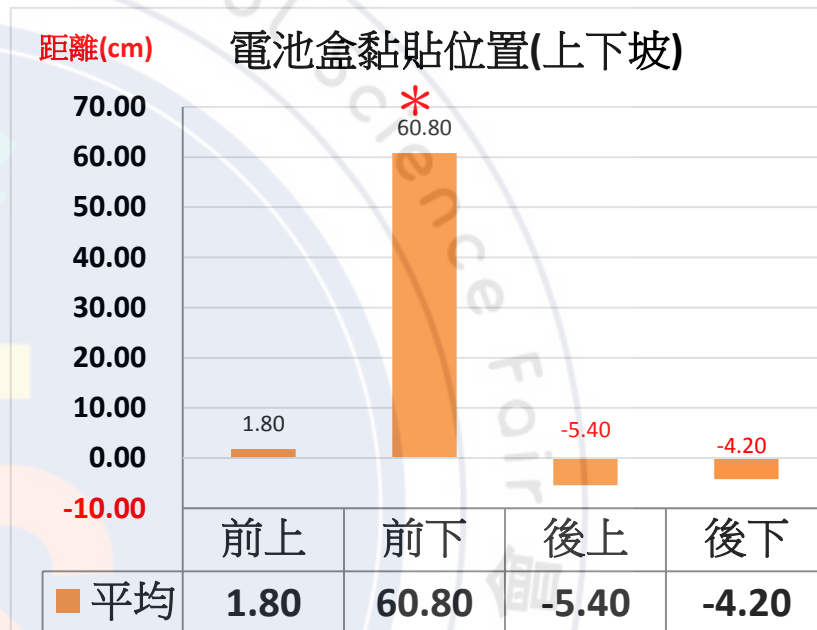
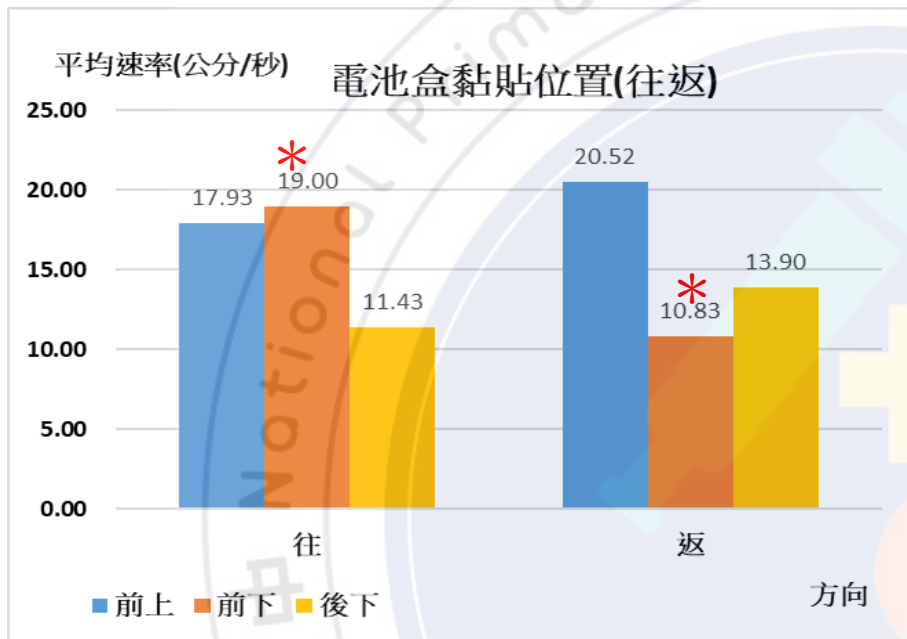
🔴 App Dabble藍芽設定 @說明書p.8-9

二、貨艙位置對運輸裝置前進速率的影響



- 貨艙位置在前方速率比較穩定。後方速率比較不穩定。
- 貨艙位置在前下最快，後下最慢。

三、貨艙位置對運輸裝置往返、上下坡的影響

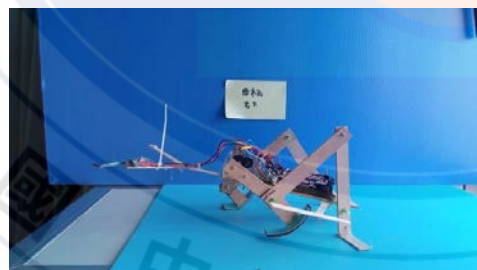
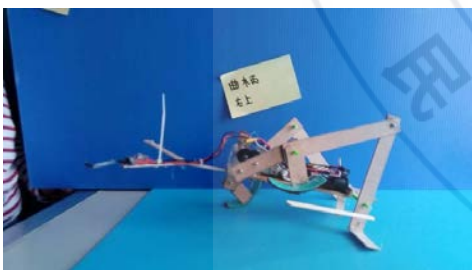
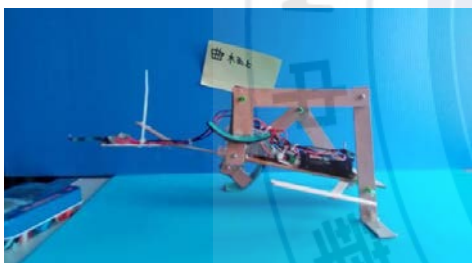


- 貨艙位置前下去程快，回程慢；後下則相反。
- 貨艙位置前上最快，後下最慢。
- 貨艙位置放前下，在上下坡的時候快

四、曲柄的擺放方式，對運輸裝置有何影響？

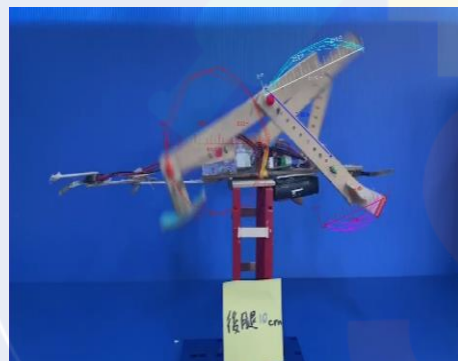
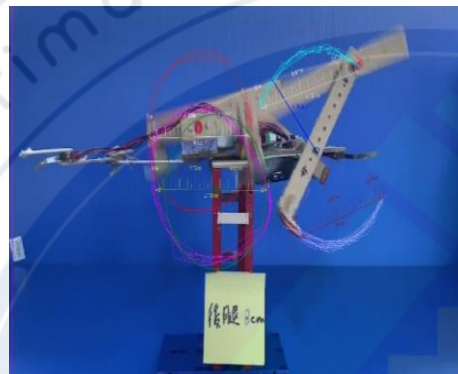
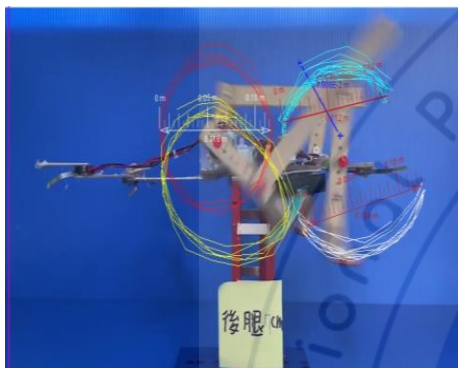
曲柄位置		曲柄一上、一下	曲柄一下、一右上	曲柄一下、右下	曲柄一下、一下
兩個曲柄位置	左前腳				
	右前腳				
兩個曲柄角度		180°	225°	315°	0° / 360°

曲柄位置/速率	速率(公分/秒)		
	往	返	速率差
0	10.20	29.59	19.39
180	15.10	15.35	0.25
225	18.34	20.02	1.68
315	19.50	25.67	6.18



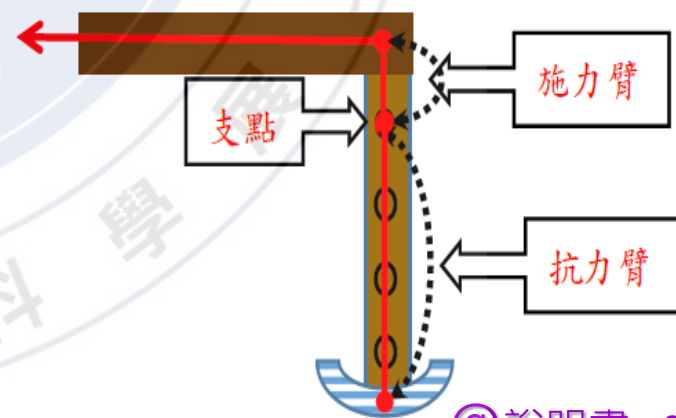
- 曲柄都向下像兔子同手同腳，去的時候慢，回來的時候快。
- 曲柄都是在下時(兩個曲柄角度0度)，上坡時兩腳往後施力，往前爬坡的分力為最小，以至於上坡最慢，但是在下坡時反而是速率最快。

五、後腿固定孔的支點位置，對運輸裝置有何影響？

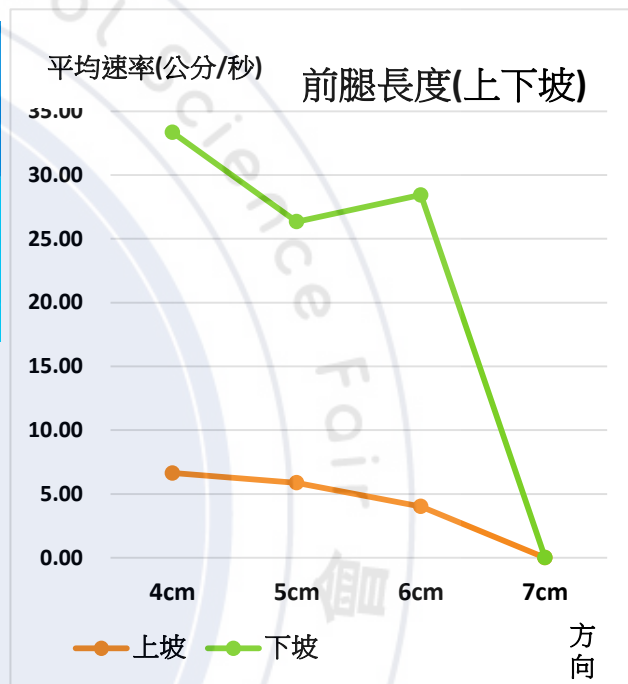
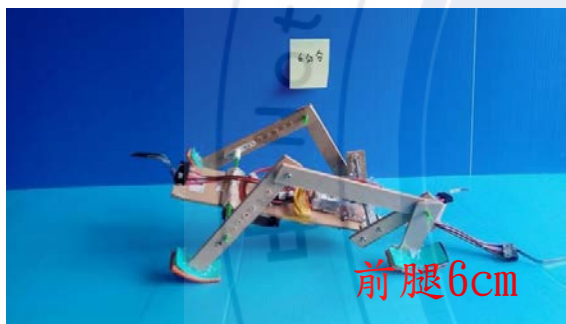


後腿支點位置/速率	速率(公分/秒)		
	往	返	速率差
10cm	15.17	15.35	30.53
9cm	13.58	32.01	45.59
8cm	22.46	0.00	22.46
7cm	16.55	0.00	16.55

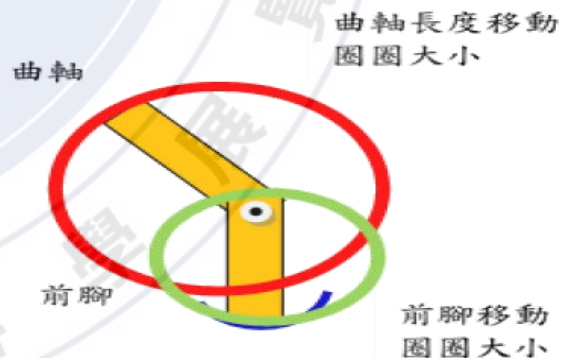
- 當運輸裝置的後腿鎖定在固定桿的支點位置越高時，整體結構的後端部分會翹得越高，且使四連桿運輸裝置行走的速率會越快。
- 後腿位置越高（意即後腿位置越短），以致施力臂越短，故施力會越費力，因而使得在另一端產生後腳的移動較長，扭力較小的效果。



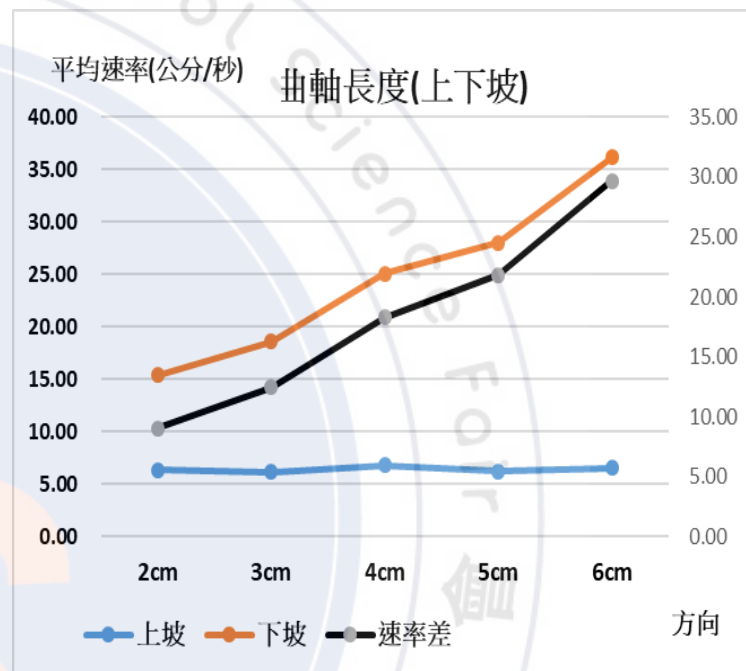
六、前腿長度，對運輸裝置前進有何影響？



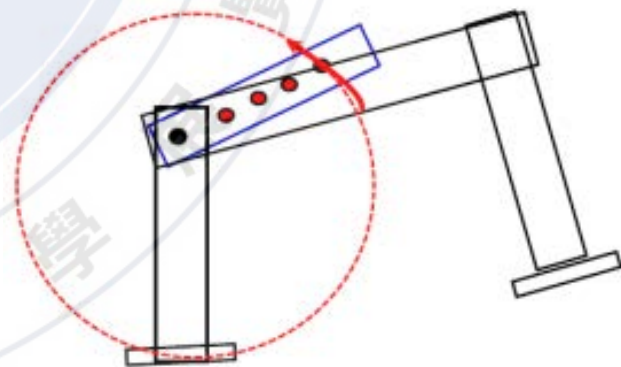
- 運輸裝置，前腿4cm最快。
- 當前腿長 > 曲軸長度無法行走。
- 當施力臂 < 抗力臂的時候，一樣會無法運動



七、曲軸長度，對運輸裝置有何影響？

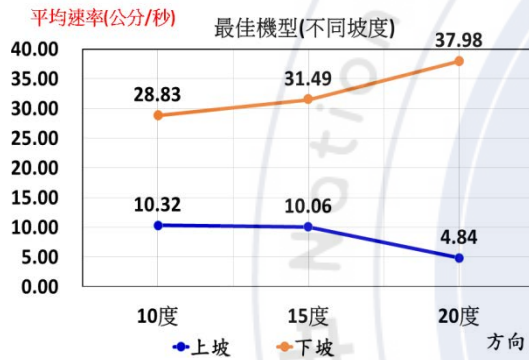


- 曲軸6cm最快，曲軸2cm最慢。
- 上坡都很慢，但下坡時，曲軸愈長，下坡愈快。
- 因腳移動時，速度太快，看不清楚移動距離變化。因此，以Tracker分析發現，前腿曲軸較長(6cm)，前腿移動時繞的圈圈較大(12cm)，後腳移動的步伐較長(9.44cm)。

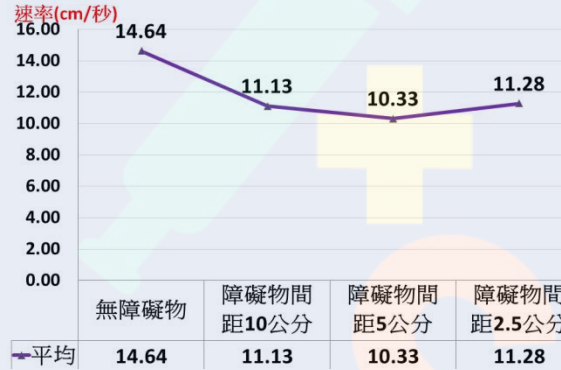
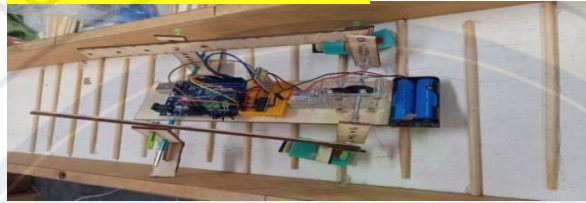


八、不同障礙地形，對運輸裝置有何影響？

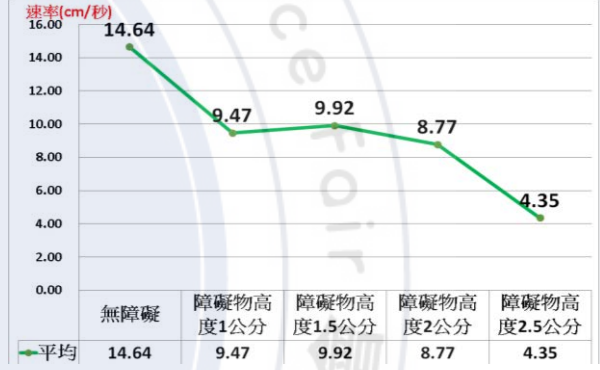
不同坡度



不同障礙間距



不同障礙高度

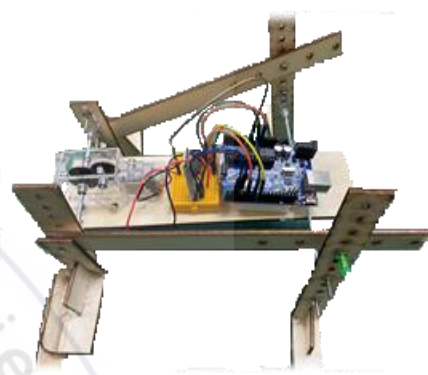
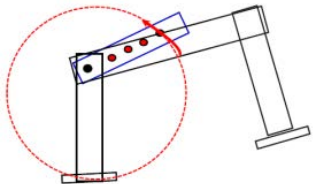


人工步道



- 最佳的機型，順利地爬上10-15度的坡度
- 障礙物間距為2.5公分時，行進速率最快
- 障礙物高度越高，行進速率越慢
- 人工步道，石頭高度1.5公分時運輸裝置行進速度最快 (16.99公分/秒)
- 光滑地板，運輸裝置行進速率最慢(11.2公分/秒)

結論



我們心想能否利用學校老師教我們的許多機器人，進行改良，進入火場進行滅火，作為救災機器人。經過實驗與測試：

- **運輸裝置的設計與控制方面**：我們使用雷切各部位、用四連桿設計運輸裝置、以14500鋰充電電池，供電給馬達控制電路、App Dabble-進行藍牙連接設定。
- **救災裝置最佳機型**：曲柄位置為右下，固定桿9cm、前腿4cm、曲軸6cm、連桿13cm的配置最佳。
- **障礙物測試結果**：
 1. 能順利地爬上20度的坡度。
 2. 障礙物間距為2.5公分，速率最快；能跨過障礙物高度1.5公分高。