

臺北市第 48 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學

組 別：國小組

作品名稱：乒乒乓乓~以自製樂高桌球發球機探討發射孔大小、發射角

度對發射落點與距離的影響

關 鍵 詞：樂高機器人、桌球發球機

編 號：



臺北市第 48 屆中小學科展覽會作品說明書內容

作品名稱：乒乒乓乓~以自製樂高桌球發球機探討發射孔大小、發射角度對發射落點與距離的影響

摘要：

本研究為改良式的樂高桌球發球機，運用洗衣機排水管延伸球道以容納大量桌球，減少反覆補球的動作。經過測試發現發射孔直徑為 4.5cm 的穩定度最佳，落點集中且發射距離遠。發球機擺放偏左或偏右傾斜 50°以內發球均能過網，但是偏右角度落點容易在第 2、4、5 區，偏左角度落點容易在第 2、3、5 區。垂直傾斜角度限 60°以內發球才會全部過網，傾斜度高的射程比傾斜度低的射程遠，但都不如無傾斜角度的射程遠。希望此樂高發球機可增進大家打桌球的樂趣與能力。

壹、研究動機

從小媽媽就常常對我說打桌球能夠保護我的靈魂之窗，因為在打桌球時，眼睛以桌球為目標，眼球必須上、下、左、右快速的調整和運動，不斷使睫狀肌放鬆及收縮，眼外肌也在不停地收縮，大大促進眼球組織的血液供應和代謝，因而能行之有效地改善睫狀肌的功能，所以希望我能夠常常打桌球。但是每當我想要打桌球的時候，爸媽都忙於做事，妹妹也因為年紀太小不會打桌球，所以無法和我對打，於是我想借著這次獨立研究及利用所學的樂高機器人相關知識，自製一台樂高桌球發球機。我選擇以樂高而不用機械製做的理由，樂高較容易堆疊組裝，即使做錯也較容易拆卸，但是若以機械製作會用很多的黏著劑或是螺絲組合，做錯時較難拆卸。此外以四年級下學期自然與生活科技第四單元「奇妙的電路」當作先備基礎進行研究，希望製作成功後當我與發球機對打，不但可以享受打桌球的樂趣，還可增強手眼協調的能力，並且保護我的視力，這真是一箭三雕啊!


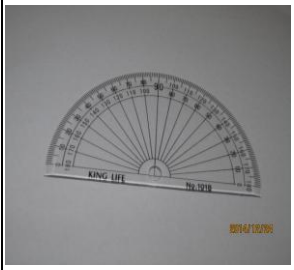

貳、研究目的

- 一、研發能大量發球的樂高桌球發球機。
- 二、探討自製樂高桌球發球機的發射孔徑大小對發射落點與距離的關係。
- 三、探討自製樂高桌球發球機的水平偏斜發射角度對發射落點與距離的關係。
- 四、探討自製樂高桌球發球機的垂直傾斜發射角度對發射落點與距離的關係。

參、研究設備及器材






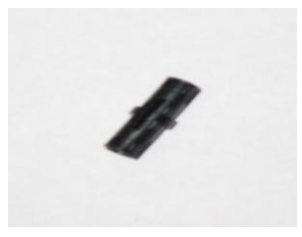
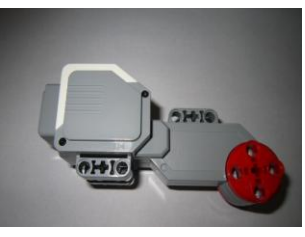

一、實驗器材



照相機、LEGO mindstorms 軟體、70cm 長尺、量角器、剪刀、瓶蓋、相機腳架、美工刀

			
照相機	LEGO mindstorms 軟體	70cm 長尺	量角器
			
剪刀	瓶蓋	相機腳架	美工刀

二、實驗材料

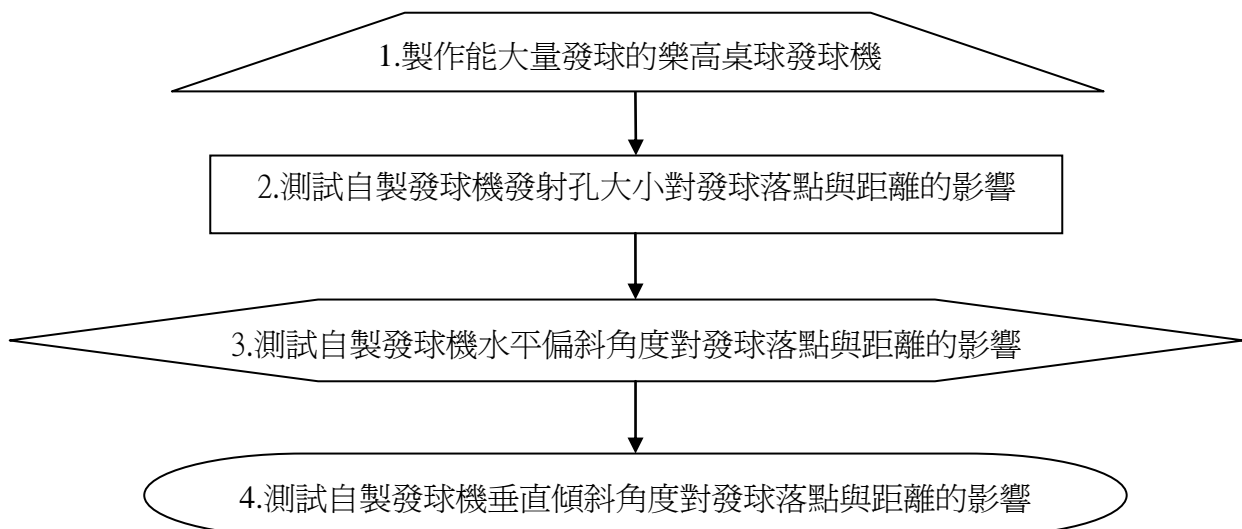
40 齒輪、8 齒齒輪、梁、軸、骨頭、連接管、馬達、輪子、EV3 主機、桌球、膠帶、洗衣機排水管、尼龍束線帶、紙箱、紙條、履帶、塑膠箱、折疊式收納籃、傳輸線、電線

			
40 齒輪	8 齒齒輪	梁	軸
			
骨頭	連接管	馬達	輪子

			
EV3	桌球	膠帶	洗衣機排水管
			
尼龍束線帶	紙箱	紙條	履帶
			
塑膠箱	折疊式收納籃	傳輸線	電線

肆、研究過程或方法

一、研究架構



二、研究設計

機體設計：研發能大量發球的樂高桌球發球機。

(一)製作基本樂高桌球發球機

- 1.先做出一台具有發射孔、球道、感測器和主機結構的樂高發球機。
- 2.把集球桶裝在球道的機構上
- 3.將兩顆馬達裝加速齒輪比來個別控制兩顆滾輪。
- 4.再把兩顆馬達固定在梁上。
- 5.把安裝馬達的梁裝在發射孔上。
- 6.將樂高發球體上插入電線連接 EV3 主機。
- 7.另於電腦的 EV3 軟體內撰寫程式。
- 8.寫完後把程式傳送到主機
- 9.按開始鈕讓主機執行程式。

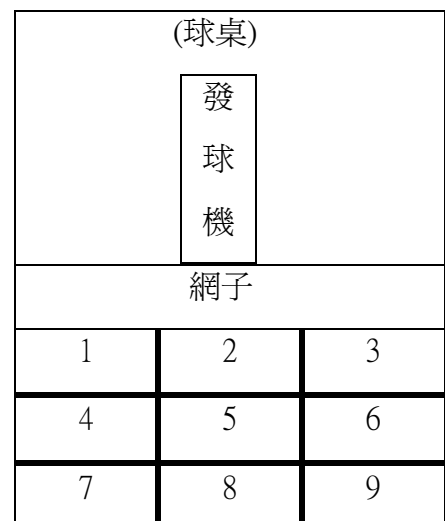
(二)調整發球量

- 1.於樂高桌球發球發射軌道上加裝洗衣機的排水管。
- 2.讓排水管以旋繞方式固定在大紙箱上。
- 3.將 50 顆桌球裝入排水管中，接近發射恐端以桌球筒蓋子蓋住。
- 4.發球機的機體以折疊式收納籃架高、固定排水管的紙箱以塑膠箱架高、紙箱與機體之間的排水管以紙箱架高，幫助發球的流暢性。

實驗設計一：發射孔的大小對樂高桌球發球機發球落點與距離的影響

實驗步驟：

- 1.以紙條製作一個 3x3 的井字網平分及固定在半張桌球桌，並在九區依序標示 1~9 的數字。
- 2.把發射孔調成直徑 4.5cm，再裝回樂高桌球發球機。
- 3.將樂高桌球發球機擺放在井字區的另一邊球桌正中間，距網子 15cm，往正前方發射 5 顆直球。
- 4.記錄此 5 顆桌球的落點區域、距離以及是否過網。
- 5.再把發射孔分別調成直徑 5cm、5.5cm、6cm，依上述的步驟進行並記錄數據。



實驗設計二：樂高桌球發球機的水平偏斜角度對發球落點與距離的影響

實驗步驟：

- 1.以紙條製作一個 3x3 的井字網平分及固定在半張桌球桌，並在九區依序標示 1~9 的數字。
- 2.將樂高桌球發球機擺放在井字區的另一邊球桌，距網子 15cm，往右偏斜 10°擺放在球桌，再發射 5 顆直球。
- 3.記錄此 5 顆桌球的落點區域、距離以及是否過網。
- 4.把樂高桌球發球機分別往右偏斜 20°、30°、40°、50°擺放在井字網區的另一邊球桌上，依上述的步驟進行並記錄數據。
- 5.再把樂高桌球發球機分別往左偏斜 10°、20°、30°、40°、50°擺放在井字網區的另一邊球桌上，依上述的步驟進行並記錄數據。

實驗設計三：樂高桌球發球機的垂直傾斜角度對發球落點與距離的影響

實驗步驟：

- 1.以紙條製作一個 3x3 的井字網平分及固定在半張桌球桌，並在九區依序標示 1~9 的數字。
- 2.將樂高桌球發球機擺放在井字區的另一邊球桌，正中間距網子 15cm，加底座往上傾斜 10°，再發射 5 顆直球。
- 3.記錄此 5 顆桌球的落點區域、距離以及是否過網。
- 4.再把樂高桌球發球機分別往上傾斜 20°、30°、40°、50°、60°、70°、80°擺放在井字網區的另一邊球桌上，依上述的步驟進行並記錄數據。

伍、研究結果

一、研發能大量發球的樂高桌球發球機

我製作的樂高桌球發球機依演變歷程可區分為四代，逐步改善其發球的穩定度及數量，減少來回填裝桌球的次數，介紹如表 5-1：

表 5-1 樂高桌球發球機演變歷程表

<p>第一代：</p> <p>一、基本原始結構</p> <p>包含球道、發射孔、EV3 主機、滾輪等。</p> <p>二、缺失</p> <ol style="list-style-type: none">1.發球時馬達會一直晃動，導致發球不穩定。2.一次同時發射好幾顆球。3.機體最多容納 7 顆球。4.無法過網。	
<p>第二代：</p> <p>一、改變</p> <ol style="list-style-type: none">1.在兩顆馬達上加一根梁。2.加一顆觸碰感測器在球道末端。3.在球道後上方加裝一個特大寶特瓶裝球。4.機體以塑膠箱蓋加摺疊收納籃墊高。 <p>二、缺失</p> <ol style="list-style-type: none">1 馬達上的梁會擋住球的運輸過程。2.球太輕無法壓下探測器的按鈕。3.桌球容易卡在寶瓶中無法落下軌道。4.發球彈力較弱，導致射程不夠遠。	
<p>第三代：</p> <p>一、改變</p> <ol style="list-style-type: none">1.改成加裝一條橡皮筋2.改成顏色感測器3.把洗衣機排水管加在球道正後方4.在兩顆馬達間的上方加一顆馬達 <p>二、缺失</p> <ol style="list-style-type: none">1.桌球顏色太淺，顏色感測器感應不到。2 桌球常擠在球道，以致卡在發射孔的位置。3.發球常無法過網。	

第四代：

一、改變

- 1.顏色感測器拆掉改成加裝柵欄，讓球依序發射。
- 2.除了整個機體以塑膠箱、折疊式收納籃架高以外，在排水管中間加紙箱墊高調整桌球進入球道角度。











實驗一：發射孔的大小對樂高桌球發球機發球落點與距離的影響

發射孔的直徑大小對樂高桌球發球機的發射穩定度影響很大，太緊桌球容易卡住，太鬆球又容易射偏，故從本實驗中設定比桌球稍大的 4 種尺寸進行比較，希望能找到最佳的發射孔徑尺寸，作為後續實驗的基本設定，實驗結果如下表 5-2。

表 5-2 發射孔大小影響樂高桌球發球機發球落點與距離紀錄表

發射孔大小		4.5cm					5cm					5.5cm					6cm				
次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆
第一次	落點區域	5	4	8	7	5	5	5	5	5	5	8	5	8	8	8	5	5	2	5	2
	距離 (cm)	77	70	90	92	81	86	83	82	74	82	91	86	91	93	96	72	65	29	65	18
	平均 (cm)	82					81.4					91.4					49.8				
	過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	圖片																				
第二次	落點區域	5	5	5	5	5	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	x	5	2	2	5
	距離 (cm)	84	80	81	66	87	48	22	25	63	92	49	64	61	57	24	x	56	42	40	66
	平均 (cm)	79.6					40.5					41.3					51				
	過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓

	圖片																				
第三次	落點區域	5	5	5	5	5	5	5	8	5	5	5	4	5	5	5	2	×	2	2	2
	距離 (cm)	70	70	52	82	74	67	81	98	73	62	80	77	65	55	57	35	×	37	42	35
	平均 (cm)	69.6					76.2					66.8					37.3				
	過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	圖片																				
距離總平均 (cm)	77.1					66					66.5					46					

將表 5-2 整理成比較圖 5-1、圖 5-2 如下：

- (一)孔徑 4.5cm、5cm 及 5.5cm 的最多落點區域均在正中間的第 5 區。
- (二)孔徑 4.5cm 及 5cm 各有 12 次落於第 5 區，故此兩種尺寸發射穩定性較高。

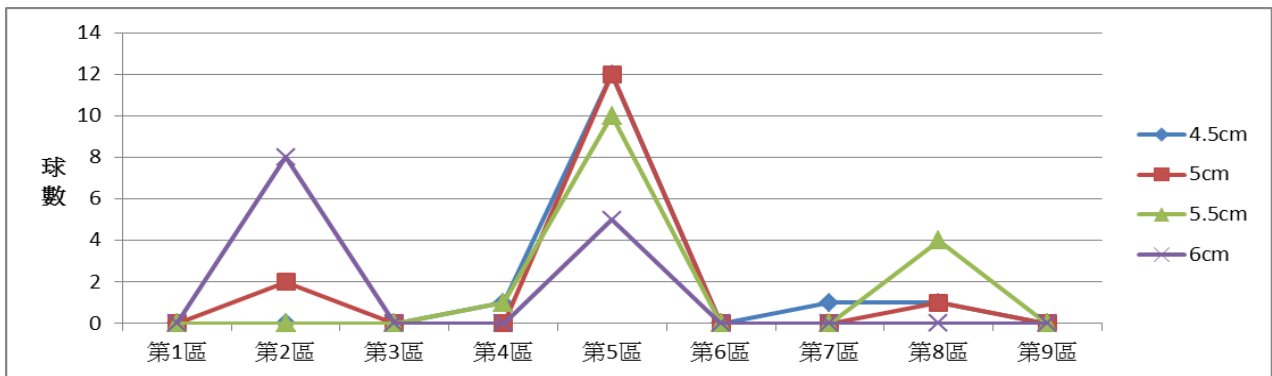


圖 5-1 發射孔直徑造成桌球落點區域比較圖

- (一)孔徑 4.5cm 的射程距離較其他三種尺寸的孔徑長，故可推知在此尺寸下發球機的推力比較集中。
- (二)綜合圖 5-1 與圖 5-2 結果得知，孔徑 4.5cm 是本樂高發球機發射孔的最佳尺寸，後續的實驗中，發射孔均將設定為 4.5cm。

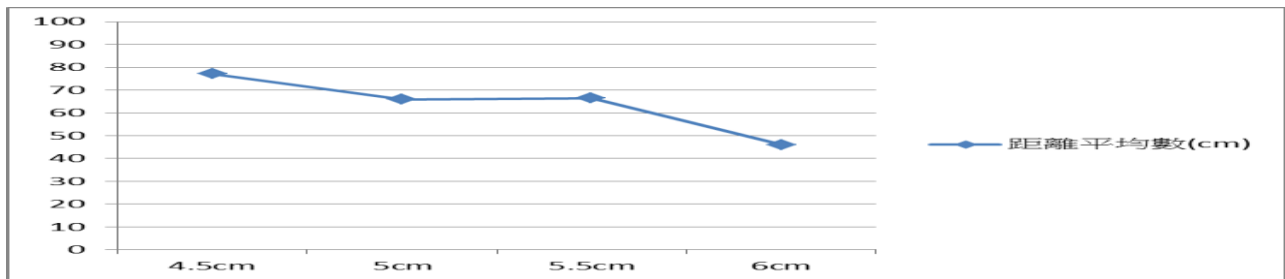





圖 5-2 發射孔直徑造成桌球發射距離平均數比較圖









實驗二：樂高桌球發球機的水平偏斜角度對發球落點與距離的影響









為了解本樂高發球機水平偏斜擺放發射時，能發射過網的容忍範圍，故排除發射必不過網或出界的偏斜 60°以上，再比較向左及向右偏斜結果的差異，實驗結果如表 5-3。

表 5-3 樂高桌球發球機的水平偏斜角度影響發球落點與距離紀錄表

次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 偏右 50°	第一次	落點區域	4	4	4	4	4	
		距離(cm)	84	67	75	74	96	
		平均(cm)	79.2					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	5	5	3	5	3	
		距離(cm)	54.5	47.5	42	50.5	48.5	
		平均(cm)	48.6					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	2	2	2	2	2	
		距離(cm)	25	32	47	31	48	
		平均(cm)	36.6					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		54.8						
次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 偏右 40°	第一次	落點區域	4	4	4	4	4	
		距離(cm)	94	78	62	78	60	
		平均(cm)	74.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	2	2	2	2	
		距離(cm)	28.5	34	20.5	39	34.5	
		平均(cm)	31.3					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	5	2	2	2	2	
		距離(cm)	51.5	40	43.5	43.5	31	
		平均(cm)	41.9					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	

	距離總平均cm	49.2						
	次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 偏右 30°	第一次	落點區域	8	5	5	4	7	
		距離(cm)	93	67	65	78	80	
		平均(cm)	76.6					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	2	2	2	2	
		距離(cm)	39.5	44	33.5	48.5	49	
		平均(cm)	42.9					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	2	2	1	1	2	
		距離(cm)	40.5	30.5	48	31.5	41	
		平均(cm)	38.3					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	距離總平均cm	52.6						
	次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 偏右 20°	第一次	落點區域	4	4	4	4	4	
		距離(cm)	62	78	66	73	81	
		平均(cm)	72					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	5	2	5	2	2	
		距離(cm)	50	39	45	36	42	
		平均(cm)	42.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	5	5	2	5	2	
		距離(cm)	23	53.5	42	52	38.5	
		平均(cm)	41.8					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	距離總平均cm	52.1						
	次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 偏右 10°	第一次	落點區域	5	5	4	4	4	
		距離(cm)	60	55	61	69	83	
		平均(cm)	65.6					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	2	2	2	2	
		距離(cm)	26.5	33	30	42	35.5	
		平均(cm)	33.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	

	第三次	落點區域	5	1	5	2	2	
		距離(cm)	48.5	52	53	38.5	36	
		平均(cm)	45.6					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		48.2						
次序		第一類	第二類	第三類	第四類	第五類	圖片	
中間 偏左 50°	第一次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	77	63	64	69	78	
		平均(cm)	70.2					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	3	3	3	3	3	
		距離(cm)	48	49.5	53	65	59.5	
		平均(cm)	55					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	5	2	5	2	2	
		距離(cm)	47	48.2	51	64	42	
		平均(cm)	50.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		58.5						
次序		第一類	第二類	第三類	第四類	第五類	圖片	
中間 偏左 40°	第一次	落點區域	3	2	2	3	2	
		距離(cm)	39	31	47	42	51	
		平均(cm)	42					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	2	2	2	2	
		距離(cm)	29	30	21.5	35	26.5	
		平均(cm)	28.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	2	2	5	2	2	
		距離(cm)	27	22	39	24.5	20	
		平均(cm)	26.5					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		32.3						
次序		第一類	第二類	第三類	第四類	第五類	圖片	
中間 偏左 30°	第一次	落點區域	2	2	2	2	2	
		距離(cm)	44	39	47	45	46	
		平均(cm)	44.2					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	

第二次	落點區域	3	3	3	3	3		
	距離(cm)	38	46	44	48.5	45.5		
	平均(cm)	44.4						
	過網與否	✓	✓	✓	✓	✓		
第三次	落點區域	2	2	5	5	2		
	距離(cm)	44	33.5	48.2	47	39		
	平均(cm)	42.3						
	過網與否	✓	✓	✓	✓	✓		
距離總平均cm		43.6						
次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間偏左 20°	第一次	落點區域	2	2	2	5	6	
		距離(cm)	53	53	46	70	95	
		平均(cm)	63.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	5	3	3	3	
		距離(cm)	27	49.5	46.5	51	47	
		平均(cm)	44.2					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	5	2	5	2	2	
		距離(cm)	38	27.5	62	37	26.5	
		平均(cm)	38.2					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		48.6						
次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間偏左 10°	第一次	落點區域	2	2	2	2	2	
		距離(cm)	41	45	33	36	50	
		平均(cm)	41					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	2	5	2	2	
		距離(cm)	32	35	43	39.5	25	
		平均(cm)	34.9					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	2	2	2	2	5	
		距離(cm)	34	21	35	40	43.5	
		平均(cm)	34.7					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		36.9						

將表 5-3 整理成圖 5-3、圖 5-4、圖 5-5、圖 5-6 如下：

(一)大多數中間偏右角度的落點都在第2區。

(二)中間偏右 30°的落點分布範圍較廣。

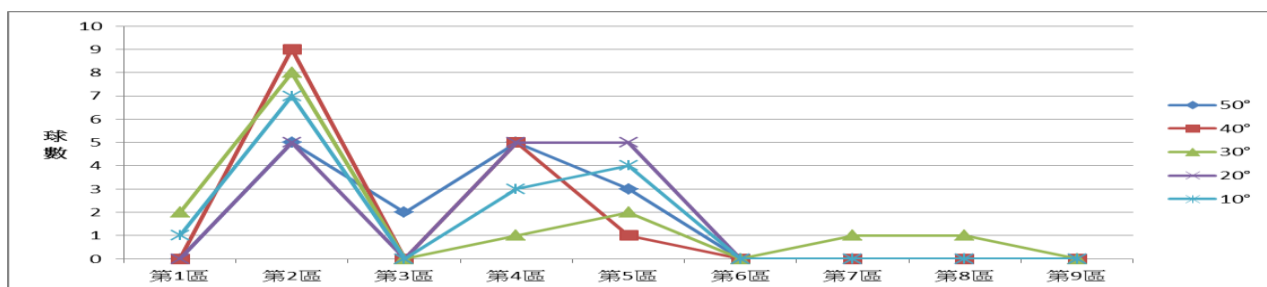


圖 5-3 樂高桌球發球機水平偏右角度造成桌球落點區域比較圖

(一)中間偏右 10~50°時，射程距離都在 48~55cm 之間。

(二)中間偏右 50°的射程較其他角度遠。

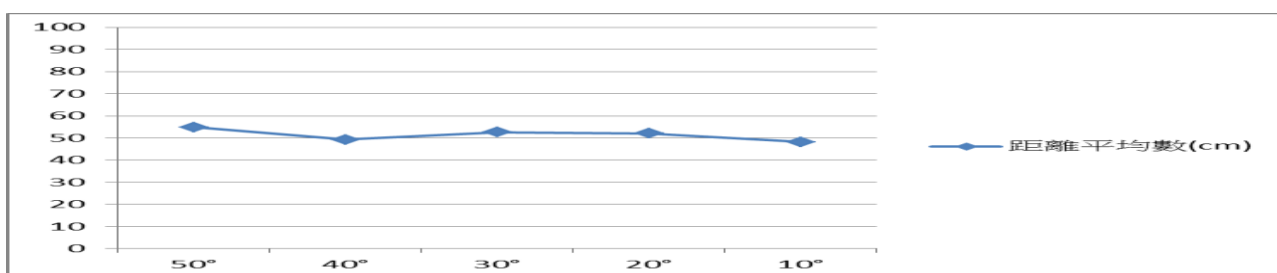


圖 5-4 樂高桌球發球機水平偏右角度造成桌球發射距離平均數比較圖

(一)偏左 10°~40°時，最多落點區域都在第2區。

(二)偏左 50°時，最多落點區域都在第5區。

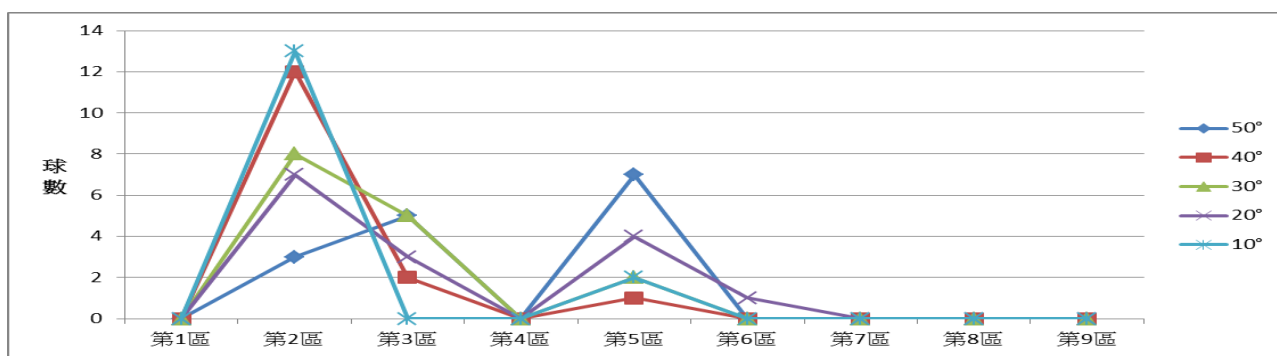


圖 5-5 樂高桌球發球機水平偏左角度造成桌球落點區域比較圖

(一)偏左 10°~50°時，射程距離都在 48~55cm 之間。

(二)中間偏左 50°的射程較其他角度遠。

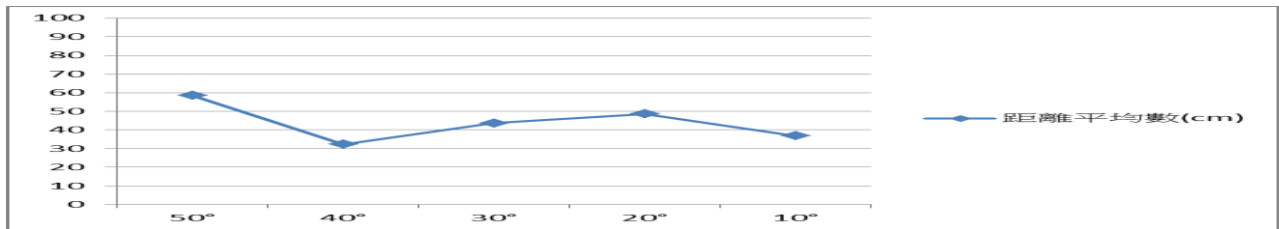



圖 5-6 樂高桌球發球機水平偏左角度造成桌球發射距離平均數比較圖









實驗三：樂高桌球發球機的垂直傾斜角度對發球落點與距離的影響



為了解本樂高發球機垂直向上傾斜擺放發射時，能發射過網的容忍範圍，故排除發射必不過網的傾斜 90°，再比較各傾斜角度結果的差異，實驗結果如表 5-3。

表 5-4 樂高桌球發球機的垂直傾斜角度影響發球落點與距離紀錄表

		次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片
中間 往上 80°	第一次	落點區域	X	5	X	X	5	
		距離(cm)	X	77	X	X	79	
		平均(cm)	78					
		過網與否	×	✓	×	×	✓	
	第二次	落點區域	X	2	2	X	2	
		距離(cm)	X	21	32	X	35.5	
		平均(cm)	29.5					
		過網與否	×	✓	✓	×	✓	
	第三次	落點區域	X	2	X	X	2	
		距離(cm)	X	26.5	X	X	24	
		平均(cm)	25.3					
		過網與否	×	✓	×	×	✓	
		距離總平均cm	44.3					
		次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片
中間 往上 70°	第一次	落點區域	X	X	2	X	5	
		距離(cm)	X	X	11	X	43	
		平均(cm)	27					
		過網與否	×	×	✓	×	✓	
	第二次	落點區域	2	5	5	5	5	
		距離(cm)	40	42	62	49.5	56	
		平均(cm)	49.9					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	2	2	5	5	5	
		距離(cm)	40	42	54.5	49.5	46	
		平均(cm)	46.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	

	距離總平均cm	39.2						
	次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 往上 60°	第一次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	74	86	53	79	85	
		平均(cm)	75.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	5	5	5	5	
		距離(cm)	40	42	62	49.5	56	
		平均(cm)	49.9					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	52.5	47	43	46.5	50.5	
		平均(cm)	47.9					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	距離總平均cm	57.7						
	次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 往上 50°	第一次	落點區域	5	5	4	5	4	
		距離(cm)	89	77	47	65	79	
		平均(cm)	71.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	5	5	2	2	2	
		距離(cm)	69	48	42	30.5	24.5	
		平均(cm)	71.3					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	48.5	59	51	57.5	80.5	
		平均(cm)	59.3					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	距離總平均cm	67.3						
	次序	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 往上 40°	第一次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	60	71	48	69	84	
		平均(cm)	66.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	48.5	53	56.5	50	44.5	
		平均(cm)	50.5					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	

	第三次	落點區域	2	5	5	5	2	
		距離(cm)	42	49.5	41.5	46.5	51	
		平均(cm)	46.5					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	距離總平均cm	54.5						
次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 往上 30°	第一次	落點區域	2	2	X	2	2	
		距離(cm)	11	16	X	31	16	
		平均(cm)	18.5					
		過網與否	✓	✓	×	✓	✓	
	第二次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	51	50	48.5	57	52	
		平均(cm)	51.7					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	5	5	2	5	5	
		距離(cm)	60	54	41	49.5	54	
		平均(cm)	51.7					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		40.6						
次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 往上 20°	第一次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	69	82	80	73	84	
		平均(cm)	77.6					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第二次	落點區域	2	2	5	2	2	
		距離(cm)	35	23	48.5	29.5	41	
		平均(cm)	35.4					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	2	2	2	2	5	
		距離(cm)	34	41	30	35	50	
		平均(cm)	38					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
距離總平均cm		50.3						
次序		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	圖片	
中間 往上	第一次	落點區域	5	5	5	5	5	
		距離(cm)	54	48	61	78	80	
		平均(cm)	64.2					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	

10°	第二次	落點區域	2	2	5	2	5	
		距離(cm)	28	35	46	43	49	
		平均(cm)	40.2					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	第三次	落點區域	2	5	2	5	2	
		距離(cm)	35	50.5	42	41	52	
		平均(cm)	36.1					
		過網與否	✓	✓	✓	✓	✓	
	距離總平均cm		46.8					

將表 5-4 整理成比較圖 5-7、圖 5-8 如下：

- (一) 往上傾斜 80° 沒過網的次數最多，往上傾斜 70° 沒過網的次數次多。
- (二) 往上傾斜角度的落點區域最多是第 5 區，其次是第 2 區。
- (三) 往上傾斜 40° ~60° 至少有 10 次以上落在第 5 區，相當穩定。

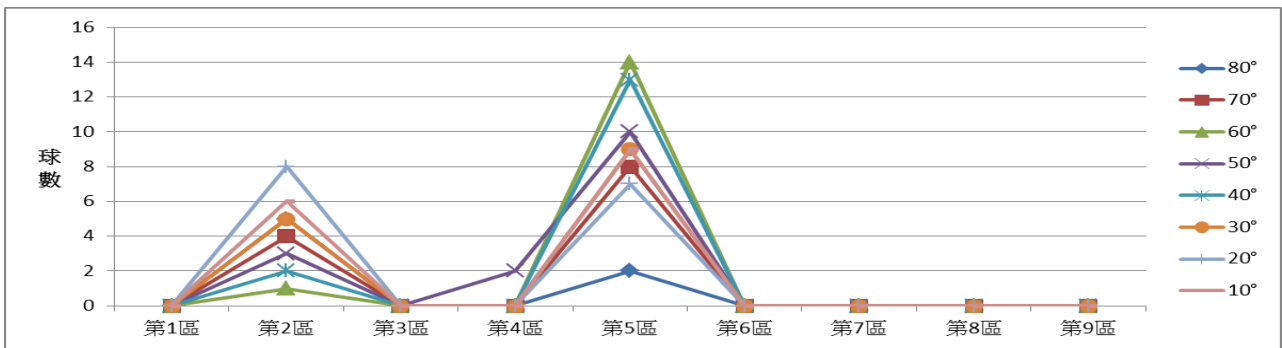


圖 5-7 樂高桌球發球機垂直傾斜角度造成桌球落點區域比較圖

- (一) 往上傾斜 10°~80° 時，射程距離都在 39~68cm 之間。
- (二) 往上傾斜 50° 的射程較其他角度遠。

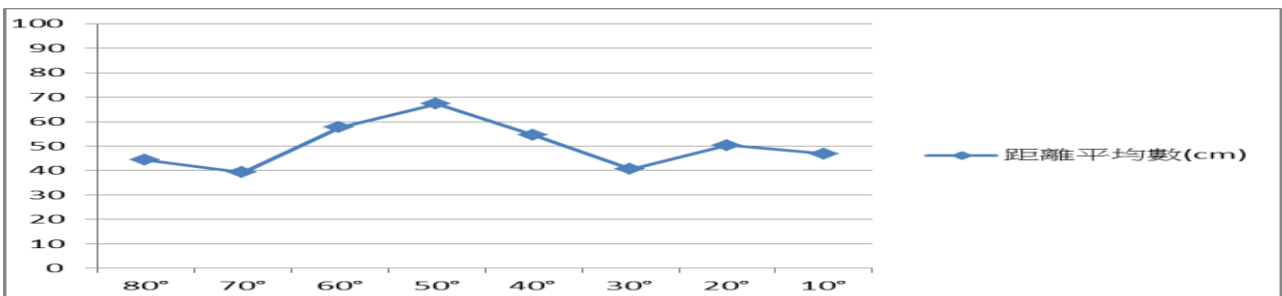


圖 5-8 樂高桌球發球機垂直傾斜角度造成桌球發射距離平均數比較圖

陸、討論

機體設計：研發能大量發球的樂高桌球發球機。

- (一)第二代於樂高桌球發球發射軌道上加裝立地式開飲機空桶的設計，與第三代於樂高桌球發球發射軌道上加裝洗衣機的排水管，兩者相比之下，排水管可讓桌球發球路徑整齊不容易互相卡住。
- (二)第四代將紙箱、排水管、機體都墊高後，發射的桌球才能過網。

實驗一：探討自製樂高桌球發球機的發射孔徑大小對發射落點與距離的關係。

- (一)不同孔徑發球落點區域穩定至不穩定為： $4.5\text{cm}=5\text{cm}>5.5\text{cm}>6\text{cm}$
由此結果可知 4.5 及 5cm 落點一致性最高，且主要落在正中間的第 5 區。
- (二)不同孔徑發球的距離由遠至近分別為： $4.5\text{cm}>5.5\text{cm}>5\text{cm}>6\text{cm}$
由此結果可知孔徑為 4.5cm 可射最遠，5cm 及 5.5cm 次之，兩者平均數差距僅 0.5cm，6cm 射程最近。
- (三)最佳發球孔徑尺寸為 4.5cm，射得最準且距離最遠，之後實驗的發球孔徑均為此。

實驗二：探討自製樂高桌球發球機的水平偏斜發射角度對發射落點與距離的關係。

- (一)樂高桌球發球機水平偏右不同角度發射最接近桌緣至中間為： $30^\circ>10^\circ>50^\circ>20^\circ>40^\circ$
由此結果可知偏右 30° 會射得較分散且接近桌緣，而偏右 10° 、 30° 、 40° 、 50° 則會集中落在正中間靠近網子的第 2 區，其次是居正中間的第 5 區。
- (二)樂高桌球發球機水平偏右不同角度的射程由遠至近為： $50^\circ>30^\circ>20^\circ>40^\circ>10^\circ$
由結果可知往偏右 50° 射程最遠，偏右 10° 射程最近。
- (三)樂高桌球發球機水平偏左不同角度發射最接近桌緣至中間為： $20^\circ>30^\circ=50^\circ>40^\circ>10^\circ$
由此結果可知偏左 20° 會射得較分散且接近桌緣，而偏左 10° 、 30° 、 40° 則會集中落在正中間靠近網子的第 2 區， 30° 、 40° 其次是落在靠近桌緣的第 3 區。
- (四)樂高桌球發球機水平偏左不同角度的射程由遠至近為： $50^\circ>20^\circ>30^\circ>10^\circ>40^\circ$
由結果可知偏左 50° 可射得最遠，偏左 40° 的則射的最近。
- (五)樂高桌球發球機無論偏右或偏左角度幾乎不會落在第 6 區及離網子最遠的 7~9 區，可推知本樂高發球機的射程範圍屬近中區。
- (六)往右偏斜角度時，多數球會落在第 4 區；往左偏斜時，多數球會落在第 3 區。可能跟裝球的排水管彎度有密切相關，因排水管發射時不能拉太直，否則容易發射失敗。

實驗三：探討自製樂高桌球發球機的垂直傾斜發射角度對發射落點與距離的關係。

- (一)樂高桌球發球機垂直傾斜 80°有 8 次不過網，垂直傾斜 70°有 3 次不過網，故設定垂直傾斜不宜超過 70°，以下討論也不包含垂直傾斜 80°和 70°。
- (二)樂高桌球發球機垂直傾斜不同角度的落點區域主要在正中間第 5 區，其次為正中間靠網子的第 2 區。可見本樂高發球機的落點區域相當穩定，垂直傾斜 0~60°均無改變。
- (三)樂高桌球發球機垂直傾斜不同角度的射程由遠至近為：50°>60°>40°>20°>10°>30°
由此結果可知垂直傾斜 50°射得最遠，而垂直傾斜 30°則會射的最近，但均不如實驗一無任何傾斜角度的射程遠，可見若有垂直傾斜 60°以內，傾斜度高的射程比傾斜度低的射程遠。

柒、結論

- 一、運用洗衣機排水管接在樂高桌球發球機球道後方，以旋繞方式固定在紙箱上，可增加桌球容納量，減少往返補充球的次數。
- 二、樂高桌球發球機經測試後發現發射孔直徑為 4.5cm 的穩定度最佳，落點集中且發射距離遠。
- 三、桌球機擺放偏左或偏右傾斜 50°以內發球均能過網，但是偏右角度落點容易在第 2、4、5 區，偏左角度落點容易在第 2、3、5 區。
- 四、垂直傾斜角度限 60°以內發球才會全部過網，傾斜度高的射程比傾斜度低的射程遠，但都不如無傾斜角度的射程遠。

捌、參考資料及其他

一、書籍

- (一)CAVE 教育團隊、曾吉弘等著(2013)。《機器人程式超簡單：LEGO® MINDSTORMS® EV3 動手作》。臺北市：馥林文化。
- (二)曾吉弘、官文絢、吳維翰(2014)。《LabVIEW 高階機器人教戰手冊：打造智能與趣味兼具的機器人》。臺北市：碁峰。

二、網路

- (一)李冠論(2009)。有趣的桌球發球機之製作。2014 年 8 月 10 日。取自：
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2009/03/2009032220564307.pdf>

(二)李家翰(2012)。樂高機器人。2014年8月10日。取自：

https://sites.google.com/site/legao_jieshao/le-gao-gong-zi/le-ga

(三)徐俊偉(2009)。乒乓球發球機之製作。2014年8月10日。取自：

http://web.tiit.edu.tw/mechanic/research/2_2_98/2_2_98_24.pdf

(四)高雄市立高雄高級工業職業學校學生(2013)。電風扇式桌球發球機。2014年8月10日。取自：<http://mgc.ntvs.ntpc.edu.tw/files/102/competit/shute2.pdf>

(五)陳信達、黃偉豪、黃祥瑞(2010)。桌球發球機之研究與製作。2014年8月10日。取自：

http://www.ee.mcu.edu.tw/ee_study/paper/99EE/99EE_19_%E6%A1%8C%E7%90%83%E7%99%BC%E7%90%83%E6%A9%9F%E5%99%A8%E4%BA%BA%E4%B9%8B%E7%A0%94%E7%A9%B6%E8%88%87%E8%A3%BD%E4%BD%9C.pdf

(六)夢想校園(2004)。乒乓球發球器。2014年8月10日。取自：

http://www.ied.edu.hk/apfslt/v5_issue3/pspc1/p7b.htm

(七)薛老師(2010)。乒乓球發球機。2014年8月10日。取自：

<http://cmackimo.blogspot.tw/2010/10/blog-post.html>