

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

082816

步步高昇~爬樓梯機器人的終極奧義

學校名稱：苗栗縣公館鄉公館國民小學

作者： 小六 卓瑜凱 小四 蘇宥桀	指導老師： 謝祥宏 范碧玉
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：爬樓梯、抓夾、底座

步步高昇~爬樓梯機器人的終極奧義

摘要

我們嘗試要設計一個能夠爬樓梯的機器人，在有一項比賽時，看到了有些人前腳像輪子一樣快速地爬上去。因此，我們這組就想要研究~怎樣讓我們的機器人爬得更快。研究結果發現：

- 一、前腳長度>樓梯的踢面高度高約 1.5 公分~3.5 公分，機器人能順利爬樓梯。
- 二、前腳越長扭力小，前腳越短，扭力大。
- 三、前腳加寬轉軸為 5 公分，爬樓梯速率變快。
- 四、以桌球皮黏在抓夾上，爬樓梯速度最快。
- 五、同樣的齒輪比，前腳越長扭力越大，前腳越短，扭力愈小。
- 六、底座變寬，能減少機器人翻倒次數。
- 七、當踢面高度變為原來 2 倍時，爬樓梯速率降為為原 1/2。
- 八、自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。
- 九、獲致爬樓梯機器人最佳結構。

壹、前言

一、研究動機

去年我們這組參加 2022PowerTech 的攀爬精靈項目，要設計一個能夠爬樓梯的機器人，雖然我們找資料試做，但效果不是很好。在比賽時，看到了有些人前腳像輪子一樣快速地爬上去，比賽的選手做了各式各樣的機器人結構，最後我們獲得全國亞軍。因此，我們這組就想要研究，怎樣讓我們的機器人爬得更快。

詢問老師才發現爬樓梯的機器人，在 61 屆時有學長曾經研究過，當時只能爬兩階的樓梯，而且是以 PowerTech 中螞蟻的結構進行改良。而我們這次完全以不一樣的結構進行，我們可以超越學長姐爬更高嗎？因此，覺得很有挑戰性，也產生很多問題。例如：用其他馬達種類馬達、材料也可以爬樓梯嗎？可以設計不同的機器人結構嗎？前腳要多長？後腳又要多長才能爬梯？樓梯坡度對爬樓梯有何影響？我們在老師的指導下，就開始了爬樓梯機器人的研究。

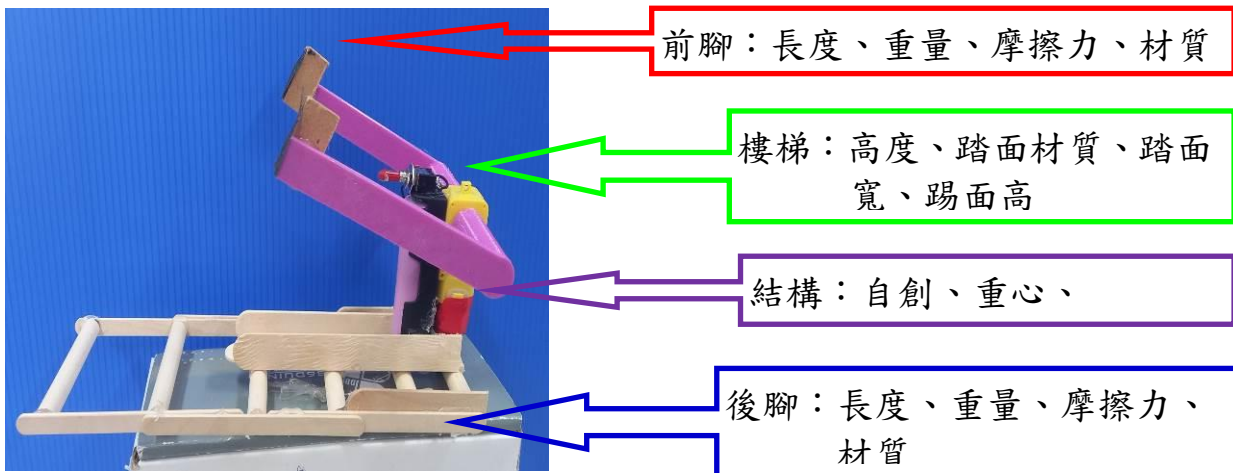


圖 1:研究方向思考圖

二、研究目的及研究問題

我們針對影響「爬樓梯的機器人」的因素，進行一系列的研究，根據研究目的，提出以下研究問題：

目的一、自製第一代爬樓梯機器人

目的二、自製第二代爬樓梯機器人

目的三、了解前腳對爬樓梯的機器人的影響

- 研究 3-1：不同長度的前腳的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。
- 研究 3-2：不同長度的前腳，對爬樓梯機器人扭力大小的影響。
- 研究 3-3：不同前腳轉軸寬度的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。
- 研究 3-4：不同前腳摩擦力大小的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。

目的四、了解底座對爬樓梯的機器人的影響

- 研究 4-1：爬樓梯機器人底座寬度，對爬樓梯高度與速度的影響。
- 研究 4-2：爬樓梯機器人底座距離踢高距離，對爬樓梯高度與速度的影響。
- 研究 4-3：爬樓梯機器人底座距離踢高距離，對爬樓梯路徑與爬行成功率的影响。
- 研究 4-4：爬樓梯機器人底座不同摩擦力，對爬樓梯高度與速度的影響。

目的五、了解樓梯對爬樓梯的機器人的影響

- 研究 5-1：樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速度的影響。
- 研究 5-2：樓梯踏面材質，對爬樓梯高度與速度的影響。

目的六、了解機器人結構對爬樓梯的機器人的影響

- 研究 6-1：不同機器人結構，對爬樓梯高度與速度的影響。
- 研究 6-2：不同馬達，對爬樓梯高度與速度的影響。

三、文獻探討

(一) 2022 年攀爬精靈比賽規則

根據 2022 年青少年科技創作競賽攀爬精靈比賽規則，翻爬精靈需設計有爬樓梯功能（樓梯規格如下圖 2），採用現場提供材料設計機構（下圖 3），最大機身尺寸不限。成品重量不可超過 500 公克。

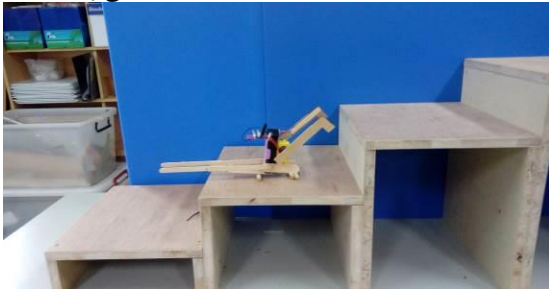


圖 2：機器人爬樓梯場地

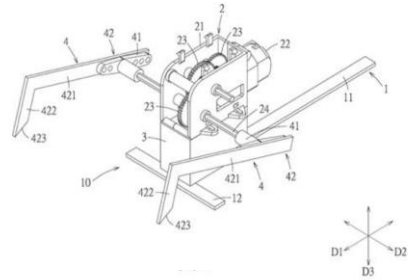
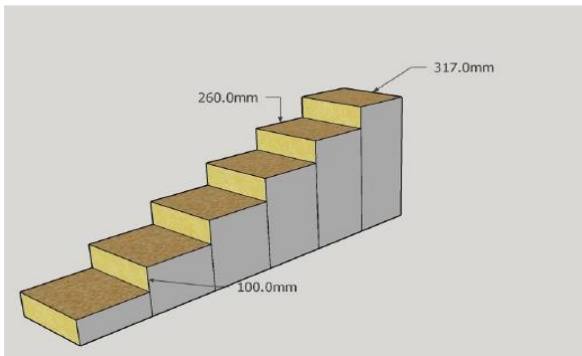


圖 3：機器人結構參考

(二) 樓梯的踏步尺寸




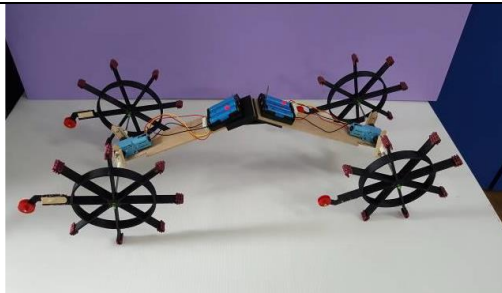
樓梯的尺寸：






- 1.踏面寬：行走時腳踏水平部分，如左圖踏面寬為 26cm
- 2.踢面高：行走時樓梯兩階之間高度差，如左圖踢面高 10cm。

(三) 歷年相關研究

查詢科展群聽，發現第 61 屆全國科展有一篇最有關的研究，是「步步高昇~爬樓梯機器人大解密」。與本研究作品比較整理如下：

表 1：不同研究之爬樓梯機器人比較

作品	步步高昇~爬樓梯機器人的終極奧義 (本次作品)	步步高昇~爬樓梯機器人大解密 (第 61 屆全國科展)
爬樓梯 機器人 製作夠 想	改用 TT 馬達自創、自行研發爬樓梯 機器人結構	以 PowerTech 比賽中螞蟻的結構，進行改 良以達到爬樓梯。
爬樓梯 機器人 結構	 (自創)	 (以比賽之螞蟻雄兵為結構)

作品	步步高昇~爬樓梯機器人的終極奧義 (本次作品)	步步高昇~爬樓梯機器人大解密 (第 61 屆全國科展)
研究用之樓梯	 <p>6階、踢高(5cm)、梯面(26 cm *32 cm)</p>  <p>6階、踢高(10cm)、梯面(26 cm *32 cm)</p>  <p>6階、踢高(16.5cm)、梯面(28 cm *32 cm)</p>	 <p>2階、踢高(16.5cm) 梯面((26 cm *32 cm))</p> 
探討之變因分析	<ol style="list-style-type: none"> 1.前腳：長度、重量 2.前腳轉軸：長度 3.前腳 抓夾摩擦力：不同材質 4.底座：寬度、長度、摩擦力 5.樓梯：踢高、梯面材質 6.不同機器人結構：重心 	<ol style="list-style-type: none"> 1.車身設計：車身形狀、彎曲角 2.車輪大小： 3.車軸設計： 4.載重位置：
成果	<ol style="list-style-type: none"> 1.爬上六階以上高度 (踢高為 5cm,10cm,16cm) 2.踢高(16.5cm)可爬上 	爬上 2 階樓梯高度 (踢高 16cm)

第 61 屆全國科展這一篇主要是研究爬樓梯機器人，以 PowerTech 比賽中螞蟻的結構，進行改良以達到爬樓梯。從結果發現僅能爬兩階樓梯，值得繼續努力，尋求最佳結構，以達到爬樓梯的功能。在評審建議部分，可探討各變項的關聯性，可加深其科學性與應用性。

	
比賽之爬樓梯機器人	本研究自創用 TT 馬達設計之爬樓梯機器人結構

本研究採用不同結構設計，自選材料、重新設計機械結構，達到能爬上六階以上樓梯；與上述研究「步步高昇~爬樓梯機器人大解密」完全不同。過程中探討前、底座長短、摩擦力、樓梯踢面及踏面、材質對爬樓梯機器人影響；這些都與目前已有的研究不同。

四、研究架構

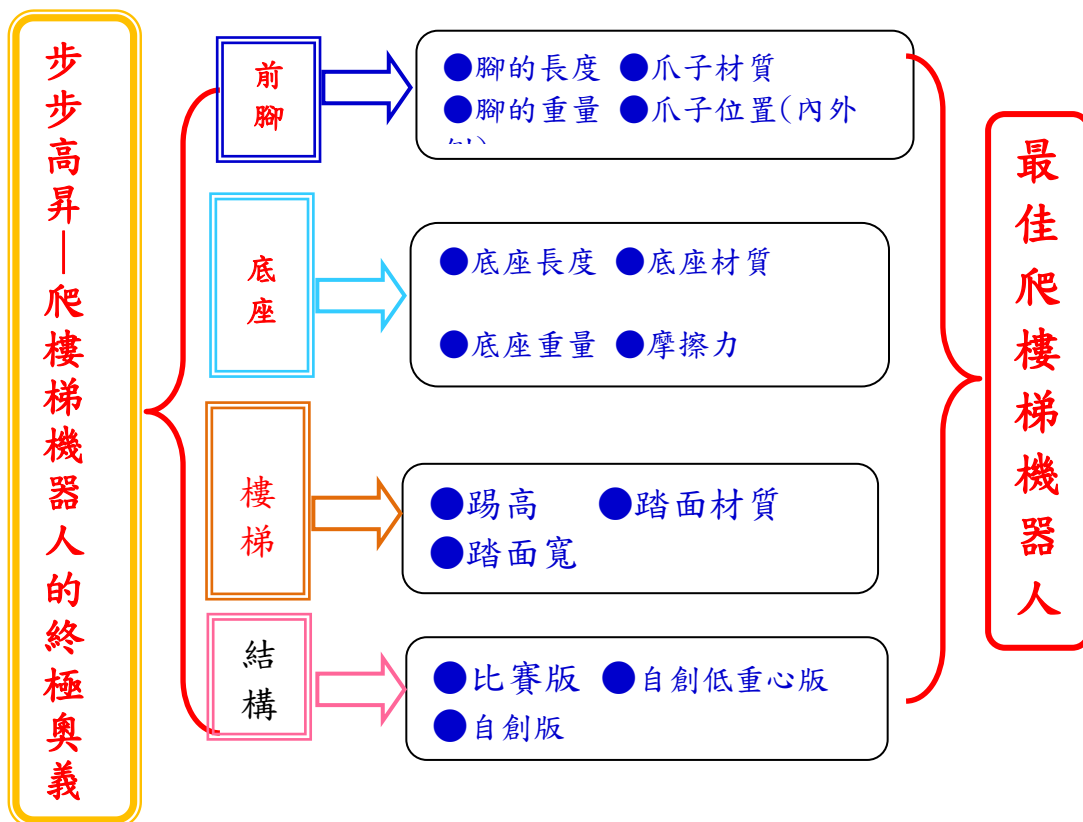
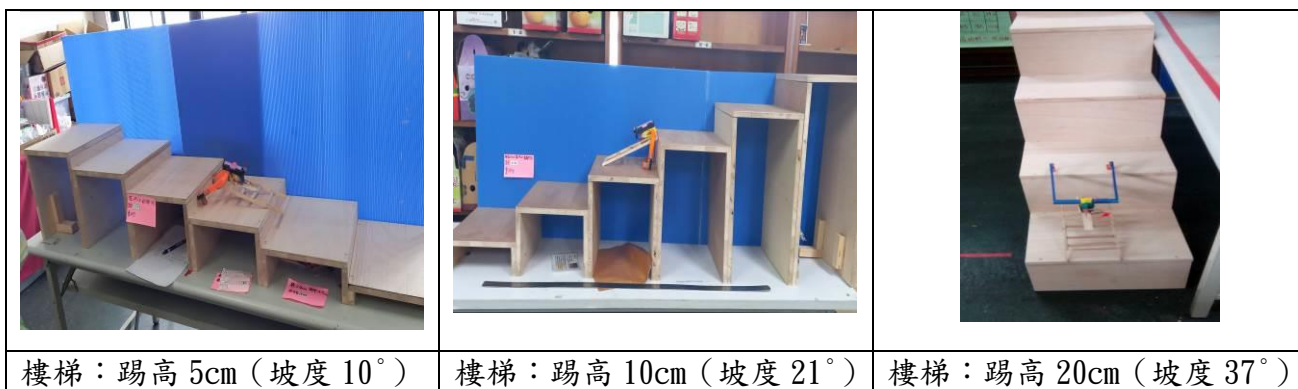



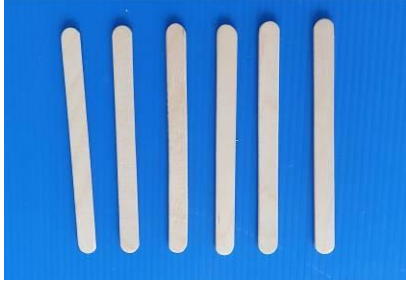
圖 4：研究架構

貳、研究設備及器材

一、實驗器材：

(一) 材料：



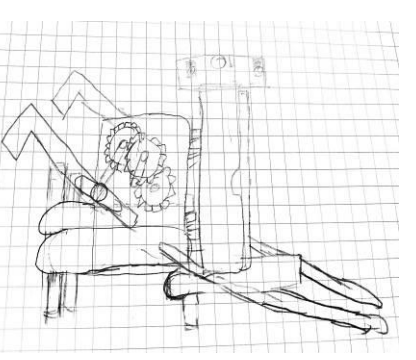
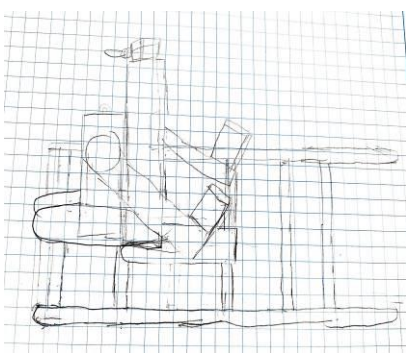
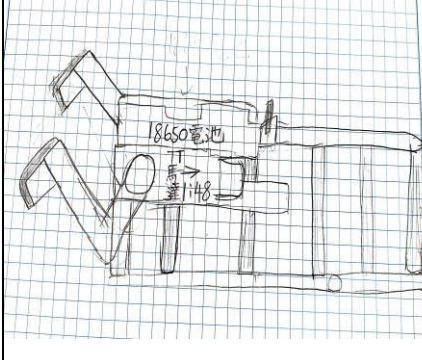
		
樓梯：踢高 16cm (坡度 29°)	不同材質樓梯踏面	不同材質防滑墊
		
TT 馬達 (齒輪比 1:48)	不同齒輪比 TT 馬達	18650 電池盒 (單顆、兩顆)
		
電線及開關	冰棒棍 (寬 1cm)	冰棒棍 (寬 1.5cm)
		
18650 電池	圓形木棍 (直徑 0.8cm)	密集板 (15cmX21cm)

(二) 工具：

		
熱熔膠槍	螺絲起子	尖嘴鉗

		
斜口鉗	剝線鉗	碼錶
		
電子式角度測量器	磅秤	轉速計

二、爬樓梯機器人發展設計圖

		
第一代比賽型	自創第二代爬樓梯機器人	第二代爬樓梯機器人（低重心）

參、研究過程與結果

目的一、自製第一代爬樓梯機器人

一、自製第一代爬樓梯機器人

第一代爬樓梯機器人，主要是以 2022 年青少年科技創作競賽~攀爬精靈比賽材料及規則製作爬樓梯機器人。

表 1：第一代爬樓梯機器人製作歷程圖

前腳設計圖	裁切前腳	黏上曲柄
底座及後腳材料	組裝身體	完成圖

【研究測試發現與檢討】

- (1) 前腳不夠寬易傾斜、翻倒。
- (2) 後腳長度，需再實驗可以達到多長

目的二、自製第二代爬樓梯機器人

二、自創第二代爬樓梯機器人

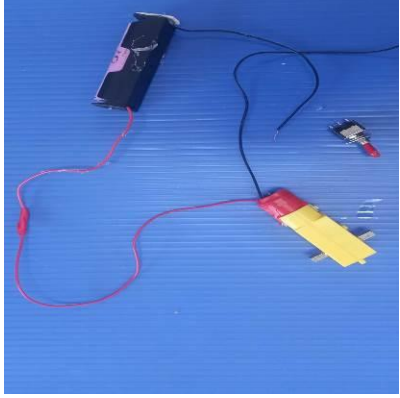



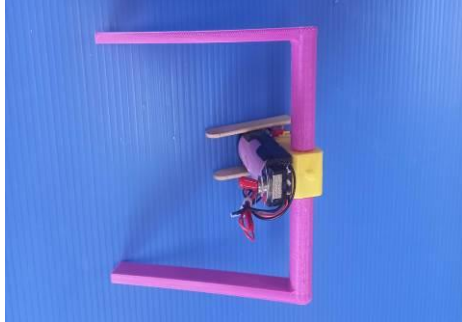
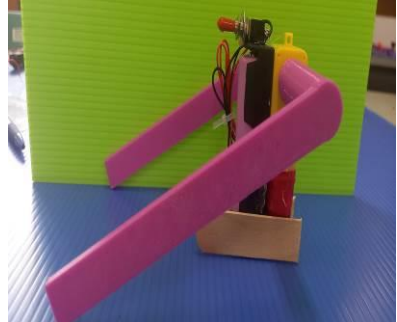





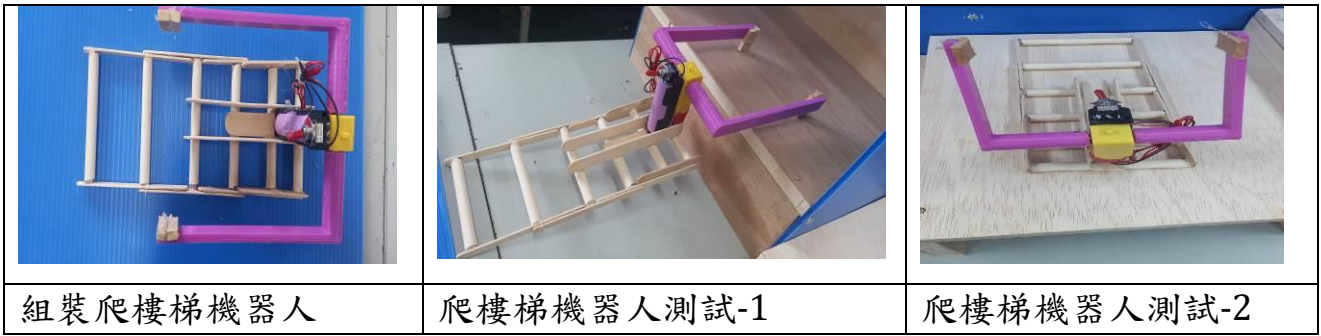
圖 5：第二代爬樓梯機器人結構

製作過程如下：

- (一) 材料：排除使用比賽的齒輪盒，採用市售常用的 TT 馬達作為轉動裝置，一樣採用 18650 電池（容量:1500mAh），並自行設計開關，作為控制爬樓梯機器人裝置。
- (二) 設計前腳：為了讓 TT 馬達兩側轉軸，能與前腳連接穩固，利用 3D 列印輸出不同長度腳，作為實驗變因研究用。
- (三) 組裝電池及 TT 馬達：將電池及 TT 馬達與開關組裝好，將開關設置頂端，以方便開啟。
- (四) 裝上前腳：將 3D 列印輸出長度，利用熱熔槍黏於 TT 馬達兩側。
- (五) 組裝底座：利用圓棍與冰棒棍組裝底座。
- (六) 組裝爬樓梯機器人：將電池及 TT 馬達，裝裝於底座。

表 1：自創第二代爬樓梯機器人製作歷程圖

		
TT 馬達、電池及開關	3D 列印不同長度前腳	組裝電池及 TT 馬達
		
側面圖	前腳黏於 TT 馬達兩側	側面圖
		
24cm 冰棒棍	利用圓棍與冰棒棍組裝底座	黏寬冰棒棍固定馬達



目的三、了解前腳對爬樓梯的機器人的影響

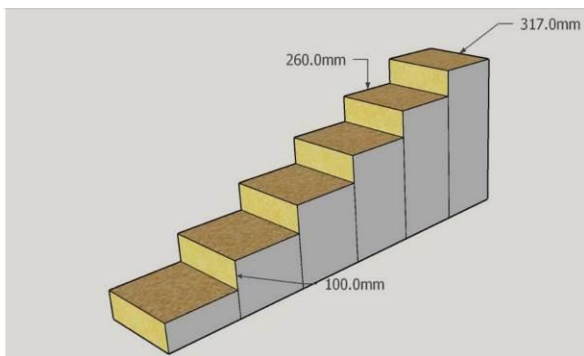
研究 3-1：不同長度的前腳的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。

【研究構想】：

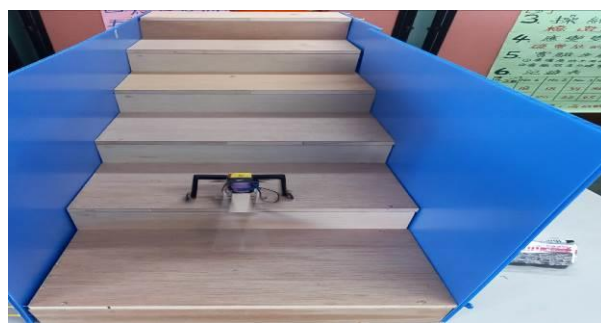
我們想知道不同長度的前腳，對於爬樓梯快慢的影響，因此進行以下實驗。

【實驗步驟】：

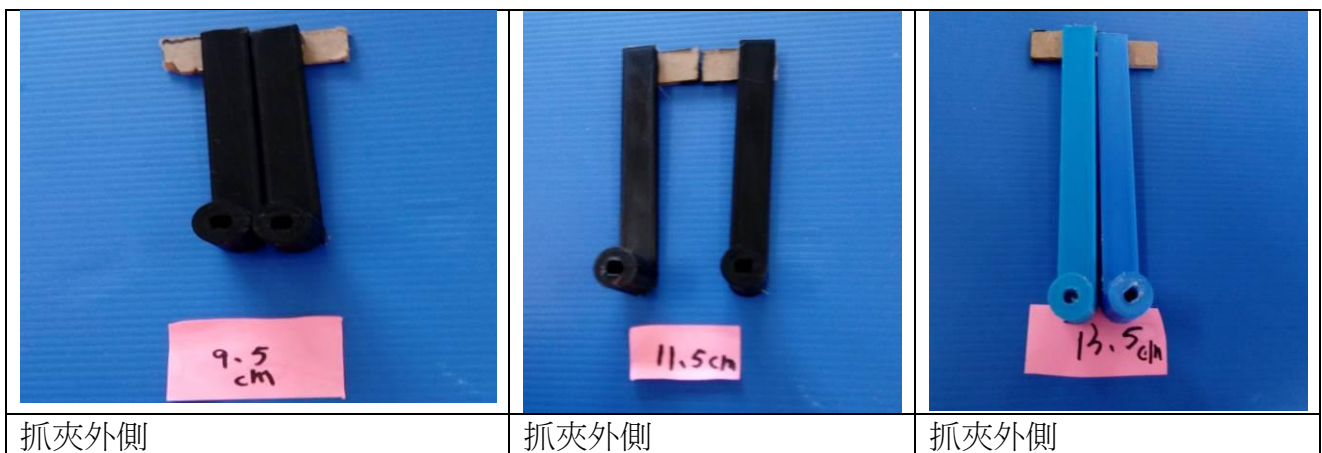
1.準備木質樓梯：6階、每階高度10公分、每個踏面26X31.7公分。



2.準備不同長度前腳：利用 3D 列印，輸出不同長度前腳。



3.製作抓夾：利用密集板裁切2公分X3公分長方形，作為抓夾。一組黏在前腳外側，一組黏在前腳內側，分別進行以下實驗步驟。



- 3.分別將 9.5 公分~17.5 公分的前腳，裝在基本型的爬樓機器人身上。
- 4.開啟動電源後，放置於樓梯上，用馬錶記錄時間長短。
- 5.重複實驗五次
- 6..將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

- 1.前腳長度，以 9.5cm、11.5cm 能爬完六階樓梯較佳，其餘長度無法走完。
- 2.前腳的抓夾，前進速率以黏在內側，爬樓梯速率較快。
3. 5.5 公分的前腳，因長度低於樓梯高度，因此無法爬上去。

表 2：不同長度的腳對爬樓梯速率影響(抓夾外側)

速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
5.5cm	*	*	*	*	*	*
7.5cm	*	*	*	*	*	*
9.5cm	8.21	10.86	8.08	8.85	8.80	8.96
11.5cm	7.22	7.53	9.11	7.14	10.03	8.21
13.5cm	*	*	*	*	*	*
15.5cm	*	*	*	*	*	*
17.7cm	*	*	*	*	*	*

*表示未走完 6 階樓梯

表 3：不同長度的腳對爬樓梯速率影響(抓夾內側)

腳長/速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
5.5cm	*	*	*	*	*	*
7.5cm	*	*	*	*	*	*
9.5cm	10.03	9.98	12.27	10.50	9.21	10.40
11.5cm	6.28	7.90	8.50	7.39	7.15	7.44
13.5cm	*	*	*	*	*	*
15.5cm	*	*	*	*	*	*
17.7cm	*	*	*	*	*	*

*表示未走完 6 階樓梯

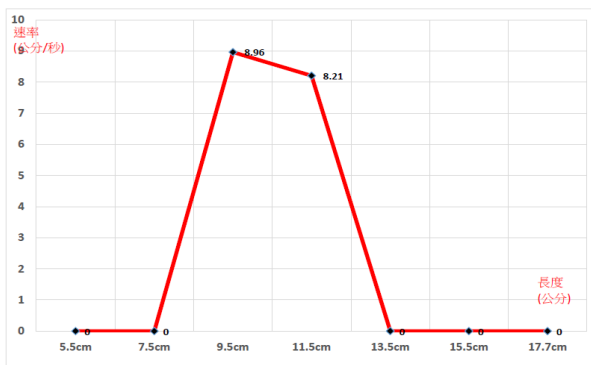


圖 6：不同長度的腳對爬樓梯速率影響(抓夾外側)

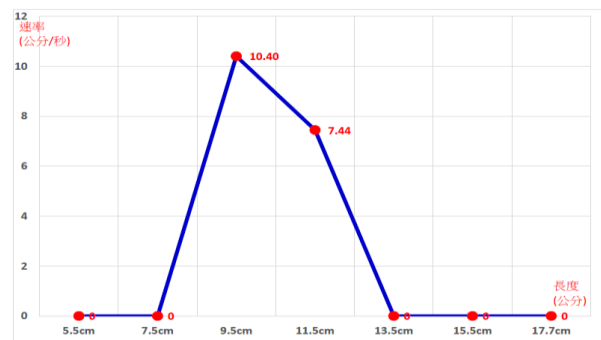


圖 7：不同長度的腳對爬樓梯速率影響(抓夾內側)

【研究發現與討論】

從實驗發現前腳長度，以9.5cm、11.5cm能爬完六階樓梯，但發現爬樓梯過程重心不穩容易倒，因此，將前腳轉軸設計較寬，以此構想進行實驗。

研究 3-2：不同長度的前腳，對爬樓梯機器人扭力大小的影響。

【研究構想】：

依照研究3-1研究，設計扭力測試裝置，測量不同前腳長度，扭力大小。

【實驗步驟】：

- 1.設置扭力測試裝置。
- 2.將馬達為 1:48 的爬樓梯機器人前腳 5.5cm 懸掛重物，啟動馬達。紀錄前腳能舉起的最重重物重量，測試五次。
- 3.改用9.5cm、11.5cm、13.5cm、15.5cm、17.5cm前腳，重複步驟2。
- 4.改用1:120、1:220馬達，重複步驟2。
- 5.重複實驗五次
- 6.將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

- 1.齒輪比為 1:48 時，以 5.5 公分的前腳，能提起的重物為 1100 公克為最重；而 17.5 公分的前腳，能提起的重物 280 公克為最輕。
2. 1.齒輪比為 1:120 時，以 5.5 公分的前腳，能提起的重物為 1240 公克為最重；而 17.5 公分的前腳，能提起的重物 380 公克為最輕。
- 3.齒輪比為 1:220 時，以 5.5 公分的前腳，能提起的重物為 1420 公克為最重；而 17.5 公分的前腳，能提起的重物 560 公克為最輕。
4. 齒輪比越大，能提起的物體越重，齒輪比越小，能提起的物體越輕。
5. 前腳越短，能提起的物體越重，前腳越長，能提起的物體越輕。

表 4：不同長度的腳對舉起物重物重量的影響

齒輪比/前腳長	5.5cm	7.5cm	9.5cm	11.5cm	13.5cm	15.5cm	17.5cm
1:48	1100.00	920.00	520.00	450.00	390.00	300.00	280.00
1:120	1240.00	1060.00	800.00	700.00	580.00	480.00	380.00
1:220	1420.00	1220.00	1080.00	920.00	800.00	680.00	560.00

【研究發現與討論】

由實驗發現同樣的齒輪比，前腳越長，所能提起的重物越輕，前腳越短，所能提起的重物越重。因此，爬樓梯機器人，前腳長短會影響爬高的力量大小。當爬樓梯機器人，無法往上爬時，除了電池電力大小會影響，更要考慮前腳長短。

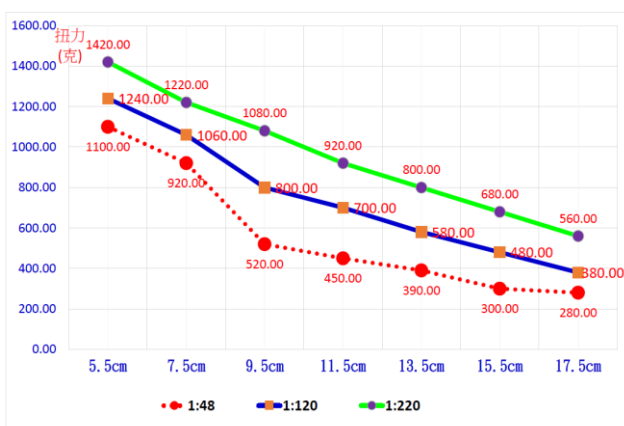


圖 8：不同長度的腳對舉起物重物重量的影響



圖 9：扭力測試實驗裝置

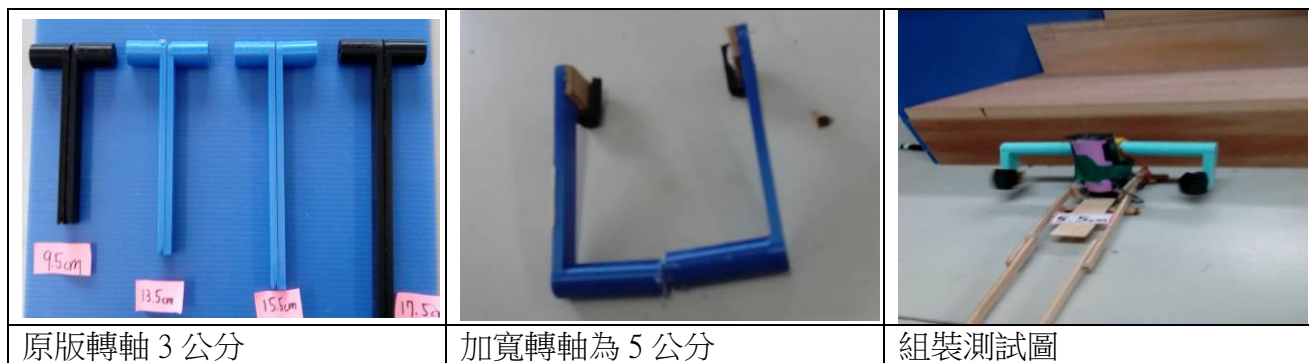
研究 3-3：不同前腳轉軸寬度的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。

【研究構想】：

依照研究3-1研究，將轉軸加寬，以測試其效果。

【實驗步驟】：

- 1.準備木質樓梯：6階、每階高度10公分、每個踏面26X31.7公分。
- 2.準備轉軸加寬為 5 公分的不同長度前腳：利用 3D 列印，輸出不同長度前腳。



- 3.製作抓夾：利用密集板裁切2公分X3公分長方形，作為抓夾。一組黏在前腳外側，一組黏在前腳內側，分別進行以下實驗步驟。
- 4.分別將 9.5 公分~17.5 公分的前腳，裝在基本型的爬樓梯機器人身上。
- 5.開啟動電源後，放置於樓梯上，用馬錶記錄時間長短。
- 6.重複實驗五次
- 7.將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

- 1.加寬轉軸為 5 公分，爬樓梯速率變快。
- 2.5.5 公分前腳，因長度低於樓梯高度，因此無法爬上去。

表 5：不同長度的前腳轉軸加寬對爬樓梯速率影響(抓夾內側)

轉軸長度/速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
5.5cm	*	*	*	*	*	*
7.5cm	*	*	*	*	*	*
9.5cm	10.85	11.02	11.03	10.44	9.95	10.66
11.5cm	16.16	20.69	20.86	18.84	19.31	19.17
13.5cm	*	*	*	*	*	*
15.5cm	*	*	*	*	*	*
17.7cm	*	*	*	*	*	*

*表示未走完 6 階樓梯

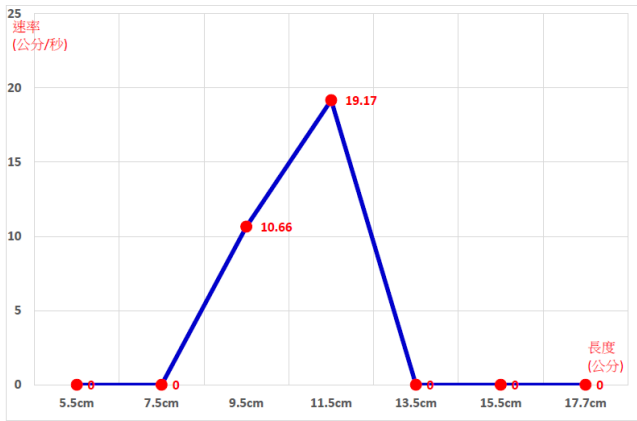


圖 10：不同長度的前腳轉軸加寬對爬樓梯速率影響



圖 11：寬轉軸實驗

【研究發現與討論】

前腳轉軸加寬後，爬樓梯較穩；能減少翻倒次數；因而速率變快。後續實驗將以寬轉軸為基本結構。

研究 3-4：不同前腳摩擦力大小的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。

【研究構想】：

延續1-2實驗以前腳9.5公分轉軸加寬結構，進行摩擦力大小對爬樓梯速率影響的實驗。

【實驗步驟】：

1. 準備木質樓梯：6階、每階高度10公分、每個踏面26X31.7公分。
2. 準備不同摩擦力大小材質：將市售保護墊、止滑墊、止滑條、桌球皮，切割成3公分 X3公分。

<p>不同摩擦力的實驗</p>		
不同摩擦力材質	抓夾黏桌球皮	抓夾黏止滑墊

3. 將步驟 2 保護墊黏在寬的前腳(9.5 公分長)抓夾上，並裝在基本型的爬樓機器人身上。
4. 開啟動電源後，放置於樓梯上，用馬錶記錄時間長短。
5. 重複實驗五次，改用止滑墊、止滑條、桌球皮，重複步驟 2.~5.
6. 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

- 1.抓夾以桌球皮爬樓梯速率最快。
- 2.抓夾在無黏貼止滑、及黏保護墊、止滑條都無法走完六階樓梯。

表 6：不同摩擦力的前腳對爬樓梯速率影響

材質/速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
保護墊	*	*	*	*	*	*
止滑墊	5.31	5.55	5.52	5.48	5.35	5.44
止滑條	*	*	*	*	*	*
桌球皮	6.28	6.55	6.62	6.26	6.95	6.53
無止滑	*	*	*	*	*	*

*表示未走完 6 階樓梯

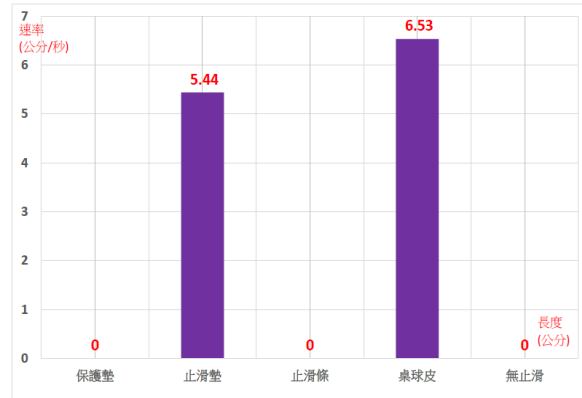


圖 12：不同摩擦力的前腳對爬樓梯速率影響

【研究發現與討論】

實驗結果以桌球皮黏在抓夾上，爬樓梯速度最快，後續研究將以桌球皮黏貼抓夾。

目的四、了解底座對爬樓梯的機器人的影響

研究 4-1：爬樓梯機器人底座寬度增加，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究構想】：

依照研究1-2研究，前腳轉軸加寬，可以增穩定度，有助於爬樓梯效果。因此，我們想到底座變寬能否增穩定度？因此進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備木質樓梯：6階、每階高度10公分、每個踏面26X31.7公分。
- 2.為了讓轉軸 10 公分前腳能順利運轉，而不至於碰撞到底座，將底座寬改為 9 公分，前腳長度採用 11.5 公分。
- 3.步驟 2 機器人放置於樓梯上，進行 5 次實驗。
- 6.將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

- 1.底座寬，爬樓梯速率為 8.63（公分/秒）比底座窄的 19.01（公分/秒）的慢。
- 2.在實驗過程發現底座寬，雖然較慢，但較能爬上樓梯，翻倒次數較少（詳見實驗日誌）。

表 7：底座變寬，對爬樓梯速率影響

速率 底座	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平 均
底 座 窄	16.16	20.69	20.86	18.84	19.31	19.01
底 座 寬	9.21	8.50	8.38	8.37	8.78	8.63

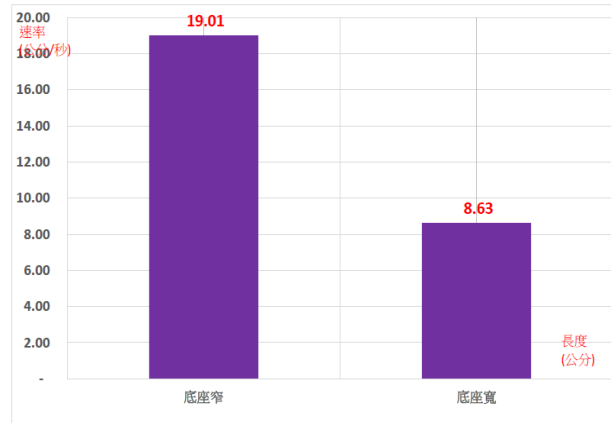


圖 13：底座變寬，對爬樓梯速率影響

【研究發現】：

從實驗過程發現雖然底座變寬，爬樓梯速率比底座窄的慢。但是，底座變寬後，爬樓梯過程較平衡，不至於翻倒。以能爬上樓梯考慮，採用較寬的較有利。

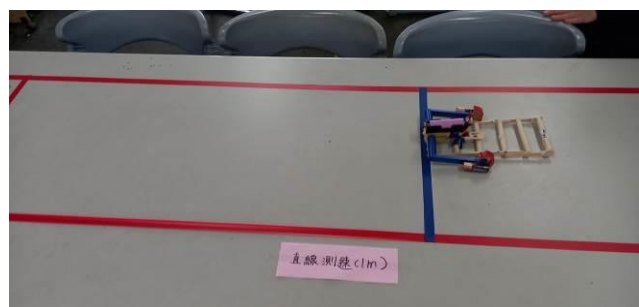
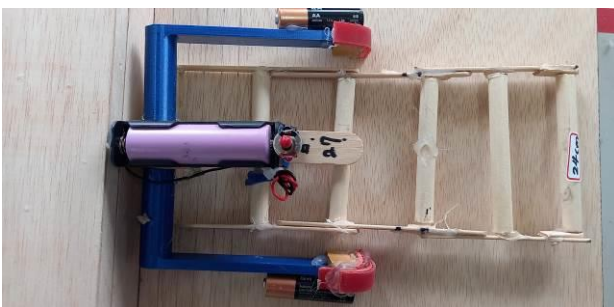
研究 4-2：底座距離踢高距離，對爬樓梯快慢的影響

【研究構想】：

實驗過程中，我們發現爬樓梯機器人前腳會因為落在梯面位置不同，造成爬樓梯機器人無法順利爬上階梯而滑下，前腳需要重新再爬一次，造成時間變長。因此，心想底座距離階梯的遠近（距離踢高），是否會影響對於爬樓梯快慢的影響，因此進行以下實驗。

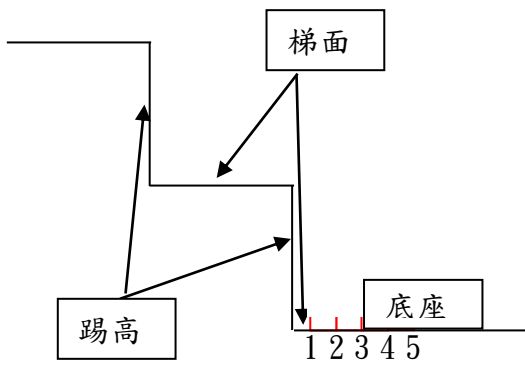
【實驗步驟】：

- 1.準備木質樓梯：6階、每階高度5公分、每個踏面26X31.7公分。
- 2.爬樓梯機器人：前腳11.5cm,底座24cm（如下圖）



- 3.對照組實驗裝置：平面桌子（如上圖）

4.將爬樓梯機器人分別放置於距離踢高1~5公分處。



5.啟動電源讓機器人爬樓梯，碼錶測量爬完樓梯時間，攝影機錄下 5次實驗過程。

6.利用 Tracker 分析爬樓梯機器人前腳落在踢面位置。

7.將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】

1.底座距離踢高0公分時爬的速率最快，距離踢高5公分速率最慢。

2.底座距離踢高5cm時，前腳無法勾到第四階，因而變慢。

【研究討論】

底座距離踢高 0-1cm、4-5cm 時，重爬的階梯為第 3 階至第 4 階；底座距離踢高 2-3cm、4-5cm 時，重爬的階梯為第 4 階至第 5 階。

表 8：底座距離踢高距離長短，對爬樓梯速率的影響

	平地	0cm	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
第 1 次	20.75	12.37	12.97	11.85	12.26	11.83	11.71
第 2 次	21.37	10.63	12.01	11.93	11.97	12.15	11.89
第 3 次	21.32	12.52	11.65	11.97	11.94	12.11	9.76
第 4 次	21.32	11.93	11.76	12.19	11.85	11.17	10.11
第 5 次	21.19	12.09	11.12	11.80	11.37	12.01	12.41
平均	21.19	11.91	11.90	11.95	11.88	11.85	11.17

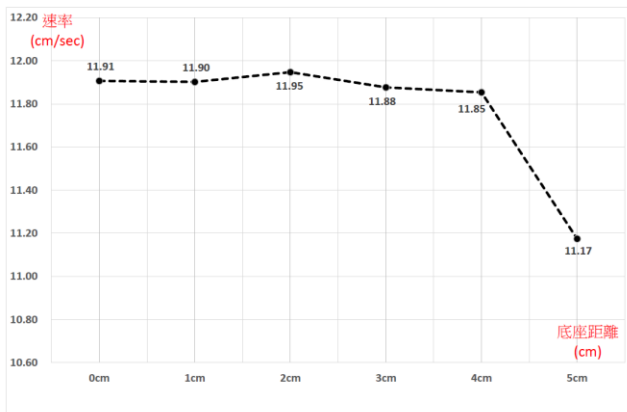


圖 14：底座距離踢高長短對爬樓梯速率影響



圖 15：底座距離踢高距離實驗裝置

研究 4-3：底座距離踢高長短，對爬樓梯路徑與爬行成功率的影響

【研究構想】：

實驗過程中，我們發現爬樓梯機器人前腳會因為落在梯面位置不同，造成爬樓梯機器人無法順利爬上階梯而滑下，前腳需要重新再爬一次，造成時間變長。因此，心想底座距離階梯的遠近（距離踢高），是否會影響對於前腳攀爬位置產生影響，因此進行以下實驗。

【實驗步驟】：

1. 與研究 4-2 相同。
2. 將攀爬樓梯歷程利用攝影機錄下，作為前腳攀爬位置分析。
3. 利用 Tracker 分析爬樓梯機器人，底座分別距離 1~5 公分時，前腳落在每一階梯的踢面位置。
4. 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】

1. 底座距離踢高 0、1cm 時，爬第 3 階至第 4 階，前腳無法勾到第 4 階而滑下重爬。
2. 底座距離踢高 2、3cm 時，爬第 4 階至第 5 階，前腳無法勾到第 5 階而滑下重爬。
3. 底座距離踢高 4、5cm 時，爬第 3 階至第 4 階，前腳無法勾到第 4 階而滑下重爬。
4. 重爬階梯時，前腳鉤住邊緣距離 < 2cm
5. 重爬上階梯時，前腳鉤住邊緣距離 > 原先階梯距離

【研究討論】

表 9：底座距離踢高距離長短，對前腳鉤住梯面長短影響

底座距離	速率	重爬階梯	前腳				
			爬第 2 階距離	爬第 3 階距離	爬第 4 階距離	爬第 5 階距離	爬第 6 階距離
0cm	11.91	3→4 5→6	3.12	1.37	3.67	3.75	3.67
1cm	11.90	3→4	2.78	1.19	3.35	3.13	3.40
2cm	11.95	4→5	1.60	2.50	1.08	3.86	4.40
3cm	11.88	4→5	2.85	1.18	0.84	4.33	3.34
4cm	11.85	3→4	1.96	0.59	2.85	3.11	2.35
5cm	11.17	3→4	2.46	1.30	3.53	3.53	2.25

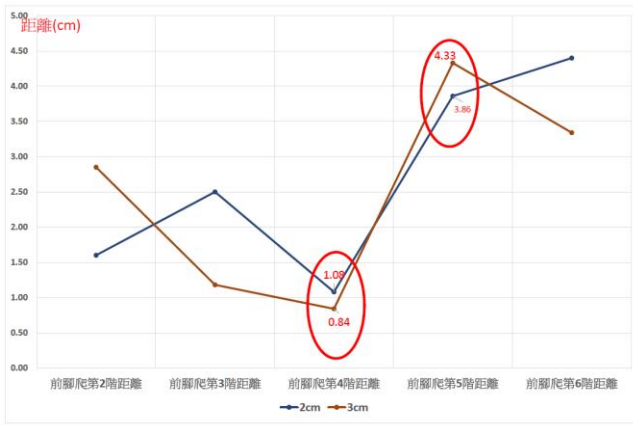


圖 16：底座距離梯面 2-3 公分

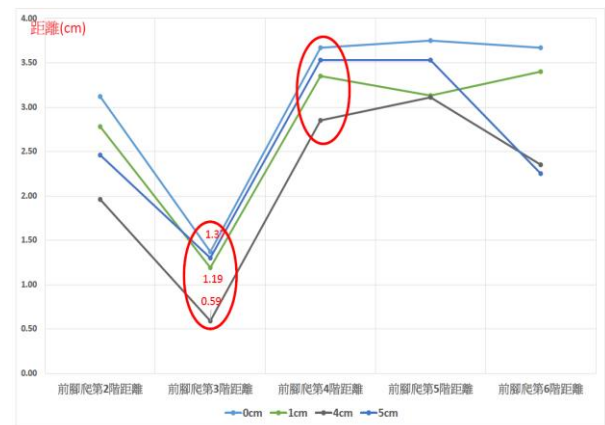


圖 17：底座距離梯面 0、1、4、5 公分

表 10：底座距離踢高距離長短，對前腳鉤住梯面長短影響

底座距離 0 公分	底座距離 1 公分	底座距離 2 公分
底座距離 3 公分	底座距離 4 公分	底座距離 5 公分

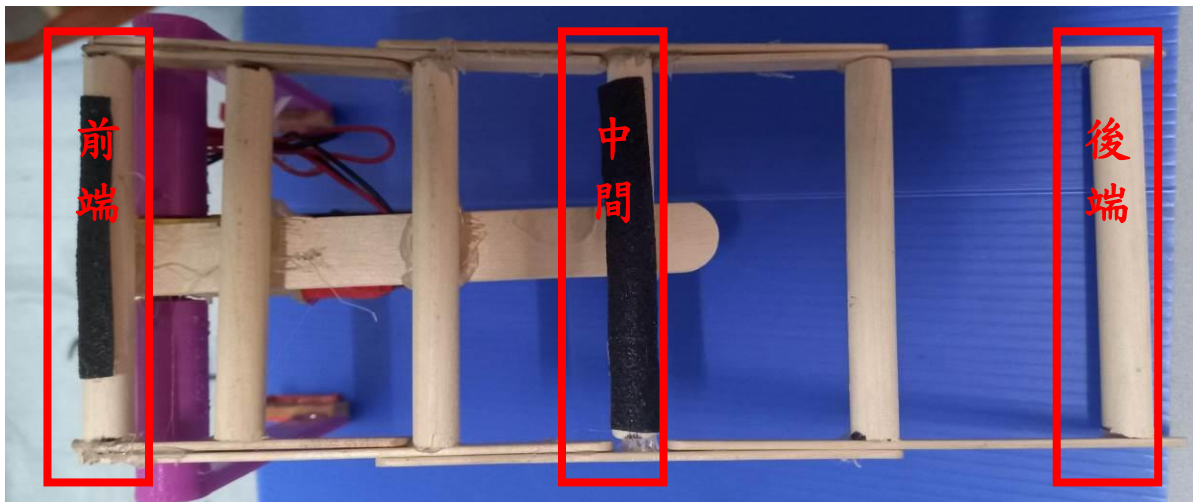
研究 4-4：爬樓梯機器人底座不同摩擦力，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究構想】：

我們想知道爬樓梯機器人底座不同摩擦力時，對爬樓梯快慢有何影響？我們進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備木質樓梯：6階、每階高度10公分、每個踏面26X31.7公分。
- 2.底座摩擦力配置：將底座分為前、中、後三段，依實驗過程黏上防滑貼條。



3. 先將前端黏上止滑條。
4. 將機器人放置於樓梯上，啟動電源讓機器人爬樓梯，測量爬完樓梯時間，進行 5 次實驗。
5. 改將中端、後端及前中後端，黏上止滑條。重複步驟 4。
6. 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

1. 前中後全止滑速率最快，底座無加止滑最慢。
2. 摩擦力影響爬的速率。

表 11：底座不同摩擦力對爬樓梯機器人的影響

摩擦力位置	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
底座無加止滑	13.55	13.37	13.26	12.93	12.96	13.21
底座前端加止滑	13.69	14.07	14.87	14.11	13.75	14.08
底座中間加止滑	13.95	13.91	14.03	14.91	14.37	14.23
底座後端加止滑	12.27	11.79	12.77	12.41	12.21	12.28
前中後全止滑	14.59	15.00	14.63	14.68	14.62	14.70

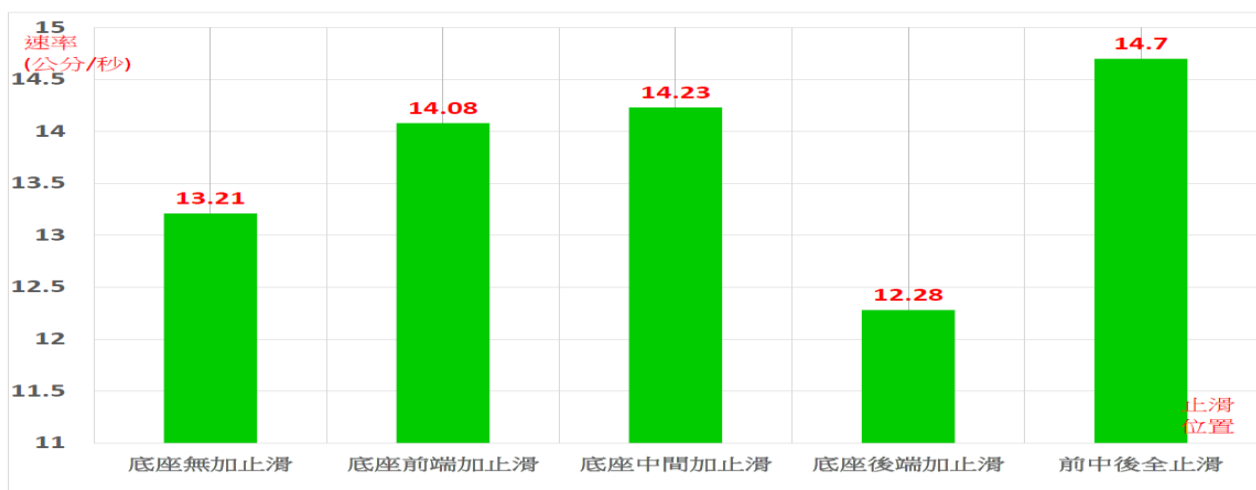


圖 18：底座不同摩擦力對爬樓梯機器人的影響

【研究發現與討論】

由實驗發現，底座增加摩擦力(止滑條)，有助於爬樓梯機器人爬行速率。後續實驗採採用。

目的五、了解樓梯對爬樓梯的機器人的影響

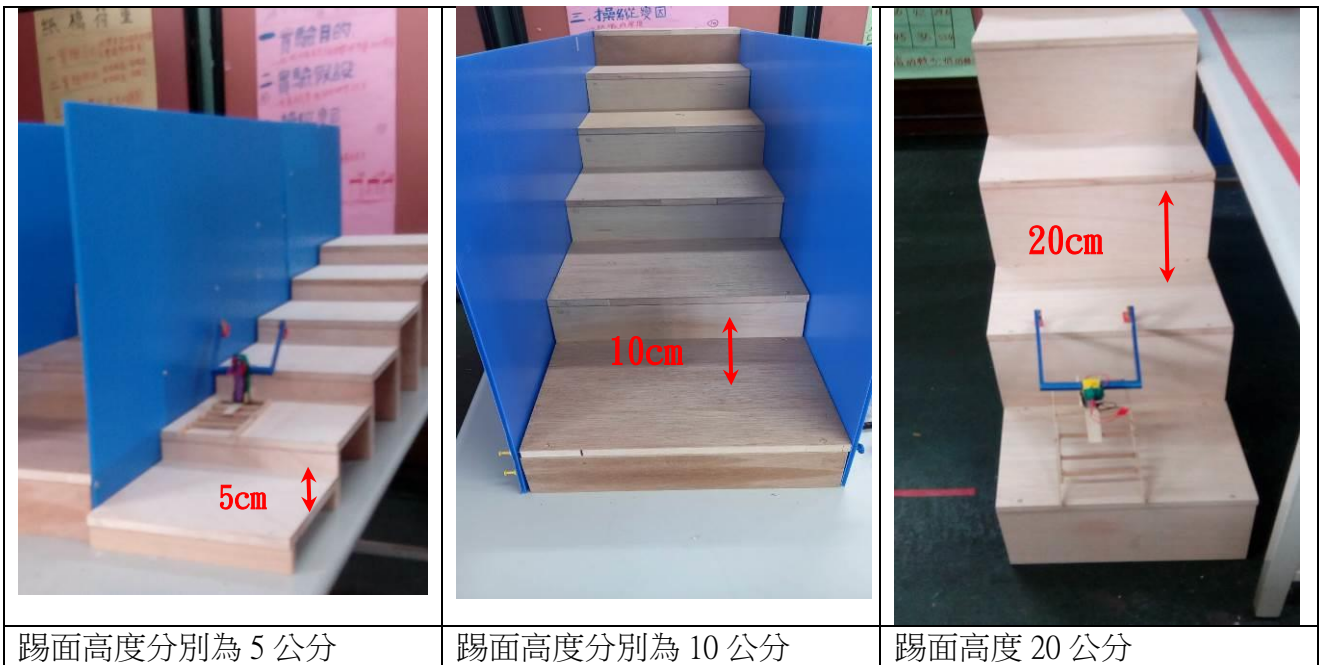
研究 5-1：樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究構想】：

我們想知道樓梯踢面高度，對爬樓梯快慢有何影響？我們進行以下實驗。

【實驗步驟】：

1. 準備不同踢面高度的樓梯：踢面高度分別為5公分、10公分及20公分



2. 將前腳 9.5 公分、抓夾黏上桌球皮，並裝在基本型的爬樓機器人。

3. 先將機器人放置踢面高度為 5 公分樓梯上，進行爬樓梯實驗，重複進行實驗 5 次。

4. 改用踢面高度為 10 公分及 20 公分樓梯，重複步驟 2.及 3.。

5. 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

1. 踢面高度 5 公分，爬樓梯速率最快，踢面高度 22 公分，爬樓梯速率最慢。

2. 踢面高度越高，爬樓梯速率越慢。

表 12：樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速率影響

踢面高度/ 速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
5 公分	12.70	12.39	12.52	12.73	12.64	12.59
10 公分	6.27	6.55	6.49	6.26	7.06	6.51
22 公分	*	*	*	*	*	*

*表示未走完 6 階樓梯

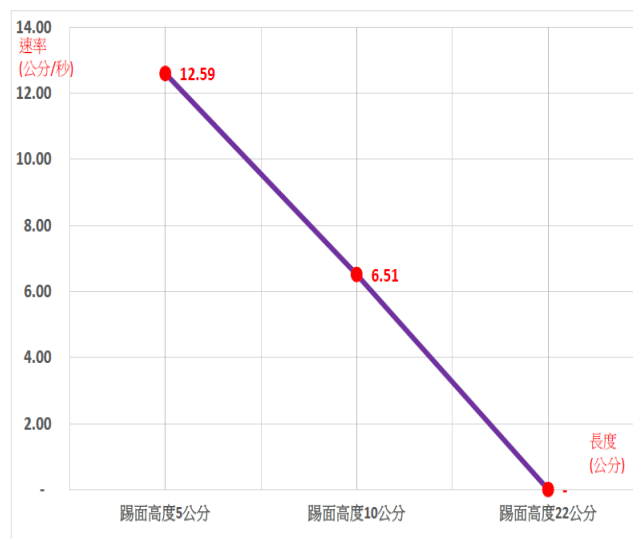


圖 19：樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速率影響

【研究發現與討論】

從實驗發現，踢面高度 5 公分，爬樓梯速率最快，踢面高度 22 公分，爬樓梯速率最慢。當踢面高度變為原來 2 倍時（5 公分變 10 公分），爬樓梯速率由原來 12.59（公分/秒）降為 6.51（公分/秒）；速率降為為原 1/2。

研究 5-2：樓梯踏面材質，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究構想】：

樓梯踏面材質，對爬樓梯高度與速度的影響是怎樣？我們進行以下實驗。

【實驗步驟】：

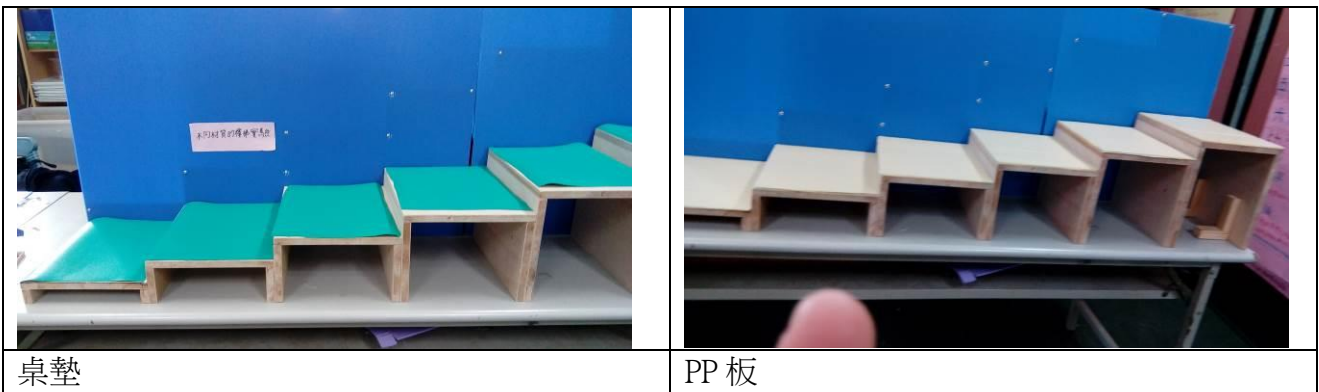
1. 準備不同踏面材質的樓梯：木質、PP板、桌墊、木紋紙



木質



木紋紙



2. 先將機器人放置木質樓梯上，進行爬樓梯實驗，重複進行實驗 5 次。
3. 改用 PP 板、桌墊、木紋紙的樓梯，重複步驟 2。
- 4 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

1. 踏面為木紋紙材質，爬樓梯速率最快，桌墊材質最慢。
2. 摩擦力大大或小都無法達到最佳效果。

表 13：踏面材質，對爬樓梯高度與速率影響

材質/ 速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
木質	13.55	13.36	13.26	12.93	12.96	13.21
PP 板	12.64	11.60	13.02	12.98	12.85	12.59
桌墊	11.38	10.81	10.78	10.46	10.76	10.83
木紋 紙	13.56	13.08	13.23	12.98	13.60	13.28



圖 20：踏面材質，對爬樓梯高度與速率影響

【研究發現與討論】

由實驗發現踏面材質，會影響爬樓梯速率。因此，在進行比賽時，要考慮抓夾與樓梯的摩擦力。

目的六、了解機器人結構對爬樓梯的機器人的影響

研究 6-1：不同機器人結構，對爬樓梯高度與速度的影響。

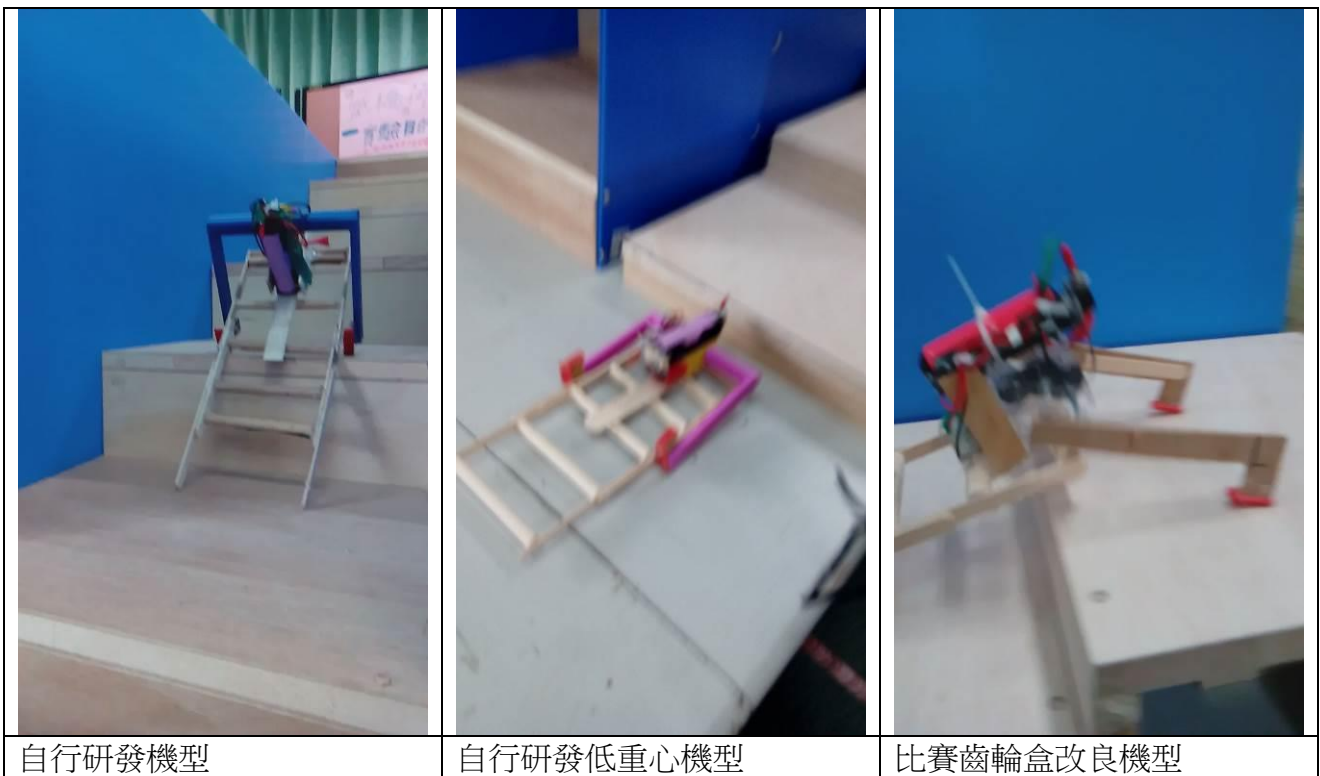
【研究構想】：

不同機器人結構對對爬樓梯高度與速度的影響，我們進行以下實驗。

【實驗步驟】：

1.設計三種機型:

- (1) 自行研發機型：以TT馬達、寬前腳轉軸、寬底座、**重心高**(TT馬達及電池直立)。
- (2) 自行研發重心機低型：以TT馬達、寬前腳轉軸、寬底座、**重心低**(TT馬達及電池平躺)。
- (3) 比賽齒輪盒改良機型：比賽齒輪盒、寬前腳轉軸、寬底座、**重心高**(TT馬達及電池直立)。



2.先將自行研發機型機器人放置木質樓梯上，進行爬樓梯實驗，重複進行實驗 5 次。

3.改用自行研發重心低機型、比賽齒輪盒改良機型，重複步驟 2。

4 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

- 1.自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。
- 2.自行研發低重心機型，因重心低，爬樓梯時，底座不會碰到樓梯踢面，有助於爬樓梯。

表 14：不同機器人結構，對爬樓梯高度與速度

速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
自行研發機型	14.08	13.99	14.59	13.91	13.82	14.08
自行研發低重心機型	17.50	16.32	15.43	15.79	15.14	16.04
比賽齒輪盒改良機型	11.24	10.78	11.38	11.35	11.57	11.26

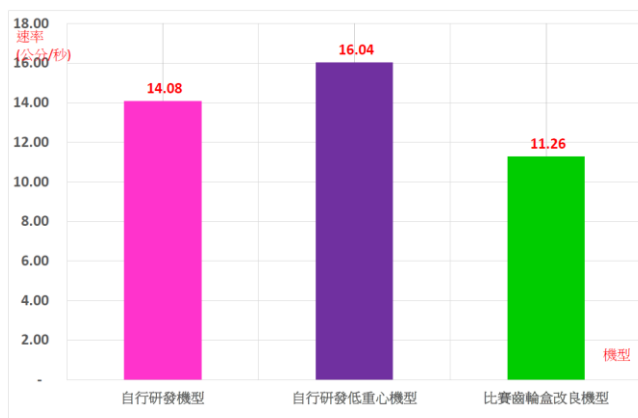


圖 21：不同機器人結構，對爬樓梯高度與速度

【研究發現與討論】

由實驗發現，自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。顯示重心低，有助於爬樓梯時，底座不會碰到樓梯踢面，值得後續研究參考。

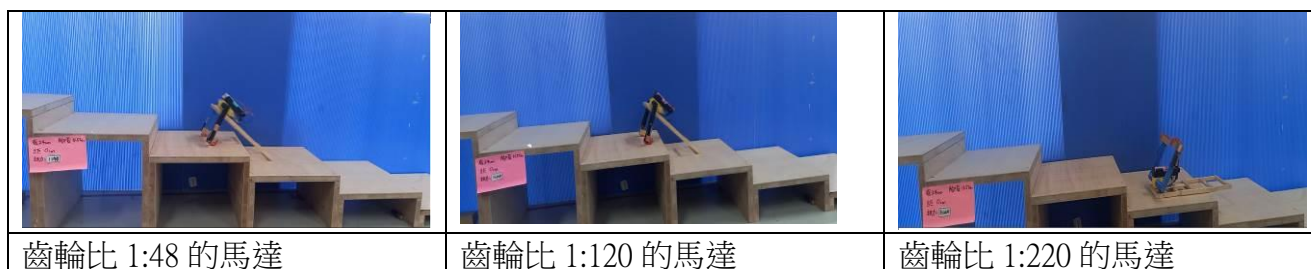
研究 6-2：不同馬達，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究構想】：

市售馬達具有不同齒輪比，經過查詢相關資料發現不同齒輪比代表馬達的扭力不同。我們想知道「不同扭力」的爬樓梯機器人對爬樓梯速度的影響，我們進行以下實驗。

【實驗步驟】：

1. 準備三種不同齒輪比的馬達：1:48、1:120、1:220。
2. 先將齒輪比為 1:48 的馬達，裝置在底座 24 公分、前腳 11.5 公分裝上。
3. 先將爬樓梯機器人放置踢高 5 公分的木質樓梯上，進行爬樓梯實驗，重複進行實驗 5 次。
4. 改將 1:48 的馬達分別換成 1:120、1:220，重複步驟 3。



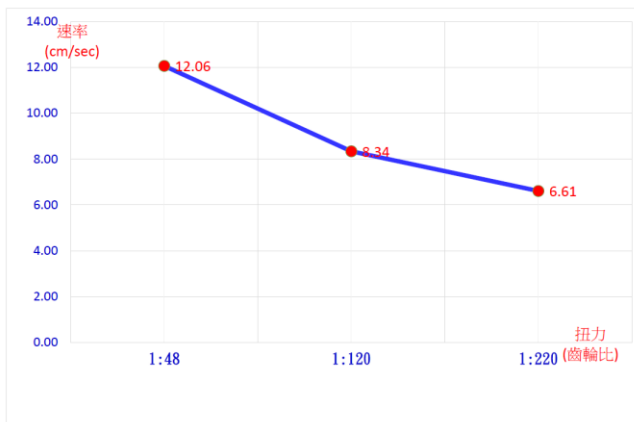
5. 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

- 1.齒輪比 1:48 的馬達爬樓梯速率最快，齒輪比 1:220 速率最慢。
- 2.齒輪比越大，爬樓梯速率越慢；齒輪比越小，爬樓梯速率越快。

表 15：不同馬達對爬樓梯高度與速度

齒輪比/速率	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
齒輪比 1:48	12.24	12.14	11.85	12.05	12.05	12.06
齒輪比 1:120	8.26	8.45	8.45	8.28	8.26	8.34
齒輪比 1:220	6.57	6.55	6.65	6.64	6.63	6.61



【研究發現與討論】

由實驗發現，齒輪比 1:48 爬樓梯速率最快。原先認為齒輪比 1:220 扭力較大應該會較快，結果恰恰相反。

圖 22：不同馬達對爬樓梯高度與速度

肆、討論

一、不同長度的前腳對爬樓梯快慢的影響

前腳的長短會影響爬樓梯快慢嗎？前腳是不是越長越好？在【研究3-1】樓梯的踢面高度為10公分，結果發現以前腳長度9.5cm、11.5cm能爬完六階樓梯，其餘長度無法走完。我們將機器人放置樓梯第一階旁，測量前腳舉起時高度，整理如下表：

表16：前腳舉起時高度與踢面高度比較

前腳長度	5.5cm	7.5cm	9.5cm	11.5cm	13.5cm	15.5cm	17.7cm
前腳舉起後高度	7.5cm	9.5	11.5cm	13.5cm	15.5cm	17.5cm	19.5cm
與樓梯踢面高度比較	<10cm	<10cm	>10cm	>10cm	>10cm	>10cm	>10cm
能否爬上樓梯	X	X	○	○	X	X	X

X 表示無法爬上樓梯

由表16發現前腳為5.5公分時，因長度低於樓梯高度，因此無法爬上去。因此，前腳長度需比樓梯的踢面高度高約1.5公分~3.5公分，抓夾才能夠到樓梯順利爬上去。但長腳並非越長好，當前腳舉起後高度超過踢面高度5.5公分時，前腳太長重心往後，以致於機器人往後倒。

爬樓梯機器人要能夠爬，前腳必須有足夠的力量。因此，我們就想前腳長短，對於爬樓梯扭力大小有何影響？在【研究3-2】以1:48、1:120及1:220三種不同扭力馬達搭配七種不同長度前腳測試扭力。結果發現同樣的齒輪比，前腳越長，所能提起的重物越輕（扭力小），前腳越短，所能提起的重物越重（扭力大）。因此，爬樓梯機器人，前腳長短會影響爬高的力量大小。當爬樓梯機器人，無法往上爬時，除了電池電力大小會影響，更要考慮前腳長短。

二、不同寬度的前腳轉軸，對爬樓梯快慢的影響

根據【研究3-3】的實驗，加寬轉軸為5公分，爬樓梯速率變快。加寬轉軸為5公分，爬樓梯速率變快。前腳轉軸加寬後，爬樓梯較穩，能減少翻倒次數，因而速率變快。後續實驗將以寬轉軸為基本結構。

三、爬樓梯機器人前腳摩擦力大小，對爬樓梯高度與速度的影響。

摩擦力大小會不會影響，爬樓梯速率呢？由【研究3-4】的實驗，抓夾黏上不同材質，會影響爬樓梯速率，以桌球皮爬樓梯速率最快。要讓爬樓梯機器人順利爬上去，摩擦力大小是要考慮。

四、底座離踢面距離，對爬樓梯快慢的影響

底座離踢面距離遠近會不會影響，爬樓梯速率呢？由【研究4-2】的實驗發現，底座距離踢面0公分時爬的速率最快，距離踢面5公分速率最慢。利用Tracker分析爬樓梯機器人前腳落在踢面位置分析，底座距離踢面0-1cm、4-5cm時，重爬的階梯為第3階至第4階；底座距離踢面2-3cm、4-5cm時，重爬的階梯為第4階至第5階。再根據表9重爬是造成變慢原因。而重爬的關鍵，在於前腳落在踏面的距離小於2公分時，在下一接就無法鉤住樓梯，造成重爬。

五、樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速度的影響？

樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速度的影響是怎樣？由【研究5-1】發現踢面高度5公分，爬樓梯速率最快，踢面高度22公分，爬樓梯速率最慢。當踢面高度變為原來2倍時（5公分變10公分），爬樓梯速率由原來12.59（公分/秒）降為6.51（公分/秒），速率降為為原1/2。此實驗結果，可以作為應用爬樓梯機器人的依據。

我們原先想當梯面高度變大時，如果讓馬達扭力變大，是否會較快呢？由【研究6-2】不同馬達爬樓梯實驗發現（表15），齒輪比1:48爬樓梯速率最快。原先認為齒輪比1:220扭力較大應該會較快，結果恰恰相反。齒輪比1:48爬樓梯速度為齒輪比1:220速度的2倍快。因此，

並非扭力大，就會變快。

六、樓梯踏面材質，對爬樓梯高度與速度的影響。

樓梯踏面材質，對爬樓梯高度與速度的影響是怎樣？由【研究 5-2】發現踏面為木紋紙材質，爬樓梯速率最快，桌墊材質最慢。因此，在進行比賽時，要考慮抓夾與樓梯的摩擦力。

七、不同機器人結構，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究 6-1】由設計的三種機型: (1) 自行研發機型 (2) 自行研發重心機低型 (3) 比賽齒輪盒改良機型進行測試，結果發現：自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。自行研發低重心機型，顯示重心低，爬樓梯時，底座不會碰到樓梯踢面，有助於爬樓梯。

伍、未來研究及建議

本研究僅針對比賽的樓梯進行研究，未來可實際樓梯進行研發、測試，相信會有不一樣的發現。

陸、結論

- 一、前腳長度>樓梯的踢面高度高約 1.5 公分~3.5 公分，機器人能順利爬樓梯。
- 二、前腳越長扭力小，前腳越短，扭力大。
- 三、前腳加寬轉軸為 5 公分，爬樓梯速率變快。
- 四、以桌球皮黏在抓夾上，爬樓梯速度最快。
- 五、同樣的齒輪比，前腳越長扭力越大，前腳越短，扭力愈小。
- 六、底座變寬，能減少機器人翻倒次數。
- 七、當踢面高度變為原來 2 倍時，爬樓梯速率降為為原 1/2。
- 八、自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。
- 九、獲致爬樓梯機器人最佳結構。

項目	最佳條件	備註
前腳長度	<input checked="" type="checkbox"/> 9.5cm <input type="checkbox"/> 11.5cm	
前腳轉軸	<input checked="" type="checkbox"/> 寬軸 <input type="checkbox"/> 窄軸	
前腳摩擦力(抓夾)	<input type="checkbox"/> 保護墊 <input type="checkbox"/> 止滑墊 <input type="checkbox"/> 止滑條 <input checked="" type="checkbox"/> 桌球皮	
底座寬度	<input checked="" type="checkbox"/> 寬 <input type="checkbox"/> 窄	

項目	最佳條件	備註
底座摩擦力	<input type="checkbox"/> 前端 <input type="checkbox"/> 中間 <input type="checkbox"/> 後端 <input checked="" type="checkbox"/> 全止滑	
踢面高度	<input checked="" type="checkbox"/> 5cm <input checked="" type="checkbox"/> 10cm 20cm	
不同機器人結構	<input type="checkbox"/> 自行研發機型(重心高) <input checked="" type="checkbox"/> 自行研發重心低機型(重心低) <input type="checkbox"/> 比賽齒輪盒改良機型(重心高)	

柒、心得

- ：這次科展，我們比其他的組別都快進行。但是，因為我們做的東西有點難度，做得比較慢也遇到許多的困難。像是機器人爬不上去，可能有很多原因，就要用比較多的方法去嘗試。也因為這樣子，我們清明節連假5天，都到學校來完成科展。做的過程，讓我體會到團隊合作的重要。希望這次科展，能夠獲得好的成績。
- ：我們這組參加全國賽時，參加單項組的機器人爬樓比賽。在比賽時，看到許多奇特的造型，在爬樓梯的時候非常的快。因此，我們這組決定科展的研究內容，就以爬樓梯機器人為主題。看看怎樣設計結構，可以讓爬樓梯機器人爬得最快。研究過程中，我們花了非常多的時間，也遇到了很多的問題，最重要的是，在分工合作，團隊努力之下，犧牲的連續的假期，終於完成了爬樓梯機器人的研究。經過這次科展，讓我學習到魔鬼藏在細節裡，以及做任何事情都要不遺餘力，才會成功的道理。在一開始連最簡單的畫尺寸都不會的我，在不斷的練習後，變得更細心，也更得心應手了。

捌、參考文獻

1. 樓梯設計的這些數據與計算，你應該知道 2023.2.4 取自 <https://zi.media/@yidianzixun/post/6P2dpj>
2. 步步高昇—爬樓梯機器人大解密，第61屆全國科展國小組生活與應用科學科，2023.2.2 取自臺灣網路科教館科展群傑廳。 <https://reurl.cc/1eM24Y>

【評語】 082816

1. 在已知樓梯的條件下，實驗並製作一爬樓梯的機器人，具有科學實驗精神。
2. 建議再廣搜世界現有爬樓梯機器人的文獻和作品，才能再創新更有實用構型的爬樓梯機器人。

作品海報

摘要

去年我們這組參加2022PowerTech的攀爬精靈項目，要設計一個能夠爬樓梯的機器人，雖然我們找資料試做，但效果不是很好。在比賽時，看到了有些人前腳像輪子一樣快速地爬上去，比賽的選手做了各式各樣的機器人結構，最後我們獲得全國亞軍。因此，我們這組就想要研究，怎樣讓我們的機器人爬得更快。

研究結果發現：

- 一、前腳長度>樓梯的踢面高度高約1.5公分~3.5公分，機器人能順利爬樓梯。
- 二、前腳越長扭力小，前腳越短，扭力大。
- 三、前腳加寬轉軸為5公分，爬樓梯速率變快。
- 四、以桌球皮黏在抓夾上，爬樓梯速度最快。
- 五、同樣的齒輪比，前腳越長扭力越大，前腳越短，扭力愈小。
- 六、底座變寬，能減少機器人翻倒次數。
- 七、當踢面高度變為原來2倍時，爬樓梯速率降為為原1/2。

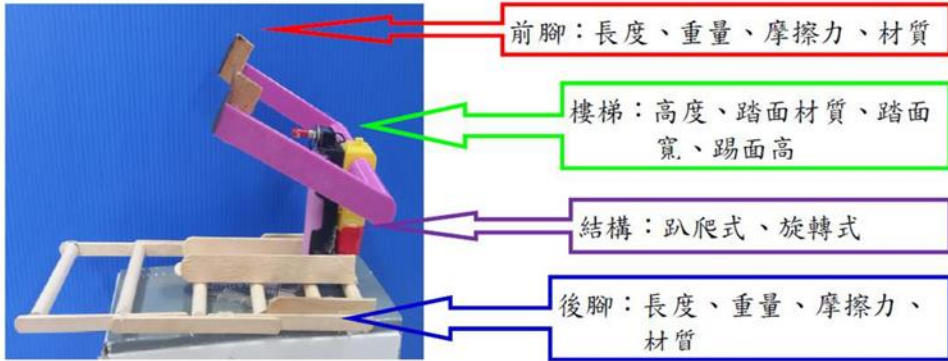
- 八、自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。
- 九、獲致爬樓梯機器人最佳結構：

項目	最佳條件
前腳長度	<input checked="" type="checkbox"/> 9.5cm <input type="checkbox"/> 11.5cm
前腳轉軸	<input checked="" type="checkbox"/> 寬軸 <input type="checkbox"/> 窄軸
前腳摩擦力(抓夾)	<input type="checkbox"/> 保護墊 <input type="checkbox"/> 止滑墊 <input type="checkbox"/> 止滑條 <input checked="" type="checkbox"/> 桌球皮
底座寬度	<input checked="" type="checkbox"/> 寬 <input type="checkbox"/> 窄
底座摩擦力	<input type="checkbox"/> 前端 <input type="checkbox"/> 中間 <input type="checkbox"/> 後端 <input checked="" type="checkbox"/> 全止滑
踢面高度	<input checked="" type="checkbox"/> 5cm <input type="checkbox"/> 10cm <input type="checkbox"/> 20cm
不同機器人結構	<input type="checkbox"/> 自行研發機型(重心高) <input checked="" type="checkbox"/> 自行研發重心低機型(重心低) <input type="checkbox"/> 比賽齒輪盒改良機型(重心高)

壹 前言

一、研究動機

去年我們這組參加2022PowerTech的攀爬精靈項目，要設計一個能夠爬樓梯的機器人，雖然我們找資料試做，但效果不是很好。在比賽時，看到了有些人前腳像輪子一樣快速地爬上去，比賽的選手做了各式各樣的機器人結構，最後我們獲得全國亞軍。因此，我們這組就想要研究，怎樣讓我們的機器人爬得更快。



二、研究目的

我們針對影響「爬樓梯的機器人」的因素，進行一系列的研究，根據研究目的，提出以下研究問題：

- 目的一、自製第一代爬樓梯機器人
- 目的二、自製第二代爬樓梯機器人
- 目的三、了解前腳對爬樓梯的機器人的影響
 - 研究3-1：不同長度的前腳的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。
 - 研究3-2：不同長度的前腳，對爬樓梯機器人扭力大小的影響。
 - 研究3-3：不同前腳轉軸寬度的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。
 - 研究3-4：不同前腳摩擦力大小的爬樓梯機器人，對爬樓梯快慢的影響。
- 目的四、了解底座對爬樓梯的機器人的影響
 - 研究4-1：爬樓梯機器人底座寬度，對爬樓梯高度與速度的影響。
 - 研究4-2：爬樓梯機器人底座離踢面距離，對爬樓梯高度與速度的影響。
 - 研究4-3：爬樓梯機器人底座離踢面距離，對爬樓梯路徑與爬行成功率的影响。
 - 研究4-4：爬樓梯機器人底座不同摩擦力，對爬樓梯高度與速度的影響。
- 目的五、了解樓梯對爬樓梯的機器人的影響
 - 研究5-1：樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速度的影響。
 - 研究5-2：樓梯踏面材質，對爬樓梯高度與速度的影響。
- 目的六、了解機器人結構對爬樓梯的機器人的影響
 - 研究6-1：不同機器人結構，對爬樓梯高度與速度的影響。
 - 研究6-2：不同馬達，對爬樓梯高度與速度的影響。

三、文獻探討

(一) 2022年攀爬精靈比賽規則

根據2022年青少年科技創作競賽攀爬精靈比賽規則，翻爬精靈需設計有爬樓梯功能(樓梯規格如下圖2)，採用現場提供材料設計機構(下圖3)，最大機身尺寸不限。成品重量不可超過 500 公克。

(二) 樓梯的踏步尺寸



(三) 歷年相關研究

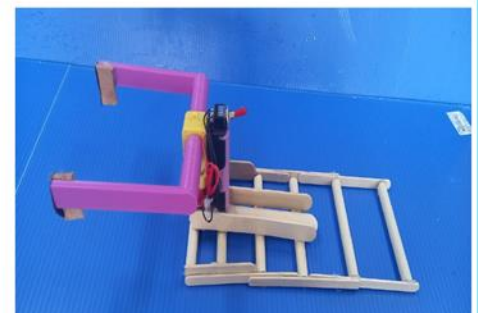
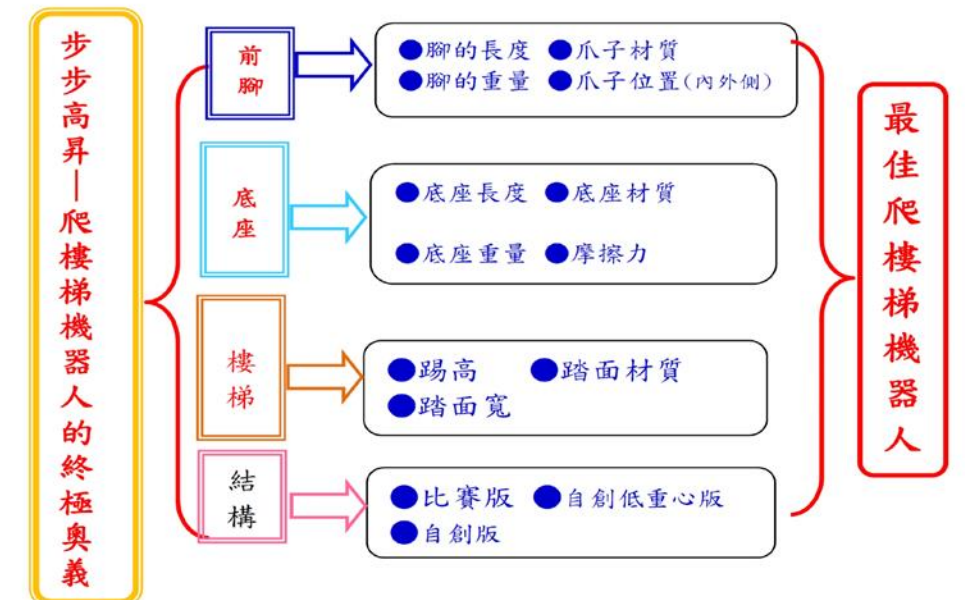
表1：不同研究之爬樓梯機器人比較

作品	步步高昇-爬樓梯機器人的終極奧義 (本文作品)	步步高昇-爬樓梯機器人大聯盟 (第1屆全國科展)
爬樓梯機器人製作步驟	改用TT馬達自創、自行研發爬樓梯機器人結構	以PowerTech比賽中螞蟻的結構，進行改良以達到爬樓梯
爬樓梯機器人結構	(自創)	(以比賽之螞蟻結構為基礎)

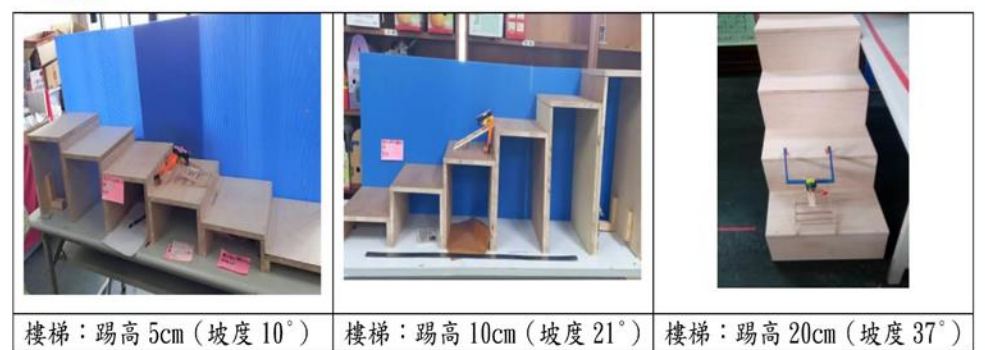
評論：
這一篇主要是研究爬樓梯機器人，以PowerTech比賽中螞蟻的結構，進行改良以達到爬樓梯。從結果發現僅能爬兩階樓梯，值得繼續努力，尋求最佳結構，以達到爬樓梯的功能。在評審建議部分，可探討各變項的關聯性，可加深其科學性與應用性。
本研究採用不同結構設計，自選材料、重新設計機械結構，達到能爬上六階樓梯，與上述研究「步步高昇~爬樓梯機器人大解密」完全不同。過程中探討前、底座長短、摩擦力、樓梯踢面及踏面、材質對爬樓梯機器人影響，這些都與目前已有的研究不同。



四、研究架構



貳 研究設備及器材(詳見說明書)



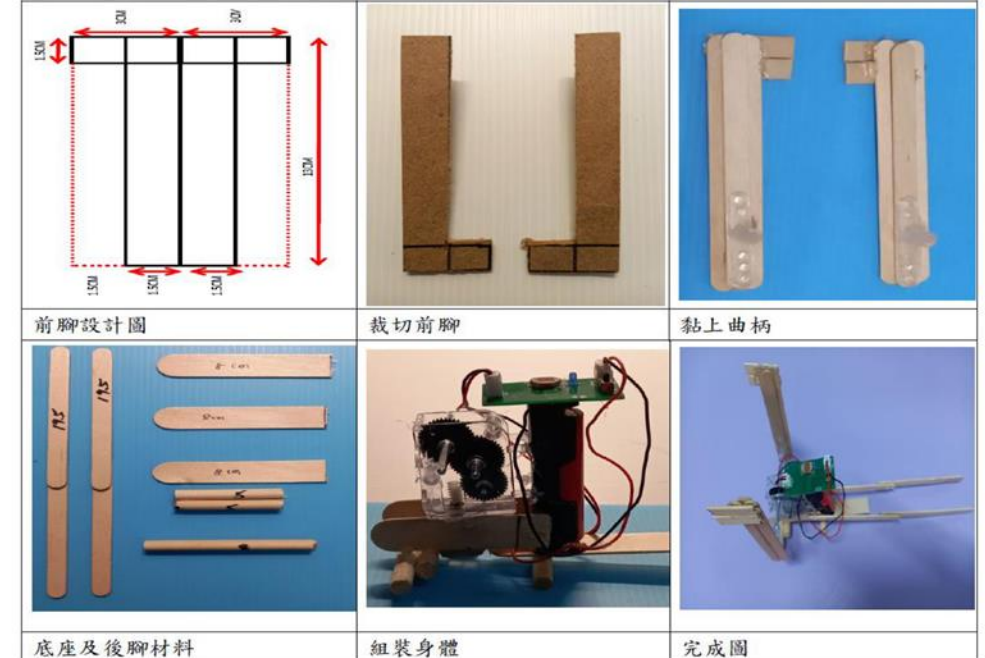
參 研究過程與結果

目的之一、自製第一代爬樓梯機器人

一、自製第一代爬樓梯機器人

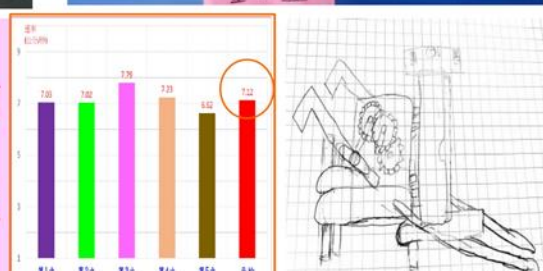
第一代爬樓梯機器人，主要是以2022年青少年科技創作競賽~攀爬精靈比賽材料及規則製作爬樓梯機器人。

表1：第一代爬樓梯機器人製作歷程圖



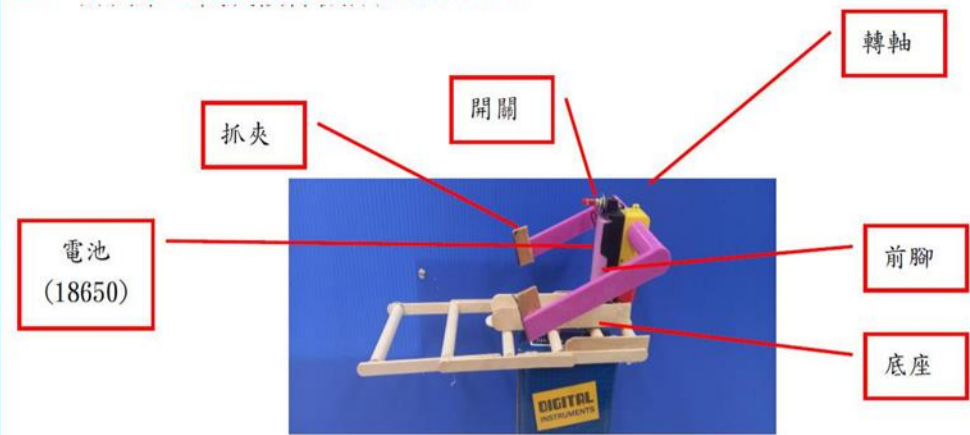
研究測試發現與推測

- (1)前腳不夠寬易傾斜、翻倒
- (2)底座不夠寬。
- (3)後腳長度，需再實驗可以達到多長。



目的二、自製第二代爬樓梯機器人

二、自創第二代爬樓梯機器人



製作過程如下：

- (一) 材料：排除使用比賽的齒輪盒，採用市售常用的TT馬達作為轉動裝置，一樣採用18650電池（容量:1500mAh），並自行設計開關，作為控制爬樓梯機器人裝置。
- (二) 設計前腳：為了讓TT馬達兩側轉軸，能與前腳連接穩固，利用3D列印輸出不同長度腳，作為實驗變因研究用。
- (三) 組裝電池及TT馬達：將電池及TT馬達與開關組裝好，將開關設置頂端，以方便開啟。
- (四) 裝上前腳：將3D列印輸出長度，利用熱熔槍黏於TT馬達兩側。
- (五) 組裝底座：利用圓棍與冰棒棍組裝底座。
- (六) 組裝爬樓梯機器人：將電池及TT馬達，裝裝於底座。

表 1：自創第二代爬樓梯機器人製作歷程圖

TT 馬達、電池及開關	3D 列印不同長度前腳	組裝電池及 TT 馬達
側面圖	前腳黏於 TT 馬達兩側	側面圖
24cm 冰棒棍	利用圓棍與冰棒棍組裝底座	黏寬冰棒棍固定馬達
組裝爬樓梯機器人	爬樓梯機器人測試-1	爬樓梯機器人測試-2

目的三、了解前腳對爬樓梯的機器人的影響

研究3-1：不同長度的前腳對爬樓梯快慢的影響

【研究構想】：我們想知道不同長度的前腳，對於爬樓梯快慢的影響，因此進行以下實驗。

【實驗步驟】：

1. 準備木質樓梯：6階、每階高度10公分、每個踏面26X31.7公分。



2. 準備不同長度前腳：利用3D列印，輸出不同長度前腳。



3. 製作抓夾：利用密集板裁切2公分X3公分長方形，作為抓夾。一組黏在前腳外側，一組黏在前腳內側，分別進行以下實驗步驟。



3. 分別將9.5公分~17.5公分的前腳，裝在基本型的爬樓梯機器人身。
4. 開啟動電源後，放置於樓梯上，用馬錶記錄時間長短。
5. 重複實驗五次
6. 將結果畫成表格、統計圖。

【研究發現】：

1. 前腳長度，以9.5cm、11.5cm能爬完六階樓梯較佳，其餘長度無法走完。
2. 前腳的抓夾，前進速率以黏在內側，爬樓梯速率較快。
3. 5.5公分的前腳，因長度低於樓梯高度，因此無法爬上去。

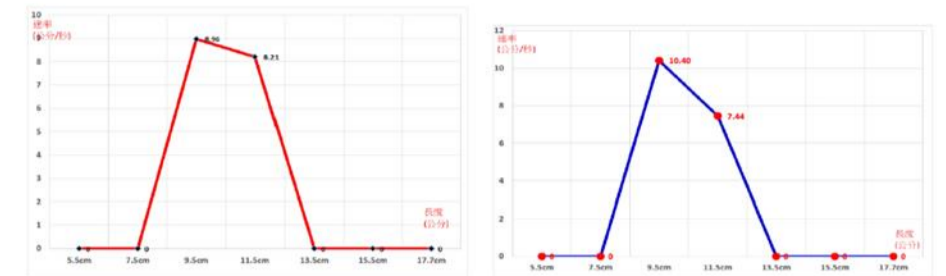


圖 1：不同長度的腳對爬樓梯速率影響(抓夾外側) 圖 2：不同長度的腳對爬樓梯速率影響(抓夾內側)

【研究發現與討論】

從實驗發現前腳長度，以9.5cm、11.5cm能爬完六階樓梯，但發現爬樓梯過程重心不穩容易倒，因此，將前腳轉軸設計較寬，以此構想進行實驗。

研究3-2：不同長度的前腳，對爬樓梯機器人扭力大小的影響。

【研究構想】：依照研究3-1研究，設計扭力測試裝置，測量不同前腳長度，扭力大小。

【實驗步驟】：

將馬達的齒輪比為1:48的爬樓梯機器人，前腳長度分別為5.5cm、9.5cm、11.5cm、13.5cm、15.5cm、17.5cm懸掛重物，測試前腳能舉起的最重重物重量（詳見說明書）

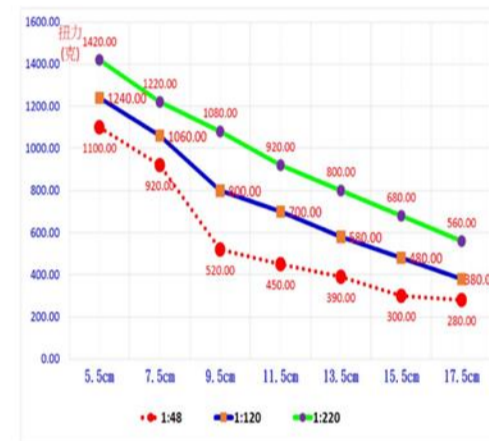


圖 8：不同長度的腳對舉起重物重量的影響

【研究發現與討論】

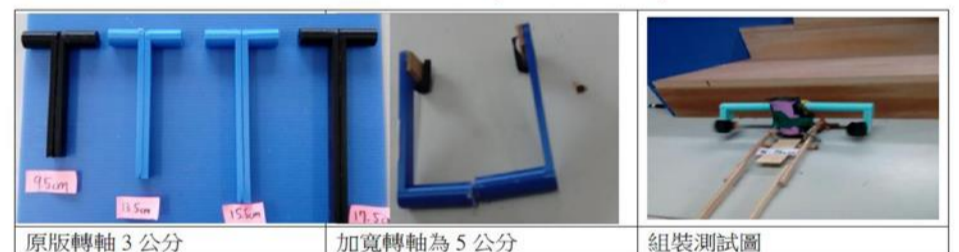
由實驗發現同樣的齒輪比，前腳越長，所能提起的重物越輕，前腳越短，所能提起的重物越重。因此，爬樓梯機器人，前腳長短會影響爬高的力量大小。當爬樓梯機器人，無法往上爬時，除了電池電力大小會影響，更要考慮前腳長短。

研究3-3：不同寬度的前腳轉軸，對爬樓梯快慢的影響

【研究構想】：依照研究3-1研究，將轉軸加寬，以測試其效果。

【實驗步驟】：

將前腳設計成不同寬度轉軸進行實驗。（詳見說明書）



【研究發現】

1. 加寬轉軸為5公分，爬樓梯速率變快。
2. 5.5公分前腳，因長度低於樓梯高度，因此無法爬上去。

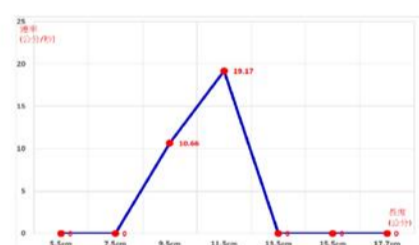


圖 3：不同長度的前腳轉軸加寬對爬樓梯速率影響

【研究發現與討論】

前腳轉軸加寬後，爬樓梯較穩，能減少翻倒次數，因而速率變快。後續實驗將以寬轉軸為基本結構。

研究3-4：爬樓梯機器人前腳摩擦力，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究構想】：延續1-2實驗以前腳9.5公分轉軸加寬結構，進行摩擦力大小對爬樓梯速率影響的實驗。

【實驗步驟】：詳見說明書

將前腳裝上不同材質，測試爬樓梯速率。



【研究發現】：

1. 抓夾以桌球皮爬樓梯速率最快。
2. 抓夾在無黏貼止滑、及黏保護墊、止滑條都無法走完六階樓梯。

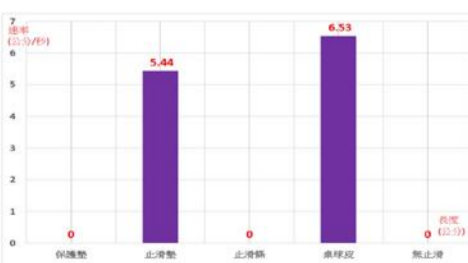


圖 4：不同摩擦力的前腳對爬樓梯速率影響

【研究發現與討論】

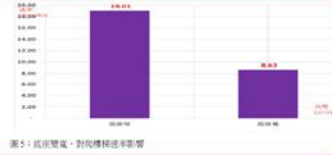
實驗結果以桌球皮黏在抓夾上，爬樓梯速度最快，後續研究將以桌球皮黏貼抓夾。

目的四、了解底座對爬樓梯的機器人的影響

研究4-1：爬樓梯機器人底座寬度增加，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究發現】

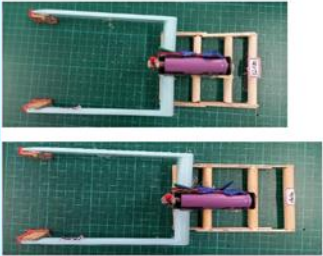
1. 底座變寬，在實驗過程發現能減少翻倒次數。
2. 因重量變重，速率稍慢。



研究4-1-2：不同底座長度，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究發現】

1. 前腳長度18cm時，底座長度12cm~16cm，爬樓梯機器人會往後翻，不會往前爬。
2. 前腳長度18cm時，底座長度18cm，爬樓梯機器人有時會往前爬，有時往後翻。
3. 推測底座需要>18cm以上，才會往前爬。

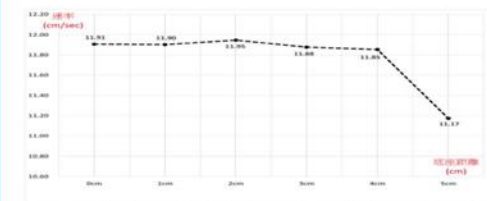


次/底座長	12cm	14cm	16cm	18cm
第1次	X	X	X	○
第2次	X	X	X	X
第3次	X	X	X	○
第4次	X	X	X	X
第5次	X	X	X	○

研究4-2：底座距離踢高距離，對爬樓梯快慢的影響。

【研究發現】

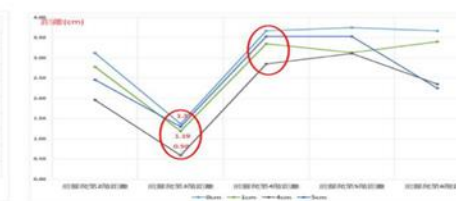
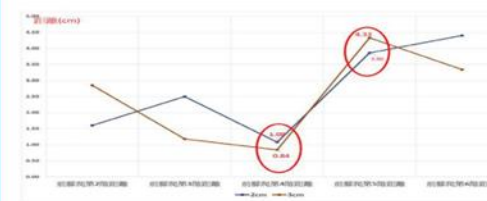
1. 底座距離踢高0公分時爬的速率最快，距離踢高5公分速率最慢。
2. 底座距離踢高5cm時，前腳無法勾到第四階，因而變慢。



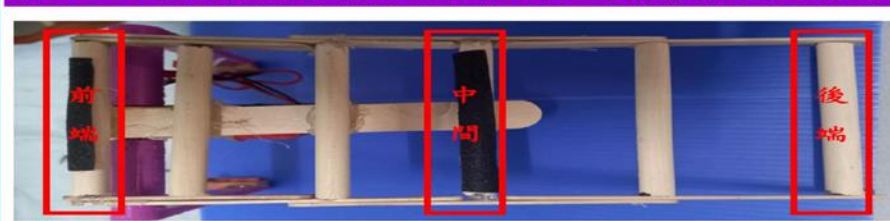
研究4-3：底座距離踢高長短，對爬樓梯路徑與爬行成功率的影响。

【研究發現】

1. 底座距離踢高0、1cm、4、5cm時，前腳無法勾到第4階而滑下重爬。
2. 底座距離踢高2、3cm時，前腳無法勾到第5階而滑下重爬。

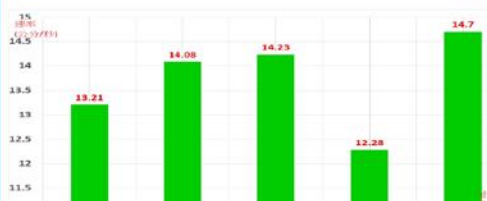


研究4-4：爬樓梯機器人底座不同摩擦力，對爬樓梯高度與速度的影響。



【研究發現】

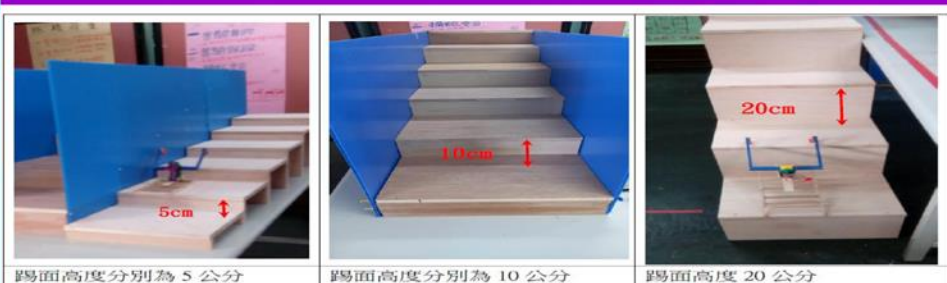
1. 前中後全止滑速率最快，底座無加止滑最慢。
2. 摩擦力影響爬的速率。



【研究發現與討論】
由實驗發現，底座增加摩擦力(止滑條)，有助於爬樓梯機器人爬行速率。後續實驗採採用。

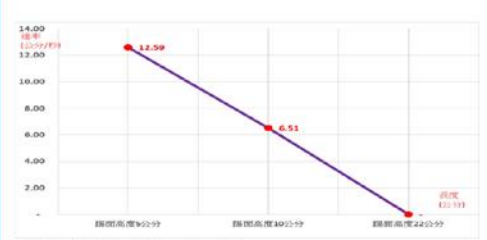
目的五、了解樓梯對爬樓梯的機器人的影響

研究5-1：樓梯踢面高度，對爬樓梯高度與速度的影響。



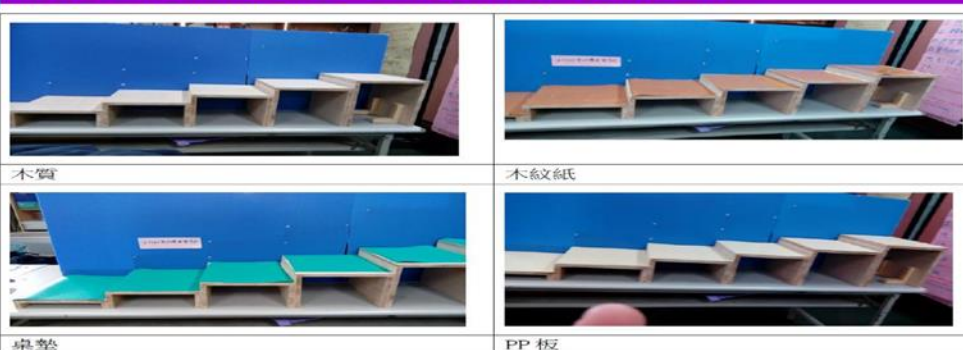
【研究發現】

1. 踢面高度5公分爬樓梯速率最快，踢面高度22公分，爬樓梯速率最慢
2. 踢面高度越高，爬樓梯速率越慢。



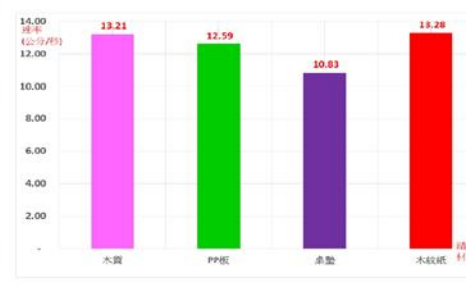
【研究發現與討論】
當踢面高度變為原來2倍時(5公分變10公分)，爬樓梯速率由原來12.59(公分/秒)降為6.51(公分/秒)，速率降為為原1/2。

研究5-2：樓梯踏面材質，對爬樓梯高度與速度的影響。



【研究發現】

1. 踢面高度5公分，爬樓梯速率最快，踢面高度22公分，爬樓梯速率最慢
2. 踢面高度越高，爬樓梯速率越慢。

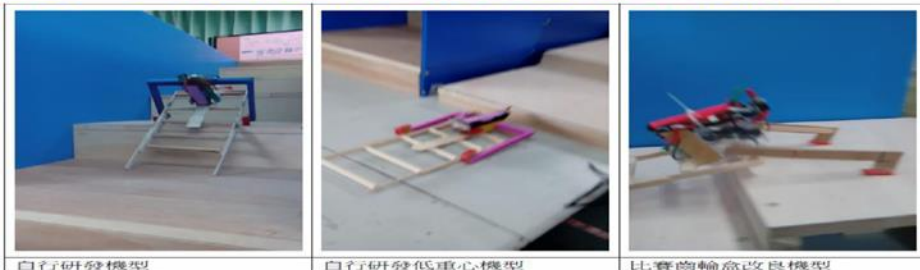


【研究發現與討論】

由實驗發現踏面材質，會影響爬樓梯速率。因此，在進行比賽時，要考慮抓夾與樓梯的摩擦力。

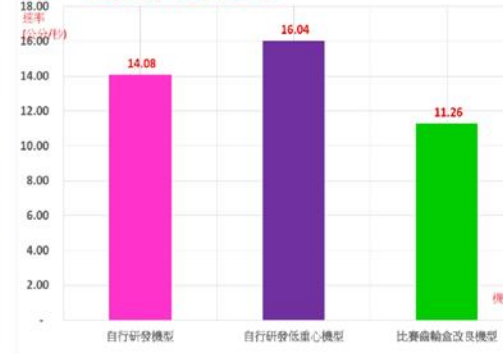
目的六、了解機器人結構對爬樓梯的機器人的影響

研究6-1：不同機器人結構，對爬樓梯高度與速度的影響。



【研究發現】

1. 自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。
2. 自行研發低重心機型，因重心低，爬樓梯時，底座不會碰到樓梯踢面，有助於爬樓梯。



【研究發現與討論】

由實驗發現，自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢。顯示重心低，有助於爬樓梯時，底座不會碰到樓梯踢面，值得後續研究參考。

研究6-2：不同馬達，對爬樓梯高度與速度的影響。

【研究發現】

1. 齒輪比1:48的馬達爬樓梯速率最快，齒輪比1:220速率最慢。
2. 齒輪比越大，爬樓梯速率越慢；齒輪比越小，爬樓梯速率越快。

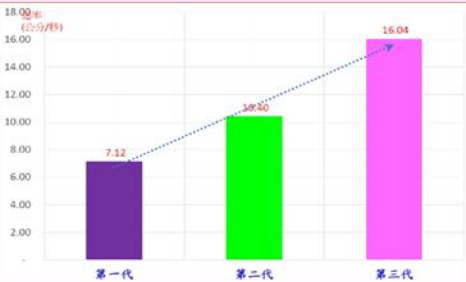


【研究發現與討論】

由實驗發現，齒輪比1:48爬樓梯速率最快。原先認為齒輪比1:220扭力較大應該會較快，結果恰恰相反。

肆 討論 (詳見說明書)

一、第一代、第二代和第三代爬樓梯機器人速率比較



根據研究，爬樓梯機器人經過第一、二、三代改良(表3、表14)，各代爬樓梯機器人的速率為7cm/秒、10.40cm/秒和16.04cm/秒，第三代的速率為第一代的2倍快，顯示本研究的實驗結果，具有顯著效果。

二、不同長度的前腳與爬樓梯快慢的關係

前腳的長短會影響爬樓梯快慢嗎？前腳是不是越長越好？在【研究3-1】樓梯的踢面高度為10公分，結果發現以前腳長度9.5cm、11.5cm能爬完六階樓梯，其餘長度無法走完。我們將機器人放置樓梯第一階旁，測量前腳舉起時高度，整理如下表：

表 11：前腳舉起時高度與踢面高度比較

前腳長度	5.5cm	7.5cm	9.5cm	11.5cm	13.5cm	15.5cm	17.7cm
前腳舉起後高度	7.5cm	9.5	11.5cm	13.5cm	15.5cm	17.5cm	19.5cm
與樓梯踢面高度比較	<10cm	<10cm	>10cm	>10cm	>10cm	>10cm	>10cm
能否爬上樓梯	X	X	○	○	X	X	X

X 表示無法爬上樓梯

由表發現前腳為5.5公分時，因長度低於樓梯高度，因此無法爬上去。前腳長度需比樓梯的踢面高度高約1.5公分~3.5公分，抓夾才能夠到樓梯順利爬上去。但長腳並非越長好，當前腳舉起後高度超過踢面高度5.5公分時，前腳太長重心往後，以致於機器人往後倒。

三、不同長度的底座與爬樓梯的關係

由研究4-1-2發現，底座長度大於前腳長度，才能往前爬。如果底座長度小於前腳長度，重心往後，導致爬樓梯機器人往後翻。因此，爬樓梯機器人要往前爬，底座長度要大於前腳長度。

伍 結論

- 一、前腳長度>樓梯的踢面高度高約1.5公分~3.5公分，機器人能順利爬樓梯。
- 二、前腳越長扭力小，前腳越短，扭力大。
- 三、前腳加寬轉軸為5公分，爬樓梯速率變快。
- 四、以桌球皮黏在抓夾上，爬樓梯速度最快。
- 五、同樣的齒輪比，前腳越長扭力越大，前腳越短，扭力愈小。
- 六、底座變寬，能減少機器人翻倒次數。
- 七、當踢面高度變為原來2倍時，爬樓梯速率降為為原1/2
- 八、自行研發低重心機型爬樓梯速率最快，原先比賽齒輪盒改良機型速率最慢
- 九、獲致爬樓梯機器人最佳結構。