

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

082809

相撲紙偶大進擊-紙相撲競賽優化設計

學校名稱：新北市新莊區民安國民小學

作者： 小六 簡祺祐 小五 蔡禮謙	指導老師： 林建毅 葉瀚陽
-------------------------	---------------------

關鍵詞：克拉尼圖形、Arduino、App inventor 2

摘要

本研究從日本傳統紙相撲遊戲發想，設計自動振動擂台進行相撲紙偶的競賽，期待能在校內舉辦各種形式的紙相撲競賽。本研究的擂台設計主要包含：雙層擂台檯面設計、振動馬達選擇與固定方式、以手機 App 遙控 Arduino 藍牙裝置改變輸出電壓值。

本研究發現：一、當雙馬達的振動頻率愈高，紙偶能越快分出勝負；二、當雙馬達振動頻率越高時，振幅隨之變大，無法完全確認振幅與頻率交互作用的影響；三、當雙馬達轉動方向相同時，爽身粉會在鋁板上旋轉，當雙馬達轉動方向相反時，爽身粉則向同一方向前進；四、馬達固定在角落時，振動效果佳，能有效分出勝負；五、振動馬達觀察克拉尼圖形時，無法達到克拉尼圖形中的駐波變化。

壹、研究動機

在電視上看到蠟筆小新和爸爸玩相撲紙偶，紙偶受到敲擊後向前進，讓我覺得好有趣。我們在網路上也找到紙偶和別人 PK 的影片，規則是將雙方紙偶放在擂台上，用手指敲擊擂台，把對方紙偶推倒或出界就獲得勝利。但到底是摺紙或剪紙形式使相撲紙偶獲勝？或是不同敲擊方式造成相撲紙偶獲勝？我們決定透過機械結構與程式設計，設計出自動控制的相撲擂台，讓紙相撲遊戲變成更加公平，讓不同型態的相撲紙偶有機會進行比賽。

貳、研究目的

- 一、建構與分析相撲擂台的各部結構。
- 二、探討不同電壓下馬達轉速，計算振動的頻率。
- 三、探討馬達在不同電壓值下紙偶運動的效果。
- 四、探討馬達在不同固定位置下測量紙偶運動的效果。
- 五、探討不同頻率的馬達振動下，鋁板上的克拉尼圖形變化。
- 六、開發手機 App 遙控 Arduino 設計控制自動擂台。

參、研究設備與器材

一、硬體材料：

熱熔槍、M3 螺絲及螺帽、墊片、彈簧、PVC 板、3mm 木板、3mm 壓克力板、2mm 鐵板、3mm 鋁板、自走車馬達、TF-130 馬達、1220 馬達、R-260 馬達、RF-370 馬達、Arduino 電路板、HC-06 藍芽晶片、平板、電子秤、水平儀、螺絲起子、色紙、杜邦線、三用電表、3D 列印機。

二、軟體：

Tinkercad、Tracker、Arduino 編碼器、App inventor 2、手機水平儀。

三、器材設計：

(一) 設計一：擂台檯面的選擇

1. 本擂台設計為上下兩板製成，下板為寬 30 公分，長 42 公分的底座，作用是固定擂台。
(圖 3-1)



圖 3-1 擂台底座

2. 上板為 26cm X 26cm 的擂台檯面，選擇五種材質（圖 3-1 到圖 3-5）進行觀察與設計。



圖 3-2
3mm 木板



圖 3-3
PVC 板



圖 3-4
3mm 壓克力板



圖 3-5
2mm 鐵板



圖 3-6
3mm 鋁板

3. 根據觀察結果發現，木板、PVC 板容易變形；壓克力板雖然效果較好，但相對柔軟；鐵板及鋁板最不容易變形，且鋁板較輕。因此最後選擇鋁板在距離邊 1.5 公分處打上 4mm 直徑的圓，進行接下來的實驗。（圖 3-7-1、3-7-2）

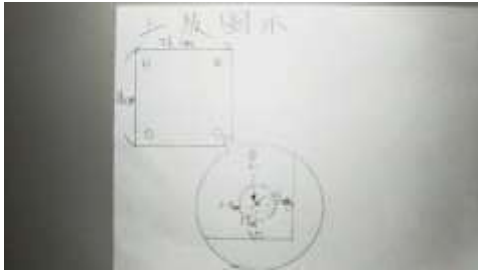


圖 3-7-1 圖例說明



圖 3-7-2 實物說明

4. 底板與上板的組合方式：上下板間有彈簧隔開，使振動產生時，上板能跟著振動又不至於影響下板（圖 3-8），但有噪音的問題仍須改進。後改為上板的上下兩側皆裝上彈簧，可以消除更多雜音的問題（圖 3-9）。



圖 3-8 單彈簧



圖 3-9 雙彈簧降低雜音

（二）設計二：馬達固定器及偏心軸

1. 以 Tinkercad 建立馬達固定器、偏心軸的模型，並透過 3D 列印機列印。
2. 將馬達黏在固定器上，固定器上預留 3mm 螺絲的孔位，可以將馬達固定於鋁板或鐵板上（圖 3-10）。
3. 將偏心軸固定於馬達上，增加螺絲和螺帽，增加偏心軸的重量（圖 3-11）。



圖 3-10
將馬達黏在固定器上，並將固定器鎖在板上



圖 3-11
繪製並列印偏心軸，固定在馬達上，加上螺帽增加重量



圖 3-12
本校購入教學用的自走車

4. 但後續發現，我們使用的自走車馬達（圖 3-12）因轉速過慢，僅能在 PVC 版形成振動，不利於後續的實驗，因此仍採購市售的振動馬達來使用。（圖 3-13）



TF-130 motor



1220 motor



R260 motor



RF-370 motor

(二) 設計三：Arduino 的 PWM 編碼

1. 為了製作出頻率固定的振動，以 Arduino nano 做為轉速的控制，第一次輸入時，只設定了一種轉速（圖 3-14）
2. 但發現每次做完實驗都需要將控制板拔下再重新寫入，因此修改了語法，全面利用本校自走車的所有 PWM 腳位，將三種轉速設定到不同輸出腳位（圖 3-15）。

```

max$
1 int motor1a = 10;
2 int motor1b = 11;
3
4 void setup ()
5 {
6 pinMode ( motor1a , OUTPUT);
7 pinMode ( motor1b, OUTPUT);
8 }
9
10 void loop()
11 {
12 analogWrite( motor1a , 255);
13 analogWrite ( motor1b, 0);
14 }

```

圖 3-13 修改前語法

```

max
1 int motor1a = 10;
2 int motor1b = 11;
3 int motor2a = 6;
4 int motor2b = 9;
5 int motor3a = 3;
6 int motor3b = 5;
7 //int motor4a = 7;
8 //int motor4b = 8;
9
10 void setup ()
11 {
12 pinMode ( motor1a, OUTPUT);
13 pinMode ( motor1b, OUTPUT);
14 pinMode ( motor2a, OUTPUT);
15 pinMode ( motor2b, OUTPUT);
16 pinMode ( motor3a, OUTPUT);
17 pinMode ( motor3b, OUTPUT);
18 //pinMode ( motor4a, OUTPUT);
19 //pinMode ( motor4b, OUTPUT);
20 }
21
22 void loop()
23 {
24 analogWrite( motor1a ,0);
25 analogWrite(motor1b,255);
26 analogWrite( motor2a ,0);
27 analogWrite(motor2b,150);
28 analogWrite( motor3a ,0);
29 analogWrite(motor3b,45);
30 //analogWrite( motor4a,45);
31 //analogWrite(motor4b,0);
32 }

```

圖 3-14 修改後語法

肆、研究過程或方法

一、研究架構圖

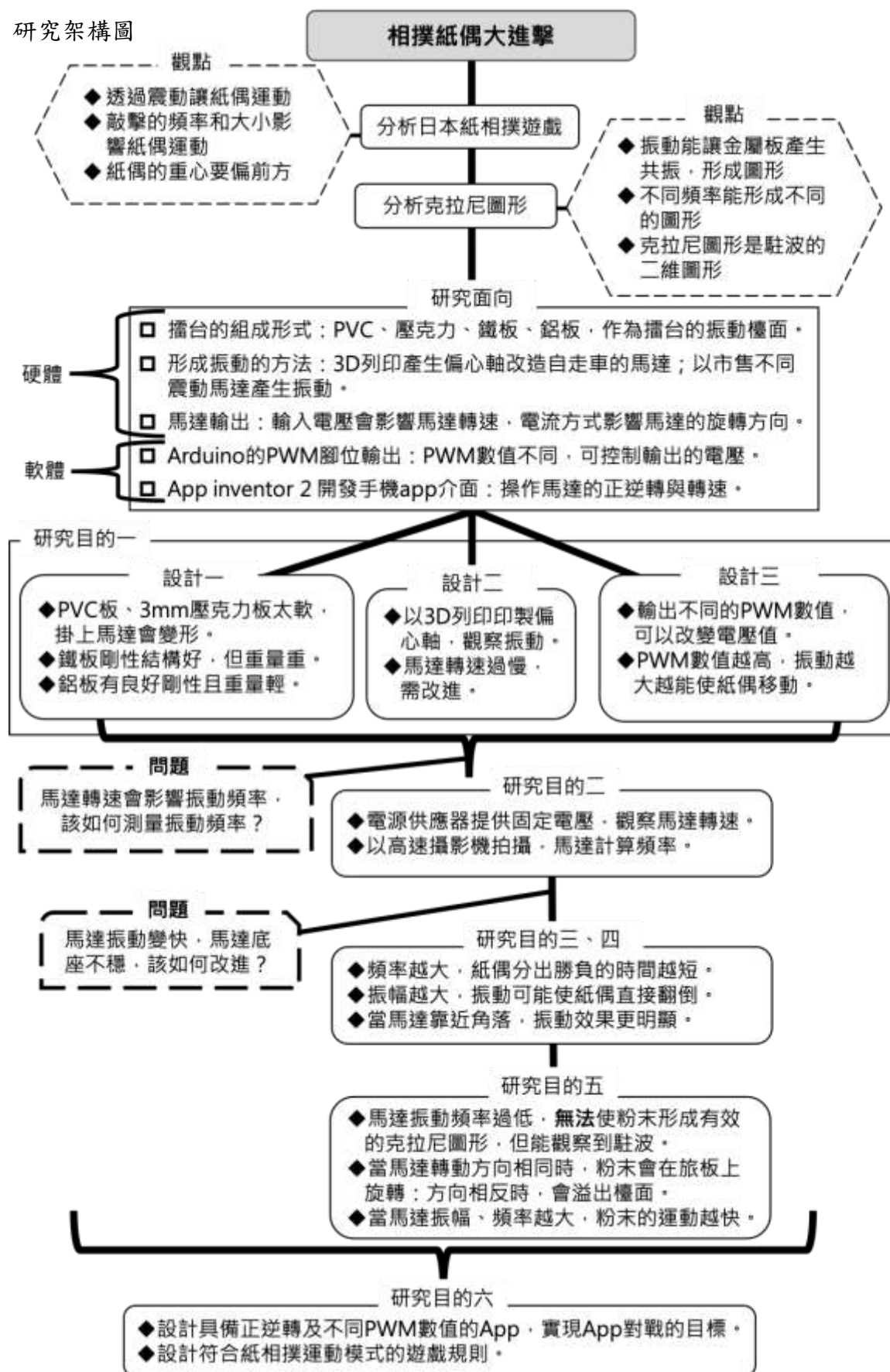


圖 4-1 研究架構圖

二、文獻分析

(一) 紙相撲遊戲

日本傳統的紙相撲遊戲：在日本昭和 50 年代十分流行，基礎的玩法是將相撲的紙人力士上在台子上，用手指頭敲打產生振動，相撲紙偶力士移動進行比賽（圖 4-2）。其背景科學概念：

1. **紙偶重心**：摺（或剪）的紙偶相撲，要能夠隨著振動移動，重心最好能夠偏向前方，當振動產生時紙偶會因為振動往重心方向前進。
2. **振動頻率**：紙盒（擂台）因敲擊產生振動，使擂台受到手指敲擊形成類似打鼓的狀態。因此我們思考敲擊速度產生的振動頻率，是否影響紙偶運動呢？

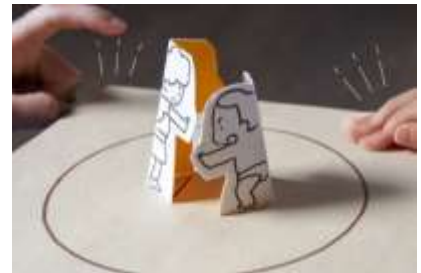


圖 4-2 相撲紙偶遊戲示意圖

（示意圖摘自網路）

(二) 克拉尼圖形

1. 原理：

克拉尼圖形呈現的就是駐波的二維波形。當弓弦劃過金屬片邊緣時，會使金屬片產生共振，於是位於振動較大之部位的沙就會不斷跳動，直到彈跳至振動較小的波的節線，因而形成波的共振圖案，且不同的頻率會產生不同型態的共振。

本研究使用的相撲擂台，是鋁板為介質的振動波。當波傳遞到鋁板邊緣時，波會形成反射，當新舊波疊合時，波的振動方向相同，波會相長形成更大的波峰，稱為「腹點」；若波的振動方向相反，波會相消形成沒有波的狀態，稱為「節點」。在鋁板的二維板面上，許多節點連成節線，可以集成「克拉尼圖形」。

表 4-1 克拉尼圖形與相撲擂台的比較

	克拉尼圖形	本研究的相撲擂台
振動方式	弓弦、訊號產生器	手指敲擊、振動馬達
振動來源	單一訊號源	兩個以上馬達振動
振動平面	1mm 以下的鐵板	3mm 的鋁板
振動位置	鐵板的重心位置（中心）	鋁板的邊緣，振動位置為變因

三、紙偶的設計

1. **相撲紙偶的型態**：剛開始紙偶是用剪刀將一個相撲紙偶的樣子剪下，但這樣的紙偶太輕了，一開始振動就倒下。所以後來相撲紙偶就採用色紙，解決紙偶的重量問題。

(紙偶重量：1.78±0.02g)

2. **相撲紙偶的張角**：振動的過程中，紙偶張開的角度不固定，可能會影響實驗的結果。因此，我們就利用迴紋針展開 60 度，再利用膠帶固定，完成標準的相撲紙偶，如圖 4-3。

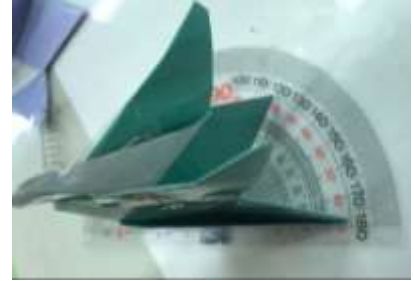


圖 4-3 紙偶架設

四、實驗設計與觀察記錄方式

1. 讓馬達帶動偏心軸模擬手造成振動，使相撲紙偶（等重）受到振動改變狀態。每次計時兩分鐘，輸入不同電壓值、馬達位置比較，將對方紙偶推倒獲勝，超過兩分鐘未有紙偶倒下則為平手。
2. 擂台以座標軸方式撰寫分析，方便讀者閱讀各零件的相對位置圖（圖 4-4）。



圖 4-4 擂台配置圖

表 4-2 實驗設計分析

馬達型號	馬達可輸入之電壓值	馬達安裝位置	紙偶擺放位置
TF-130 motor	3-6V(可承受至 7V)	P 組：鋁板對邊中線	
1220 motor	3-6V(可承受至 7V)	(13,0) (13,26)	甲紙偶 (10,13)
R-260 motor	6-12V(可承受至 20V)	Q 組：鋁板對角	乙紙偶 (16,13)
RF-370 motor	6-12V(可承受至 20V)	(20,0)(6,26)	

五、分析數據的方式

(一) 勝負分析

本系列實驗以觀察每次比賽的勝負，加以記錄，觀察是否能夠達到標準化擂台的目標。本階段實驗以在相同的相撲紙偶條件下，達到 50%勝率、50%敗率為最佳擂台，透過不同實驗變因的調整進行檢驗。

(二) Tracker 軟體分析

本研究希望進一步了解相撲紙偶的運動方式，了解振動形式與相撲紙偶的活動方式是否有關，因此以 Tracker 軟體，分析相撲紙偶的行進方向，討論紙偶前進與振動的幅度、頻率之間的關係。Tracker 軟體可以讓你一格格的標示影片中物體的位置，分析紙偶的 Y 方向運動與時間的關係圖。

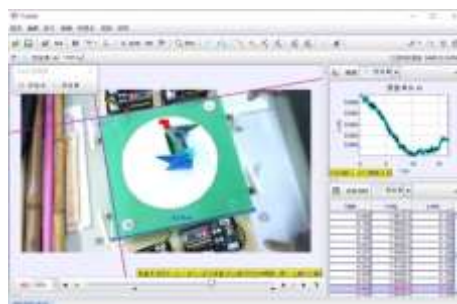


圖 4-5 以 Tracker 軟體分析運動

六、馬達轉速分析

本研究共使用四種不同型號的馬達實測，透過高速攝影機（圖 4-6，市賽指導教授提供），以 1/800 秒為間距（每秒鐘拍攝 800 張照片）拍攝照片，觀察轉動的圈數，紀錄不同型號馬達在不同電壓值下的轉速大小，得到實際振動頻率。



圖 4-6 以高速攝影機拍攝馬達

表 4-3 馬達測量電壓範圍值

	TF-130 motor	1220 motor	R-260 motor	RF-370 motor
測量電壓範圍	2-6V	3-7V	6-20V	6-20V

七、克拉尼圖形分析

為證明本研究的振動效果是否與克拉尼圖形有關，使用「爽身粉」作為克拉尼圖形的觀察依據，了解不同的振動頻率下，能否完成克拉尼圖形的展現。

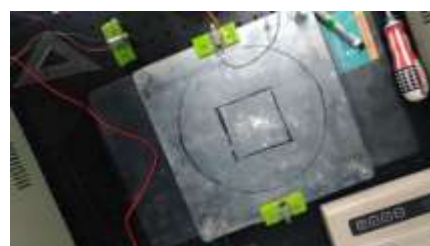


圖 4-7 集中式撒粉觀察

表 4-4 以爽身粉調整電壓與電流方向觀察克拉尼圖形

	均勻分布撒粉	集中式撒粉
調整馬達電壓值（改變頻率）	3-6V（1220）、12-14V(RF-370)	
調整馬達旋轉方向（正逆轉）	以電源供應器正負極改變調整轉動方向	

伍、研究結果與探討

一、探討輸入電壓與馬達轉速的關係

本階段研究不同輸入電壓值與不同馬達轉速的關係，馬達轉速以「高速攝影機」以每秒 800 張數照片與旋轉圈數進行計算，以每 1 伏特的電壓值為級距做為討論基礎，變化值若為 1 伏特內的轉速則以趨勢線分析討論之。

因照片數量極多，本階段數據討論過程以皆挑選某一定伏特的數據進行表示之。

(一) 不同馬達的數據分析

1. TF-130 motor

	2V	3V	4V	5V
照片計數	12 張/圈	35 張/3 圈	18 張/2 圈	8 張/1 圈
計算	$1/2000 \times 12$	$1/2000 \times 35/3$	$1/2000 \times 9$	$1/2000 \times 8$
轉速(s) (取小數點下 4 位)	0.0060	0.0058	0.0045	0.0040
頻率(Hz)	167	171	222	250

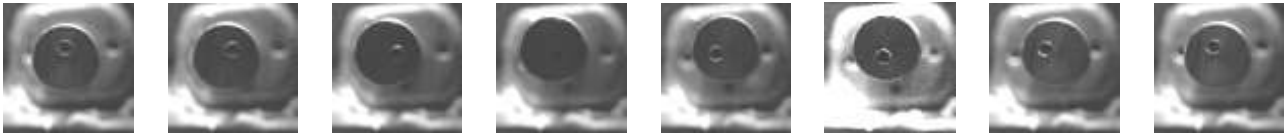


圖 5-1 以 TF-130、5V 的轉動照片分析 (馬達分析方式如上圖)

2. 1220 motor

	2V	3V	4V	5V	6V	7V
照片計數	9 張/1 圈	15 張/2 圈	6 張/1 圈	18 張/3 圈	5 張/1 圈	19 張/4 圈
計算	$1/800 \times 9$	$1/800 \times 7.5$	$1/800 \times 7$	$1/800 \times 17/3$	$1/800 \times 5$	$1/800 \times 19/4$
轉速(s)	0.0113	0.0094	0.0081	0.0071	0.0063	0.0059
頻率(Hz)	89	107	123	141	160	168

3. RF-370 motor

	5V	6V	7V	8V	9V	10V	11V	12V
計數張/圈	19	17	15	13	12	11	9.5	9.5
轉速(s)	0.0238	0.0213	0.0188	0.0163	0.0150	0.0138	0.0119	0.0119
頻率(Hz)	42	47	53	62	67	73	84	84

	13V	14V	15V	16V	17V	18V	19V	20V
計數張/圈	9	8.5	8	8	7	7	6.5	6.5
轉速(s)	0.0113	0.0106	0.0100	0.0100	0.0088	0.0088	0.0081	0.0081
頻率(Hz)	89	94	100	100	114	114	123	123

4. R-260 motor

	5V	6V	7V	8V	9V	10V	11V	12V
計數張/圈	34	28	25	21	19	18	16	15
轉速(s)	0.0425	0.0350	0.0313	0.0263	0.0238	0.0225	0.0200	0.0188
頻率(Hz)	24	29	32	38	42	44	50	53

	13V	14V	15V	16V	17V	18V	19V	20V
計數張/圈	14	13	13	12	12	11	11	11
轉速(s)	0.0175	0.0163	0.0163	0.0150	0.0150	0.0138	0.0138	0.0138
頻率(Hz)	57	62	62	67	67	73	73	73

(二) 數據分析

本研究分析不同馬達輸入電壓與振動頻率關係圖(圖 5-2)發現：

1. TF-130 和 1220 馬達為低電壓馬達，但兩者輸入值分別為 2-5 及 2-7 伏特間，雖然 TF-130 馬達的轉速最高，又 1220 馬達的

不同馬達的電壓與振動頻率關係圖

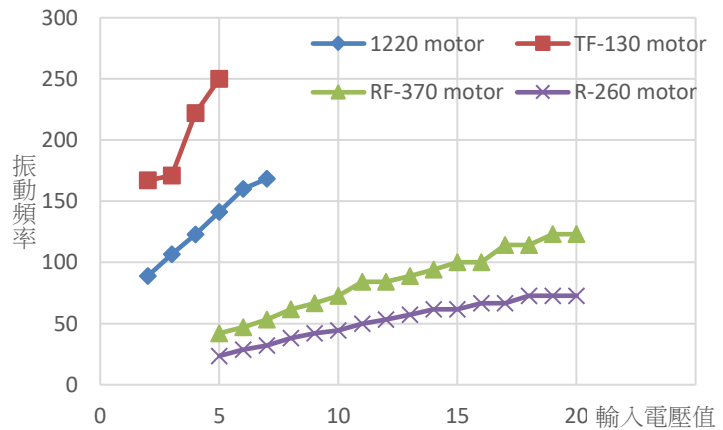


圖 5-2 馬達電壓與振動頻率關係圖

頻率變化較穩定(隨著電壓值有較佳的頻率變化),後續將以 **1220 馬達進行高頻率、低電壓測試,做為後續 Arduino 控制振動的主要馬達。**

- R-260 和 RF370 馬達為高電壓馬達,輸入值為 5-20V,其中又以 RF-370 馬達的振動頻率可達到較高值。根據輸入的電壓與頻率進行分析,又觀察 RF-370 馬達的擺錘較大後,推論 RF-370 馬達能夠產生相同頻率,但較大振幅的振動現象。後續將以 **RF-370 進行高電壓、高振幅測試,作為 50-100Hz 中大振幅的紙偶和爽身粉移動變化的現象觀察。**

二、探討馬達在不同電壓值下紙偶運動現象

本研究以 TF-130、1220、RF-370 馬達在不同電壓值下,紙偶運動現象的描述。

(一) 以 Tracker 為分析工具

- 本研究先將攝影機架在擂台上方,觀察紙偶運動並錄影,以 1220 馬達輸入 3V 對戰 3V 和 5V 對戰 3V 電壓,分別進行 10 回合的競賽觀察,每回合以超過 2 分鐘為限。

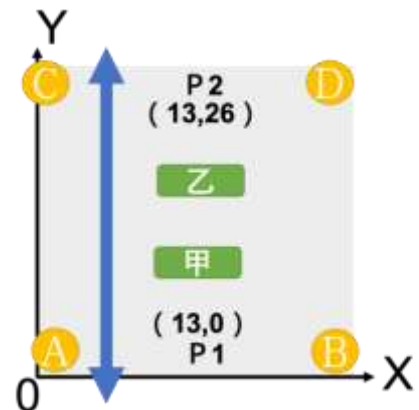


圖 5-2 紙偶運動預測圖

- 研究前預測結果**:因馬達掛載為 A 點,預測紙偶會以 Y 軸方向的運動。以 Tracker 分析紙偶運動 Y 軸與時間關係圖。

3. 觀察結果:

勝率: A (3V) 40% B (3V) 50%									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
甲	乙	甲	乙	乙	乙	平手	甲	甲	乙

勝率: A (5V) 70% B (3V) 30%									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
甲	甲	甲	乙	甲	乙	甲	甲	甲	乙

4. Tracker 分析：以 Tracker 進行 Y 軸方向運動分析，挑出兩種不同運動模式描述；

- (1) 本次資料 3V 對上 3V 的第五次對戰。紙偶往相同方向(Y=0)前進，甲乙紙偶運動方向相同。

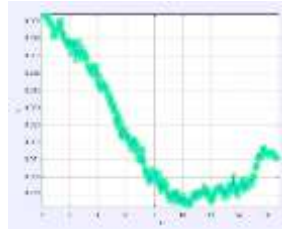


圖 5-3-1 甲紙偶運動軌跡

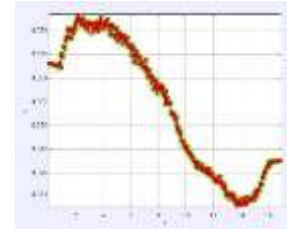


圖 5-3-2 乙紙偶運動軌跡

- (2) 本次資料 5V 對上 3V 的第二次對戰。當兩個紙偶往相反方向前進時，甲乙紙偶進行對戰。



圖 5-4-1 甲紙偶運動軌跡



圖 5-4-2 乙紙偶運動軌跡

觀察討論：是否需要使用 Tracker 進行分析？

經過 1220 motor 的 Tracker 分析，與實際觀察對戰狀況。發現紙偶運動雖然只有兩個馬達的互動。但仍無單一方向(Y 方向)的運動。因此使用 Tracker 進行單一方向的分析不具有代表性。

改良方式：改以四大象限進行質性的運動描述。(圖 5-5)



圖 5-5-1 擂台四大象限

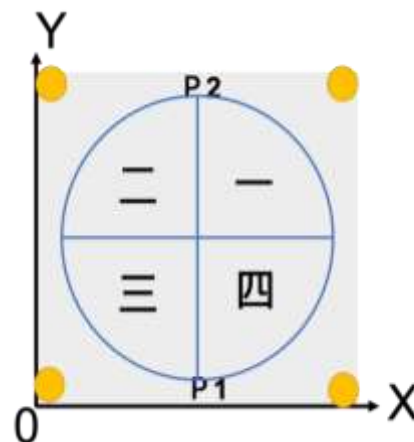


圖 5-5-2 擂台四大象限(圖示)

(二) 觀察不同電壓值下紙偶的運動狀態

TF-130 motor 不同電壓下的紙偶運動								
電壓值	2V	2.5V	3V	3.5V	4V	4.5V	5V	6V
紙偶運動	X	X	O	O	O	Δ	Δ	Δ

註：X表示不動；O表示有競爭；Δ表示直接倒下

1220 motor 不同電壓下的紙偶運動										
電壓值	2V	2.5V	3V	3.5V	4V	4.5V	5V	5.5V	6V	7V
紙偶運動	X	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ	Δ

註：X表示不動；O表示有競爭；Δ表示直接倒下

RF-370 motor 不同電壓下的紙偶運動								
電壓值	9V	10V	11V	12V	13V	14V	15V	16V
紙偶運動	X	O	O	O	O	O	Δ	Δ

註：X表示不動；O表示有競爭；Δ表示直接倒下

1. 根據研究資料一，實際使用 TF-130、1220、RF-370 馬達進行紙偶運動觀察，顯示雖然有頻率資料，但不同馬達仍因實際振動大小（振幅）不同，在相近的頻率下也不一定有相同的現象。
2. 根據本階段的觀察，後續實驗以 1220、RF-370 馬達進行紙偶的運動細節分析。

(三) 雙馬達轉動方向相同、不同電壓值下的紙偶運動

1220 motor 雙馬達皆為正轉（順時針轉動）下紙偶的運動狀態				
雙馬達電壓值	3V	3.5V	4V	4.5V
紙偶運動	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(三四)	乙(二)/甲(一)	乙(三)/甲(一)
	乙(二)/甲(四)	乙(三)/甲(四)	乙(二三)/ 甲(一四)	乙(三)/ 甲(三)(fight)
	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(三)/甲(三)
	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(一)
	乙(二)/甲(四)	乙(三)/甲(四)	乙(三)/甲(四)	乙(三)/甲(四)
	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(三)/甲(四)	乙(三)/甲(四)
	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(三)/甲(四)
	乙(二三)/甲(四)	乙(一)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	乙(三)/甲(四)
	乙(二)/甲(三四)	甲(二)/乙(四)	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)
	乙(二)/甲(三四)	乙(二)/甲(四)	乙(二三)/甲(四)	乙(三)/甲(四)

註：O（象限A）/X（象限B）：OX帶表勝負，寫在前為勝；寫在後為負。象限A B代表在何象限出界。

RF-370 motor 雙馬達皆為正轉（順時針轉動）下紙偶的運動狀態			
雙馬達電壓值	10V	12V	14V
紙偶運動	乙(四)/甲(一)	乙(三)/甲(一)	乙(三)/甲(一)
	乙(三)/甲(一)	乙(三)/甲(一)	甲(三)/(一)
	乙(四)/甲(一)	乙(三)/甲(一)	乙(三)/甲(一)
	乙(四)/甲(一)	乙(三)/甲(一)	乙(三)/甲(一)
	甲(四)/乙(二)	乙(三)/甲(一)	乙(三)/甲(一)
	乙(四)/甲(一)	乙(三)/甲(一)	乙(三)/甲(一)
	乙(四)/甲(一)	甲(四)/甲(一)(fight)	乙(三)/甲(一)
	乙(四)/甲(一)	甲(一)/乙(三)	乙(三)/甲(一)
	乙(四)/甲(一)	乙(三)/甲(一)	乙(三)/甲(一)
	乙(四)/甲(一)	乙(三)/甲(一)	甲(一)/乙(三)

註：O（象限A）/X（象限B）：OX帶表勝負，寫在前為勝；寫在後為負。象限AB代表在何象限出界。

TF-130 motor 雙馬達皆為正轉（順時針轉動）下紙偶的運動狀態				
雙馬達電壓值	3V	3.5V	4V	4.5V
紙偶運動	甲(三)/(三)(fight)	甲(三)/乙(一)	乙(二)/甲(四)	振動過大
	無效果	甲(三)/乙(一)	乙(一)/甲(三)	振動過大
	無效果	乙(一)/甲(三)	甲(三四)/乙(一)	振動過大
	無效果	乙(一)/甲(三)	乙(一)/甲(三)	振動過大
	無效果	乙(一)/甲(三)	乙(一)/甲(四)	乙(一)/甲(三)
	乙(一)/甲(三)	乙(一)/甲(三)	乙(一)/甲(三)	振動過大
	乙(一)/甲(三四)	乙(一)/甲(三)	乙(一)/甲(三)	振動過大
	乙(一)/甲(三)	甲(三)/乙(一)	甲(三)/乙(一)	振動過大
	乙(一)/甲(四)	甲(三)/乙(一)	乙(一)/甲(三)	甲(三)(二)/乙(一)
	乙(一)/甲(四)	甲(三)/乙(一)	甲(三)/乙(二)	振動過大

註：O（象限A）/X（象限B）：OX帶表勝負，寫在前為勝；寫在後為負。象限AB代表在何象限出界。

觀察討論：馬達的旋轉方向是否影響紙偶運動？

發現紙偶運動雖然只有兩個馬達的互動，但在無意中我們觀察到兩顆馬達的正逆轉會影響紙偶運動，後續將增加馬達正逆轉的觀察。

改良方式：加入馬達正逆轉變化下的紙偶運動觀察。

(四) 雙馬達轉動方向相反、不同電壓值下的紙偶運動

1220 motor 為一正轉一逆轉 (P2 順時針轉動、P1 逆時針轉動) 下紙偶的運動狀態				
雙馬達電壓值	3V	4V	5V	6V
紙偶運動	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(三)	甲(四)/乙(一)	甲(四)/乙(三)
	乙(一二)/甲(四)	甲(二)/乙(四)	甲(四)/乙(二)	甲(三四)/乙(三)(fight)
	乙(二)/甲(四)	乙(二三)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(二)
	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(三)	甲(四)/乙(二)
	乙(一二)/甲(四)	甲(四)/乙(三)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(二)
	乙(一二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(三)
	乙(一二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(二)
	乙(一二)/甲(四)	甲(四)/乙(二三)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(三)
	乙(一二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(一四)/乙(二)	甲(四)/乙(二)
	乙(一二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(一四)/乙(二)	乙(二)/甲(四)

註：O (象限A) / X (象限B) : O X 帶表勝負，寫在前為勝；寫在後為負。象限A B 代表在何象限出界。

RF-370 motor 為一正轉一逆轉 (P1 順時針轉動、P2 逆時針轉動) 下紙偶的運動狀態			
雙馬達電壓值	10V	12V	14V
紙偶運動	乙(一)/甲(四)	乙(一)/甲(三)	乙(三)/甲(四)
	乙(一)/甲(四)	乙(一)/甲(三)	乙(二)/甲(四)
	乙(一)/甲(四)	甲(三)/乙(一)	乙(三)/甲(一四)
	乙(一)/甲(四)	乙(一)/甲(三)	甲(四)/乙(三)
	乙(一)/甲(四)	乙(一)/甲(三)	甲(四)/乙(三)
	乙(一)/甲(四)	乙(一)/甲(三)	乙(三)/甲(一)
	乙(一)/甲(四)	乙(一)/甲(三)	甲(一)/乙(三)
	甲(四)/乙(一)	乙(一)/甲(三)	乙(三)/甲(一)
	乙(一)/甲(四)	甲(三)/乙(一)	甲(三)/甲(一)
	乙(一)/甲(四)	甲(三)/乙(一)	乙(三)/甲(一)

註：O (象限A) / X (象限B) : O X 帶表勝負，寫在前為勝；寫在後為負。象限A B 代表在何象限出界。

(五) 實驗討論

1. 綜合實驗(三)、(四)結果可知，在雙馬達輸入電壓值相同下，電壓越大，馬達轉速越快，越容易分出勝負。
2. 1220馬達與RF-370馬達因振幅不同，就算是兩者接近的頻率值，紙偶振動效果也不同，從此推論馬達振幅對紙偶運動有較大的影響。

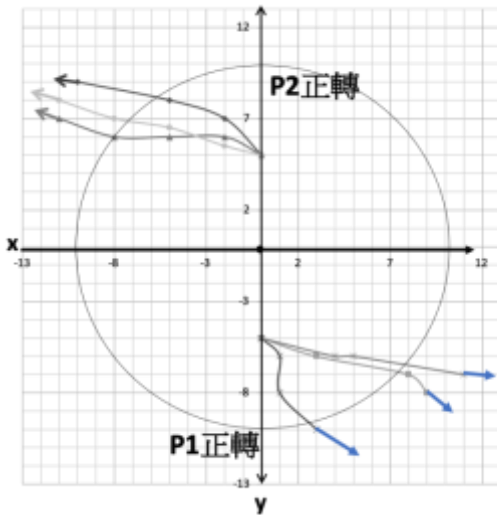


圖 5-6-1 1220 雙馬達皆正轉軌跡圖

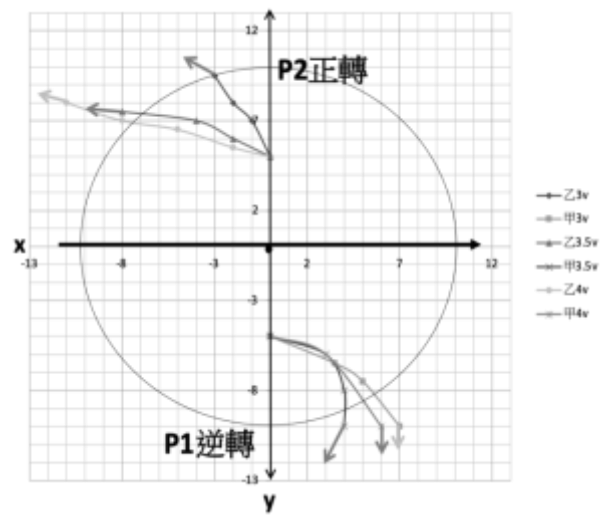


圖 5-6-2 1220 雙馬達正逆轉軌跡圖

3. **馬達的旋轉方向似乎會對紙偶運動造成些許影響（紙偶旋轉或前進的方向），後續將使用爽身粉進行粉末觀察測試。**
4. 根據進一步錄影分析 1220 馬達的運動結果，並用 excel 畫出軌跡圖可知，雙馬達的旋轉方向會影響紙偶運動狀態（圖 5-6-1、5-6-2）。後續可再進行 P1 和 P2 皆為逆轉或 P1 正轉、P2 逆轉的觀察。

觀察討論：馬達固定於鋁板上的模式？

原用 3D 列印固定器在鋁板上固定，但在馬達振動下一陣子就會脫落，形成新的問題。後來改用 3D 列印印製馬達固定上板。最後經過討論後，打造了鋁片固定器。

改良方式：



圖 5-7-1 3D 列印固定上板



圖 5-7-2 鋁片固定器

三、探討馬達在不同固定位置下測量紙偶運動的效果

因此研究目的三「討論馬達安裝於不同位置」(圖 5-8 的 Q 點)。將以 1220 馬達進行「皆正轉」、「P1 逆 P2 正轉」的觀察描述。

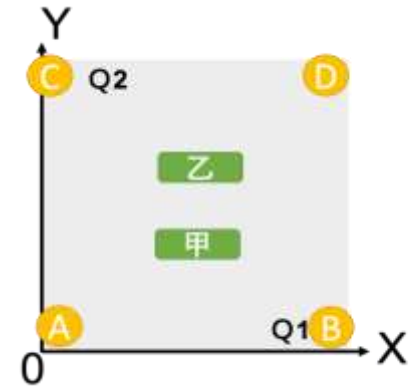


圖 5-8 1220 馬達固定 Q 點實驗

(一) 雙馬達轉動方向相同、不同電壓值下的紙偶運動

1220 motor 雙正轉下紙偶的運動狀態 (Q1、Q2 皆正轉)

雙馬達電壓值	3V	4V	5V	6V
紙偶運動	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(三)/乙(一)	甲(四)/乙(一)
	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(二三)	乙(一)/甲(三)	甲(一)/乙(二)
	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(一)/乙(二)	甲(四)/乙(一)
	乙(三)/甲(二)	甲(三)/乙(四)	甲(一)/乙(二)	甲(四)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(一)/乙(二)	甲(四)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(一)	甲(一四)/乙(二)	甲(三)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(一四)/乙(二)	甲(三)/乙(一)
	甲(二)/乙(三)	甲(四)/乙(一)	乙(二)/甲(四)	甲(三)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(一)	乙(二)/甲(四)	甲(三)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(三)	甲(四)/乙(二三)	乙(一)/甲(三)

註：O (象限 A) / X (象限 B) : O X 帶表勝負，寫在前為勝；寫在後為負。象限 A B 代表在何象限出界。

(二) 雙馬達轉動方向相反、不同電壓值下的紙偶運動

1220 motor 一正一逆轉下紙偶的運動狀態 ((Q1 逆轉、Q2 正轉))

雙馬達電壓值	3V	4V	5V	6V
紙偶運動	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(一)/乙(三)	甲(一)/乙(二)
	乙(一二)/甲(四)	甲(四)/乙(三)	甲(一)/乙(二)	甲(一)/乙(三)
	乙(一二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(一)/乙(二)	甲(一)/乙(三)
	乙(三)/甲(二)	甲(三)/乙(四)	甲(一)/乙(二)	甲(四)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(一)/乙(二)	甲(四)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(一)	甲(一四)/乙(二)	甲(三)/乙(一)
	乙(二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(一四)/乙(二)	甲(三)/乙(一)
	乙(一二)/甲(四)	甲(四)/乙(三)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(二)
	乙(一二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(三)
	乙(一二)/甲(四)	乙(二)/甲(四)	甲(四)/乙(二)	甲(四)/乙(二)

註：O (象限 A) / X (象限 B) : O X 帶表勝負，寫在前為勝；寫在後為負。象限 A B 代表在何象限出界。

(三) 實驗討論

1. 根據研究目的二的相關實驗結果得知，1220 馬達及 RF-370 馬達皆可使紙偶產生有效振動及競賽。誘因後續 App 開發將以 Arduino 為控制器，其僅能操作 1220 馬達，而無法控制 RF-370。
2. 當馬達安裝於 B 點(靠近擂台的 B、C 角落)時，擂台振動的效果優於馬達安裝於 A 點(AB 和 CD 線段的中點)，因此許多電壓值的「可變範圍」縮小了。
3. 當馬達安裝 Q 點，對戰的穩定性與安裝於 P 點相比，沒有觀察到差異性。**為了增加對戰的變化性，成品設計將馬達安裝於 P 點(AB 和 CD 線段中點)。(圖 5-9)**

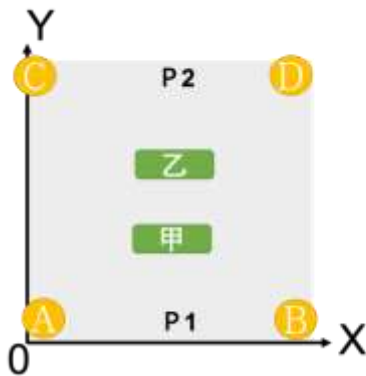


圖 5-9 馬達設於 P 點

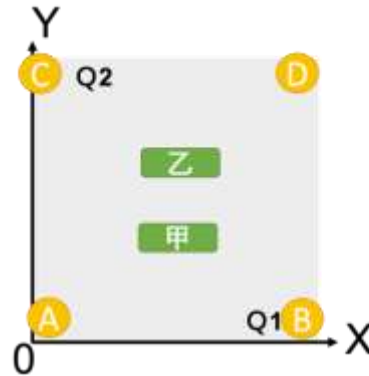


圖 5-10 馬達設於 Q 點

四、探討不同頻率的馬達振動下，鋁板上的克拉尼圖形變化

綜合研究資料一、二、三資料，鋁板的克拉尼圖形以 1220 和 RF-370 馬達為主，分為：

(一) 實驗設計：

1. P 組(雙馬達 AB、CD 線段的中點)，雙馬達正逆轉觀察。
2. 電壓值：1220 馬達為 3、4.5、6V；RF-370 馬達為 10、12、14V。
3. 爽身粉以集中式、均勻分散，兩種形式進行討論。

觀察討論：集中式與分散式粉末觀察？

分散式粉末觀察發現，無任何規律，也無法產生克拉尼圖形。但在集中式粉末可觀察粉末運動的變化。

改良方式：以集中式粉末為觀察描述對象。

(二) 1220 馬達的粉末觀察 (P1、P2 位置)

P1 P2	正 3V	逆 3V	逆 4.5V	逆 4.5V	正 6V	逆 6V
正 3V	順時針轉 (正轉)	往 AC 線段前 進 (X<13)				
逆 3V	往 BD 線段前 進 (X>13)	逆時針轉 (逆轉)				
正 4.5V			順時針轉 (正轉)	往 AC 線段前 進 (X<13)		
逆 4.5V			往 BD 線段前 進 (X>13)	逆時針轉 (逆轉)		
正 6V					順時針轉 (正轉)	往 AC 線段前 進 (X<13)
逆 6V					往 BD 線段前 進 (X>13)	逆時針轉 (逆轉)

(三) RF-370 馬達的粉末觀察(P1、P2 位置)

P1 P2	正 10V	逆 10V	逆 12V	逆 12V	正 14V	逆 14V
正 10V	順時針轉 (正轉)	往 AC 線段前 進 (X<13)				
逆 10V	往 BD 線段前 進 (X>13)	逆時針轉 (逆轉)				
正 12V			順時針轉 (正轉)	往 AC 線段前 進 (X<13)		
逆 12V			往 BD 線段前 進 (X>13)	逆時針轉 (逆轉)		
正 14V					順時針轉 (正轉)	往 AC 線段前 進 (X<13)
逆 14V					往 BD 線段前 進 (X>13)	逆時針轉 (逆轉)

(四) 實驗討論

1. 原本預設在「分散式粉末」中觀察，可以看到類似克拉尼圖形的分布，但雖有振動產生類似腹點的型態，但沒有任何節線產生的克拉尼圖形。分散式粉末的實驗可說是沒有特別的結果。
2. **在「集中式粉末」中觀察，可看到粉末隨著馬達轉動方向不同，產生有規律的移動方向，是驚奇的大發現**。而電壓的大小只影響了粉末移動的速度，並沒有影響粉末移動的圖形變化。
3. 根據上述觀察描述，我們反思克拉尼圖形的資料發現，克拉尼圖形的變化頻率約在 100-5000Hz 之間，與本次實驗中的 50-150Hz 的變化區間稍有不同。推測可能是頻率變化小，且擂台檯面的大小影響了形成駐波的限制，因此無法產生克拉尼圖形。僅能形成使粉末(或紙偶)移動的振動而已。

五、開發手機 App 遙控 Arduino 設計控制自動擂台

(一) 綜合研究資料一、二、三、四的結果，可知以下幾點事項：

1. 1220 馬達可進行較廣的頻率變化(89Hz-168Hz)，且可承受 2V-7V 的電壓變化，適合做為 Arduino 開發板輸出的電壓範圍。
2. 擂台受到不同頻率的振動會影響紙偶競賽，**高電壓可讓紙偶快速分出勝負；低電壓會使紙偶在擂台上較穩定**。
3. 由爽身粉實驗發現，**振動馬達的旋轉方向會影響粉末運動模式**，雙馬達旋轉方向相同時粉末會旋轉；雙馬達旋轉方向相反時，粉末會往馬達甩動方向前進。
4. 根據 1220 馬達在擂台上與紙偶運動的觀察結果可知，當輸出 6.5V 後，1220 馬達的振動已經會讓紙偶快速傾倒，因此在 App 及 Arduino 上，沒有需要超過 6.5V 的必要性。

(二) 相撲擂台遊戲規則設計

1. 遊戲競賽的雙方必須先連進行藍芽連線，並在賽前進行連線與控制測試。
2. 當雙方測試完成後，皆將馬達調整至「正轉」、「PWM 70」。
3. 由裁判倒數三秒後開始比賽，勝負規則有三：

(1) 擂台圓圈為直徑 20 公分，紙偶超過擂台圓圈範圍或先踩線者即為輸家。

- (2) 紙偶在擂台內，因任何原因倒下者即為輸家。
- (3) 若兩紙偶競賽時間超過 2 分鐘無法分出勝負，視為平手，則重新進行比賽。
- (4) 遊戲採五戰三勝制，玩家可以製作任何形式的紙偶參與比賽。

(三) 開發 App 的按鍵概念

1. 具備藍芽連線與藍芽斷線
2. 能區分馬達旋轉方向（正逆轉）
3. 能輸出不同電壓值（PWM 腳位）：

本研究使用的 Arduino 開發板，電量輸出為兩顆

18650 電池，最大輸出值為 7.4V，根據觀察結果顯示，1220 馬達電壓超過 6.5V 時，會造成紙偶振動過大，

寫入 PWM 數值時，最大僅寫至 220。其腳位數值與電壓值關係表如下：

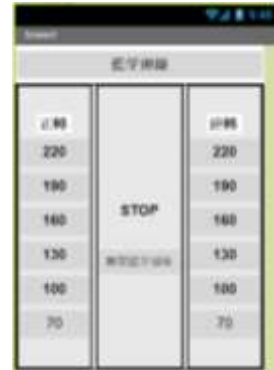


圖 5-11 App inventor 2 手機操作介面

PWM 腳位值	70	100	130	160	190	220
Arduino 輸出電壓	2.3	3.2	4	4.8	5.6	6.4

(四) App 程式開發

App Inventor 2 有積木式程式編寫方式，可以讓學生快速上手簡易的程式設計及開發 App 和 Arduino 連結。

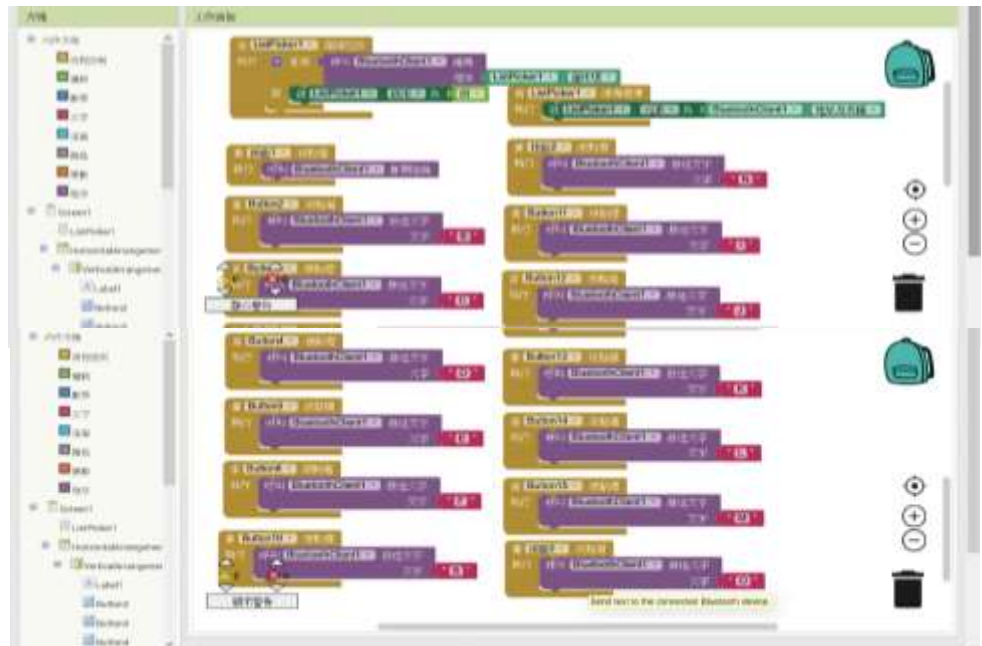


圖 5-12 App inventor 2 積木式程式設計介面

(五) Arduino 程式碼

<pre>#include <SoftwareSerial.h> SoftwareSerial BT(12,13); const int M1A = 10; const int M1B = 11; char val; void setup() { BT.begin(9600); pinMode(M1A,OUTPUT); pinMode(M1B,OUTPUT); } void loop() { while(BT.available()){val = BT.read();} switch(val){ case 'A': analogWrite(M1A,225); analogWrite(M1B,0); break; case 'B': analogWrite(M1A,220); analogWrite(M1B,0); break; case 'C': analogWrite(M1A,190); analogWrite(M1B,0); break;</pre>	<pre>case 'D': analogWrite(M1A,160); analogWrite(M1B,0); break; case 'E': analogWrite(M1A,130); analogWrite(M1B,0); break; case 'F': analogWrite(M1A,100); analogWrite(M1B,0); break; case 'G': analogWrite(M1A,70); analogWrite(M1B,0); break; case 'H': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,255); break; case 'T': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,220); break; case 'J': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,190); break;</pre>	<pre>case 'K': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,160); break; case 'L': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,130); break; case 'M': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,100); break; case 'N': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,70); break; case 'S': analogWrite(M1A,0); analogWrite(M1B,0); break; } }</pre>
--	--	--

圖 5-13 Arduino 程式編寫

陸、討論與結論

一、本研究證實，標準化擂台可以由 Arduino 的程式編碼，再加上自製偏心軸馬達，達到振動的效果，並利用 PWM 腳位控制馬達的轉速，增加及降低振動。



圖 6-1 擂台對戰與平板 App

二、本研究發現，標準化擂台是以「鋁板」方式建構，能增加遊戲進行時的強度與剛性，鋁板可有易振動、且剛性足夠（容易變形）的特性。

三、本研究發現，相撲紙偶的振動上，透過電源供應器操控電壓，以 1220 馬達為例，當雙馬達電壓皆是 6V 容易會有勝負，且甲乙紙偶的勝率相當；直到雙馬達電壓皆是 3V 時，在 10 次的測試裡面，幾乎都是平手。可以得知，電壓越高越容易有勝負，電壓越低平手的機率較高。

四、本研究發現，輸出電壓較高時，馬達頻率會較高；輸出電壓較低時，馬達頻率會較低。但頻率越高會使紙偶容易分出勝負，而頻率越低會使紙偶無法分出勝負結果。

五、本研究發現，1220 馬達具備最廣泛的頻率變化、最小的電壓輸出，且可以使用 Arduino 的藍芽操作，符合我們設計自動化擂台的基本標準。後續以 1220 馬達作為自動化標準擂台的成品設計主軸。

六、當馬達安裝於 Q 點(靠近擂台的 B、C 角落)時，擂台振動的效果優於馬達安裝於 P 點(AB 和 CD 線段的中點)，因此許多電壓值的「可變範圍」縮小了，但兩種位置的對戰的穩定性沒有觀察差異。為了增加對戰的可變化性，成品設計將以馬達安裝於 P 點(AB 和 CD 線段的中點)。

七、本研究發現，透過不同馬達的電壓輸出與頻率的關係，頻率並非紙偶勝負的單一條件。藉由不同馬達發現，頻率相同但電壓不同的狀態下，紙偶勝負和運動狀態不同，當電壓越大使振幅越大，越容易產生紙偶的運動與勝負結果。

八、透過克拉尼圖形的驗證，發現擂台設計的振幅和頻率皆會影響粉末變化。由研究可知：

- (一) 「分散式粉末」中觀察到有振動產生類似腹點的型態，但沒有任何節線產生的克拉尼圖形。
- (二) 「集中式粉末」中觀察，可看到粉末隨著馬達轉動方向不同，產生有規律的移動方向。且當振幅越大時，粉末運動速度越快。
- (三) 當雙馬達皆為正轉或逆轉時，集中式粉末會在擂台上旋轉；當雙馬達一正一逆旋轉時，集中式粉末會往單一方向前進。
- (四) 推測因馬達轉速過慢(頻率過低)，無法從擂台振動的結果，產生如同「改變不同的頻率產生不同駐波形狀的克拉尼圖形」。

九、本研究目的在於建構：「具有穩定競賽標準的自動化擂台」，由上方的實驗可知，當兩方的振動幅度一樣時，兩方會勢均力敵。為了能夠具備具有「勝負」前提的競賽下，我們設計手機 App，能夠控制馬達的正逆轉及轉速，增加遊戲設計的對戰性。

十、相撲擂台遊戲規則設計

- (一) 遊戲競賽的雙方必須先連進行藍芽連線，並在賽前進行連線與控制測試。
- (二) 當雙方測試完成後，皆將馬達調整至「正轉」、「PWM 70」。
- (三) 由裁判倒數三秒後開始比賽，勝負規則有三：
 1. 擂台圓圈為直徑 20 公分，紙偶超過擂台圓圈範圍或先踩線者即為輸家。
 2. 紙偶在擂台內，因任何原因倒下者即為輸家。
 3. 若兩紙偶競賽時間超過 2 分鐘無法分出勝負，視為平手，則重新進行比賽。
 4. 遊戲採五戰三勝制，玩家可以製作任何形式的紙偶參與比賽。

柒、反省與展望

一、本次研究中我們一直在錯誤中尋找問題，原本從馬達振動的問題開始解決，後來再看到克拉尼圖形透過聲音振動，我們也覺得很有趣，一度想要嘗試使用聲音產生振動。但後和教授、老師討論後，決定專心將馬達振動詳細研究，而非一直改變研究目標。

- 二、本研究過程中發現，做實驗最困難的一步是決定和準備實驗的器材，我們花了很長的時間解決「如何固定馬達」、「馬達連接的電線一直掉」等問題；實際進行觀察實驗時，又開始煩惱「如何有效紀錄數據」、「如何有效討論數據」等問題，到最後我認為呈現的結果還是不夠好，未來希望能再加強此部分。
- 三、關於未來的研究，我認為可以使用音箱產生振動來替代振動馬達，因目前馬達振動有「振幅」和「頻率」無法同時控制的問題。但透過音箱振動，可以同時控制大小聲和高低音，解決操作變因的穩定性。但又會產生「無法使用鋁板」、「紙偶重量可以必須在減輕」等問題，那應該是要完全重新進行研究了。

捌、參考資料及其他

- 一、摺紙學堂（1）相撲力士。

https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=1xQiZQU_BL4

- 二、相撲土俵紙娃娃 DIY：紙相撲簡易製作。

<https://vovo2000.com/f/viewtopic-380415.html>

- 三、基本版(含相撲台)下載。

<http://www.omocha-album.com/sample/sumo/tontonsumo.html>

- 四、紙偶擴充下載。

<http://www.omocha-album.com/sample/sumo/tonton.html>

- 五、〔摺紙大全〕相撲選手摺紙方法-紙藝大全-生活創意 DIY。

<https://zi.media/@diyhtd01com/post/XPUSuR>

- 六、克拉尼圖形演示。

<https://www.youtube.com/watch?v=E-hF387S0ko>

- 七、由音頻產生奇妙的幾何圖形：克拉尼誕辰 | 科學史上的今天：11/30。（PanSci）

<https://pansci.asia/archives/129543>

【評語】 082809

1. 作者很用心搜尋相關器材，以 Arduino 控制馬達實現相撲機器人，很有意義，同時比較不同類器材質作基板與比較不同類型馬達，實驗堪算完整。
2. 震動模態在對戰上面是否公平？在某種模態上面，雙方的紙牌都會受到影響。
3. 大部分的實驗都針對馬達振動時紙偶運動狀態，克拉尼圖形實驗未觀察到駐波變化情形，建議將研究聚焦在其中一項即可。

摘要

本研究從日本傳統紙相撲遊戲發想，設計自動振動擂台進行相撲紙偶的競賽，期待能在校內舉辦各種形式的紙相撲競賽。本研究的擂台設計主要包含：雙層擂台檯面設計、振動馬達選擇與固定方式、以手機App遙控Arduino藍牙裝置改變輸出電壓值。

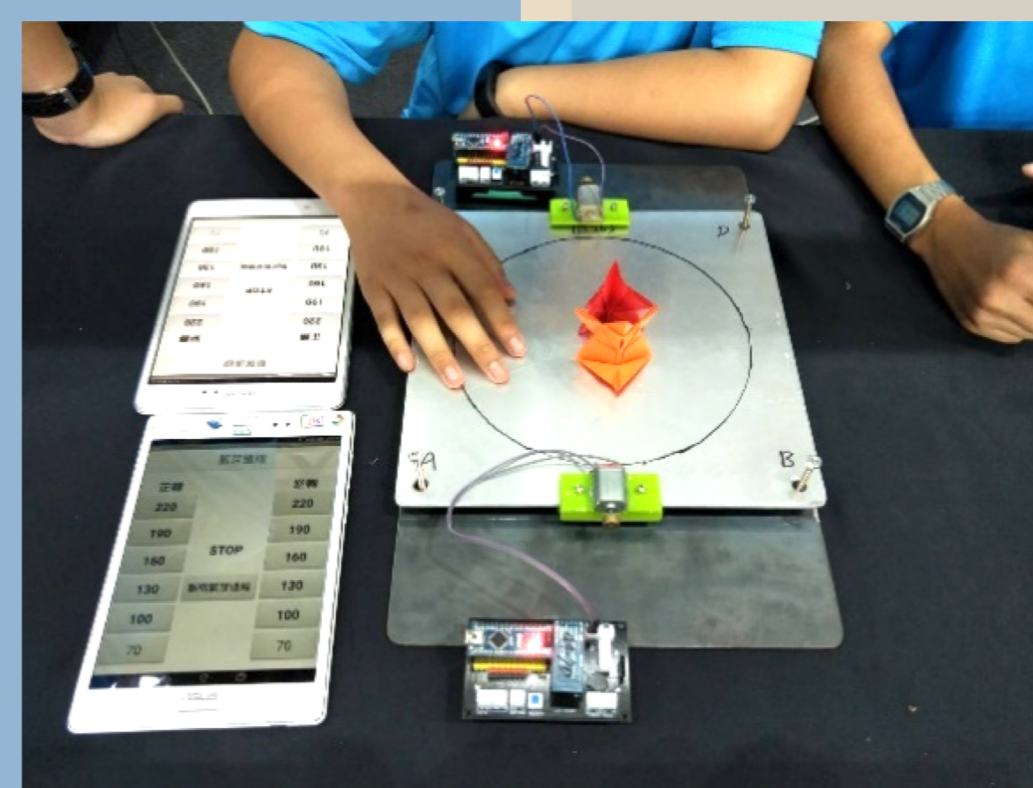
本研究發現：一、當雙馬達的振動頻率愈高，紙偶能越快分出勝負；二、當雙馬達振動頻率越高時，振幅隨之變大，無法完全確認振幅與頻率交互作用的影響；三、當雙馬達轉動方向相同時，爽身粉會在鋁板上旋轉，當雙馬達轉動方向相反時，爽身粉則向同一方向前進；四、馬達固定在角落時，振動效果佳，能有效分出勝負；五、振動馬達觀察克拉尼圖形時，無法達到克拉尼圖形中的駐波變化。

研究動機

電視節目中蠟筆小新和爸爸玩相撲紙偶，紙偶受到敲擊後向前進，讓我覺得好有趣。我們在網路上也找到紙偶和別人PK的影片，規則是將雙方紙偶放在擂台上，用手指敲擊擂台，把對方紙偶推倒或出界就獲得勝利。但到底是摺紙或剪紙形式使相撲紙偶獲勝？或是不同敲擊方式造成相撲紙偶獲勝？我們決定透過機械結構與程式設計，設計自動控制的相撲擂台，讓紙相撲遊戲變成更公平，不同型態的相撲紙偶都有機會進行比賽。

研究目的

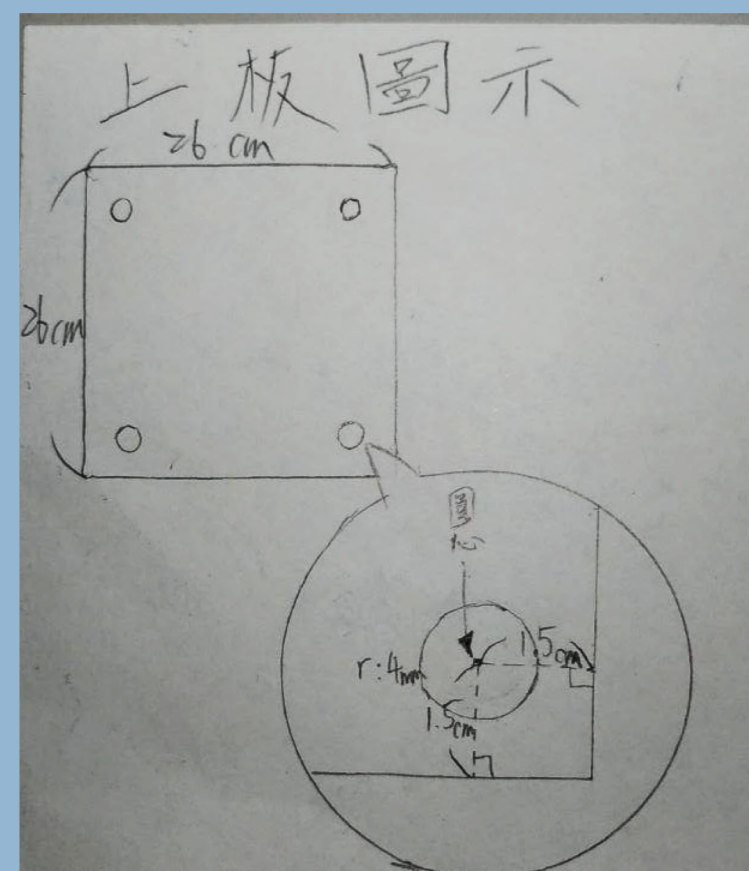
- 一、建構與分析相撲擂台的各部結構。
- 二、探討不同電壓下馬達轉速，計算振動的頻率。
- 三、探討馬達在不同電壓值下紙偶運動的效果。
- 四、探討馬達在不同固定位置下測量紙偶運動的效果。
- 五、探討不同頻率的馬達振動下，鋁板上的克拉尼圖形變化。
- 六、開發手機App遙控Arduino設計控制自動擂台。



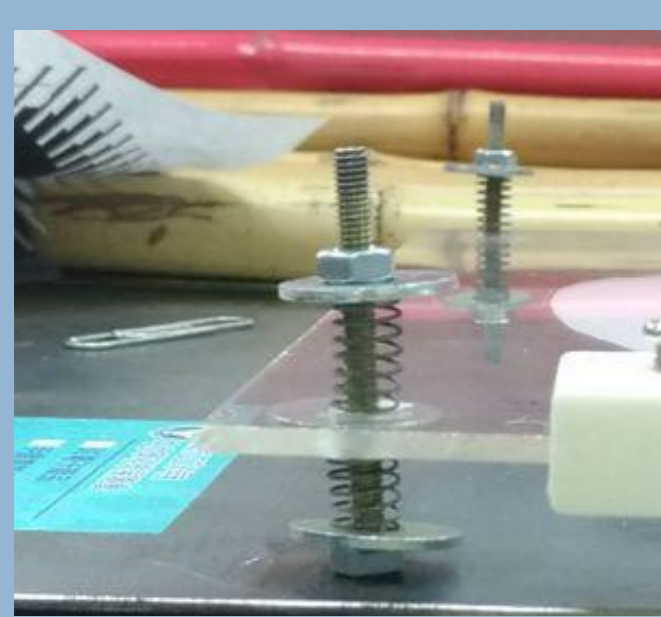
擂台對戰與平板App

研究設備及器材

一、擂台檯面設計

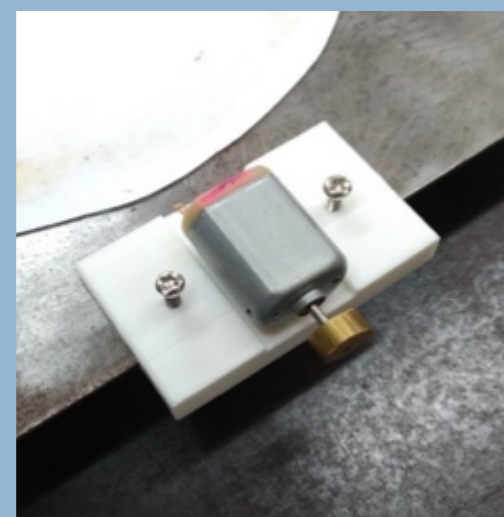
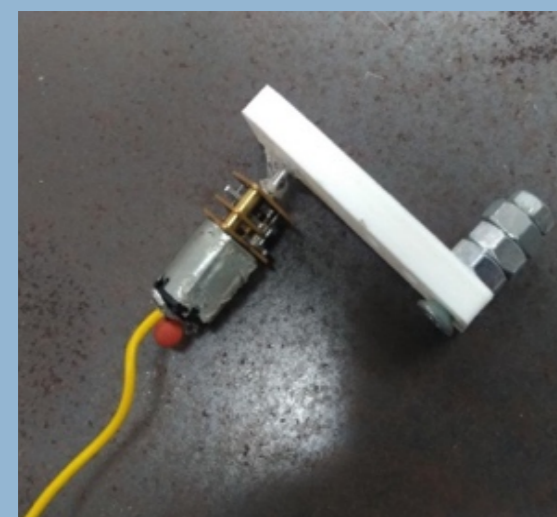


木板、PVC板容易變形；壓克力板雖然效果較好，但相對柔軟；鐵、鋁板最不容易變形，且鋁板較輕。因此最後選擇鋁板在距離邊1.5公分處打上4mm直徑的圓。



上下板間有彈簧隔開，使振動產生時，上板能跟著振動又不至於影響。後因噪音問題，後改為上板的上下兩側皆裝上彈簧，可減少噪音。

二、馬達固定器及偏心軸



Tinkercad建立馬達固定器、偏心軸的模型，並透過3D列印機列印。



TF-130



1220



R-260



RF-370

因原馬達轉速過慢，採購市售振動馬達使用。

三、Arduino的PWM編碼

利用自走車的所有PWM腳位，設計三種不同輸出腳位。

四、文獻分析

(一) 紙相撲遊戲

玩法是將相撲紙偶放上擂台，用手指敲打擂台，使擂台振動影響相撲紙偶移動，進行比賽。

1. 紙偶重心：重心最好能夠偏向前方，紙偶會因為振動往重心方向前進。

2. 振動頻率：敲擊速度產生的振動頻率，是否影響紙偶運動呢？

(二) 克拉尼圖形

本研究使用的相撲擂台，是鋁板為介質的振動波。當波傳遞到鋁板邊緣時，波會形成反射，當新舊波疊合時，波的振動方向相同，波會相長形成更大的波峰，稱為「腹點」；若波的振動方向相反，波會相消形成沒有波的狀態，稱為「節點」。

```
max
1 int motor1a = 10;
2 int motor1b = 11;
3 int motor2a = 6;
4 int motor2b = 9;
5 int motor3a = 3;
6 int motor3b = 5;
7 //int motor4a = 7;
8 //int motor4b = 8;
9
10 void setup ()
11 {
12   pinMode ( motor1a, OUTPUT);
13   pinMode ( motor1b, OUTPUT);
14   pinMode ( motor2a, OUTPUT);
15   pinMode ( motor2b, OUTPUT);
16   pinMode ( motor3a, OUTPUT);
17   pinMode ( motor3b, OUTPUT);
18   //pinMode ( motor4a, OUTPUT);
19   //pinMode ( motor4b, OUTPUT);
20 }
21
22 void loop()
23 {
24   analogWrite( motor1a ,0);
25   analogWrite(motor1b,255);
26   analogWrite( motor2a ,0);
27   analogWrite(motor2b,150);
28   analogWrite( motor3a ,0);
29   analogWrite(motor3b,45);
30   //analogWrite( motor4a,45);
31   //analogWrite(motor4b,0);
32 }
```

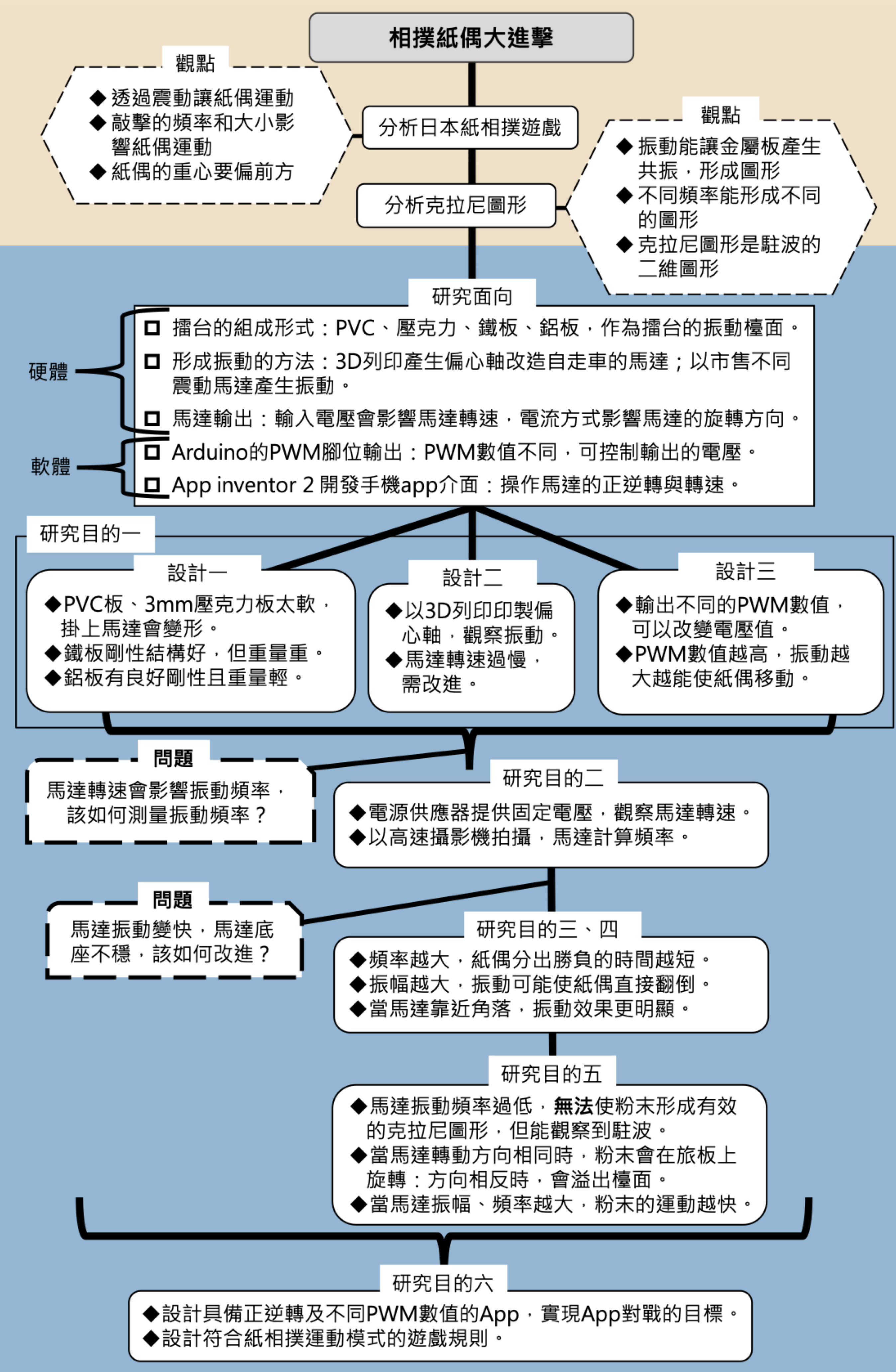


相撲紙偶遊戲示意圖
(示意圖摘自網路)

	克拉尼圖形	本研究的相撲擂台
振動方式	弓弦、訊號產生器	手指敲擊、振動馬達
振動來源	單一訊號源	兩個以上馬達振動
振動平面	1mm以下的鐵板 鐵板的重心位置	3mm的鋁板 鋁板的邊緣，振動位置為變因
振動位置	(中心)	

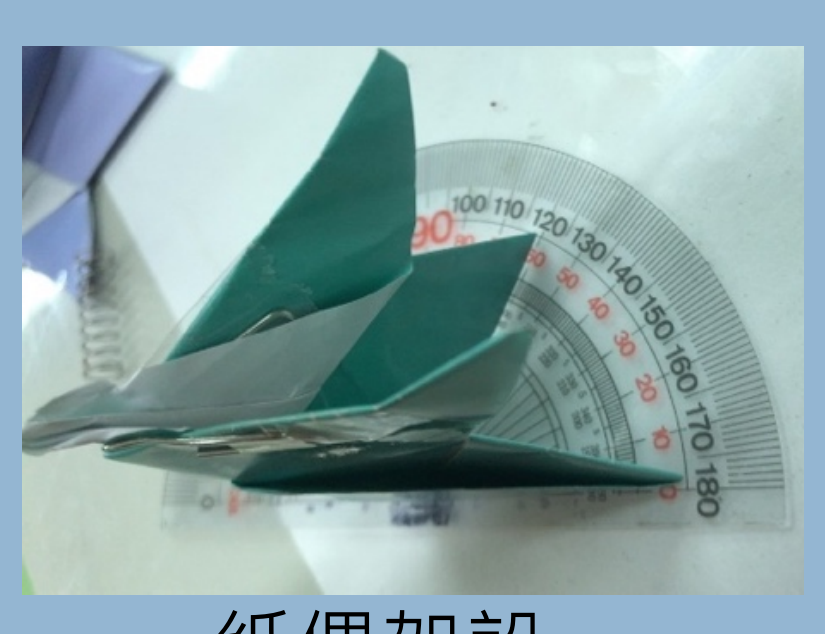


五、研究架構圖



六、紙偶設計

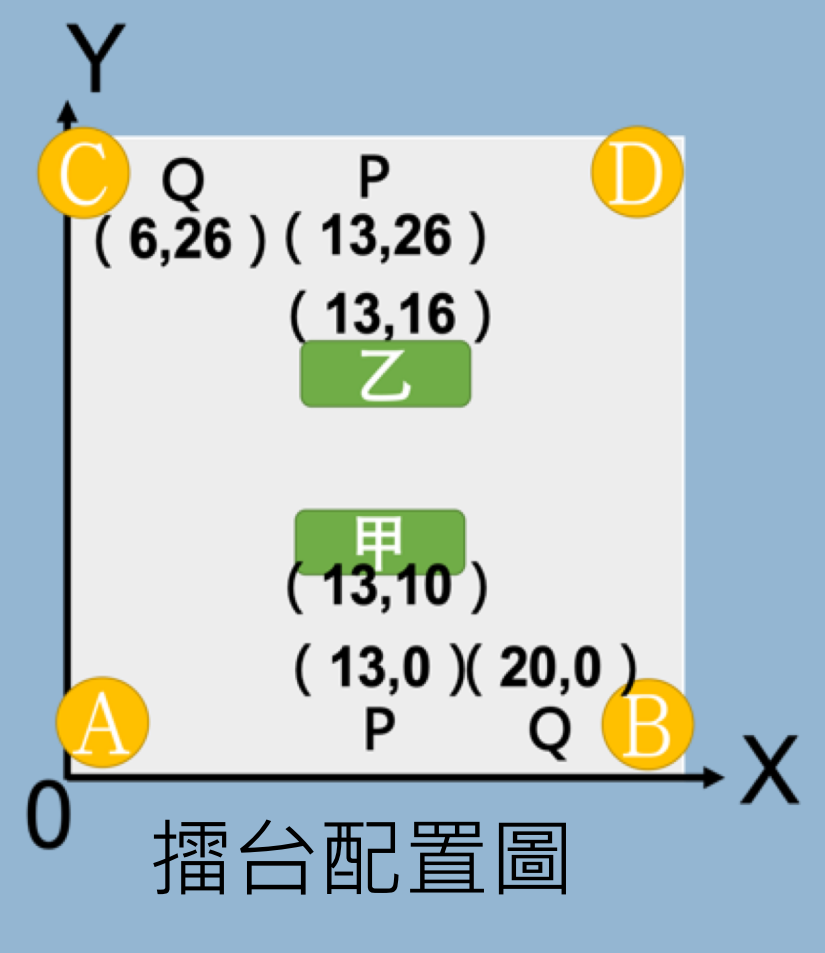
- 相撲紙偶的型態：
相撲紙偶用色紙解決重量問題。
(紙偶重量： $1.78 \pm 0.02g$)
- 相撲紙偶的張角：
利用迴紋針展開60度固定，並可將重心往前，完成標準的相撲紙偶。



紙偶架設

七、實驗設計與觀察記錄方式

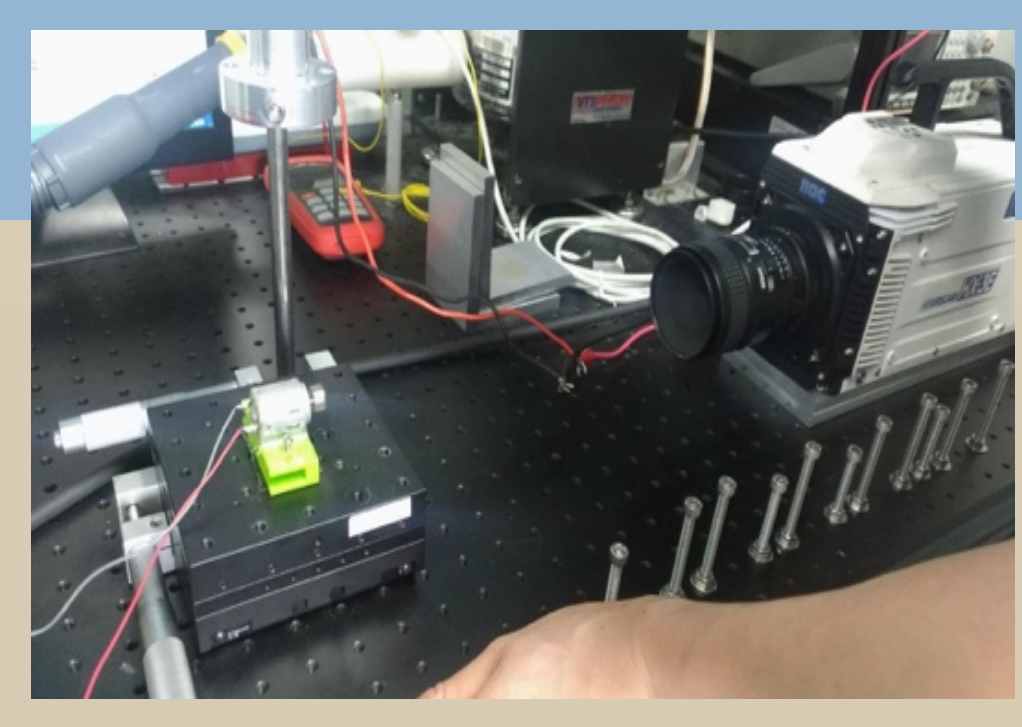
馬達模擬手造成振動，使相撲紙偶受到振動。每次計時兩分鐘，輸入不同電壓值、馬達位置比較，將對方紙偶推倒獲勝，超過兩分鐘未有紙偶倒下則為平手。擡台以座標軸撰寫相對位置圖。



馬達型號	輸入電壓值	馬達安裝位置	紙偶位置
TF-130	3-6V(可承受至7V)	P組：鋁板中線 (13,0)(13,26)	甲紙偶 (13,10)
1220	3-6V(可承受至7V)		
R-260	6-12V(可承受至20V)	Q組：鋁板對角 (20,0)(6,26)	乙紙偶 (13,16)
RF-370	6-12V(可承受至20V)		

八、馬達轉速分析

馬達透過高速攝影機(市賽指導教授提供)，以1/800秒為間距拍攝照片，觀察轉動圈數，紀錄不同電壓值的轉速大小，得到實際振動頻率。



高速攝影機拍攝馬達

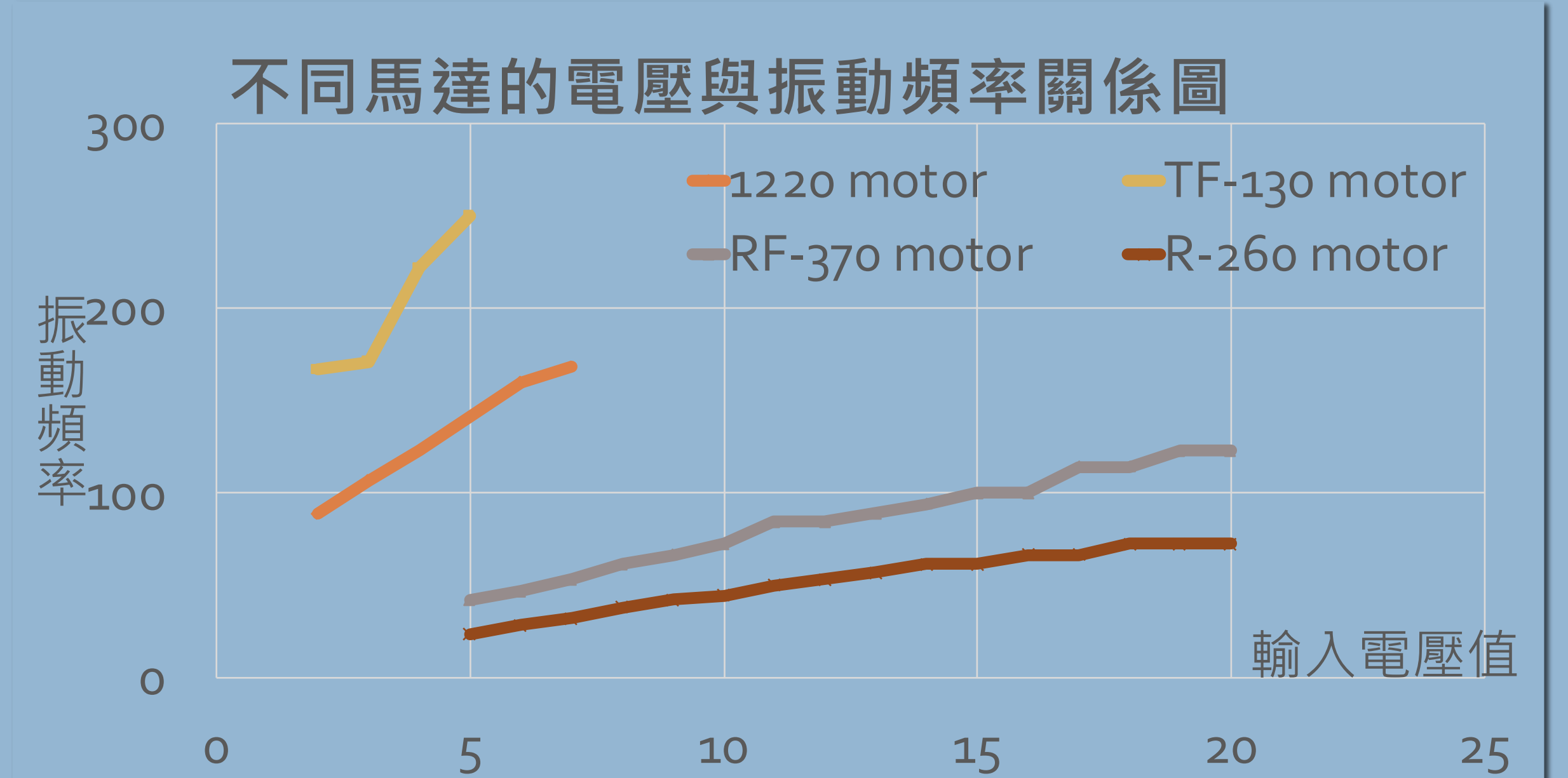
九、克拉尼圖形分析

研究的振動效果是否與克拉尼圖形有關，使用「爽身粉」作為克拉尼圖形的觀察，了解不同的振動頻率下，能否完成克拉尼圖形的展現。

	均勻分布撒粉	集中式撒粉
馬達電壓值(改變頻率)	3-6V(1220)、12-14V(RF-370)	
馬達旋轉方向(正逆轉)	以電源供應器正負極改變調整轉動方向	

研究結果與討論

一、探討輸入電壓與馬達轉速的關係

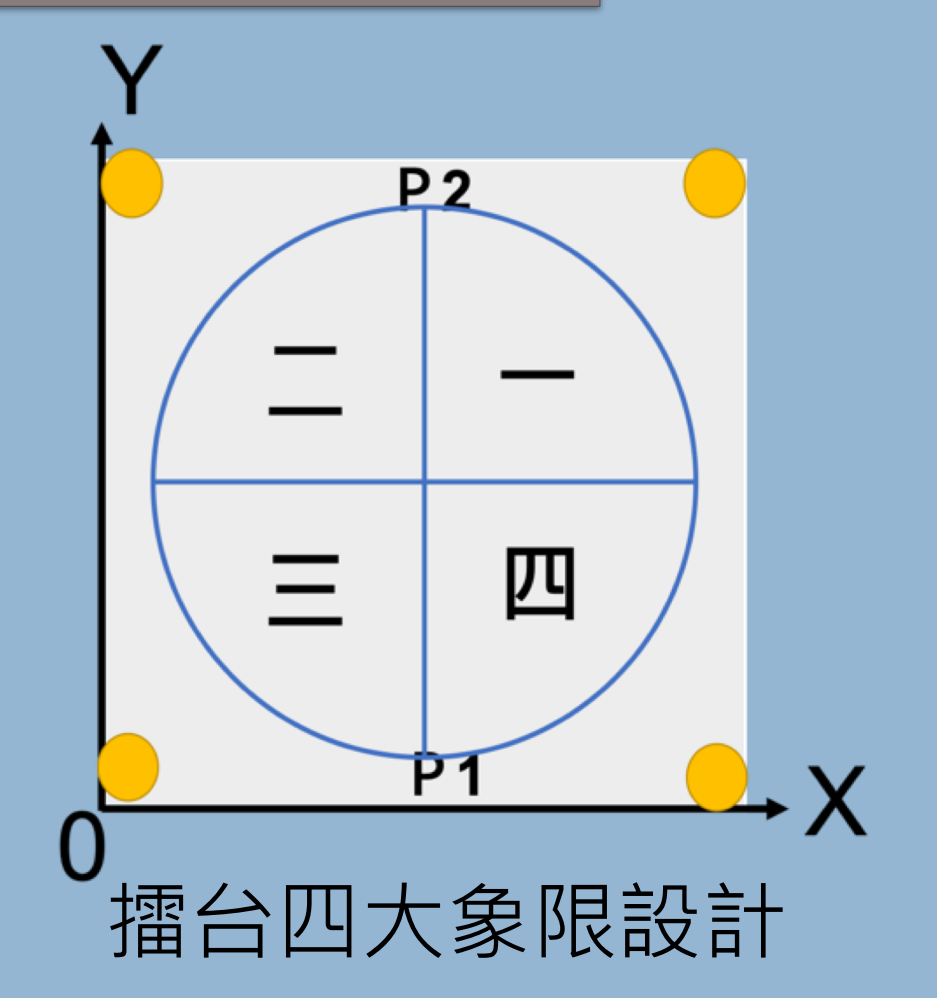


- 1220馬達的頻率變化較穩定(隨著電壓值有較佳的頻率變化)，以1220馬達進行高頻率、低電壓測試，做為後續Arduino控制振動的主要馬達。
- 以RF-370馬達的振動頻率可達到較高值，根據輸入的電壓與頻率進行分析。
- 推論RF-370馬達能夠產生相同頻率，但較大振幅的振動現象。後續將以RF-370進行高電壓、高振幅測試，作50-100Hz大振幅的紙偶和粉末變化。

二、探討馬達在不同電壓值下紙偶運動現象

改良

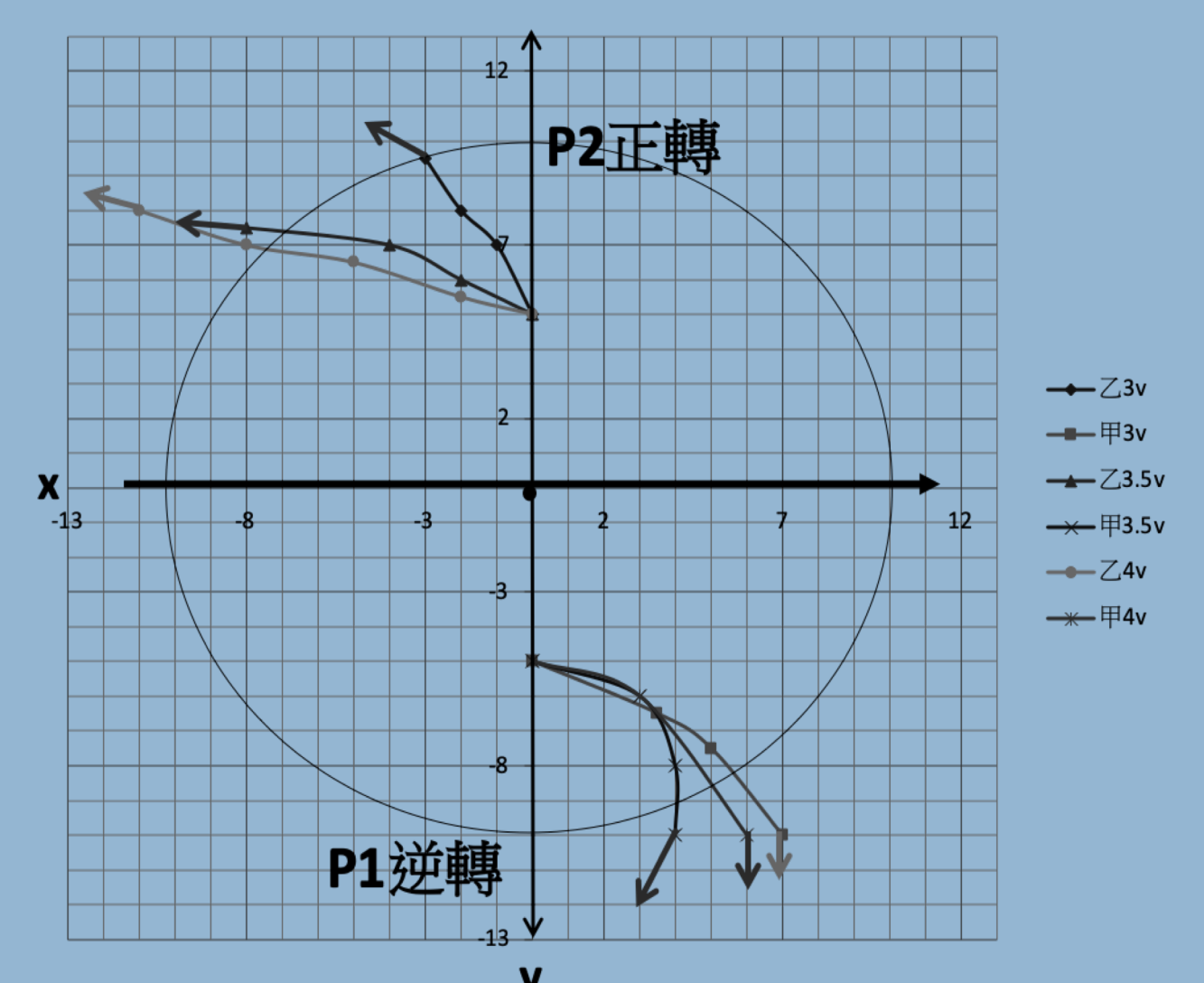
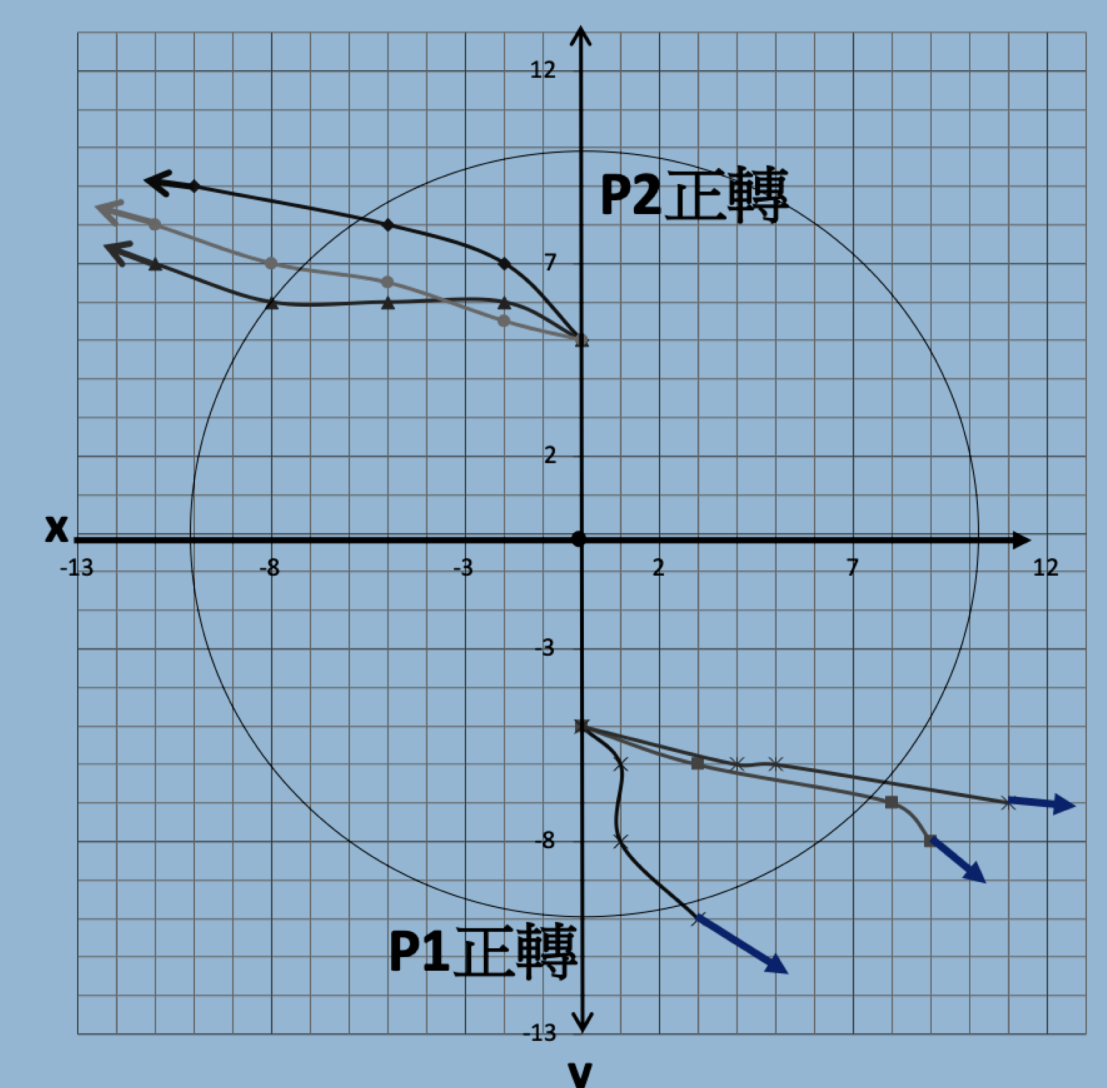
改以四大象限進行描述，以錄影方式標記運動位置，再以Excel繪製座標圖。



改良

我們觀察到兩顆馬達的正逆轉會影響紙偶運動，後續將增加馬達正逆轉的觀察。

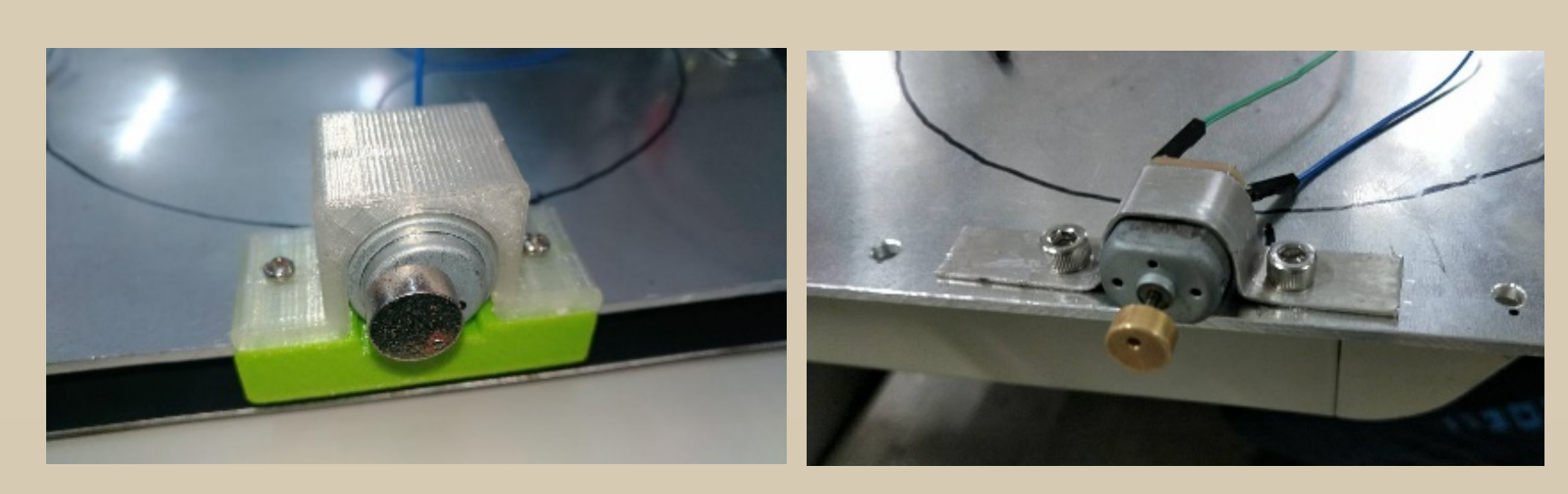
改良：馬達正逆轉變化下的紙偶運動觀察。



- 雙馬達輸入電壓值相同下，電壓越大，馬達轉速越快，越容易分出勝負。
- 1220馬達與RF-370馬達頻率值相同，紙偶振動效果卻不同，推論馬達振幅對紙偶運動有較大的影響。
- 以錄影分析1220馬達運動，用excel畫出軌跡圖可知，雙馬達旋轉方向會影響紙偶運動。

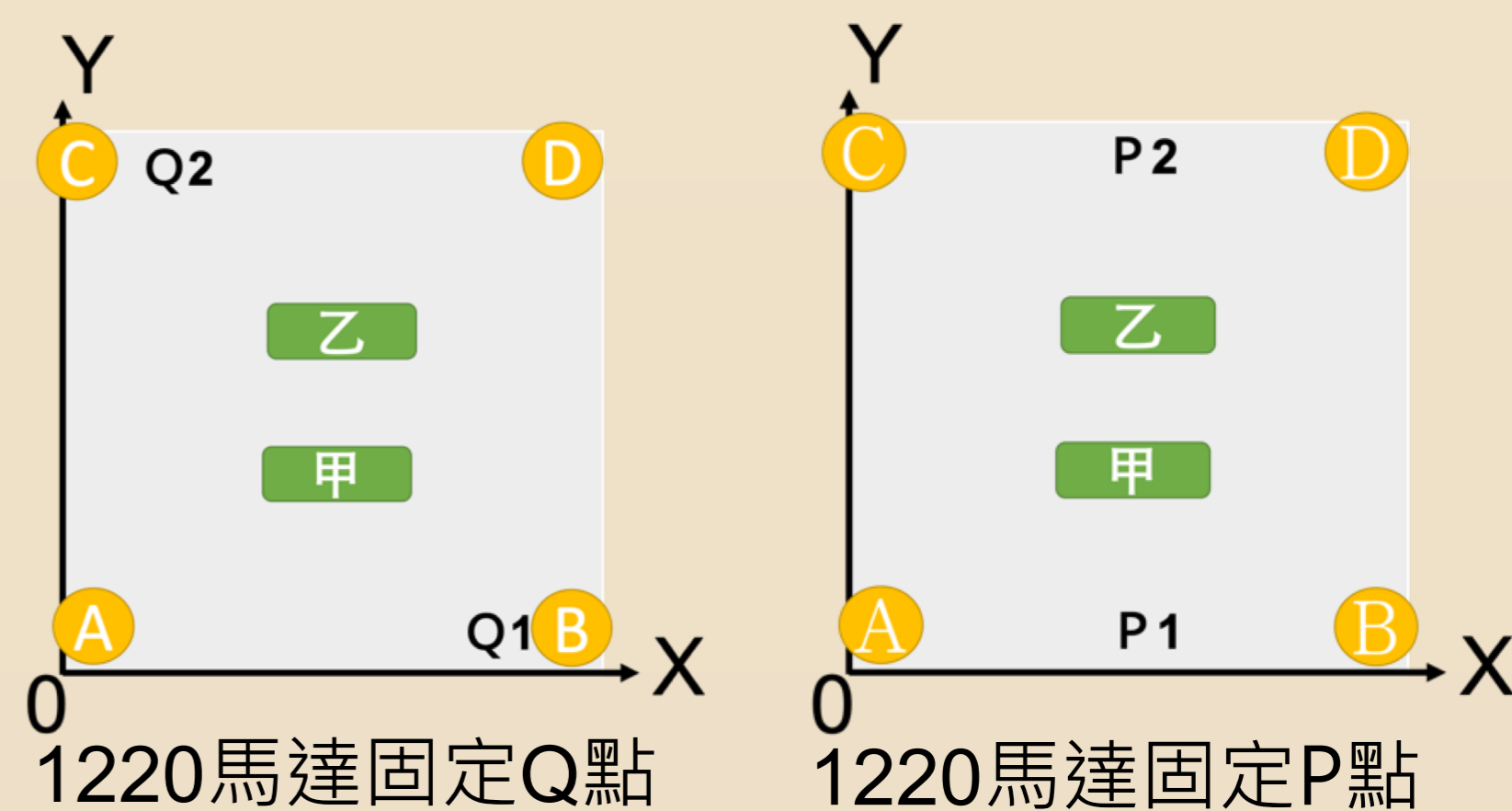
改良

馬達固定於鋁板上的模式



三、探討馬達在不同固定位置下測量紙偶運動的效果

- 當馬達安裝於Q1Q2時，但擂台振動的效果優於P點，因此許多電壓值的「可變範圍」縮小了。
- 馬達安裝Q點與P點相比，對戰的穩定性沒有差異性。



四、探討不同頻率的馬達振動下，鋁板上的克拉尼圖形變化

P1 P2	正3V	逆3V	逆4.5V	逆4.5V	正6V	逆6V
正	順時針轉 (正轉)	往AC (X<13)	順時針轉 (正轉)	往AC (X<13)	順時針轉 (正轉)	往AC (X<13)
逆	往BD (X>13)	逆時針轉 (逆轉)	往BD (X>13)	逆時針轉 (逆轉)	往BD (X>13)	逆時針轉 (逆轉)

P1 P2	正10V	逆10V	逆12V	逆12V	正14V	逆14V
正	順時針轉 (正轉)	往AC (X<13)	順時針轉 (正轉)	往AC (X<13)	順時針轉 (正轉)	往AC (X<13)
逆	往BD (X>13)	逆時針轉 (逆轉)	往BD (X>13)	逆時針轉 (逆轉)	往BD (X>13)	逆時針轉 (逆轉)

- 在「集中式粉末」中觀察，當雙馬達皆為正轉或逆轉時，集中式粉末會在擂台上旋轉；當雙馬達一正一逆旋轉時，集中式粉末會往單一方向前進。
- 反思克拉尼圖形的資料發現，推測是頻率可變化小，且擂台檯面大小、波源數量影響了形成駐波的限制，無法產生克拉尼圖形，僅能形成使粉末(或紙偶)移動振動。

五、開發手機App遙控Arduino設計控制自動擂台

(一) 開發手機APP

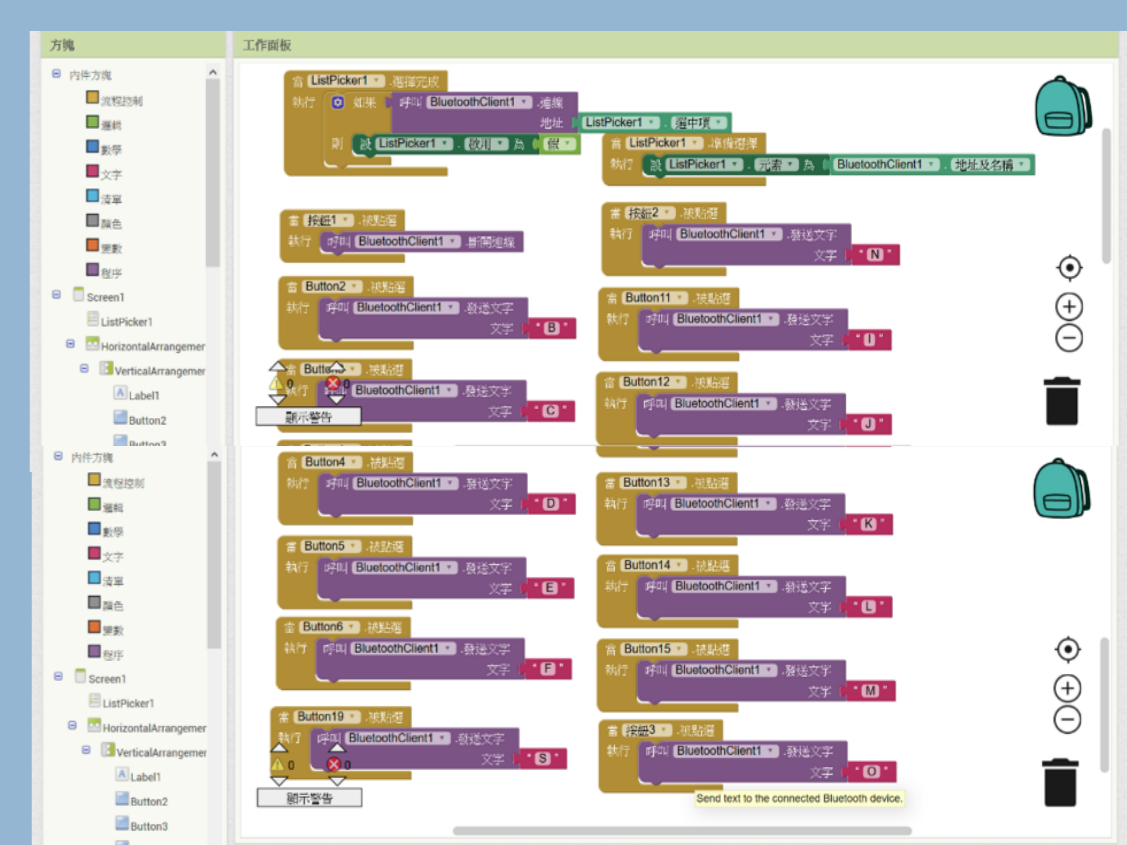
- 具備藍芽連線與藍芽斷線
- 能區分馬達旋轉方向(正逆轉)
- 能輸出不同電壓值(PWM腳位)



App inventor 手機操作介面

(二) App程式開發

App Inventor 2 有積木式程式的編寫，可以讓學生快速上手簡易的程式設計及開發App和Arduino



App inventor 2 積木式程式設計介面

結論

- 本研究發現，標準化擂台是以「鋁板」方式建構，能增加遊戲進行時的強度與剛性，鋁板可有易振動、且剛性足夠(容易變形)的特性。
- 本研究發現，馬達頻率越高會使紙偶容易分出勝負，而頻率越低會使紙偶無法分出勝負結果。而當馬達頻率相同但電壓不同的狀態下，當電壓越大使振幅越大，越容易產生紙偶的運動與勝負結果。
- 透過克拉尼圖形的驗證：馬達旋轉改變時，以「集中式粉末」觀察，可看到粉末隨著馬達轉動方向不同。
- 根據實驗結果，1220馬達具備穩定的頻率變化、最小的電壓輸出，符合我們設計自動化擂台的基本標準。
- 擂台設計為增加對戰的可變化性，成品設計將馬達安裝於P點(擂台邊中點)。
- 綜合上述研究，開發出利用手機App，以藍芽傳輸訊號，使Arduino的馬達產生正逆轉及轉速，設計具有「勝負」的相撲擂台。

反省與展望

- 本次研究中我們一直在錯誤中尋找問題，原本從馬達振動的問題開始解決，後來再看到克拉尼圖形透過聲音振動，一度想要嘗試使用聲音產生振動。但後和教授、老師討論後，決定專心將馬達振動詳細研究，而非一直改變研究目標。
- 本研究過程中發現，做實驗最困難的一步是決定和準備實驗的器材，我們花了很長的時間解決「如何固定馬達」、「馬達連接的電線一直掉」等問題；實際進行觀察實驗時，又開始煩惱「如何有效紀錄數據」、「如何有效討論數據」等問題。
- 關於未來的研究，我認為可以使用音箱產生振動來替代振動馬達，透過音箱振動，可以同時控制大小聲和高低音，解決操作變因的穩定性。但又會產生「無法使用鋁板」、「紙偶重量可以必須在減輕」等問題，那就是其他的研究了。

七. 紙相撲遊戲規則設計

- (一) 遊戲競賽的雙方必須先進行藍芽連線，並在賽前進行連線與控制測試。
- (二) 當雙方賽前皆將馬達調整至「正轉」、「PWM 70」
- (三) 裁判倒數三秒後開始比賽，勝負規則有三：
 1. 擂台圓圈為直徑20公分，紙偶超過擂台圓圈範圍或先踩線者即為輸家。
 2. 紙偶在擂台內，因任何原因倒下者即為輸家。
 3. 若兩紙偶競賽時間超過2分鐘無法分出勝負，視為平手，則重新進行比賽。
 4. 遊戲採五戰三勝制，玩家可製作任何形式紙偶參與比賽。

參考資料及其他

- 一. 摺紙學堂 (1) 相撲力士。
https://www.youtube.com/watch?reload=g&v=1xQiZQU_BL4
- 二. 相撲土俵紙娃娃DIY：紙相撲簡易製作。
<https://vovo2000.com/f/viewtopic-380415.html>
- 三. 基本版(含相撲台)下載。
<http://www.omocha-album.com/sample/sumo/tontonsumo.html>
- 四. 紙偶擴充下載。
<http://www.omocha-album.com/sample/sumo/tonton.html>
- 五. [摺紙大全] 相撲選手摺紙方法-紙藝大全-生活創意DIY。
<https://zi.media/@diyhtd01com/post/XPUSuR>
- 六. 克拉尼圖形演示。
<https://www.youtube.com/watch?v=E-hF387Soko>
- 七. 由音頻產生奇妙的幾何圖形：克拉尼誕辰 | 科學史上的今天：11/30。(PanSci)
<https://pansci.asia/archives/129543>

