

中華民國第 61 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

082805

步步高昇~爬樓梯機器人大解密

學校名稱：苗栗縣公館鄉公館國民小學

作者：	指導老師：
小六 楊宥勤	湯千慧
小五 吳俊霖	謝祥宏
小六 黃郁涵	
小五 徐子翔	

關鍵詞：爬樓梯機器人、彎曲車身、抓夾設計

摘要

創作爬樓梯機器人時，我們先進行校園樓梯實測，發現學校樓梯高度介於 13~ 17.7 cm，材質也不一樣，小組決定以學校數量最多的樓梯尺寸為基準，進行實驗。查詢市面上爬樓梯機器人的構造，發現車子的電力、扭力要夠大，輪子形狀至少 3 個輻條以上，前後輪的車軸距離要在兩個階梯的斜邊頂點以上，接觸點的摩擦力要足夠，才能避免下滑。

因此，小組決定將爬樓梯機器人原型設計成車子的結構，讓輪子能與地面有較多的接觸點，上方也可以載物，讓實用性提高。結果發現最佳組合：

1. 車身設計：山型車身、彎曲角度 130 度。
2. 車輪大小：車輪直徑 > 樓梯高度 1.5 cm 以上。
3. 車軸設計：輪距前寬後寬、軸距 > 樓梯斜邊長 + 前輪直徑。
4. 載重位置：身體前上方，靠近馬達 10 cm 處。

壹、研究動機

寒假時我們來學校集訓，小組在討論主題時，有人就突發奇想：「為什麼機器人可以在平地行走、爬坡，就是不能爬樓梯呢？」所以我們決定挑戰這個神祕生物-「爬樓梯機器人」！因為這個神祕生物從來沒有樣版，老師讓我們自由創作，在製作過程中，我們進行了許多測試，希望能讓機器人順利的攀上樓梯。我們針對爬樓梯機器人，進行了研究的思考方向，如下：

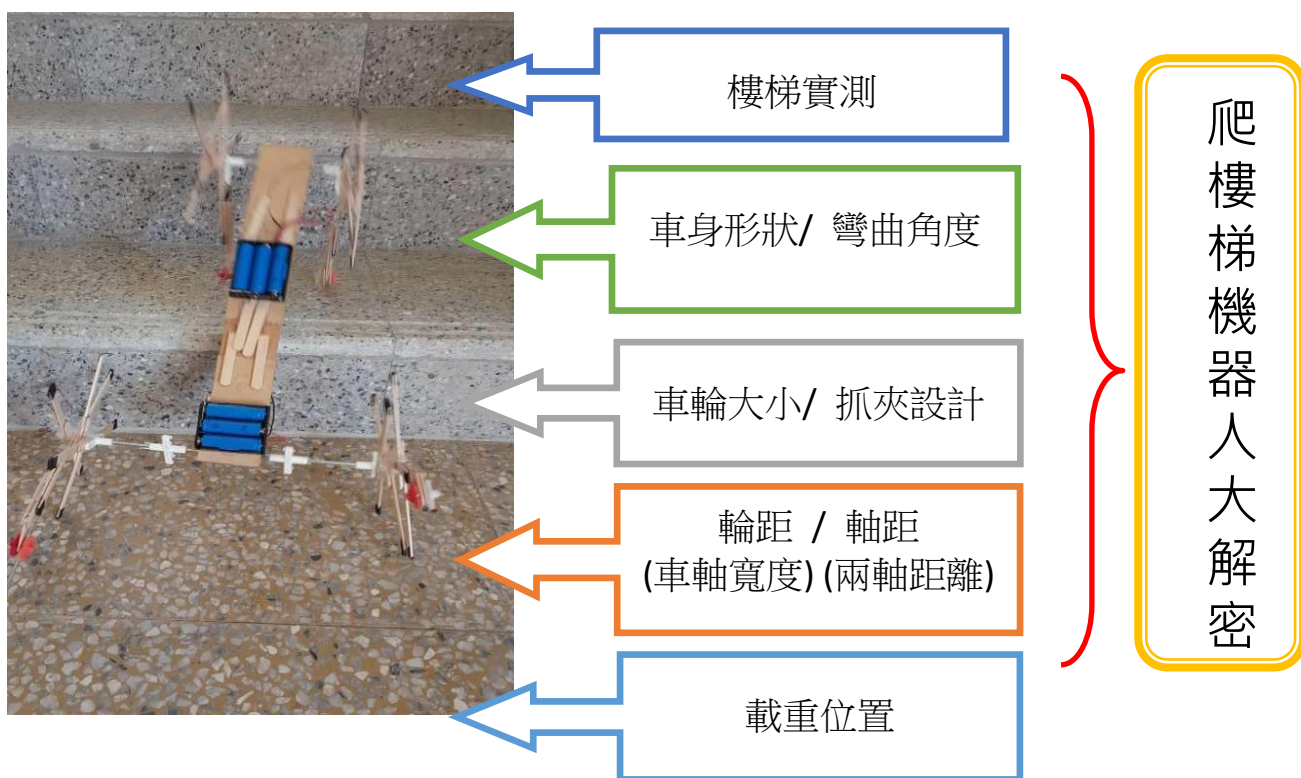


圖 1：研究方向思考圖

貳、研究目的及研究問題

我們針對爬樓梯機器人，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、校園樓梯實測，製作爬樓梯機器人原型。

研究 1 - 1：校園樓梯實測。

研究 1 - 2：調查市面上爬樓梯機器人的構造。

研究 1 - 3：爬樓梯機器人原型製作。

目的二、不同車身設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

研究 2 - 1：不同車身形狀設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

研究 2 - 2：車身不同彎曲角度，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

目的三：不同車輪設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

研究 3 - 1：不同車輪大小，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

研究 3 - 2：不同輪距(車軸寬度)，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

研究 3 - 3：不同軸距(兩軸距離)，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

目的四：不同載重位置，對爬樓梯機器人前進時間有何影響？

研究 4 - 1：在不同位置黏貼重物，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

目的五：製作一個最佳效果的爬樓梯機器人。

參、文獻探討

一、樓梯的踏步尺寸

1. 樓梯的踏步尺寸包括踏面寬和踢面高。

踏面：行走時踏腳的水平部分。

踢面：形成踏步高差的垂直部分。

2. 常見的民用建築樓梯的適宜梯段尺寸：

在建築工程中，踏面寬度一般為 260~ 320 mm，踢面高度一般為 140~ 175 mm。

在居住建築中，踏面寬度一般為 260~ 300 mm，踢面高度為 150~ 175 mm 較為合適。

學校、辦公樓坡度應平緩些，通常踏面寬為 280~ 340 mm，踢面高為 140~ 160 mm。

二、爬樓梯機器人相關研究

我們上網查閱相關資料後，發現第 55 屆科展國中物理科〈The climbing strandbeest〉，使用樂高套件組進行研究，針對爬樓梯的接觸點進行研究，對我們的研究有所啟發。

第 55 屆科展 國中物理科 〈The climbing strandbeest〉	<ul style="list-style-type: none">● 透過攝影機組拍攝人類步行於平地、斜面、樓梯等地形的影片，以 traker 影片軌跡軟體得出腳踝、髌骨的軌跡曲線，並計算出懸吊於空中的軌跡，得出一組封閉的圈狀軌跡，並發現人類腳步軌跡傾斜的角度必須 \geq 地形起伏的角度才可以順利走上樓梯或斜面。● 應用 13 連桿組去仿生人類行走的軌跡，發現一特殊的變化規律：<u>即增加支架與上下兩組曲柄系統的連動軸長度，得以產生最適合樓梯、斜坡等地形的「最佳連桿比例」</u>，以使腳步軌跡產生向上傾斜的角度(須大於地形起伏的角度)。
--	---

查詢資料發現，除了爬樓梯機器人製作方法的影片之外，目前沒有相同的研究。因此我們參閱有關爬樓梯的知識，作為應用於爬樓梯機器人製作上的參考，也希望能讓爬樓梯機器人移動更穩定，因此進行一系列的測試與改造，期待能有更多的突破。

肆、研究設備及器材

一、實驗材料：

- (一) 爬樓梯機器人製作：齒輪盒 2 組、螺絲/螺帽數顆、電池盒 2 組、冰棒棍數支 (11.5 cm× 1 cm)、長軸/短軸數支、曲柄數個、電線 2 組、絕緣膠帶 1 個、密集板數片、矽膠管數支、潤滑油 1 瓶
- (二) 配重使用：冰棒棍 (11.5 cm× 1.8 cm)、電子秤 1 個
- (三) 動力來源與監控：充電電池 3.7 V× 6 顆、數字顯示電壓錶
- (四) 增加摩擦力：黑色磨砂紙、止滑墊
- (五) 爬樓梯裝置：木製樓梯、黑色磨砂紙

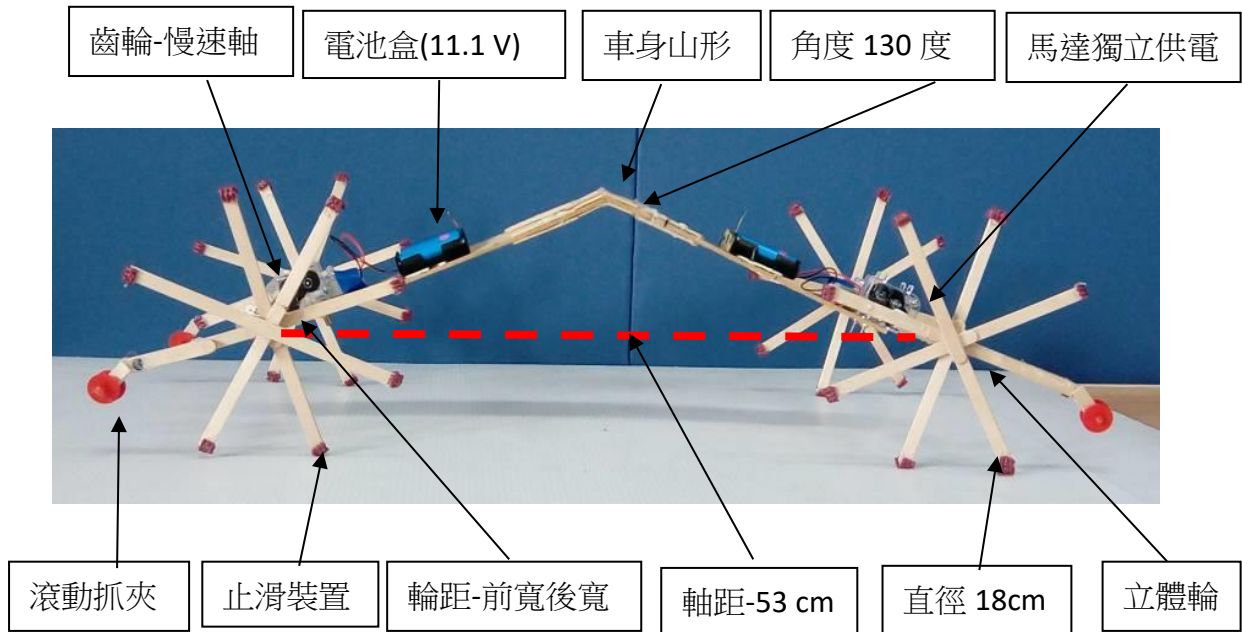
	
爬樓梯機器人零件	動力—充電電池 3.7 V/數字顯示電壓錶
	
工具箱器材	接觸點材質-黑色磨砂紙、止滑墊

二、實驗器材：

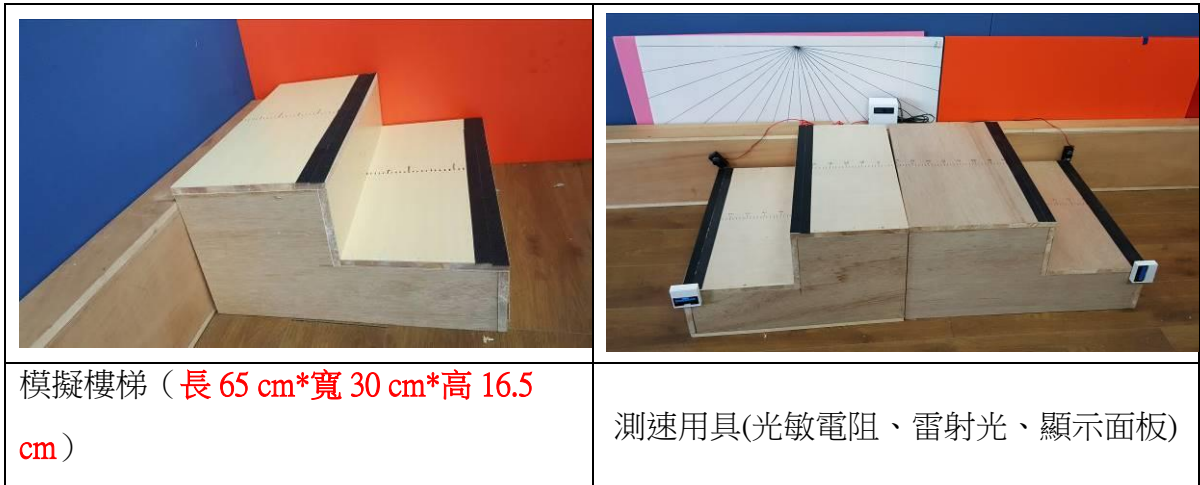
- (一) 工具箱 (內部包含手搖鑽、小扳手、防鑽板、熱融膠條、熱融槍、螺絲起子、剪刀、螺帽、螺絲、電線、電池盒、剪線鉗、長尺、量角器、鉛筆、簽字筆、雙面膠、絕緣膠帶、橡皮擦)
- (二) 測量工具：電子秤 (1 台)、磅秤(10KG)、三公尺魯班尺、鐵尺、碼表、平板電腦、Tracker 軟體、電子量角器、轉速計、數字顯示電壓錶、光敏電阻、雷射光、顯示面板

三、實驗裝置

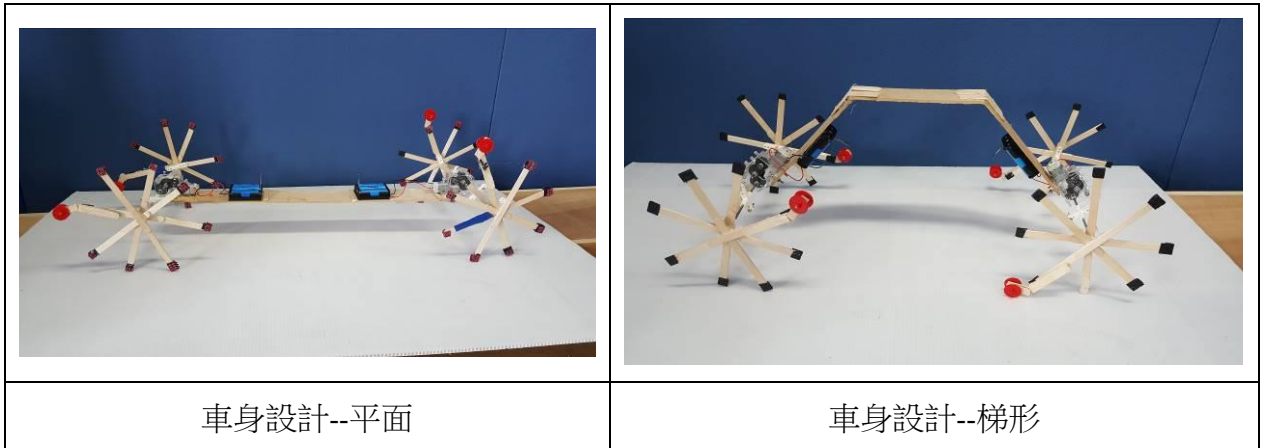
(一) 爬樓梯機器人最佳機型示意圖



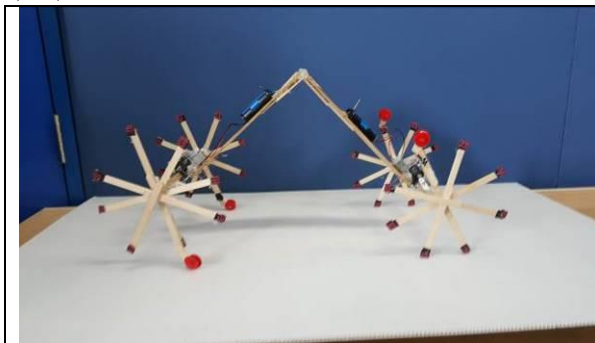
(二) 爬樓梯相關器材



(三) 不同車身設計



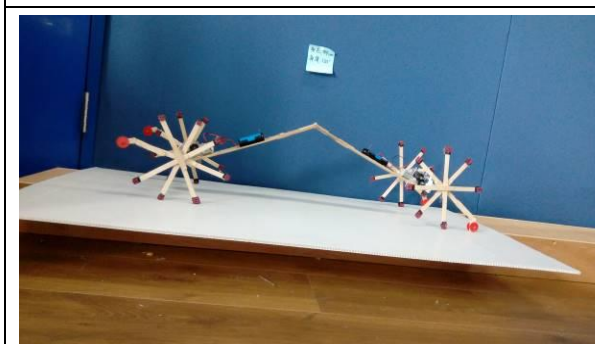
(四) 車身彎曲角度



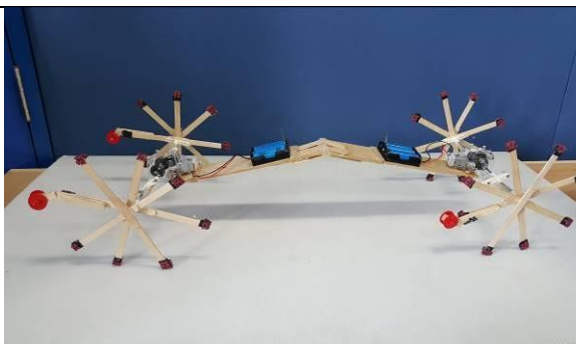
車身彎曲角度 90 度



車身彎曲角度 110 度



車身彎曲角度 130 度

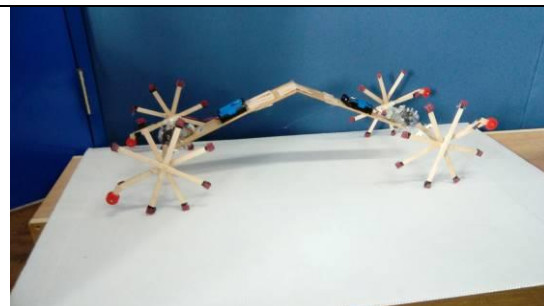


車身彎曲角度 150 度

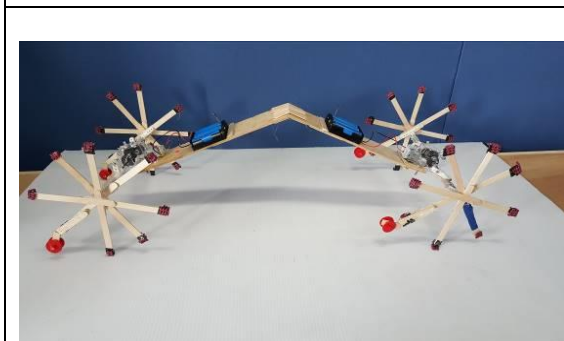
(五) 軸距(兩軸距離)



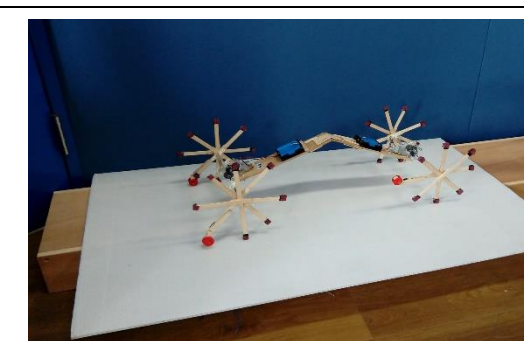
兩軸距離 61 cm



兩軸距離 57 cm

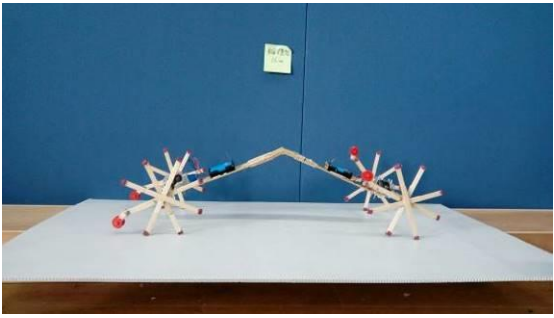
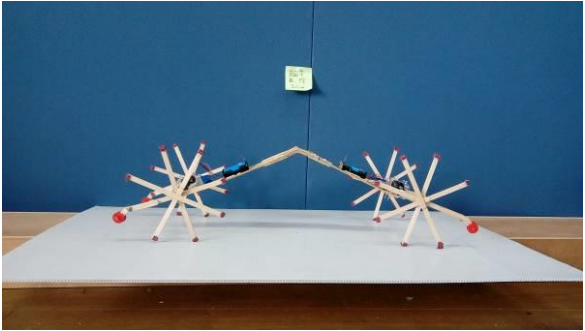


兩軸距離 53 cm

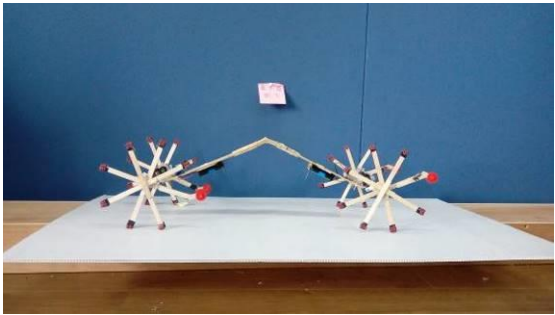
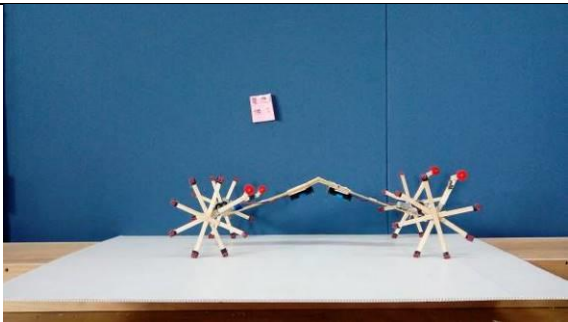
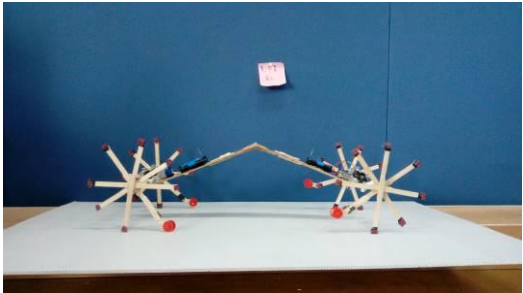



兩軸距離 49 cm

(六) 車輪大小

	
車輪直徑 16 cm	車輪直徑 20 cm

(七) 重物不同黏貼位置

	
重物黏貼位置-前下方	重物黏貼位置-後下方
	
重物黏貼位置-前上方	重物黏貼位置-後上方

伍、研究過程與研究結果

目的一、校園樓梯實測，製作爬樓梯機器人原型。

研究 1 - 1：校園樓梯實測。

【研究構想】

平常覺得走樓梯是很自然也很簡單的事情，但是要讓機器人也能上樓梯，首先就要知道樓梯的高度，因此我們針對學校三個時期建造的校舍樓梯進行實測。

【實測過程】



【109-110年新建北一棟、南二棟校舍】

- 數量：8座
- 高度：14~ 16.5 cm
- 寬度：28~ 30 cm
- 特徵：石製樓梯，邊緣有2道刻痕



【行政大樓】

- 數量：2座
- 高度：13~ 16 cm
- 寬度：28~ 30 cm

特徵：磨石子製樓梯，邊緣有金屬止滑



【行政大樓中樓梯】

- 數量：3座
- 高度：10~ 16.8 cm
- 寬度：29~ 31 cm

特徵：大理石製樓梯，邊緣有金屬止滑



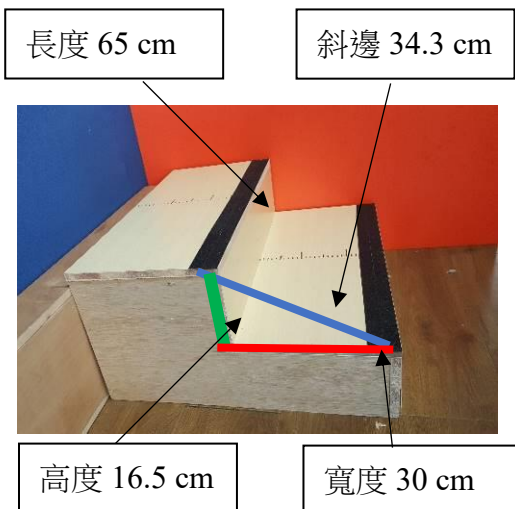
【北二棟-音樂大樓】

- 數量：5座
- 高度：16~ 17.7 cm
- 寬度：22~ 23.5 cm
- 特徵：方形磁磚，邊緣有金屬止滑

【研究發現與討論】

1. 實際測量之後才發現，每一格樓梯的高度竟然不是完全一樣，因此我們紀錄每一個樓梯的最高和最低，發現學校樓梯高度介於 13~ 17.7 cm。
2. 樓梯的材質也是不一樣，比較粗糙的是磨石子和石製樓梯，平滑的是大理石樓梯，方型磁磚樓梯表面光滑、隙縫的地方粗糙。
3. 小組討論後，決定以現有數量最多的樓梯尺寸(高度：14~ 16.5 cm、寬度：28~ 30 cm)為基準，打造一個模擬樓梯，於樓梯邊緣貼上止滑貼條。

研究 1 - 2：調查市面上爬樓梯機器人的構造。



【研究構想】

自製模擬樓梯裝置長 65 cm*寬 30 cm*高 16.5 cm，斜邊長為 34.3cm，為了要能順利上樓，機器人裝置下方要比樓梯高一點，才能順利上樓。

由於沒有任何爬樓梯機器人的機構，於是我們上網查詢相關資料，希望能有靈感。

【查詢資料與分析】



圖片來源：

https://m.momoshop.com.tw/goods.momo?i_code=5603746&mdiv=searchEngine&oid=1_3&kw=%E8%B2%B7%E8%8F%9C%E8%BB%8A%20%E6%A8%93%E6%A2%AF



圖片來源：

<https://world.taobao.com/item/559616210549.htm?spm=a21wu.10013406-tw.taglist-content.59.492f60f1pGLJSI>



圖片來源：<https://technews.tw/2018/07/15/blind-cheetah-3-robot-can-climb-stairs-littered-with-obstacles/>

【爬樓梯菜籃】

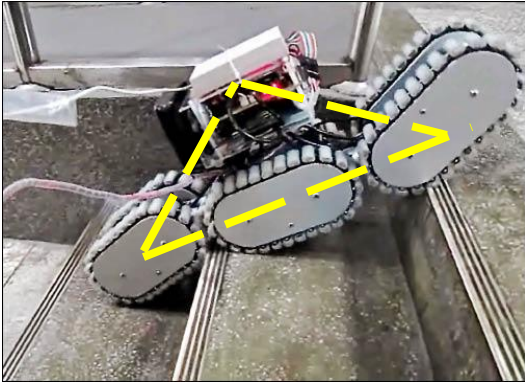
- 動力來源：人力
- 特徵：
 1. 後輪是可翻轉的三輻條大輪，頂端裝上可滾動的輪子。
 2. 前方與後輪的距離在兩個階梯的斜邊頂點(如圖中黃色三角型區域)。

【爬牆機器人】

- 動力來源：馬達、電池
- 特徵：
 1. 前輪為可翻轉的四輻條大輪，頂端裝上止滑片與重物
 2. 後輪為可滾動的小輪。
 3. 沒有實際爬上樓梯的影片，效果待驗證。

【MIT「盲豹」機器人】

- 動力來源：控制面板、電池
- 特徵：
 1. 關節可彎曲的六足，運用反作用力讓施力方向向前(如圖中紅色三角型區域)。
 2. 前後腳分別在樓梯的斜邊頂點(如圖中黃色三角型區域)，樓梯高度目測有比較淺一點。

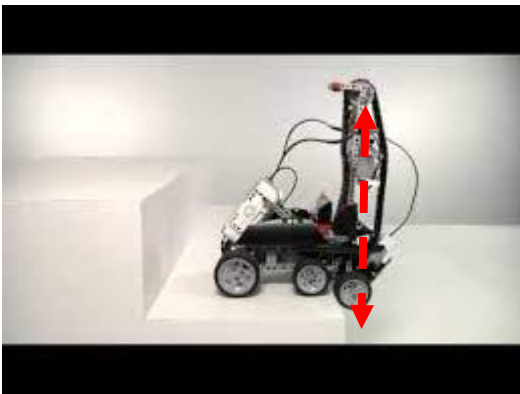


圖片來源：

<https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/462670>

【台北科技大學機械工程系-救援機器人】

- 動力來源：控制面板、線控、電池
- 特徵：
 1. 「履帶串結型」設計，運用可彎曲的履帶向前。
 2. 履帶前後輪分別在樓梯的斜邊頂點(如圖中黃色三角型區域)。



圖片來源：

https://www.youtube.com/watch?v=ijd2sYxNB_4

【樂高--爬樓梯機器人】

- 動力來源：控制面板、電池
- 特徵：
 1. 六輪，最後兩輪藉由上下移動，將前面的車身舉起(如圖中紅色直線區域)。
 2. 速度慢、車身重，實用性較不高

【資料分析與討論】

1. 綜合以上資料，我們發現要能夠爬上樓梯，車子本身的電力、扭力要夠大。
2. 輪子形狀至少 3 個輻條以上。
3. 前方與後輪的車軸距離要在兩個階梯的斜邊頂點以上。
4. 接觸點的摩擦力要足夠，才能避免下滑。

研究 1 - 3：爬樓梯機器人原型製作。

【研究構想】

針對我們實測與查閱資料的結果，便著手用身邊既有的材料進行研究。

【實測過程】

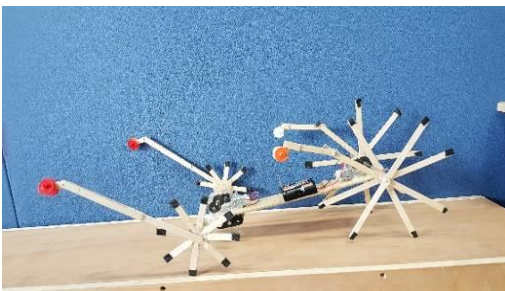


【第一代--爬樓梯機器人】

- 特徵：將前輪加大，分為3個、4個、5個輻條，和圓形車輪。
- 檢討：輻條必須堅固一點，圓形木板太重了。

【第二代--爬樓梯機器人】

- 特徵：
 1. 前輪以密集板設計為3個輻條，並加上倒鉤。
 2. 後輪設計一個比樓梯高的塑膠瓦楞板輪子。
- 檢討：前方抓力不足，後方輪需要摩擦力推動。

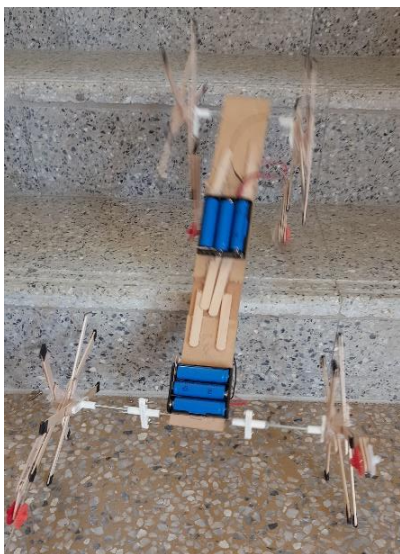


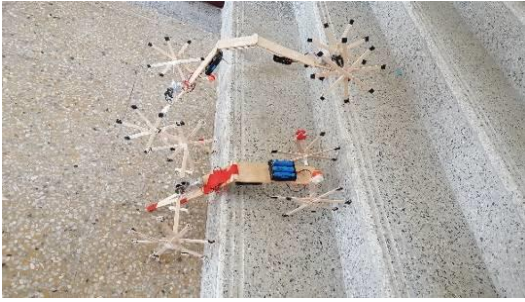
【第三代--爬樓梯機器人】

- 特徵：將前輪、後輪都加上可滾動的抓夾，後輪加大，當前輪爬上樓梯，可以支撐住車身。
- 檢討：前進的扭力不足，無法帶動後方輪子爬上去。

【第四代--爬樓梯機器人】

- 特徵：
 1. 保留抓夾，並將抓夾縮短緊貼輻條，讓施力能夠更集中。
 2. 前後輪改為獨立的電源11.1 V。
- 檢討：
 1. 平面的車身，容易撞擊到樓梯邊緣。
 2. 車軸寬一點較穩定，抓夾的方向也要修正。





【第五代--爬樓梯機器人】

- 特徵：將車身改為梯形和山形，輪距為加長型。
- 檢討：車身較長的可以跨越到第二階，順勢把後輪帶上來。**終於成功了！**

【研究發現與討論】

綜合以上實作的結果，我們發現：

1. 爬樓梯機器人設計成車子的結構，輪子部分能與地面有比較多的接觸點，較為堅固，上方也可以載物，讓實用性提高。
2. 爬樓梯機器人成功的條件：彎曲的車身，兩軸距離要比樓梯斜邊長，車輪要高於一階樓梯的高度，車子扭力要足夠。

目的二、不同車身設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

研究 2 - 1：不同車身形狀設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

【研究構想】

根據以上成功的條件，我們先以第五代爬樓梯機器人原型，改變車身形狀進行實驗。

【實驗步驟】

1. 製作平面車身的爬樓梯機器人原型。
2. 將爬樓梯機器人放到跑道起點線上，開啟前後輪電源，確認數字顯示電壓錶數值位於 11~10.5 V 之間。
3. 按下開關，以光敏電阻計時並進行攝影，計算爬樓梯機器人走完二階樓梯(60 cm)的平均速度。
4. 若無法抵達 60 cm 線，則記錄 20 秒所走的最遠距離。
5. 重複步驟 2~4，分別將爬樓梯機器人的車身改為山形、梯型(軸距不變)進行實驗。
6. 將結果記錄如下表 1，圖 2、3。

【實驗結果】

表 1：不同車身形狀設計，對爬樓梯機器人前進距離時間比較表

項目 次數	平面		山形		梯形	
	距離	時間	距離	時間	距離	時間
第一次	50	20	60	2.91	45	20
第二次	50	20	60	11.35	45	20
第三次	50	20	60	3.54	45	20
第四次	51	20	60	12.24	45	20
第五次	50	20	60	2.65	45	20
平均	50.2	20.0	60.0	6.5	45.0	20.0

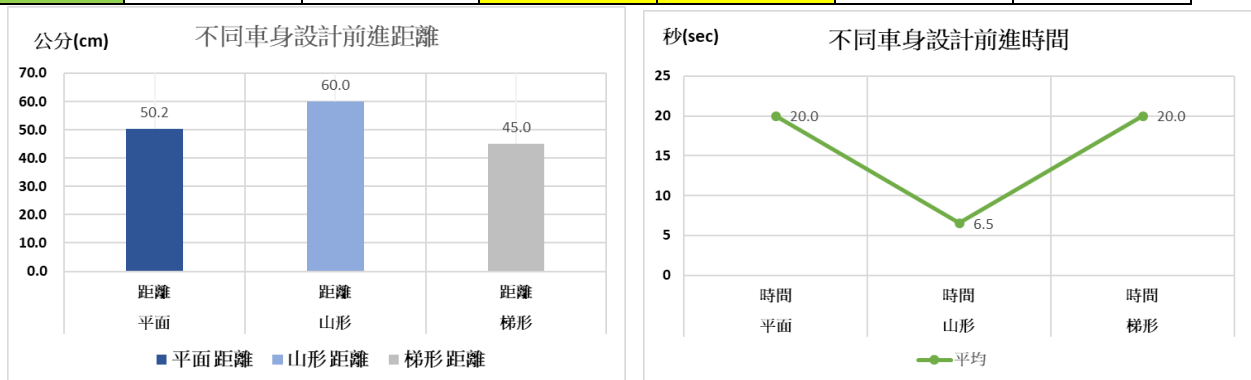


圖 2：車身形狀對爬樓梯機器人前進距離比較

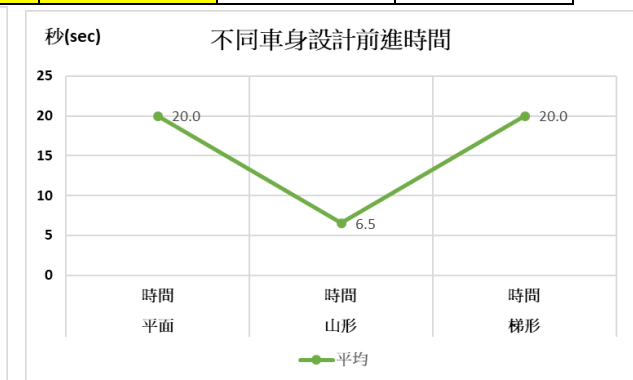


圖 3：車身形狀對爬樓梯機器人前進時間比較

【研究發現與討論】

1. 山型車身的爬樓梯機器人，有 60% 的機率都在 4 秒內爬上樓梯，算是一個好的開始。
2. 平面車身的爬樓梯機器人前進速度快，雖然前輪可以爬上樓梯，但後輪始終無法爬上樓梯。
3. 梯形車身的爬樓梯機器人，雖然前輪可以爬上樓梯，但兩個轉折似乎讓機器人的車身無法集中力量，後輪卡在樓梯前震動。

研究 2 - 2：車身不同彎曲角度，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

【研究構想】

根據研究 2-1 的實驗結果，我們以山型車身的爬樓梯機器人，繼續進行彎曲角度的實驗。

【實驗步驟】

1. 製作 90 度夾角的山型爬樓梯機器人。
2. 將爬樓梯機器人放到跑道起點線上，開啟前後輪電源，確認數字顯示電壓錶數值位於 11~10.5 V 之間。
3. 按下開關，以光敏電阻計時並進行攝影，計算爬樓梯機器人走完二階樓梯(60 cm)平均速度。
4. 若無法抵達 60 cm 線，則記錄 20 秒所走的最遠距離。
5. 重複步驟 2~4，分別將爬樓梯機器人的夾角改為 110 度、130 度、150 度(軸距不變)進行實驗。
6. 將結果記錄如下表 2，圖 4、5。

【實驗結果】

表 2：不同車身彎曲角度，對爬樓梯機器人前進距離時間比較表

項目/次數	90度		110度		130度		150度	
	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間
第一次	30	20	60	6.17	60	5.42	45	20
第二次	30	20	50	20	60	6.17	30	20
第三次	30	20	60	5.59	60	4.83	30	20
第四次	45	20	50	20	60	7.24	30	20
第五次	55	20	30	20	60	8.56	30	20
平均	38.0	20.0	50.0	14.4	60.0	6.4	33.0	20.0

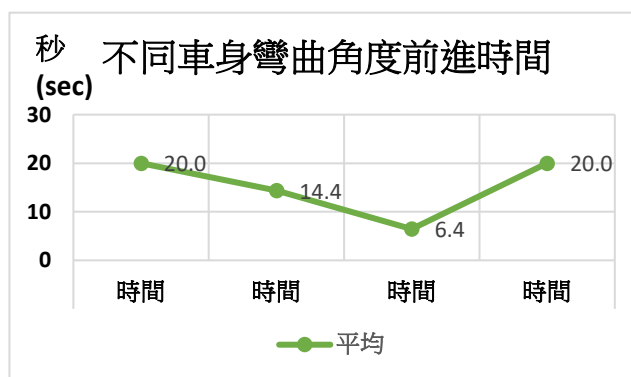
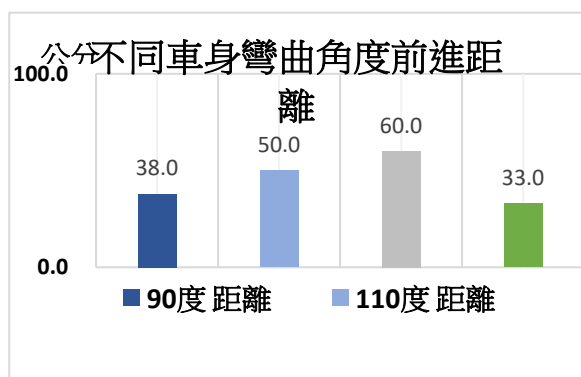


圖 4：車身彎曲角度對爬樓梯機器人前進距離比較

圖 5：車身彎曲角度對爬樓梯機器人前進時間比較

【研究發現與討論】

1. 爬樓梯機器人在 130 度都能夠順利爬上樓梯。
2. 在 110 度則有 40 % 的成功機率。

3. 在 150 度時角度接近平面車身，也無法順利爬上樓梯。

目的三：不同車輪設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

研究 3 - 1：不同車輪大小，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

【研究構想】

在建築工程上，民用住宅的樓梯高度設定在 14~ 17.5 cm，因此我們想尋找可以爬上樓梯，但車輪直徑最小的設計。

【實驗步驟】

1. 製作爬樓梯機器人原型，車輪直徑 16 cm。
2. 將爬樓梯機器人放到跑道起點線上，開啟前後輪電源，確認數字顯示電壓錶數值位於 11~10.5 V 之間。
3. 按下開關，以光敏電阻計時並進行攝影，計算爬樓梯機器人走完二階樓梯(60 cm)平均速度。
4. 若無法抵達 60 cm 線，則記錄 20 秒所走的最遠距離。
5. 重複步驟 2~4，分別將爬樓梯機器人的車輪直徑改為 18 cm、20 cm(軸距不變)進行實驗。
6. 將結果記錄如下表 3，圖 5、6。

【實驗結果】

表 3：不同輪子大小，對爬樓梯機器人前進距離時間比較表

項目/次數	直徑16公分		直徑18公分		直徑20公分	
	距離	時間	距離	時間	距離	時間
第一次	45	20	60	7.33	50	20
第二次	45	20	60	6.61	45	20
第三次	45	20	60	5.63	50	20
第四次	45	20	60	6.82	50	20
第五次	50	20	60	7.22	50	20
平均	46.0	20.0	60.0	6.7	49.0	20.0

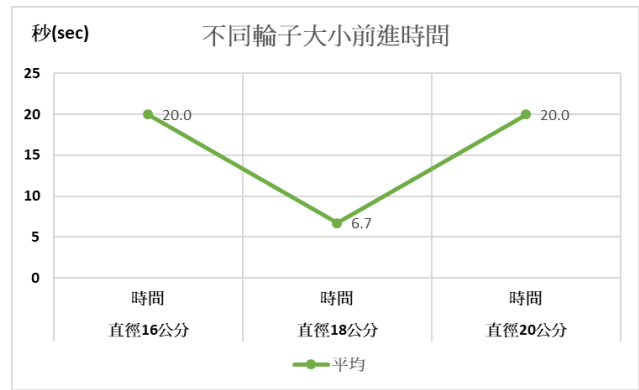
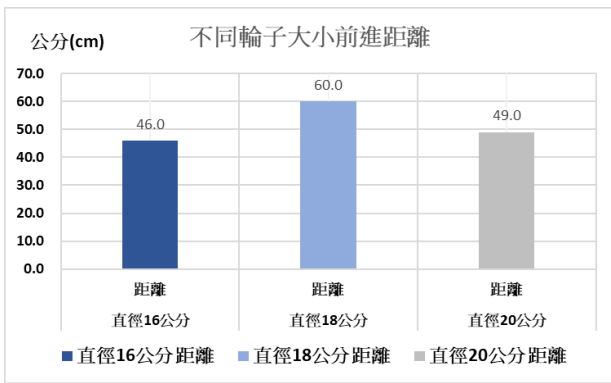


圖 6：輪子大小對爬樓梯機器人前進距離比較

圖 7：輪子大小對爬樓梯機器人前進時間比較

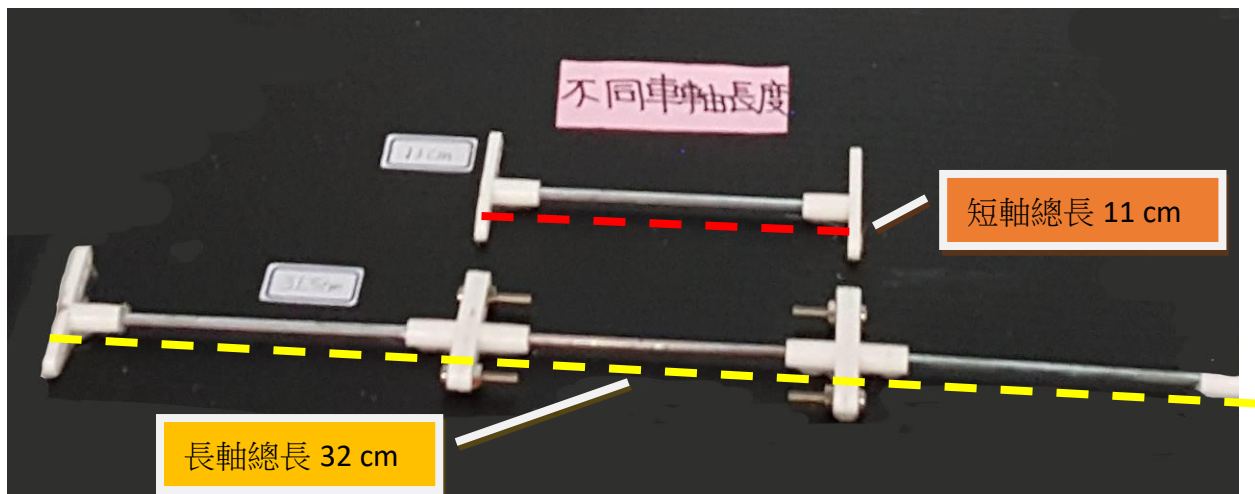
【研究發現與討論】

1. 車輪直徑 16 cm 可以爬上一階樓梯，但後輪無法順利爬上。
2. 車輪直徑 18 cm 可以順利爬上二階樓梯。車輪直徑 20 cm 依照推測可以爬上樓梯，但卻不如預期成功，仔細分析，發現當車輪直徑愈大，冰棒棍之間間距變大，造成後輪在爬樓梯的時候會卡住，反而無法順利爬上樓梯。

研究 3 - 2：不同輪距(車軸寬度)，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

【研究構想】

第四代爬樓梯機器人製作中，我們發現車軸寬一點會比較穩定，因此以曲柄對鎖，加上六角棍固定的方式，讓車軸能夠變長，整體車身變寬。



【實驗步驟】

1. 製作前後車軸皆為 11 cm 短軸的爬樓梯機器人原型。
2. 將爬樓梯機器人放到跑道起點線上，開啟前後輪電源，確認數字顯示電壓錶數值位於 11~10.5 V 之間。
3. 按下開關，以光敏電阻計時並進行攝影，計算爬樓梯機器人走完二階樓梯(60 cm)平均速度。
4. 若無法抵達 60 cm 線，則記錄 20 秒所走的最遠距離。
5. 重複步驟 2~4，分別將爬樓梯機器人的輪距(車軸寬度)改為：前窄後寬、前寬後窄、前寬後寬進行實驗。
6. 將結果記錄如下表 4，圖 8、9。

【實驗結果】

表 4：不同輪距(車軸寬度)，對爬樓梯機器人前進距離時間比較表

項目/次數	前窄後窄		前窄後寬		前寬後窄		前寬後寬	
	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間
第一次	0	20	50	20	30	20	60	5.84
第二次	0	20	40	20	0	20	60	7.63
第三次	0	20	45	20	0	20	60	4.65
第四次	35	20	40	20	0	20	60	8.91
第五次	20	20	40	20	0	20	60	3.56
平均	11.0	20.0	43.0	20.0	6.0	20.0	60.0	6.1

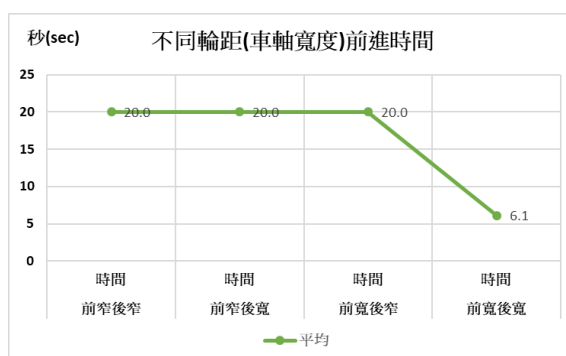
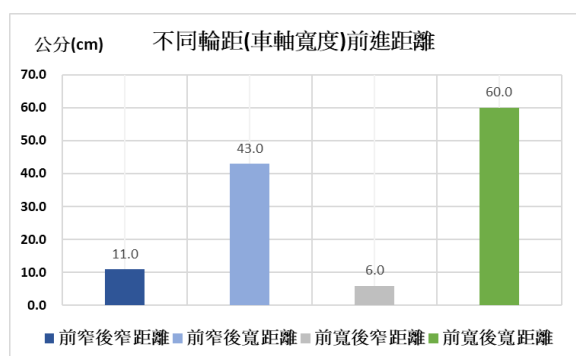


圖 8：輪距(車軸寬度)對爬樓梯機器人前進距離比較 圖 9：輪距(車軸寬度)對爬樓梯機器人前進時間比較

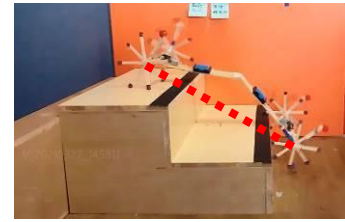
【研究發現與討論】

1. 前寬後寬能穩定的爬上樓梯，前窄後寬只能爬上一階樓梯。
2. 後方窄輪容易翻車。

研究 3 - 3：不同軸距(兩軸距離)，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

【研究構想】

看過市面上的產品可以發現，在爬樓梯的過程中，兩輪的中心會比樓梯斜角的頂點要長，因此我們想要改變兩車軸的距離，尋找最好的爬樓梯機器人。我們測量樓梯的斜角為 34.3 cm，加上二個前後輪的半徑 $9\text{ cm} \times 2$ ，車軸距離至少要 52.3 cm 以上。



【實驗步驟】

1. 製作山形車身的爬樓梯機器人原型，固定山形 130 度夾角，將兩軸距離調整為 49 cm。
2. 將爬樓梯機器人放到跑道起點線上，開啟前後輪電源，確認數字顯示電壓錶數值位於 11~10.5 V 之間。
3. 按下開關，以光敏電阻計時並進行攝影，計算爬樓梯機器人走完二階樓梯(60 cm)平均速度。
4. 若無法抵達 60 cm 線，則記錄 20 秒所走的最遠距離。
5. 重複步驟 2~4，分別將爬樓梯機器人的兩軸距離調整為 53 cm、57 cm、61 cm 進行實驗。
6. 將結果記錄如下表 1，圖 2、3。

【實驗結果】

表 5：不同軸距(兩軸距離)，對爬樓梯機器人前進距離時間比較表

項目/次數	61公分		57公分		53公分		49公分	
	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間
第一次	30	20	0	20	60	9.18	0	20
第二次	30	20	30	20	60	7.62	0	20
第三次	30	20	30	20	60	8.97	0	20
第四次	30	20	0	20	60	10.52	0	20
第五次	30	20	0	20	60	6.56	0	20
平均	30.0	20.0	12.0	20.0	60.0	8.6	0.0	20.0

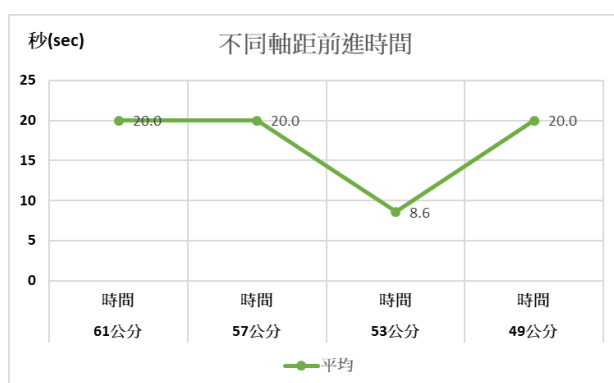
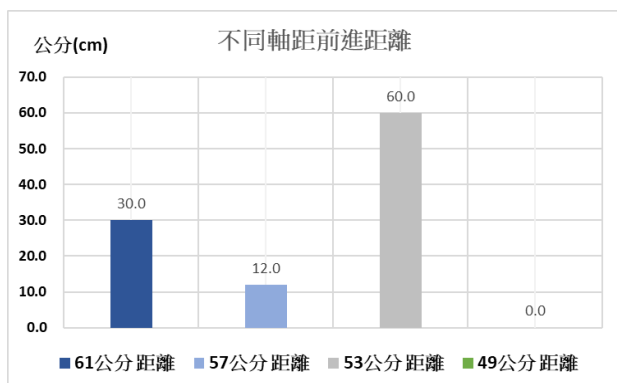


圖 10：軸距(兩軸距離)對爬樓梯機器人前進距離比較
圖 11：軸距(兩軸距離)對爬樓梯機器人前進時間比較

【研究發現與討論】

1. 車軸距離 49 cm 完全無法爬上樓梯，觀察影片發現當前輪攀上樓梯時，後輪同時要能離開地面，也就是必須保持「樓梯斜邊 34.3 cm+前輪直徑 18 cm」以上的距離才能成功。
2. 車軸 53 cm 以上可以爬上樓梯，但 57 cm 以上車軸過長，車身晃動大，反而無法順利爬上二階樓梯。

目的四：不同載重位置，對爬樓梯機器人前進時間有何影響。

研究 4 - 1：在不同位置黏貼重物，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響？

【研究構想】

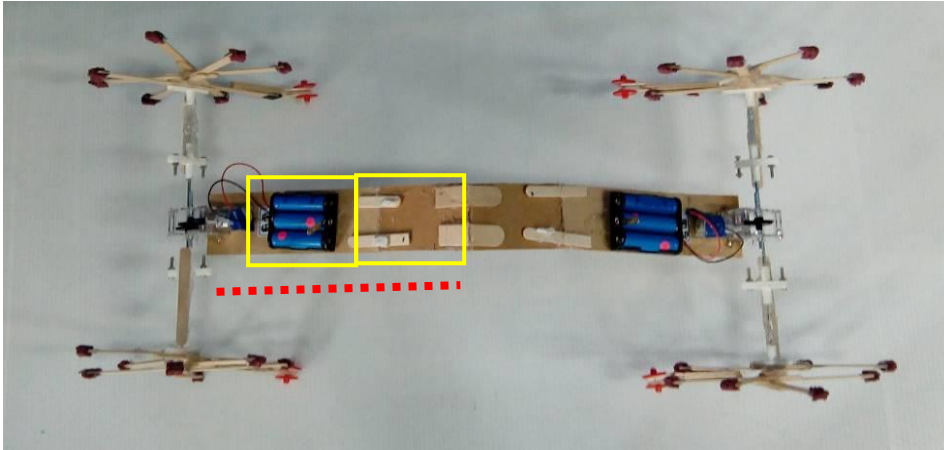
在實驗的過程中，我們測量爬樓梯機器人總重為 435g，而一個電池盒 110g，佔了整個機器人 1/4 的重量，因此電池盒擺放的位置，對爬樓梯機器人移動時重心的影響很大。因此，將「電池盒模擬為重物」，想了解何種載重位置，對爬樓梯機器人移動時有較好的效果。我們將山形車身一邊佔 25 cm，扣除齒輪盒佔了 5 cm，將剩餘的空間每 10 cm 劃分為一區，「靠近馬達稱為前方」、「靠近山形尖端稱為後方」。

【實驗步驟】

1. 製作爬樓梯機器人原型，將重物(電池盒)分別黏貼在兩側的前上方。
2. 將爬樓梯機器人放到跑道起點線上，開啟前後輪電源，確認數字顯示電壓錶數值位於 11~10.5 V 之間。
3. 按下開關，以光敏電阻計時並進行攝影，計算爬樓梯機器人走完二階樓梯(60 cm)平均速

度。

4. 若無法抵達 60 cm 線，則記錄 20 秒所走的最遠距離。
5. 重複步驟 2~4，分別將爬樓梯機器人的電池盒黏貼位置改為前下、後上、後下(軸距不變)進行實驗。
6. 將結果記錄如下表 6，圖 12、13。



【實驗結果】

表 6：在不同位置黏貼重物，對爬樓梯機器人前進距離時間比較表

項目/次數	前上		前下		後上		後下	
	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間
第一次	60	4.55	45	20	35	20	35	20
第二次	60	8.61	45	20	40	20	50	20
第三次	60	6.21	45	20	30	20	45	20
第四次	60	6.89	45	20	40	20	35	20
第五次	60	6.71	45	20	40	20	40	20
平均	60.0	6.6	45.0	20.0	37.0	20.0	41.0	20.0

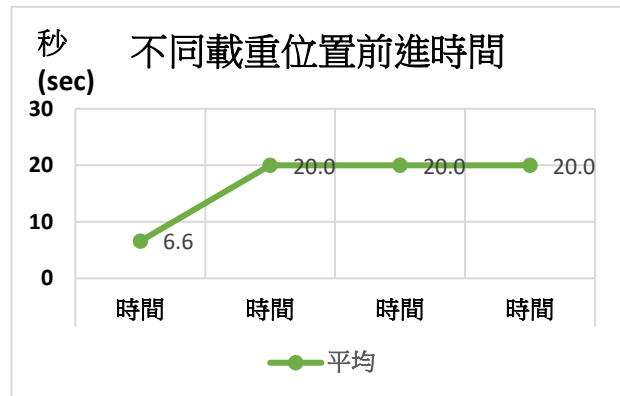
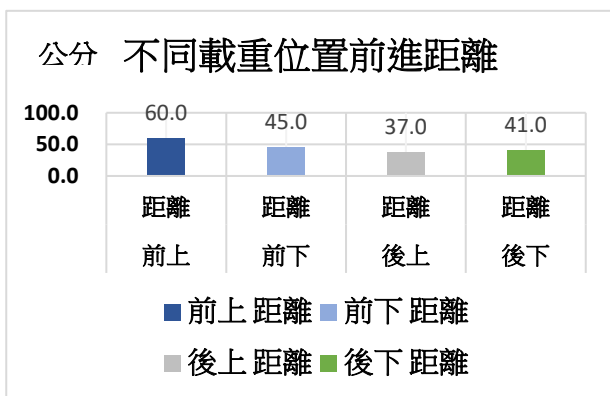


圖 12：載重位置對爬樓梯機器人前進距離比較

圖 13：載重位置對爬樓梯機器人前進時間比較

【研究發現與討論】

1. 載重位置在前上方，能順利的爬上樓梯。
2. 載重位置在後上方，晃動很大，分散了力量。
3. 載重位置在下方，減少晃動的幅度，但向下的作用力太強，後輪反而無法順利爬上樓梯。

目的五：製作一個最佳效果的爬樓梯機器人。

【研究構想】

我們所創作的爬樓梯機器人，如何能「順利的爬上樓梯」？我們整理資料並進行討論，為了想更堅固，就到具有雷射和 3D 列印設備的學校，請教師長並打造一些零件。

【實驗步驟】

1. 整理上述研究結果，討論與歸納爬樓梯機器人的車身設計、車輪設計、載重位置等因素，根據結論製作一個最佳效果的爬樓梯機器人。
2. 將爬樓梯機器人放到跑道起點線上，開啟前後輪電源，確認數字顯示電壓錶數值位於 11~10.5 V 之間。
3. 按下開關，以光敏電阻計時並進行攝影，計算爬樓梯機器人走完二階樓梯(60 cm)平均速度。
4. 若無法抵達 60 cm 線，則記錄 20 秒所走的最遠距離。
5. 將結果記錄如下表 7、8。

【資料分析與討論】

表 7：各種因素之最佳配置一覽表

表

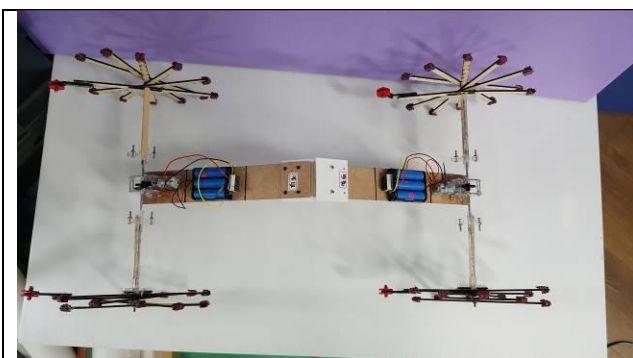
項目	改變的因素	最佳效果
車身設計	車身形狀設計	山型
	車身彎曲角度	130 度
車輪設計	車輪大小	18 cm(以上)
	輪距(車軸寬度)	前寬後寬
	軸距(兩軸距離)	53 cm(以上)
載重位置	重物黏貼位置	前上方

表 8：最佳機型前進時間距離比較

最佳機型	
距離	時間
60	4.55
60	5.16
60	5.89
60	6.11
60	6.31
60.0	5.6

【研究發現與討論】

1. 運用最佳組合進行實驗，可以在 6 秒內走完二階的樓梯。
2. 我們打造了一些零件，準備進行實驗，受限於疫情停課，只能粗淺的測試，結果發現 3D 列印出車身中央的連接桿，反而阻礙爬樓梯機器人彈跳的特性，效果沒有比較好。
3. 將最佳機型的爬樓梯機器人，車輪改為一體成型的八幅條車輪，與原本的機型在前進時間距離上沒有太大差異。

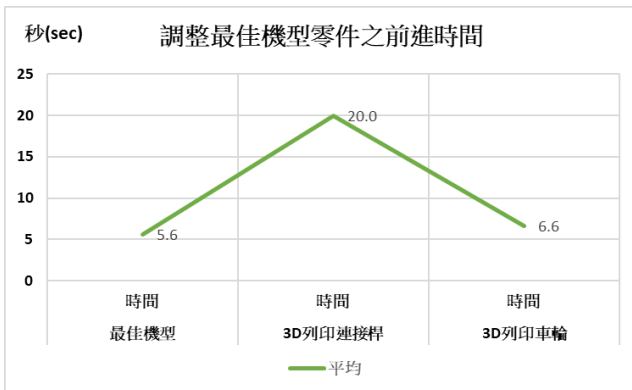
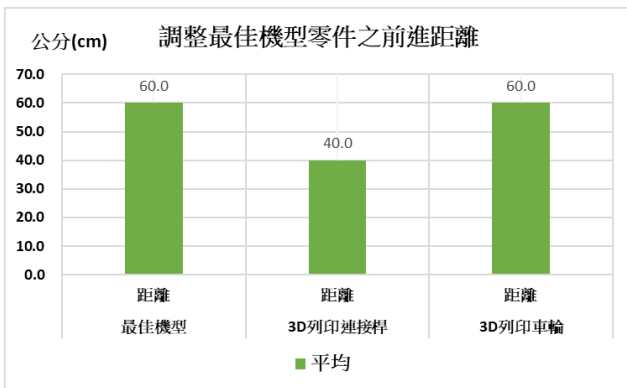


以雷切機製作一體成型的車輪幅條，並以 3D 列印出車身中央的連接桿



以 3D 列印八幅條的車輪，並以齒輪自製抓夾

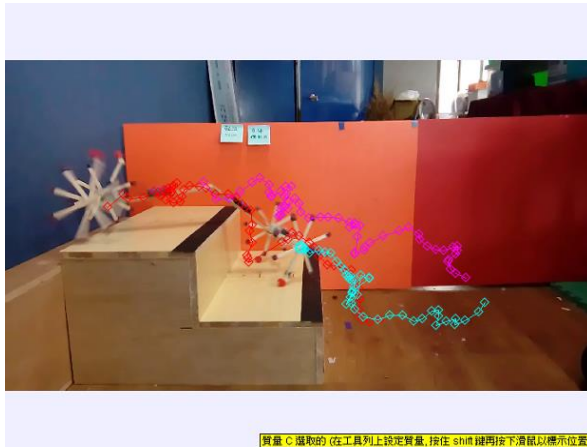
最佳機型		最佳機型-3D 列印連接桿		最佳機型-3D 列印車輪	
距離	時間	距離	時間	距離	時間
60	4.55	45	20	60	6.33
60	5.16	40	20	60	7.61
60	5.89	40	20	60	6.53
60	6.11	35	20	60	5.28
60	6.31	40	20	60	7.3
60.0	5.6	40.0	20.0	60.0	6.6



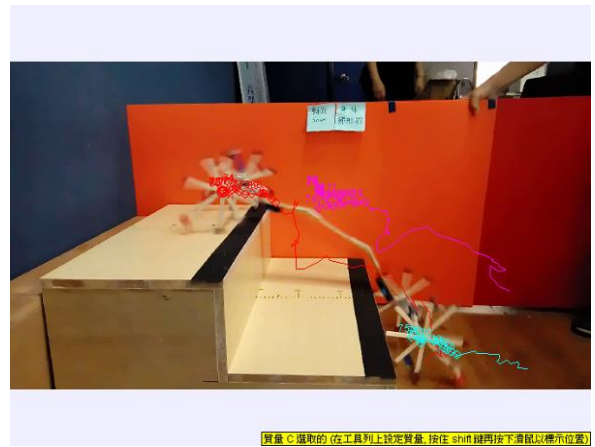
陸、討論

一、不同車身設計，對爬樓梯機器人移動時間有何影響。

在我們的認知中，本來猜測梯形會是最佳車身設計，結果竟然是山形的機器人，因此我們請教老師，使用 Tracker 軟體分析路徑（前輪-紅色軌跡、後輪-藍色軌跡、桃紅-身體移動軌跡）如下圖，結果發現：

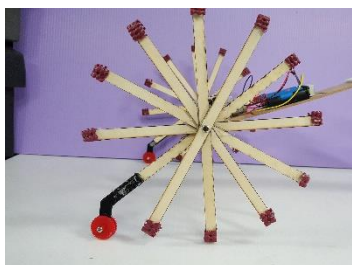
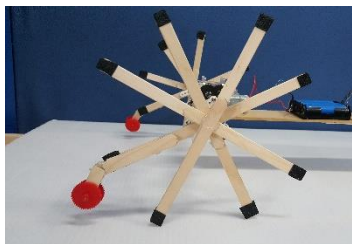


山形：車身山形尖端跳動頻率高，約 3 個弧形，利用車身的震盪與跳動，增加爬上樓梯的成功率。

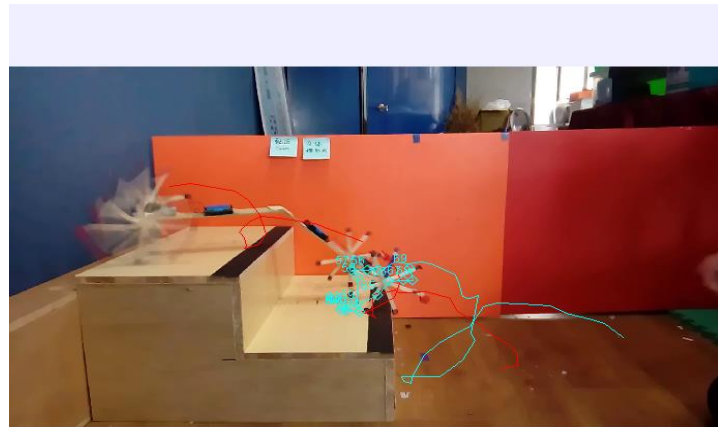


梯形：車身梯形前端，只有 2 個弧度，震盪與跳動頻率較少，彎折多也顯得無法用推力向前。

二、不同抓夾設計，對爬樓梯機器人移動時間有何影響。



抓夾設計：利用平凸齒輪製作可滾動的抓夾，固定在其中一支冰棒棍。



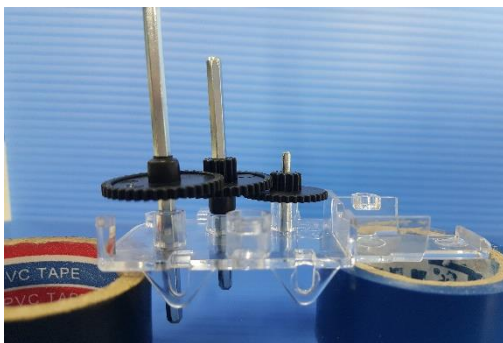
使用 Tracker 軟體分析（前輪-紅色軌跡、後輪-藍色軌跡）發現：當抓夾接觸地面，會形成彈跳的現象，讓輪子產生向上的力量，能夠順利的爬上樓梯。

在抓夾的部分，在創作階段就發現要有一定的方向，才能順利爬上樓梯，接下來除了

用齒輪製作的滾動小齒輪之外，還可以使用倒鉤或是吸盤，看看是否會有更好的效果。也可以增加抓夾的長度或數量，看看是否會有幫助。

三、不同齒輪排列方式，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

一個齒輪盒裡的齒輪分為：小齒輪（軸 1 2 齒、輪 3 6 齒）、平凸齒輪（軸 0 齒、輪 4 2 齒）、雙凸齒輪（軸 0 齒、輪 4 2 齒、軸 1 2 齒），其排列方式分為原型齒輪以及交換後齒輪，交換後齒輪速度極快，但是扭力小，稍微碰撞到障礙物就會發出磨損的聲音並卡住。考量爬樓梯機器人需要較大的扭力，因此採取原型齒輪並將車輪安裝在慢速軸。



齒輪排列方式，採用扭力最大、速度相對慢的組合。



在 11.1 V 的電力下，以轉速計測量輪子的轉速為平均 141.5 RPM。

柒、結論

- 一、校園樓梯實測：學校樓梯高度介於 13~17.7 cm，樓梯的材質也不一樣。小組討論後，決定以現有數量最多的樓梯尺寸為基準。
- 二、市面上樓梯機器人的構造：車子本身的電力、扭力要夠大，輪子形狀至少 3 個輻條以上，前方與後輪的車軸距離要在兩個階梯的斜邊頂點以上，接觸點的摩擦力要足夠，才能避免下滑。
- 三、爬樓梯機器人原型製作：小組設計成車子的結構，輪子部分能與地面有比較多的接觸點，較為堅固，上方也可以載物，讓實用性提高。

- 四、不同車身設計：山型車身的爬樓梯機器人，有 60 % 的機率都在 4 秒內爬上樓梯。車身彎曲角度在 130 度都能夠順利爬上樓梯，110 度則有 40 % 的成功機率。
- 五、不同車輪大小：車輪直徑 18 cm 比樓梯 16.5 cm 長，可以順利爬上二階樓梯。車輪直徑 20 cm，冰棒棍之間間距變大，造成後輪在爬樓梯有時會卡住。
- 六、不同車軸設計：輪距(車軸寬度)-前寬後寬能穩定的爬上樓梯，前窄後寬只能爬上一階樓梯，後方窄輪容易翻車。軸距(兩軸距離) 必須保持「斜邊 34.3 cm+前輪直徑 18 cm」以上的距離，當前輪攀上樓梯時，後輪同時要能離開地面才能成功。
- 七、不同載重位置：載重位置在前上方，能順利的爬上樓梯。載重位置在後上方，晃動很大，分散了力量。載重位置在下方，減少晃動的幅度，後輪反而無法順利爬上樓梯。

捌、研究心得

OOO：這次的科展，我們這組做爬樓梯機器人，我們花了非常多的時間，也利用放學時間和假日留下來製作。做機器人要改變的變因很多，例如：腳的長度、車身的曲度和倒鈎的長度等，都要不斷地做改變，過程中常常被熱熔膠燙到，或是被工具夾到，讓我們這組的手幾乎都傷痕累累呢！我想，這就是成功必經之路。

OOO：當我們決定要做這個主題時，就已經知道很困難了，但我們還是很想嘗試，因為這個主題是一個創新又無人挑戰的題目，所以我們選定了這個主題。剛開始做時，我們必須完成測量所有樓梯的作業，測量完畢之後，就開始製作爬樓梯機器人。機器人需配合樓梯高度、輪子大小、軸距長短作變化，利用各種實驗找出最好的配置，再將所有配置組合起來，完成爬樓梯的任務，覺得成就感滿點！

OOO：在做的過程中，出現了許多問題，像是：充電電池沒電、齒輪磨損、輪子脫落、車身軟軟的……。我們本來可以輕鬆地度過假期，但為了完成這個科展，我們的假日就只能在教室裡實驗，不能像一般人宅在家裡打電動。不過，只要想到能和同組的學生一起做實驗，不管有多麼的辛苦我都願意。

OOO：這次的科展作品是爬樓梯機器人，我們這一組的目標看似非常簡單，但實際上要做出來有許多的不方便和問題，例如：手工的精細程度、變因有哪些，這些問題都讓我們困

擾好久，雖然每個問題都很難解決，但我們還是努力克服難關，把最好的作品呈現給評審。

玖、相關參考資料

1. 樓梯設計的這些數據與計算，你應該知道 2021.3.1 取自
<https://zi.media/@yidianzixun/post/6P2dpi>
2. <The climbing strandbeest>，中華民國第 55 屆中小學科學展覽會，國中物理科，
2020.3.1 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=12486>

【評語】 082805

1. 製作簡易的爬樓梯機器人，對於各種不同部件進行不同參數的實驗與量測。已經具備科學探究之精神。
2. 目前的爬樓梯機器人，可以爬升上二階樓梯。尚有進步空間。
3. 各種參數彼此之間有高度的關聯性，若能進一步加以探討，可加深其科學性與應用性。

作品簡報

中華民國 第61屆中小學科學展覽會

組 別：國小組

科 別：生活與應用科學(一)

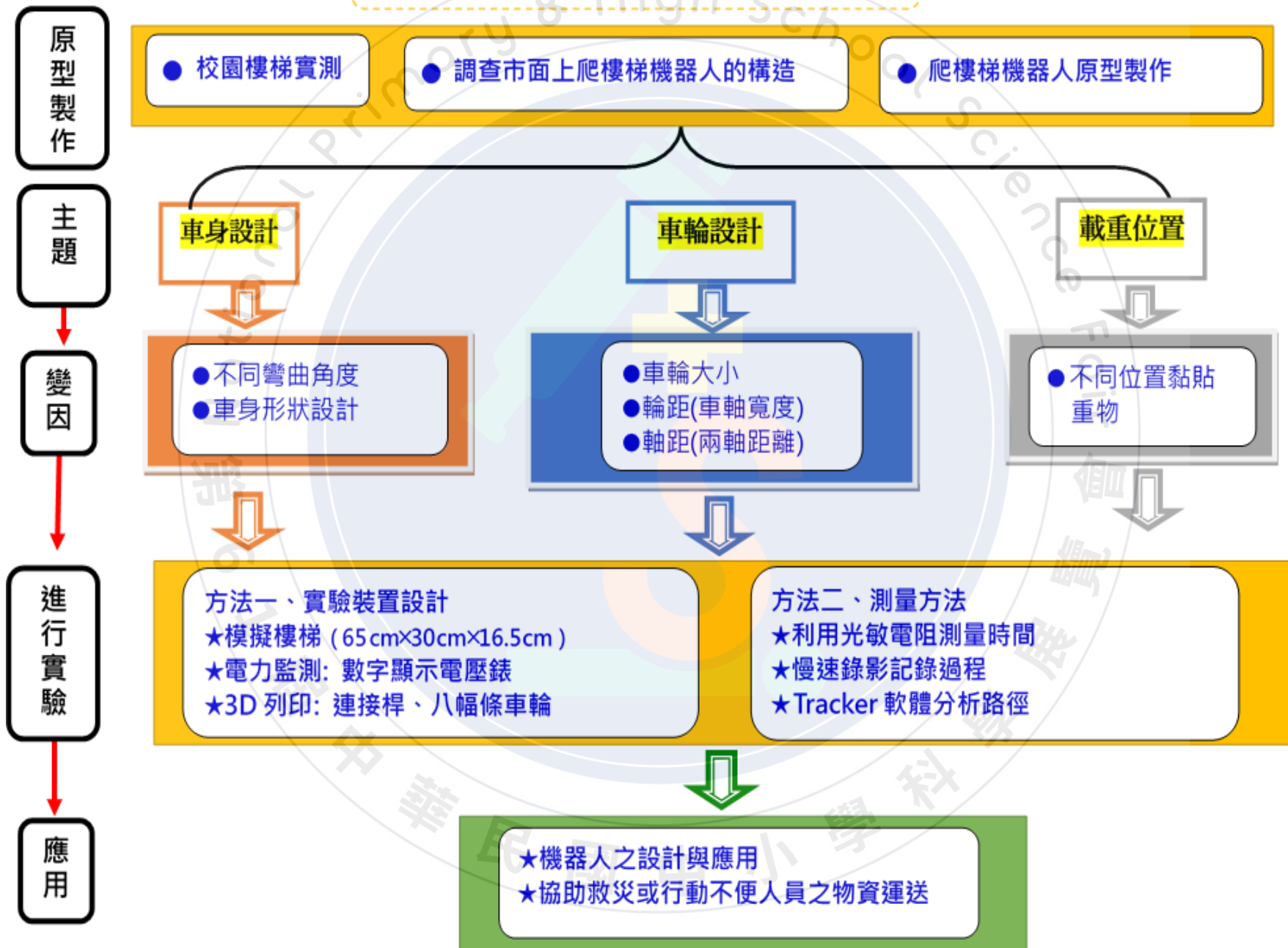
作品編號：082805

作品名稱：

步步高昇～爬樓梯機器人大解密

研究架構

步步高昇~爬樓梯機器人大解密



目的一、校園樓梯實測，製作爬樓梯機器人原型。

研究1—1：校園樓梯實測



【109-110年新建北一棟、南二棟校舍】

數量：8座
高度：14~ 16.5 cm
寬度：28~ 30 cm
特徵：石製樓梯，邊緣有2道刻痕



【行政大樓】

數量：2座
高度：13~ 16 cm
寬度：28~ 30 cm
特徵：磨石子製樓梯，邊緣有金屬止滑



【行政大樓中樓梯】

數量：3座
高度：10~ 16.8 cm
寬度：29~ 31 cm
特徵：大理石製樓梯，邊緣有金屬止滑



【北二棟-音樂大樓】

數量：5座
高度：16~ 17.7 cm
寬度：22~ 23.5 cm
特徵：方形磁磚，邊緣有金屬止滑

長度 65 cm

斜邊 34.3 cm



高度 16.5 cm

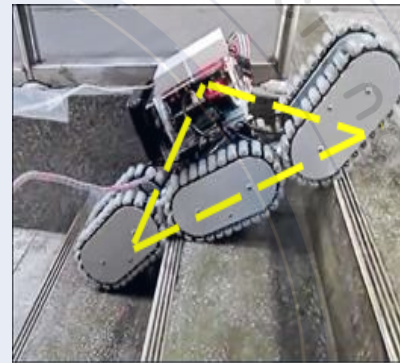
寬度 30 cm

【研究發現】

- 每一格樓梯的高度竟然不是完全一樣，因此我們紀錄每一個樓梯的最高和最低，發現學校樓梯高度介於13~ 17.7 cm。
- 小組討論後，決定以現有數量最多的樓梯尺寸(高度：14~ 16.5 cm、寬度：28~ 30 cm)為基準，打造一個模擬樓梯，於樓梯邊緣貼上止滑貼條。

目的一、校園樓梯實測，製作爬樓梯機器人原型。

研究1-2：調查市面上爬樓梯機器人的構造



【爬樓梯菜籃】

➢ 動力來源：人力
特徵：

- 後輪是可翻轉的三輻條大輪，頂端裝上可滾動的輪子。
- 前方與後輪的距離在兩個階梯的斜邊頂點(如圖中黃色三角型區域)。

【爬牆機器人】

➢ 動力來源：馬達、電池
特徵：

- 前輪為可翻轉的四輻條大輪，頂端裝上止滑片與重物
- 後輪為可滾動的小輪。
- 沒有實際爬上樓梯的影片，效果待驗證。

【MIT「盲豹」機器人】

➢ 動力：控制面板、電池
特徵：

- 關節可彎曲的六足，運用反作用力讓施力方向向前(如圖紅色三角型)。
- 前後腳分別在樓梯的斜邊頂點(如圖中黃色三角型區域)，樓梯高度目測有比較淺一點。

【台北科技大學機械工程系-救援機器人】

➢ 動力來源：控制面板、線控、電池
特徵：

- 「履帶串結型」設計，運用可彎曲的履帶向前。
- 履帶前後輪分別在樓梯的斜邊頂點(如圖中黃色三角型區域)。

【樂高--爬樓梯機器人】

➢ 動力來源：控制面板、電池
特徵：

- 六輪，最後兩輪藉由上下移動，將前面的車身舉起(如圖中紅色直線區域)。
- 速度慢、車身重，實用性較不高。

【資料分析與討論】

- 綜合以上資料，我們發現要能夠爬上樓梯，車子本身的電力、扭力要夠大。
- 輪子形狀至少3個輻條以上。
- 前方與後輪的車軸距離要在兩個階梯的斜邊頂點以上。
- 接觸點的摩擦力要足夠，才能避免下滑。

目的一、校園樓梯實測，製作爬樓梯機器人原型。

研究1—3：爬樓梯機器人原型製作



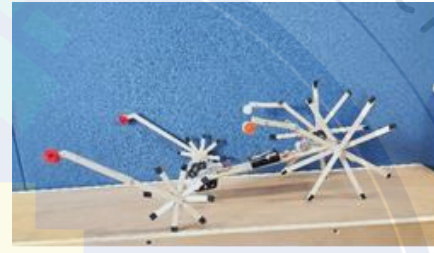
【第一代--爬樓梯機器人】

- 特徵：將前輪加大，分為3個、4個、5個輻條，和圓形車輪。
- 檢討：輻條必須堅固一點，圓形木板太重了。



【第二代--爬樓梯機器人】

- 特徵：
 - 1.前輪以密集板設計為3個輻條，並加上倒鉤。
 - 2.後輪設計一個比樓梯高的塑膠瓦楞板輪子。
- 檢討：前方抓力不足，後方輪需要摩擦力推動。



【第三代--爬樓梯機器人】

- 特徵：將前輪、後輪都加上可滾動的抓夾，後輪加大，當前輪爬上樓梯，可以支撐住車身。
- 檢討：前進的扭力不足，無法帶動後方輪子爬上去。



【第四代--爬樓梯機器人】

- 特徵：
 - 1.保留抓夾，並將抓夾縮短緊貼輻條，讓施力能夠更集中。
 - 2.前後輪為獨立的電源11.1 V。
- 檢討：
 - 1.平面的車身，容易撞擊到樓梯邊緣。
 - 2.車軸寬一點較穩定，抓夾的方向也要修正。

【研究發現與討論】

綜合以上實作的結果，我們發現：

- 爬樓梯機器人設計成車子的結構，輪子部分能與地面有比較多的接觸點，較為堅固，上方也可以載物，讓實用性提高。
- 爬樓梯機器人成功的條件：彎曲的車身，兩軸距離要比樓梯斜邊長，車輪要高於一階樓梯的高度，車子扭力要足夠。

【第五代--爬樓梯機器人】

- 特徵：將車身改為梯形和山形，輪距為加長型。
- 檢討：車身較長的可以跨越到第二階，順勢把後輪帶上來。終於成功了！

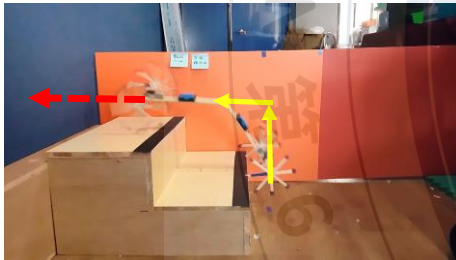


目的二、不同車身設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

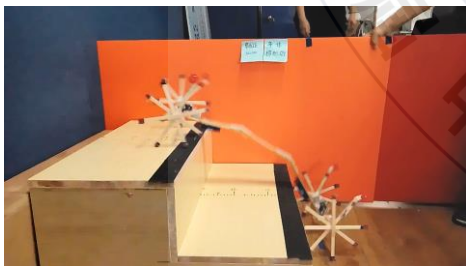
研究2-1：不同車身形狀設計



車身設計-平面



車身設計-山形



車身設計-梯形

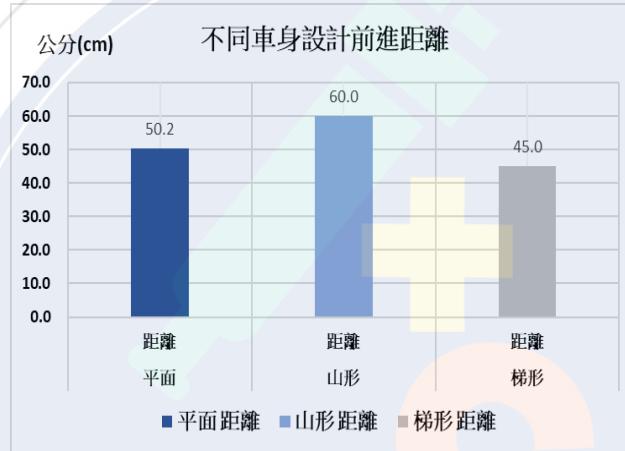


圖2：車身形狀對爬樓梯機器人前進距離比較

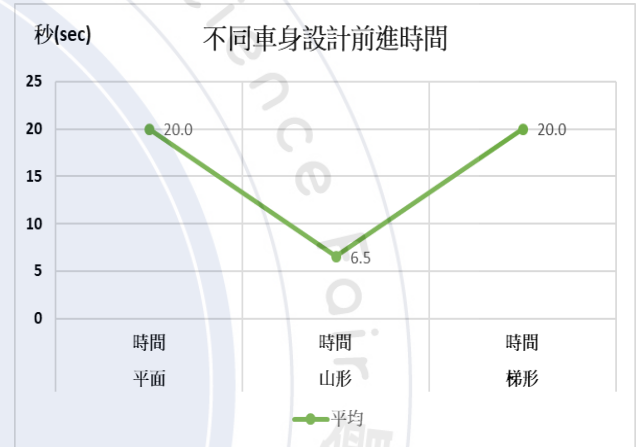


圖3：車身形狀對爬樓梯機器人前進時間比較

【研究發現與討論】

- 山型車身的爬樓梯機器人，有60% 的機率都在4秒內爬上樓梯，前輪有向前的力，後輪有向上和向前的力。
- 平面車身的爬樓梯機器人前進速度快，雖然前輪可以爬上樓梯，但容易卡在樓梯前，後輪始終無法爬上樓梯。
- 梯形車身的爬樓梯機器人，雖然前輪可以爬上樓梯，但兩個轉折讓機器人的車身無法集中力量，後輪卡在樓梯前震動。

詳細數據請參閱說明書第14頁

目的二、不同車身設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

研究2-2：車身不同彎曲角度

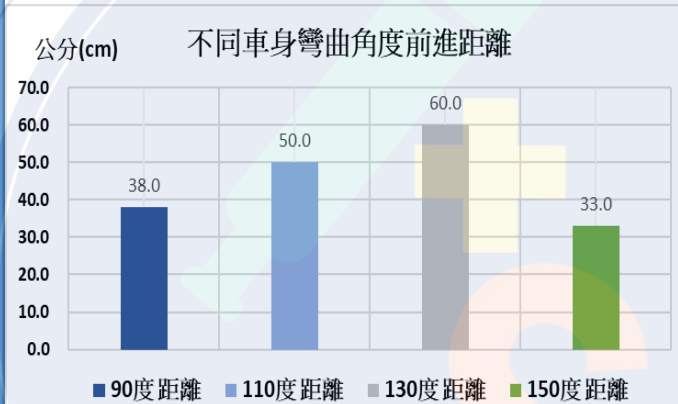
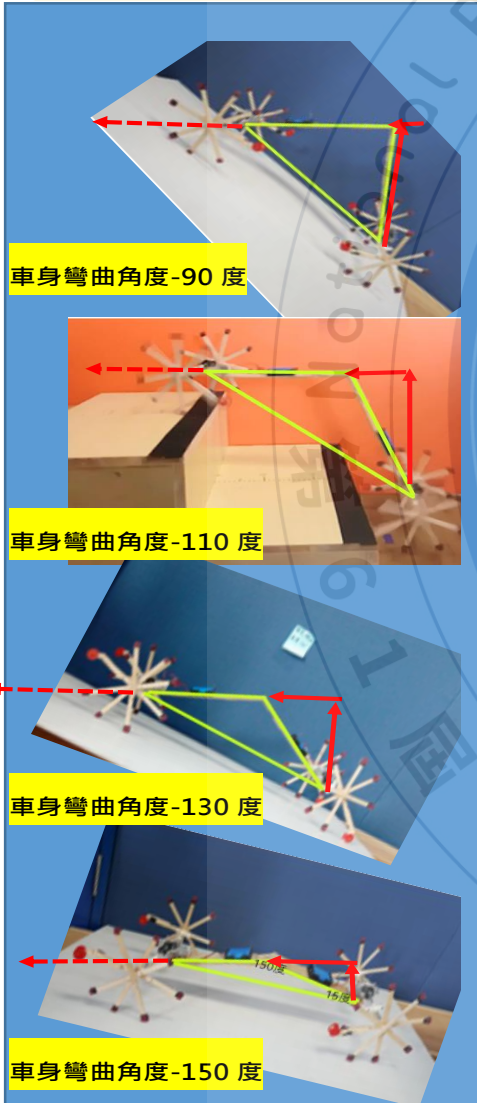


圖4：車身彎曲角度對爬樓梯機器人前進距離比較

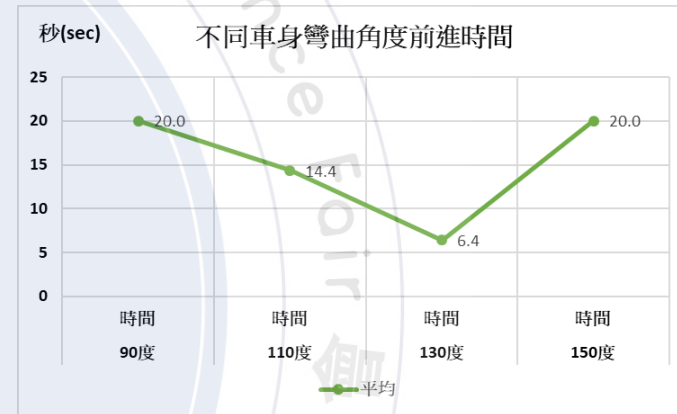


圖5：車身彎曲角度對爬樓梯機器人前進時間比較

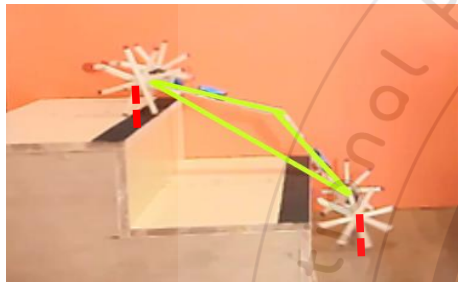
【研究發現與討論】

- 爬樓梯機器人在130度都能夠順利爬上樓梯。
- 在110度則有40 % 的成功機率。
- 隨著身體彎曲角度變大，向前的合力也變大。
- 在150度時角度接近平面車身，容易卡在樓梯前，也無法順利爬上樓梯。

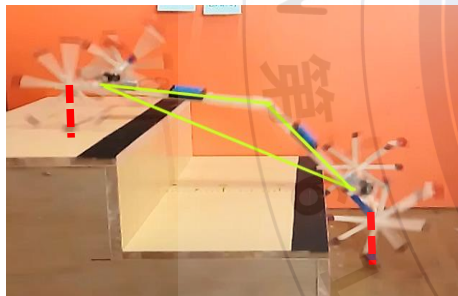
詳細數據請參閱說明書第15頁

目的三：不同車輪設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

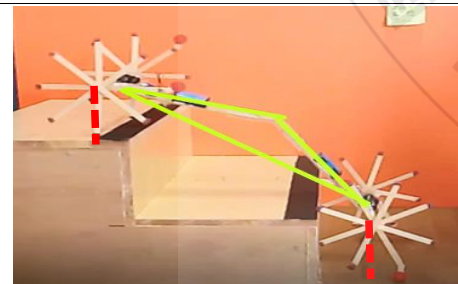
研究3-1：不同車輪大小



車輪直徑 16cm



車輪直徑 18cm



車輪直徑 20cm

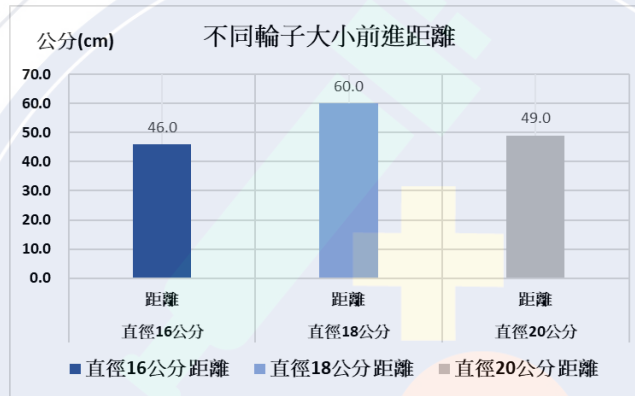


圖6：輪子大小對爬樓梯機器人前進距離比較

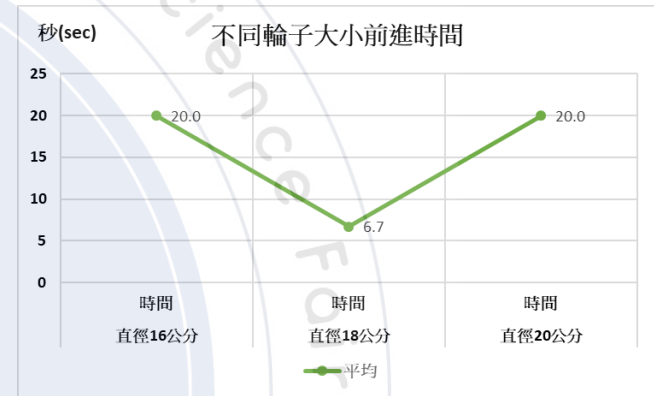


圖7：輪子大小對爬樓梯機器人前進時間比較

【研究發現與討論】

- 車輪直徑16 cm可以爬上一階樓梯，但後輪無法順利爬上。
- 車輪直徑18 cm可以順利爬上二階樓梯。
- 車輪直徑20 cm依照推測可以爬上樓梯，但卻不如預期成功，仔細分析，發現當車輪直徑愈大，冰棒棍之間的間距變大，造成後輪在爬樓梯的時候會卡住，反而無法順利爬上樓梯。

詳細數據請參閱說明書第16頁

目的三：不同車輪設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

研究3-2：不同輪距(車軸寬度)

【研究構想】

第四代爬樓梯機器人製作中，我們發現車軸寬一點會比較穩定，因此以曲柄對鎖，加上六角棍固定的方式，讓車軸能夠變長，整體車身變寬。

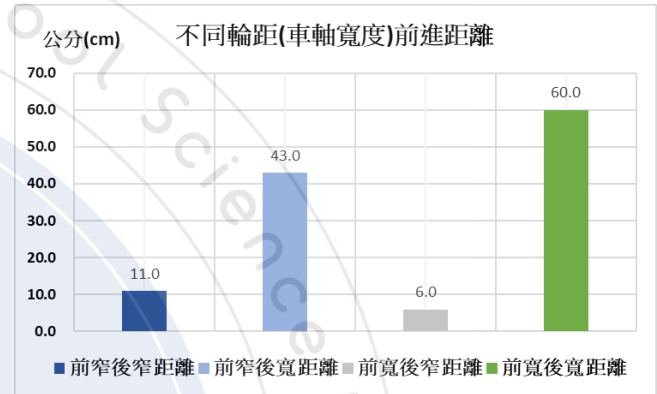


圖8：輪距(車軸寬度)對爬樓梯機器人前進距離比較

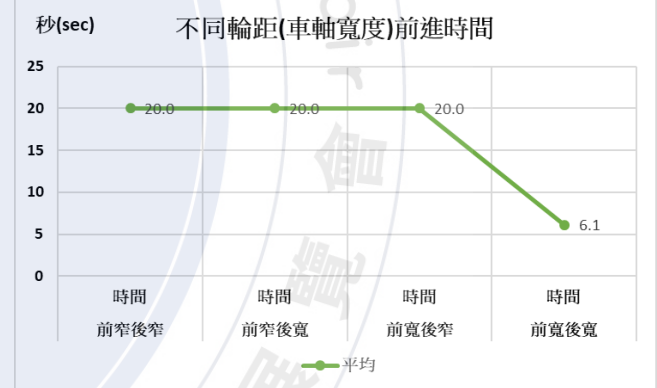
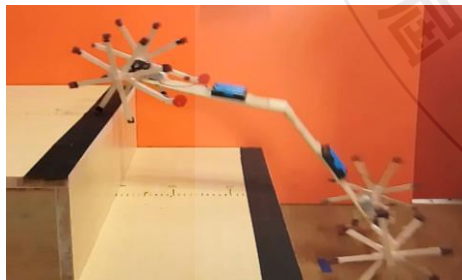


圖9：輪距(車軸寬度)對爬樓梯機器人前進時間比較



前窄後寬-容易偏斜



前窄後窄-碰到樓梯就歪斜，無法上樓梯

【研究發現與討論】

- 前寬後寬能穩定的爬上樓梯。
- 前窄後寬只能爬上一階樓梯。
- 後方窄輪容易翻車。

詳細數據請參閱說明書第18頁

目的三：不同車輪設計，對爬樓梯機器人前進的時間有何影響。

研究3-3：不同軸距(兩軸距離)

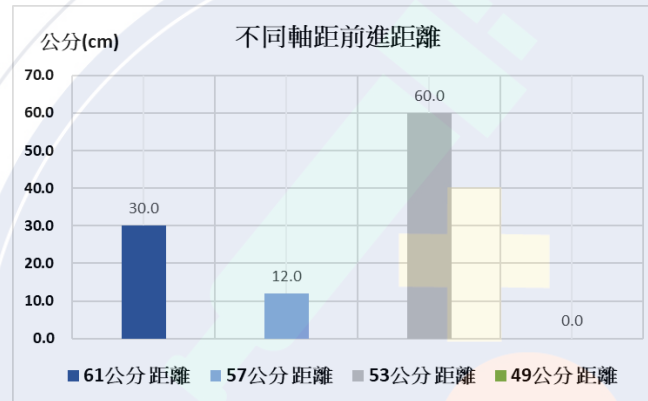
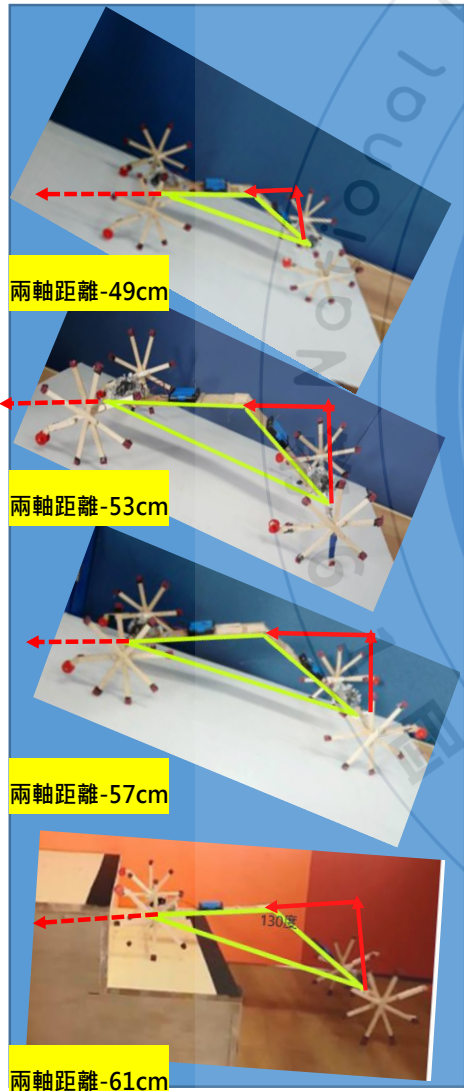


圖10：軸距(兩軸距離)對爬樓梯機器人前進距離比較

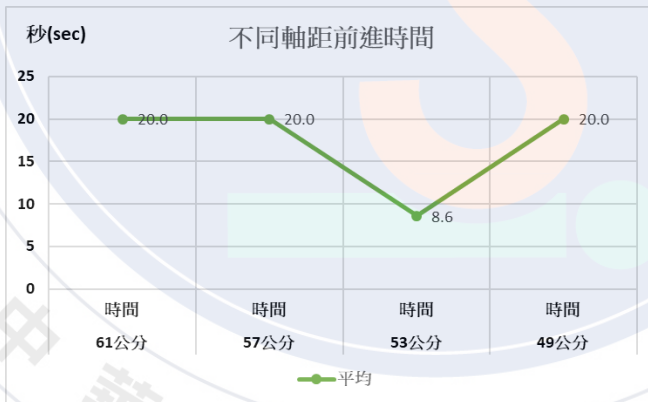
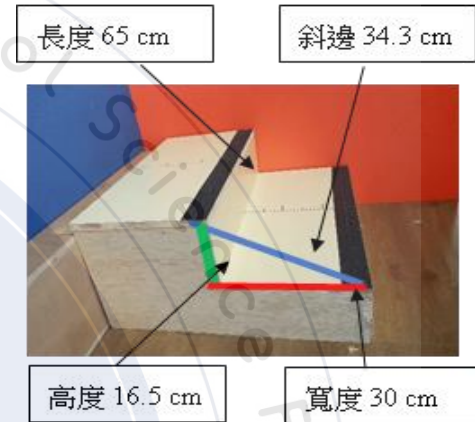


圖11：軸距(兩軸距離)對爬樓梯機器人前進時間比較

詳細數據請參閱說明書第19頁



【研究發現與討論】

固定車身彎曲角度為130度，

改變兩軸距離，結果發現：

●車軸距離49 cm完全無法爬上樓梯，觀察影片發現當前輪攀上樓梯時，後輪同時要能離開地面，也就是必須保持「樓梯斜邊34.3 cm+前輪直徑18 cm」以上的距離才能成功。

●車軸53 cm以上可以爬上樓梯。

●但57 cm以上車軸過長，車身晃動大，反而無法順利爬上二階樓梯。

目的四：不同載重位置，對爬樓梯機器人前進時間有何影響。

研究4—1：在不同位置黏貼重物

【研究構想】

爬樓梯機器人總重為435g，一個電池盒110g，佔了整個機器人1/4的重量，將「電池盒模擬為重物」，山形車身一邊佔25 cm，扣除齒輪盒5 cm，剩餘的空間每10 cm劃分一區，「靠近馬達稱為前方」、「靠近山形尖端稱為後方」，了解何種載重位置，對移動時有較好的效果。

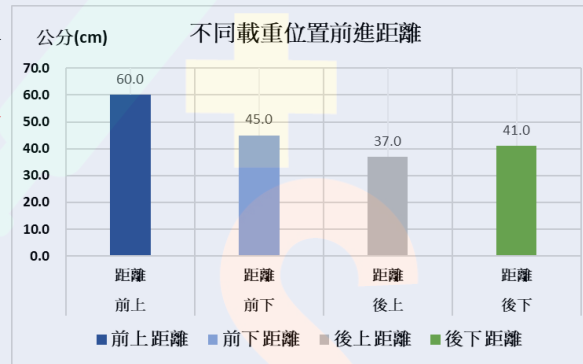
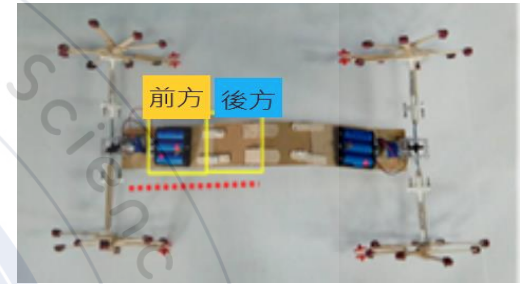


圖12：載重位置對爬樓梯機器人前進距離比較

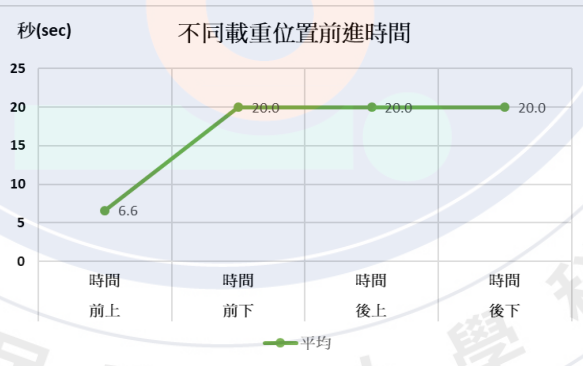
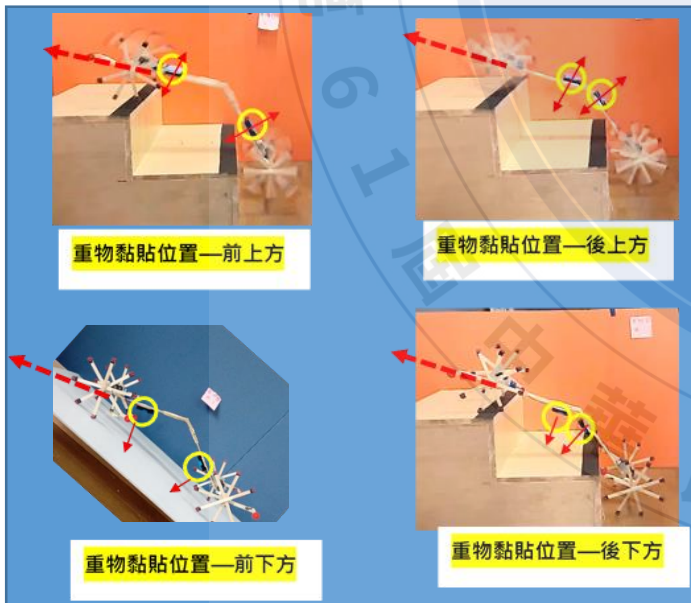


圖13：載重位置對爬樓梯機器人前進時間比較

【研究發現與討論】

- 載重位置在前上方，能順利的爬上樓梯。
- 載重位置在後上方，晃動很大，分散了力量。
- 載重位置在下方，減少晃動的幅度，但向下的作用力太大，後輪反而無法順利爬上樓梯。



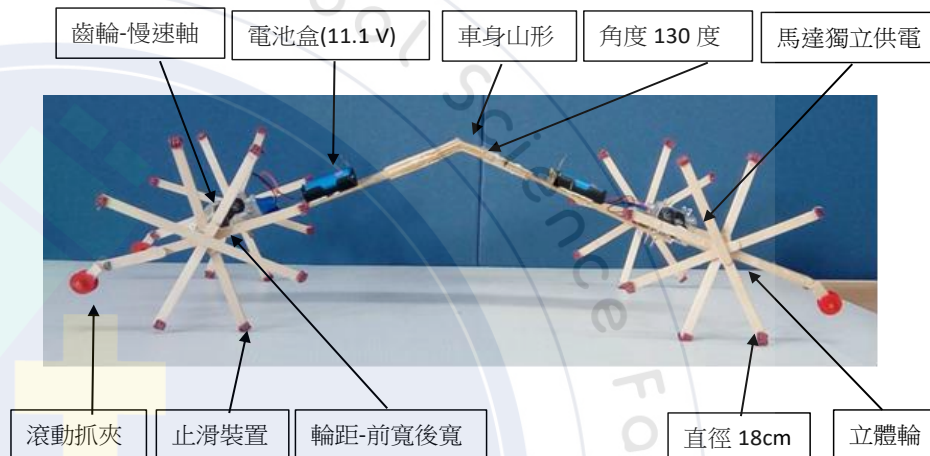
詳細數據請參閱
說明書第21頁

目的五：製作一個最佳效果的爬樓梯機器人。

結論

項目	改變的因素	最佳效果	最佳機型	
			距離	時間
車身設計	車身形狀設計	山型	60	4.55
	車身彎曲角度	130度	60	5.16
車輪設計	車輪大小	18 cm (以上)	60	5.89
	輪距 (車軸寬度)	前寬	60	6.11
		後寬	60	6.31
	軸距 (兩軸距離)	53 cm (以上)	60	6.31
載重位置	重物黏貼位置	前上方	60.0	5.6

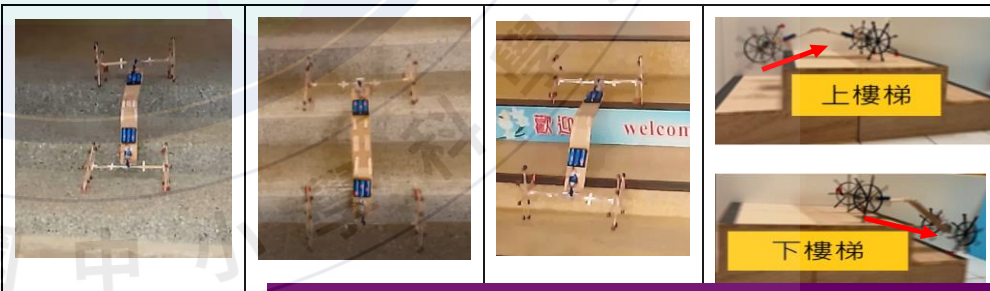
爬樓梯機器人最佳機型示意圖



1. 車身設計：山型車身、彎曲角度130度。
2. 車輪大小：車輪直徑 > 樓梯高度1.5 cm以上。
3. 車軸設計：輪距前寬後寬、
軸距 > 樓梯斜邊長+前輪直徑。
4. 載重位置：身體前上方，靠近馬達10 cm處。

【研究發現與討論】

- 運用最佳組合進行實驗，可以在6秒內走完二階的樓梯。
- 3D列印連接桿：阻礙爬樓梯機器人彈跳的特性，效果反而不佳。
- 一體成型的八幅條車輪：與原本的機型前進距離相同，前進時間慢了1秒。



詳細數據請參閱說明書第22-23頁