

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)

082809

“鍬”援小英雄-仿生機器人在救援現場應用的  
研究

學校名稱： 高雄市楠梓區加昌國民小學

作者：  小六 陳奕勳  小六 張丞鈞	指導老師：  林羿君  林茲楣
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 仿生機器人、連桿機械、昆蟲足部構造

## 摘要

本研究使用仿生機器人來觀察在不同救援環境應用時之移動速度差異，透過機械結構之連桿原理進行機器人足部設計調整，以仿生鍬形蟲六足吸管機器人進行模擬實驗測試。經由研究結果得知這類型的機器人能快速平穩行走的最佳設計條件為：六隻腳結構、腳長分別為前足4cm、中足5.5cm、後足4cm時、足底材質為魔鬼氈或菜瓜布。另外，實驗中發現了適當的載重為40g時反而讓機器人移動速度也變快，為了驗證是因為足部摩擦力增加的關係，也另以無載重足部摩擦力實驗驗證了這個推論。我們又改造測試發現機器人的中後足裝上泳足時可在水中最快速移動，綜合以上研究我們成功達到了讓仿生鍬形蟲可以「從水中到陸地」與「從陸地到水中」都能穩定快速進行救援移動的目標。

## 壹、前言

### 一、研究動機

在進行地震教育演練之前發生了一次大地震，當時感覺地震對生活環境的影響真的很大，老師就介紹了許多與地震相關的救災影片，影片中我們看到救災機器人協助救援，機器人在崎嶇不平的環境中可以移動，真的好酷喔！此時我們想到了在四年級時，自然課中學習過關於昆蟲的構造，於是我們透過飼養鍬形蟲來觀察昆蟲六隻腳行走的樣子。昆蟲的六隻腳並不是左腳和右腳分別同時舉步，而是一邊舉起前足和後足，同時另一邊舉起中足，所以每跨出一步行走的足部都正好形成一個三角形來支撐昆蟲的身體前進，原來這樣可以使昆蟲移動得既快又穩。因此我們想是否能模仿昆蟲的足部構造來製作出機器人，並運用吸管作為昆蟲機器人的足部結構，觀察吸管機器人是否能模擬救災機器人，在不同的環境下快速移動發揮功能。

### 二、研究目的

以吸管作為機器人的足部結構，透過仿生昆蟲機器人進行各種條件的移動研究，希望可以透過實驗設計出最適當的仿生機器人，從「機器人为本體設計」包含不同足數、足部長度、泳足數，並以「機器人行走環境差異」包含不同陸面接觸面材質、陸面坡度、水面，觀察吸管機器人是否能像救災機器人一樣，在不同的環境下發揮功能，並且我們想知道機器人是否能在水中和陸地移動，達到在水中和陸地前進的模式。

規劃進行研究項目如下：

#### 1. 昆蟲足部功能的分析與連桿原理

2. 吸管機器人足部的數量和速度的關係
3. 吸管機器人足部的長短和速度的關係
4. 吸管機器人載重量和速度的關係
5. 吸管機器人足部摩擦力與移動速度的關係
6. 吸管機器人在不同材質面移動和速度的關係
7. 吸管機器人在不同坡度移動和速度的關係
8. 吸管機器人於水面以不同泳足數量和移動速度的關係
9. 吸管機器人水陸兩棲和移動速度的關係

### 三、文獻回顧

仿生機器人廣義來說是指應用自然界生物的機制與設計，如外形、材料、感測器種類與分佈、驅動器配置、運動控制方法及智慧等，使機器人能展現像生物一樣具有某些特定功能[1][2]。我們參考作品第55屆中小學科展作品「Theclimbingstrandbeest」[3]的探討，了解仿生機器人因為可以像動物一樣靈活適合各種地形，所以我們就以昆蟲仿生機器人來進行我們的研究。

我們參考了資訊咖網站所報導的 Nature 期刊介紹「Multi-environmentrobotictransitionthroughadaptivemorphogenesis[4]」文章，發現仿生機器人是可以在水陸兩棲的，所以希望我們的仿生機器人，也可達到在水中和陸地前進的模式。


## 貳、研究設備及器材

### 一、器材:

表1實驗材料及功用

編號	材料		功用
1	馬達		帶動機器人
2	吸管		製作機器人的腳
3	扣件		連接機器人的關節

4	吸管裁剪器		用來裁剪吸管長度
5	砝碼(10g)、螺帽(20g)		用來增加機器人的負重
6	砂紙、桌墊、塑膠墊、布、沙土		不同接觸面
7	厚紙板		用來製作坡度
8	超大量角器		用來測量坡度角度
9	珍珠板		用來當浮板增加機器人浮力和用來做機器人的泳足
10	碼表		計時

11	斜坡		模擬陸地，讓機器人可以從水中爬上陸地或由陸地進入到水中
----	----	--	-----------------------------

## 參、研究過程或方法

### 一、蒐集資料

藉由飼養锹形蟲和網路查詢，將昆蟲足部做分類。學習了解連桿作動原理及生活中應用的例子。

**想法1**：是否能運用生活中易取得的材料來製作機器人

### 二、設計實驗變因

**想法2**：吸管機器人在腳的數量、腳的長短、載重量[5]、足部摩擦力、不同材質面、不同坡度、是否真的會影響他的穩定度和行走速度

**想法3**：如何讓機器人可以下水並且在水中移動

**想法4**：觀察龍蟲的泳足，泳足在不同腳的位置是否會影響機器人在水中移動的速度

**想法5**：如何讓吸管機器人在水中和陸地前進。

### 三、研究架構

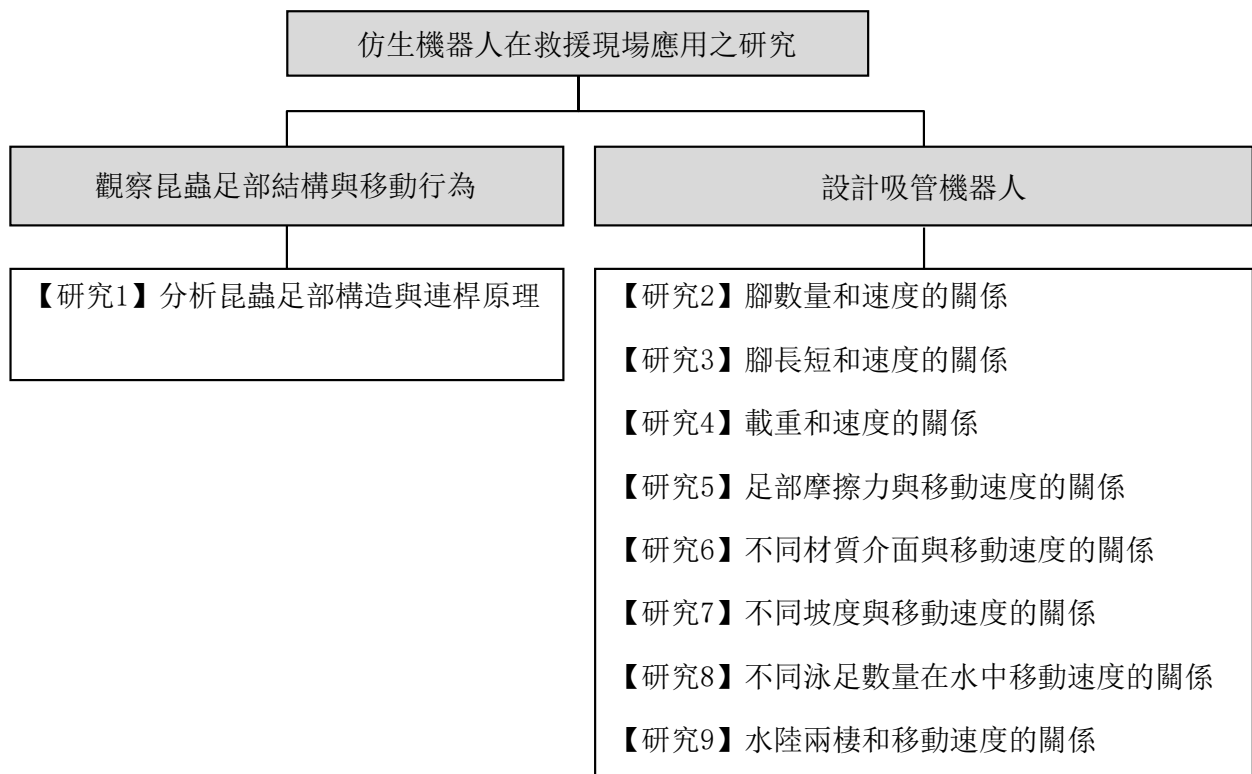


圖1 研究架構圖

#### 四、實驗步驟

1. 畫出連桿圖和吸管機器人設計圖並製作機器人
2. 放置在不同材質、坡度、載重和在水中移動
3. 設定距離 30cm
4. 啟動機器人
5. 用碼錶計時到達 30cm 所需要的時間
6. 各項實驗變因都測試 10次並求出平均速度。

#### 肆、研究結果

##### 【研究1】：昆蟲足部功能的分析與連桿原理

昆蟲雖然都是六隻腳，但每一隻的走路方式卻不一樣，功能也有所不同，所以我們找了六種昆蟲來分類並觀察足部結構，紀錄如下表2：

表2 昆蟲的分類[6]

特色昆蟲		足類	功能
鍬形蟲[7]		步行足	以走路與抓地功能為主
蝗蟲		跳躍足	後腳強而有力，擅長跳躍
螳螂		捕捉足	前面兩隻腳演化成鐮刀狀用來捕捉獵物
螻蛄		挖掘足	棲息在土裡，前腳特化成可挖掘土壤
龍虱		游泳足	生活在水中，後腳側扁如槳



蜜蜂		攜粉足	後腳有花粉囊可盛裝花蜜
----	---	-----	-------------

從表2得知，並不是每隻昆蟲的六隻腳都是一樣的，牠們會依照環境或是需求有著不同功能的足部構造。锹形蟲的六隻腳是以走路與抓地功能為主，而前、中、後足則是以三點式移動方式；蝗蟲後腳強而有力；螳螂主要是由四隻腳來行走，前面兩隻腳演化成鐮刀狀用來捕捉獵物；螻蛄棲息在土裡，前腳特化成可挖掘土壤；龍蟲生活在水中，後腳側扁如槳；蜜蜂後腳有花粉囊可盛裝花蜜。

圖2是我們學習瞭解了連桿作動原理後所繪製生活中有運用到連桿物品的連桿圖及我們運用連桿所設計的六足吸管機器人設計圖。

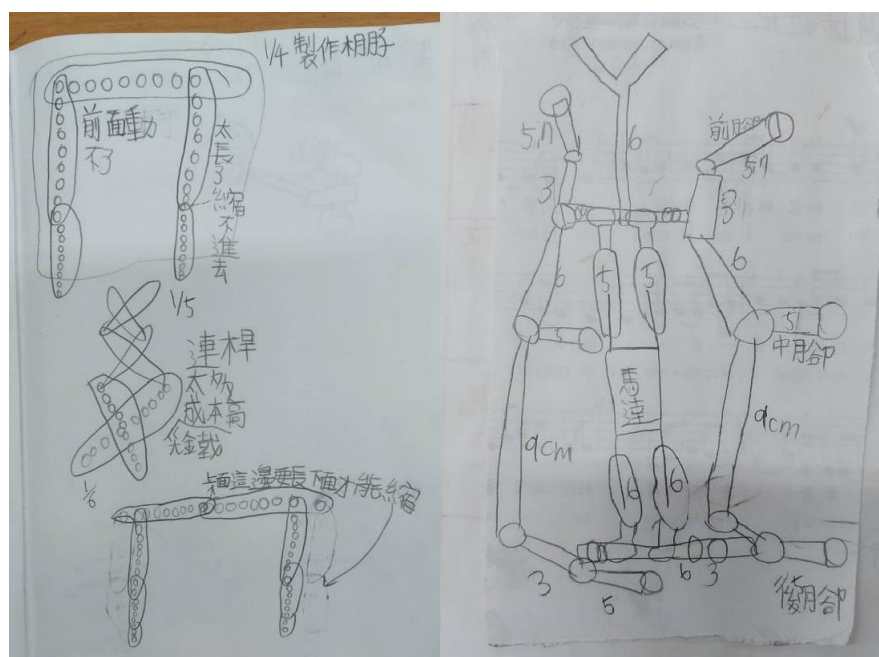


圖 2 了解連桿機構(左)與吸管機器人設計圖(右)

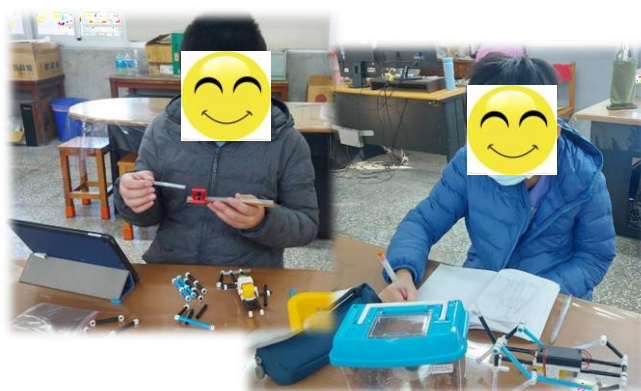
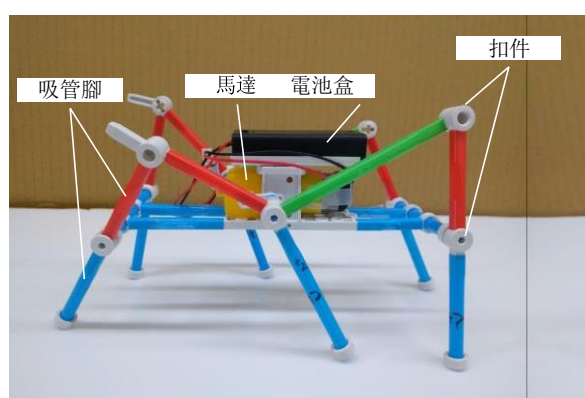


圖 3 吸管機器人組件說明及學生研究過程



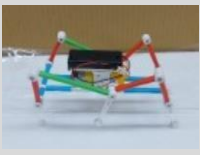
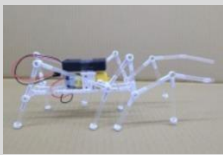
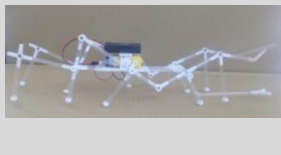
從昆蟲足部構造研究，我們發現可由機械結構[8]的連桿原理[9]進行如圖 2的仿生機器人設計，如圖 3「機器人的設計」可由腳長度、足數、泳足數和「機器人行走環境差異」包含不同陸面接觸面材質、陸面坡度、水面觀察研究找出最佳吸管機器人之設計。表格中紅色數值表示為該次實驗之最佳值，各表格後的第一段描述為最佳值的實驗條件與實驗結果，其他實驗數據的分析與討論說明於各表格的第二段文字中。

### 【研究2】腳數量和速度的關係

從表3及圖 4機器人在腳的數量和速度的關係研究中，從實驗結果發現腳的數量在6隻腳時，因為行走平穩，較能發揮連桿作用，所以移動速度最快，其速度為3.88cm/s。

機器人是2隻腳時，因為重心不穩無法站立進行測試。4隻腳時，機器人移動時會左右擺動幅度太大不穩定，而且造成移動路徑非直線是呈現彎曲的路徑，所以量測的速度只有1.66cm/s。8隻腳時速度為3.04cm/s，其速度僅次於6隻腳的機器人，因為8隻腳機器人行走平穩但多的2隻腳無連桿帶動，無法增加機器人移動的速度。10隻腳時速度為1.40cm/s是實驗中速度最慢，因為在10隻腳的時候，後腳是拖著走無法發揮連桿作用帶動機器人，只能依靠前腳拖行帶動機器人前進。

表3 腳數量和速度的關係表

腳的數量 (隻)					
第1次 (cm/sec)	無法站立 測試	1.65	3.91	3.13	1.35
第2次 (cm/sec)		1.61	3.68	3.03	1.40
第3次 (cm/sec)		1.67	3.87	2.94	1.43
第4次 (cm/sec)		1.68	3.85	2.97	1.37
第5次 (cm/sec)		1.67	3.94	3.16	1.45
第6次 (cm/sec)		1.67	3.84	3.02	1.40
第7次 (cm/sec)		1.66	4.17	2.91	1.37
第8次 (cm/sec)		1.68	3.89	3.14	1.43
第9次 (cm/sec)		1.59	3.86	3.13	1.40



腳的數量 (隻)	2	4	6	8	10
第10次 (cm/sec)	無法站立 測試	1.72	3.85	3.01	1.41
平均速度 (cm/sec)	-	1.66	3.88	3.04	1.40

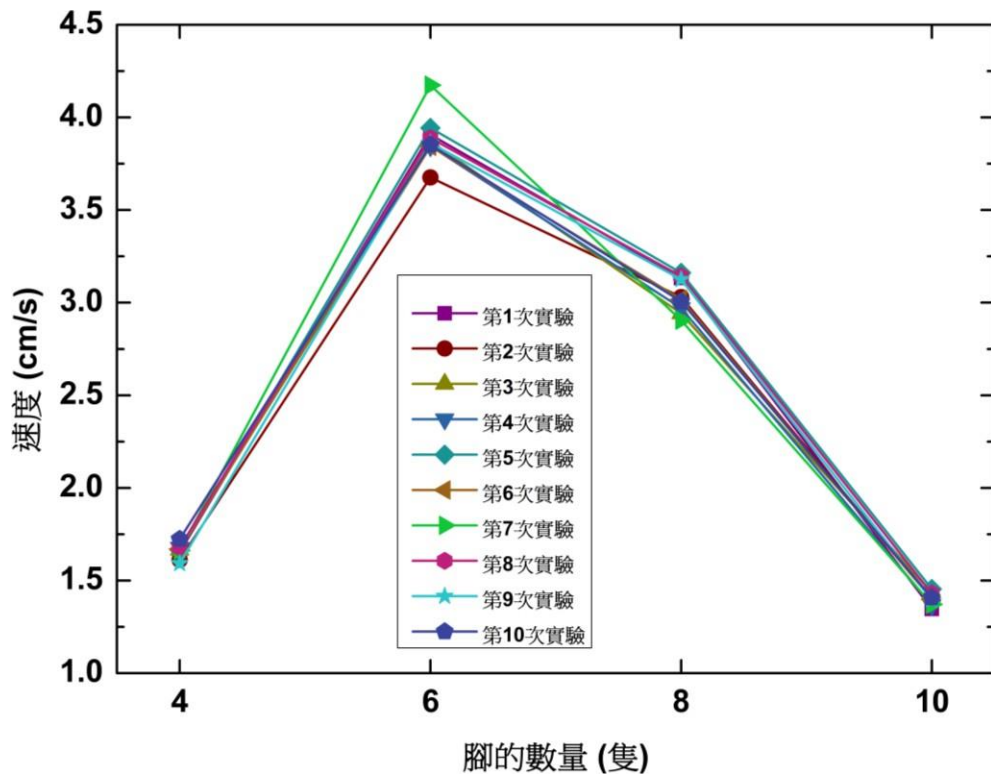


圖 4 腳數量和速度的關係折線圖

**【研究3】腳長短和速度的關係(使用研究2速度較快的腳的數量)**

從表4及圖5在腳的長短與速度的關係實驗中，機器人腳的原長(前足3cm，中足4.5cm，後足3cm)速度為3.88cm/s，發現機器人腳的長度減少1公分時，行走速度為3.68cm/s，二者移動的速度沒有明顯的差異。腳的長度增加1公分時行走速度明顯增加為4.40cm/s，我們發現腳的長度增加1公分時機器人行走比較穩定，因為不會左右搖擺所以移動速度最快。

當腳的長度增加為2公分、3公分時速度卻變慢為4.17cm/s和4.15cm/s，這是因為腳的長度太長，機器人的重心太高，讓機器人行走時會左右搖晃不穩定，造成移動速度變慢。再持續將腳的長度增加至4公分、5公分時，機器人起步就會左右劇烈搖晃，並且沒有移動多少距離就因為重心不穩倒下無法繼續行走完30公分。

表4 腳長短和速度的關係表

增/減 (+/-) 腳的長短 (cm)	2	1	+0(原長)	+1	+2	+3	+4	+5
第1次 (cm/sec)	馬達碰地，無法測試	3.59	3.91	4.44	3.92	4.36	重心不穩，易翻倒	重心不穩，易翻倒
第2次 (cm/sec)		3.78	3.68	4.64	4.15	3.86		
第3次 (cm/sec)		3.86	3.87	4.17	4.18	4.15		
第4次 (cm/sec)		3.69	3.85	4.48	4.03	4.23		
第5次 (cm/sec)		3.82	3.94	4.72	4.06	3.94		
第6次 (cm/sec)		3.70	3.84	4.37	4.60	4.26		
第7次 (cm/sec)		3.48	4.17	4.13	4.45	4.31		
第8次 (cm/sec)		3.64	3.89	4.30	4.00	4.51		
第9次 (cm/sec)		3.64	3.86	4.25	4.51	4.06		
第10次 (cm/sec)		3.59	3.85	4.61	3.97	3.96		
平均速度 (cm/sec)	-	3.68	3.88	4.40	4.17	4.15	-	-

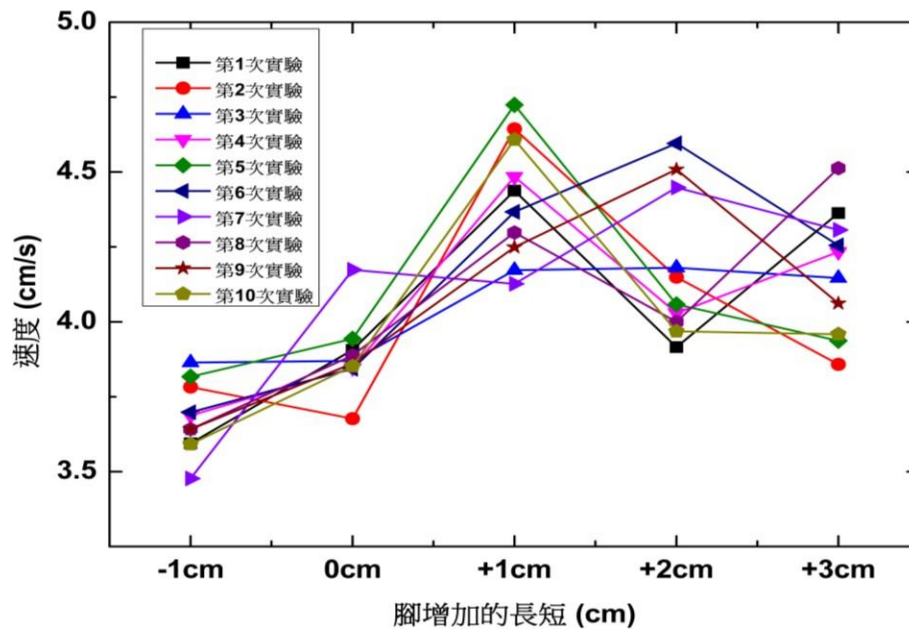


圖5 腳長短和速度的關係折線圖

【研究4】載重量和速度的關係(使用研究2速度較快的腳的數量)






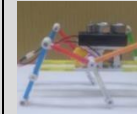
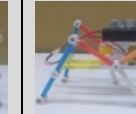
從表5及圖6、圖7機器人在載重和速度的關係研究中，我們從實驗可以發現兩個結果：

一、移動速度會依序從載重 0g、10g、20g、30g、40g 愈來愈快，推測應該是因為重量適當的下壓可使吸管腳向地面施力的穩定度增加，當此情形發生時移動速度就變快了，其中載重40g 時速度最快為 5.27cm/s。

二、當負載重量增加到了 50g 時，移動速度反而變慢為 4.84 cm/s。原以為負重從 40g 增加至 50g 時移動速度也會成正比的加快，卻沒有發生此情形，研究發現因為 50g 的重量對機器人負重太大了，也因為下壓力量過大導致吸管腳無法正常對地面下壓施力前進，所以移動速度反而開始下降。後續再增加到 60g 的實驗發現移動速度更慢，也驗證了上述分析結果應是正確的。

結論，由上面的實驗數據與分析，我們發現了一個現象0g~40g重量越重速度越快不符合常理，懷疑與摩擦力有關，於是設計研究5足部摩擦力與移動速度的關係實驗，來驗證我們的推測是否正確。

表5 載重量和速度的關係表

載重 (公克)	0 	10 	20 	30 	40 	50 	60 
第1次 (cm/sec)	4.44	4.81	5.10	5.03	5.49	4.68	4.48
第2次 (cm/sec)	4.64	4.72	4.93	5.15	4.99	4.52	4.65
第3次 (cm/sec)	4.17	4.80	4.85	4.62	5.19	4.64	4.70
第4次 (cm/sec)	4.48	4.67	4.84	5.08	5.21	4.96	4.75
第5次 (cm/sec)	4.72	4.75	4.73	5.47	5.43	4.85	4.79
第6次 (cm/sec)	4.37	4.89	4.63	5.32	5.73	4.75	5.03
第7次 (cm/sec)	4.13	4.74	4.88	5.39	5.02	4.99	4.92
第8次 (cm/sec)	4.30	4.95	5.02	5.02	5.25	5.09	5.16
第9次 (cm/sec)	4.25	4.65	4.61	4.98	5.28	5.03	5.03
第10次 (cm/sec)	4.61	4.80	4.90	4.91	5.22	5.00	4.48
平均 速度 (cm/sec)	4.40	4.78	4.84	5.08	5.27	4.84	4.79

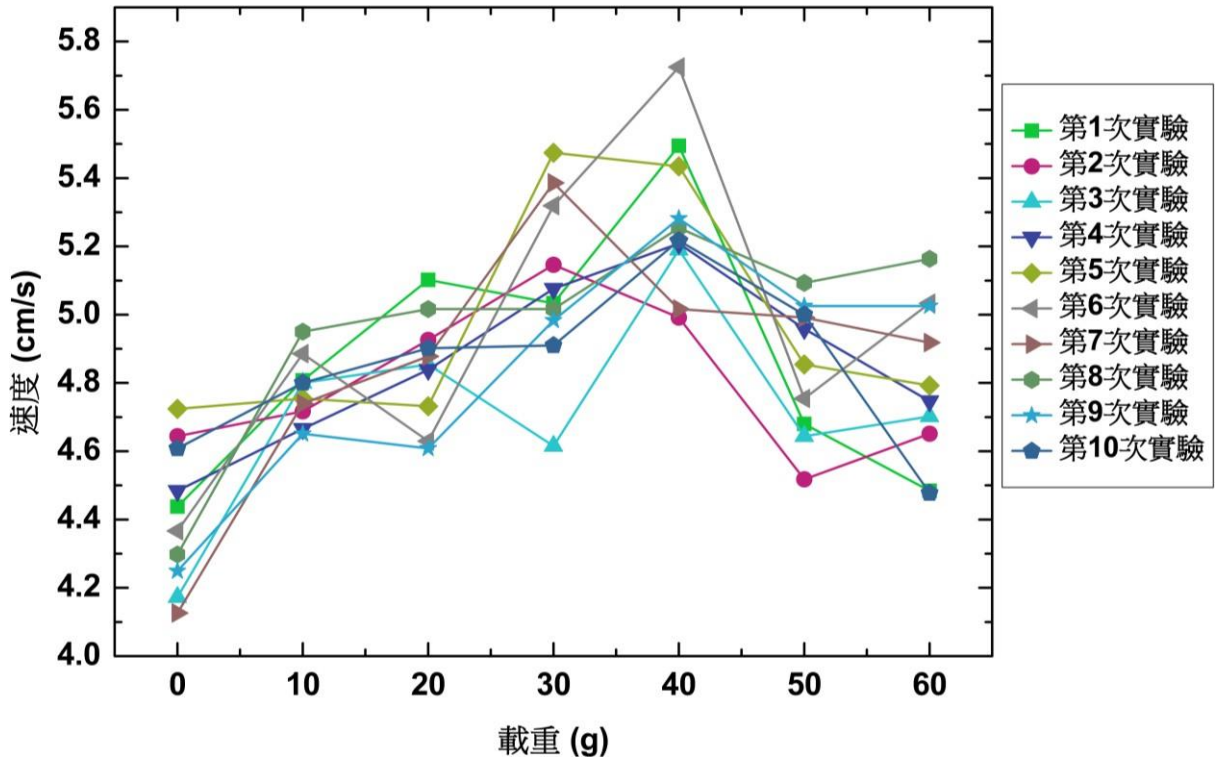


圖6 載重量和速度的關係折線圖

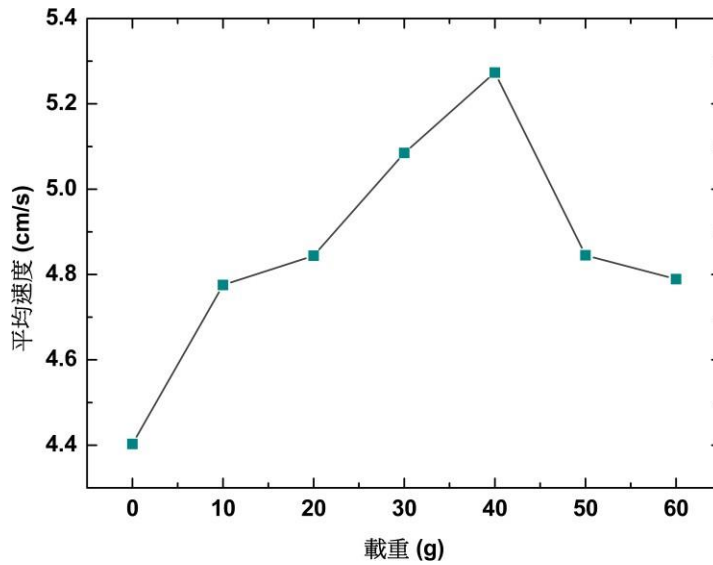


圖7 載重量和速度平均值的關係折線圖








### 【研究5】足部摩擦力與移動速度的關係

(使用研究2速度較快腳的數量和研究3較快的長度)

為了驗證研究4的推論，我們在足部加裝不同材質以改變足部的摩擦力，分為摩擦力大的為實驗組(魔鬼氈、菜瓜布、橡膠手套，鋼絲棉、砂紙)；摩擦力小為對照組(塑膠袋) 共兩組。

實驗中我們發現，足部加裝摩擦力小的材質時，移動速度確實比較慢，速度為4.28cm/s；足部加裝摩擦力大的材質時，移動速度為5.2cm/s到5.8cm/s，速度有加快的現象。此實驗可證明研究4載重0g~40g時，載重量增加讓移動速度加快，是因為重量下壓使腳與接觸面的面積變大摩擦力增加，產生向前的推力也變大，導致載重量0g~40g時機器人移動速度越來越快。

表6 足部摩擦力與移動速度的關係

足底使用材料	 未加裝材料	 塑膠袋	 魔鬼氈	 菜瓜布	 橡膠手套	 鋼絲棉	 砂紙
第1次 (cm/sec)	4.44	4.61	5.98	5.48	5.30	5.25	5.06
第2次 (cm/sec)	4.64	4.29	5.87	5.92	5.75	5.57	5.73
第3次 (cm/sec)	4.17	4.01	5.79	5.21	5.24	5.34	4.84
第4次 (cm/sec)	4.48	4.18	5.99	5.98	5.60	5.03	5.20
第5次 (cm/sec)	4.72	4.59	5.93	5.78	5.31	4.99	4.95
第6次 (cm/sec)	4.37	4.30	5.68	5.54	5.10	4.87	5.00
第7次 (cm/sec)	4.13	4.44	5.79	5.66	5.14	5.62	5.18
第8次 (cm/sec)	4.30	3.99	5.63	5.77	5.02	5.28	5.15
第9次 (cm/sec)	4.25	4.04	5.70	5.17	5.07	5.26	5.00
第10次 (cm/sec)	4.61	4.49	5.64	5.05	5.17	5.42	4.95
平均速度 (cm/sec)	4.40	4.28	5.80	5.54	5.26	5.25	5.10

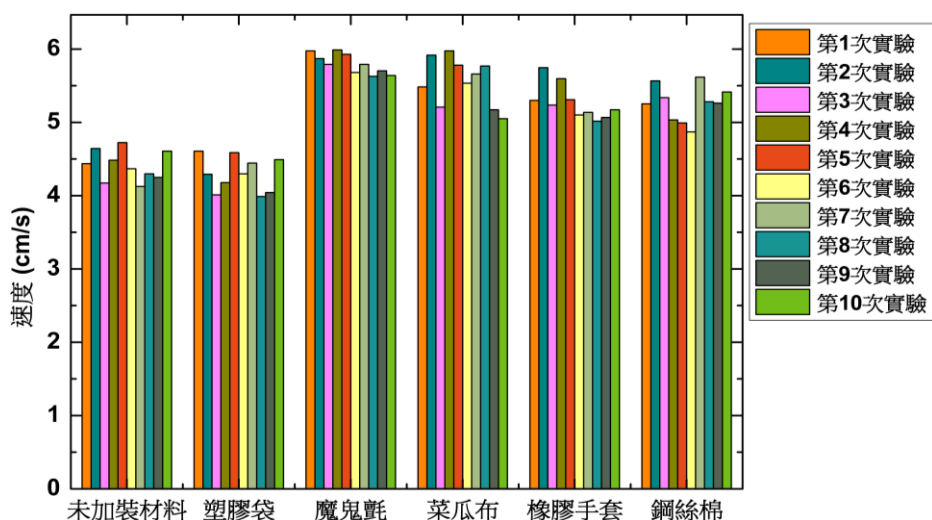


圖8 足部摩擦力與移動速度的關係長條圖



## 【研究6】不同材質介面與移動速度的關係

(使用研究2速度較快腳的數量和研究3較快的腳長度)

從表7及圖9不同材質面實驗中我們發現，機器人在砂紙上的移動速度最快，平均速度為5.24cm/s，在布的接觸面上機器人的移動速度為5.18cm/s，分析是因為機器人行走在粗糙的接觸面時，因為摩擦力大產生向前移動的推力也大（作用力與反作用力），使得機器人的移動速度變快。

機器人在綠色切割墊和塑膠墊上移動時，平均速度為4.44cm/s和4.40cm/s，與在砂紙和布上行走速度相比明顯較慢，分析是因為綠色切割墊和塑膠墊表面平整且觸感平滑，摩擦力較小導致速度較慢。

而機器人在沙土上移動時最慢，平均速度為3.43cm/s，是因為沙土顆粒不均且地勢高低不平，以致機器人移動時會受到較大的阻礙，而且機器人的腳會陷進沙土裡，所以速度最慢。

表7 不同材質介面與速度的關係表

材質	砂紙	布	綠色切割墊	塑膠墊	沙土
第1次 (cm/sec)	5.20	5.04	4.62	4.44	3.61
第2次 (cm/sec)	5.00	5.06	4.48	4.64	3.69
第3次 (cm/sec)	4.89	5.33	4.65	4.17	3.29
第4次 (cm/sec)	5.34	5.12	4.50	4.48	3.60
第5次 (cm/sec)	5.34	5.16	4.24	4.72	3.59
第6次 (cm/sec)	5.41	5.10	4.31	4.37	3.61
第7次 (cm/sec)	5.58	5.26	4.34	4.13	3.45
第8次 (cm/sec)	5.11	5.31	4.65	4.30	3.47
第9次 (cm/sec)	5.31	5.13	4.26	4.25	3.04
第10次 (cm/sec)	5.33	5.31	4.40	4.61	3.06
平均速度 (cm/sec)	5.24	5.18	4.44	4.40	3.43



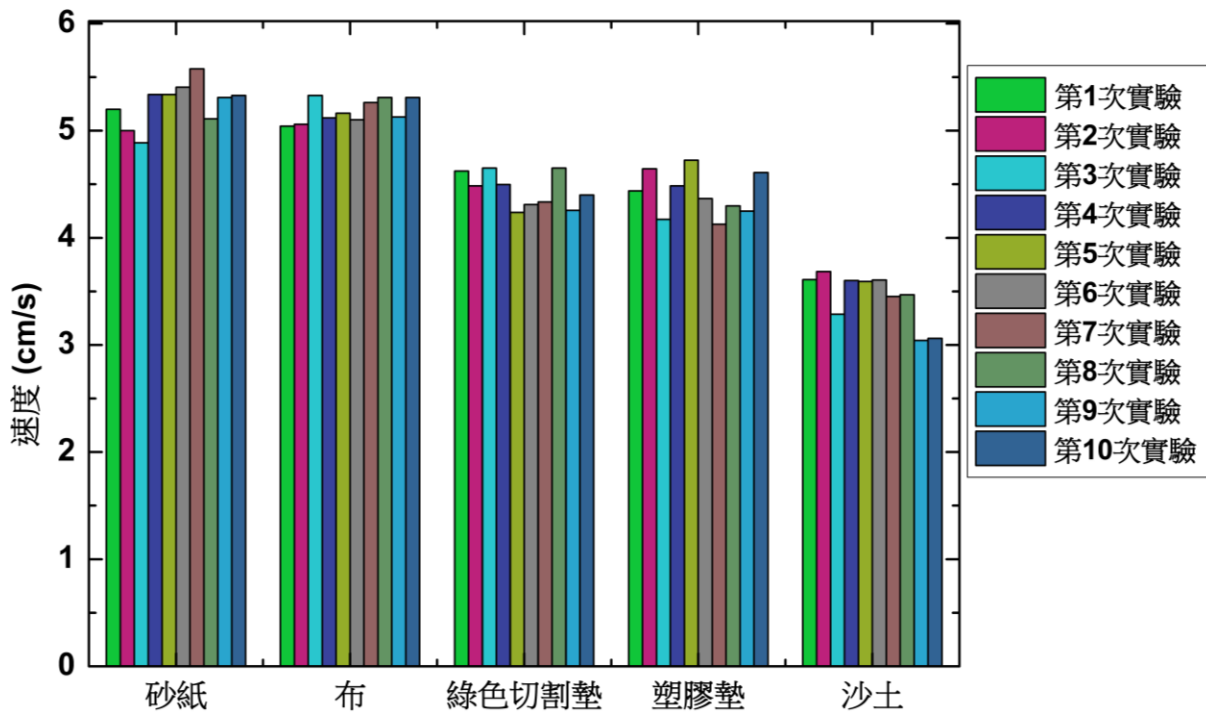


圖9 不同材質介面與行走速度的關係長條圖

### 【研究7】不同坡度與移動速度的關係

(使用研究2速度較快腳的數量和研究3較快的長度)

此研究為避免機器人因坡度的不同，導致滑動情形發生而影響實驗結果判斷，所以在坡面上黏貼了砂紙降低滑動情形，來測試移動的速度。

上坡時，從表8及圖10中我們發現機器人在坡度5度、10度的速度差異不大，分別是3.82cm/s和3.96cm/s。當坡度增加至15度、20度時，機器人移動速度降至3.22cm/s和2.97cm/s。而坡度達到25度時，因為重力的關係機器人爬坡至中途就無法繼續向上，造成機器人晃動不穩定並且翻落掉下無法繼續移動。

下坡時，由表9和圖11中可知機器人移動速度是隨著坡度增加而加快。機器人在下坡5度時行走平穩，但因為坡度小所以移動速度最慢，速度為5.49cm/s。機器人行走在下坡10度時，因為重力的關係，移動雖然沒有5度時平穩，但因坡度變大而速度加快為5.93cm/s。在坡度增加至15度時，機器人開始行走不平穩，有時會翻落掉下，隨著坡度增加機器人翻落次數也變多，坡度達到30度時，幾乎每次都會翻落，所以無法測試。

表8 上坡時坡度與移動速度的關係表

坡度	5°	10°	15°	20°	25°
第1次 (cm/sec)	3.84	3.94	3.42	2.92	行走不穩， 翻落掉下
第2次 (cm/sec)	3.73	3.92	3.17	3.08	
第3次 (cm/sec)	3.79	3.83	3.30	3.05	
第4次 (cm/sec)	3.79	4.02	3.34	3.06	
第5次 (cm/sec)	4.05	3.97	3.15	2.93	
第6次 (cm/sec)	3.73	3.94	3.12	2.93	
第7次 (cm/sec)	3.70	3.94	3.18	2.87	
第8次 (cm/sec)	3.90	4.32	3.16	3.02	
第9次 (cm/sec)	3.97	4.00	3.28	2.90	
第10次 (cm/sec)	3.72	3.75	3.07	2.98	
平均速度 (cm/sec)	3.82	3.96	3.22	2.97	-

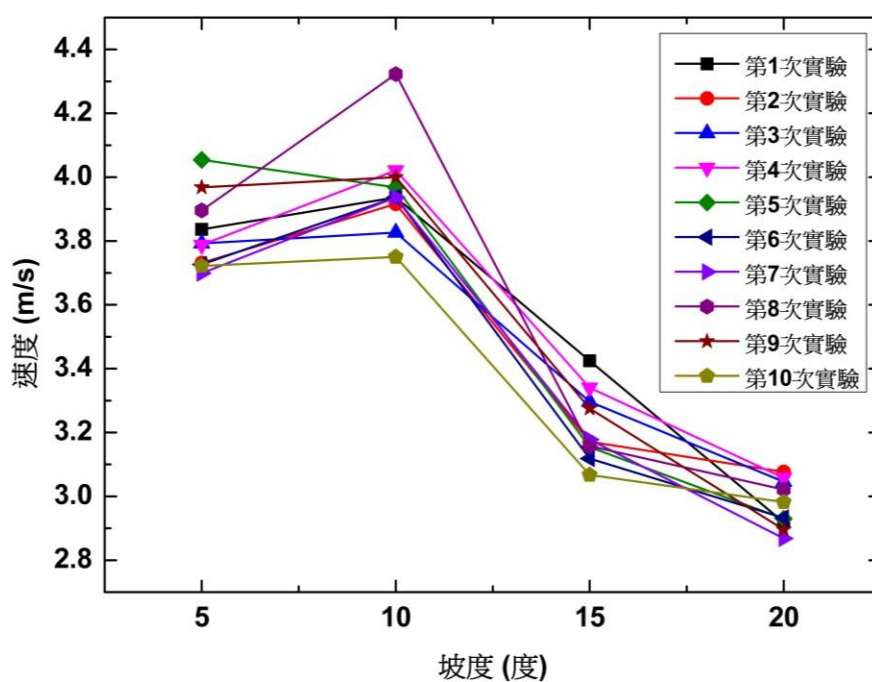


圖10 上坡時坡度與移動速度的關係折線圖

表9 下坡時坡度與移動速度的關係表

坡度	5°	10°	15°	20°	25°
第1次 (cm/sec)	5.43	5.95	6.29	8.09	9.20
第2次 (cm/sec)	5.56	6.15	5.75	6.88	8.15
第3次 (cm/sec)	5.56	5.39	6.49	8.47	8.22
第4次 (cm/sec)	4.90	5.64	5.93	7.89	8.15
第5次 (cm/sec)	6.21	5.75	5.98	8.52	7.46
第6次 (cm/sec)	6.00	5.64	6.45	7.61	8.04
第7次 (cm/sec)	5.15	6.40	6.61	8.20	8.02
第8次 (cm/sec)	5.52	5.73	6.05	8.02	9.93
第9次 (cm/sec)	5.67	5.81	6.55	7.46	8.60
第10次 (cm/sec)	5.15	7.16	7.16	7.63	8.04
平均速度 (cm/sec)	5.49	5.93	6.30	7.85	8.33

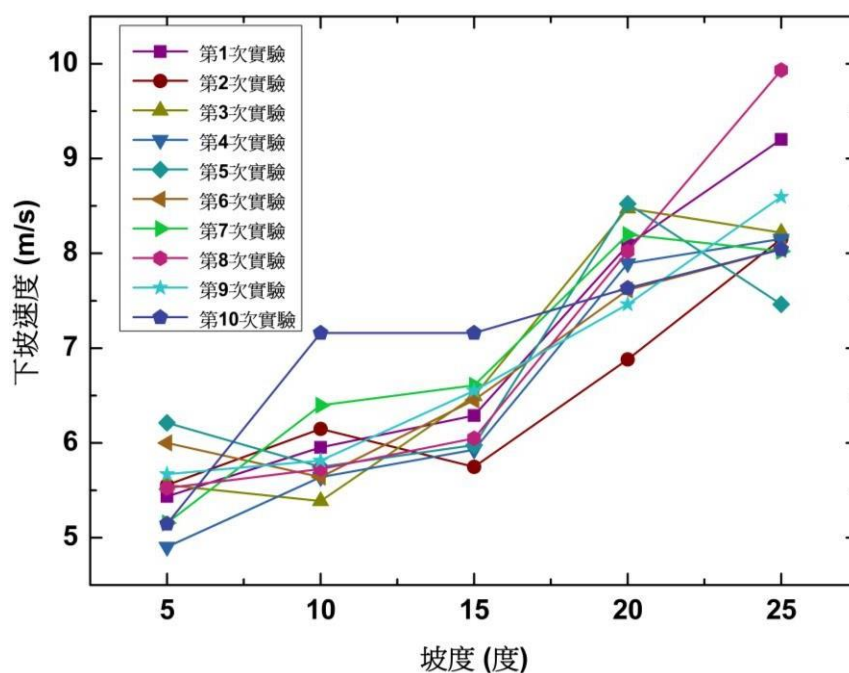


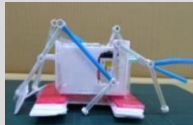


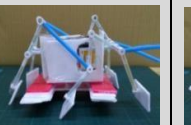


圖11 下坡時坡度與移動速度的關係折線圖

### 【研究8】不同泳足數量在水中移動速度的關係(使用研究2速度快的腳數量)

從表10及圖12，發現機器人4隻泳足裝於中後足時，在水中移動速度為3.87cm/s，是實驗中速度最快的。在研究1實驗中，我們觀察到龍蟲的泳足在後足有利於在水中移動，而我們的機器人2隻後足裝上泳足時，水中移動速度為3.11cm/s，2隻泳足裝在中足的速度為3.59cm/s，實驗證明同時加裝中後足可以增加它的速度，是因為我們機器人的馬達是驅動中足用連桿來帶動後足，使機器人速度加快。

其他實驗中4隻泳足裝於前足與中足和6隻足部全裝泳足時，在水中移動速度分別為1.72cm/s和1.73cm/s，因水中移動時前泳足、後泳足分別會有互相“拉動”和“推動”的力量反而使移動速度明顯變慢了。另外，機器人在6隻腳沒有裝泳足和只有前泳足的情況下，足部只會在水中擺動無法施力，故無法推動機器人前進。

表10 不同泳足數量在水中移動速度的關係表

泳足數量	2隻 (後泳足)	4隻 (中後足)	2隻 (中泳足)	6隻 (全裝泳足)	4隻 (前中足)	6隻(無泳足) 及2隻(前足)
						
第1次 (cm/sec)	2.62	3.34	3.18	1.28	1.69	無法前進
第2次 (cm/sec)	3.65	3.90	3.70	2.49	2.24	
第3次 (cm/sec)	3.39	3.98	3.37	2.08	2.17	
第4次 (cm/sec)	3.46	3.79	3.32	1.86	1.45	
第5次 (cm/sec)	2.73	3.21	3.53	1.41	1.50	
第6次 (cm/sec)	3.80	4.60	4.10	1.96	1.86	
第7次 (cm/sec)	3.46	3.81	4.08	1.65	1.90	
第8次 (cm/sec)	2.74	4.05	4.03	1.72	1.82	
第9次 (cm/sec)	3.66	3.91	3.33	1.39	1.42	
第10次 (cm/sec)	2.36	4.50	3.58	2.17	1.55	
平均速度 (cm/sec)	3.11	<b>3.87</b>	3.59	1.73	1.72	

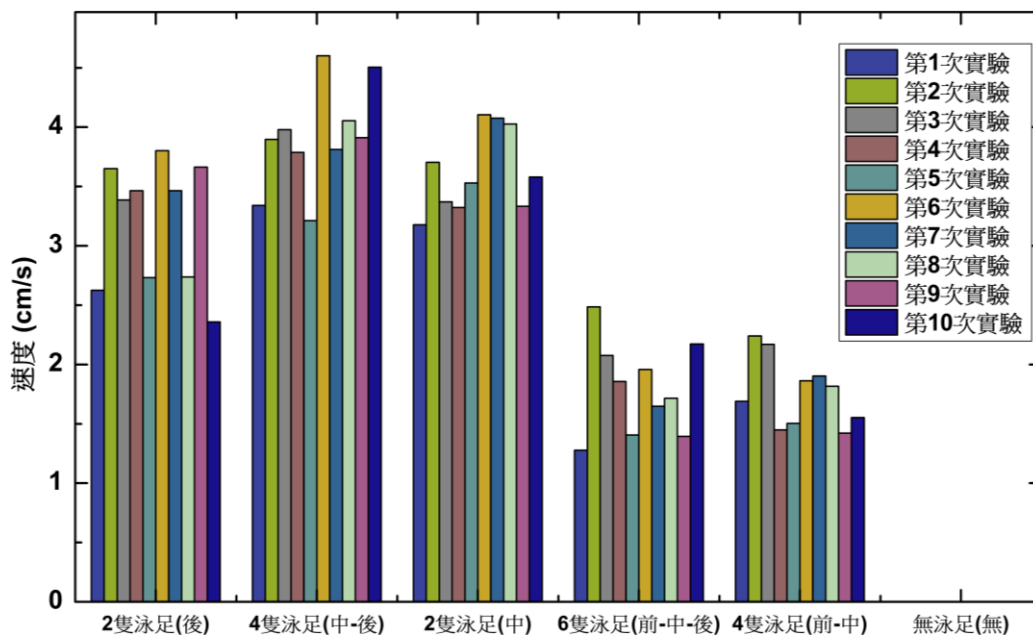


圖12 不同泳足數量在水中前進速度的關係長條圖

### 【研究9】水陸兩棲和移動速度的關係研究

在研究8中，我們做了泳足在水中移動速度與泳足數的關係實驗，於是我們想測試機器人是否能順利「從水中行走到陸地」與「從陸地行走到水中」等兩種情形，我們想知道未來是否能擴大機器人的應用範圍。

從圖13及圖14中我們可以發現機器人可順利從水中走到陸地，此時機器人在水中移動的速度為2.55cm/s，陸地移動的速度為2.01cm/s，水中的速度比陸地還快，是因為機器人從水中行走到陸地是上坡，所以速度較慢。機器人也可順利從陸地行走到水中，此時機器人在下坡陸地移動的速度為5.92cm/s，進入水中的速度為2.83cm/s(如圖 16)，而這邊的陸地是下坡的，所以速度較快，此結果也符合了我們前面的研究7上坡速度較慢及下坡速度較快之結果。

我們拍攝影片利用tracker軟體進行機器人幾何中心點的行走軌跡分析，從水中到陸地路徑軌跡圖發現機器人在水陸上坡或下坡時，水中游泳的路徑都是接近直線前進(如圖13)，而在陸地行走時因六足施力不完全相等時則偏向單一方向路徑前進(如圖15)，也才發現原來連桿機器人在坡面行走時會偏向S形路徑，但持續向前移動。



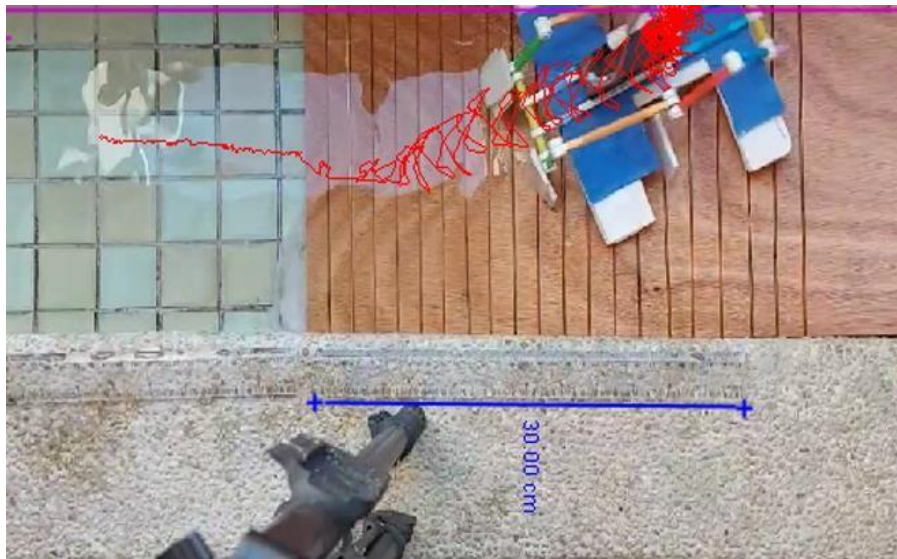


圖13 水中到陸地路徑軌跡圖

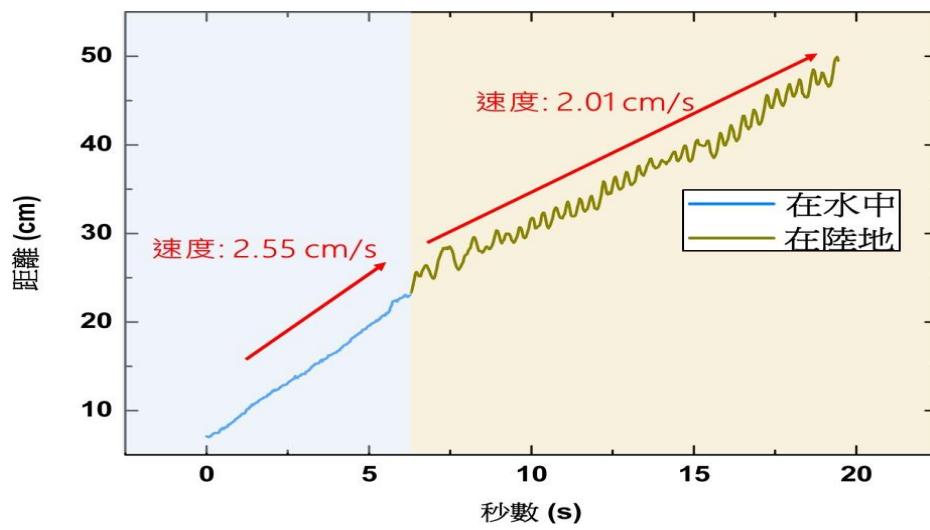


圖14 水中到陸地速度分析圖

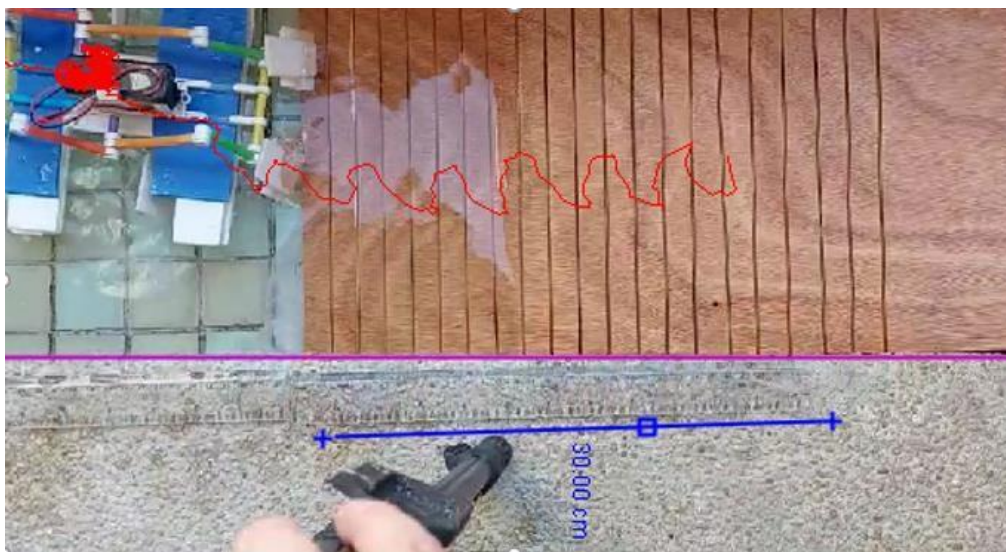


圖 15 陸地到水中路徑軌跡圖



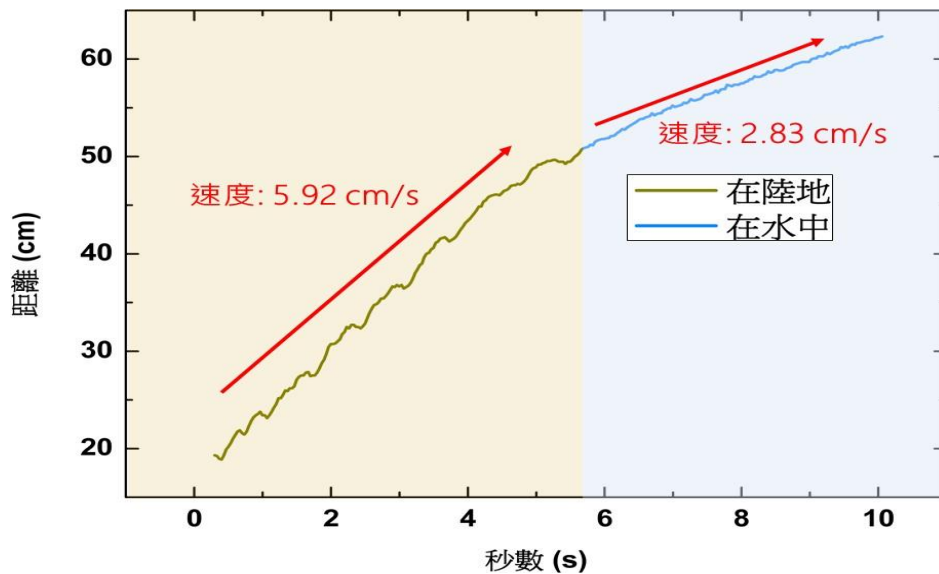


圖 16 陸地到水中速度分析圖

## 伍、討論

- 一、昆蟲足部依需求有不同功能，有些能行走、有些能跳躍、有些能獵捕，有些能挖掘，有的能游泳、有些能夠採粉。發現鍬形蟲的六隻腳是以走路與抓地功能為主，前、中、後足則是以三點式移動方式，依鍬形蟲行走方式，運用連桿帶動，設計六足吸管機器人。
- 二、在研究2中（腳的數量和移動速度的關係研究），發現機器人的行走平穩度與連桿的帶動會影響機器人的移動速度。機器人6隻腳時，行走最平穩且連桿帶動作用最順暢，故速度最快。在2隻腳、4隻腳時移動很不平穩，所以造成無法站立或速度非常緩慢，而在8隻腳和10隻腳測試時，移動過程雖然平穩但多出的腳無連桿帶動反而拖慢機器人移動速度。
- 三、研究3中（腳長短與移動速度關係），發現機器人在腳長為原長(前、後足3cm，中足4.5cm)增加1cm時行走最平穩，所以速度最快。而腳長減少1cm的速度與腳原長的速度差異不大。腳長增加到2cm、3cm時，機器人行走會搖晃不穩定，速度開始變慢。腳長增加到4cm、5cm時，機器人行走搖晃情況明顯，更不穩定，會在行走中途因為重心不穩而倒下。
- 四、在研究4中（載重量和移動速度的關係），發現載重量從0g~40g時，機器人移動速度越來越快，這不符合常理，透過研究5足部摩擦力與移動速度關係驗證，足部與接觸面摩擦力大，機器人移動速度快，也證明我們的推論載重量0g~40g是因為重量下壓，造成機器人足部與接觸面摩擦力增加，產生向前的推力，讓機器人行走速度與載重量呈正比關係。載重量達到50g時，因為50g的重量對機器人負重太大了，所以下壓力量過大導致吸管腳無法正常對地面下壓施力前進，移動速度反而開始下降了。後續再增加了60g的實驗發現移動速度更慢，也驗證了上述分析結果是正確的。

- 五、在研究5中（足部摩擦力與移動速度的關係），發現機器人的足部加裝摩擦力小的材質（塑膠袋）時，移動速度較慢；在機器人的足部加裝摩擦力大的材質，移動速度較快，因此本實驗我們可以發現在機器人的足部摩擦力增加，機器人的移動速度也會加快。這個實驗也證明研究4中載重0g~40g時，載重量與速度成正比關係，是因為重量下壓，造成足部摩擦力增加導致。
- 六、研究6中（不同材質介面與移動速度的關係），發現機器人在表面粗糙材質（砂紙、布）上移動速度較快；在表面平滑的材質（綠色切割墊、塑膠墊）上行走，速度會變慢；而行走於顆粒不均勻且高低不平整的沙土上，因機器人足部會陷在沙土中，所以速度最慢。
- 七、研究7中（不同坡度與移動速度的關係），上坡時，發現機器人在坡度5度、10度時，移動的速度無明顯差異。坡度增加到15度、20度時，因為重力的關係，上坡不穩速度變慢；坡度25度時，機器人爬坡至中途就無法繼續向上行走，造成機器人晃動不穩定並且翻落掉下。機器人在下坡坡度5度~25度時，因為重力的關係，移動速度隨著坡度增加而變快，坡度5度~10度，機器人行走平穩，但隨著下坡坡度增加，機器人行走越來越不穩，容易翻落，當坡度到30度時，機器人已經無法下坡行走。
- 八、研究8(不同泳足數量在水中移動速度的關係)，在研究1中，觀察到龍蟲的泳足在後足有利於水中移動，加上我們機器人的馬達是驅動中足用連桿帶動後足，所以機器人泳足裝於中後足時，在水中移動速度最快。而4隻泳足裝置在前足與中足和6隻腳全裝泳足時，在水中移動速度反而明顯變慢，是因為在水中移動時前泳足、後泳足會有互相“拉動”和“推動”的力量反而使移動速度明顯變慢了。另外，機器人在6隻腳沒有裝泳足和只有前泳足的情況下，足部只會在水中擺動無法施力，故無法推動機器人身體移動前進。
- 九、研究9(水陸兩棲和移動速度的關係)利用tracker軟體進行機器人幾何中心點的行走軌跡分析，從水中到陸地路徑軌跡圖發現機器人在水陸上坡或下坡時，水中游泳的路徑都是接近直線前進，而在陸地行走時因六足施力不完全相等時則偏向單一方向路徑前進，發現原來連桿機器人在坡面行走時會偏向S形路徑，但持續向前移動。

## 陸、結論

- 一、昆蟲足部依需求有不同功能，其中鋤形蟲六足行走方式，可運用連桿作動方式，設計並製作出六足吸管機器人。
- 二、機器人行走的平穩度與連桿的帶動會影響機器人的移動速度，6隻腳行走時最平穩速度最快。雖然8隻腳的機器人行走也夠穩定但多的2隻腳沒有連桿帶動，反而拖慢機器人移動速度。
- 三、機器人在腳長度前、後足均為4cm，中足5.5cm時（原長增加1cm），移動時最平穩，速

度最快。機器人腳長度會改變重心，重心會影響機器人行走的平穩度和速度。

四、載重0g~40g時，因重量下壓，足部與接觸面摩擦力增加，造成向前的推力也增加，所以機器人移動速度和載重呈正比關係，但當載重超過機器人極限時，移動速度會變慢。

五、機器人足部摩擦力增加，機器人的行走速度也會加快。此實驗也證明研究4中載重0g~40g時，機器人行走速度越來越快，是因為足部摩擦力增加導致。

六、機器人行走在粗糙面材質時，速度最快；行走在平滑面材質時，速度會明顯變慢。走在沙土材質時，因足部會陷入沙土中，所以速度最慢。

七、上坡時，坡度 $\leq 20$ 度時，機器人只是行走速度變慢，還是能在上坡坡地穩定移動。下坡時，坡度超過10度，機器人會開始行走不穩，但機器人還是能在下坡坡度 $\leq 25$ 度移動。

八、觀察到龍虱的泳足在後足有利於水中移動，而我們機器人的馬達是驅動中足用連桿帶動後足，所以機器人泳足裝於中後足時，在水中移動速度最快。

九、我們成功讓機器人順利「從水中行走到陸地」與「從陸地行走到水中」兩種情形，這對我們的吸管機器人是一大突破，機器人可應用的場域不再只是侷限於陸地上也可以應用在水陸兩棲。

十、經由上面說明的實驗結果可得到六足機器人之最佳設計規格如圖17所標示，以本體重量80克之機器人設計來說，最適當載重為30克~40克(佔本體重量之37%~50%)，當機器人本體尺寸長寬高與牠的相關六足如圖17內設計時可達到最佳移動速度，因此本實驗結果可作為吸管機器人的本體重量、各連桿長度、負荷重量的設計參考。

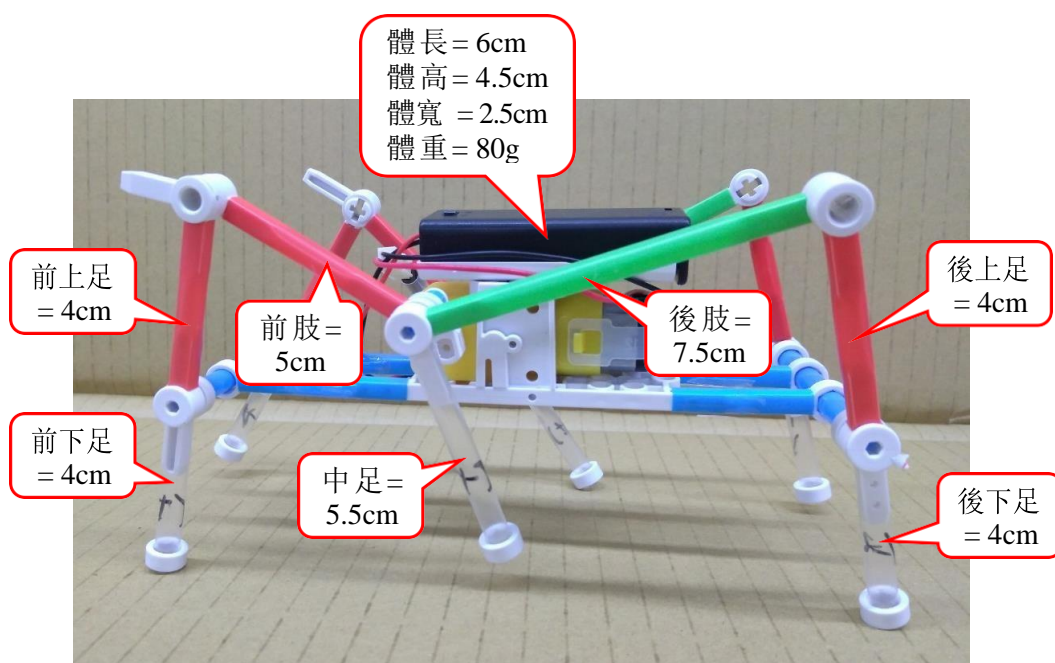


圖17 本研究使用之80克六足機器人最佳設計規格

## 柒、參考文獻資料

- [1]. 生物與人工的智慧結合—仿生機器人[https://scimonth.blogspot.com/2019/02/blog-post\\_94.html](https://scimonth.blogspot.com/2019/02/blog-post_94.html)
- [2]. 特殊用途-履帶式機器人—良棋科技[https://zanrobot.com/track\\_robot/](https://zanrobot.com/track_robot/)
- [3]. 顏伯勳、蘇志堅、石宗正（2015）。The climbing strandbeest。中華民國第55屆中小學科學展覽會。臺灣網路科教館。
- [4]. R. Baines, S. K. Patiballa, J. Booth, L. Ramirez, T. Sipple, A. Garcia, F. Fish, and R. K. Bottiglio, “Multi-environment robotic transitions through adaptive morphogenesis,” *Nature*, vol. 610, pp. 283–289, 2022.
- [5]. 蕭立穎、朱嘉瑋、涂好華、邱冠銘（2019）。進擊的螞蟻—螞蟻繞圈的終極奧義。中華民國第59屆中小學科學展覽會。臺灣網路科教館。
- [6]. 昆蟲的身體構造[http://nkpsibm.nkps.tp.edu.tw/insect/bugs/BugInfo\\_Arch.htm](http://nkpsibm.nkps.tp.edu.tw/insect/bugs/BugInfo_Arch.htm)
- [7]. 認識锹形蟲<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2011/02/2011022115173538.pdf>
- [8]. 機械原理<http://case.cy.edu.tw/mediafile/4220012/knowledge/2143/3861/4398/2019-8-22-23-14-49-nf1.pdf>
- [9]. 連桿機構<https://prospect-bearing.com.tw/mechanical%20-principle/pdf/%E7%AC%AC%E5%8D%81%E5%9B%9B%E7%AB%A0-%EF%A6%9A%E6%A1%BF%E6%A9%9F%E6%A7%8B-%E6%A9%9F%E4%BB%B6%E5%8E%9F%E7%90%86.pdf>

## 【評語】 082809

1. 本作品利用實驗方法，試驗六足機器人的運動所需的連桿長度，  
摩擦材料等條件，量測機器人之速度和爬坡斜度，具有科學精神。
2. 建議進一步觀察瞭解六足機器人應具備的步態，建立各支腳應有的獨立功能，再依機構設計方法，才能具有救援現場克服障礙的功能。

# 作品海報



**“鋏”援小英雄 -**

**仿生機器人在救援現場應用的研究**



## 研究動機

在進行地震教育演練之前發生了一次大地震，當時感覺地震對生活環境的影響真的很大，老師就介紹了許多與地震相關的救災影片，影片中我們看到救災機器人協助救援，機器人在崎嶇不平的環境中可以移動，真的好酷喔！此時我們想到了在四年級時，自然課中學習過關於昆蟲的構造，因此我們想是否能模仿昆蟲的足部構造來製作出機器人，並運用吸管作為昆蟲機器人的足部結構，觀察吸管機器人是否能在不同的環境下快速移動發揮功能。

## 研究目的

以吸管作為機器人的足部結構，透過仿生昆蟲機器人進行各種條件的移動研究，希望可以透過實驗設計出最適當的仿生機器人，從「機器人本體設計」包含不同足數、足部長度、泳足數，並以「機器人行走環境差異」包含不同陸面接觸面材質、陸面坡度、水面，觀察吸管機器人是否能，在不同的環境下發揮功能，並且我們想知道機器人是否能在中和陸地移動，達到在中和陸地前進的模式。

規劃進行研究項目如下：

1. 昆蟲足部功能的分析與連桿原理
2. 吸管機器人足部的數量與移動速度的關係
3. 吸管機器人足部的長短與移動速度的關係
4. 吸管機器人載重量與移動速度的關係
5. 吸管機器人足部摩擦力與移動速度的關係
6. 吸管機器人在不同材質面與移動速度的關係
7. 吸管機器人在不同坡度與移動速度的關係
8. 吸管機器人在水面以不同泳足數量與移動速度的關係
9. 吸管機器人在水陸兩棲與移動速度的關係

## 研究設備及器材

表 1 實驗器材

材料	馬達、吸管、扣件、吸管裁剪器、砝碼(10克)、螺帽(20克)、砂紙、桌墊、塑膠墊、布、沙土、厚紙板、量角器、珍珠板、碼表、木板斜坡
----	---

## 研究過程或方法

### 一、蒐集資料

藉由飼養锹形蟲和網路查詢，將昆蟲足部做分類。學習了解連桿作動原理及生活中應用的例子。

**想法 1：**是否能運用生活中易取得的材料來製作機器人

### 二、設計實驗變因

**想法 2：**吸管機器人在腳的數量、腳的長短、載重量[5]、足部摩擦力、不同材質面、不同坡度、是否真的會影響他的穩定度和行走速度

**想法 3：**如何讓機器人可以下水並且在水中移動

**想法 4：**觀察龍蟲的泳足，泳足在不同腳的位置是否會影響機器人在水中移動的速度

**想法 5：**如何讓吸管機器人在中和陸地前進

### 三、研究架構



圖 1 研究架構圖

### 四、實驗步驟

1. 畫出連桿圖和吸管機器人設計圖並製作機器人
2. 放置在不同材質、坡度、載重和在水中移動
3. 設定距離 30cm
4. 啟動機器人
5. 用碼錶計時到達 30cm 所需要的時間
6. 各項實驗變因都測試 10 次並求出平均速度

## 實驗結果及討論

### 【研究 1】：昆蟲足部功能的分析與連桿原理

**結果：**

從表 2 得知，並不是每隻昆蟲的六隻腳都是一樣的，牠們會依照環境或是需求有著不同功能的足部構造。

圖 2 是我們學習瞭解了連桿作動原理後所繪製生活中有運用到連桿物品的連桿圖及我們運用連桿所設計的六足吸管機器人設計圖。

表 2 昆蟲的分類 [6]

特色昆蟲	足類	功能
锹形蟲[7]	步行足	以走路與抓地功能為主
蝗蟲	跳躍足	後腳強而有力，擅長跳躍
螳螂	捕捉足	前面兩隻腳演化成鐮刀狀用來捕捉獵物
螻蛄	挖掘足	棲息在土裡，前腳特化成可挖掘土壤
龍蟲	游泳足	生活在水中，後腳側扁如槳
蜜蜂	攜粉足	後腳有花粉囊可盛裝花蜜



圖 2 了解連桿機構 (左) 與吸管機器人設計圖 (右)

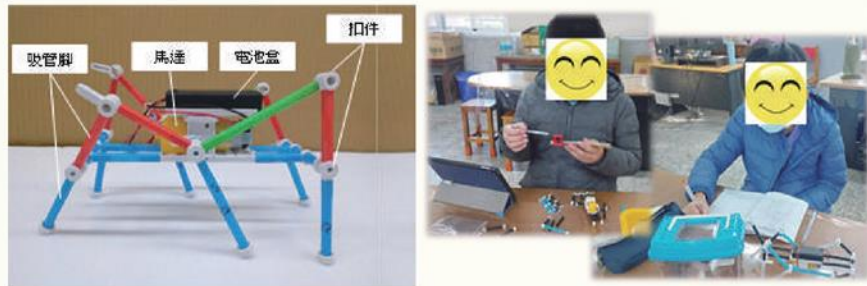


圖 3 吸管機器人組件說明及學生研究過程

### 【研究 2】腳數量和速度的關係

**結果：**

從表 3 及圖 4 中，實驗結果發現腳的數量在 6 隻腳時，因為行走平穩，較能發揮連桿作用，所以移動速度最快，其速度為 3.88cm/s。

表 3 腳數量和速度的關係表

腳的數量 (隻)	2	4	6	8	10
平均速度 (cm/sec)	無法站立測試	1.66	3.88	3.04	1.40

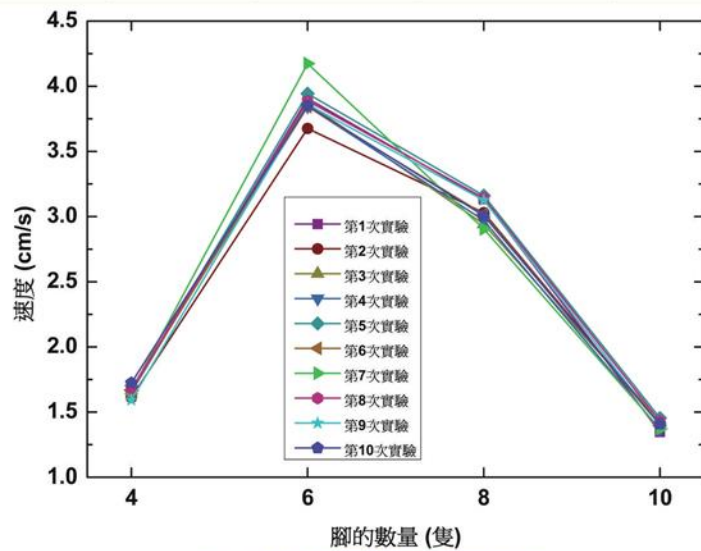


圖 4 腳數量和速度的關係折線圖

**討論：**

發現機器人的行走平穩度與連桿的帶動會影響機器人的移動速度。機器人 6 隻腳時，行走最平穩且連桿帶動作用最順暢，故速度最快。在 2 隻腳、4 隻腳時移動很不平穩，所以造成無法站立或速度非常緩慢，而在 8 隻腳和 10 隻腳測試時，移動過程雖然平穩但多出的腳無連桿帶動反而拖慢機器人移動速度。

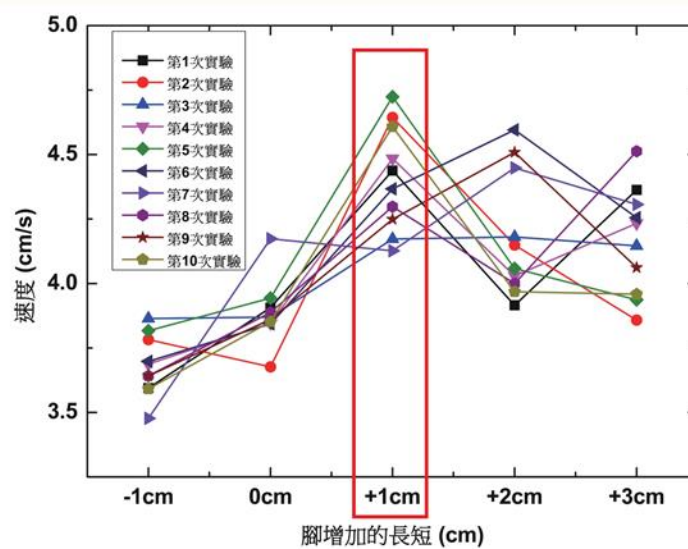
### 【研究 3】腳長短和速度的關係 (使用研究 2 速度較快的腳的數量)

**結果：**

從表 4 及圖 5 在腳的長短與速度的關係實驗中，機器人腳的原長 (前足 3cm，中足 4.5cm，後足 3cm) 速度為 3.88cm/s，發現機器人腳的長度減少 1 公分時，行走速度為 3.68cm/s。腳的長度增加 1 公分時行走速度明顯增加為 4.40cm/s，我們發現腳的長度增加 1 公分時機器人行走比較穩定，因為不會左右搖擺所以移動速度最快。

表 4 腳長短和速度的關係表

增 / 減 (+/-)	-2	-1	+0 (原長)	+1	+2	+3	+4	+5
腳的長短 (cm)	馬達碰地，無法測試	3.68	3.88	4.40	4.17	4.15	重心不穩，易翻倒	重心不穩，易翻倒
平均速度 (cm/sec)								



**討論：**

發現機器人在腳長為原長 (前、後足 3cm，中足 4.5cm) 增加 1cm 時行走最平穩，所以速度最快。而腳長減少 1cm 的速度與腳原長的速度差異不大。腳長增加到 2cm、3cm 時，機器人行走會搖晃不穩定，速度開始變慢。腳長增加到 4cm、5cm 時，機器人行走搖晃情況明顯，更不穩定，會在行走中途因為重心不穩而倒下。



#### 【研究 4】載重量和速度的關係 (使用研究 2 速度較快的腳的數量)

##### 結果：

從表 5 及圖 6、圖 7 機器人在載重和速度的關係研究中，我們從實驗可以發現兩個結果：

- 一、移動速度會依序從載重 0g、10g、20g、30g、40g 愈來愈快，推測是因為重量適當的下壓可使吸管腳向地面施力的穩定度增加，當此情形發生時移動速度就變快了，其中載重 40g 時速度最快為 5.27cm/s。
- 二、當負載重量增加到了 50g 時，移動速度反而變慢為 4.84 cm/s。原以為負重從 40g 增加至 50g 時移動速度也會成正比的加快，卻沒有發生此情形，研究發現因為 50g 的重量對機器人負重太大了，也因為下壓力量過大導致吸管腳無法正常對地面下壓施力前進，所以移動速度反而開始下降。後續再增加到 60g 的實驗發現移動速度更慢，也驗證了上述分析結果應是正確的。

由上面的結果與分析，我們發現了一個現象 0g ~ 40g 重量越重速度越快不符合常理，懷疑與摩擦力有關，於是設計研究 5 足部摩擦力與移動速度的關係實驗，來驗證我們的推測是否正確。

表 5 載重量和速度的關係表

載重 (公克)	0	10	20	30	40	50	60
平均速度 (cm/sec)	4.40	4.78	4.84	5.08	5.27	4.84	4.79

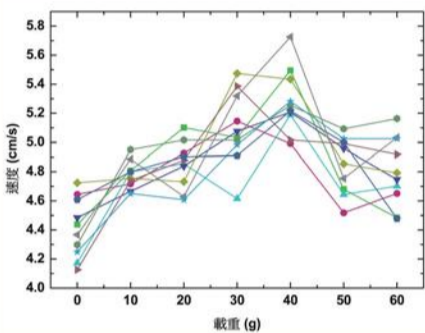


圖 6 載重量和速度的關係折線圖

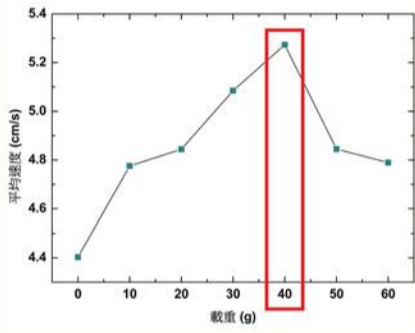


圖 7 載重量和速度平均值的關係折線圖

##### 討論：

發現載重量從 0g ~ 40g 時，機器人移動速度越來越快，這不符合常理，透過研究 5 足部摩擦力與移動速度關係驗證，足部與接觸面摩擦力大，機器人移動速度快，也證明我們的推論載重量 0g ~ 40g 是因為重量下壓，造成機器人足部與接觸面摩擦力增加，產生向前的推力，讓機器人行走速度與載重量呈正比關係。載重量達到 50g 時，因為 50g 的重量對機器人負重太大了，所以下壓力量過大導致吸管腳無法正常對地面下壓施力前進，移動速度反而開始下降了。後續再增加了 60g 的實驗發現移動速度更慢，也驗證了上述分析結果是正確的。

#### 【研究 5】足部摩擦力與移動速度的關係

(使用研究 2 速度較快腳的數量和研究 3 較快的長度)

此研究為了驗證研究 4 的推論，我們在足部加裝不同材質以改變足部的摩擦力。

##### 結果：

由表 6、圖 8 我們發現，足部加裝摩擦力小的材質時，移動速度確實比較慢，速度為 4.28cm/s；足部加裝摩擦力大的材質時，移動速度為 5.10cm/s 到 5.80cm/s，速度有加快的現象。此實驗可證明研究 4 載重 0g ~ 40g 時，載重量增加讓移動速度加快，是因為重量下壓使腳與接觸面的面積變大摩擦力增加，產生向前的推力也變大，導致載重量 0g ~ 40g 時機器人移動速度越來越快。

表 6 足部摩擦力與移動速度的關係

足底使用材料	未加裝材料	塑膠袋	魔鬼氈	菜瓜布	橡膠手套	鋼絲棉	砂紙
平均速度 (cm/sec)	4.40	4.28	5.80	5.54	5.26	5.25	5.10

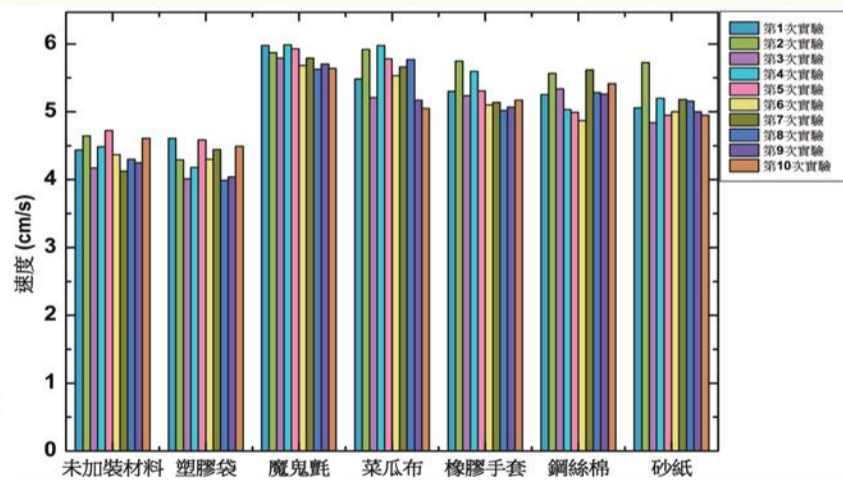


圖 8 足部摩擦力與移動速度的關係長條圖

##### 討論：

機器人的足部加裝摩擦力小的材質 (塑膠袋) 時，移動速度較慢；在機器人的足部加裝摩擦力大的材質，移動速度較快，因此本實驗我們可以發現在機器人的足部摩擦力增加，機器人的移動速度也會加快。這個實驗也證明研究 4 中載重 0g ~ 40g 時，載重量與速度成正比關係，是因為重量下壓，造成足部摩擦力增加導致。

#### 【研究 6】不同材質介面與移動速度的關係

(使用研究 2 速度較快腳的數量和研究 3 較快的腳長度)

##### 結果：

從表 7 及圖 9 不同材質面實驗中我們發現，機器人在砂紙上的移動速度最快，平均速度為 5.24cm/s，在布的接觸面上機器人的移動速度為 5.18cm/s，分析是因為機器人行走在粗糙的接觸面時，因為摩擦力大產生向前移動的推力也大 (作用力與反作用力)，使得機器人的移動速度變快。

而機器人在沙土上移動時最慢，平均速度為 3.43cm/s，是因為沙土顆粒不均且地勢高低不平，以致機器人移動時會受到較大的阻礙，而且機器人的腳會陷進沙土裡，所以速度最慢。

表 7 不同材質介面與速度的關係表

材質	砂紙	布	綠色切割墊	塑膠墊	沙土
平均速度 (cm/sec)	5.24	5.18	4.44	4.40	3.43

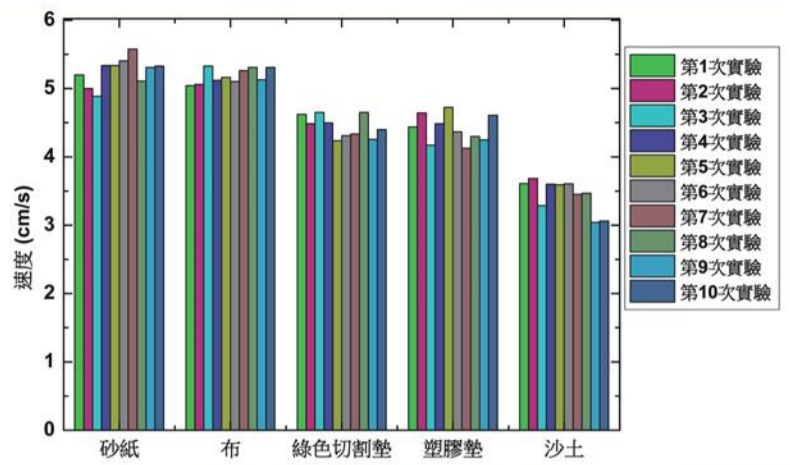


圖 9 不同材質介面與移動速度的關係長條圖

##### 討論：

發現機器人在表面粗糙材質 (砂紙、布) 上移動速度較快；在表面平滑的材質 (綠色切割墊、塑膠墊) 上行走，速度會變慢；而行走於顆粒不均且高低不平的沙土上，因機器人足部會陷在沙土中，所以速度最慢。

#### 【研究 7】不同坡度與移動速度的關係

(使用研究 2 速度較快腳的數量和研究 3 較快的長度)

此研究為避免機器人因坡度的不同，導致滑動情形發生而影響實驗結果判斷，所以在坡面上黏貼了砂紙降低滑動情形，來測試移動的速度。

##### 結果：

上坡時，從表 8 及圖 10 中我們發現機器人在坡度 5 度、10 度的速度差異不大，分別是 3.82cm/s 和 3.96cm/s。當坡度增加至 15 度、20 度時，機器人移動速度降至 3.22cm/s 和 2.97cm/s。而坡度達到 25 度時，因為重力的關係機器人爬坡至中途就無法繼續向上，造成機器人晃動不穩定並且翻落掉下無法繼續行走。

下坡時，由表 8 和圖 11 中可知機器人移動速度是隨著坡度增加而加快。坡度達到 30 度時，每次都會翻落，所以無法測試。

表 8 上下坡時坡度與移動速度的關係表

坡度	5°	10°	15°	20°	25°
上坡平均速度 (cm/sec)	3.82	3.96	3.22	2.97	行走不穩，翻落掉下
下坡平均速度 (cm/sec)	5.49	5.93	6.30	7.85	8.33

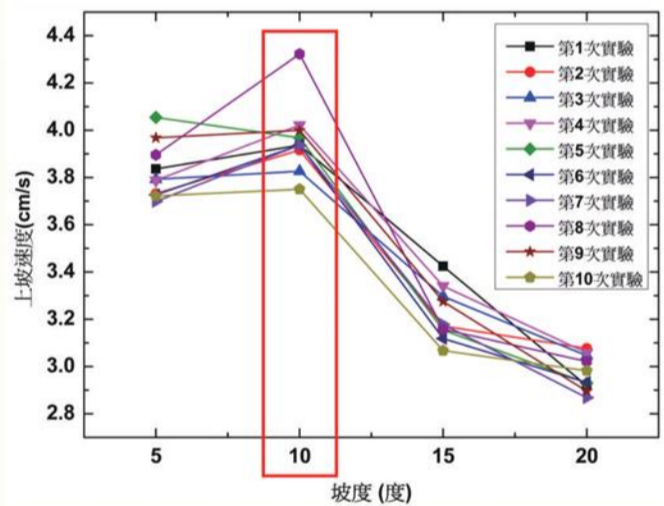


圖 10 上坡時坡度與移動速度的關係折線圖

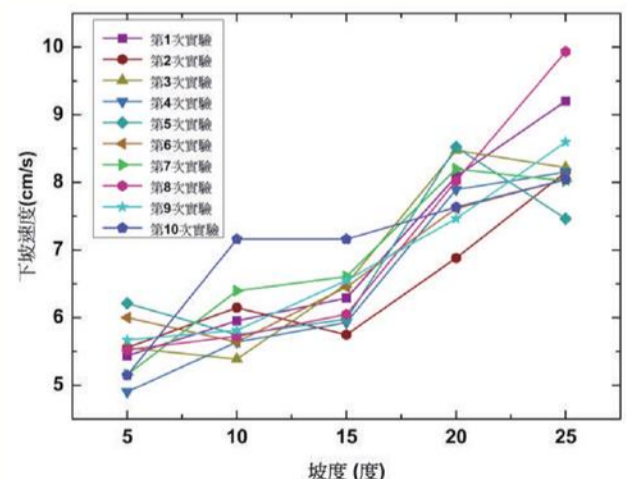


圖 11 下坡時坡度與移動速度的關係折線圖

##### 討論：

上坡時，發現機器人在坡度 5 度、10 度時，移動的速度無明顯差異。坡度增加到 15 度、20 度時，因為重力的關係，上坡不穩速度變慢；坡度 25 度時，機器人爬坡至中途就無法繼續向上行走，造成機器人晃動不穩定並且翻落掉下。

下坡時，機器人在坡度 5 度 ~ 25 度時，因為重力的關係，移動速度隨著坡度增加而變快，坡度 5 度 ~ 10 度，機器人行走平穩，但隨著下坡坡度增加，機器人行走越來越不穩，容易翻落，當坡度達到 30 度時，機器人已經無法下坡行走。



## 【研究 8】不同泳足數量在水中移動速度的關係 (使用研究 2 速度快的腳數量)

### 結果：

從表 10 及圖 12，發現機器人 4 隻泳足裝於中後足時，在水中移動速度為 3.87cm/s，是實驗中速度最快的。在研究 1 實驗中，我們觀察到龍蟲的泳足在後足有利於在水中移動，而我們的機器人 2 隻後足裝上泳足時，水中移動速度為 3.11cm/s，2 隻泳足裝在中足的速度為 3.59cm/s，實驗證明同時加裝中後足可以增加它的速度，是因為我們機器人的馬達是驅動中足用連桿來帶動後足，使機器人速度加快。

表 10 不同泳足數量在水中移動速度的關係表

泳足數量	2 隻 (後泳足)	4 隻 (中後足)	2 隻 (中泳足)	6 隻 (全裝泳足)	4 隻 (前中足)	6 隻 (無泳足) 及 2 隻 (前足)
平均速度 (cm/sec)	3.11	3.87	3.59	1.73	1.72	無法前進

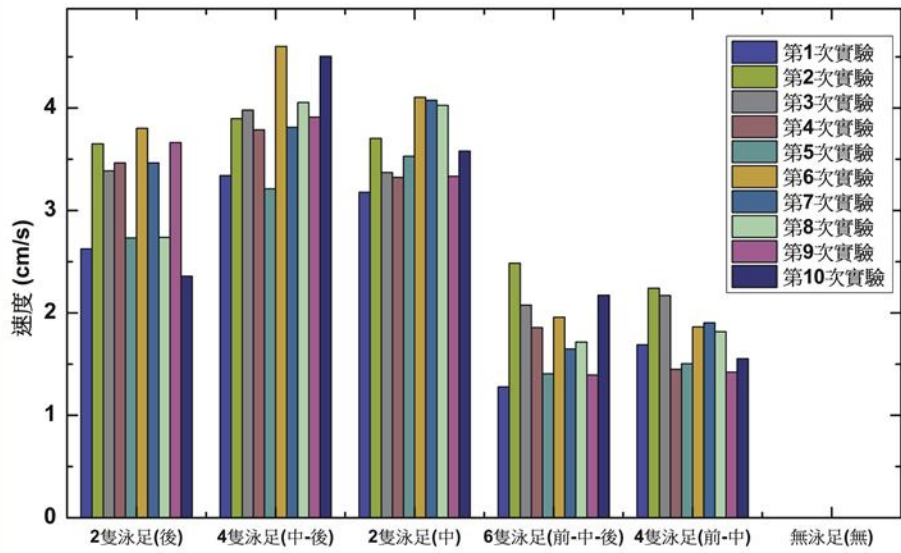


圖 12 不同泳足數量在水中前進速度的關係長條圖

### 討論：

在研究 1 中，觀察到龍蟲的泳足在後足有利於水中移動，加上我們機器人的馬達是驅動中足用連桿帶動後足，所以機器人泳足裝於中後足時，在水中移動速度最快。而 4 隻泳足裝置在前足與中足和 6 隻腳全裝泳足時，在水中移動速度反而明顯變慢，是因為在水中移動時前泳足、後泳足會有互相“拉動”和“推動”的力量反而使移動速度明顯變慢了。另外，機器人在 6 隻腳沒有裝泳足和只有前泳足的情況下，足部只會在水中擺動無法施力，故無法推動機器人身體移動前進。

## 【研究 9】水陸兩棲和移動速度的關係研究

我們用木板 (50\*30cm) 架設 20 度的坡面，放置於水槽，水位高度 10cm。在機器人中後足裝上泳足，來進行水陸移動測試。

### 結果：

我們拍攝影片利用 tracker 軟體進行機器人移動速度和幾何中心點的行走軌跡分析，我們發現機器人可順利從水中走到陸地，在水中移動的速度為 2.55cm/s，陸地移動的速度為 2.01cm/s；機器人也可順利從陸地行走到水中，此時機器人在陸地移動的速度為 5.92cm/s，進入水中的速度為 2.83cm/s (如圖 16)，從水中到陸地路徑軌跡圖發現機器人在水陸上坡或下坡時，水中游泳的路徑都是接近直線前進 (如圖 13)，而在陸地行走時因六足施力不完全相等時則偏向單方向路徑前進 (如圖 15)，也才發現原來連桿機器人在坡面行走時會偏向 S 形路徑，但持續向前移動。

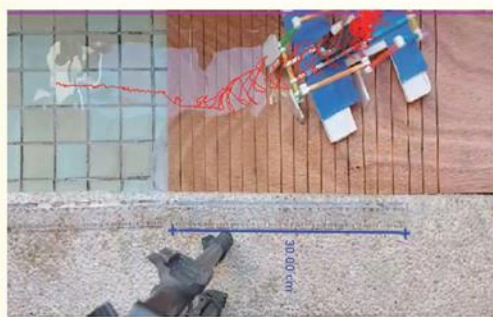


圖 13 水中到陸地路徑軌跡圖

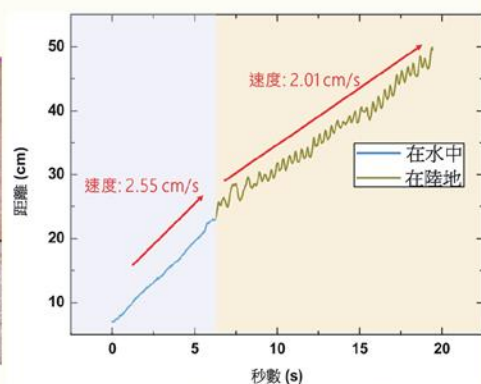


圖 14 水中到陸地速度分析圖



圖 15 陸地到水中路徑軌跡圖

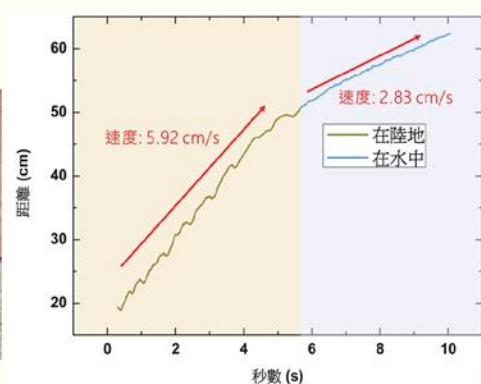


圖 16 陸地到水中速度分析圖

### 討論：

利用 tracker 軟體進行機器人幾何中心點的行走軌跡分析，從水中到陸地路徑軌跡圖發現機器人在水陸上坡或下坡時，水中游泳的路徑都是接近直線前進，而在陸地行走時因六足施力不完全相等時則偏向單方向路徑前進，發現原來連桿機器人在坡面行走時會偏向 S 形路徑，但持續向前移動。

## 結論

### 一、昆蟲足部功能的分析與連桿原理

昆蟲足部依需求有不同功能，其中鋤形蟲六足行走方式，可運用連桿作動方式，設計並製作出六足吸管機器人。

### 二、吸管機器人足部的數量與移動速度的關係

機器人行走的平穩度與連桿的帶動會影響機器人的移動速度，6 隻腳行走時最平穩速度最快。雖然 8 隻腳的機器人行走也夠穩定但多的 2 隻腳沒有連桿帶動，反而拖慢機器人移動速度。

### 三、吸管機器人足部的長短與移動速度的關係

機器人在腳長度前、後足均為 4cm，中足 5.5cm 時 (原長增加 1cm)，移動時最平穩，速度最快。機器人腳長度會改變重心，重心會影響機器人行走的平穩度和速度。

### 四、吸管機器人載重量與移動速度的關係

載重 0g ~ 40g 時，因重量下壓，足部與接觸面摩擦力增加，造成向前的推力也增加，所以機器人移動速度變快，但當載重達 50g 時，機器人移動速度會變慢。

### 五、吸管機器人足部摩擦力與移動速度的關係

機器人足部摩擦力增加，機器人的行走速度也會加快。此實驗也證明研究 4 中載重 0g ~ 40g 時，機器人行走速度越來越快，是因為足部摩擦力增加導致。

### 六、吸管機器人在不同材質面與移動速度的關係

機器人行走在粗糙面材質時，速度最快；行走在平滑面材質時，速度會明顯變慢。走在沙土材質時，因足部會陷入沙土中，所以速度最慢。

### 七、吸管機器人在不同坡度與移動速度的關係

上坡時，坡度 ≤ 20 度時，機器人只是行走速度變慢，還是能在上坡地穩定移動。下坡時，坡度超過 10 度，機器人會開始行走不穩，但機器人還是能在下坡坡度 ≤ 25 度移動。

### 八、吸管機器人於水面以不同泳足數量與移動速度的關係

觀察到龍蟲的泳足在後足有利於水中移動，而我們機器人的馬達是驅動中足用連桿帶動後足，所以機器人泳足裝於中後足時，在水中移動速度最快。

### 九、吸管機器人水陸兩棲與移動速度的關係

我們成功讓機器人順利「從水中行走到陸地」與「從陸地行走到水中」兩種情形，這對我們的吸管機器人是一大突破，機器人可應用的場域不再只是侷限於陸地上也可以應用在水陸兩棲。

### 十、經由上面說明的實驗結果可得到六足機器人之最佳設計規格如圖 17 所標示，以本體重量 80 克之機器人設計來說，最適當載重為 30 克 ~ 40 克 (佔本體重量之 37%~50%)，當機器人本體尺寸長寬高與牠的相關六足如圖 17 內設計時可達到最佳移動速度，因此本實驗結果可作為吸管機器人的本體重量、各連桿長度、負荷重量的設計參考。

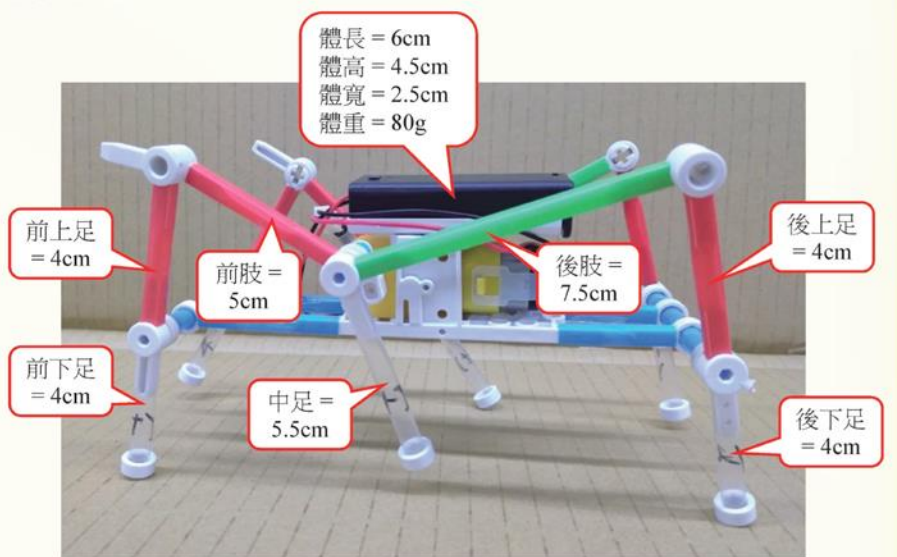


圖 17 本研究使用之 80 克六足機器人最佳設計規格

## 參考文獻資料

- [1]. 生物與人工的智慧結合 - 仿生機器人 [https://scimonth.blogspot.com/2019/02/blog-post\\_94.html](https://scimonth.blogspot.com/2019/02/blog-post_94.html)
- [2]. 特殊用途 - 履帶式機器人 - 良棋科技 [https://zanrobot.com/track\\_robot/](https://zanrobot.com/track_robot/)
- [3]. 顏伯勳、蘇志堅、石宗正 (2015)。The climbing strandbeest。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。臺灣網路科教館。
- [4]. R. Baines, S. K. Patiballa, J. Booth, L. Ramirez, T. Sipple, A. Garcia, F. Fish, and R. K. Bottiglio, "Multi-environment robotic transitions through adaptive morphogenesis," Nature, vol. 610, pp. 283-289, 2022.
- [5]. 蕭立穎、朱嘉璋、涂好華、邱冠銘 (2019)。進擊的螞蟻—螞蟻繞圈的終極奧義。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。臺灣網路科教館。
- [6]. 昆蟲的身體構造 [http://nkpsibm.nkps.tp.edu.tw/insect/bugs/BugInfo\\_Arch.htm](http://nkpsibm.nkps.tp.edu.tw/insect/bugs/BugInfo_Arch.htm)
- [7]. 認識鋤形蟲 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2011/02/2011022115173538.pdf>
- [8]. 機械原理 <http://case.cy.edu.tw/mediafile/4220012/knowledge/2143/3861/4398/2019-8-22-23-14-49-nf1.pdf>
- [9]. 連桿機構 <https://prospect-bearing.com.tw>