

作品名稱: 沙灘上的生命奇蹟——奇幻仿生獸(Strandbeests)

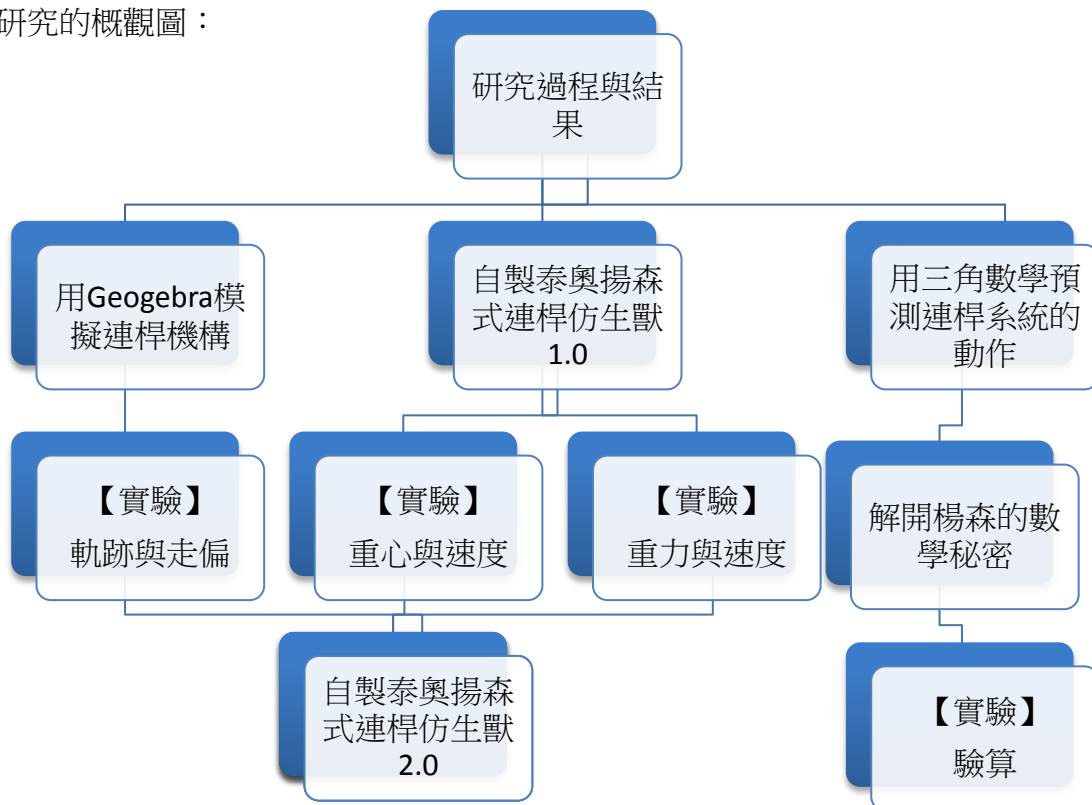
目錄：

摘要-----	p3
壹、研究動機-----	p3
貳、研究目的-----	p3
參、研究設備及器具-----	p4
肆、研究過程或方法-----	p5
一、研究過程一：自製泰奧楊森式連桿仿生獸-----	p5
二、研究過程二：仿生獸軌跡實現：用幾何軟體 Geogebra 模擬連桿機器人	p6
三、研究過程三：仿生獸軌跡實現：用三角數學解開連桿系統的數學原理	p8
四、【實驗一】用實體模型的軌跡驗證軟體所模擬出的軌跡-----	p11
五、【實驗二】用 Geogebra 的試算表驗算所導出之演算法的正確性-----	p12
六、【實驗三】實驗三種連桿軌跡的走偏程度-----	p14
七、研究過程四：仿生獸承載能力：為仿生獸測量重心-----	p21
八、【實驗四】實驗三種連桿結構的承載能力-----	p17
伍、研究結果-----	p28
一、應用仿生獸軌跡實現的理論：自製仿生獸機器人 2.0-----	p22
二、應用仿生獸承載能力的理論：自製仿生獸機器人 2.0-----	p23
三、利用研究仿生獸 1.0 所得的理論分析數種不同的仿生獸結構或設計-----	p26
陸、討論-----	p27
柒、結論-----	p27
捌、參考資料及其他-----	p29

摘要：

在我們的研究中，以荷蘭科學兼藝術家泰奧揚森 (Theo Jansen) 所發明的揚森式仿生獸為研究的主軸。其中特別針對機器人的連桿系統進行了數學上的分析，以及機器人結構受力與重心的研究，而那便是連桿系統的兩大主軸：軌跡實現與承載能力。

本研究的概觀圖：



壹、研究動機：




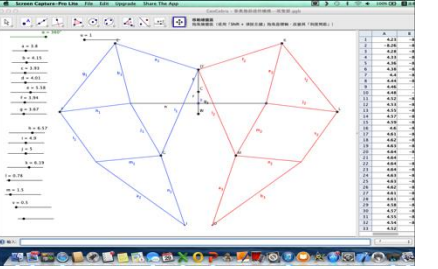
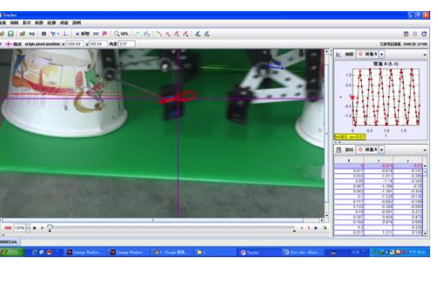
在 2012 年的暑假時，我意外地得知了高雄科工館正在展覽一種風力連桿機器人，名為「奇幻仿生獸」。我非常好奇，便前往參觀。在這展覽當中，我見到了數十尊約有兩層樓高大的仿生獸，而且只靠風來產生動力，並使用連桿的機構製造出腳，竟然就能使巨大的「移動城堡」動了起來！開學之後我來到學校，剛好班上有幾位也參觀過仿生獸的同學，並且在適性課時學到了迷你仿生獸的製作和可以利用電腦模擬機構的數學幾何軟體 GEOGEBRA。而且在楊森的書中，他提到利用數學函數的方法計算出黃金比例的 13 支連桿長度，使我們更加地想要探究其中的數學奧秘。於是，我們結合了兩種所學和躍躍欲試的好奇心並組成了隊伍，參加了這次的科展。我們希望：我們的研究，能使泰奧揚森先生的設計，不只是博物館中的一項藝術品，更能走向科技的應用，如：建造可行走於沙、泥地等地形的交通工具、幫助腳殘人士復健的復健機、用較實用的方法設計人形機械人等等，使之能真正為人類的生活做出貢獻。

貳、研究目的

- 一、用 Geogebra 與三角函數的關係式來設計與控制連桿系統的運行軌跡
- 二、以計算力矩的方法來改變與提升連桿系統的承載效能

參、研究設備及器材

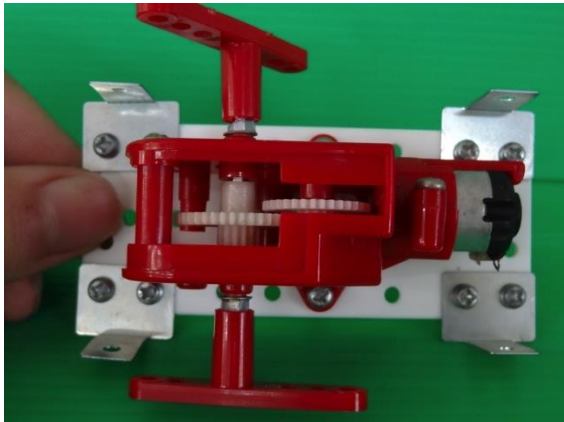

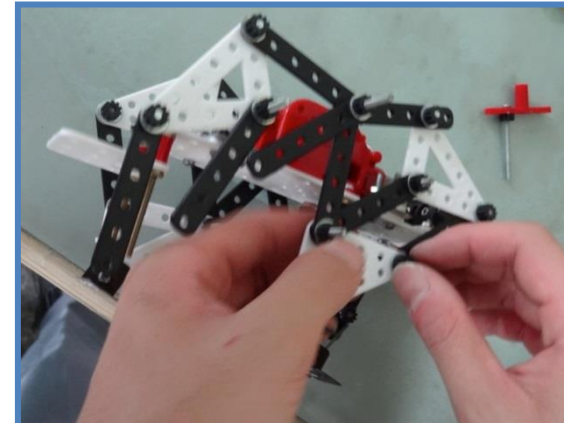

硬體與軟體設備：

	<p>大人的科學-泰奧楊森仿生獸縮小版模型</p> <p>特點：1.連桿比例是泰奧楊森所創的黃金連桿比例。 2.動力是風吹動風扇帶動齒輪使機器人前進。 3.缺點是連桿長度無法調整。</p> <p>用途：1.做為驗證理論與研究楊森原創設計的對象。 2.做為自創仿生獸性能上超越的目標。</p>
	<p>適性課教材-達文西企業社產品-機械戰馬</p> <p>特點：1.動力來自馬達與電池盒 2.連桿比例用 1cm 為一單位改變，所以連桿比例與楊森原創不同，軌跡精度亦無法準確控制。</p> <p>用途：1.可以更改連桿長度所以是主要的實驗對象</p>
	<p>自創仿生獸機器人-仿生獸 2.0</p> <p>特點：1.採用風扇與葉片來驅動仿生獸 2.整隻機器人皆為自製與自創</p> <p>用途：1.是為綜合所有理論所設計的仿生獸，目標正是要超越楊森的模式。</p>
	<p>數學幾何軟體-GEOGEBRA</p> <p>功能：1.用尺規作圖的方法作圖，並加入動態模擬。 2. 試算表功能以類似 Excel 的方式呈現</p> <p>用途：1.模擬連桿系統的動態與軌跡 2.運算理論的數據。</p>
	<p>Open source physics 物理軟體-tracker-影片軌跡軟體</p> <p>功能：1.在影片中記錄下某一個點的軌跡 2.透過此程式得知軌跡的速度、長度等。</p> <p>用途：1.記錄仿生獸機身上一點的軌跡，以得知仿生獸行進的速率與行走的偏移程度。</p>

肆、研究過程或方法

- 一、建製實驗的器具：自製泰奧揚森式連桿仿生獸
- 二、仿生獸軌跡實現：利用幾何軟體 Geogebra 模擬連桿機器人
- 三、仿生獸軌跡實現：利用三角數學解開連桿系統的數學原理
- 四、仿生獸承載能力：為仿生獸測量重心
- 五、【實驗一】用實體模型的軌跡驗證軟體所模擬出的軌跡
- 六、【實驗二】用 Geogebra 的試算表驗算所導出之演算法的正確性
- 七、【實驗三】實驗三種連桿軌跡的走偏程度
- 八、【實驗四】實驗三種連桿結構的承載能力

一、建製實驗的器具：自製泰奧揚森式連桿仿生獸

<p>1.</p>  <p>組裝馬達齒輪組與底座</p>	<p>2.</p>  <p>組裝 13 根連桿組</p>
<p>3.</p>  <p>連桿組與馬達齒輪組連結</p>	<p>4.</p>  <p>完成後接上動力並測試機體</p>

二、仿生獸軌跡實現：利用幾何軟體 Geogebra 模擬連桿機器人

適性課時，我們在老師的講解及教授下，初步地了解了 Geogebra 這套數學軟體幾何與代數上的應用。並且在開始科展的研究之後，我們為了模擬連桿系統的動態運動，試著運用國二下學期所學的尺規作圖技巧，將之應用在物件的建立上，終於成功地做出我們所需的模型。

如附圖，此即泰奧揚森式連桿系統。我們以 Geogebra 模擬了整隻機器人的一隻腳，比例全是與泰奧揚森的機器人一模一樣，因為他公開了所有的連桿比例，使我們能對他的發明進行研究。圖中，紅色的部分是仿生獸的支架(a 和 b)和旋轉軸(c)，其餘，則是傳動能量的連桿和接處地面的腳底(m 和 l 交點)

而電腦模型的做法則是如下：

- I. 搜集所需 13 個長度之數據，如下：

$$A=0.78 \quad B=3.8 \quad C=1.5$$

$$D=5 \quad E=6.19 \quad F=4.15$$

$$G=5.58 \quad H=4.01 \quad I=3.93$$

$$J=3.94 \quad K=3.67 \quad L=4.9$$

$$M=6.57$$

- II. 選取一點(0,0)為原點(藍點)，做為所有物件之基準點
- III. 分別以長度 A 和長度 B 為半徑畫圓，
取圓 A 和 Y 軸之交點，再取圓 B 和 X 軸之交點
分別與圓點連線後，即完成線段 a 和 b。

- IV. 線段 c：

以線段 a 之頂點為圓心，長度 C 做半徑，畫圓。

用「指定角度」工具「角度滑桿」再圓上設置一點。

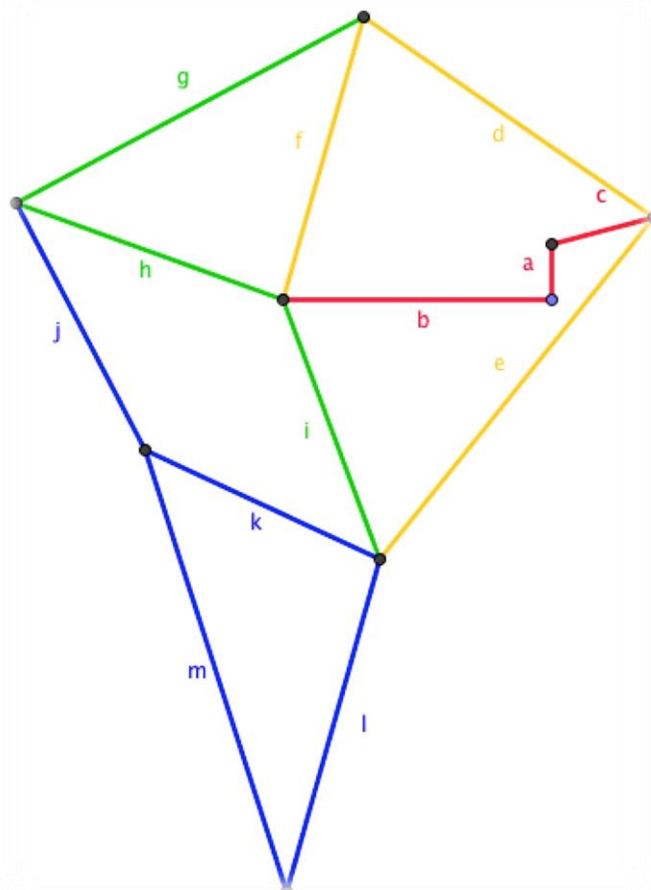
將此點與線段 a 之頂點連線，即是線段 c。

- V. 線段 d 和 f：

做兩圓，兩圓交點即是線段 d 和 f 之交點。

第一個圓是：圓心=連桿 c 的頂點，半徑=長度 d

第二個圓是：圓心=支架 b 的頂點，半徑=長度 f



VI. 線段 g 和 h :

做兩圓，兩圓交點即是線段 g 和 h 之交點。

第一個圓是：圓心=連桿 f 的頂點，半徑=長度 g

第二個圓是：圓心=連桿 f 下端的頂點，半徑=長度 h

VII. 線段 e 和 i :

做兩圓，兩圓交點即是線段 e 和 i 之交點。

第一個圓是：圓心=連桿 c 的頂點，半徑=長度 e

第二個圓是：圓心=支架 b 的頂點，半徑=長度 i

VIII. 線段 i 和 k :

做兩圓，兩圓交點即是線段 k 和 j 之交點。

第一個圓是：圓心=連桿 k 的頂點，半徑=長度 k

第二個圓是：圓心=連桿 j 的頂點，半徑=長度 j

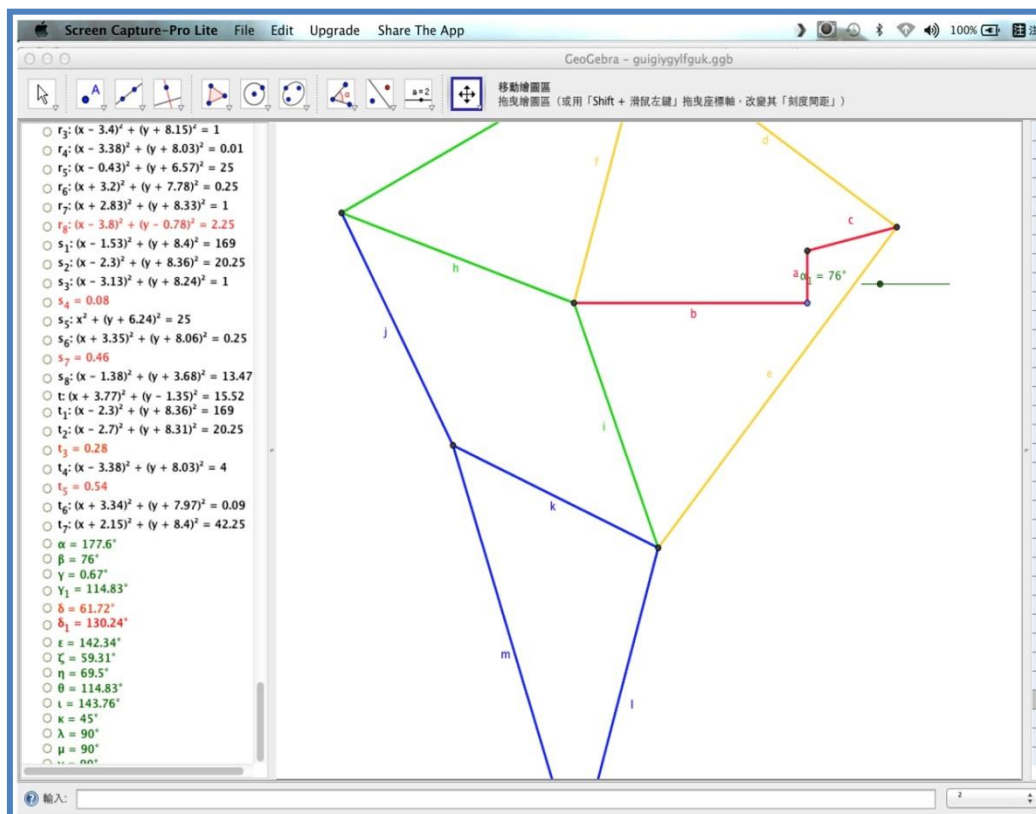
IX. 線段 l 和 m :

做兩圓，兩圓交點即是線段 l 和 m 之交點。

第一個圓是：圓心=連桿 l 的頂點，半徑=長度 l

第二個圓是：圓心=連桿 m 的頂點，半徑=長度 m

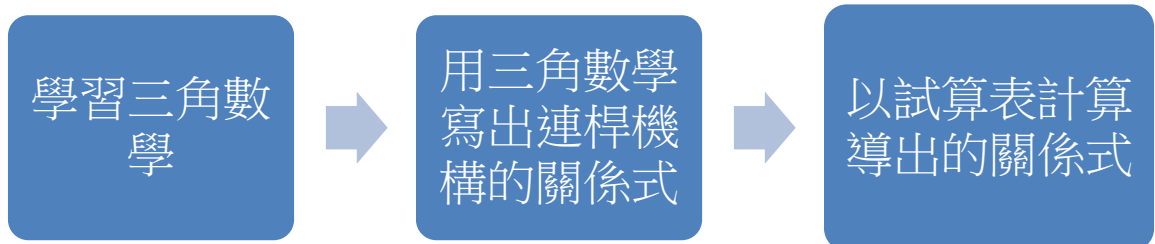
X. 至此，完成一整隻腳。完成圖於 Geogebra 介面如下：



▲ 泰奧揚森式連桿機構於 Geogebra 介面上的畫面

三、仿生獸軌跡實現：利用三角數學解開連桿系統的數學原理

正如研究動機中所說的，我們想要了解揚森運算連桿系統的數學原理。因此，我們也在多方的學習與努力中，漸漸地發展出了屬於我們自己的數學模型。

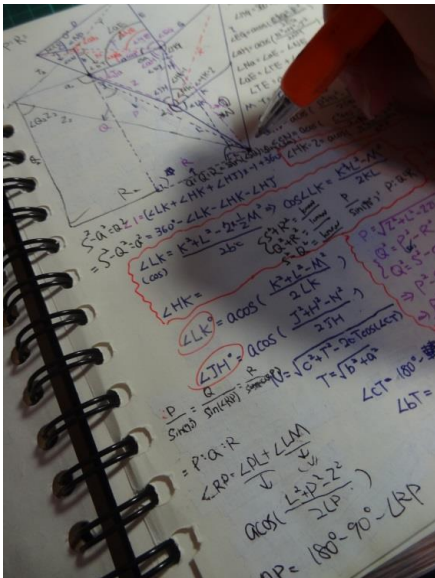


▲我們鑽研連桿系統數學的歷程

在我們查過的平面幾何學的資料中，有一句話說：「三角形是組成所有多邊形的基本元素，所以了解三角形，就能解釋所有的多邊形！」至此，我們確確實實地確定了三角函數將會是我們用來研究泰奧揚森式連桿機構的工具！

於是，我們將利用三角數學理解連桿模型的領域，以實現了我們在研究動機中所提到欲找出揚森的數學定理的想法。

在我們翻閱了多本的高中數學課本與尋問老師許多疑問和盲點之後，我們逐步地建立起對於三角函數的概念和了解。雖然無法運用的得心應手，但我們也在數次的失敗後摸索出解開連桿系統的數學原理了！



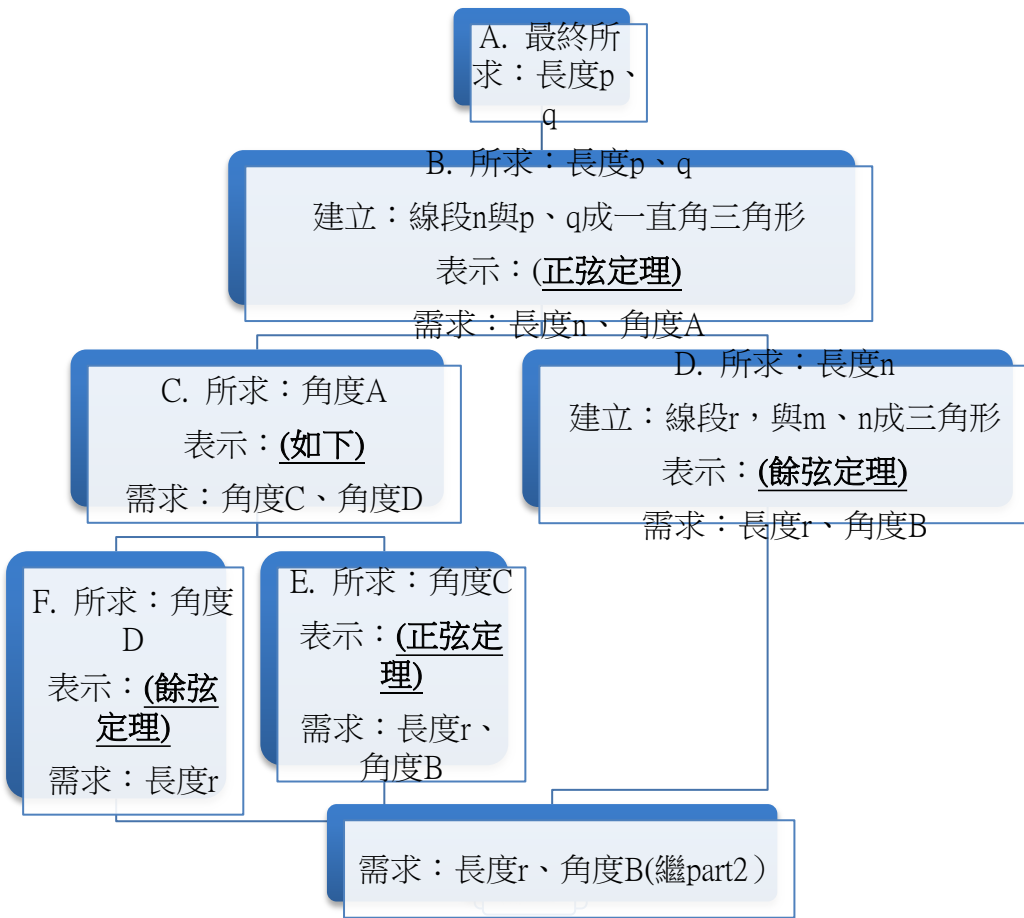
▲先用紙筆寫出連桿系統的關係式

	AEA	AEB	AEC
1		-1.35	-8.4
2		-2.44	-8.38
3		-2.56	-8.37
4		-3.33	-8.11
5		-3.35	-8.03
6		-3.34	-7.97
7		-1.89	-6.88
8		-1.67	-6.74
9		-1.89	-6.88
10		-2.75	-7.43
11		-3.31	-7.91
12		-3.21	-8.22
13		-3.02	-8.29
14		-2.93	-8.31
15		-2.83	-8.33
16		-2.44	-8.38
17		-2.31	-8.39
18		-1.71	-8.4
19		-1.6	-8.4
20		-1.46	-8.4
21		-0.52	-8.4
22		-0.36	-8.4
23		0.38	-8.4

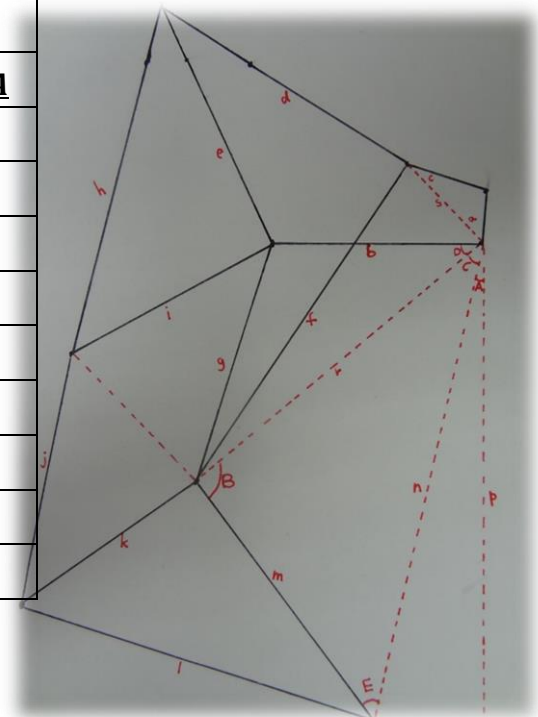
▲再用 Geogebra 的試算表計算關係式

以上的說明是我們運用三角學的概念。接下來就是我們整個連桿系統詳細的數學公式。由於所有的計算非常龐大，因此我們將他畫分為三個部分，並分別用關係圖與算式表列之。而我們的最終所求，便是：長度 p 、 q ，即仿生獸腳尖與支架(a 、 b)的垂直與平行距離。

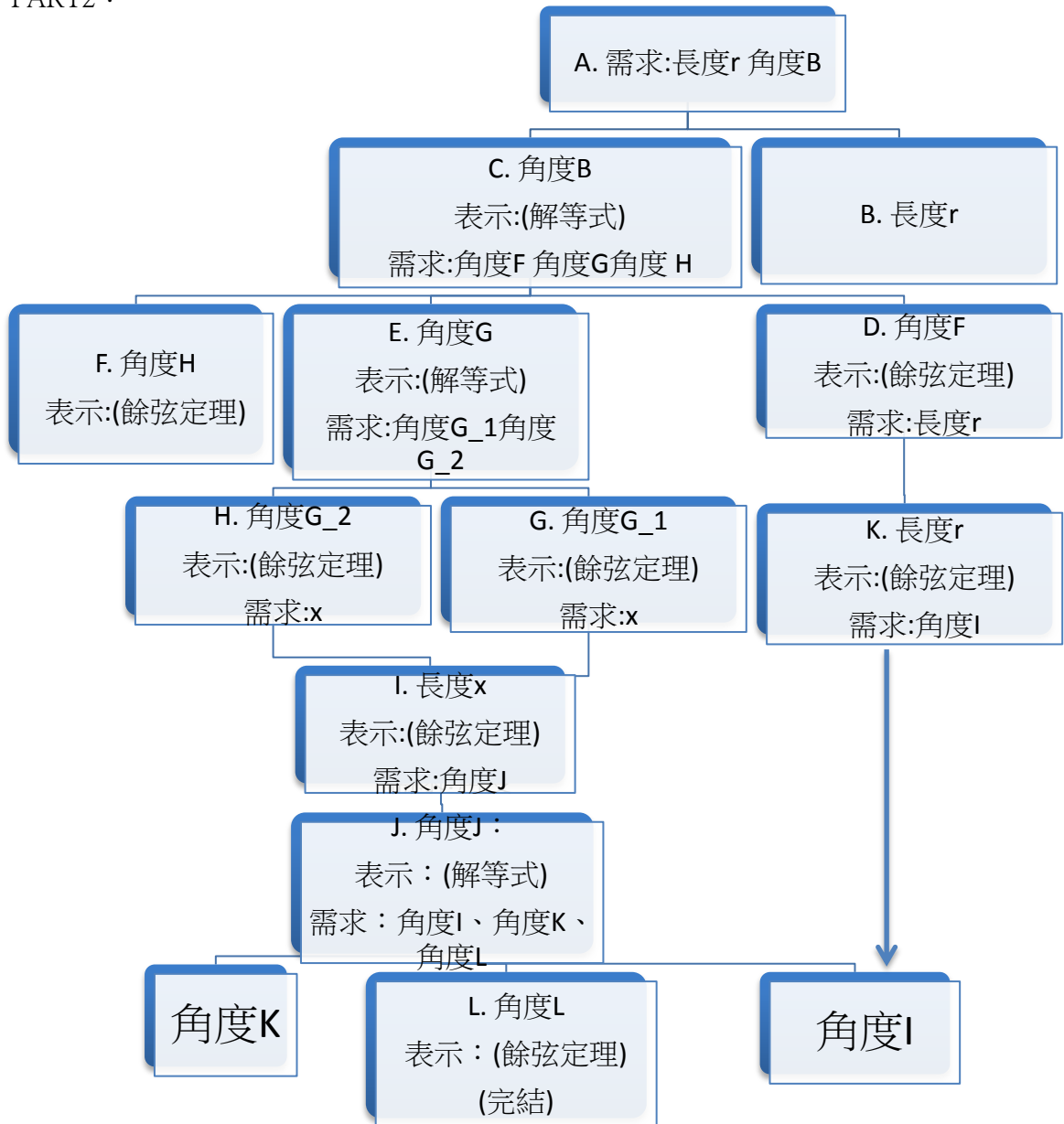
PART1:



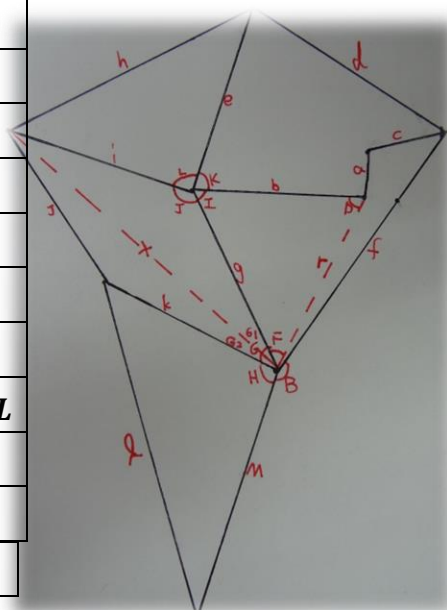
步驟 A：最終所求：
長度 p、q
步驟 B：表示：(正弦定理)
$n/\sin 90^\circ = p/\sin(90^\circ - A) = p/\sin A$
步驟 C：表示：(如下)
$A = 90^\circ - C - D$
步驟 D：表示：(餘弦定理)
$n^2 = r^2 + m^2 - 2 \times r \times m \times \cos B$
步驟 E：表示：(正弦定理)
$n/\sin B = m/\sin C = r/\sin E$
步驟 F：表示：(餘弦定理)
$g^2 = b^2 + r^2 - 2 \times r \times b \times \cos D$
結束：至 part2



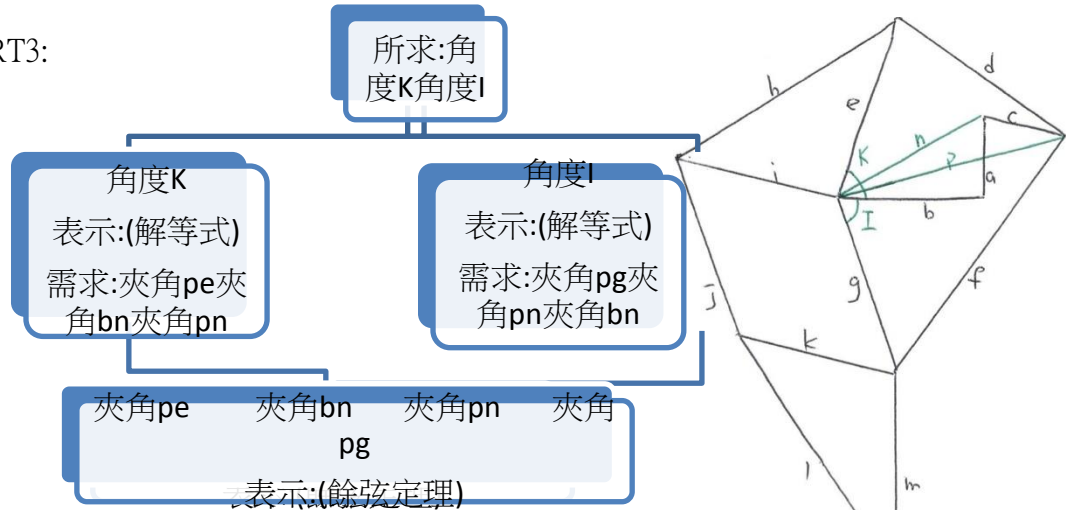
PART2 :



步驟 C : 角度 B=360 度-角度 F-角度 G-角度 H
步驟 D : $b^2 = g^2 + r^2 - 2 \times g \times r \times \cos F$
步驟 E : 角度 G = 角度 G_1 + 角度 G_2
步驟 F : $L^2 = k^2 + m^2 - 2 \times k \times m \times \cos H$
步驟 G : $i^2 = x^2 + g^2 - 2 \times x \times g \times \cos G_1$
步驟 H : $j^2 = x^2 + k^2 - 2 \times x \times k \times \cos G_2$
步驟 I : $x^2 = i^2 + g^2 - 2 \times i \times g \times \cos J$
步驟 J : 角度 J = 360° - 角度 I - 角度 K - 角度 L
步驟 K : $r^2 = b^2 + g^2 - 2 \times b \times g \times \cos I$
步驟 L : $h^2 = i^2 + e^2 - 2 \times i \times e \times \cos L$
完結 : 於 PART3 再求角度 K 和角度 I




PART3:



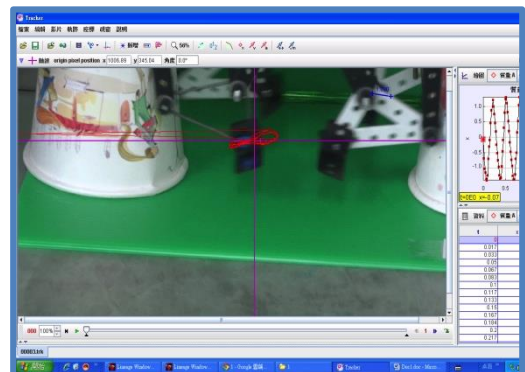
角度 K=夾角 pe+夾角 bn-夾角 pn	夾角 bn: $a^2 + b^2 = n^2$ $a^2 = n^2 + b^2 - 2 \times n \times b \times \cos \text{夾角bn}$
角度 I=夾角 pg+夾角 pn-夾角 bn	夾角 pn: $c^2 = n^2 + p^2 - 2 \times n \times p \times \cos \text{夾角pn}$
夾角 pe: $d^2 = p^2 + e^2 - 2 \times p \times e \times \cos \text{夾角pe}$	夾角 pg: $f^2 = p^2 + g^2 - 2 \times p \times g \times \cos \text{夾角pg}$

【實驗一】用實體模型的軌跡驗證軟體所模擬出的軌跡

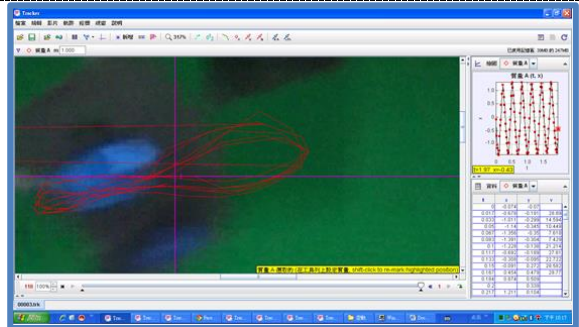
- (一) 實驗目的：用實體模型的軌跡驗證軟體所模擬出的軌跡
- (二) 實驗步驟：



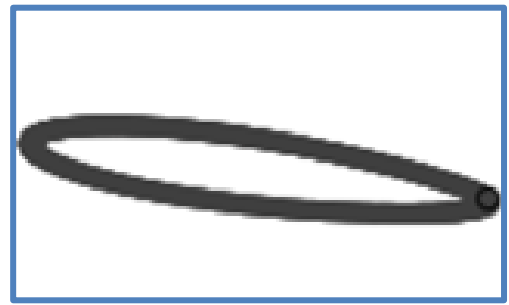
1. 用攝影機拍下模型運作的狀態



2. 使用 tracker 描出腳尖的軌跡

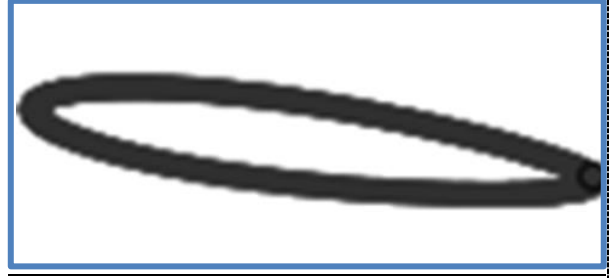
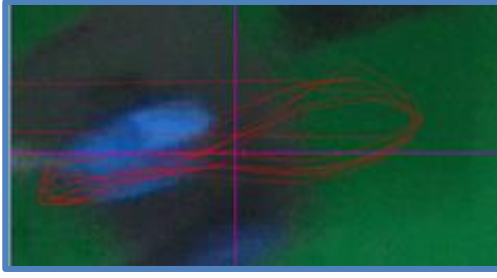


3. 計算出實體軌跡內的面積



4. 計算出 Geogebra 軌跡內的面積

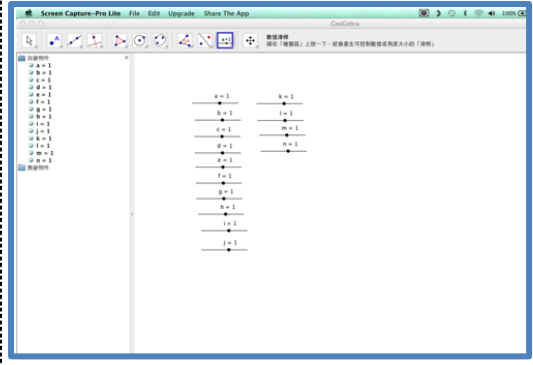
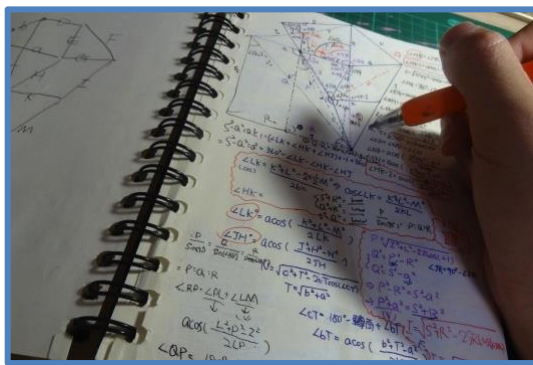
5.比較兩軌跡的面積與大致形狀，在分析兩者的相似度和造成誤差的原因。



【實驗二】用 Geogebra 的試算表驗算所導出之演算法的正確性

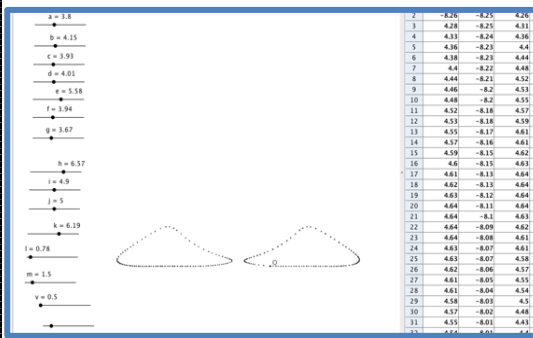
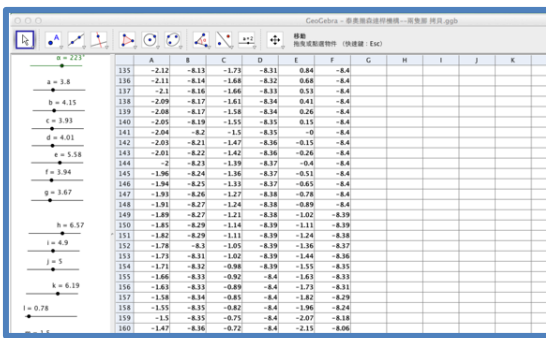
(一) 實驗目的：用 Geogebra 的試算表驗算所導出之演算法的正確性

(二) 實驗步驟：



1.透過紙筆計算得出連桿系統的連桿長與軌跡的關係式

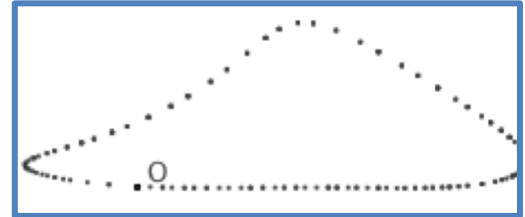
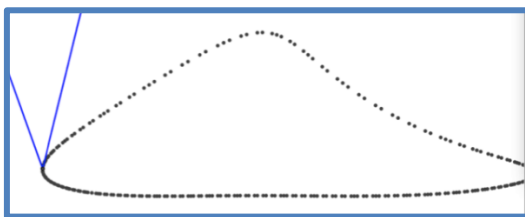
2.在 Geogebra 中建立 14 個數值與角度滑桿，分別代表各連桿的長度



3.在 Geogebra 中逐項依次續輸入各式。

4.取用 14 個滑桿數值，完成關係式

5.運用辛苦導出來的連桿系統關係式，得出與軟體模型相同的軌跡。



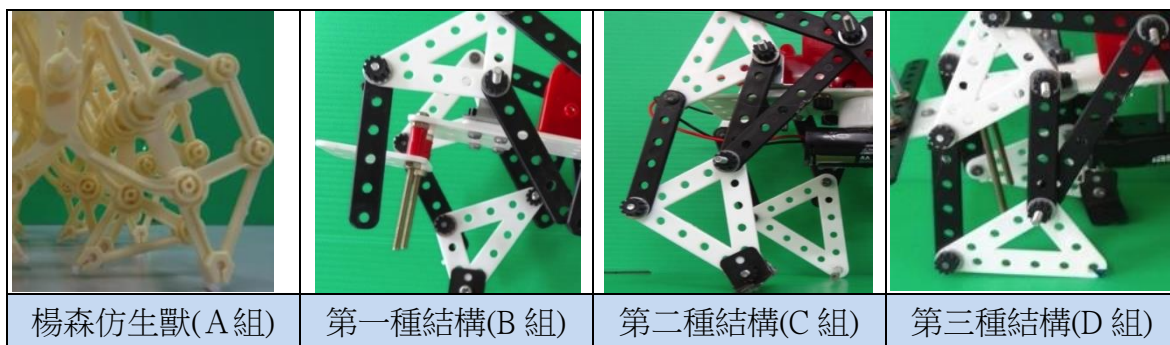
▲ 上圖左為 Geogebra 模型的軌跡

▲ 上圖右則是用數學關係式所運算的軌跡

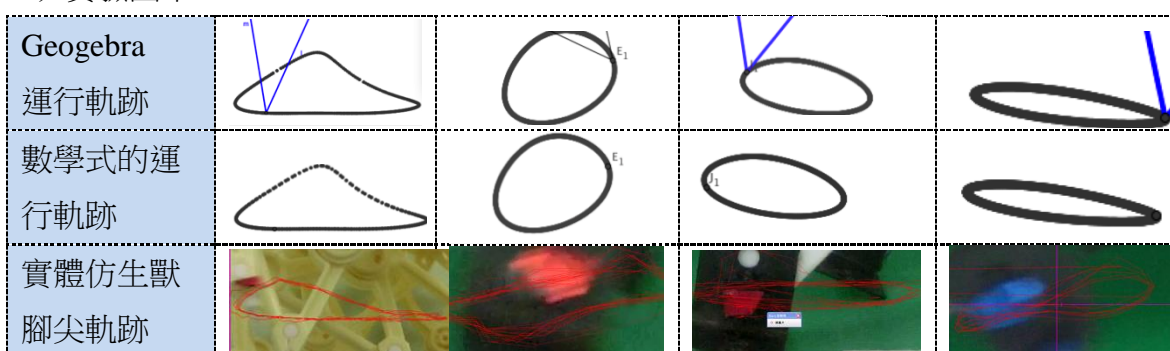
【實驗一】、【實驗二】實驗結果：

依照實驗步驟對不同軌跡進行數學關係式、Geogebra 模擬和實體模型腳步軌跡的比較。

(一) 實驗仿生獸



(二) 實驗圖示



(三) 實驗數據

Geogebra	面積	8.82(cm^2)	3.03(cm^2)	1.95(cm^2)	0.58(cm^2)
數學式的軌 跡	面積	8.82(cm^2)	3.03(cm^2)	1.95(cm^2)	0.58(cm^2)
	相似	100%	100%	100%	100%
實體模型軌 跡	面積	6.52(cm^2)	2.89(cm^2)	1.64(cm^2)	0.51(cm^2)
	相似	74%	95%	84%	87%

註：面積是機器人腳尖所畫出的封閉軌跡圖形面積

註：相似是 Geogebra 軌跡面積為分母，數學式、實體模型軌跡面積為分子所計算出

(四) 實驗結論與分析：

組別	分析探討
A 組	A 組的實體軌跡有明顯被壓縮的現象，推測是拍攝角度與連桿結構的鬆緊所致。
B 組	B 組的實體軌跡也有被壓縮的現象推測也是拍攝角度和結構鬆緊所致。
C 組	C 組的實體軌跡也有被壓縮的現象推測也是拍攝角度和結構鬆緊所致。
D 組	D 組的實體軌跡是最特別的，因為它的軌跡被扭曲而出現一個交叉，推測是原本的 GEOGEBRA 軌跡高度就較矮，壓矮之後就產生一個交叉了。

【實驗三】實驗三種連桿軌跡的走偏程度


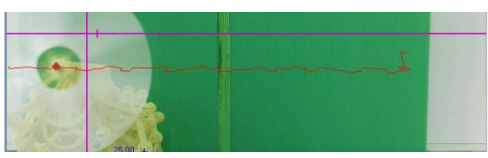
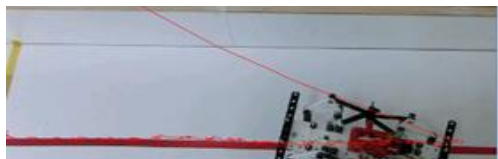
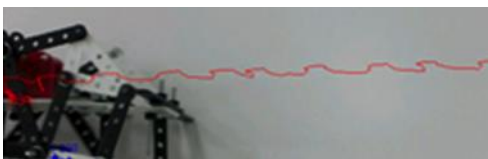

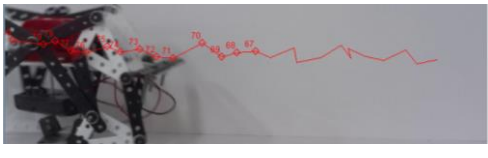
「軌跡實現」乃是一個連桿系統中最重要課題之一，而我們也花了許許多多的精力和時間來追求對這方面的完整與了解。這裡，我們所欲探究的究竟是：軌跡，究竟會如何影響仿生獸的性能呢？對於這點，下面的實驗，將會給你解答！

【實驗 3-1】觀察並證明仿生獸行走時機身的擺幅，與走偏程度的關聯

(一) 實驗假設：仿生獸的走偏是機器人行走時的不穩定產生的現象，因此我們假設機身的上下擺幅大小，是影響走偏程度的關鍵！

(二) 實驗目的：記錄仿生獸行走時機身的擺幅，證明假設中和走偏程度的關聯性

(三) 實驗圖示：

	走偏程度	機身擺幅
楊森 仿生 獸		
仿生 獸第 一種	無法行走，故不探討	
仿生 獸第 二種		
仿生 獸第 三種		

(四) 實驗結果：

	走偏程度(cm^2)	機身擺幅(cm)
楊森仿生獸	130	0.3
仿生獸第一種	無法行走，故不探討	
仿生獸第二種	202	0.6
仿生獸第三種	150	0.4

註：走偏程度就是實際行走的軌跡和理想中無走偏的軌跡間所夾的面積

註：機身擺幅是 Tracker 所製造出的波形軌跡的振幅

(五) 實驗論證：

透過實驗我們驗證了假設，即：

幅動愈大，則走偏的程度愈大；而幅動愈小，則走偏的程度愈小

【實驗 3-2】證明仿生獸運動時的上下幅動，與連桿系統的腳尖軌跡有關

(一) 實驗假設：腳的軌跡可以被一條水平且上下運動週期相等的線（圖中藍線）分成上下兩部分。而下半部，就是提供行走動力並致使機身上下幅動的主因。另外速度也是走偏的成因，所以我們就把速度x下部軌跡高做為走偏的變因

(二) 實驗目的：透過實驗、Tracker 和 Geogebra 的分析，證明假設中的理論

(三) 實驗圖示：

種類	楊森仿生獸	仿生獸第一種	仿生獸第二種	仿生獸第三種
軌跡與上下兩部分分界線				
下部軌跡高度	0.04cm	0.15cm	0.6cm	1.1cm
行進速度 (cm/s)	5.846392	無法前進	3.455362	5.371886

▼四種仿生獸機身上下幅動振幅

▲四種仿生獸的軌跡

	實驗數據	排名	四種仿生獸機身上下幅動圖
楊森仿生獸	1.75376	3	
	0.04cm	3	
仿生獸第一種	無法行走，故無軌跡		
仿生獸第二種	2.073272	2	
	0.6cm	2	
仿生獸第三種	2.1487544	1	
	1.1cm	1	

註：實驗數據中，上欄為機身幅動的振幅乘上行進速度，下欄是下半部軌跡的高度。

(四) 實驗論證：

於是經由實驗的結果，可知機身幅動和腳軌跡有關，所以：

腳下半部軌跡高度(A)→機身上下幅動的振幅(B)→仿生獸走偏程度(C)


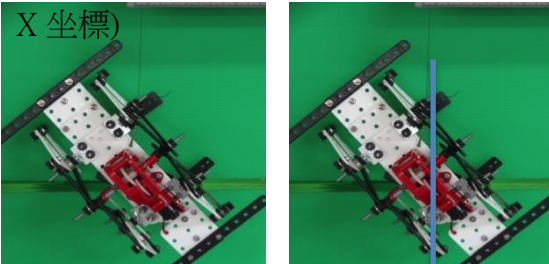
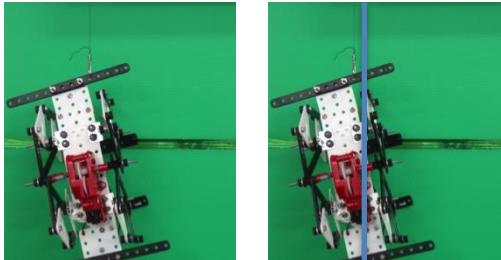
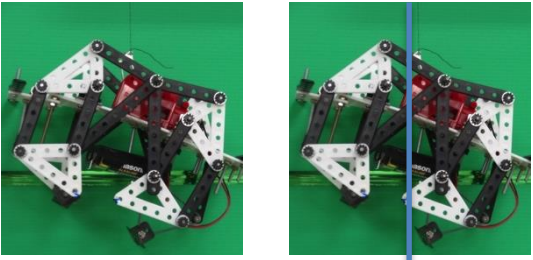
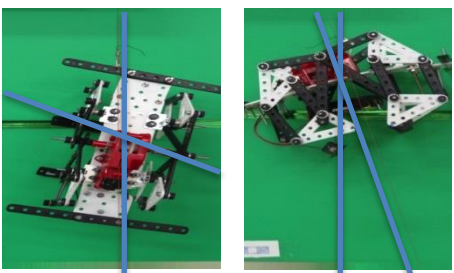

且：A 愈大，則 B 愈大，所以 C 也變大

A 愈小，則 B 愈小，所以 C 也變小

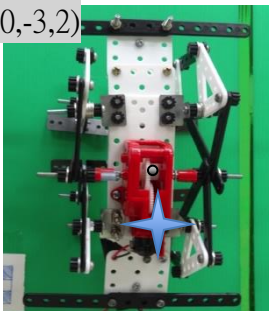
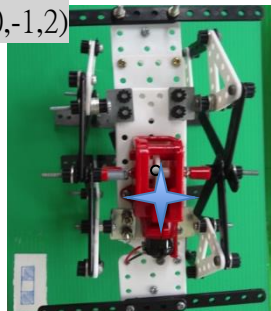
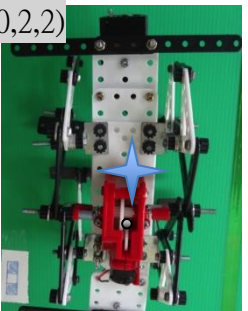
四、仿生獸承載能力：為仿生獸測量重心

(一) 實驗目的：量測仿生獸的重心以進行和重心有關的研究

(二) 實驗過程：為了量測仿生獸的重心，我們在詢問老師之後，便決定使用吊待測物的方式，比較得出重心的方法，來求出重心位置。

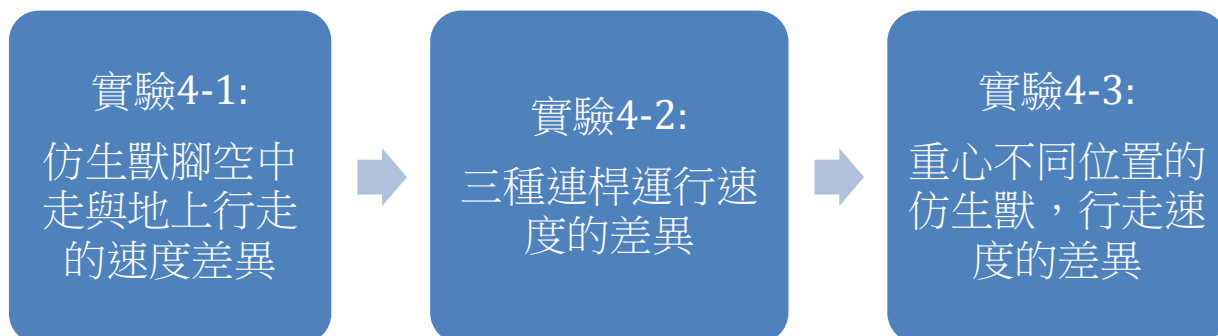
<p>1.我們先以電池盒置於正中的仿生獸為例來作說明。</p> 	<p>2.先量測重心的 X 坐標(在照片上延長垂直地面線，並用比例尺比較量出重心的 X 坐標)</p> 	
<p>3. 再量測重心的 Y 坐標 (在照片上延長垂直地面線，並用比例尺比較量出重心的 Y 坐標)</p> 	<p>4. 最後量測重心的 Z 坐標 (在照片上延長垂直地面線，並用比例尺比較量出重心的 Z 坐標)</p> 	
<p>5.比較三軸坐標(X,Y,Z)，得出重心</p> 		

(三) 實驗結果：

變因： (電池位置)	距離機體後端 1cm	裝置在機體正中間	距離機體前端 1cm
重心位置： (圖中黑點就是直角坐標的原點)(藍色星點則為重心)	(0,-3,2) 	(0,-1,2) 	(0,2,2) 

【實驗四】實驗三種連桿結構的承載能力

我們在適性課中，觀查了不同同學的仿生獸，在此之中，我們發現：為何某些人的馬達齒輪組可以順利帶動行走，有些人則否呢？於是，我們便針對這點，展開了一連串的實驗與研究了，如下，是三組實驗的流程圖：

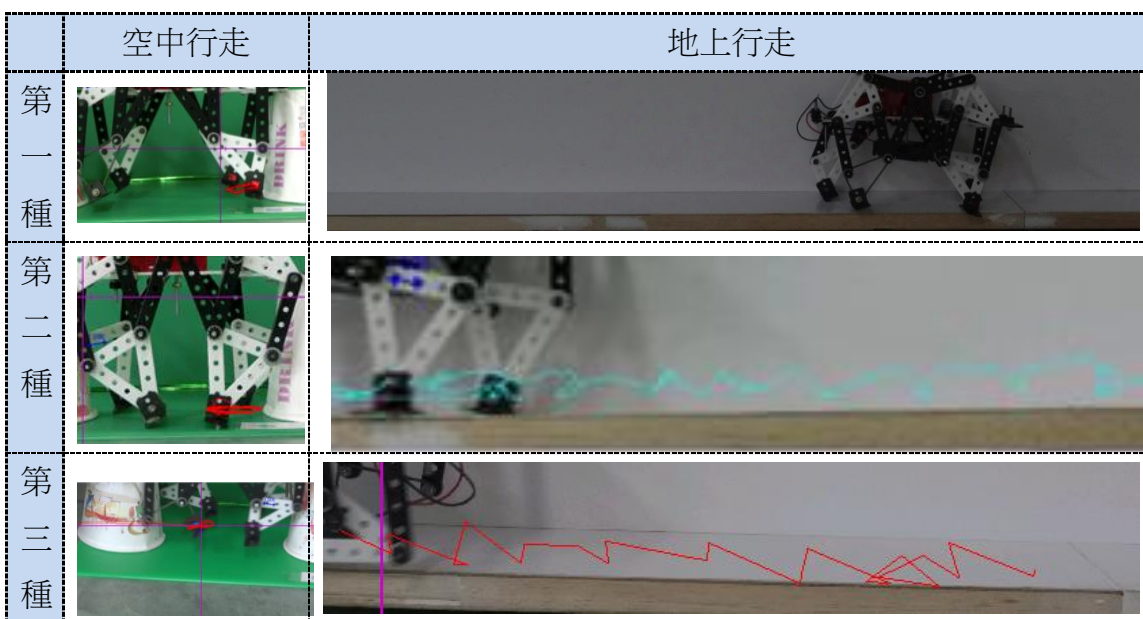


【實驗 4-1】：比較 4.0 空轉與觸地行走的差異

(一) 實驗目的：比較仿生獸 1.0 空轉與觸地行走的差異

(二) 實驗過程：將仿生獸舉於空中觀察其運作是否順暢，再將之至於地上觀察其運作是否順暢，以比較是否把重力施加再結構之上，就會對仿生獸產生影響，過成如下張圖，而結果如本頁最下方表格：

(三) 實驗相片：



(四) 實驗結果：速度

	第一種	第二種	第三種
腳空中走(A)	16.78875(cm/s)	17.5562 (cm/s)	18.0092 (cm/s)
腳地上走(B)	在地上無法走動	3.908 (cm/s)	8.994917 (cm/s)
結果	A>B	A>B	A>B

(五) 實驗結論：A 恆大於 B，所以可知結構的受力似乎與其重力有關

【實驗 4-2】：測試三種結構行走速度的差異

(一) 實驗目的：研究不同連桿系統的設計對於仿生獸行進速率的關連

(二) 不變變因：1.連桿長度與比例，除了最底邊的三角形之外

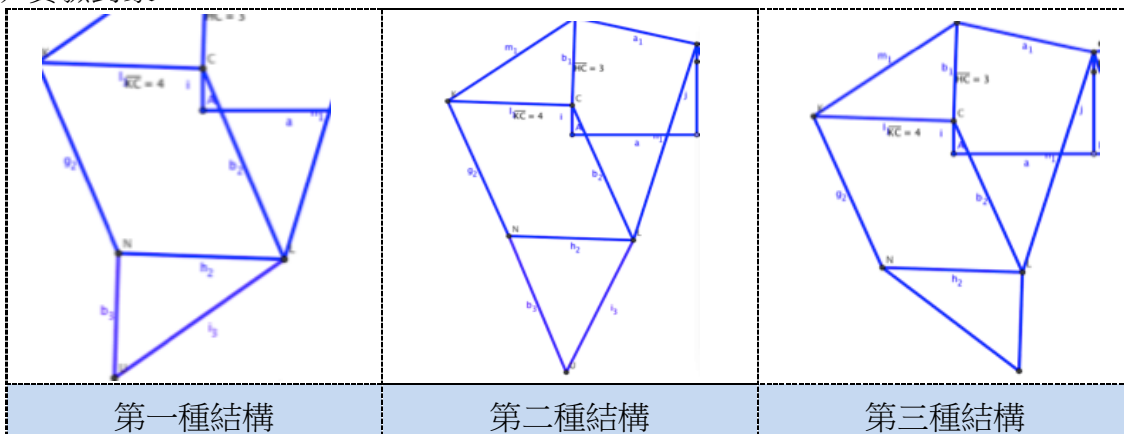
2.由於三者之機體設計和關節數相同，故摩擦力皆相等。

3.機器人的馬達與配件皆相同

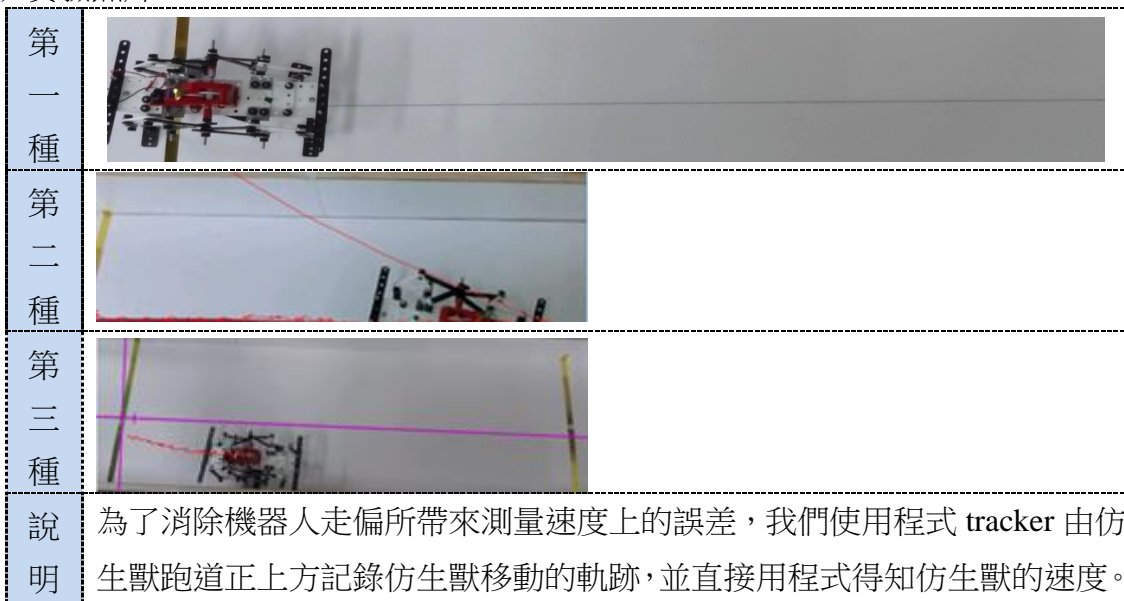
(三) 操縱變因：最底部的三角形分三種

(四) 應變變因：三者的速度

(五) 實驗對象：



(六) 實驗照片：



(七) 實驗結果：

	速度(cm/s)	長條圖表表示速度
第一種	0	
第二種	3.455362	
第三種	5.371886	

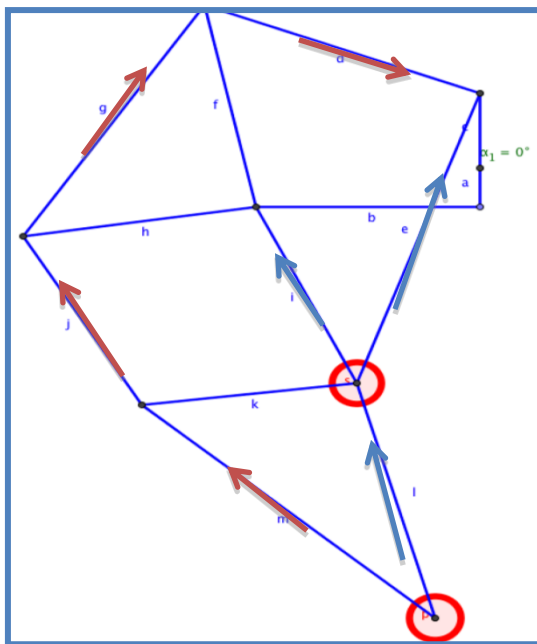
(八) 推論和論證：

依據以上實驗所產生的現象，我幾乎可以斷定：仿生獸所承受的大多數受力，皆來自機體本身的重力，而這股重力又以某種方式傳遞與分散，甚至可以彼此抵消。之後，我們開始思索導致現象的原因。

1.推測重力傳遞的走向

因此，根據力矩的定義，我們可以推斷：「連桿間的受力比，和各連桿間距離重心的距離成反比。」

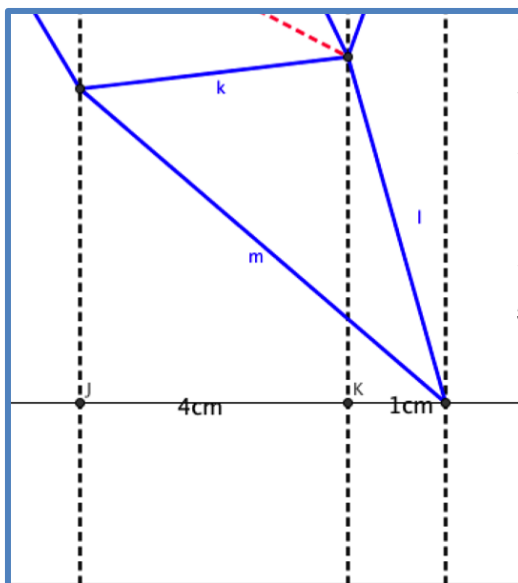
故而，我們便以這樣的方是做為基準，往下再繼續推導出整個連桿系統的受力方式。以下：便是我們對於機器人受力傳播的解說圖。



如左，我們以力量的不同種類來分類之：

藍箭頭	分散的力量： 請詳見下方敘述。
紅箭頭	往紅色箭頭方向傳遞： 雖然這裡的力量並非 100% 完全傳遞，但由於完整的計算牽扯到多方的力矩，所以就將此處傳遞至馬達的能量，當成 100% 的大概值了！

2.用力矩解決受力分散的問題



如上，假設：

地平線 = 黑色實線

受力的三點 = 三角形的三點

黑色虛線是這三點與地平線座垂直之線

其中，假設 k 邊上左右兩點分別距離腳間 5cm 和 1cm，又這隻腳受力 6g，則：

左點受力 = $6 \times \frac{1}{5 + 1}$ 其與腳尖距離 5cm

右點受力 = $6 \times \frac{5}{5 + 1}$ 其與腳尖距離 1cm

3.解重力傳遞的數學公式

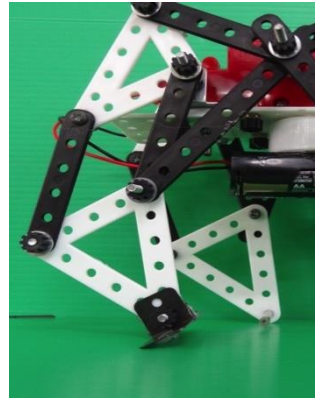
於是，我們把最後傳到馬達的力量總和做為所求，便能解釋實驗中的現象了，其結果以 Geogebra 運算之，便如下個項目中所示。

4.用 Geogebra 運算與模擬重力的數學公式

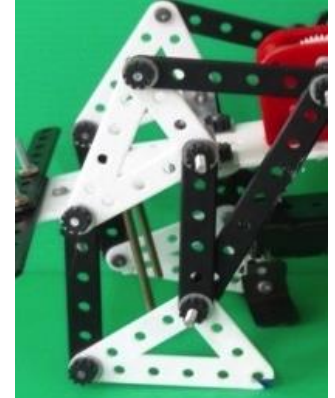
接下來，我們就可以用 Geogebra 對數字運算強大的試算表功能，來比較下表的三種設計，三者之間，馬達施力臂所受到的力量大小吧！如圖，其中唯一的差異只在於最底端腳尖的那個三角形，圖一、三為等腰三角形、圖二是直角三角形。



▲第一種

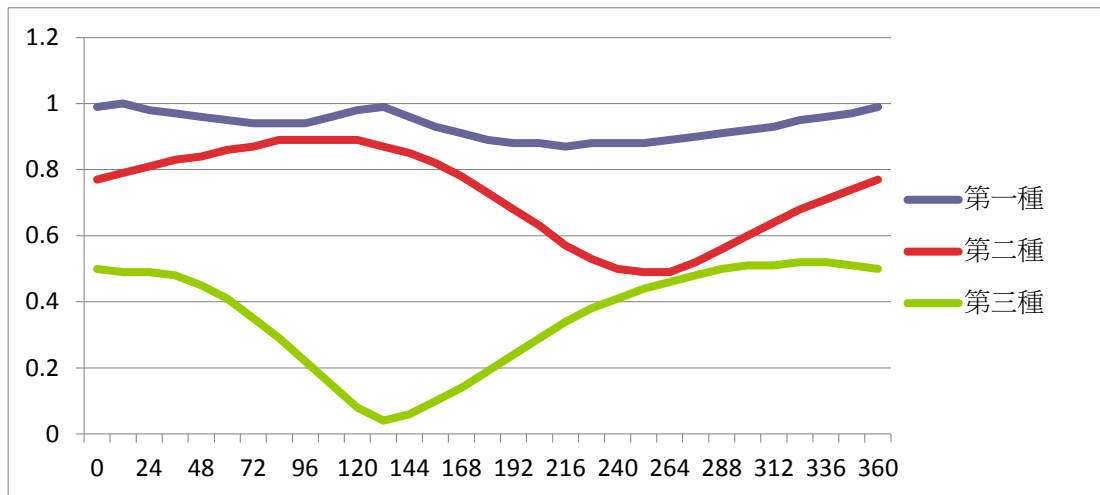


▲第二種



▲第三種

下圖，就是兩者之間，馬達施力臂所受到力量大小(此處所提供的數據是整體受力的百分比)的折線圖：(橫軸為連桿系統的輸入角，縱軸則是所受重力的百分比)



由此初步推算可知：在實驗中無法順利作動的第一、二種，其馬達施力臂所受的力量果然較大，而可走動的第三種設計，承受的力量也相對的小，故而可以解釋實際操作時的結果。

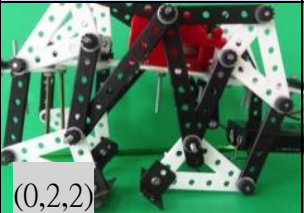
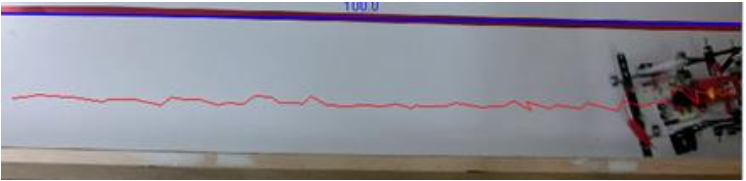




所以，我們欲利用這種關係，設計連桿的排列與長度，使力傳到馬達的部份減少，進而提升效率。

【實驗 4-3】:重心位於不同位置的仿生獸，行走速度的差異

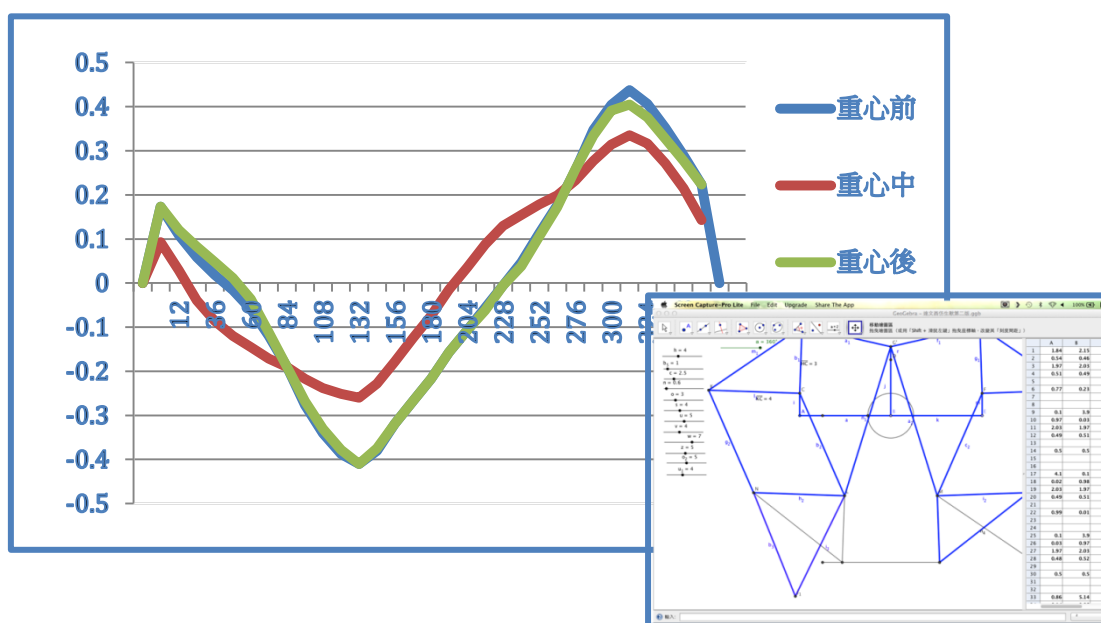
根據前頁重力受力分佈的理論，我們可以推導出仿生獸上單一隻腳上傳到馬達的力量，而後在這個實驗中，我們的目的就是要同時考量四隻腳的受力，以重心位置的不同作為變因，並透過 Goegebra 模型來解釋理論架構。因此，我們欲量測不同重心位置的仿生獸 1.0 的速度，並用模型分析其中的理論。

(一) 實驗器具：三台重心不同的仿生獸 1.0，即是重心測量單元中所量測的三台

(二) 實驗相片：

	重心位置圖	用空拍影片與 Tracker 測速度
重心前	 (0,2,2)	
重心中	 (0,-1,2)	
重心後	 (0,-3,2)	

(三) 計算馬達齒輪組的總受力(表格數據是所受仿生獸重量的百分比)



▲仿生獸四腳所受的力會互相加總與抵消而馬達的受力便如上圖

(四) 分析行走快慢的原因

如上方實驗，我們可以看出仿生獸的運行的速度與馬達齒輪組所受總力間的關係。

如下表：(表格中數值為+者為阻力，-者為助力，在此只統計阻力，即受力)

	最大受力	受力排行	行進速度	速度排行
重心前	0.4376	1	4.1911	3
重心中	0.335	3	5.6968	1
重心後	0.3913	2	5.0634	2

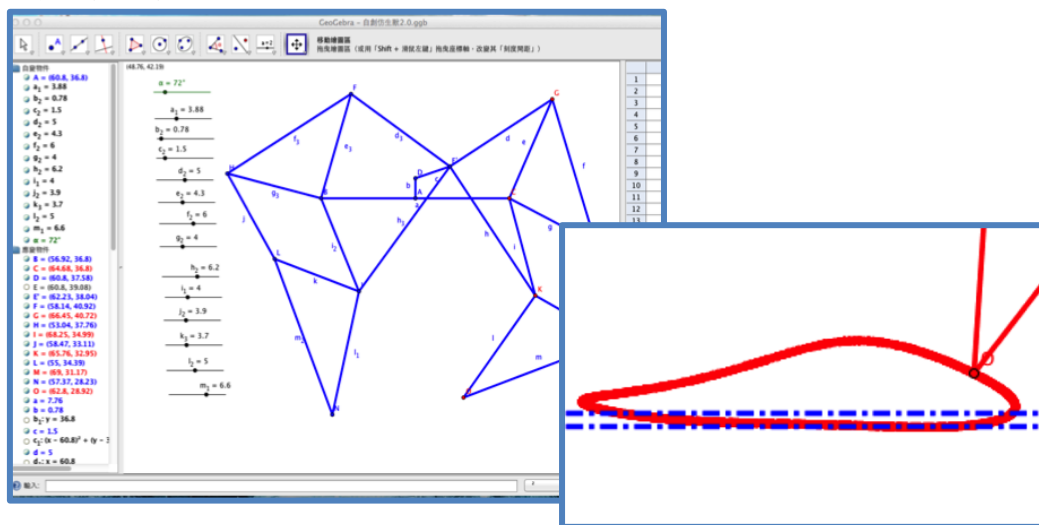
經由上表得知：據理論 Geogebra 模型所統計出來的馬達總受力，愈大者速度愈慢，愈小者速度愈快。並由模型中推得：重心愈靠近中間，所受總力會叫平均。

伍、研究結果

一、應用仿生獸軌跡實現的理論：自製仿生獸機器人 2.0

軌跡實現-走直能力：(依據先前的實驗結果，走直的能力多寡是與軌跡有關)

將泰奧楊森的縮小版模型視為目標，而第一代仿生獸為改良對象之後，我們開始設計新一代的仿生獸。其中，我們率先針對本研究所探討的兩大方針：軌跡實現、承載能力進行設計，並且考量了實際製作的困難而將連桿長度的精度調至小數點後一位，即 0.1cm。



(一) 上圖是我們設計的軌跡，下表比較這個設計和原來的實驗照組之優劣。

(二) 雖然其優劣排名不如楊森原版與 1.0 第一種，但不使用的原因有二：

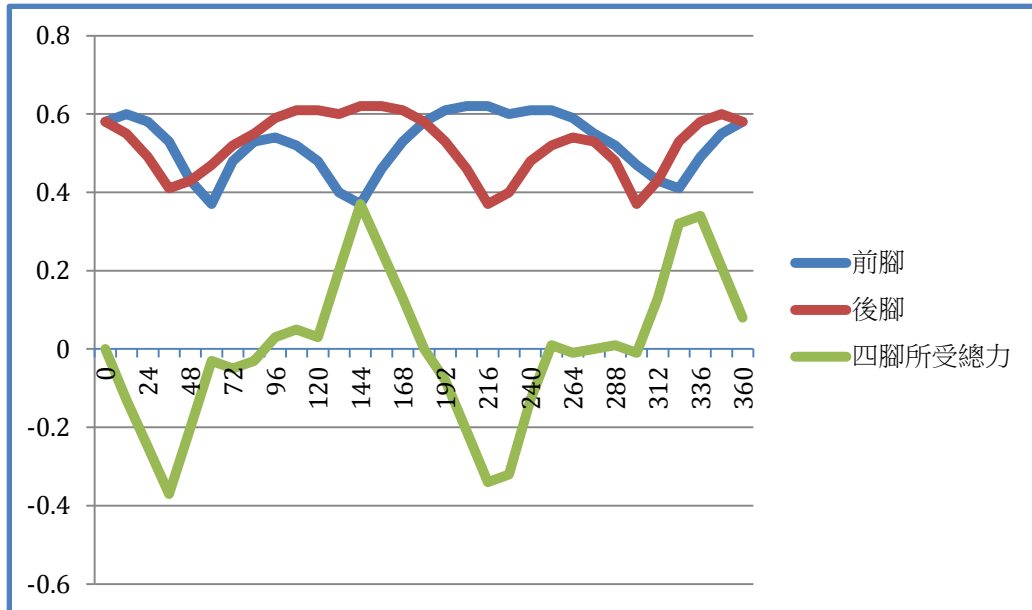
- 1.前者因連桿長度所需的精度太高
- 2.後者整體軌跡太矮而在實驗中發現有打滑的現象

	楊森原版	1.0 第一種	1.0 第二種	1.0 第三種	2.0 版
下半軌跡高度	0.04cm	1.1cm	0.6cm	0.15cm	0.22cm
數據優劣排名	1	5	4	2	3

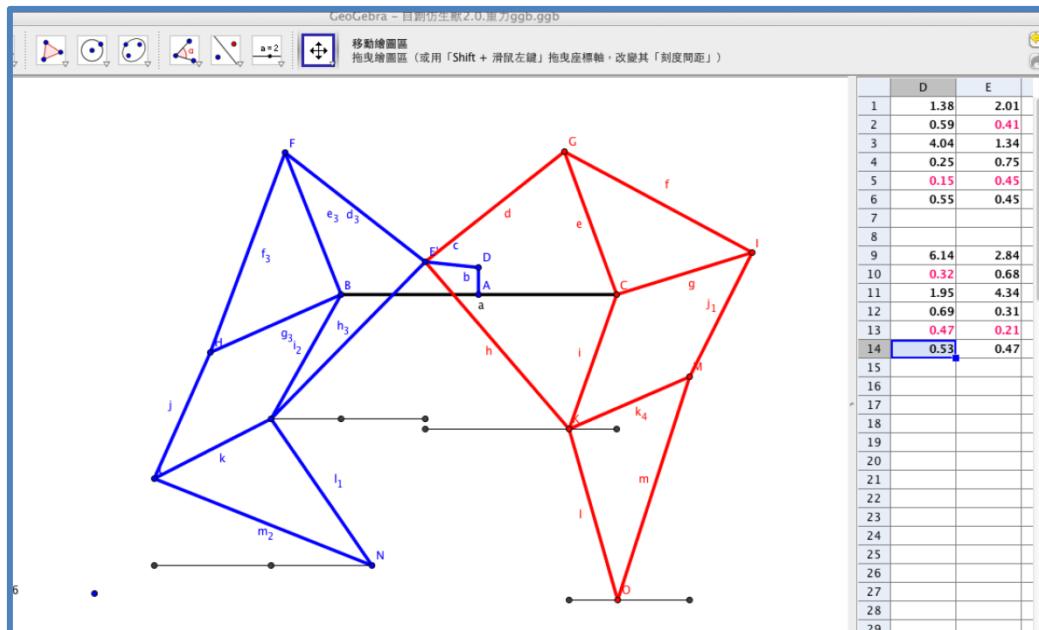
三、應用仿生獸承載能力的理論：自製仿生獸機器人 2.0

承載能力-速度變因：（根據先前的實驗，承載能力多寡是與重力的分佈有關）

如下面的圖表，我們使用重心分散理論的公式計算新一代仿生獸所受到的力量大小，並比較新的設計與舊設計間的優劣！



▲根據重力分散理論所計算出來的仿生獸 2.0 版受力圖



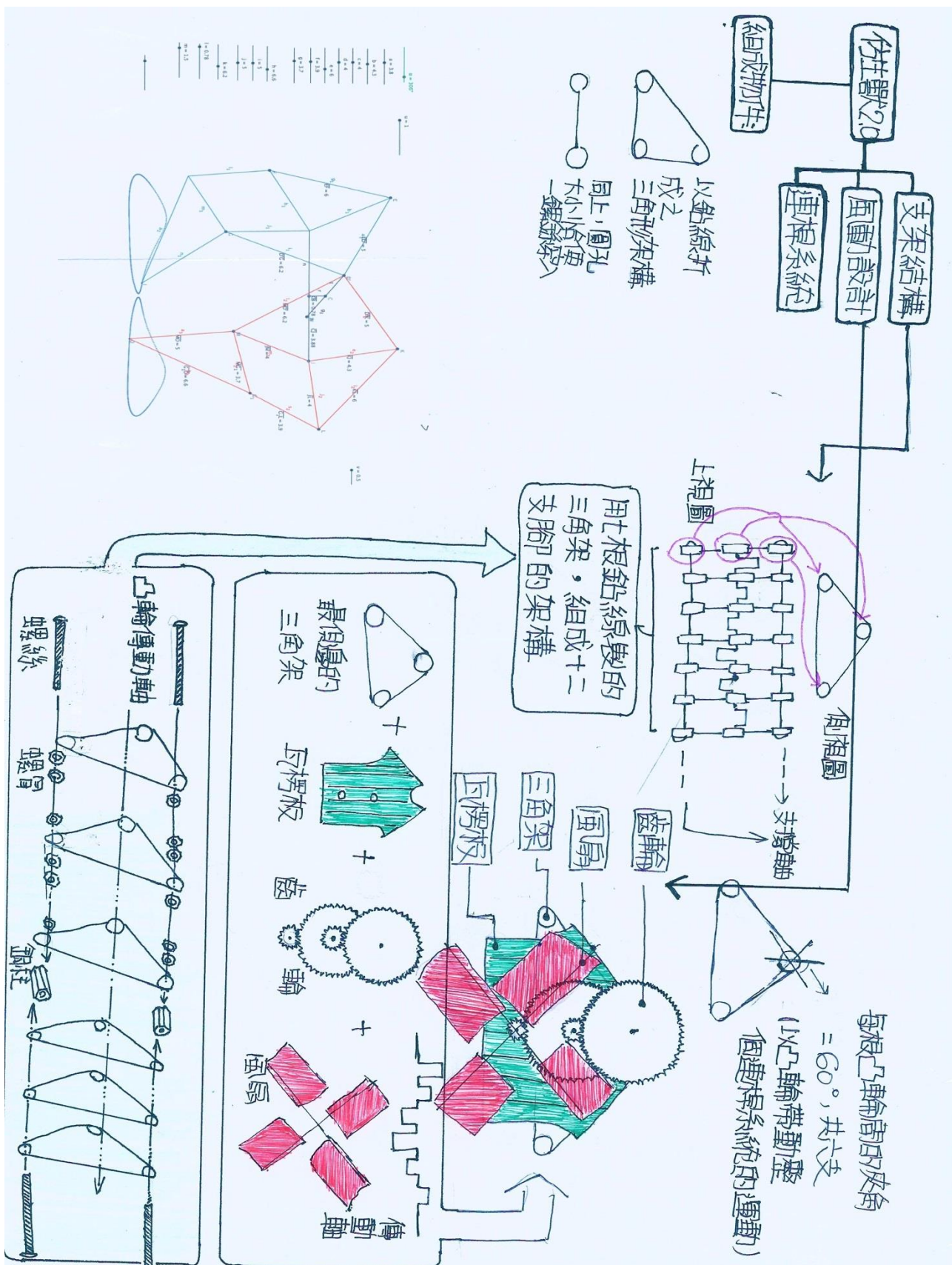
▲使用 Geogebra 進行運算

根據下方表格顯示：2.0 版的仿生獸效能不如實驗時所試用的仿生獸第三種。但經過我們的實際試驗仿生獸第三種時卻發現，他行走時會打滑所以不採用。

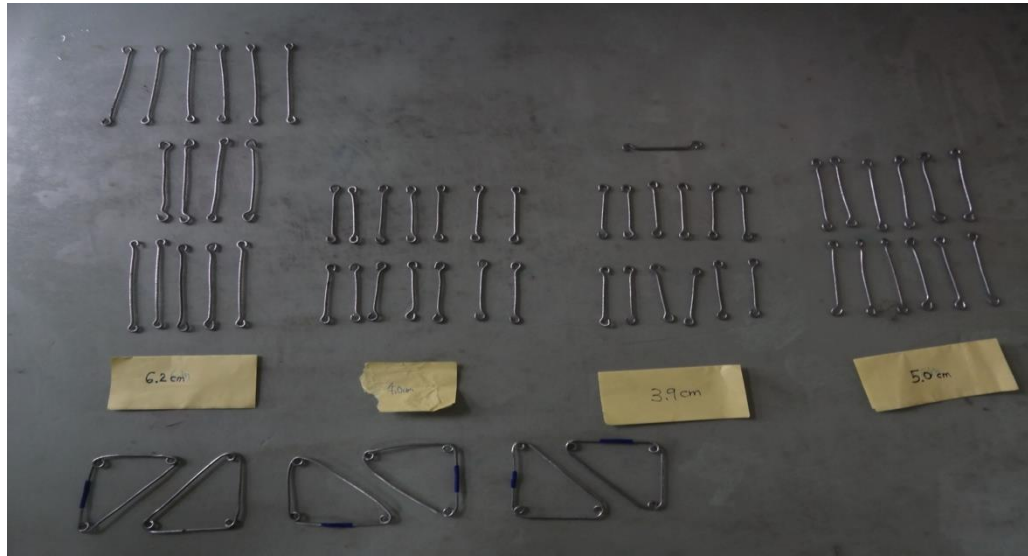
	仿生獸第一種	仿生獸第二種	仿生獸第三種	2.0 版
最大受力	機體重的 98%	機體重的 89%	機體重的 52%	機體重 62%
數據優劣排名	4	3	1	2

最後，我們參考了泰奧楊森原版的結構排列方式，做為機體的設計。

設計總圖：



零件(鉛線製的連桿)



零件(腳踏車輻條做的凸輪軸步驟與零件)


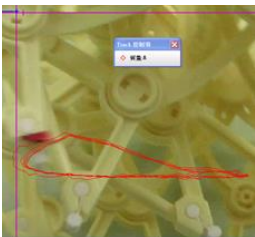
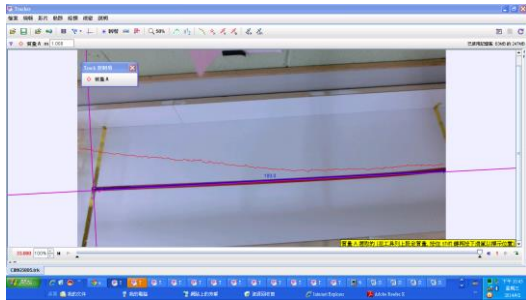

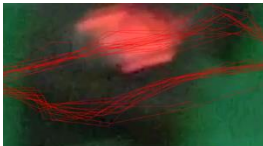
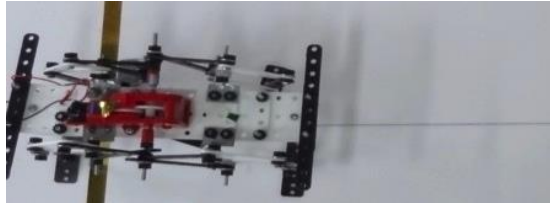

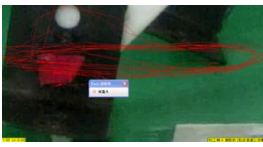
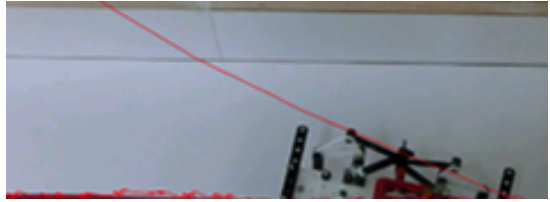

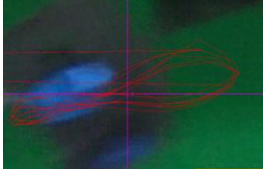



做法

1. 依照連桿比例，用鉛線折成所需的零件
2. 先用長螺絲組裝用鉛線三角架構成的支架，
3. 並裝入凸輪傳動軸將鉛線製的連桿按照順序與設計一一裝上
4. 用螺絲鎖上所有的關節，並使用白膠固定螺帽的位置
5. 接合風力系統並測試仿生獸的步行：

一、利用研究仿生獸 1.0 所得的理論分析數種不同的仿生獸結構或設計

我們研究的主軸，主要分為兩項，即軌跡實現和承載能力，而他們又分別主宰了仿生獸兩個重要的性能：走偏程度、行進速度。於此，我們將要來分析本科展專題中所使用的 4 架仿生獸了！

圖片	名稱	走偏程度(cm/s)	行進速度(cm/s)
	泰奧楊森仿生獸 縮小版模型	130	5.846392 (取決於風力大小)
			
			
	實驗用仿生獸 第一種：	無法行走	無法行走
			
			
	實驗用仿生獸 第二種：	202	3.455362
			
			
	實驗用仿生獸 第一種：	150	5.371886
			
			

陸、討論

如何將我們研究的結果應用在科技之中？

柒、結論

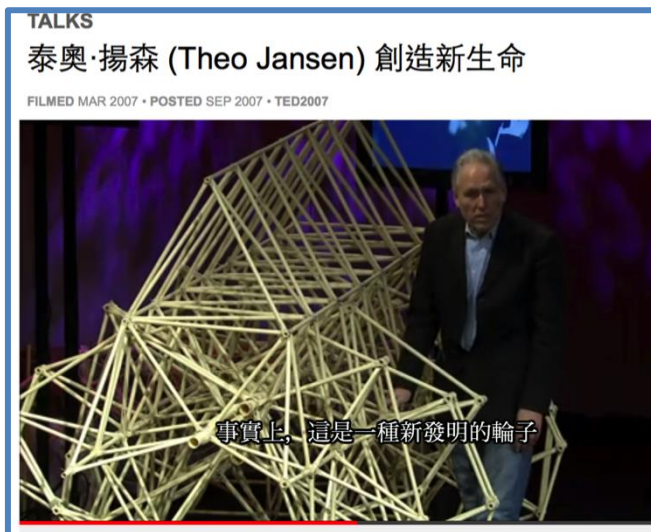
將仿生學與仿生獸應用在科技的新發展之上：

自從揚森的展覽結束之後，仿生獸仍只是被世人們侷限在藝術品的範疇之中，未能真正落實於生活與科技之上。但在我們深入的研究與探討之後發現：揚森式仿生連桿機器人的潛力絕對不止如此！其中，我們發現了以下幾點，足可說明潛力無窮：

- 模仿生物的步態模式可以適應地球上的任何環境(圖 5-1-1)
- 若將連桿換成可改變長度的液壓缸，便可以調整腳步軌跡並因應環境的變化(圖 5-1-2)
- 只需有一個動力系統和結構，就可作出連桿系統(圖 5-1-3)
- 設計過的腳步軌跡使腳和輪子一樣，重心皆保持在同一高度(水平線)上



另外，揚森所發明的「腳」，即是連桿系統的組成，亦是我們本次研究中的一大主軸，更可以發展成另一種形式的「輪子」，引述揚森在 TED 演講上的中文翻譯所說：



泰奧·揚森說：

「……為了能流暢的走動，管子的精確比例是很重要的。總共有 11 個數字，我稱為 11 神聖數字，這些能使他們流暢運作的數字帶表了管子之間的距離，事實上，這是一種新發明的輪子，作用的機制跟輪子一樣，輪軸必需維持在水平線上……」

於是在我們的實驗中，便以連桿系統的「腳」為研究的重點之一。因此，就讓我們來歸納一下我們所做的實驗如何運用連桿系統吧！

首先，我們將連桿系統的特性分成兩類，及：軌跡實現、承載能力等(如下)再來，便可以使用研究過程之中所**使用的方法**，來一一解答這兩個難題了！如下：

軌跡實現

- 應用方法：用Geogebra模擬或以試算表帶入公式和常數
- 定義：仿生獸的腳尖運動時，所遵循的不規則封閉線段

承載能力

- 應用方法：利用研究二，分散受力到結構上
- 定義：透過連桿的設計，能使連桿機構減少施力，進而達到目的

這裡，綜合了所有研究的結果，目的正是要說明：透過我們的研究，可以控制仿生獸的所有變因並包括所有的物理、數學定律與規則。

當今有許多國家紛紛投入人形機器人的研究之中，但多半的結果卻只是製造出一架昂貴、又高科技的產物。透過我們的研究，能讓楊森式的機器人可以因應各種性質的改變，並且得以用低廉的成本，亦能和那些耗資數十億的人形機器人相互媲美！現在，許多腳殘人士皆因無法負擔購買一雙得以輔助他們行走的機械義肢而苦惱，但我相信，科學家們若是能用仿生連桿系統去研究義肢，也許可以降低成本，讓更多人使用。況且，連桿仿生的應用也許不僅於此，在許多汽車、交通工具所不能及之處，應該只有也只有使用「腳」的交通工具才能到達吧，未來，當人們要往像地球一般的外星球探險時，也許便會派出一架跟電影《阿凡達》中一樣裝有「腳」的機器人吧！

我們希望，可以透過我們研究出來的一套流程與方法，讓世人可以把這種簡單又不那麼昂貴的機械應用於科技之中，造福人群！

捌、參考資料及其他

一、書籍資料：

- (一) 達絲婷·羅勃茲(2013.5.)讓東西動起來 Making Things Move
- (二) 南一書局(2013.3.)普通高級中學數學第三冊
- (三) 棉花(2006.1.23)睡夢中，學三角
- (四) Make 雜誌

二、網路資料：

- (一) TED 網站影片：泰奧·揚森 (Theo Jansen) 創造新生命
http://www.ted.com/talks/lang/zh-tw/theo_jansen_creates_new_creatures.html
- (二) 維基百科
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/Wikipedia:首页>
- (三) 達文西積木官方網站
<http://lwl66.myweb.hinet.net>