

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

佳作

032802

進擊的蟲蟲-蟲蟲的終極奧義

學校名稱：苗栗縣立公館國民中學

作者： 國一 謝富鈞 國一 梁兆仲 國一 鄭筠橋	指導老師： 劉傳鐘 李笑薇
---	-----------------------------

關鍵詞：蟲蟲、摩擦力、曲柄

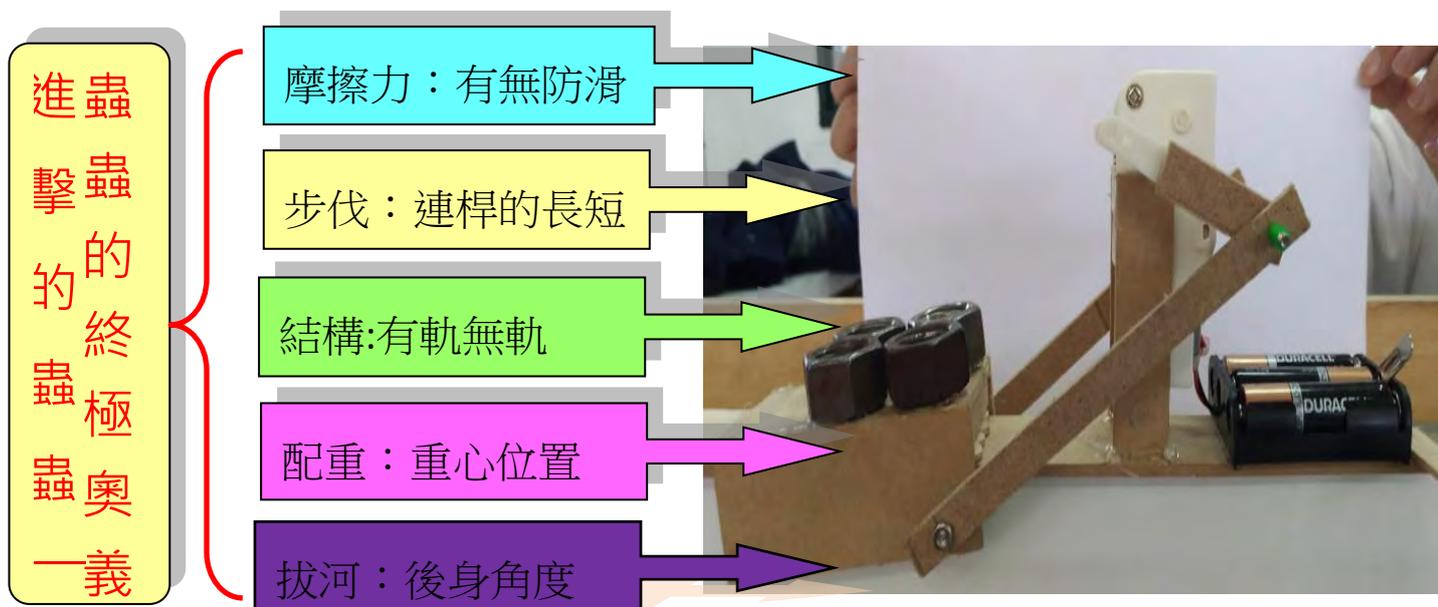
摘要

本研究源於參加 Power Tech 科技創作競賽，要製造一隻兼顧「接力賽」及「拔河賽」的蟲蟲機械獸。結果發現：

- 一、連桿越長蟲蟲移動速率越慢。
- 二、有軌蟲蟲較無軌蟲蟲走得快。
- 三、防滑貼條位於身體後段，速率最快。
- 四、蟲蟲後段身體過輕，導致行走翻覆；而蟲蟲後段身體過重，蟲蟲會拉不動配重。
- 五、重心位於後身前端或中間，行走速率最快。
- 六、曲柄越長，行走速率越快。
- 七、配重為 4 個螺帽、6 個螺帽時，以連桿 12cm 蟲蟲速率最快。
- 八、後身高度為 5 公分，角度為 20 度的負重量最大。
- 九、防滑貼條貼在前段時，負重力較佳。
- 十、當重心位於前段，且角度介於 10 度到 20 度時，負重量增加。
- 十一、防滑貼條摩擦力適中，負重量最大。

壹、研究動機

本研究源自於我們參加過 Power Tech 科技創作競賽，做過各種不同的機械獸。蟲蟲這隻機械獸，既要參加「接力賽」，又要參加進入決賽後的「拔河」比賽。如何兼顧「接力賽」時能走得很快，又能在拔河比賽時能贏過對手，在我們比完賽後，腦海中浮現一連串的問題，為解決這些疑問，進行了許多實驗，希望能製作出能力超強的蟲蟲。因此，我們進行了一連串有關蟲蟲的研究。



研究方向思考圖

貳、研究目的及研究問題

我們針對蟲蟲進行一系列的研究，並根據研究目的，提出以下研究問題：

目的一：比較不同連桿長度及結構對蟲蟲前進的速率有何影響。

研究 1-1：不同長度連桿，對蟲蟲前進的速率有何影響？

研究 1-2：不同結構的蟲蟲，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的二：比較不同摩擦力的蟲蟲對移動速率有何影響。

研究 2-1：不同防滑貼條位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？

研究 2-2：不同接觸面材質，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的三：不同重量，對蟲蟲行走有何影響。

研究 3-1：不同身體配重，對蟲蟲前進的速率有何影響？

研究 3-2：不同重心位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的四：不同曲柄長短，對蟲蟲行走有何影響。

研究 4-1：不同曲柄長短，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的五：所有變因組合下，蟲蟲的行走速率為何。

研究 5-1：不同連桿及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

研究 5-2：不同曲柄長短及配重的所有組合下，對蟲蟲行走的速率為何？

研究 5-3：不同防滑材質及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

研究 5-4：不同防滑位置及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的六：所有變因組合下，蟲蟲的負重量為何。

研究 6-1：不同後身高度及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？

研究 6-2：不同配重重心及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？

研究 6-3：不同防滑位置，對蟲蟲負重量有何影響？

研究 6-4：不同防滑材質，對蟲蟲負重量有何影響？

參、文獻探討

一、比賽規則與設計要點

根據〈2017PowerTech 青少年科技創作競賽 Mini-Com 區賽暨全國賽競賽規則〉蟲蟲需設計為蠕動前進，作品（含造型）需在長 40 公分、寬 22 公分、高 35 公分內，並可平放於尺寸盒，並展開至最大長度。作品重量限制(包含造型重量)上限為 700 公克。(圖 3-1)

作品尾部需使用大會提供之冰棒棍、螺絲及螺帽製作尾巴，並獨立加裝於競賽物後端，以作為拔河之用。尾巴不可直接使用螺絲及螺帽裝置於機構本體上，需外露於競賽物機體及造型之外，並使拔河線可直接裝卸。尾巴高度以拔河線圈套點為基準，位置距賽道需於 10 公分以內，螺絲必須由下向上安裝且加裝螺帽，如圖 3-2 所示。

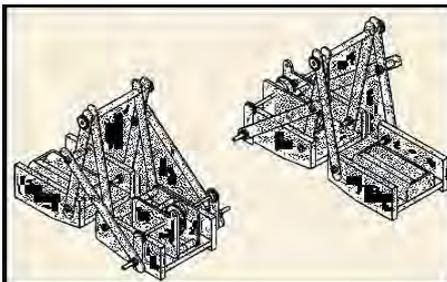


圖 3-1 蟲蟲示意圖

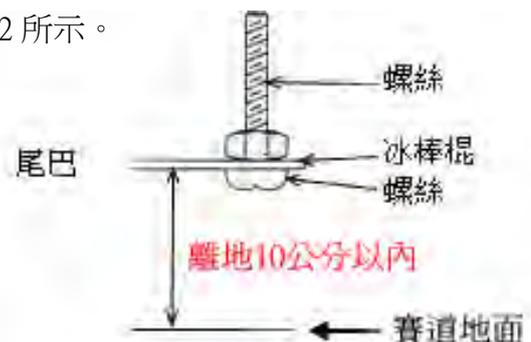
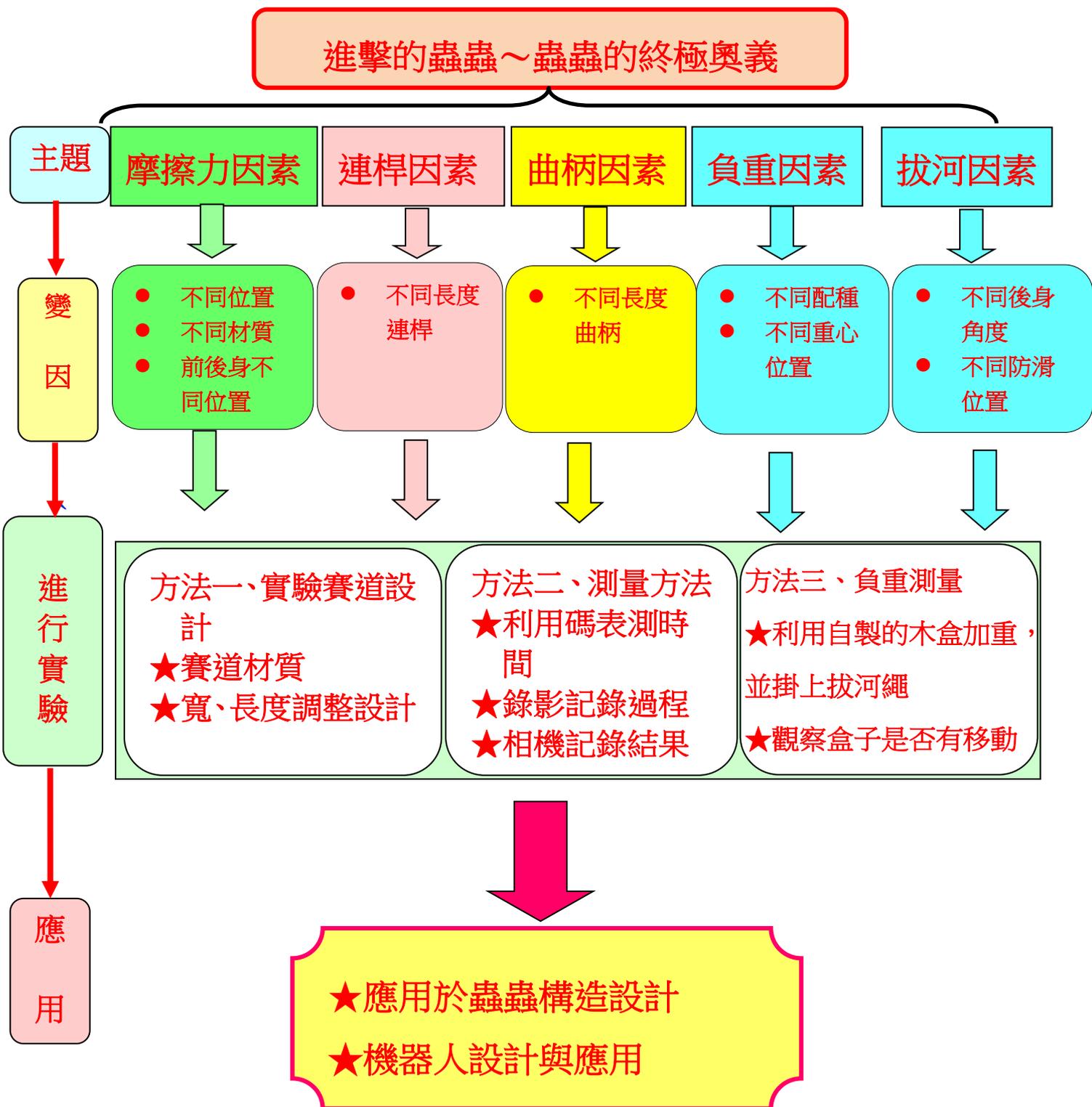


圖 3-2 固定拔河繩的規則

肆、研究架構



伍、研究設備及器材

一、實驗材料：

- (一) 蟲蟲原型(五種)
- (二) 螺帽：配重用
- (三) 電池：同一廠牌
- (四) 黑色止滑墊：增加摩擦力
- (五) 密集板：原型的材料

二、實驗器材：

- (一) 工具箱（內部包含手搖鑽、小板手、防鑽板、開關、熱融膠條、熱融槍、螺絲起子、剪刀、螺帽、螺絲、電線、電池盒、剪線鉗、長尺、絕緣膠帶、矽膠管）



圖 5-1 工具箱

- (二) 測量工具：照相機、碼錶、錄影機

- (三) 實驗場地:比賽跑道(立光板)



圖 5-2 比賽跑道

三、實驗裝置

(一) 蟲蟲~結構設計

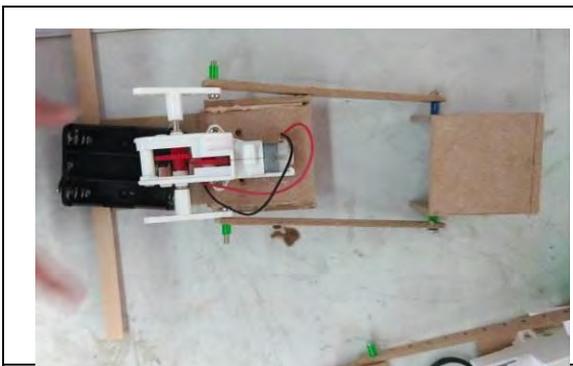


圖 5-3 無軌蟲蟲 1

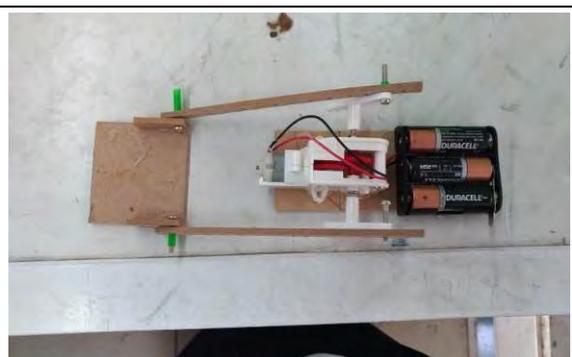


圖 5-4 無軌蟲蟲 2

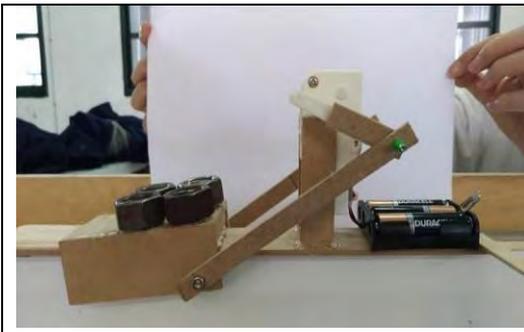


圖 5-5 有軌蟲蟲 1

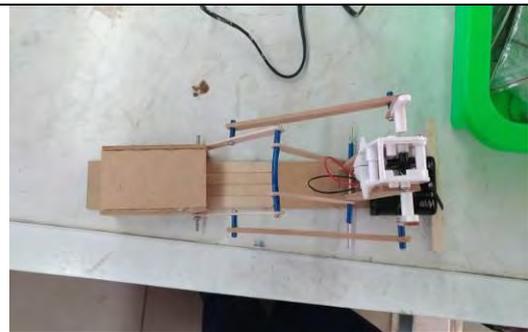


圖 5-6 有軌蟲蟲 2

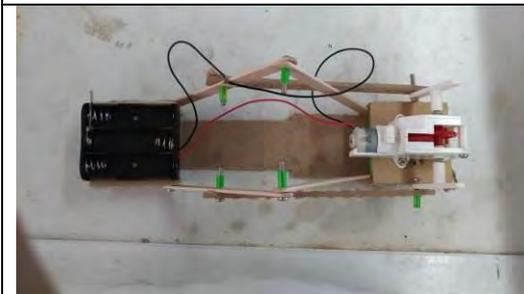


圖 5-7 有軌蟲蟲 3

(二)不同變因



中段



前段



後段



後身底部

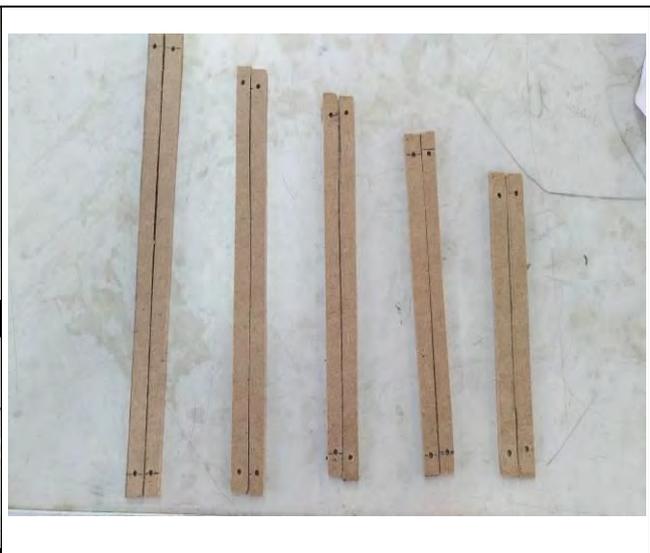


圖 5-9 不同連桿長

圖 5-8 不同防滑位置

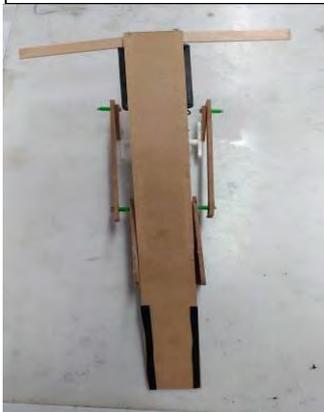


圖 5-10 不同防滑材質



圖 5-11 不同後身角度

陸、研究過程與研究結果

目的一：比較不同連桿長度及結構對蟲蟲前進的速率有何影響。

研究 1-1：不同長度連桿，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】 利用蟲蟲原型，改變不同長短的連桿。

【實驗步驟】

1. 製作蟲蟲原型。圖 5-5
2. 將密集板裁切成 1x12、1x14、1x16、1x18、1x20 平方公分大小的連桿，如圖 5-9。
3. 分別將這些連桿裝到蟲蟲的身體上，再放到跑道上，如圖 5-2。
4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 連桿越長，蟲蟲移動速率越慢。
2. 連桿 12cm 的蟲蟲行走速率最快。
3. 結果如表 1、2，圖 6-1、6-2。

表 1：不同長度連桿，對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
連桿長							
12cm		8.69	9.43	9.19	9.00	8.66	8.99
14cm		10.10	10.75	10.78	11.00	11.00	10.73
16cm		9.14	9.53	10.40	9.22	9.15	9.49
18cm		10.36	11.20	10.31	11.28	10.72	10.77
20cm		14.50	14.50	15.19	15.41	14.50	14.82

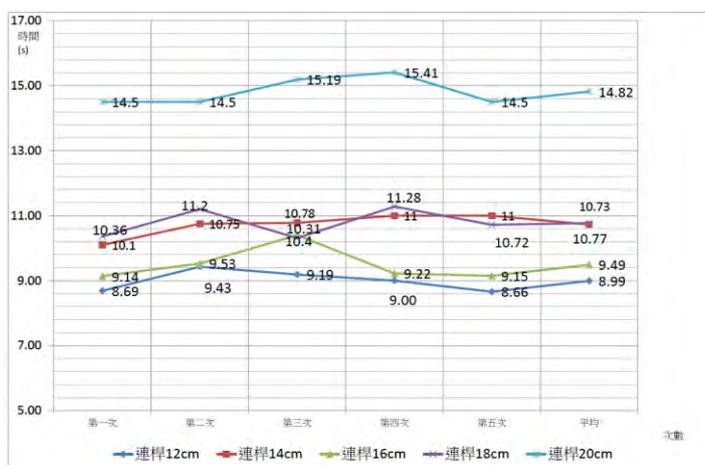


圖6-1：不同長度連桿，對蟲蟲前進的時間影響

表 2：不同長度連桿，對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
連桿長							
12cm		20.14	18.56	19.04	19.44	20.21	19.46
14cm		17.33	16.28	16.23	15.91	15.91	16.32
16cm		19.51	18.36	16.83	18.98	19.13	18.44
18cm		16.89	15.63	16.97	15.51	16.32	16.24
20cm		12.07	12.07	11.52	11.36	12.07	11.81



圖6-2：不同長度連桿，對蟲蟲前進的速率影響

【實驗結果與討論】

1. 在未加防滑貼條的情況下，長度 1x12 平方公分的連桿在同距離的情況下行走速率最快。
2. 推測在無防滑貼條的情況下，連桿越長後身就離馬達越遠，對機械獸來講，得花更多的能量在把後身往前拉，因此連桿 12cm 是最好的選擇。

研究 1-2：不同結構的蟲蟲，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同的結構。

【實驗步驟】

1. 製作蟲蟲原型。
2. 將蟲蟲原型改造成兩種無軌蟲蟲、三種有軌蟲蟲，如圖 5-3~5-7。
3. 分別將五種結構的蟲蟲放到跑道上，圖 5-2。
4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。圖 6-3、6-4。

【研究發現】

1. 有軌蟲蟲行走的速率較無軌蟲蟲來得快。
2. 有軌蟲蟲 1 行走的速率最快。
3. 結果如表 3、表 4，圖 6-3、圖 6-4。

表 3：有無軌道結構對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
有軌 1		12.00	12.00	12.52	12.63	12.25	12.28
有軌 2		18.16	18.50	18.53	18.38	18.63	18.44
有軌 3		136.00	136.32	136.32	136.42	136.41	136.29
無軌 1		30.19	29.06	28.09	28.68	28.16	28.84
無軌 2		29.29	28.41	28.50	28.10	28.91	28.64



圖 6-3：有無軌道結構對蟲蟲行走時間的影響

表 4：有無軌道結構對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
有軌 1		14.58	14.58	13.98	13.86	14.29	14.25
有軌 2		9.64	9.46	9.44	9.52	9.39	9.49
有軌 3		1.29	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
無軌 1		5.80	6.02	6.23	6.10	6.21	6.07
無軌 2		5.97	6.16	6.14	6.23	6.05	6.11

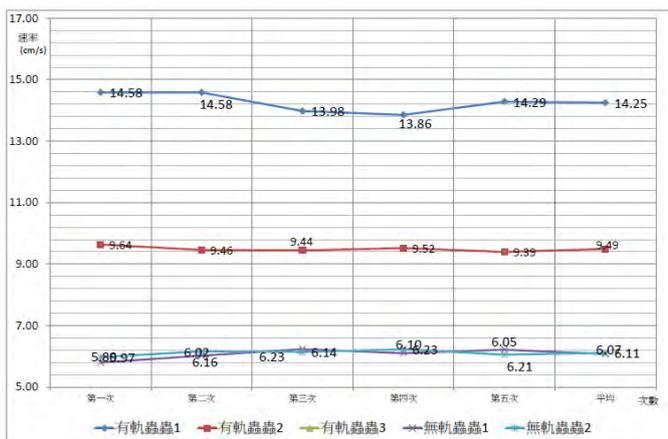


圖 6-4：有無軌道結構對蟲蟲行走速率的影響

【實驗結果與討論】

有軌蟲蟲行走的速率較無軌蟲蟲來的快，推測是因為蟲蟲1有軌道能控制後身行走的方向，使其不歪斜，所以行走速率較快。因此，後續的實驗一律採用「有軌蟲蟲1」。

目的二、比較不同摩擦力的蟲蟲，對移動速率有何影響？

研究 2-1：不同防滑貼條位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原形，改變不同防滑貼條位置

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.剪下長 9 公分寬 0.4 公分的防滑貼條。
- 3.將蟲蟲原型身體前、中、後、後身底部貼上防滑貼條，如圖 5-8。
- 4.分別將蟲蟲放到跑道上，如圖 5-2。
- 5.按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
- 6.將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

- 1.防滑貼條位於身體後段，走的速率最快。
- 2.結果如表 5、6，圖 6-5、6-6。

表 5：防滑貼條位置對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第	第	第	第	第	平
位置	次	次	次	次	次	次	均
身體前段	10.69	9.78	10.13	9.21	8.94	9.75	
身體中段	7.78	7.53	8.00	7.81	8.03	7.83	
身體後段	7.63	7.53	7.75	7.90	7.82	7.73	
後身底部	7.97	7.97	8.09	8.25	7.59	7.97	



圖 6-5：防滑貼條位置對蟲蟲前進的時間影響

表 6：防滑貼條位置對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第	第	第	第	第	平
位置	次	次	次	次	次	次	均
身體前段	16.37	17.89	17.28	19.00	19.57	17.95	
身體中段	22.49	23.24	21.88	22.41	21.79	22.35	
身體後段	22.94	23.24	22.58	22.15	22.38	22.65	
後身底部	21.96	21.96	21.63	21.21	23.06	21.95	



圖6-6：防滑貼條位置對蟲蟲前進的速率影響

【實驗結果與討論】

防滑貼條位於身體後段，走的速率最快。我們推測當防滑貼條位於身體前段時，行走時會產生摩擦力阻擋蟲蟲前進；當防滑貼條在身體後段時，行走平均速率交其他位置快，推測摩擦力位於身體後段時，會幫助蟲蟲行走。

研究2-2：不同接觸面材質，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同接觸面材質。

【實驗步驟】

1. 製作蟲蟲原型。
2. 剪下長 9 公分寬 0.4 公分的防滑貼條、防滑墊。
3. 將防滑貼條、防滑墊分別黏貼在蟲蟲的身體後段，如圖 5-10。
4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間，如圖 5-2。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 蟲蟲後段身體加防滑貼條行走速率較快。
2. 結果如表 7、8，圖 6-7、6-8

表 7：身體後段防滑材質對前進時間的影響

時間 (s)	次	第一	第二	第三	第四	第五	平
材質	次	次	次	次	次	次	均
防滑墊		9.00	8.63	8.69	8.85	8.63	8.76
防滑貼條		7.63	7.53	7.75	7.90	7.82	7.73

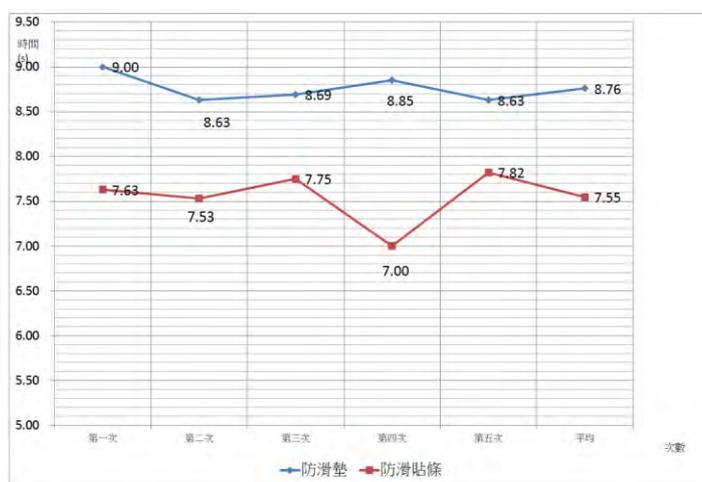


圖 6-7：身體防滑材質對前進時間影響

表 8：身體後段防滑材質對前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第一	第二	第三	第四	第五	平
材質	次	次	次	次	次	次	均
防滑墊		19.44	20.28	20.14	19.77	20.28	19.98
防滑貼條		22.94	23.24	22.58	22.15	22.38	22.65

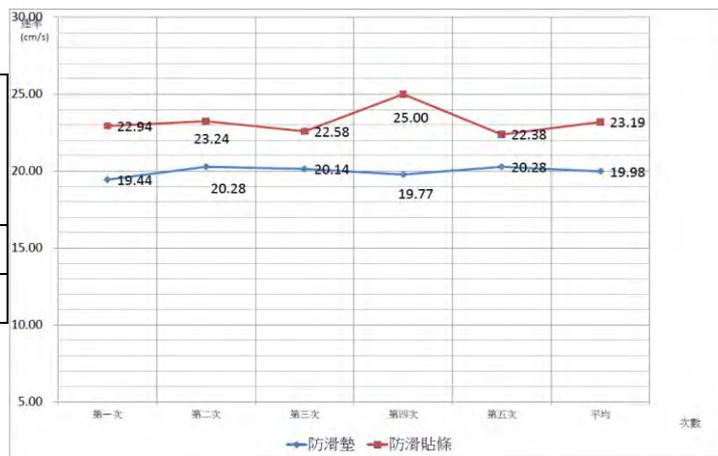


圖 6-8：身體防滑材質對前進速率影響

【實驗結果與討論】

防滑墊的摩擦力過大使得蟲蟲行走速率變慢，而防滑貼條的摩擦力適中所以能減少行走的時間。

目的三：不同身體重量，對蟲蟲行走有何影響？

研究 3-1：不同身體配重，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，在身體後段加上不同的配重。

【實驗步驟】

1. 製作蟲蟲原型。
2. 將蟲蟲原型的後身，加上 2 顆、4 顆、6 顆(螺帽數的差異較大，結果才有明顯的變化)的大螺帽。
3. 分別將這些蟲蟲放到跑道上，如圖 5-2。
4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 配重為四顆大螺帽時，行走速率最快。
2. 當重量為兩顆大螺帽時，蟲蟲因為後段身體過輕，導致行走時翻覆。
3. 結果如表 9、10，圖 6-9、6-10。

表 9：不同身體配重，對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第 一 次	第 二 次	第 三 次	第 四 次	第 五 次	平 均
配重							
2 螺帽		×	×	×	×	×	×
4 螺帽		10.09	10.07	10.37	10.06	10.00	10.12
6 螺帽		10.72	10.32	10.53	10.38	10.25	10.44

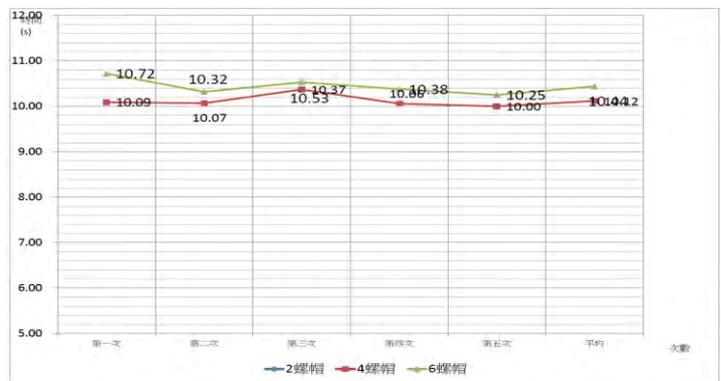


圖6-9：不同身體配重，對蟲蟲前進的時間影響

表 10：不同身體配重，對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第 一 次	第 二 次	第 三 次	第 四 次	第 五 次	平 均
配重							
2 螺帽		×	×	×	×	×	×
4 螺帽		17.34	17.38	16.88	17.40	17.50	17.30
6 螺帽		16.32	16.96	16.62	16.86	17.07	16.76

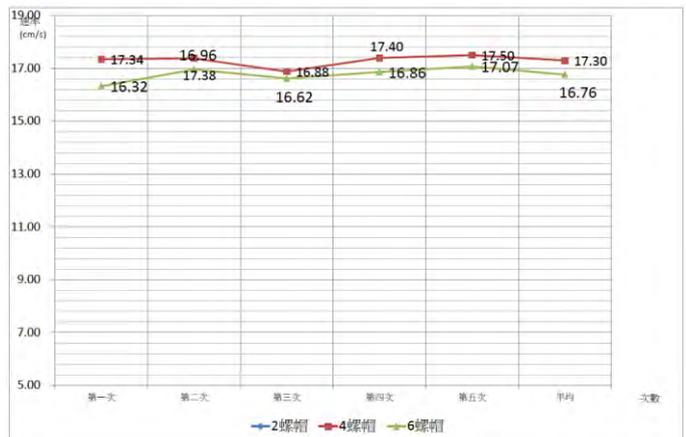


圖 6-10：不同身體配重，對蟲蟲前進的速率影響

【實驗結果與討論】

當重量為兩顆大螺帽時，蟲蟲因為後身過輕，導致行走時翻覆；而重量太重時，蟲蟲會拉不動配重導致無法行走或移動遲緩。因此，重量不宜太輕或過重。

研究 3-2：不同重心位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變後身配重的重心位置。

【實驗步驟】

1. 製作蟲蟲原型。
2. 將蟲蟲原型的後身，加上 4 顆大螺帽，並黏貼在後身的前、中、後三個位置。
3. 分別將這些蟲蟲放到跑道上，如圖 5-2。
4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 當重心位於後身前端或中間時，行走速率最快。
2. 結果如表 11、12，圖 6-11、6-12。

表 11：不同重心位置，對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第	第	第	第	第	平
位置	次	次	次	次	次	次	均
後身前段	8.72	9.00	9.21	9.63	9.25	9.16	
後身中間	9.15	9.32	9.15	9.28	8.90	9.16	
後身後段	8.91	×	×	×	×	8.91	

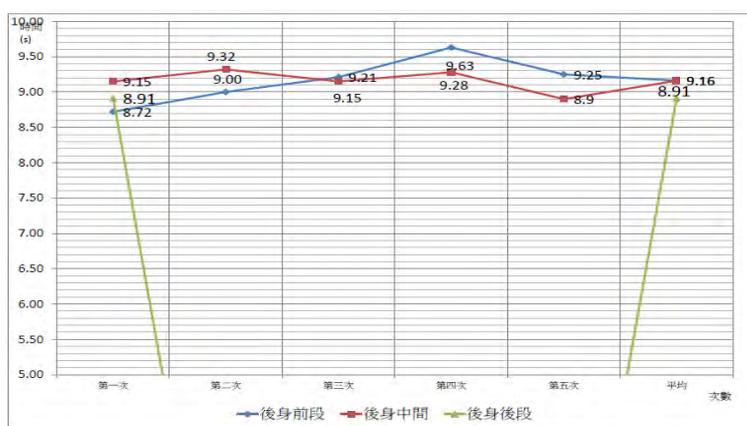


圖 6-11：不同重心位置，對蟲蟲前進的時間影響

表 12：不同重心位置，對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第	第	第	第	第	平
位置	次	次	次	次	次	次	均
後身前段	20.07	19.44	19.00	18.17	18.92	19.10	
後身中間	19.13	18.78	19.13	18.86	19.66	19.10	
後身後段	19.64	×	×	×	×	19.64	

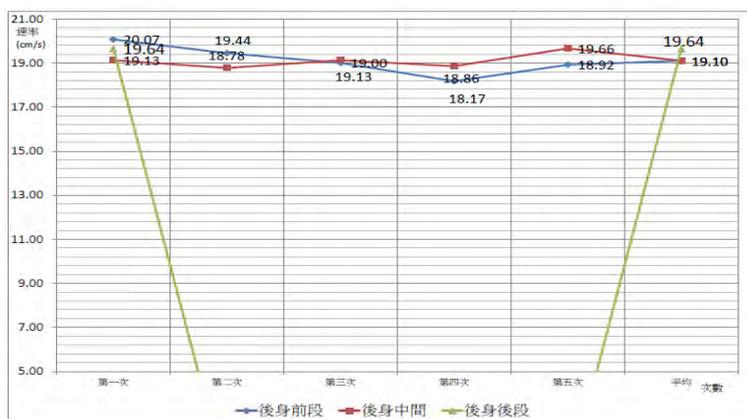


圖 6-12：不同重心位置，對蟲蟲前進的速率影響

【實驗結果與討論】

當重心位於後身前端或中間時，行走速率最快。推測，當重量集中在後身前段時，因施力臂連接到後身前端，前端有配重可向下施力，所以後身不會翻車；但當配重集中在後身末端時，由於施力臂連接到後身的前端，而前端無配重，所以會翻覆無法行走。

目的四：不同曲柄長短，對蟲蟲行走有何影響。

研究 4-1：不同曲柄長短，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同曲柄長短。

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.將蟲蟲原型的曲柄，製作成三種尺寸(從曲柄的一半算)2.25 公分、4.00 公分、6.00 公分的長度。
- 3.分別將這些曲柄裝在蟲蟲身上，並放置在賽道中，如圖 5-2。
- 4.按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
- 5.將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

- 1.曲柄越長，行走速率越快；曲柄越短，行走速率越慢。
- 2.曲柄6公分行走的速率最快。
- 3.結果如表 13、14，圖 6-13、6-14。

表 13：曲柄長短，對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
2.25cm	曲柄長	19.81	20.37	20.38	20.66	20.53	20.35
4.00cm		12.00	12.22	12.31	11.87	12.41	12.16
6.00cm		7.94	8.00	8.10	7.71	7.79	7.91

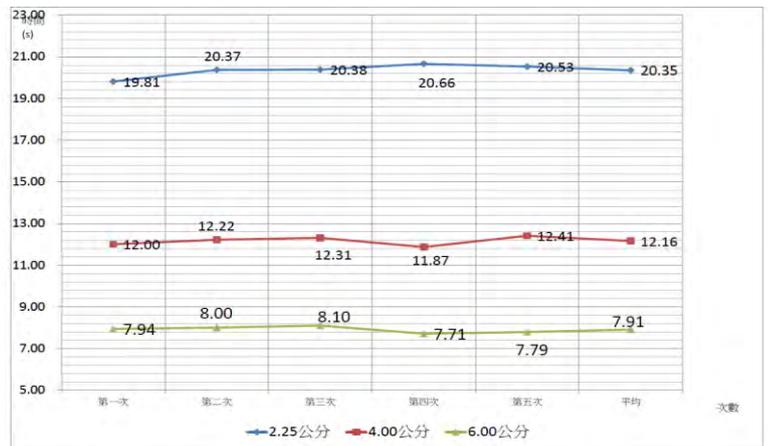


圖 6-13：曲柄長短，對對蟲蟲前進的時間影響

表 14：曲柄長短，對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
2.25cm	曲柄長	8.83	8.59	8.59	8.47	8.52	8.60
4.00cm		14.58	14.32	14.22	14.74	14.10	14.39
6.00cm		22.04	21.88	21.60	22.70	22.46	22.13

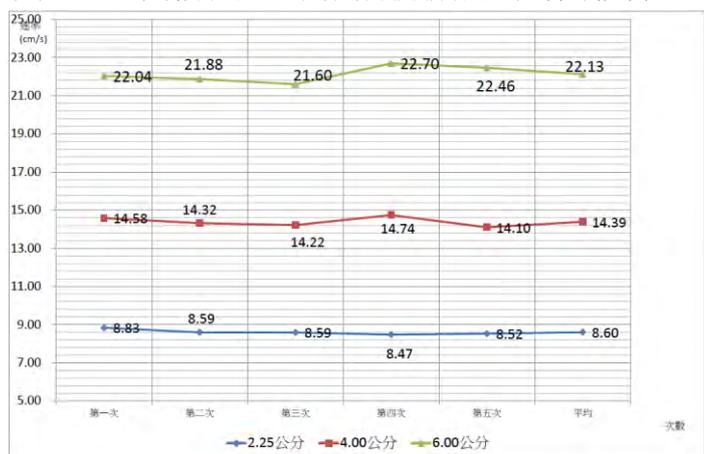


圖 6-14：曲柄長短，對對蟲蟲前進的速率影響

【實驗結果與討論】

曲柄越長行走速率越快，推測是因為旋轉半徑較大所致，往前進的距離較長，因而速率較快。

目的五：所有變因組合下，蟲蟲的行走速率為何。

研究 5-1：不同連桿及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同長短的連桿及重量的所有組合。

【實驗步驟】

1. 製作蟲蟲原型。
2. 將密集板裁切成 1x12、1x14、1x16、1x18、1x20 平方公分的連桿，並分別用配上 2 個螺帽、4 個螺帽、6 個螺帽等配重。
3. 分別將這些連桿及配重裝在蟲蟲的身體上，再放到跑道上，如圖 5-2。
4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 身體配重為 2 個螺帽時，蟲蟲後身過輕翻覆，無法前進。
2. 身體配重為 4 個螺帽時，以連桿 20cm，蟲蟲速率最慢；連桿 12cm，蟲蟲速率最快。
3. 身體配重為 6 個螺帽時，以連桿 16cm，蟲蟲速率最慢；連桿 12cm，蟲蟲速率最快。
4. 結果如表 15-20、圖 6-15~6-20。

表 15：配重 2 個螺帽時，連桿長短，對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	連桿長	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	12cm	×	×	×	×	×	×
	14cm	×	×	×	×	×	×
	16cm	×	×	×	×	×	×
	18cm	×	×	×	×	×	×
	20cm	×	×	×	×	×	×

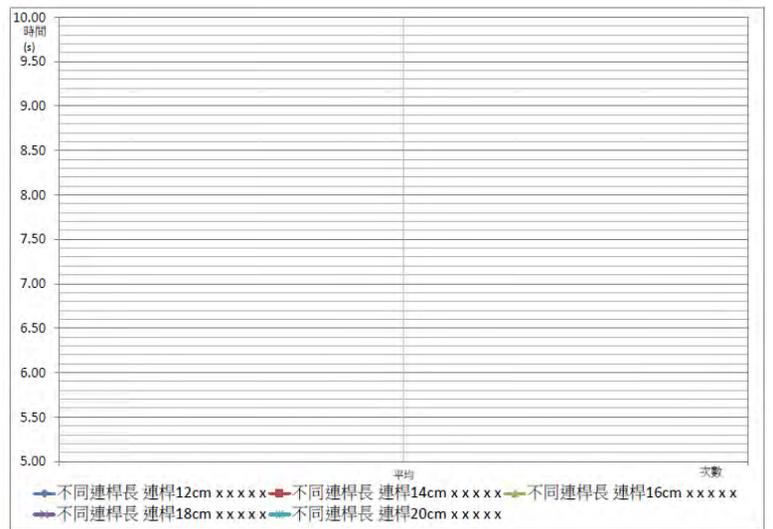


圖 6-15：配重 2 個螺帽，不同連桿長蟲蟲前進時間

表 16：配重 2 個螺帽時，連桿長短，對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	連桿長	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	12cm	×	×	×	×	×	×
	14cm	×	×	×	×	×	×
	16cm	×	×	×	×	×	×
	18cm	×	×	×	×	×	×
	20cm	×	×	×	×	×	×



圖 6-16：配重為 2 個螺帽時，不同連桿長短對蟲蟲前進的速率影響

表 17：配重 4 個螺帽時，連桿長短，對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s) \ 連桿長 \ 次	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
12cm	10.00	10.75	10.22	10.00	10.47	10.29
14cm	10.87	10.85	10.97	10.87	11.25	10.96
16cm	11.38	11.31	11.93	11.69	11.59	11.58
18cm	11.87	11.59	11.84	12.50	12.66	12.09
20cm	12.75	13.16	12.53	13.75	13.06	13.05



圖 6-17：身體配重為 4 個螺帽時，不同連桿長短對蟲蟲前進的時間影響

表 18：配重 4 個螺帽時，連桿長短，對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s) \ 連桿長 \ 次	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
12cm	17.50	16.28	17.12	17.50	16.71	17.01
14cm	16.10	16.13	15.95	16.10	15.56	15.96
16cm	15.38	15.47	14.67	14.97	15.10	15.11
18cm	14.74	15.10	14.78	14.00	13.82	14.47
20cm	13.73	13.30	13.97	12.73	13.40	13.41



圖 6-18：身體配重為 4 個螺帽時，不同連桿長短對蟲蟲前進的速率影響

表 19：配重 6 個螺帽時，連桿長短，對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s) \ 連桿長 \ 次	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
12cm	10.63	10.00	10.31	10.35	10.19	10.30
14cm	10.56	10.38	10.16	10.19	10.47	10.35
16cm	11.69	11.03	11.50	11.22	11.78	11.44
18cm	11.09	11.65	11.13	11.12	11.00	11.20
20cm	10.94	11.09	11.19	11.03	11.13	11.08



圖 6-19：身體配重為 6 個螺帽時，不同連桿長短對蟲蟲前進的時間影響

表 20：配重 6 個螺帽時，連桿長短，對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s) \ 連桿長 \ 次	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
12cm	16.46	17.50	16.97	16.91	17.17	17.00
14cm	16.57	16.86	17.22	17.17	16.71	16.90
16cm	14.97	15.87	15.22	15.60	14.86	15.29
18cm	15.78	15.02	15.72	15.74	15.91	15.63
20cm	16.00	15.78	15.64	15.87	15.72	15.80



圖 6-20：身體配重為 6 個螺帽時，不同連桿長蟲蟲前進的速率影響

【實驗結果與討論】

配重為 4 個、6 個螺帽，以連桿 12cm，蟲蟲速率最快，推測連桿越長後身就離本體越遠，對機械獸來講，得花能量在上面，因此，連桿不宜太長以免讓蟲蟲速率變慢。

研究 5-2：不同曲柄長短及配重的所有組合下，蟲蟲行走的速率為何？

【研究構想】利用蟲蟲原型，改變不同重量及曲柄的所有組合。

【實驗步驟】

1. 製作蟲蟲原型。
2. 將蟲蟲原型改造成不同組合的配重(2、4、6 個螺帽)及曲柄組合(2.25cm、4.00cm、6.00cm)。
3. 分別將這些蟲蟲放到跑道上，如圖 5-2。
4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 身體配重為 2 個螺帽時，以曲柄 4.00cm 蟲蟲速率最快；曲柄 6.00cm 蟲蟲無法前進。
2. 身體配重為 4 個螺帽時，以曲柄 6.00cm，蟲蟲速率最快；曲柄 2.25cm，蟲蟲速率最慢。
3. 身體配重為 6 個螺帽時，以曲柄 6.00cm，蟲蟲速率最快；曲柄 2.25cm，蟲蟲速率最慢。
4. 結果如表 21-26、圖 6-21~6-26。

表 21：身體配重為 2 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s) \ 曲柄長 \ 次	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
2.25cm	21.00	21.03	20.81	21.06	20.41	20.86
4.00cm	12.13	11.62	12.09	×	×	11.95
6.00cm	×	×	×	×	×	×

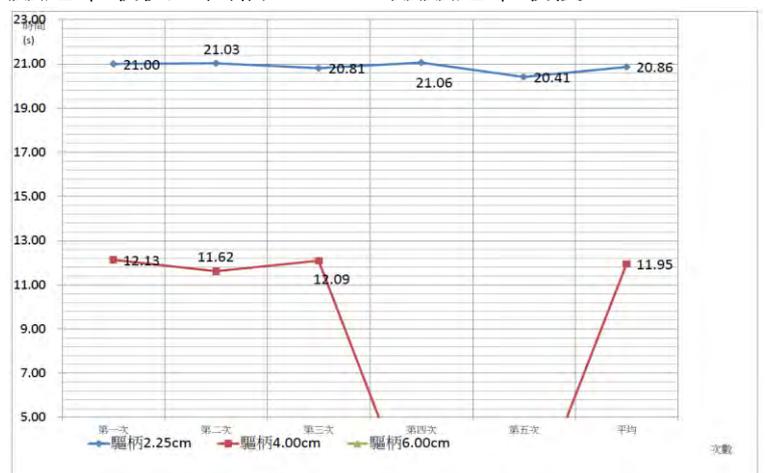


圖 6-21：身體配重為 2 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進的時間影響

表 22：身體配重為 2 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
2.25cm	曲柄長	8.33	8.32	8.41	8.31	8.57	8.39
4.00cm	曲柄長	14.43	15.06	14.47	×	×	14.65
6.00cm	曲柄長	×	×	×	×	×	×

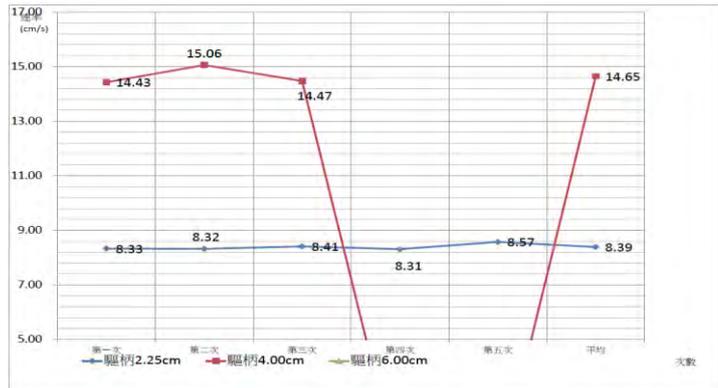


圖 6-22：身體配重為 2 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進的速率影響

表 23：身體配重為 4 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
2.25cm	曲柄長	19.72	19.59	19.47	19.63	20.29	19.74
4.00cm	曲柄長	12.91	11.91	12.34	12.56	13.28	12.60
6.00cm	曲柄長	8.40	8.09	8.37	8.59	8.50	8.39

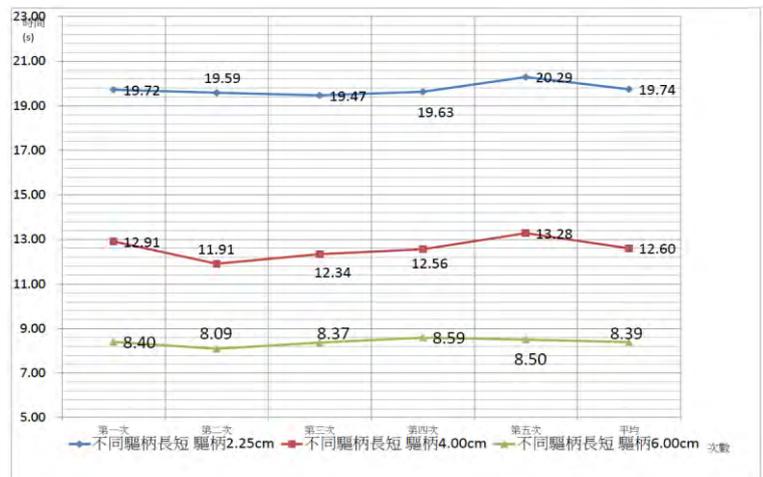


圖 6-23：身體配重為 4 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進的時間影響

表 24：身體配重為 4 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
2.25cm	曲柄長	8.87	8.93	8.99	8.91	8.62	8.87
4.00cm	曲柄長	13.56	14.69	14.18	13.93	13.18	13.89
6.00cm	曲柄長	20.83	21.63	20.91	20.37	20.59	20.86

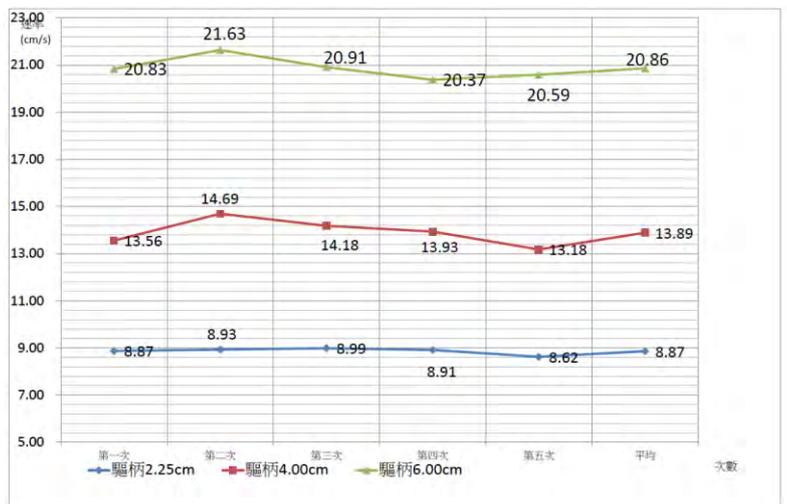


圖 6-24：身體配重為 4 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進速率的影響

表 25：身體配重為 6 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進時間的影響

時間 (s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
2.25cm	曲柄長	23.10	22.19	22.41	22.97	23.50	22.83
4.00cm	曲柄長	13.28	13.36	12.90	13.34	12.89	13.15
6.00cm	曲柄長	9.30	9.22	9.30	9.43	9.35	9.32

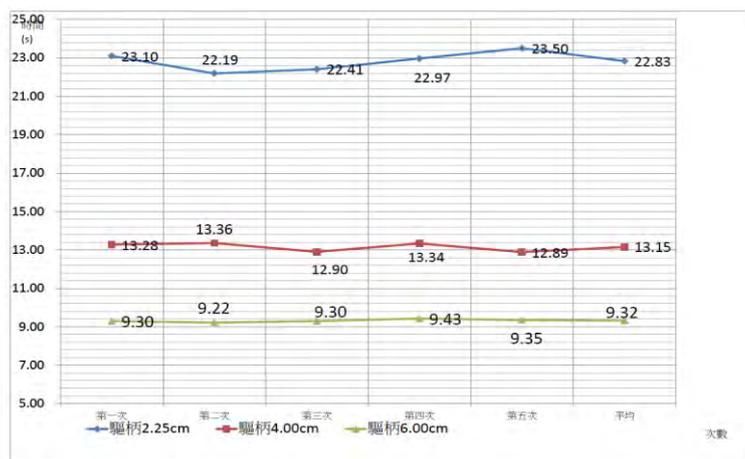


圖 6-25：身體配重為 6 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進的時間影響

表 26：身體配重為 6 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進速率的影響

速率 (cm/s)	次	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平 均
2.25cm	曲柄長	7.58	7.89	7.81	7.62	7.45	7.66
4.00cm	曲柄長	13.18	13.10	13.57	13.12	13.58	13.30
6.00cm	曲柄長	18.82	18.98	18.82	18.56	18.72	18.78

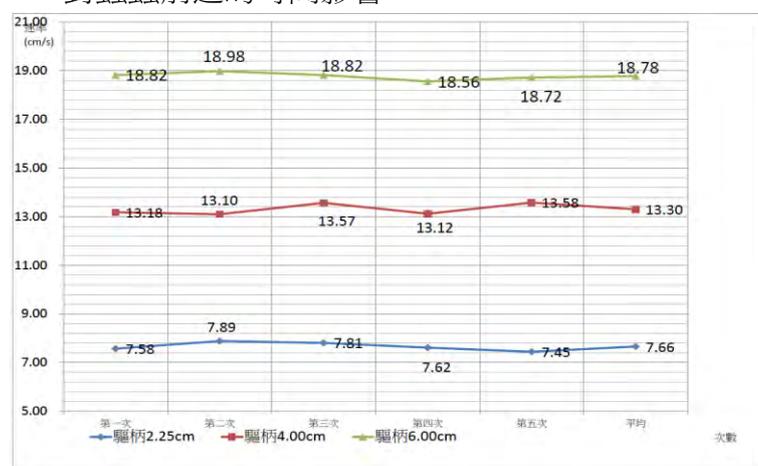


圖 6-26：身體配重為 6 個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進的速率影響

【實驗結果與討論】

配重為4個、6個螺帽都是以曲柄越長，蟲蟲行走速率最快，配重為2個螺帽時，後身太輕無法抵銷馬達的力而翻覆。推測是因為旋轉半徑較大所致，往前進的距離較長，因而速率較快。

研究 5-3：不同防滑材質及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同防滑材質及重量的所有組合。

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.將防滑貼條位置(身體後段)、防滑墊搭配上不同的配重(2、4、6 個螺帽)。
- 3.分別將配重及防滑加在蟲蟲的身體上，再放到跑道上。
- 4.按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
- 5.將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

- 1.身體配重為2個螺帽時，防滑貼條位置不管在哪，蟲蟲無法前進。
- 2.身體配重為4個螺帽時，以防滑貼條在身體後段，蟲蟲速率最快；6個螺帽時，蟲蟲速率最慢。
- 3.結果如表27-28、圖6-27~6-28。

表 27：不同防滑材質與重量，對蟲蟲前進時間的影響

材質	時間 (s) 配重	次					平均
		第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	
防滑貼條	2 螺帽	×	×	×	×	×	×
	4 螺帽	11.91	11.94	11.91	11.5	11.59	11.77
	6 螺帽	12.59	12.51	12.13	12.34	12.18	12.35
防滑墊	2 螺帽	×	×	×	×	×	×
	4 螺帽	8.40	8.09	8.37	8.59	8.50	8.39
	6 螺帽	13.28	13.36	12.94	13.34	12.89	13.162

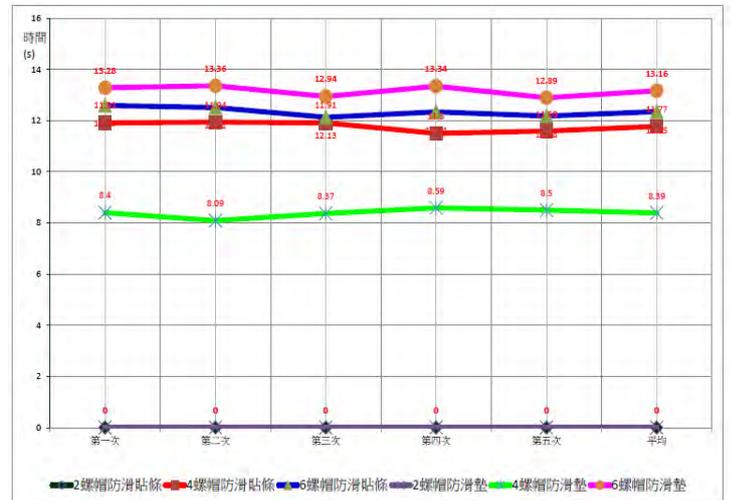


圖6-27：不同配重對蟲蟲前進時間的影響

表 28：不同防滑材質與重量，對蟲蟲前進速率的影響

材質	速率 (cm/s) 配重	次					平均
		第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	
防滑貼條	2 螺帽	×	×	×	×	×	×
	4 螺帽	14.69	14.66	14.69	15.22	15.10	14.87
	6 螺帽	13.90	13.99	14.43	14.18	14.37	14.17
防滑墊	2 螺帽	×	×	×	×	×	×
	4 螺帽	16.37	16.37	16.50	16.96	15.18	16.28
	6 螺帽	13.18	13.10	13.52	13.12	13.58	13.30

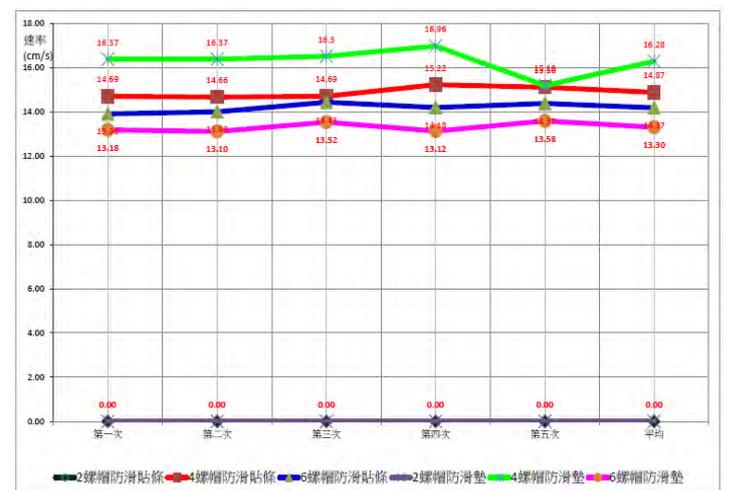


圖6-28：不同配重對蟲蟲前進速率的影響

【實驗結果與討論】

防滑墊的摩擦力使得蟲蟲行走速率變慢，而防滑貼條產生的摩擦力，要大小適中，才能行走快，而兩顆螺帽的蟲蟲，仍會因後身過輕而翻覆。

研究 5-4：不同防滑位置及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同防滑位置及重量的所有組合。

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.將防滑墊及防滑貼條貼到蟲蟲的身體上。
- 3.分別將這些蟲蟲放到跑道上，如圖 5-2。

4. 按下開關，計時蟲蟲跑完賽道的時間。
5. 將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 身體配重為2個螺帽時，無論防滑貼條位置在哪，蟲蟲皆無法前進。
2. 身體配重為4個螺帽，以防滑貼條在身體後段，蟲蟲速率最快；身體前段，蟲蟲速率最慢。
3. 身體配重為6個螺帽，以防滑貼條在身體中段，蟲蟲速率最快；後身底部，蟲蟲速率最慢。
4. 結果如表29-34、圖6-29~6-34。

表 29：配重為 2 個螺帽時，防滑貼條位置對前進時間的影響

時間 位置 (s)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
身體前段	×	×	×	×	×	×
身體中段	×	×	×	×	×	×
身體後段	×	×	×	×	×	×
後身底部	×	×	×	×	×	×

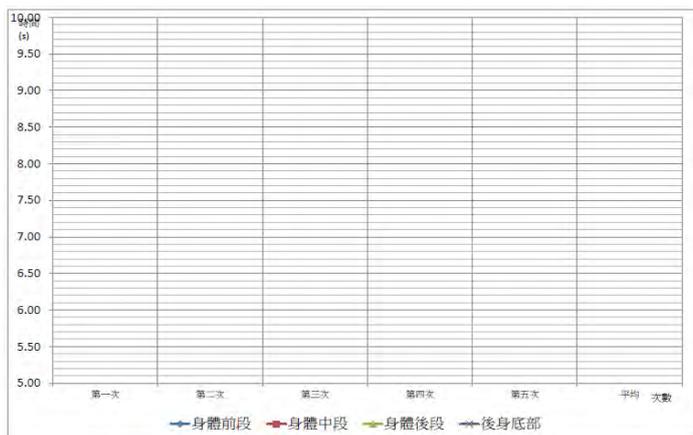


圖 6-29：配重為 2 個螺帽時，防滑貼條位置對蟲蟲前進時間的影響

表 30：配重為 2 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率的影響

速率 位置 (cm/s)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
身體前段	×	×	×	×	×	×
身體中段	×	×	×	×	×	×
身體後段	×	×	×	×	×	×
後身底部	×	×	×	×	×	×

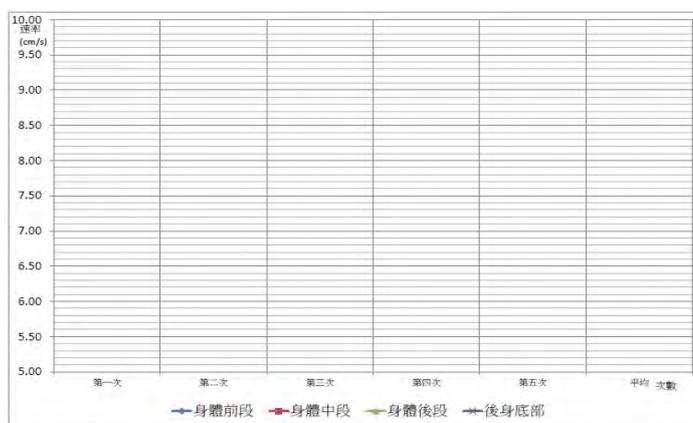


圖 6-30：配重為 2 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率的影響

表 31：配重為 4 個螺帽時，防滑貼條位置對前進時間的影響

時間 位置 (s)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
身體前段	13.83	13.35	13.68	14.28	14.00	13.83
身體中段	10.19	10.06	10.00	10.13	10.03	10.08
身體後段	8.40	8.09	8.37	8.59	8.50	8.39
後身底部	11.31	10.84	11.06	11.97	10.66	11.17

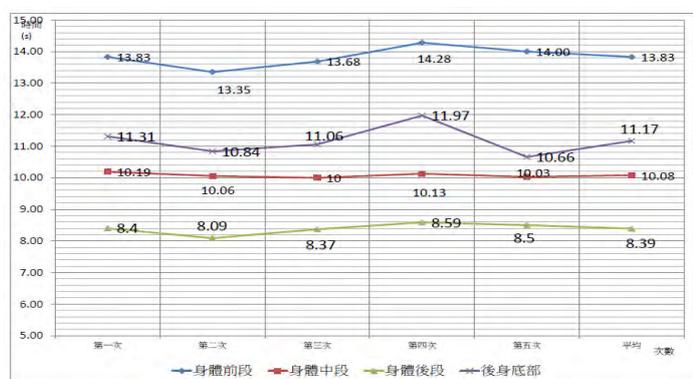


圖 6-31：配重為 4 個螺帽時，防滑貼條位置對蟲蟲前進時間的影響

表 32：配重為 4 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率的影響

速率 (cm/s) 位置	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
身體前段	12.66	13.11	12.79	12.25	12.50	12.66
身體中段	17.17	17.40	17.50	17.28	17.45	17.36
身體後段	20.83	21.63	20.91	20.37	20.59	20.86
後身底部	15.47	16.14	15.82	14.62	16.42	15.67



圖 6-32：配重為 4 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率的影響

表 33：配重為 6 個螺帽時，防滑貼條位置對前進時間的影響

時間 (s) 位置	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
身體前段	13.93	14.63	14.64	15.30	14.19	14.54
身體中段	11.99	11.86	11.81	11.38	10.92	11.59
身體後段	12.59	12.51	12.13	12.34	12.18	12.35
後身底部	17.05	16.79	15.61	15.84	15.64	16.19



圖 6-33：配重為 6 個螺帽時，防滑貼條位置對前進時間的影響

表 34：配重為 6 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率的影響

速率 (cm/s) 位置	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
身體前段	12.56	11.96	11.95	11.44	12.33	12.04
身體中段	14.60	14.76	14.82	15.38	16.03	15.10
身體後段	13.90	13.99	14.43	14.18	14.37	14.17
後身底部	10.26	10.42	11.21	11.05	11.19	10.81



圖 6-34：配重為 6 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率影響

【實驗結果與討論】

當配重為四個螺帽的時候，防滑貼條貼在身體後段行走的速率較快；配重為六個螺帽時，防滑貼條貼在身體中段能使蟲蟲行走最快。推測，蟲蟲行走時候身會打滑，當重量為四個螺帽時，防滑貼條貼在身體後段能給予蟲蟲適當的摩擦力，貼在身體的前中段則會產生摩擦力，阻擋蟲蟲行走，因此速率較慢。

目的六：所有變因組合下，蟲蟲的負重量為何。

研究 6-1：不同後身高度及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同後身高度及角度的所有組合。

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.將後身鋸成底相同，高度及角度不同的直角梯形，角度有 10、20、30 度(與地面夾角)，並搭配 5、6、7.5 公分的高度。
- 3.分別將這些後身裝到蟲蟲的身體上，再放到跑道上，如圖 5-2。
- 4.利用自製的木盒加重，並掛上拔河繩觀察盒子是否有移動。
- 5.將結果記錄成表格，畫成統計圖。

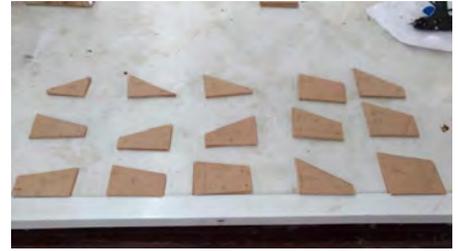


圖 6-35：不同後身高度及角度

【研究發現】

- 1.後身角度為 10 度、20 度時，只有後身高 5 公分的才能拉動負重，其餘的皆無法拉動而翻覆
- 2.結果如表 35、圖 6-36。

表 35 不同後身高度及角度的組合

負重 (gw)	角度		
	10 度	20 度	30 度
位置			
後身 7.5cm	x	x	x
後身 6.5cm	x	x	x
後身 6.0cm	x	x	x
後身 5.5cm	x	x	x
後身 5.0cm	310	1276	x

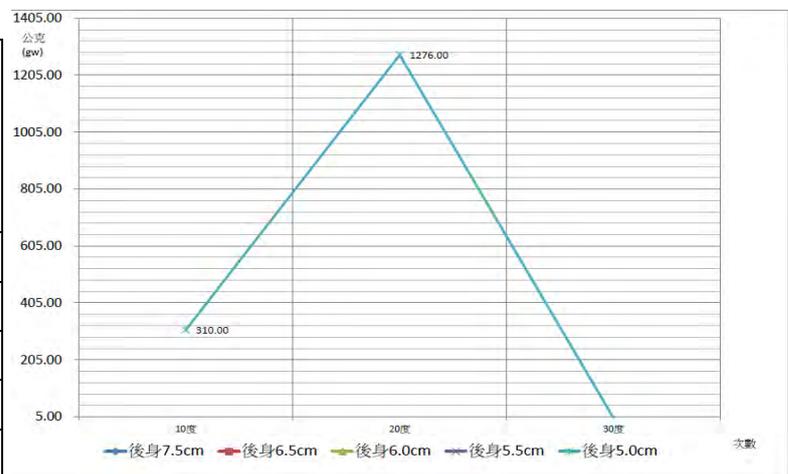


圖 6-36 不同後身高度及角度的組合

【實驗結果與討論】

研究發現，只要角度為 30 度時，皆拉不動，推測是因為在拉動時，後身晃動過大，導致重心不穩翻覆；而高度為 5 公分且角度為 10、20 度時 能使蟲蟲在拉動時，後身晃動較小，因而能拉動。

研究 6-2：不同配重重心及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同配重重心及角度的所有組合。

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.將後身上方的配重改變不同重心，並搭配不同的後身角度。
- 3.分別將這些裝到蟲蟲的身體上，再放到跑道上，如圖 5-2。
- 4.利用自製的木盒加重，並掛上拔河繩觀察盒子是否有移動。
- 5.將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 後身配重重心位於中間時，只有後身高度為5公分時，才能拉動負重。
2. 後身配重重心位於前時，10度到20度的負重量增加。
3. 結果如表36-37、圖6-37~6-38。

表 36 不同配重重心及角度的組合(重心中段)

負重 位置 (gw)	角度		
	10度	20度	30度
後身7.5cm	X	X	X
後身6.5cm	X	X	X
後身6.0cm	X	X	X
後身5.5cm	X	X	X
後身5.0cm	310	1276	X

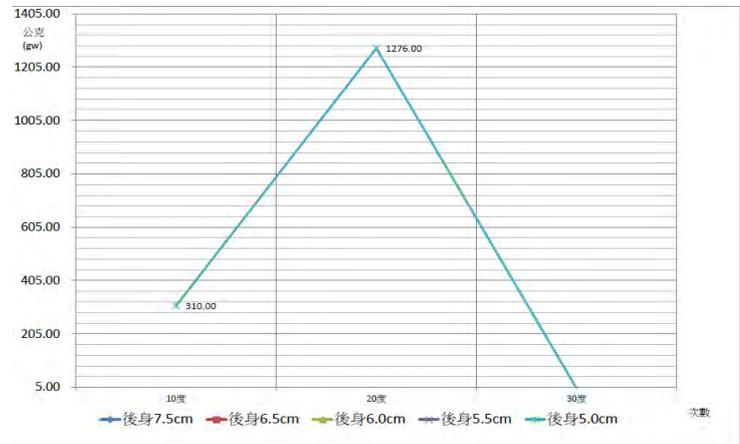


圖 6-37 不同配重重心及角度的組合(重心在中段)

表 37 不同配重重心及角度的組合(重心前段)

負重 位置 (gw)	角度		
	10度	20度	30度
後身7.5cm	X	X	727
後身6.5cm	252	1232	879
後身6.0cm	517	1050	1100
後身5.5cm	996	952	1451
後身5.0cm	1302	1358	X

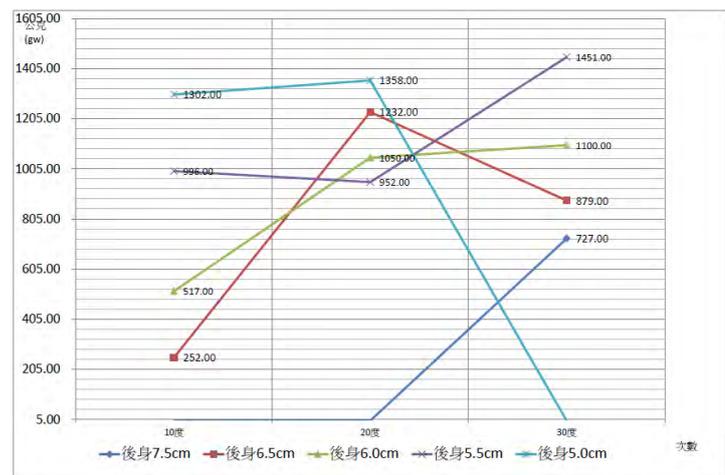


圖 6-38 不同配重重心及角度的組合(重心在前段)

【實驗結果與討論】

我們推測，當重心位於前段，且角度介於 10 度到 20 度時，負重的過程中，機械獸的後身晃動較小，負重量增加。角度大於 30 度時，會使晃動的可能性提高，因此角度不宜大於 30 度。

研究 6-3：不同防滑位置，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同防滑材質及防滑位置的所有組合。

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.將後身貼上防滑貼條搭配上不同位置的組合。
- 3.分別將這些裝到蟲蟲的身體上，再放到跑道上。
- 4.利用自製的木盒加重，並掛上拔河繩觀察盒子是否有移動。
- 5.將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

- 1.防滑貼條貼於前段時，負重量最大。
- 2.防滑貼條位於後段時，負重量最小。
- 3.結果如表38、圖6-39。

表 38 不同防滑位置，對蟲蟲負重量的何影響

	前段	中段	後段	後身底部
負重量 (gw)	1358	1325	1097	1317

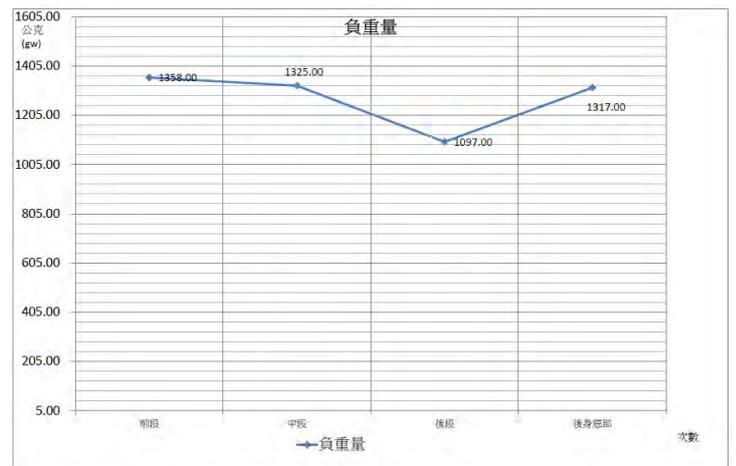


圖 6-39 不同防滑位置，對蟲蟲負重量的影響

【實驗結果與討論】

我們推測，在進行負重的時候，為了能拉動負上的重量，蟲蟲需要比較大的摩擦力，來防止行走時，身體縮起來向後滑動的問題，剛剛好和比速率時的結果相反。

研究 6-4：不同防滑材質，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同防滑材質及防滑位置的所有組合。

【實驗步驟】

- 1.製作蟲蟲原型。
- 2.將後身貼上砂紙、防滑貼條及防滑墊。
- 3.分別將這些貼到蟲蟲的身體上，再放到跑道上。
- 4.利用自製的木盒重，並掛上拔河繩觀察盒子是否有移動。
- 5.將結果記錄成表格，畫成統計圖。

【研究發現】

1. 砂紙的效果最差；防滑貼條最佳。

2. 結果如表39、圖6-40。

表39不同防滑材質，對蟲蟲負重量的影響

	砂紙	防滑貼條	防滑墊
負重量 (gw)	1207	1358	1327

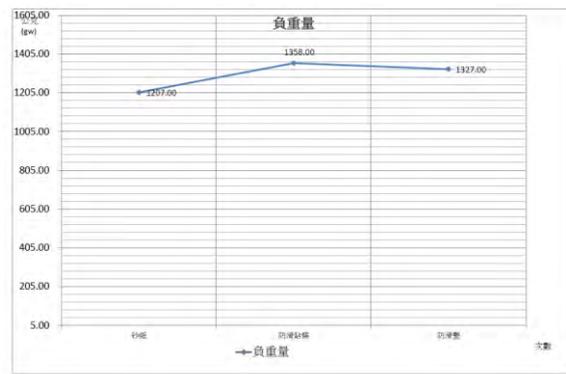


圖 6-40 不同防滑材質，對蟲蟲負重量的影響

【實驗結果與討論】

砂紙及防滑墊，產生的摩擦力過大，導致蟲蟲行走的阻力增加，因而耗費更多能量在上面，所以負重量小。

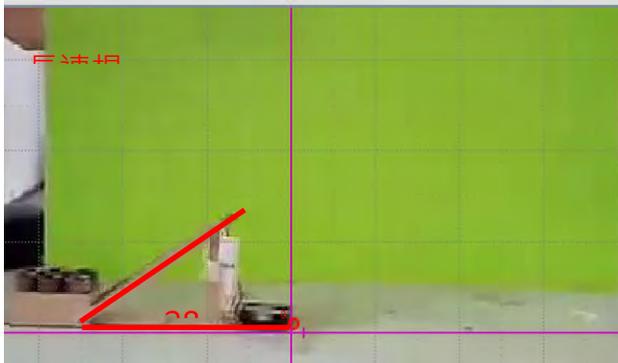
柒、討論

一、不同結構對蟲蟲前進的速率有何影響。

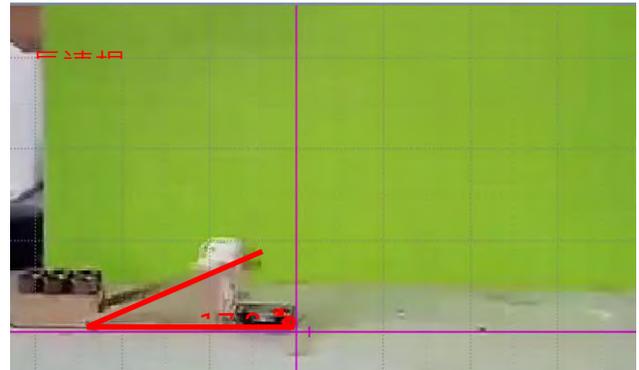
由【研究 1-1】研究發現連桿越長，蟲蟲移動速率越慢，連桿 12cm 的蟲蟲行走速率最快。推測在無防滑貼條的情況下，連桿越長後身就離本體越遠，對機械獸來講，得花更多的力氣在把後身往前拉，因而速率慢。

(一) 連桿運作機制

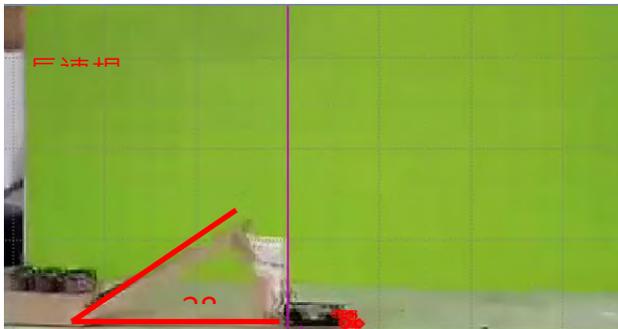
我們想更進一步知道連桿的長短對蟲蟲行走影響，因此利用慢速攝影、Tracker 分析軟體、Protractor 角度測量 APP，以追蹤連桿移動與蟲蟲前進關係(圖 7-1)。



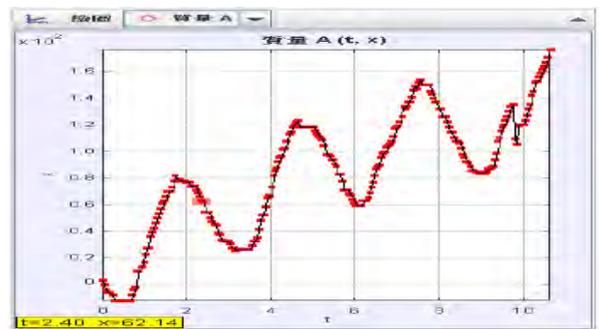
(a) 連桿與地面呈現約 28 度身體開始往後



(b) 連桿與地面呈現約 17.8 度身體開始往前



(c) 回到 28 度身體開始往後



(d) Tracker 分析連桿規律變化

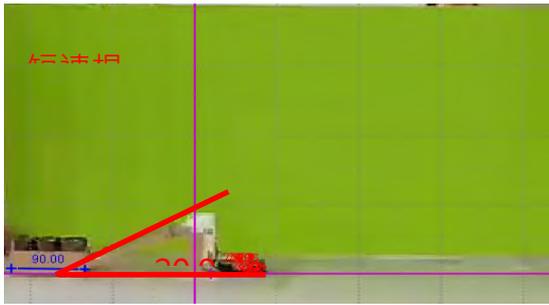
圖 7-1 連桿運作機制

結果發現：

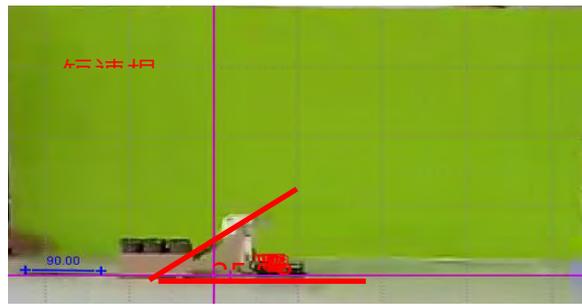
1. 連桿與地面呈現約 28 度時，蟲蟲前端身體開始往後。
2. 連桿與地面呈現約 17.8 度時，蟲蟲前端身體開始往前移動。
3. 連桿角度與蟲蟲身體運動規律性：
連桿角度大 (28 度) (身體後退) → 連桿角度小 (約 17.8 度) (身體前進) → 連桿角度大 (28 度) (身體後退)

(二) 長短連桿與前進快慢

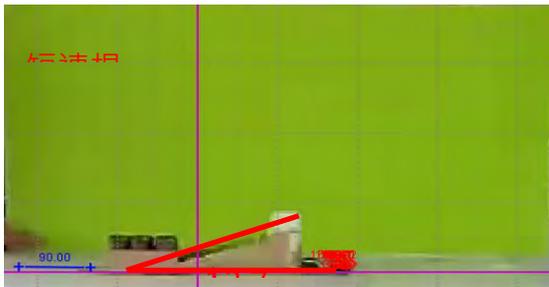
找一個短連桿 (12cm) 進行分析，結果如下圖(7-2)。



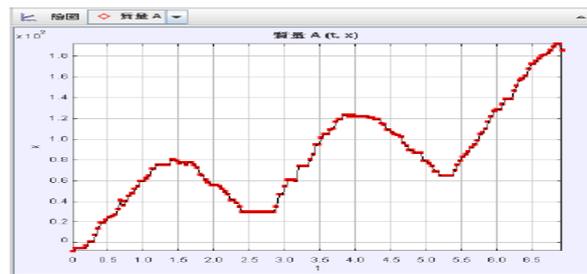
(a) 短連桿與地面約 20.9 度身體開始往後



(b) 短連桿與地面約 25.8 度身體開始往前



(c) 短連桿與地面約 13.7 度身體後退



(d) Tracker 分析短連桿規律變化

圖 7-2 短連桿運作機制

結果發現：

1. 短連桿與地面呈現約 20.9 度時，蟲蟲前端身體開始往後。
2. 短連桿與地面呈現約 25.8 度時，蟲蟲前端身體開始往前移動。
3. 短連桿角度與蟲蟲身體運動規律性：
連桿角度小 (20.9 度) (身體後退) → 連桿角度大 (約 25.8 度) (身體前進) → 連桿角度小 (13.7 度) (身體後退)

從長連桿與短連桿張開角度比較，發現長連桿張開角度較大，所耗費時間較長，才能身體往前進；反之，短連桿耗費時間較短，就可以往前進。再從，蟲蟲身體伸到最長的時間，到下一個身體伸到最長時間（週期）。長連桿週期較長（3 秒），短連桿週期較長（2.5 秒）。因此，短連桿速率較快。

【研究 1-2】研究發現有軌蟲蟲行走的速率較無軌蟲蟲來得快。推測是因為蟲蟲 1 對賽道產生了較大的反作用力，所以行走速率較快。

二、比較不同摩擦力的蟲蟲對移動速率有何影響。

由【研究 2-1】研究發現防滑貼條位於身體後段，走的速率的最快。推測當防滑貼條位於身體前段時，行走時會產生摩擦力阻擋蟲蟲前進；當防滑貼條在後身時，摩擦力則會幫助蟲蟲行走。

由【研究2-2】研究發現蟲蟲後段身體加防滑貼條行走速率較快。防滑墊的摩擦力使得蟲蟲行走速率變慢，而防滑貼條的摩擦力適中所以能減少行走的時間。推測蟲蟲因為後段身體過輕，導致行走時翻覆；而重量太重時，蟲蟲會拉不動配重，導致無法行走或移動遲緩。因此，重量不宜太輕、或過重。

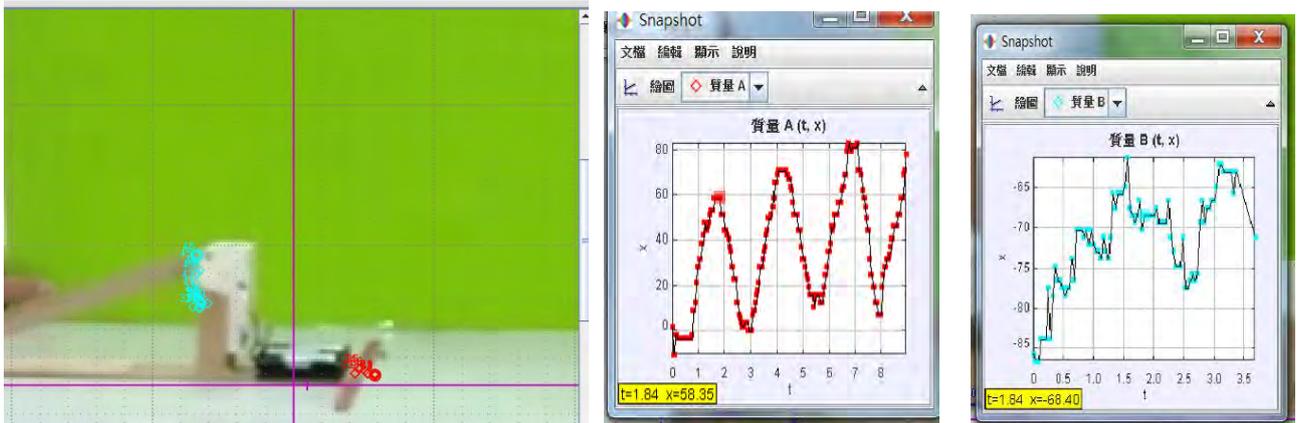
三、不同重量，對蟲蟲行走有何影響。

由【研究3-1】研究發現配重為四顆大螺帽時，行走速率最快。蟲蟲因為後段身體過輕，導致行走時翻覆；而重量太重時，蟲蟲會拉不動配重導致無法行走或移動遲緩。因此，重量不宜太輕、或過重。

由【研究3-2】研究配重發現，當重心位於後身前端或中間時，行走速率最快。推測，當重量集中在後身前段時，因施力臂連接到後身前端，前端有配重可向下施力，所以後身不會翻車；但當配重集中在後身末端時，由於施力臂連接到後身的前端，而前端無配重，所以會翻覆無法行走。

四、不同曲柄長短，對蟲蟲行走有何影響。

由【研究4-1】研究發現，曲柄越長，行走速率越快；曲柄越短，行走速率越慢。推測是因為曲柄越長，旋轉半徑較大所致，往前進的距離較長，因而速率較快。我們以慢速攝影、Tracker 分析軟體、Protractor 角度測量 APP，分析路徑如下圖(7-3、7-4)。



(a) 蟲蟲在短曲柄長連桿下爬行路徑分析 (b) Tracker 分析曲柄位置 (c) Tracker 分析連桿位置

圖 7-3 短曲柄運作機制



(a) 蟲蟲在長曲柄長連桿下爬行路徑分析 (b) Tracker 分析曲柄位置 (c) Tracker 分析連桿位置

圖 7-4 長曲柄運作機制

由短曲柄長連桿、長曲柄長連桿之路徑分析，發現長曲柄轉動半徑大，往前的距離較長，反之，短曲柄轉動半徑小，移動路徑較短。以蟲蟲往前、往後的週期比較，短曲柄轉動半徑小，產的前進後退距離之週期較快，前進距離較短。

五、所有變因組合下，蟲蟲的行走速率為何。

由【研究 5-1】研究發現，配重為 4 個、6 個螺帽，以連桿 12cm，蟲蟲速率最快；連桿 16cm、20cm，蟲蟲速率最慢。推測連桿越長後身就離本體越遠，對機械獸來講，得花更多的力氣，因此，連桿不宜太長，以免讓蟲蟲速率變慢。

由【研究 5-2】研究發現，配重為 4 個、6 個螺帽都是以曲柄越長，蟲蟲行走速率最快。推測是因為旋轉半徑較大所致。

目的六：所有變因組合下，蟲蟲的負重量為何。

由【研究 6-1】研究發現，後身角度為 10 度、20 度時，只有後身高 5 公分的才能拉動負重。當角度為 30 度時，皆拉不動，推測是因為在拉動時，後身晃動過大，導致不穩翻覆；而高度為 5 公分時，10、20 度時 能使蟲蟲在拉動時，後身晃動較小，因而能拉動。

由【研究 6-2】研究發現，後身配重重心位於前時，10 度到 20 度的負重量增加。推測是當角度越大時，重心越往前，因此，在負重的過程中，會導致機械獸後身容易翻覆；當角度小的時候，則不易翻覆，但負重量較小，因此，後身的角度不宜過大。

由【研究 6-3】研究發現，防滑貼條貼於前段時，負重量最大；防滑貼條位於後段時，負重量最小。我們推測，在進行負重的時候，為了能拉動負上的重量，蟲蟲需要比較大的摩擦力，來防止行走時，身體縮起來向後滑動的問題，剛剛好和比速率時的結果相反。

由【研究 6-4】研究發現，砂紙的效果最差；防滑貼條最佳。我們推測砂紙及防滑墊，產生的摩擦力過大，導致蟲蟲行走的阻力增加，因而耗費更多能量在上面，所以負重量小。

捌、結論

- 一、不同連桿長的蟲蟲，連桿越長蟲蟲移動速率越慢。
- 二、有軌蟲蟲行走的速率，較無軌蟲蟲來得快。
- 三、防滑貼條位於身體後段，走得速率的最快。
- 四、蟲蟲後段身體過輕，導致行走時翻覆；而蟲蟲後段身體過重，蟲蟲會拉不動配重導致無法行走或移動遲緩。
- 五、重心位於後身前端或中間時，行走速率最快。
- 六、曲柄越長，行走速率越快；曲柄越短，行走速率越慢。
- 七、配重為 4 個螺帽、6 個螺帽時，以連桿 12cm 蟲蟲速率最快。
- 八、後身高度為 5 公分，角度為 20 度的負重量最大。
- 九、防滑貼條貼在前段時，負重力較佳。
- 十、當重心位於前段，且角度介於 10 度到 20 度時，負重量增加。
- 十一、砂紙及防滑墊產生的摩擦力較大，導致蟲蟲行走的阻力增加，負重量減少。

玖、未來展望

一、未來應用

我們觀察到蟲蟲行走時的運作方式，類似火車行走時輪子的運作。因此，本研究可以應用於森林火車的設計，我們可以繼續構思出不同結構的蟲蟲，並依照其性能，搭配找出最佳的組合，使得火車具有較強的爬坡能力，方便行走坡陡的路段，並減少翻覆的機會。

拾、相關參考資料

1. 2017PowerTech 青少年科技創作競賽 Mini-Com 區賽暨全國賽競賽規則。
2. 終極目標－萬獸之王曲軸、連桿、後腳組合的探討，第 46 屆全國科展，國中生活與應用科學科，2018.2.5 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=43&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=9&sid=1848>（科展群傑廳）
3. 進擊的萬獸－萬獸的終極奧義，第 57 屆全國科展，國小生活與應用科學科，2018.2.5 取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080807.pdf>（科展群傑廳）

【評語】 032802

1. 本作品針對不同連桿長度、防滑貼位置、材料等等控制因子系列提出實驗規劃及討論。
2. 連桿長則時間長，但為何連桿 14 時間長於連桿 16？相同地，連桿短則速率快，但為何連桿 14 速率慢於連桿 16？都須以科學方式討論或是後續額外試驗結果來說明才對。
3. 防滑貼位置於前後段的影響用"推測"來說明是不妥的，且敘述內容等同沒說，應該改進。後段的配重明顯影響與地面接觸的摩擦力，對於推動前進有其助益。如果可以透過蟲蟲在前中後支撐位置受到的反作用力當成正向力乘上磨擦係數，即可以作為討論的具體科學依據。科學研究中應減少使用"推測"、"應該"等字眼。
4. 表上許多 X 符號，應該在文件中說明代表的含意，會讓作品更完整。

摘要

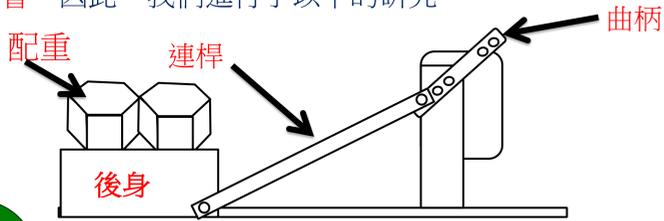
本研究源於參加Power Tech科技創作競賽，要製造一隻兼顧「接力賽」及「拔河賽」的蟲蟲機械獸。結果發現：

- 一、連桿越長蟲蟲移動速率越慢。
- 二、有軌蟲蟲較無軌蟲蟲走得快。
- 三、防滑貼條位於身體後段，速率最快。
- 四、蟲蟲後段身體過輕，導致行走翻覆；而蟲蟲後段身體過重，蟲蟲會拉不動配重。
- 五、重心位於後身前端或中間，行走速率最快。

- 六、曲柄越長，行走速率越快。
- 七、配重為4個螺帽、6個螺帽時，以連桿12cm蟲蟲速率最快。
- 八、後身高度為5公分，角度為20度的負重量最大。
- 九、防滑貼條貼在前段時，負重力較佳。
- 十、當重心位於後身前段，且後身角度介於10度到20度時，負重量增加。
- 十一、防滑貼條摩擦力適中，負重量最大。

壹 研究動機

本研究源自於我們參加Power Tech科技創作競賽，有各種不同的機械獸。蟲蟲行走時的運作方式，類似火車行走時輪子的運作。因此，我們藉著研究不同結構的蟲蟲，並依照其性能，搭配找出最佳的組合，期待能應用於森林小火車，使森林小火車行進更順暢，能具有較強的爬坡能力，且安全地行進陡坡路段，並減少翻覆機會。因此，我們進行了以下的研究。



貳 研究目的

目的一：比較不同連桿長度及結構對蟲蟲前進的速率有何影響。

- 研究1-1：不同長度連桿，對蟲蟲前進的速率有何影響？
- 研究1-2：不同結構的蟲蟲，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的二：比較不同摩擦力的蟲蟲對移動速率有何影響。

- 研究2-1：不同防滑貼條位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？
- 研究2-2：不同接觸面材質，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的三：不同重量，對蟲蟲行走有何影響。

- 研究3-1：不同身體配重，對蟲蟲前進的速率有何影響？
- 研究3-2：不同重心位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的四：不同曲柄長短，對蟲蟲行走有何影響。

- 研究4-1：不同曲柄長短，對蟲蟲前進的速率有何影響？

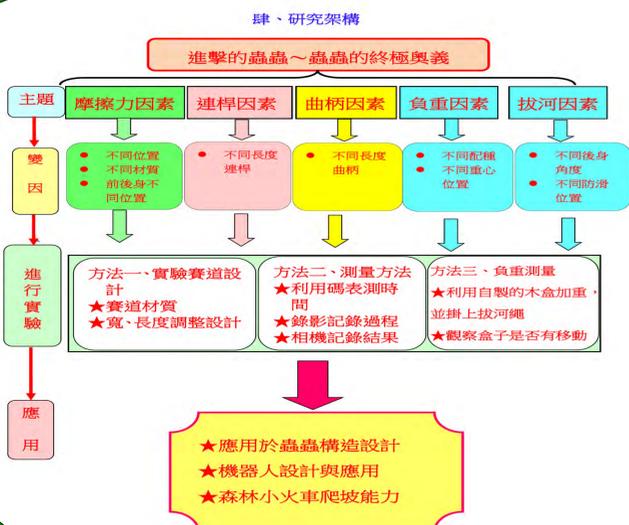
目的五：不同變因組合下，蟲蟲的行走速率為何。

- 研究5-1：不同連桿及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？
- 研究5-2：不同曲柄長短及配重的組合下，對蟲蟲行走的速率為何？
- 研究5-3：不同防滑材質及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？
- 研究5-4：不同防滑位置及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

目的六：不同變因組合下，蟲蟲的負重量為何。

- 研究6-1：不同後身高度及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？
- 研究6-2：不同配重重心及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？
- 研究6-3：不同防滑位置，對蟲蟲負重量有何影響？
- 研究6-4：不同防滑材質，對蟲蟲負重量有何影響？

參 研究架構



肆 研究設備及器材

一、實驗材料：

- (一) 蟲蟲原型(五種)
- (二) 螺帽：配重用
- (三) 電池：同一廠牌
- (四) 黑色止滑墊：增加摩擦力
- (五) 密集板：原型的材料
- (六) 砂紙

二、實驗器材：

- (一) 工具箱：內部包含手搖鑽、小扳手、防鑽板、開關、熱融膠條、熱融槍、螺絲起子、剪刀、螺帽、螺絲、電線、電池盒、剪線鉗、長尺、絕緣膠帶、矽膠管

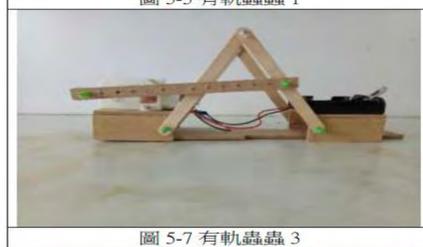
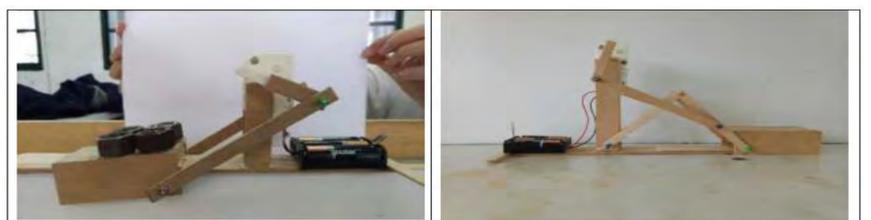


- (二) 測量工具：照相機、碼錶、錄影機
- (三) 實驗場地：比賽跑道(立光板)



三、實驗裝置

(一) 蟲蟲~結構設計



(二) 不同變因



伍 研究過程與研究結果

目的一：比較不同連桿長度及結構對蟲蟲前進的速率有何影響？

研究1-1：不同長度連桿，對蟲蟲前進的速率有何影響？

- 【研究構想】：利用蟲蟲原型，改變不同長短的連桿。
- 【研究發現】：

1. 連桿越長，蟲蟲移動速率越慢。
2. 連桿1x12cm平方公分的蟲蟲行走速率最快。
3. 結果如圖6-1、6-2。

【實驗結果與討論】：

1. 在未加防滑貼條的情況下，長度1x12平方公分的連桿在同距離的情況下行走速率最快。
2. 推測在無防滑貼條的情況下，連桿越長後身就離馬達越遠，對機械獸來講，得花更多的能量在把後身往前拉，因此連桿1x12cm平方公分是最好的選擇。



圖6-1：不同長度連桿，對蟲蟲前進的時間影響



圖6-2：不同長度連桿，對蟲蟲前進的速率影響

研究1-2：不同結構的蟲蟲，對蟲蟲前進的速率有何影響？

- 【研究構想】：利用蟲蟲原型，改變不同的結構。
- 【研究發現】：

1. 有軌蟲蟲行走的速率較無軌蟲蟲來得快。
2. 有軌蟲蟲1行走的速率最快。
3. 結果如圖6-3、圖6-4。

【實驗結果與討論】：

有軌蟲蟲行走的速率較無軌蟲蟲來的快，推測是因為有軌蟲蟲1有軌道能控制後身行走的方向，使其不歪斜，其中，已有軌蟲蟲1行走速率較快。因此，後續的實驗一律採用「有軌蟲蟲1」。

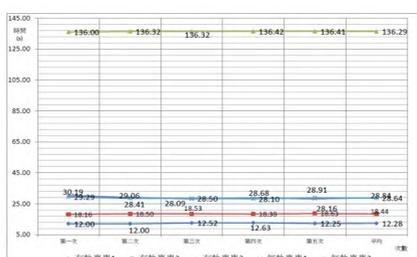


圖6-3：有無軌道結構對蟲蟲行走時間的影響

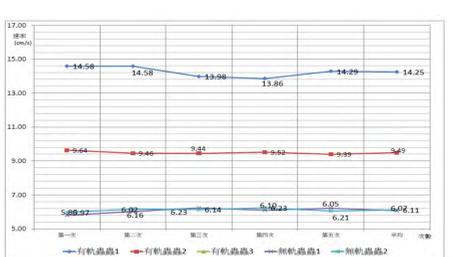


圖6-4：有無軌道結構對蟲蟲行走速率的影響

目的二、比較不同摩擦力的蟲蟲，對移動速率有何影響？

研究2-1：不同防滑貼條位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同防滑貼條位置

【研究發現】

1. 防滑貼條位於身體後段，走的速率最快。
2. 結果如圖6-5、6-6。

【實驗結果與討論】：

防滑貼條位於身體後段，走的速率最快。我們推測當防滑貼條位於身體前段時，行走時會產生摩擦力阻擋蟲蟲前進；當防滑貼條在身體後段時，行走平均速率較其他位置快，推測貼條位於身體後段時，適當的摩擦力會幫助蟲蟲行走。

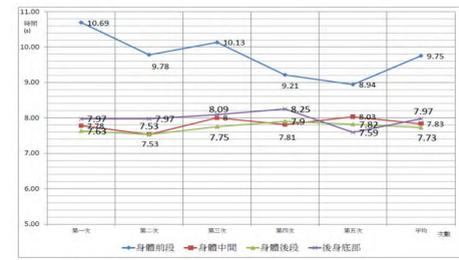


圖 6-5：防滑貼條位置對蟲蟲前進的時間影響



圖 6-6：防滑貼條位置對蟲蟲前進的速率影響

研究2-2：不同接觸面材質，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同接觸面材質。

【研究發現】

1. 蟲蟲後段身體加防滑貼條行走速率較快。
2. 結果如圖6-7、6-8。

【實驗結果與討論】：

防滑墊的摩擦力過大使得蟲蟲行走速率變慢，而防滑貼條的摩擦力適中所以能減少行走的時間。

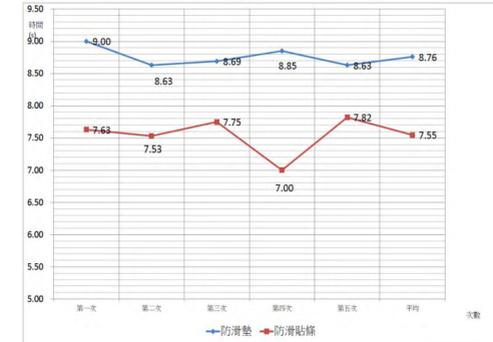


圖 6-7：身體防滑材質對前進時間影響

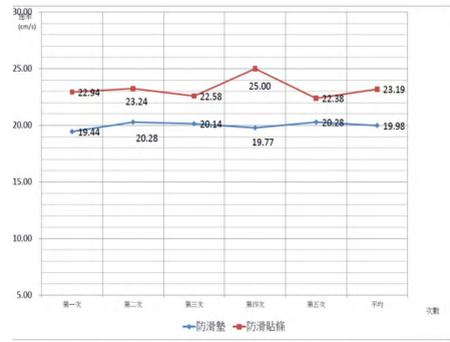


圖 6-8：身體防滑材質對前進速率影響

目的三：不同身體重量，對蟲蟲行走有何影響？

研究3-1：不同身體配重，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，在身體後段加上不同的配重。

【研究發現】

1. 配重為四顆大螺帽時，行走速率最快。
2. 當重量為兩顆大螺帽時，蟲蟲因為後段身體過輕，導致行走時翻覆。
3. 結果如圖6-9、6-10。

【實驗結果與討論】：

當重量為兩顆大螺帽時，蟲蟲因為後身過輕，導致行走時翻覆；而重量太重時，蟲蟲會拉不動配重導致無法行走或移動遲緩。因此，重量不宜太輕或過重。



圖 6-9：不同身體配重，對蟲蟲前進的時間影響



圖 6-10：不同身體配重，對蟲蟲前進的速率影響

研究3-2：不同重心位置，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變後身配重的重心位置。

【研究發現】：

1. 當重心位於後身前端或中間時，行走速率最快。
2. 結果如圖6-11、6-12。

【實驗結果與討論】：

當重心位於後身前端或中間時，行走速率最快。推測，當重量集中在後身前端時，因施力臂連接到後身前端，前端有配重可向下施力，所以後身不會翻車；但當配重集中在後身末端時，由於施力臂連接到後身的前端，而前端無配重，所以會翻覆無法行走。

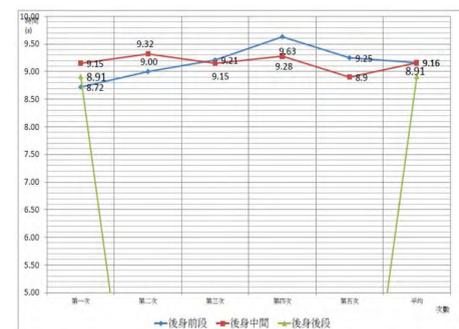


圖 6-11：不同重心位置，對蟲蟲前進的時間影響

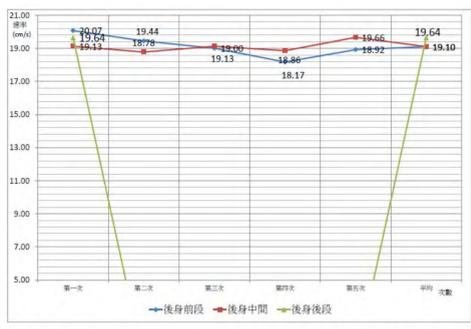


圖 6-12：不同重心位置，對蟲蟲前進的速率影響

目的四：不同曲柄長短，對蟲蟲行走有何影響。

研究4-1：不同曲柄長短，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同曲柄長短。

【研究發現】

1. 曲柄越長，行走速率越快；曲柄越短，行走速率越慢。
2. 曲柄6公分行走的速率最快。
3. 結果如圖6-13、6-14。

【實驗結果與討論】：

曲柄越長行走速率越快，推測是因為旋轉半徑較大所致，往前進的距離較長，因而速率較快

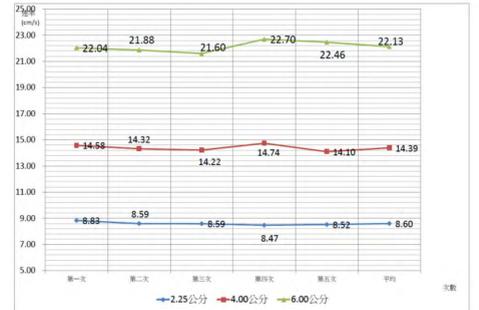


圖 6-14：曲柄長短，對蟲蟲前進的速率影響

目的五：不同變因組合下，蟲蟲的行走速率為何。

研究5-1：不同連桿及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同長短的連桿及重量的所有組合。

【研究發現】

1. 身體配重為2個螺帽時，蟲蟲後身過輕導致翻覆，無法前進。
2. 身體配重為4個螺帽時，以連桿20cm的，蟲蟲速率最慢；連桿12cm的，蟲蟲速率最快。
3. 身體配重為6個螺帽時，以連桿16cm的，蟲蟲速率最慢；連桿12cm，蟲蟲速率最快。
4. 結果如圖6-16~6-20。

【實驗結果與討論】：

配重為4個、6個螺帽，以連桿12cm，蟲蟲速率最快，推測連桿越長後身就離本體越遠，對機械賦來講，能量傳遞的距離愈遠，因此，連桿不宜太長以免讓蟲蟲速率變慢。



圖 6-16：配重為2個螺帽時，不同連桿長短對蟲蟲前進的速率影響



圖 6-18：身體配重為4個螺帽時，不同連桿長短對蟲蟲前進的速率影響

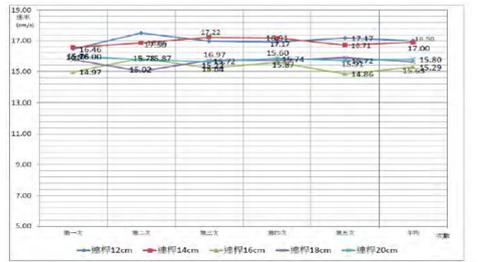


圖 6-20：身體配重為6個螺帽時，不同連桿長短對蟲蟲前進的速率影響

研究5-2：不同曲柄長短及配重的所有組合下，蟲蟲行走的速率為何？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同重量及曲柄的所有組合。

【研究發現】

1. 身體配重為2個螺帽時，以曲柄4.00cm的蟲蟲速率最快；曲柄6.00cm的蟲蟲無法前進。
2. 身體配重為4個螺帽時，以曲柄6.00cm的，蟲蟲速率最快；曲柄2.25cm的，蟲蟲速率最慢。
3. 身體配重為6個螺帽時，以曲柄6.00cm的，蟲蟲速率最快；曲柄2.25cm的，蟲蟲速率最慢。
4. 結果如圖6-21~6-26。

【實驗結果與討論】：

配重為4個、6個螺帽都是以曲柄越長，蟲蟲行走速率最快，推測是因為旋轉半徑較大所致，往前進的距離較長，因而速率較快。配重為2個螺帽時，後身太輕無法抵銷馬達的力而翻覆。

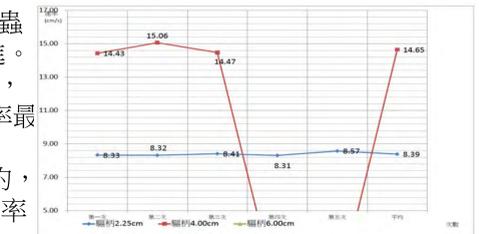


圖 6-22：身體配重為2個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進的速率影響

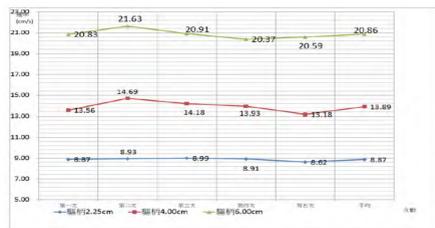


圖 6-24：身體配重為4個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進速率的影響

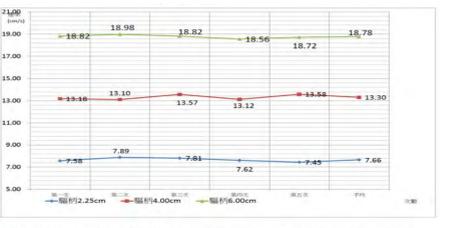


圖 6-26：身體配重為6個螺帽時，不同曲柄長短對蟲蟲前進的速率影響

研究5-3：不同防滑材質及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【研究構想】

利用蟲蟲原型，改變不同防滑材質及重量的所有組合。

【研究發現】：

1. 身體配重為2個螺帽時，防滑貼條位置不管在哪，蟲蟲無法前進。
2. 身體配重為4個螺帽時，以防滑貼條在身體後段，蟲蟲速率最快；6個螺帽時，蟲蟲速率最慢。
3. 結果如圖6-27~6-28。

【實驗結果與討論】：

防滑墊的摩擦力使得蟲蟲行走速率變慢，而防滑貼條產生的摩擦力，要大小適中，才能行走快，而兩顆螺帽的，仍會因後身過輕而翻覆。



圖 6-28：不同配重對蟲蟲前進速率的影響

研究5-4：不同防滑位置及配重的組合下，對蟲蟲前進的速率有何影響？

【實驗結果與討論】：
當配重為四個螺帽的時候，防滑貼條貼在身體後段，行走的速率較快；配重為六個螺帽時，防滑貼條貼在身體中段能使蟲蟲行走最快。推測，蟲蟲行走時後身會打滑，當重量為四個螺帽時，防滑貼條貼在身體後段能給予蟲蟲適當的摩擦力，貼在身體的前中段則會產生摩擦力，阻擋蟲蟲行走，因此速率較慢。

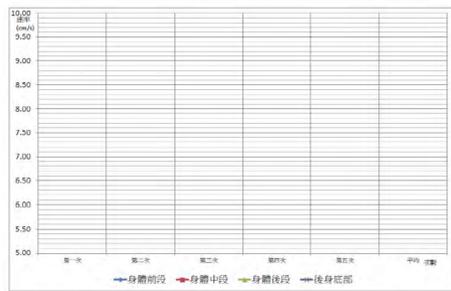


圖 6-30：配重為 2 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率的影響

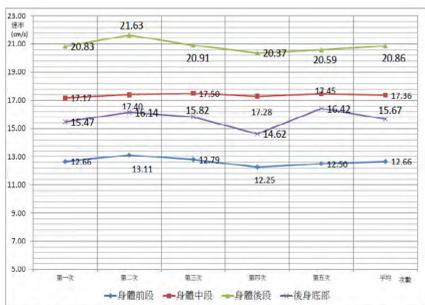


圖 6-32：配重為 4 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率的影響

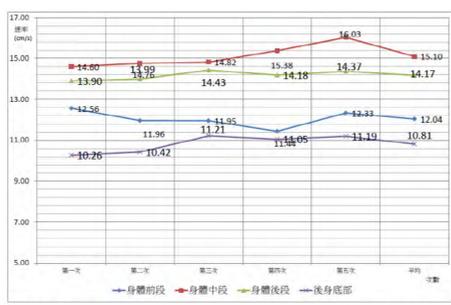


圖 6-34：配重為 6 個螺帽時，防滑貼條位置對前進速率影響

目的六：不同變因組合下，蟲蟲的負重量為何。

研究6-1：不同後身高度及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】
利用蟲蟲原型，改變不同後身高度及角度的所有組合。

【研究發現】
1. 後身角度為10度、20度時，只有後身高5公分的才能拉動負重，其餘的皆無法拉動而翻覆
2. 結果如圖6-36。

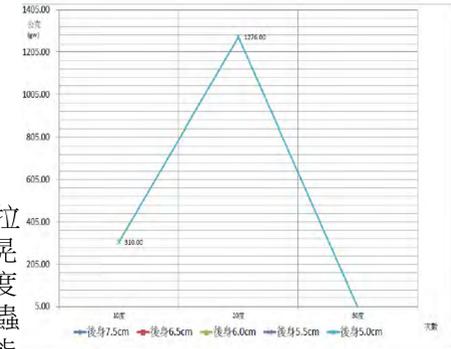


圖 6-36 不同後身高度及角度的組合

【實驗結果與討論】：
研究發現，只要角度為30度時，皆拉不動，推測是因為在拉動時，後身晃動過大，導致重心不穩翻覆；而高度為5公分且角度為10、20度時能使蟲蟲在拉動時，後身晃動較小，因而能正常負重前進。

研究6-2：不同配重重心及角度的組合下，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】
利用蟲蟲原型，改變不同配重重心及角度的所有組合。

【研究發現】
1. 後身配重重心位於中間時，只有後身高度為5公分時，才能拉動負重。
2. 後身配重重心位於前時，10度到20度的負重量增加。
3. 結果如、圖6-37~6-38。



圖 6-38 不同配重重心及角度的組合(重心在後身中段)

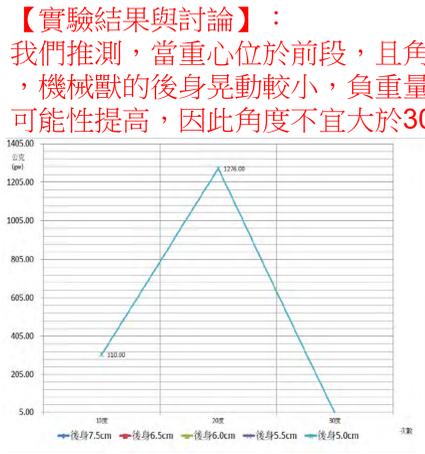


圖 6-37 不同配重重心及角度的組合(重心在後身前端)

研究6-3：不同防滑位置，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】
利用蟲蟲原型，改變不同防滑材質及防滑位置的所有組合。

【研究發現】
1. 防滑貼條貼於前段時，負重量最大。
2. 防滑貼條位於後段時，負重量最小。
3. 結果如圖6-39。

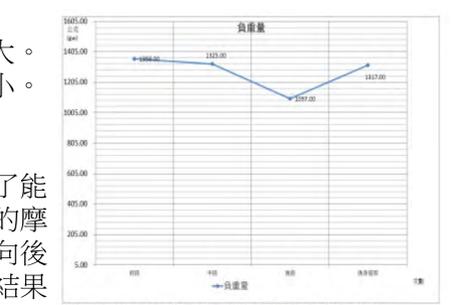


圖 6-39 不同防滑位置，對蟲蟲負重量的影響

【實驗結果與討論】：
我們推測，在進行負重的時候，為了能拉動負上的重量，蟲蟲需要比較大的摩擦力，來防止行走時，身體縮起來向後滑動的問題，剛剛好和比速率時的結果相反。

研究6-4：不同防滑材質，對蟲蟲負重量有何影響？

【研究構想】：利用蟲蟲原型，改變不同防滑材質及防滑位置的所有組合。

【研究發現】：
1. 砂紙的效果最差；防滑貼條最佳。
2. 結果如圖6-40。

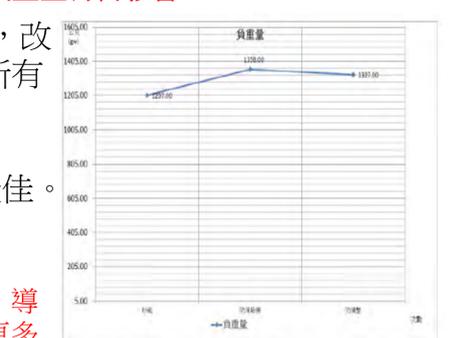


圖 6-40 不同防滑材質，對蟲蟲負重量的影響

【實驗結果與討論】：
砂紙及防滑墊，產生的摩擦力過大，導致蟲蟲行走的阻力增加，因而耗費更多能量在上面，所以負重量小。

陸 討論

一、不同結構對蟲蟲前進的速率有何影響。

由【研究1-1】研究發現連桿越長，蟲蟲移動速率越慢，連桿12cm的蟲蟲行走速率最快。推測在無防滑貼條的情況下，連桿越長後身就離本體越遠，對機械獸來講，得花更多的能量在把後身往前拉，因而速率慢。

(一) 連桿運作機制

我們想更進一步知道連桿的長短對蟲蟲行走影響，因此利用慢速攝影、Tracker分析軟體、Protractor角度測量APP，以追蹤連桿移動與蟲蟲前進關係(圖7-1)。

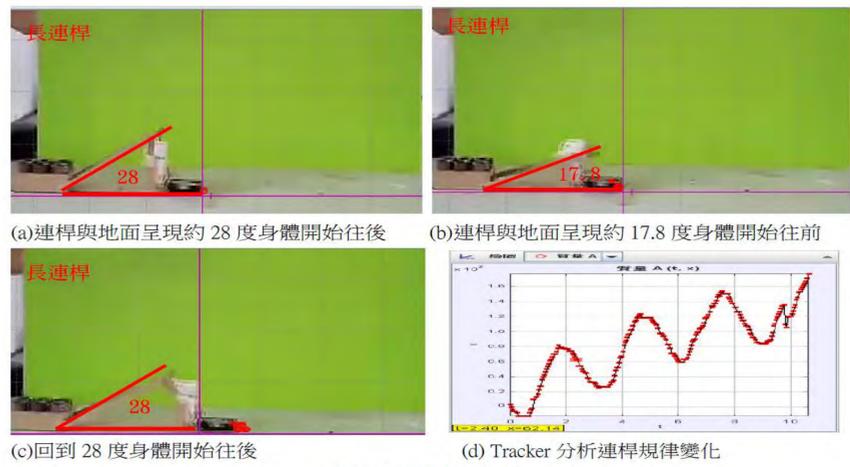


圖 7-1 連桿運作機制

結果發現：

連桿角度大(28度)(身體後退)→連桿角度小(約17.8度)(身體前進)→連桿角度大(28度)(身體後退)

(二) 長短連桿與前進快慢~

找一個短連桿(12cm)進行分析，結果如圖。

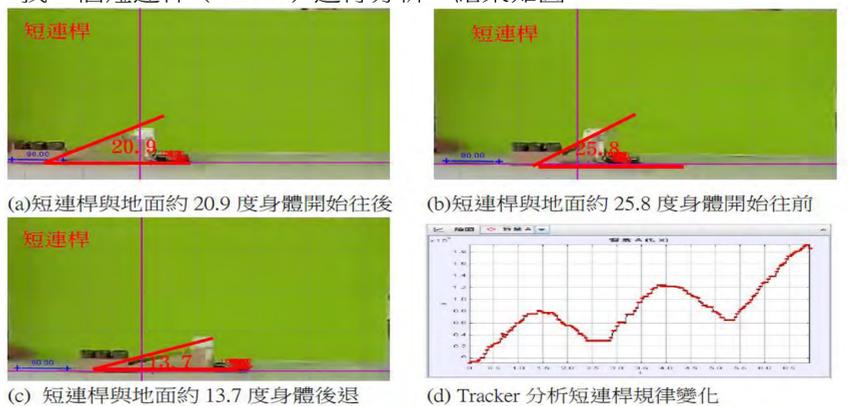


圖 7-2 短連桿運作機制

結果發現連桿角度大(20.9度)(身體後退)→連桿角度小(約25.8度)(身體前進)→連桿角度大(13.7度)(身體後退)

從長連桿與短連桿張開角度比較，發現長連桿張開角度較大，所耗費時間較長，才能身體往前進；反之，短連桿耗費時間較短，就可以往前進。再從，蟲蟲身體伸到最長的時間，到下一個身體伸到最長時間(週期)。長連桿週期較長(3秒)，短連桿週期較長(2.5秒)。因此，短連桿速率較快。

二、不同曲柄長短，對蟲蟲行走有何影響。

由【研究4-1】研究發現，曲柄越長，行走速率越快；曲柄越短，行走速率越慢。推測是因為曲柄越長，旋轉半徑較大所致，往前進的距離較長，因而速率較快。我們以慢速攝影、Tracker分析軟體、Protractor角度測量APP，分析路徑如圖(7-3、7-4)。

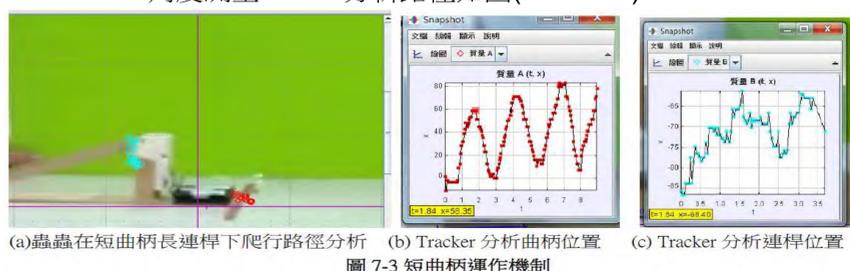


圖 7-3 短曲柄運作機制

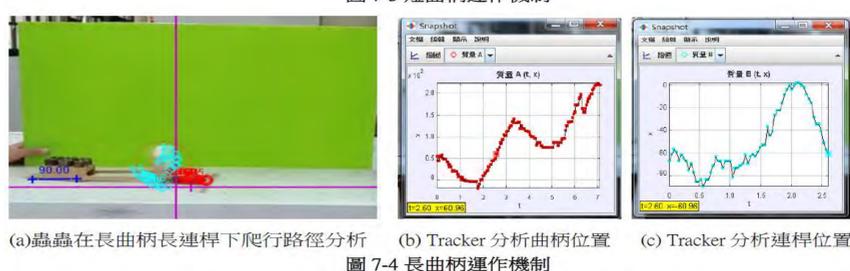


圖 7-4 長曲柄運作機制

由短曲柄長連桿、長曲柄長連桿之路徑分析，發現長曲柄轉動半徑大，往前的距離較長，反之，短曲柄轉動半徑小，移動路徑較短。以蟲蟲往前、往後的週期比較，短曲柄轉動半徑小，產的前進後退距離之週期較快，前進距離較短。

三、延伸實驗——蟲蟲爬坡。

腳踏車在坡度陡的地方騎時，會遇到坡陡騎不上去的問題，因此我們想，森林小火車要爬坡，會不會也遇到這個問題呢?就進行了延伸實驗。

我們將賽道的一端架高，並利用量角器，將角度固定成5、10、15度，並搭配不同組合進行實驗，結果，我們發現當賽道角度為15度時，不同的變因組合皆因坡度陡而爬不上去；當未加上防滑貼條時，只有曲柄6公分且連桿為12平方公分、配重為2顆螺帽時，能夠緩慢的爬坡；當防滑貼條貼在身體前段，只有曲柄6公分且連桿為12平方公分、配重為2、4顆螺帽時，能夠爬賽道角度5度的坡。未來我們的蟲蟲爬坡實驗會更進一步地去測試蟲蟲爬坡的效能，以便於未來應用在森林小火車的結構設計上，使森林小火車爬坡性能較佳，減少翻覆的機會。



圖 7-5 蟲蟲爬坡

柒 結論

- 一、不同連桿長的蟲蟲，連桿越長蟲蟲移動速率越慢。
- 二、有軌蟲蟲行走的速率，較無軌蟲蟲來得快。
- 三、防滑貼條位於身體後段，走得速率的最快。
- 四、蟲蟲後段身體過輕，導致行走時翻覆；而蟲蟲後段身體過重，蟲蟲會拉不動配重導致無法行走或移動遲緩。
- 五、重心位於後身前端或中間時，行走速率最快。
- 六、曲柄越長，行走速率越快；曲柄越短，行走速率越慢。
- 七、配重為4個螺帽、6個螺帽時，以連桿12cm蟲蟲速率最快。
- 八、後身高度為5公分，角度為20度的負重量最大。
- 九、防滑貼條貼在前段時，負重力較佳。
- 十、當重心位於前段，且角度介於10度到20度時，負重量增加。
- 十一、砂紙及防滑墊產生的摩擦力較大，導致蟲蟲行走的阻力增加，負重量減少。