

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科(二)

探究精神獎

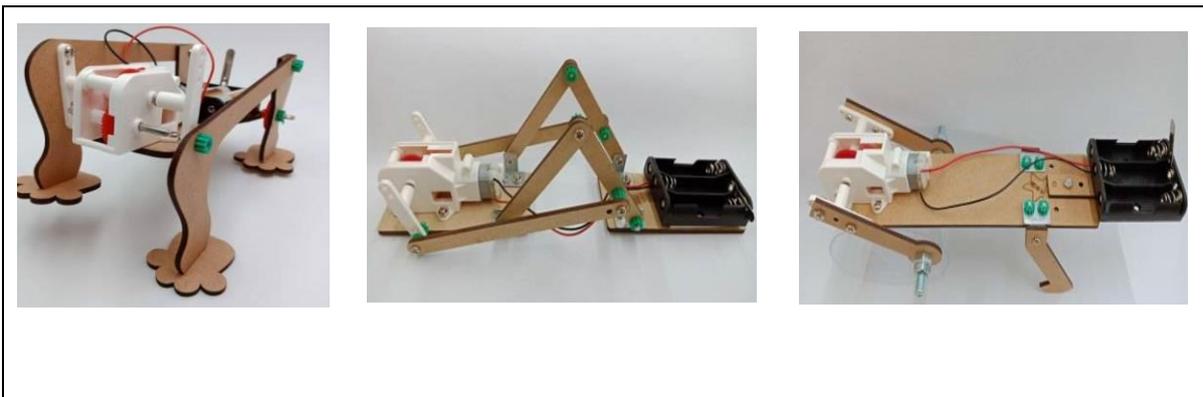
032917

「攀繩猴」—山區救難運具的可行性

學校名稱：嘉義市立蘭潭國民中學

作者： 國三 謝柏宇 國三 孫佑豪	指導老師： 王榮達 陳嵩霖
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：攀繩猴、仿生獸、運具



▲圖 1-3 各種由 PowerTech 材料包製作出來的機械獸

二、研究目的

- (一)、嘗試以市售 powertech 材料包，設計製作出像猴子一樣攀繩移動的機械獸「攀繩猴」。
- (二)、攀繩猴機身結構的優化設計改良。
- (三)、測試攀繩猴各項攀繩移動極限
- (四)、攀繩猴作為山區運送補給、救難的可能。

三、文獻探討

搜尋歷屆科展研究，雖然說很多 powertech 競賽相關機械獸的改良和變因探討作品，例如「進擊的萬獸—萬獸的終極奧義」、「終極目標-萬獸之王_曲軸、連桿、後腳組合的探討」等與我們的研究相關，作品中大多關注於 powertech 現有競賽機型的各項變因探討及改良；另外上網搜尋「powertech」、「仿生猴」、「攀繩機械獸」等相關關鍵字，結果並未發現有新的機械獸創作，能符合我們對攀繩機械獸的想像——「利用手臂攀繩前進」。於是我們開始試著參考一些機構結構的參考書籍，研究了解我們想要的機械獸該如何進一步設計。

本研究相關的參考資料整理如下表：

▼表 1-4 本研究主要文獻探討及參考內容

來源	文獻主題	本研究參考內容
歷屆科展	<p>■進擊的萬獸—萬獸的終極奧義(2017) 全國中小學科展第 57 屆</p> <p>■終極目標-萬獸之王_曲軸、連桿、後腳組合的探討(2006) 全國中小學科展第 46 屆</p> <p>■鱗門遁水—仿生魚鰭於船隻航行上的應用與探究(2021)。 全國中小學科展第 61 屆</p>	<p>PowerTech 競賽機型的結構變因探討</p> <p>PowerTech 競賽機型曲軸、連桿探討</p> <p>仿生機構設計、影像追蹤軟體分析的應用</p>
參考書籍	<p>■「機巧裝置」機構設計應用圖典：從零開始也能實踐簡易自動化。財團法人中衛發展中心。</p>	傳動機構、往返運動機構設計
相關網站	<p>■Welcome to PowerTech 創意機構設計學習網</p>	PowerTech 競賽、仿生機械獸設計
影片動畫	<p>■往復滑塊曲柄機構</p>	滑塊機構設計

貳、研究設備器材及軟體

研究設備與器材					
Powertech 材料包	手工線鋸	捲尺	對開方格紙	2mm 密集板	手搖鑽
雷切機	墊木	尼龍線、棉線	白色壁報紙	DV 攝影機	碼表
筆記型電腦	游標尺	50 克砝碼組	工具箱	可伸縮式繩固定器	量角器
彈簧秤 1000kgw	AA 鹼性電池 1.5V	相機	泡棉	TAMIYA 齒輪箱 70167	強力磁鐵
研究使用的電腦軟體					
Adobe Illustrator	tracker				

參、研究過程或方法

一、研究方法

(一)攀繩的材料、規格選定

我們以攀繩猴三代機實際測試十種攀繩材質，發現較粗的童軍繩效果不佳，扁平的尼龍束口繩則過於平滑，中國結線及尼龍束口繩較缺乏彈性，不利於後續繩張力變因實驗。後續我們選用各種材質約 2~3mm，以<100gw 繩張力，水平攀繩成功率 50%以上(攀繩 60cm,10 次至少成功 5 次，不限時)，作為攀繩挑選依據。

▼表 3-1 攀繩材質測試結果(綠色部分為後續實驗使用之攀繩材質)

	童軍繩	尼龍束口繩	尼龍繩 2mm	傘繩 3mm	玉線	童軍繩 (單股)	麻繩 3mm	麻繩 打結	中國結線	棉線 3mm
攀繩成功率	—	—	70%	30%	40%	—	60%	50%	—	60%
備註	易卡住手臂	彈性差				易卡住手臂		略有卡住手臂	彈性較差	

二、測量與紀錄

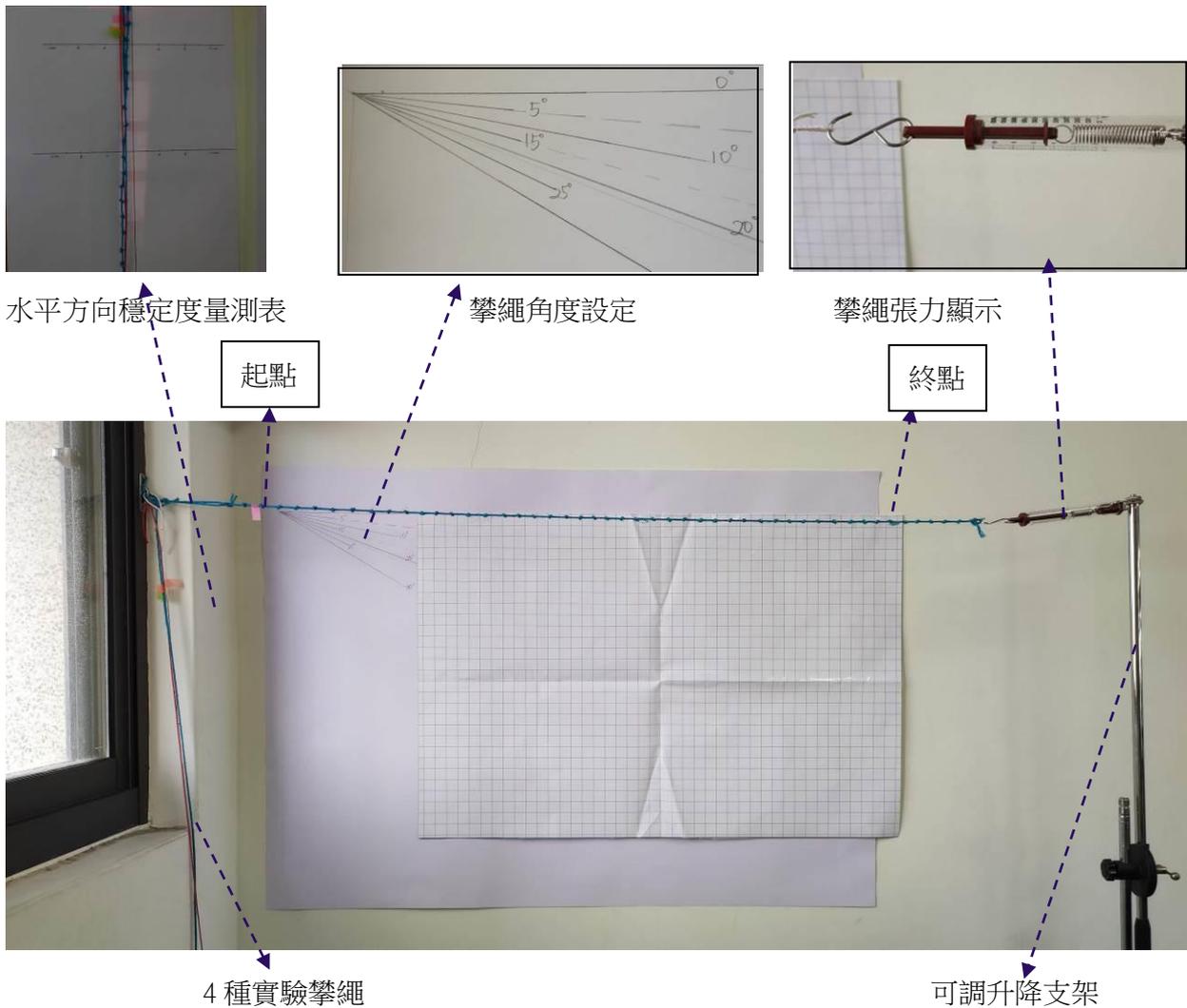
(一)實驗場地設定

依據我們想要測試的幾個不屬於攀繩猴機體結構變因，例如繩張力、攀繩種類以及攀繩角度等，我們設計出了如圖 3-2 的實驗場地，繩長起終點計 100cm，以方格紙浮貼於白紙後固定在背景牆上(若後續需要使用軌跡追蹤軟體時可拆掉方格紙)，主要攝影機及相機面向背景牆上，每次拍攝記錄當次運動狀況，同時藉由方格紙的標示也能快速了解該次攀繩猴垂直方向的穩定度。另外，垂直於背景牆上的另一面則貼上水平方向穩定度量測表，可觀察同時拍攝記錄水平方向的晃動程度(在研究 4-1 時特別需要)。

實驗開始進行後，由於不少次都由於攀行時機身不穩定而掉落，所以我們還在實

驗場地底下加裝了泡棉防撞緩衝墊，避免每一次實驗有可能的掉落造成攀繩猴的損壞。

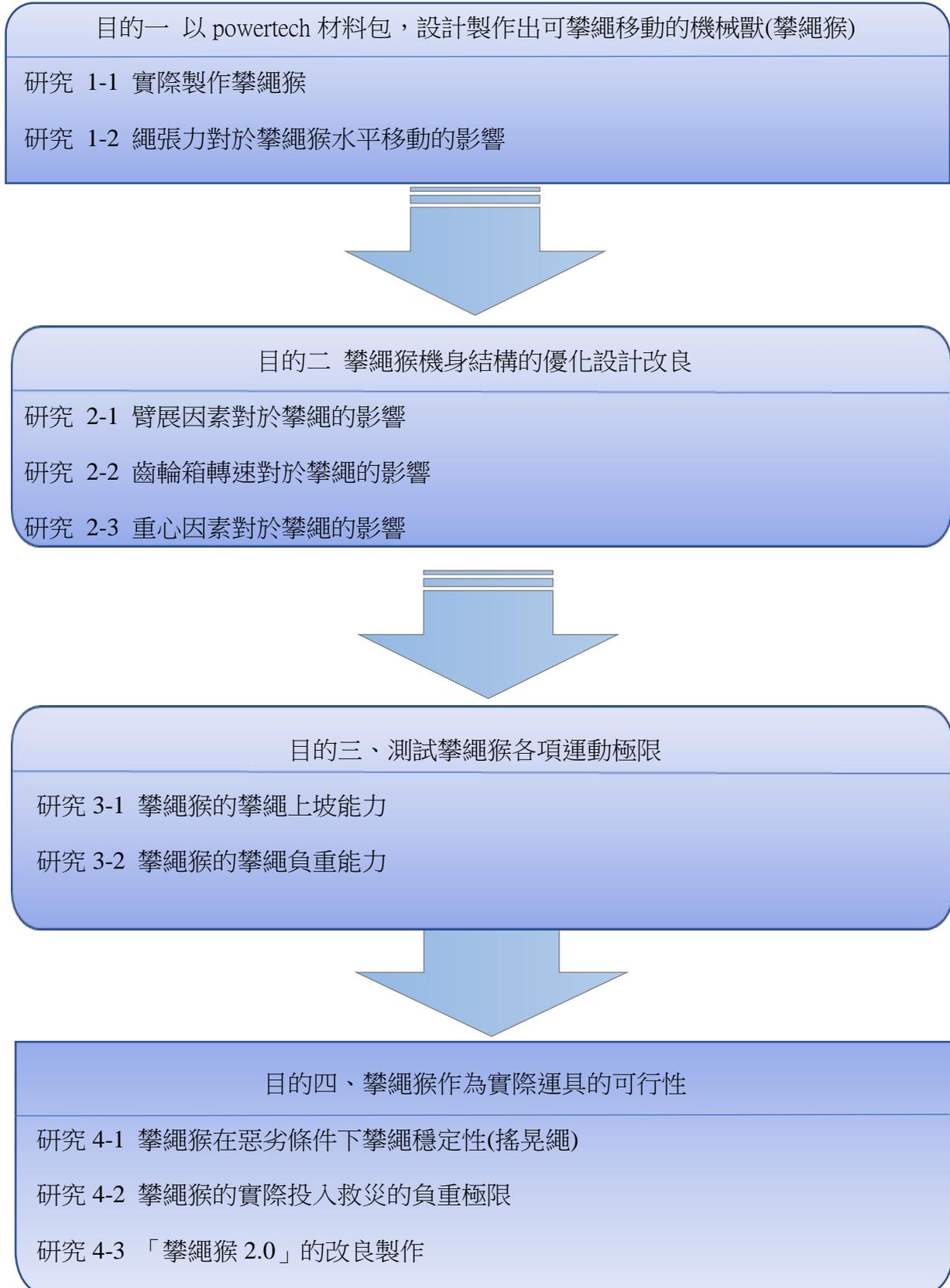
▼圖 3-2 實驗場地圖



(二)實驗測量記錄

我們讓每個具有不同變因的攀繩猴，在 100cm 的攀繩上水平前進，計算總共**十次攀繩的成功率**，也測量**每趟所需時間**，取**五次時間最少者記錄**下來，即可算出每趟攀型的水平運動速率。同時觀察錄影結果，記錄**攀繩下垂的最低點**(方格紙格位)。若有需要則紀錄該觀測值。

三、研究架構流程



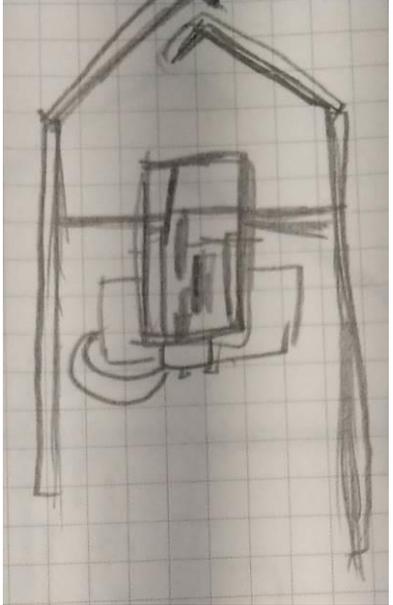
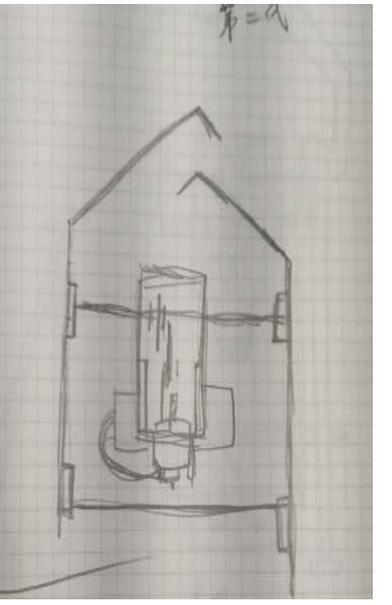
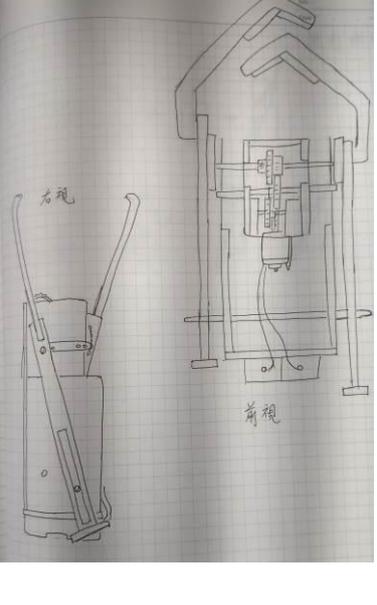
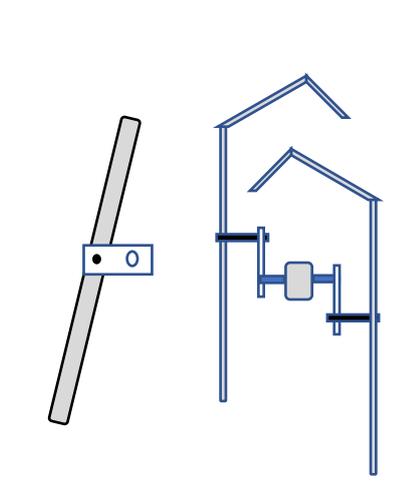
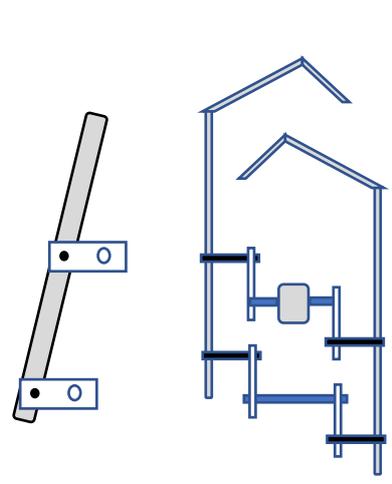
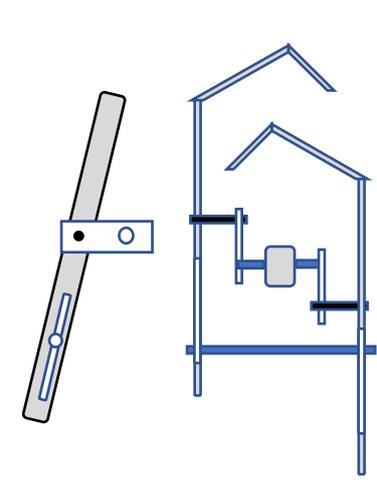
肆、研究結果

一、以 PowerTech 材料包，設計製作出可攀繩移動的機械獸(攀繩猴)

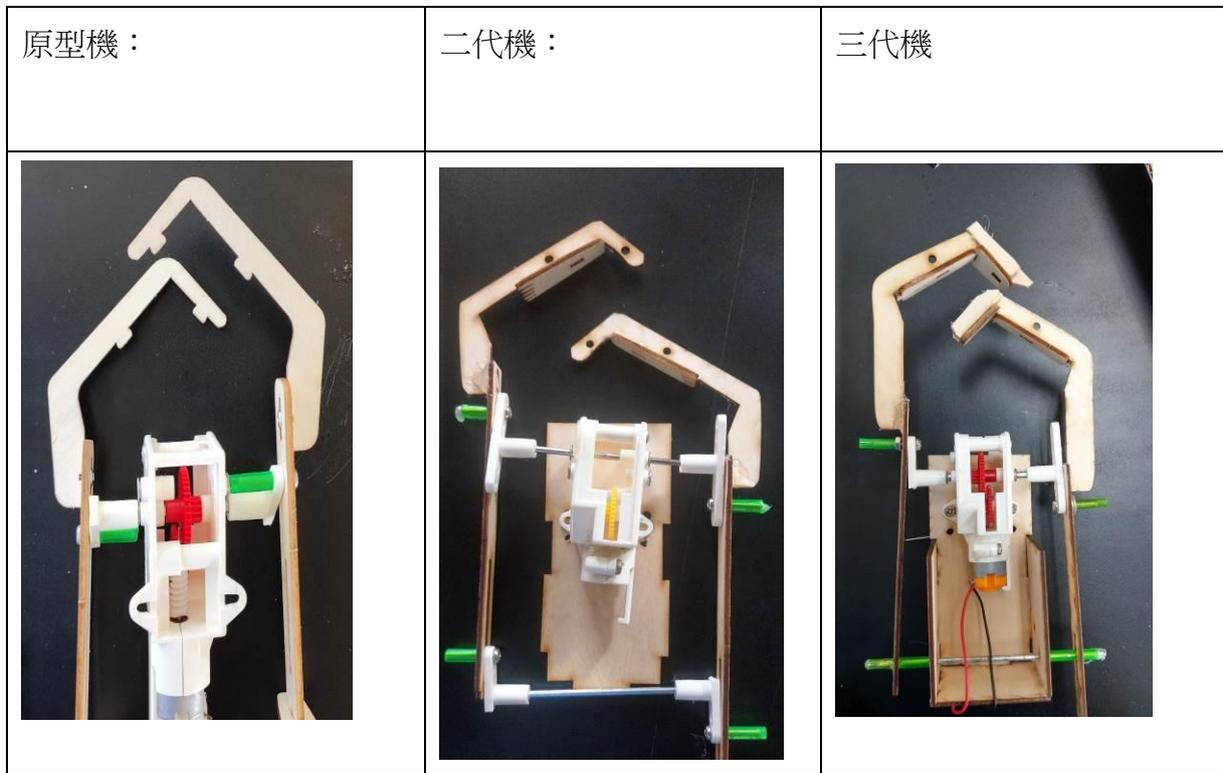
(一)研究 1-1 實際製作攀繩猴

1.我們事先手繪設計圖稿，並藉由使用熟悉的 PowerTech 材料包，切割鑽孔，嘗試使用內附的齒輪箱和曲柄結構，發想設計草圖。藉由每一次的實作，慢慢修正一些不可行的結構，我們也用電腦繪出更精確的結構。

▼圖 4-1 各代攀繩猴的手繪概念設計圖稿及前視圖和手臂側視圖

原型機	二代機	三代機
		
		

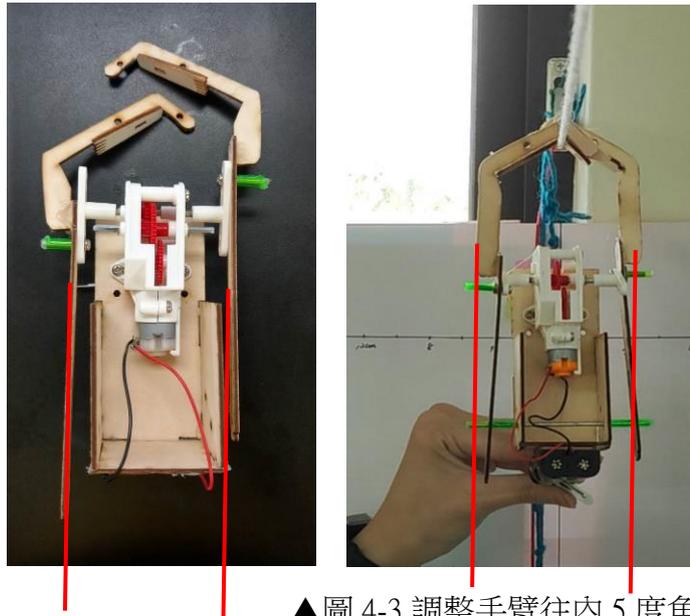
2.攀繩猴原型機曲柄帶動手臂無法做往復攀爬的動作，於是我們嘗試用雙曲柄的構型，打造第二代攀繩猴，但是結果不如預期。手臂的擺動順利，也能做往復運動，但實際在攀繩前進時，機體常常容易不穩甚至落下。



▲圖 4-2 我們所實作的各代攀繩猴

2.剛實際製作完成的攀繩猴三代機，試攀繩的成功率卻不理想(<50%)，後來藉由前視角度的觀察發現手臂勾繩處原設計的「 Λ 」型結構，理論上應該重疊，才能方便攀繩。但實際上單側手臂攀繩時即須承受整個機體重量，因此容易隨著攀行距離愈遠越攀爬手臂越開，最後導致攀繩失敗。

3.調整方法為兩個曲柄滑塊連手臂在一開始各向中心鉛直線方向內壓 5 度角，且每次攀繩完都要進行手工微調檢測，才能確保攀繩成功率。



▲圖 4-3 調整手臂往內 5 度角



▲圖 4-4 攀繩猴製作花絮

(二)研究 1-2 繩張力對於攀繩猴水平移動的影響

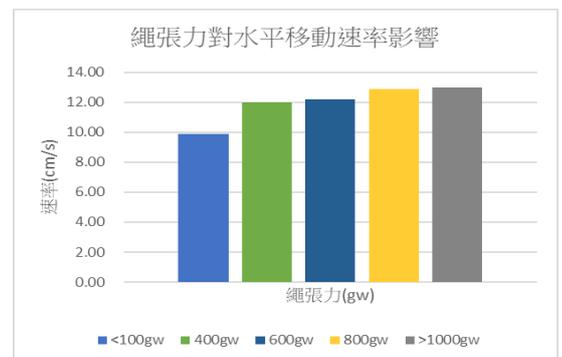
1.實驗剛開始時，攀繩猴的攀繩成功率頂多 60~70%，後來我們發現，繩子如果太過放鬆，情況會更差。所以我們開始加裝彈簧秤來定量繩子的張力，並使用研究 1-1 調整過後的同一攀繩猴三代機進行測試。

【實驗數據】

繩張力	<100gw					400gw					600gw					800gw					>1000gw				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	10.23	10.5	10.11	9.68		8.41	8.06	8.4	8.53	8.25	8.46	8.55	8.01	7.92	8.03	7.56	7.98	8.01	7.88	7.46	7.84	7.75	7.63	7.88	7.46
速率(cm/s)	9.87					12.00					12.20					12.86					12.97				

【觀察紀錄】

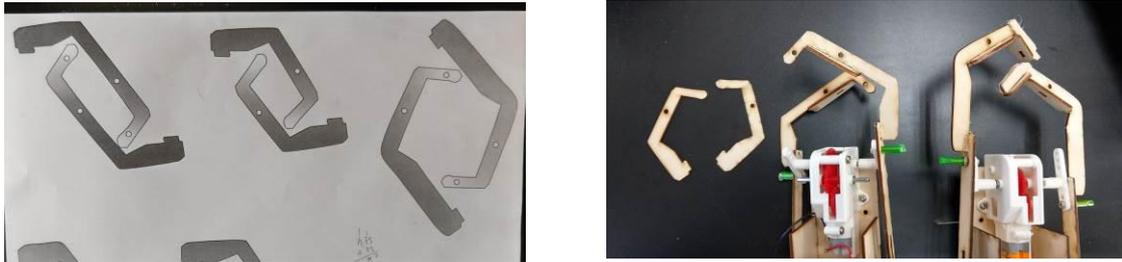
- (1) 繩張力<100gw 時，繩位移顯示 3 格以上，相當不穩定；>400gw 以上，繩位移小於 2 格。
- (2) 前視角也顯示繩張力<100gw 時，左右擺盪情形明顯。



二、攀繩猴機身結構的優化設計改良

(一)研究 2-1 臂展因素對於攀繩的影響

我們最想要了解，長臂猿能靈活攀附，快速移動，一定是因為牠的手臂。所以我們設計了三種短、中、長臂展型。短臂型：上下臂皆短；中臂型：上臂短下臂長；長臂型：上臂長下臂長。輪流拆裝於同一攀繩猴上進行測試。(測試條件：800gw 繩拉力，搭配尼龍繩)



▲圖 4-5 攀繩猴手臂設計(AI 繪圖)，分別為中、短、長臂展型(左)

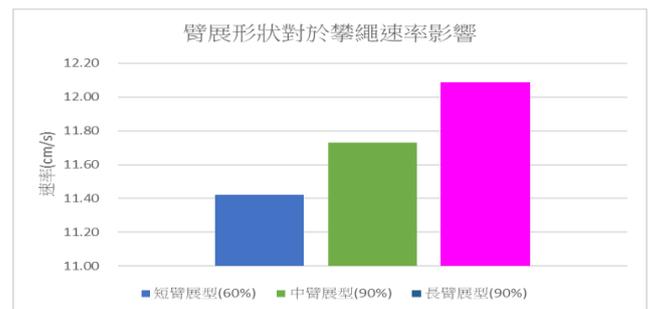
【實驗數據】

臂展形狀(攀繩成功率)	短臂展型(60%)					中臂展型(90%)					長臂展型(90%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	8.8	8.51	9.22	9.08	8.16	8.44	8.25	8.34	8.59	9.01	8.78	7.98	8.43	8.25	7.93
速率(cm/s)	11.42					11.73					12.09				

【觀察紀錄】

(1) 短臂展型一開始並無法順利攀繩，常常卡住，不只卡住繩子，也卡住自己的手。所以後來我們費了很多時間調整，仍偶有卡住的狀況。(未計入攀繩失敗)

(2) 繩位移小於 2 格，攀繩穩定；前視角觀察短臂展型左右晃動較不穩，另外兩個配置則差異不大。



(二)研究 2-2 齒輪箱轉速對於攀繩的影響

實際以 PowerTech 齒輪箱製作出超快、快、慢速的齒輪箱，輪流拆裝於同一攀繩猴上進行測試。(測試條件：800gw 繩拉力，搭配尼龍繩)



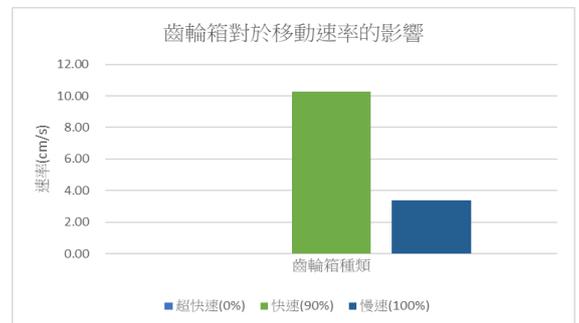
▲圖 4-6 攀繩猴的三種齒輪箱測試

【實驗數據】

齒輪箱類型(攀繩成功率)	超快速(0%)					快速(90%)					慢速(100%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間						9.89	9.77	9.52	9.66	9.78	29.05	29.34	30.22	29.85	29.66
速率(cm/s)						10.28					3.38				

【觀察記錄】

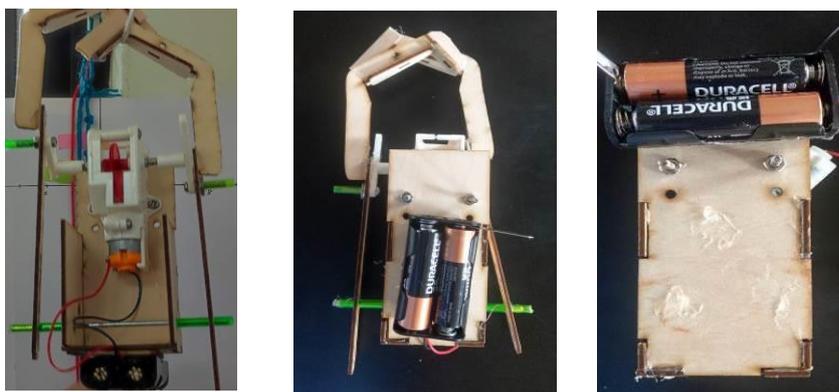
(1) 令人意外的，超快速齒輪箱雖然可以讓手臂快速往復移動，但一掛上去啟動時因手臂過快，使扯繩力道大，立刻掉落失敗。繩位移顯示 4 格以上，相當不穩定。



(2) 前視角因左右擺盪快速劇烈隨即落下，無法觀測。

(三)研究 2-3 重心因素對於攀繩的影響

另一種我們認為長臂猿可以攀繩快速移動的秘密，就是感覺牠重心在比較底下，像是用「盪」、「甩」的方式把下半身重心挪移過去。所以我們將電池盒鎖在三種不同位置(低、中、高)，改變攀繩猴機體重心。攀繩猴採用長臂展型、快速變速箱，測試條件：800gw 繩拉力，搭配尼龍繩)



▲圖 4-7 以電池盒改變攀繩猴的重心配置(低、中、高)

【實驗數據】

重心配置(攀繩成功率)	低(100%)					中(80%)					高(70%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	9.06	9.82	9.65	9.53	9.67	9.89	9.77	9.52	9.66	9.78	9.93	9.76	9.49	10.12	9.98
速率(cm/s)	10.48					10.28					10.15				

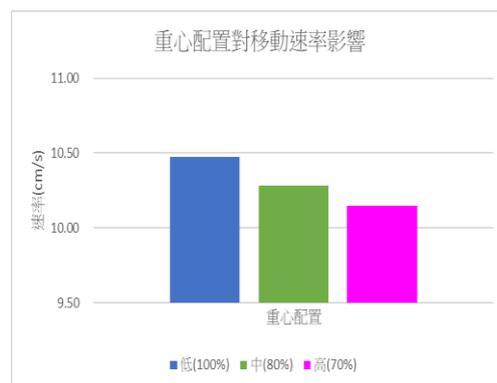
【觀察記錄】

(1)三種低、中、高重心配置，繩位移小於 3 格。

高重心配置較不穩。

(2)前視角觀察高重心配置左右晃動較不穩，另外

兩個配置則差異不大。



三、測試攀繩猴各項運動極限

(一) 研究 3-1 攀繩猴的攀繩上坡能力

這裡我們採用「麻繩打結」作為攀繩材料，雖然它失敗率略高(見表 4-2)，但穩定性高，雖然曾有卡住手臂的情況，但爬坡攀繩需要更高的穩定性，所以我們仍以它取代尼龍繩。攀繩猴採用長臂展型、快速變速箱。(測試條件：800gw 繩拉力)

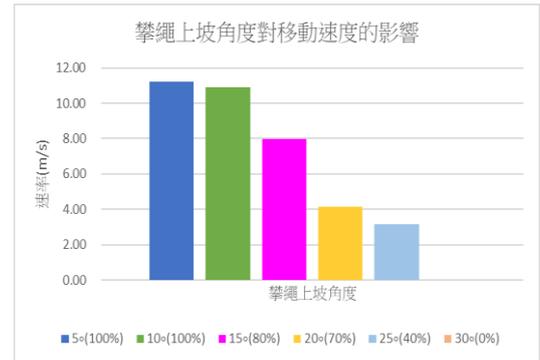
【實驗數據】

攀繩仰角(攀繩成功率)	5° (100%)					10° (100%)					15° (80%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	9.88	8.56	8.75	8.44	9.02	9.63	8.96	8.89	8.59	9.78	11.63	12.36	12.9	12.84	13.07
速率(cm/s)	11.20					10.91					7.96				

攀繩仰角(攀繩成功率)	20° (70%)					25° (40%)					30° (0%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	21.46	23.17	26.58	24.5	24.83	31.45	33.72	30.56	31.79						
速率(cm/s)	4.15					3.14									

【觀察記錄】

- (1) 攀繩過程中，繩位移皆小於 2 格，顯示在爬坡的穩定性，前視角方向也是。



(二) 研究 3-2 攀繩猴的攀繩負重能力

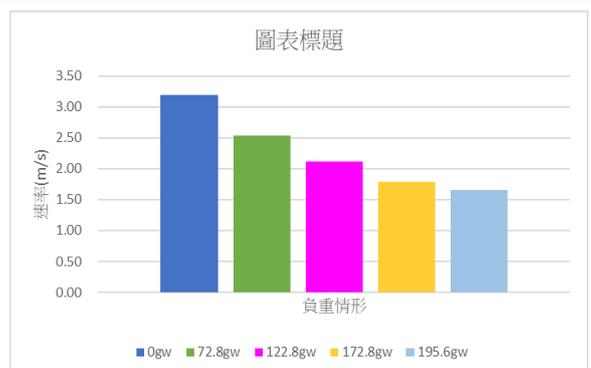
至此我們已經探究相當多的變因，但我們都還未考慮到攀繩猴本身重量帶給攀繩的影響。其實我們每次實驗前都先測量過磅，每次攀繩猴如何改裝，其重量都落在 122.7~124.2gw，顯示我們已將機體重視為控制變因。但這邊我們想要了解的是，如果讓機體負重，是否還能攀行順利？負重方式採砝碼 50gw 增加，不過有加小強力磁鐵(22.8gw)幫助固定，也須計入負重。此次採用長臂展型、慢速變速箱。(測試條件：800gw 繩拉力)

【實驗數據】

負重	0gw					72.8gw					122.8gw					172.8gw					195.6gw				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	31.02	32.5	31.47	31.85	29.7	41.26	39.58	40.67	38.47	37.59	46.22	48.93	47.35	46.84	47.53	55.62	57.31	56.29	53.77	57.01	60.06	61.29	59.63	60.12	61.43
速率(cm/s)	3.19					2.53					2.11					1.79					1.65				

【觀察記錄】

- (1) 負重越重，繩位移顯示格位差越多
 (2) 前視角方向觀察非常穩定。



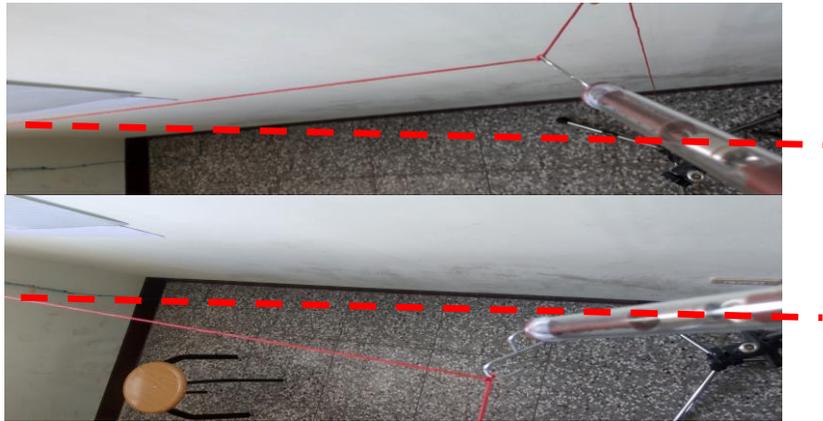
四、攀繩猴作為實際運具的可行性

(一)研究 4-1 攀繩猴在惡劣條件下攀繩穩定性(搖晃繩)

終究我們希望攀繩猴不只是有趣的一個仿生機械、一項科學玩具，我們更希望它在實際生活中有更大的應用。我們想到山區發生因風災、水災的道路坍方，不僅使交通中斷，也讓山區民眾缺乏民生必需物資。此時，若能藉由拋繩槍架設繩索，或許就能讓攀繩猴一展身手，擔任應急救難運具。

我們首先設定讓攀繩猴在惡劣環境中(繩索規律搖晃，每 2 秒 1 次，前視角方向，彈簧秤張力保持於 400~800gw)，進行直線攀繩前進。測試機型：長臂展型、快速/慢速變速箱。

▼圖 4-8 模擬繩索規律搖晃俯視圖(左右方向)

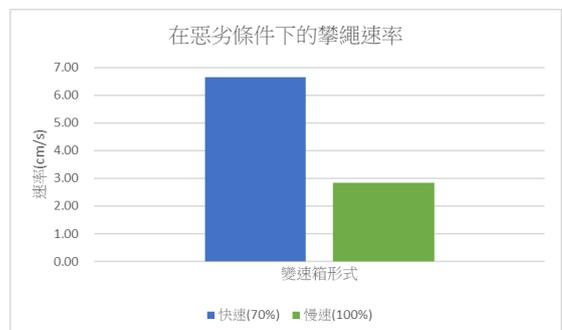


【實驗數據】

齒輪箱類型(攀繩成功率)	快速(70%)					慢速(100%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	13.58	16.64	14.57	15.44	14.87	35.92	36.11	34.21	35.74	33.68
速率(cm/s)	6.66					2.85				

【觀察記錄】

- (1) 攀繩過程中，繩位移多大於 4 格，顯示在爬坡穩定性，前視角方向則超過左右超過 8cm。
- (2) 快速變速箱機型多次落下。
- (3) 慢速變速箱機型也有數次快落下時，恰好手鉤住救回。



(二)研究 4-2 攀繩猴的實際投入救災的負重極限

此研究則模擬攀繩猴的實際投入救災時，會面臨的複雜狀況。我們設定需要攀繩 25° 上坡、同時又必須負重的複合情況。我們選用兩種變速箱、兩項繩種、三個繩張力等級，總共十二種複合變因的攀繩猴，測試其攀繩成功率，以及最快五次時間。同時觀察前視角方向、水平方向穩定度。

【實驗數據】

各種組合的攀繩上坡25° 效果									
齒輪箱	攀繩種類	張力	攀繩成功率	次數1	次數2	次數3	次數4	次數5	備註
快速	麻繩打結	<200gw	10%						
		400~600gw	30%						
		>1000gw	60%	33.54	32.67	31.05	34.73	30.08	最穩定
	尼龍繩	<200gw	0%						
		400~600gw	40%						
		>1000gw	60%	29.55	31.5	32.07	30.98	32.64	
慢速	麻繩打結	<200gw	30%						
		400~600gw	70%	56.07	55.76	56.78	58.9	61.52	
		>1000gw	90%	51.37	50.06	51.48	49.98	53.6	最穩定/繩體稍受損
	尼龍繩	<200gw	0%						
		400~600gw	80%	56.43	59.72	54.06	59.1	57.25	
		>1000gw	80%	52.05	51.32	53.09	51.62	54.22	

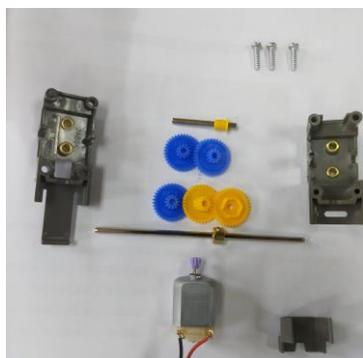
(三)研究 4-3 「攀繩猴 2.0」的改良製作

此研究是根據市賽評審所提出的建議，並考量我們在學校研究的材料限制，使用市面上可購得的齒輪箱改造作品，且以樹脂強化手臂結構，試著將其負重爬坡能力翻倍提升。改造重點如下：

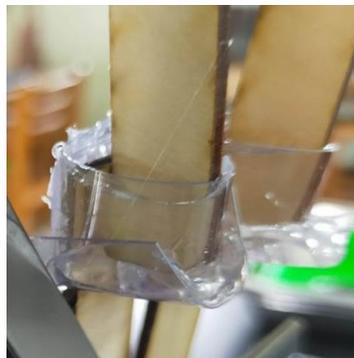
(1) 以市售齒輪盒(TAMIYA 齒輪箱)替換原有齒輪盒

我們挑選 TAMIYA 齒輪箱(70167, 4speed Single Gearbox,如圖 4-9)，作為代替 powertech 齒輪箱的選擇。主要除了驅動軸需要進行切短之外，其餘的部件與電源供應都與我們原先的攀繩猴機械獸能相吻合。此外，若使用其 4 速中最慢速設定(344.2:1 gear ratio)，預期可產生更大扭矩。

(2) 但當我們測試更大扭力的齒輪盒來負重更多時，手臂的部分可以說已經無法承重而於接合處有斷裂情形，於是我們嘗試以熱熔膠、AB 膠以及保利膠強化手臂關節接合處(如圖 4-10)，發現以保利膠效果較佳，手臂接合處承重效果最好。



▲圖 4-9 TAMIYA 齒輪箱 70167



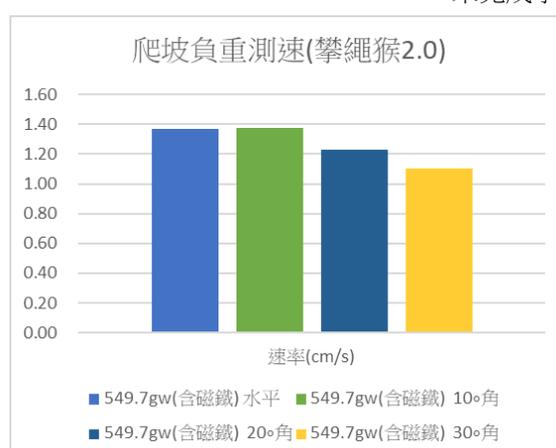
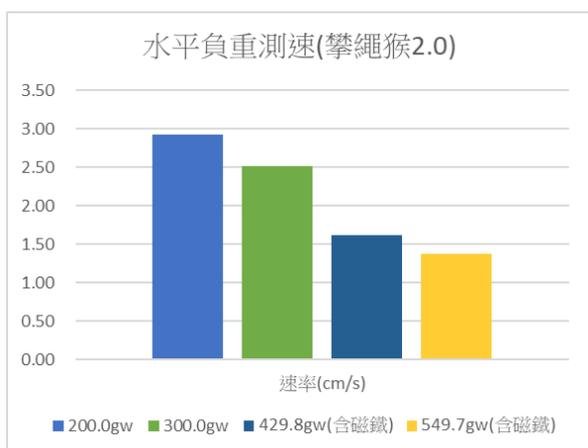
▲圖 4-10 保利膠強化手臂接合

【實驗數據】

負重	200.0gw					300.0gw					429.8gw(含磁鐵)					549.7gw(含磁鐵)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	36.12	33.42	38.1	32.94	30.66	40.12	39.67	41.02	39.42	39.01	61.05	59.43	65.1	61.43	60.94	69.57	77.38	70.62	74.9	70.93
速率(cm/s)	2.92					2.51					1.62					1.38				

爬坡仰角	549.7gw(含磁鐵) 水平					549.7gw(含磁鐵) 10° 角					549.7gw(含磁鐵) 20° 角					549.7gw(含磁鐵) 30° 角				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	69.57	77.38	72.16	74.9	70.93	73.01	72.49	75.62	70.64	71.38	83.07	79.68	77.64	85.22	82.09	90.22	89.55	89.63	*	92.38
速率(cm/s)	1.37					1.38					1.23					1.11				

*未完成攀繩



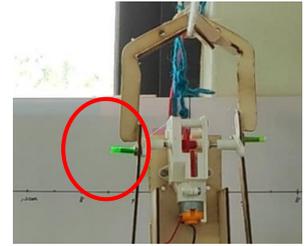
【觀察記錄】

- (1) 攀繩過程中，繩左右位移多小於 2，顯示在負重狀況下攀繩均相當穩定。
- (2) 水平攀行與 10° 爬坡速率相近；30° 爬坡則較以往獲得較高成功率(80%)。

伍、討論

一、研究 1-1 中，一開始攀繩猴無法順利攀行，且有卡手的狀況。

可能在於單手承受整個機體重量時，同時承受向上的繩彈力，加上整個手臂結構有兩個接點，其中一個活動式螺帽，就是

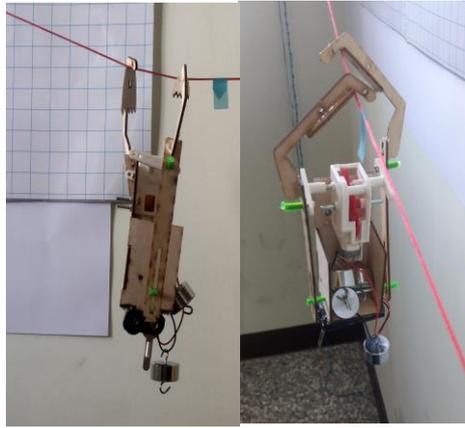


讓手越來越開的關鍵。所以除了每次攀繩都需注意調整，另外兩個曲柄滑塊連手臂的組合，在一開始各向中心鉛直線方向內壓 5 度角，即可提升攀繩成功率。

二、在研究目的二的機身優化設計改良，臂展構型雖然與速度相關，但比較數據後，可以發現差距不明顯，反而是在攀繩成功率及穩定度方面差距較大。分析錄影結果，**長臂展型**除了**具備較長的跨距**，在相同時間內位移較大之外，還可看出它也**相對穩定**。這可能是長臂展使得整個機體重心略為下移。至於重心因素的研究，亦與速率正相關但差距不明顯。使用的重心變因「電池盒」，實測重量 52gw，佔機體本身(124gw)重量 42%，未達機體重一半，可能是影響不明顯主因。

三、慢速機型在兩種模擬惡劣狀況中的表現突出。無論在研究 4-1，攀繩成功率 100%，或配合打結麻繩，獲得負重且同時 25° 上坡最佳成功率。若排除速率的考量，**慢速機型實為穩定的攀繩猴構型**。原因可能是在相同馬達輸出下，**慢速機型輸出扭矩較大**，提供穩定大扭力的表現。

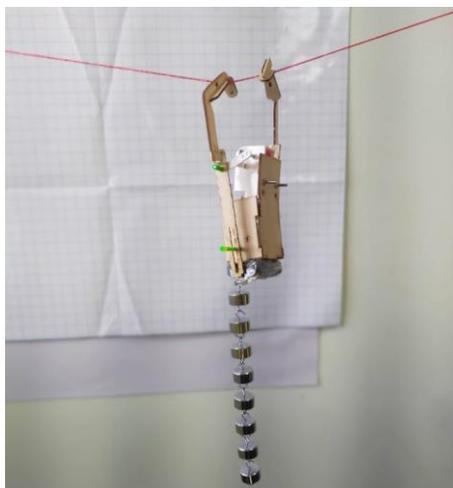
四、攀繩猴在極端惡劣環境的實驗，其中最大負重 195.6gw，機體本身重量(124gw)**負重體重比達到 158%**。而且，在 30° 攀繩上坡也有成功完成 100cm 攀行的紀錄。(如圖 5-1)這其中除了機體本身因素，也要考慮繩張力。因為這部分測試，繩張力均已超過 1000gw，相比平常的測試，我們大概都控制在 800gw，當然一部分也得考慮負重帶來相加成的效應，所以當**繩張力超過 1000gw，加上負重及重心更下移，攀繩運動更穩定**。這時只要馬達能負荷，也就有機會完成攀行。



▲圖 5-1 負重 4 顆砝碼攀上 30° 上坡的攀繩猴

五、歷經科展市賽評審指導的「攀繩猴 2.0」，在強化手臂、置換新的齒輪盒後，展現出其更加的性能。其中最大負重 549.7.gw，機體本身重量(133.1gw)負重體重比已達到 413%。而且，在 30° 攀繩上坡也成功完成 100cm 攀行，成功率 80%。

原本我們的實驗是將砝碼一個一個往下掛，作為改變攀繩負重的變因控制，不過這將把攀繩猴的整體重心更下移，雖然攀繩運動明顯更穩定，水平方向位移也都小於 2 格(如圖 5-2)，但是這顯然成為研究 4-3 的另一個變因，因此我們最後在砝碼超過 6 顆時，仍以磁鐵幫助穩定載重。



▲圖 5-2 以懸掛方式吊 400gw 砝碼

陸、結論

一、依本研究結果所獲之結論

- (一)、由研究一可知，要讓總重 124gw 左右的攀繩猴，並非只要選擇使用適當的攀繩種類，就能讓其攀繩前進。因為最關鍵的因素，是繩張力的大小。當繩張力低於 100gw 以下，甚至會讓攀繩猴無法前進，攀繩失敗率大增；反之，繩張力在 600gw 以上，穩定度大為增加。繩張力也和平行移動速率呈正相關，但超過 800gw 後影響就不明顯。
- (二)、總重 124gw 左右的攀繩猴，若在「臂展型式」、「齒輪箱速度」、「重心配置」三個變因中調整，進行機身優化設計改良，則以長臂展型式、低重心配置為佳，至於齒輪箱型式，則應看用途。若為競速用，使用高速齒輪箱機型；若為穩定或負重攀爬，使用慢速齒輪箱機型。超高速齒輪箱型式則不適合攀繩猴的使用。
- (三)、惡劣環境模擬的「攀繩左右位移最大 8cm」的設定條件，確實會減慢攀行速度(兩種機型都有受到影響)，且降低了快速機型的攀繩成功率但對於慢速機型的攀繩成功率，則沒有影響。
- (四)、在負重攀繩上坡的情況下，「齒輪箱型式」、「繩張力」為重要影響因素。在單純考量攀繩成功率來看，「慢速機型」加上「更大的繩張力」是負重爬坡的必要條件。
- (五)、綜合研究 2-1~研究 3-2，我們此次所製作的仿生機械「攀繩猴」，其各項運動極限數據為：極速：12.97cm/s【快速機型】
負重體重比：158%【慢速機型】
最大爬坡角度：25%【慢速機型】
- (六)、研究 4-3 中，我們改良製作的仿生機械「攀繩猴 2.0」，負重運動的極限數據為：
負重體重比：413% 最大爬坡角度：30° 攀行速率：1.11cm/s

二、未來進一步研究方向

- (一)、實驗初期單純使用 PowerTech 材料包，做出可以攀繩移動的攀繩運具，甚至在原型機的設計初期，除了必要之外，我們只用手工具，例如手搖鑽、線鋸、熱熔槍即完成原型機的製作。至於三代機不管在結構或攀行穩定上已經非常成熟，希望「攀繩

猴」在未來青少年科技創作競賽有機會可以成為競賽機型，讓參賽同學發揮更多創意。

(二)、這次的研究，攝影的影像檔幫助我們了解到攀升猴移動的穩定性。原本我們希望使用常見的 tracker 軟體進行運動軌跡分析，更可以清楚定量描述。不過，試驗了兩三次後，發現攀繩猴的機體對於 tracker 來說似乎太過複雜，不容易追蹤到特定的固定點；還有應該標記在機體的哪個部位(手部？齒輪箱？或是電池盒？)才算標準，都讓我們放棄了數位化、量化去處理穩定度的問題，這是比較可惜之處，希望之後的研究能在這方面在深入鑽研。

(三)、研究 4-2 中，攀繩猴在極端惡劣環境的攀行負重能力佳，未來透過實體放大、3D 列印素材、齒輪箱的放大與輕量化，或許成為山區救難運具不是夢。到時候可能需要更多的變因加入研究，例如「攀繩的長度與攀行穩定度」、「攀繩下坡的可行性」等。

柒、參考文獻資料

一、國中科技七下(2020)。第四章、機構與結構。翰林出版

二、進擊的萬獸—萬獸的終極奧義(2017)。第 57 屆全國中小學科展作品

三、鰭門遁水—仿生魚鰭於船隻航行上的應用與探究(2021)。第 61 屆全國中小學科展作品。

四、終極目標-萬獸之王_曲軸、連桿、後腳組合的探討(2006)。第 46 屆全國中小學科展作品。

五、熊谷英樹(2018)。「機巧裝置」機構設計應用圖典：從零開始也能實踐簡易自動化。財團法人中衛發展中心。

六、鮑伯·凱托維奇(2021)。自己做機器人圖解實作書：5 大類用途 X20 種機器人，從零開始成為機器人創客。采實文化。

六、PowerTech 動手做 STEAM

<http://isteam.cdda.org.tw/Client/home>

七、Welcome to PowerTech 創意機構設計學習網

http://pmcl.mt.ntnu.edu.tw/Flan/powertech_index.html

八、往復滑塊曲柄機構

<https://www.youtube.com/watch?v=BpCGPlcog4Q>

【評語】 032917

本作品利用 powertech 材料包發展出攀繩猴的設計與實作，嘗試各種變因如攀繩的材料種類、繩張力、重心配置、攀繩猴的臂展長度、齒輪箱的變速齒比等對攀繩猴的競速、爬坡及負重能力的影響。本作品的各項實驗設計合理且實驗數據豐富，參賽同學從失敗中的經驗學習，測試臂長、齒輪箱轉速和機身重心等因素找出最適組合進行上坡與負重能力的測試，並為了應用在救災作模擬性的測試，具有探究精神。建議可更全面分析長臂猿靈活攀爬的機制(如手腕曲度)，設計更穩定安全的救難工具。

作品海報



「攀繩猴」——

山區救難運具的可行性



壹、前言

在學校的生活科技課裡，老師以 powertech 材料包教我們製作各種機械獸，我們也曾製作出「蟲蟲危機」、「萬獸之王」等各項不同機型參加生活科技創作競賽。後來在偶然的機會，看到生態影片中，長臂猿在樹林間藉著靈活的手臂，巧妙而迅速地運用樹枝或樹藤攀爬而過。這讓我們有了以下的想法：是否可以用我們熟悉的 powertech 材料包，製作出一種仿生猴機械獸，讓機械獸不只用腳移動，也可以用手攀繩前進呢？

探討過相關文獻之後，我們設定的本研究的研究目的如右列所示：

- (一)、嘗試以 powertech 材料包，設計製作出像猴子一樣攀繩移動的機械獸「攀繩猴」。
- (二)、攀繩猴機身結構的優化設計改良。
- (三)、測試攀繩猴各項攀繩移動極限
- (四)、攀繩猴作為山區運送補給、救難的可能。



▲圖 1-1 PowerTech 材料包

▲圖 1-2 攀附於樹枝的長臂猿

貳、研究設備器材及軟體

研究設備與器材					
PowerTech 材料包	手工線鋸	捲尺	對開方格紙	2mm 密集板	手搖鑽
雷切機	墊木	尼龍線、棉線	白色壁報紙	DV 攝影機	碼表
筆記型電腦	游標尺	50 克砝碼組	工具箱	可伸縮式繩固定器	量角器
彈簧秤 1000kgw	鹼性電池 1.5V	相機			
研究使用的電腦軟體					
Adobe Illustrator	tracker				

參、研究過程或方法

一、研究方法

(一)攀繩的材料、規格選定

我們以攀繩猴三代機實際測試十種攀繩材質，發現較粗的童軍繩效果不佳，扁平的尼龍束口繩則過於平滑，中國結線及尼龍束口繩較缺乏彈性，不利於後續繩張力變因實驗。後續我們選用各種材質約 2~3mm，以 <100gw 繩張力，水平攀繩成功率 50% 以上(攀繩 60cm, 10 次至少成功 5 次，不限時)，作為攀繩挑選依據。

▼表 3-1 攀繩材質測試結果(綠色部分為後續實驗使用攀繩材質)

繩種	童軍繩	尼龍束口繩	尼龍繩	傘繩	玉線	童軍繩 (單股)	麻繩 3mm	麻繩打結	中國結線	棉線 3mm
攀繩成功率	—	—	70%	30%	40%	—	60%	50%	—	60%
備註	易卡住手臂	彈性差				易卡住手臂		略卡住手臂	彈性較差	

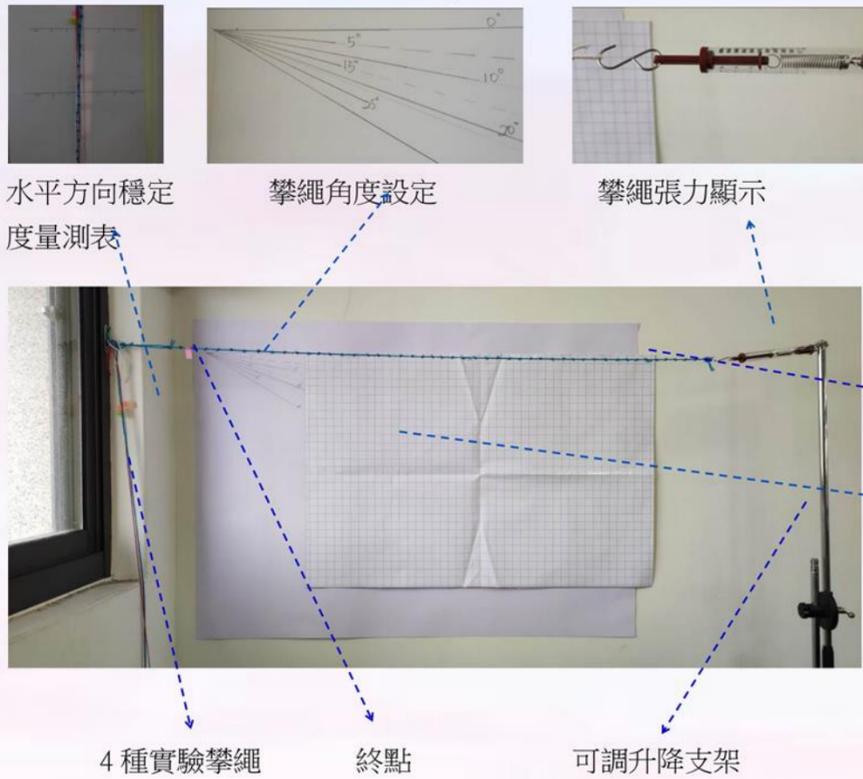
二、測量與紀錄

(一)實驗場地設定

依據我們想要測試的幾個不屬於攀繩猴機體結構變因，例如繩張力、攀繩種類以及攀繩角度等，我們設計出了如圖 4-3 的實驗場地，繩長起終點計 100cm，以方格紙浮貼於白紙後固定在背景牆上(若後續需要使用軌跡追蹤軟體時可拆掉方格紙)，主要攝影機及相機面向背景牆上，每次拍攝記錄當次運動狀況，同時藉由方格紙的標示也能快速了解該次攀繩猴垂直方向的穩定度。另外，垂直於背景牆上的另一面則貼上水平方向穩定度量測表，可觀察同時拍攝記錄水平方向的晃動程度(在研究 4-1 時特別需要)。

實驗開始進行後，由於不少次都由於攀行時機身不穩定而掉落，所以我們還在實驗場地底下加裝了泡棉防撞緩衝墊，避免每一次實驗有可能的掉落造成攀繩猴的損壞。

▼圖 3-2 實驗場地圖



(二)實驗測量記錄

我們讓每個具有不同變因的攀繩猴，在 100cm 的攀繩上水平前進，計算總共十次攀繩的成功率，也測量每趟所需時間，取五次時間最少者記錄下來，即可算出每趟攀型的水平運動速率。同時觀察錄影結果，記錄攀繩下垂的最低點(方格紙格位)，若有需要則觀測紀錄。

目的二

以 powertech 材料包，設計製作出可攀繩移動的機械獸(攀繩猴)

- 1-1 實際製作攀繩猴
- 1-2 繩張力對攀繩猴水平移動影響

目的三

攀繩猴機身結構的優化設計改良

- 2-1 臂展因素對於攀繩的影響
- 2-2 齒輪箱轉速對於攀繩的影響
- 2-3 重心因素對於攀繩的影響

目的四

- 攀繩猴作為實際運具的可行性
- 4-1 在惡劣條件下攀繩穩定性
- 4-2 攀繩猴的實際救災的負重極限
- 4-3 「攀繩猴 2.0」的改良製作

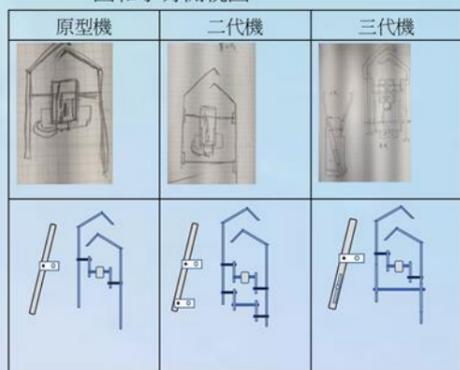
四、研究結果

一、以 PowerTech 材料包，製作出可攀繩移動的機械獸(攀繩猴)

(一)研究 1-1 實際製作攀繩猴

- 我們事先手繪設計圖稿，使用熟悉的 PowerTech 材料包，切割鑽孔，嘗試使用內附的齒輪箱和曲柄結構，藉由每一次的實作，慢慢修正一些不可行的結構，也用電腦繪出更精確的結構。
- 攀繩猴原型機曲柄帶動手臂無法做往復攀爬的動作，嘗試用雙曲柄的構型，打造第二代攀繩猴，但是結果不如預期。手臂的擺動順利，也能做往復運動，但實際在攀繩前進時，機體容易不穩甚至落下。
- 攀繩猴三代機，試攀繩成功率卻不太好(<50%)，後來藉由前視角度的觀察發現手臂勾繩處原設計的「八」型結構，理論上應該重疊，才能方便攀繩。但實際上單側手臂攀繩時即須承受整個機體重量，因此容易越攀手臂越開，導致攀繩失敗。調整方法為兩個曲柄滑塊連手臂在一開始各向中心鉛直線方向內壓 5 度角，且每次攀繩完都要進行手工微調檢測，才能確保攀繩成功率。

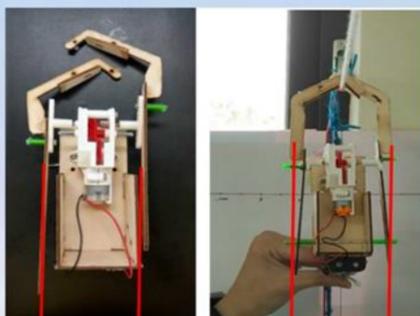
▼圖 4-1 各代攀繩猴的手繪概念設計圖稿及前視圖和手臂側視圖



▼圖 4-2 我們所實作的各代攀繩猴



▲圖 4-4 攀繩猴製作花絮



▲圖 4-3 調整手臂往內 5 度角

(二)研究 1-2 繩張力對於攀繩猴水平移動的影響

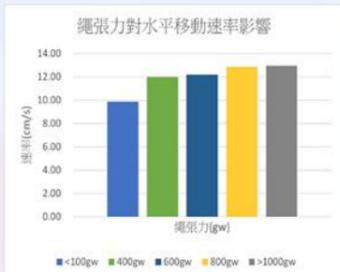
- 實驗剛開始時，攀繩猴的攀繩成功率頂多 60~70%，後來我們發現，繩子如果太過放鬆，情況會更差。所以我們開始加裝彈簧秤來定量繩子的張力，並使用研究 1-1 調整過後的同一攀繩猴三代機進行測試。

【實驗數據】

繩張力	<100gw					400gw					600gw					800gw					>1000gw				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	10.2	10.5	10.1	9.68		8.41	8.06	8.4	8.53	8.25	8.46	8.55	8.01	7.92	8.03	7.56	7.98	8.01	7.88	7.46	7.84	7.75	7.63	7.88	7.46
速率 (cm/s)	9.87					12.00					12.20					12.86					12.97				

【觀察紀錄】

- 繩張力<100gw 時，繩位移顯示 3 格以上，相當不穩定；>400gw 以上，繩位移小於 2 格。
- 前視角也顯示繩張力<100gw 時，左右擺盪情形明顯。



二、攀繩猴機身結構的優化設計改良

(一)研究 2-1 臂展因素對於攀繩的影響

我們最想要了解，長臂猿能靈活攀附，快速移動，一定是因為牠的手臂。所以我們設計了三種短、中、長臂展型。短臂型：上下臂皆短；中臂型：上臂短下臂長；長臂型：上臂長下臂長。輪流拆裝於同一攀繩猴上進行測試。(測試條件：800gw 繩拉力，搭配尼龍繩)



▲圖 4-5 攀繩猴手臂設計(AI 繪圖)，分別為中、短、長臂展型(左)

【實驗數據】

攀繩仰角 (攀繩成功率)	短臂展型(60%)					中臂展型(90%)					長臂展型(90%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	8.8	8.51	9.22	9.08	8.16	8.44	8.25	8.34	8.59	9.01	8.78	7.98	8.43	8.25	7.93
速率 (cm/s)	11.42					11.73					12.09				

【觀察紀錄】

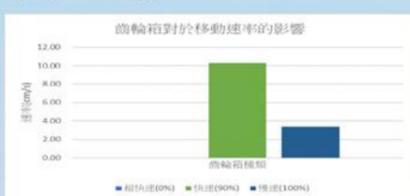
短臂展型一開始並無法順利攀繩，常常卡住，不只卡住繩子，也卡住自己的手。所以後來我們費了很多時間調整，仍偶有卡住的狀況。(未計入攀繩失敗)

繩位移小於 2 格，攀繩穩定；前視角觀察短臂展型左右晃動較不穩，另外兩個配置則差異不大。

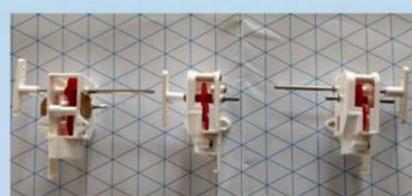
(二)研究 2-2 齒輪箱轉速對於攀繩的影響

實際以 PowerTech 齒輪箱製作出快、中、慢速的齒輪箱，輪流拆裝於同一攀繩猴上進行測試。(測試條件：800gw 繩拉力，搭配尼龍繩)

【實驗數據】



▼圖 4-6 攀繩猴的三種齒輪箱測試



齒輪箱類型(成功率)	快速(70%)					慢速(100%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	13.58	16.64	14.57	15.44	14.87	35.92	36.11	34.21	35.74	33.68
速率 (cm/s)	6.66					2.85				

【觀察紀錄】

- 令人意外的，超快速齒輪箱雖然可以讓手臂快速往復移動，但一掛上去啟動時因手臂過快，使扯繩力道大，立刻掉落失敗。繩位移顯示 4 格以上，相當不穩定。
- 前視角因左右擺盪快速劇烈隨即落下，無法觀測

(三)研究 2-3 重心因素對於攀繩的影響

另一種我們認為長臂猿可以攀繩快速移動的秘密，就是感覺牠重心在比較底下，像是用「盪」、「甩」的方式把下半身重心挪移過去。所以我們將電池盒鎖在三種不同位置(低、中、高)，改變攀繩猴機體重心。

【實驗數據】



▲圖 4-7 以電池盒改變攀繩猴的重心配置

重心(成功率)	低(100%)					中(80%)					高(70%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	9.06	9.82	9.65	9.53	9.67	9.89	9.77	9.52	9.66	9.78	9.93	9.76	9.49	10.12	9.98
速率 (cm/s)	10.48					10.28					10.15				

【觀察紀錄】

- 三種低、中、高重心配置，繩位移小於 3 格。高重心配置較不穩。
- 前視角觀察高重心配置左右晃動較不穩，另外兩個配置則差異不大。

三、測試攀繩猴各項運動極限

(一)研究 3-1 攀繩猴的攀繩上坡能力

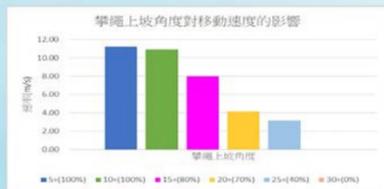
採用「麻繩打結」作為攀繩材料，攀繩猴採用長臂展型、快速變速箱。(測試條件：800gw 繩拉力)【實驗數據】

攀繩仰角(攀繩成功率)	5° (100%)					10° (100%)					15° (80%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	9.88	8.56	8.75	8.44	9.02	9.63	8.96	8.89	8.59	9.78	11.63	12.36	12.9	12.84	13.07
速率(cm/s)	11.20					10.91					7.96				

攀繩仰角(攀繩成功率)	20° (70%)					25° (40%)					30° (0%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	21.46	23.17	26.58	24.5	24.83	31.45	33.72	30.56	31.79						
速率(cm/s)	4.15					3.14									

【觀察記錄】

攀繩過程中，繩位移皆小於 2 格，顯示在爬坡的穩定性，前視角方向也是。



(二) 研究 3-2 攀繩猴的負重能力

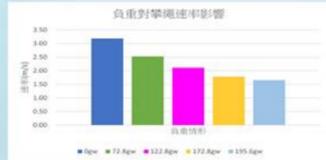
負重方式採砝碼 50gw 增加，另加小強力磁鐵(22.8gw)幫助固定，也須計入負重。此次採用長臂展型、慢速變速箱。

【實驗數據】

負重	0gw					72.8gw					122.8gw					172.8gw					195.6gw				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	31.02	32.5	31.47	31.85	29.7	41.26	39.58	40.67	38.47	37.59	46.22	48.93	47.35	46.84	47.53	55.62	57.31	56.29	53.77	57.01	60.06	61.29	59.63	60.12	61.43
速率(cm/s)	3.19					2.53					2.11					1.79					1.65				

【觀察記錄】

負重越重，繩位移顯示格位差越多，前視角方向觀察非常穩定。



四、攀繩猴作為實際運具的可行性

(一)研究 4-1 攀繩猴在惡劣條件下攀繩穩定性(搖晃繩)

我們首先設定讓攀繩猴在惡劣環境中(繩索規律搖晃，每 2 秒 1 次，前視角方向，彈簧秤張力保持於 400~800gw)，直線攀繩前進。機型：長臂展型、快速/慢速變速箱。

【實驗數據】

齒輪箱類型(攀繩成功率)	快速(70%)					慢速(100%)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	13.58	16.64	14.57	15.44	14.87	35.92	36.11	34.21	35.74	33.68
速率(cm/s)	6.66					2.85				

【觀察記錄】

- (1)攀繩過程中，繩位移多於 4 格，顯示在爬坡穩定性，前視角方向則超過左右超過 8cm。
- (2)快速變速箱機型多次落下。
- (3)慢速變速箱機型也有數次快落下時，恰好手鉤住救回。

▼圖 4-8 模擬繩索規律搖晃俯

視圖(左右方向)



(二)研究 4-2 攀繩猴的實際投入救災的負重極限

各種組合的攀繩上坡25° 效果										
齒輪箱	攀繩種類	張力	攀繩成功率	次數1	次數2	次數3	次數4	次數5	備註	
快速	麻繩打結	<200gw	10%							
		400-600gw	30%							
		>1000gw	60%	33.54	32.67	31.05	34.73	30.08	最穩定	
尼龍繩	<200gw	0%								
	400-600gw	40%								
	>1000gw	60%	29.55	31.5	32.07	30.98	32.64			
慢速	麻繩打結	<200gw	30%							
		400-600gw	70%	56.07	55.76	56.78	58.9	61.52		
		>1000gw	90%	51.37	50.06	51.48	49.98	53.6	最穩定/繩體稍受損	
尼龍繩	<200gw	0%								
	400-600gw	80%	56.43	59.72	54.06	59.1	57.25			
	>1000gw	80%	52.05	51.32	53.09	51.62	54.22			

(三)研究 4-3 「攀繩猴 2.0」的改良製作

此研究是根據市賽評審所提出的建議，改造重點如下：以 TAMIYA 齒輪箱替換原有齒輪盒，以及手臂結構強化。

負重	200gw					300gw					429.8gw(含磁鐵)					549.7gw(含磁鐵)				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	36.12	33.42	38.1	32.94	30.66	40.12	39.67	41.02	39.42	39.01	61.05	59.43	65.1	61.43	60.94	69.57	77.38	70.62	74.9	70.93
速率(cm/s)	2.92					2.51					1.62					1.38				
爬坡仰角	549.7gw(含磁鐵) 水平					549.7gw(含磁鐵) 10° 角					549.7gw(含磁鐵) 20° 角					549.7gw(含磁鐵) 30° 角				
次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
時間	69.57	77.38	72.16	74.9	70.93	73.01	72.49	75.62	70.64	71.38	83.07	79.68	77.64	85.22	82.09	90.22	89.55	89.63	*	92.38
速率(cm/s)	1.37					1.38					1.23					1.11				

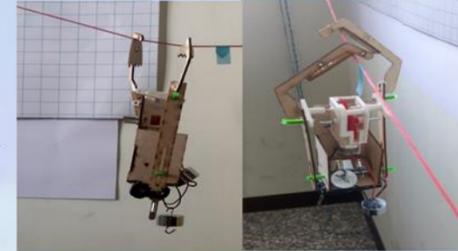
【觀察記錄】

攀繩過程中，繩左右位移多小於 2，顯示負重下相當穩定。水平與 10° 爬坡速率相近；30° 爬坡則獲得較高成功率。

伍、討論

- 一、研究 1-1 中，一開始攀繩猴無法順利攀行，且有卡手的狀況。可能在於單手承受整個機體重量時，同時承受向上的繩彈力，加上整個手臂結構有兩個接點，其中一個活動式螺帽，就是讓手越來越開的關鍵。所以除了每次攀繩都需注意調整，另外兩個曲柄滑塊連手臂的組合，在一開始各向中心鉛直線方向內壓 5 度角，即可提升攀繩成功率。
- 二、在研究目的二的機身優化設計改良，臂展構型雖然與速度相關，但比較數據後，可以發現差距不明顯，反而是在攀繩成功率及穩定度方面差距較大。分析錄影結果，長臂展型除了具備較長的跨距，在相同時間內位移較大之外，還可看出它也相對穩定。這可能是長臂展使得整個機體重心略為下移。至於重心因素的研究，亦與速率正相關但差距不明顯。使用的重心變因「電池盒」，實測重量 52gw，佔機體本身(124gw)重量 42%，未達機體重一半，可能是影響不明顯主因。
- 三、慢速機型在兩種模擬惡劣狀況中的表現突出。無論在研究 4-1，攀繩成功率 100%，或配合打結麻繩，獲得負重且同時 25° 上坡最佳成功率。若排除速率的考量，慢速機型實為穩定的攀繩猴構型。原因可能是在相同馬達輸出下，慢速機型輸出扭矩較大，提供穩定大扭力的表現。
- 四、攀繩猴在極端惡劣環境的實驗，其中最大負重 195.6gw，機體本身重量(124gw)，負重體重比達到 158%。而且，在 30° 攀繩上坡也有成功完成 100cm 攀行的紀錄。(如圖 4-6)這其中除了機體本身因素，也要考慮繩張力。因為這部分測試，繩張力均已超過 1000gw，相比平常的測試，我們大概都控制在 800gw，當然一部分也得考慮負重帶來相加成的效應，所以繩張力超過 1000gw，加上負重及重心更下移，攀繩運動更穩定。

▼圖 5-1 負重 4 顆砝碼攀上 30° 上坡的攀繩猴



陸、結論

一、依本研究結果所獲之結論

- (一)、由研究一可知，要讓總重 142gw 左右的攀繩猴，並非只要選擇使用適當的攀繩種類，就能讓其攀繩前進。因為最關鍵的因素，是繩張力的大小。當繩張力低於 100gw 以下，甚至會讓攀繩猴無法前進，攀繩失敗率大增；反之，繩張力在 600gw 以上，穩定度大為增加。繩張力也和平行移動速率呈正相關，但超過 800gw 後影響就不明顯。
- (二)、總重 142gw 左右的攀繩猴，若在「臂展型式」、「齒輪箱速度」、「重心配置」三個變因中調整，進行機身優化設計改良，則以長臂展型式、低重心配置為佳，至於齒輪箱型式，則應看用途。若為競速用，使用高速齒輪箱機型；若為穩定或負重攀爬，使用慢速齒輪箱機型。超高速齒輪箱型式則不適合攀繩猴的使用。
- (三)、惡劣環境模擬的「攀繩左右位移最大 8cm」的設定條件，確實會減慢攀行速度(兩種機型都有)，且降低了快速機型的攀繩成功率但對於慢速機型的攀繩成功率，則沒有影響。
- (四)、在負重攀繩上坡的情況下，「齒輪箱型式」、「繩張力」為重要影響因素。在單純考量攀繩成功率來看，「慢速機型」加上「更大的繩張力」是負重爬坡的必要條件。
- (五)、綜合研究 2-1~研究 3-2，我們此次所製作的仿生機械「攀繩猴」，其各項運動極限數據為：
※極速：12.97cm/s【快速機型】 ※負重體重比：158%【慢速機型】 ※最大爬坡角度：25 度【慢速機型】
「攀繩猴 2.0」：※最大負重 549.7.gw，負重體重比：413% ※最大爬坡角度：30 度(爬坡成功率 80%)。

二、未來進一步研究方向

- (一)、我們這次單純使用 PowerTech 材料包，做出可以攀繩移動的攀繩運具，甚至在原型機的設計初期，除了必要之外，我們只用手工具，例如手搖鑽、線鋸、熱熔槍即完成原型機的製作。至於三代機不管在結構或攀行穩定上已經非常成熟，希望「攀繩猴」在未來青少年科技創作競賽有機會可以成為競賽機型，讓參賽同學發揮更多創意。
- (二)、這次的研究，攝影的影像檔幫助我們了解到攀升猴移動的穩定性。原本我們希望使用常見的 tracker 軟體進行運動軌跡分析，更可以清楚定量描述。不過，試驗了兩三次後，發現攀繩猴的機體對於 tracker 來說似乎太過複雜，不容易追蹤到特定的固定點；還有應該標記在機體的哪個部位(手部？齒輪箱？或是電池盒？)才算標準，都讓我們放棄了數位化、量化去處理穩定度的問題，這是比較可惜之處，希望之後的研究能在這方面在深入鑽研。
- (三)、攀繩猴在極端惡劣環境的攀行負重能力佳，未來透過實體放大、3D 列印素材、齒輪箱的輕量化，或許成為山區救難運具不是夢。到時候需要更多的變因加入研究，例如「攀繩的長度與攀行穩定度」、「攀繩下坡的可行性」等等。

捌、參考資料(詳如作品說明書)