

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(一)科

052317

我來電暈你—電暈馬達轉速之變因研究

學校名稱：國立臺南第一高級中學

作者： 高一 陳芝任 高一 丘文磊 高三 王秉聖	指導老師： 羅焜哲 陳禹潔
---	-----------------------------

關鍵詞：馬達、電暈放電、靜電力

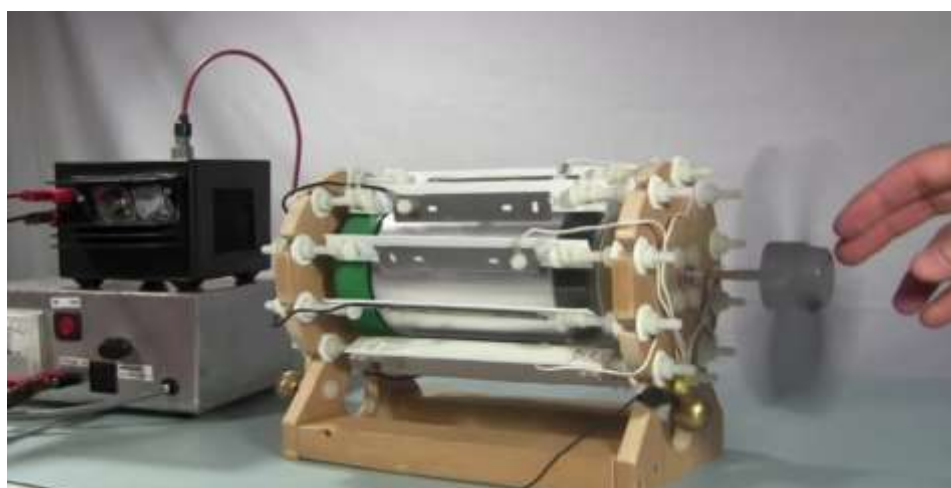
摘要

本研究針對自製的電暈馬達（Corona Discharge Motor）進行探討，探究如何以尖端放電所伴隨的電暈為動力，推動自製的絕緣馬達本體轉動。在研究中，我們首先討論了電暈馬達轉動的原理，並且以數學式建立定量模型；再以實驗對照數學模型對於此現象的描述。實驗中，我們輸入固定的電壓，配合錄影和 Tracker 影片分析軟體，實驗並討論馬達裝置的各種性質對於轉速的影響。

此外，我們企圖尋找能達到最高轉速的最佳馬達設計。我們在杯高 7.6 公分、電極板距塑膠杯 0.15 公分、電極板和塑膠杯切線夾角 45 度、4 層塑膠杯的情況下，找到此研究中的最高轉速（4.46 RPS）。

壹、研究動機

某一次在 YouTube 上偶然看到一部自製馬達影片，影片中的馬達竟然沒有裝磁鐵就轉起來了，這令我感到非常的驚訝。課本裡教的馬達都是利用電磁學的原理，利用磁力轉起來的。這是我第一次看到可以用高壓電，利用打電子的方式讓轉軸轉起來。跟一般的磁力馬達比起來，這種電暈馬達設計上的美感及簡單感使我感到著迷，更令我好奇他是怎麼轉起來的。於是決定和幾位同學一起研究電暈馬達，並找到方法讓它可以轉得更快。



（圖 1-1：YouTube 影片中的電暈馬達）

貳、研究目的

一、電暈馬達實驗裝置的設計與架設

- (一) 電暈馬達的裝置與各部位的名稱
- (二) 各個變因的名稱與定義

二、探討電暈馬達的轉動原理和建立量化數學模型

- (一) 討論電暈的成因以及產生電暈的狀態
- (二) 討論電極板對於鋁箔紙上感應電荷分佈的影響與總電場的改變
- (三) 討論電子在非導體中的運動狀態
- (四) 討論電極板與塑膠杯間庫倫靜電力所產生的總力矩與推論馬達主體的運動方程

三、實驗各種馬達性質對於轉速的影響

- (一) 電極板排列
 - 1. 電極板數量對於轉速的影響
 - 2. 正負電極板的排列對於轉速的影響
 - 3. 電極板和馬達主體的角度對於轉速的影響
 - 4. 電極板長度對於轉速的影響
 - 5. 黏貼絕緣膠帶與否對於轉速的影響
- (二) 馬達主體性質（外：塑膠杯、內：鋁箔紙）
 - 1. 塑膠杯厚度對於轉速的影響
 - 2. 鋁箔紙亮面、霧面朝外對於轉速的影響
 - 3. 鋁箔紙厚度對於轉速的影響

四、尋找最高轉速的馬達裝置

參、研究設備與器材

一、實驗裝置

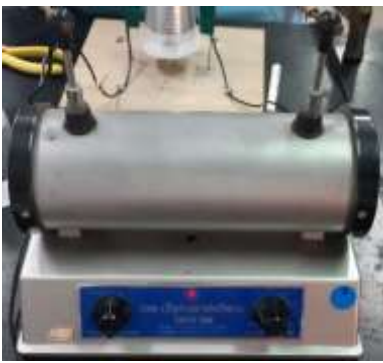
(一) 電源供應器：

高壓感應線圈 (Switch-Type Electronic Induction Coil)，我們可以藉由調整裝置上的旋鈕，改變輸入的電壓大小。如圖 3-1 所示。

(二) 電暈馬達：

如圖 3-2、圖 3-3 所示。詳細構造與部位名稱將在下一部分加以解釋。

各部位製作材料有：底座與轉軸 (木板、竹籤)、馬達主體 (鋁箔紙、塑膠杯)、電極板 (鐵絲、鋁片、電線、絕緣膠帶)。



(圖 3-1：高壓感應線圈)



(圖 3-2：電暈馬達側視圖)



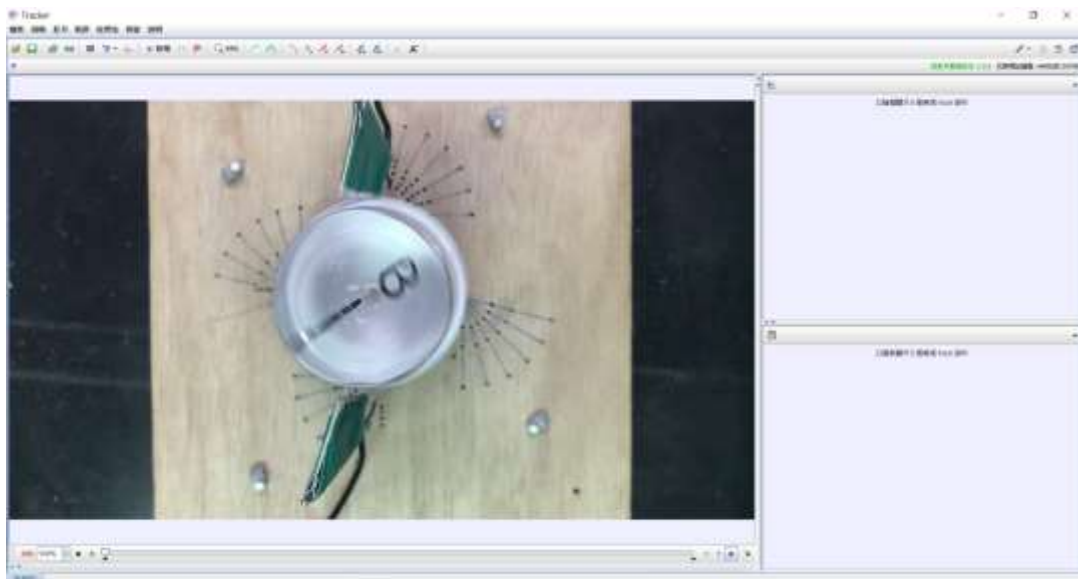
(圖 3-3：電暈馬達俯視圖)

二、分析工具

(一) 高速攝影相機 (120 fps)

(二) 影片分析軟體：Tracker，如下圖 3-4 所示。

(三) 數據處理：Microsoft Excel、Origin Pro 9.0。



(圖 3-4：Tracker 影片分析軟體)

肆、研究過程與方法

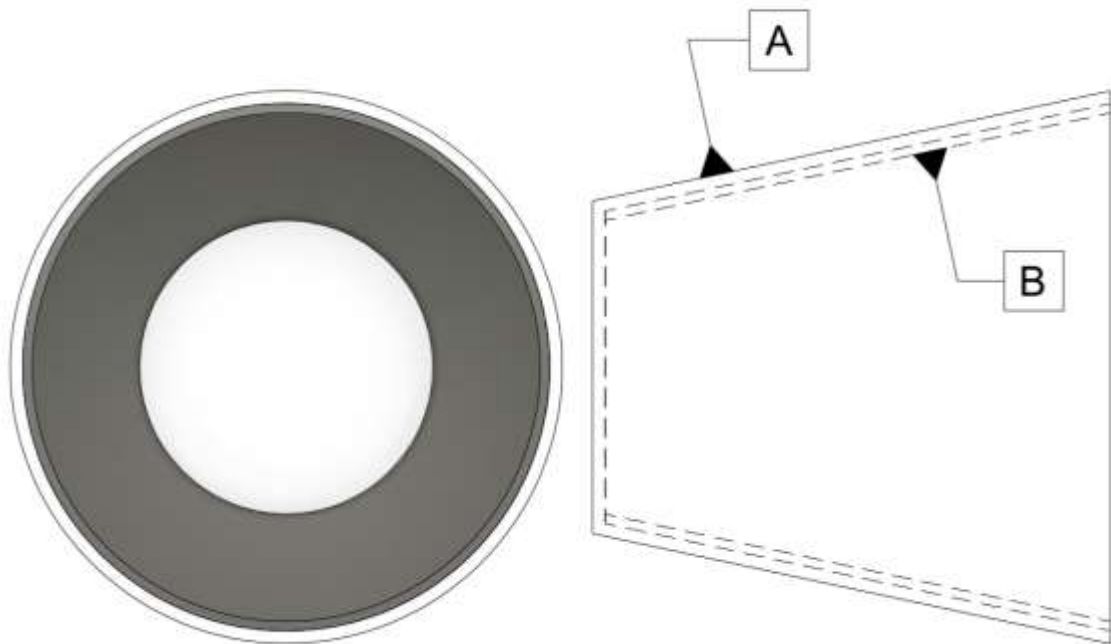
一、製作電暈馬達

(一) 電暈馬達製作步驟

1. 在木板中央鑽洞，並且插入竹籤作為馬達的轉軸。在轉軸周圍量好適當的角度及位置，再次鑽洞作為電極插入的孔洞。此裝置為馬達底座。
2. 裁切為特定形狀的鋁箔紙使得鋁箔紙可以緊密地貼在杯壁，將鋁箔紙捲起放入塑膠杯中，以膠帶固定。剪裁和塑膠杯底部大小相同的圓形紙片，黏紙片貼在塑膠杯底部（這樣可以避免杯子過度晃動）。此裝置為馬達主體。
3. 裁切適當大小的薄鋁片，將靠外側的邊界部分向內折，夾入鐵絲作為支撐電極的桿子，並將導線纏繞在鐵絲外。此裝置為電極板。
4. 依照實驗需求，架設底座、馬達主體以及周遭的電極。

(二) 電暈馬達各部位名稱與示意圖

馬達主體由鋁箔紙和塑膠杯組成。下圖左（圖 4-2）為馬達主體的 3D 模型下視圖，下圖右為馬達主體側視圖。下圖右的 A 部分為塑膠杯；B 部分為鋁箔。實



作後，照片如圖 4-3。

(圖 4-2：馬達主體示意圖)

伍、研究結果

一、製作裝置

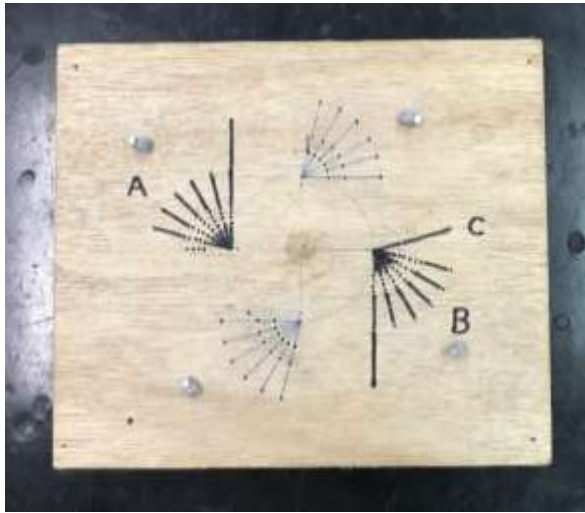


圖九：所有的實驗裝置(上方為高壓感應線圈、中間為電量馬達本體，下方為木板底座平台)

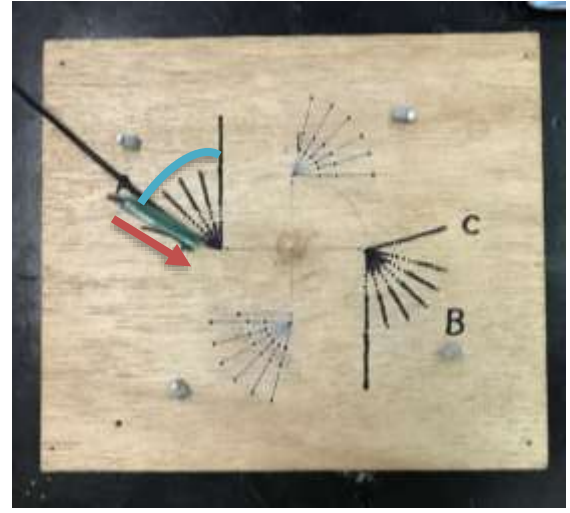
- (一) 電壓越大，轉速越快。但電壓不可以過大，會造成電子直接由負極跳向正極，產生電弧，而不經過塑膠杯，因而不會有轉動的現象
- (二) 摩擦力的影響極大。有時剛啟動時不會立即開始旋轉，若使以一定力，造成塑膠杯有旋轉的初速，使靜摩擦力轉為動摩擦力，則可使塑膠杯開始旋轉，因此我們嘗試了多種塑膠杯和轉軸接觸的方式，大致分為挖洞或直接接觸，挖洞雖然可以減少塑膠杯晃動，但摩擦力太大，將導致很大的誤差，因此本實驗決定將塑膠杯直接輕放在轉軸上來使摩擦力達到最小值。
- (三) 研究可以改變的各式變因，觀察是否會影響馬達轉速
 1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度)
 - (2) 位於塑膠杯內外
 - (3) 亮面朝外或朝內
 - (4) 鋁箔數量(是否為一整面，是否分段)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離(利用不同層數的塑膠杯來改變)
 2. 電極
 - (1) 尺寸(高度、上底、下底)
 - (2) 數量
 - (3) 電源正接或逆接
 - (4) 電極排列(AB 或 AC)
 - (5) 電極和塑膠杯切線之夾角，如圖十二
 - (6) 是否有尖角(尖角數量及角度)，如圖十
 - (7) 是否有包覆絕緣材質
 - (8) 電極與杯緣距離
 3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯數量



圖十：尖角電極



圖十一：木板底座平台(圖中的 A 和 B 和 C 為電極可放置的位置，放在 AB 即為 AB 排列，放在 AC 即為 AC 排列)



圖十二：插上電極的木板底座平台(紅色箭頭為電極角度，藍色弧線為電極角度和切線的夾角)

(四) 由以上的變因我們設計出 30 組不同的實驗

1. 如表一所附，但注意此處的編號並未連號，因為當初設計的所有 38 組實驗中，有 8 組並未完成(未能達到一直旋轉的最低標準，可能在經過一段時間後即停止旋轉，或一開始即無法旋轉)

組別	磁箔			電極			電極			和切線所夾角			是否			杯子				
	尺寸	膠膠	亮面	磁箔	與磁箔	尺寸	數	排列?	電極正負?	度?	尖角?	有包	與磁箔	記號?	杯子	數量?				
	高?	內	外	數	間隔?	高?	上底?	下底?		度?	度數?	覆?	距離?							
1	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	0度	無	無	無	0.15公分	亮	1	
2	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	15度	無	無	無	0.15公分	亮	1	
3	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	30度	無	無	無	0.15公分	亮	1	
4	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	45度	無	無	無	0.15公分	亮	1	
5	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	60度	無	無	無	0.15公分	亮	1	
6	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	無	0.15公分	亮	1	
7	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	4	對稱	正真正負	75度	無	無	無	0.15公分	亮	1	
8	6.10公分	內	外	4	0.75	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	無	0.15公分	A	1	
9	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	15度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
10	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	30度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
11	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	45度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
12	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	60度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
13	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
14	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	15度	40度	8	有	0.15公分	亮	1	
15	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	30度	40度	8	有	0.15公分	亮	1	
16	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	45度	40度	8	有	0.15公分	亮	1	
17	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	60度	40度	8	有	0.15公分	亮	1	
18	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	40度	8	有	0.15公分	亮	1	
26	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AC	正	75度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
27	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AC	負	75度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
28	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	4	對稱	正真正負	75度	無	無	有	0.15公分	亮	1	
29	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分		1	4
30	6.10公分	內	外	1	無	2層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分		2	4
31	6.10公分	內	外	1	無	3層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分		3	4
33	5.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分	C		1
34	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分	亮		1
35	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分	亮		1
36	6.10公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分	亮		1
37	7.6公分	內	外	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分	D		1
38	6.10公分	內	內	1	無	1層	7.6	2.5	1.95	2	AB	正	75度	無	無	有	0.15公分	B		1

表一：所有組別的變因列表

三、由之前設計之 30 組實驗中近一步分析

(一) 實驗一：

在什麼角度下和是否有尖角的電量馬達能有最高的轉速？

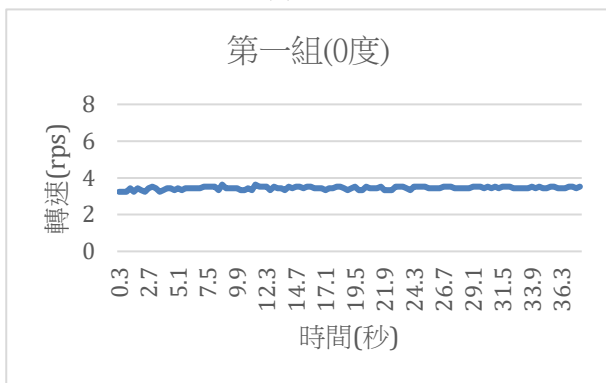
A 組：由實驗變因比較可以得知以表的第 1 到第 6 組的操縱變因為電極和切線之夾角，而其餘皆為控制變因

控制變因

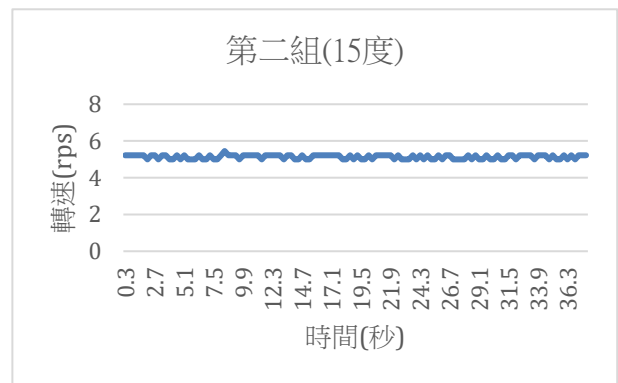
1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 鋁箔一整面(一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 數量 2 個
 - (3) 電源正接
 - (4) 電極排列 AB
 - (5) 無尖角
 - (6) **無包覆絕緣材質**
 - (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個

操縱變因

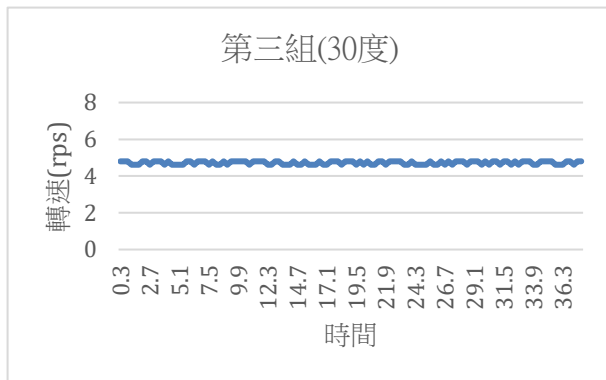
1. 電極
 - (1) 電極和塑膠杯切線之夾角 0 度到 75 度



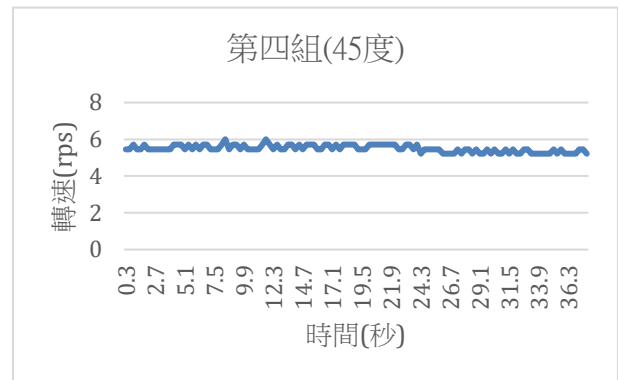
圖十三：第一組(0度)的轉速對時間圖



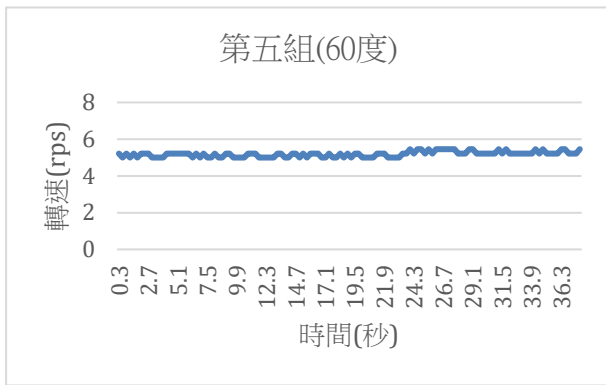
圖十四：第二組(15度)的轉速對時間圖



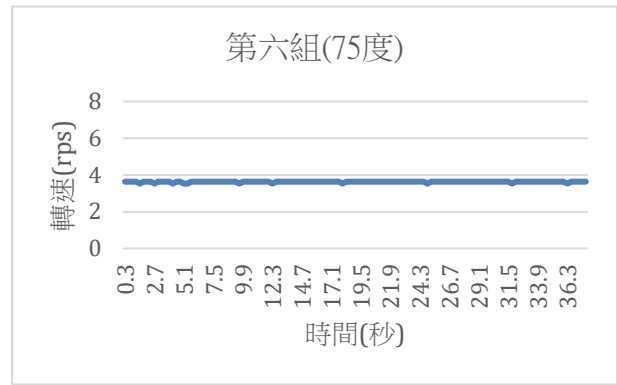
圖十五：第三組(30度)的轉速對時間圖



圖十六：第四組(45度)的轉速對時間圖



圖十七：第五組(60度)的轉速對時間圖



圖十八：第六組(75度)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
1(0度)	3.44
2(15度)	5.13
3(30度)	4.72
4(45度)	5.49
5(60度)	5.18
6(75度)	3.63

表二：第一到六組(A組)平均轉速表

由以上數據(A組)可以得知

1. 第4組(電極與切線夾角45度)有最高的馬達轉速，而第6組(電極與切線夾角75度)有最低的馬達轉速。

B組：由實驗變因比較可以得知以表的第9到第13組的操縱變因為電極和切線之夾角，而其餘皆為控制變因

控制變因

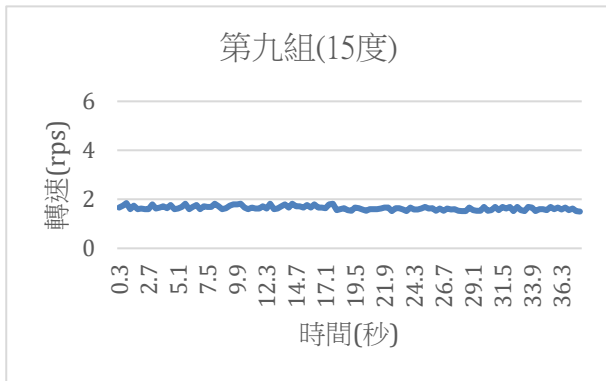
1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 鋁箔一整面(一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 數量 2 個
 - (3) 電源正接
 - (4) 電極排列 AB
 - (5) 無尖角
 - (6) 有包覆絕緣材質
 - (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
3. 塑膠杯

(1) 塑膠杯一個

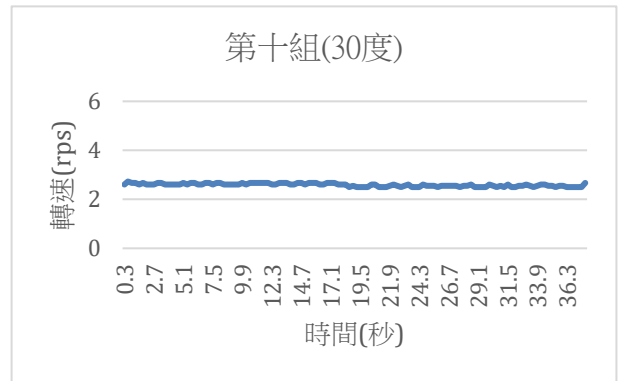
操縱變因

1. 電極

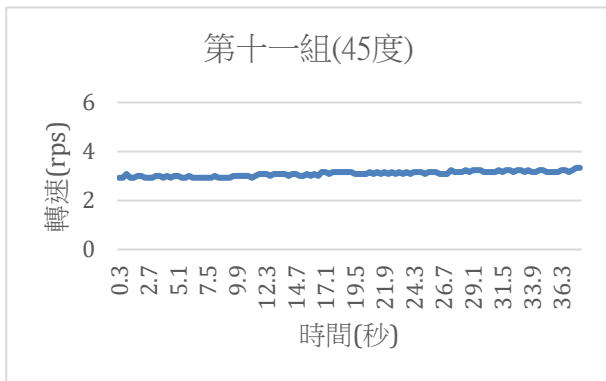
(1) 電極和塑膠杯切線之夾角 15 度到 75 度



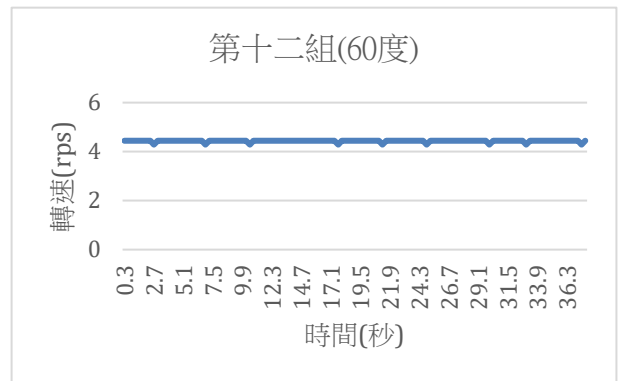
圖十九：第九組(15 度)的轉速對時間圖



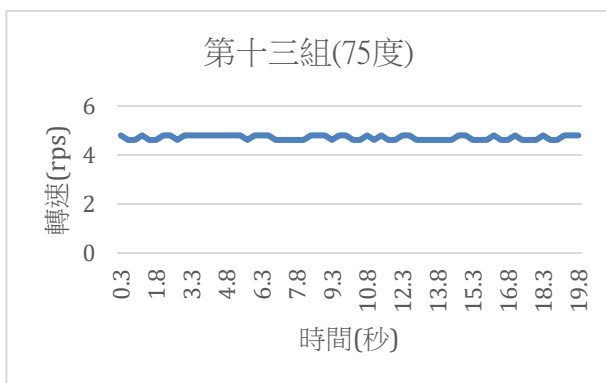
圖二十：第十組(30 度)的轉速對時間圖



圖二十一：第十一組(45 度)的轉速對時間圖



圖二十二：第十二組(60 度)的轉速對時間圖



圖二十三：第十三組(75 度)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
9(15 度)	1.64
10(30 度)	2.59
11(45 度)	3.09
12(60 度)	4.43
13(75 度)	4.70

表三：第九到十三組(B 組)平均轉速表

由以上數據(B 組)可以得知

1. 由第 9 組到第 13 組的變化為遞增，到達電極與切線夾角 75 度時，轉速最大。
2. 第 11 組的轉速隨著時間些微上升，可以得知電子的推力大於塑膠杯與軸之間的動摩擦力，而使馬達加速。

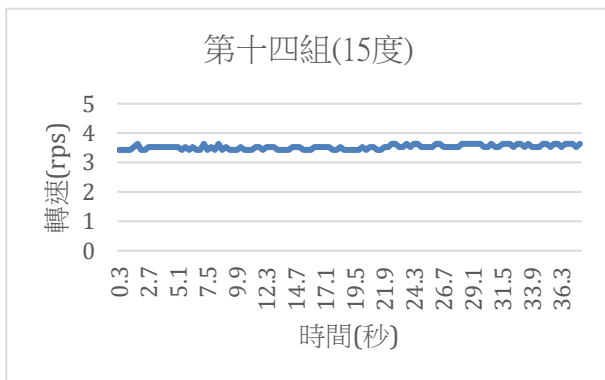
C 組：由實驗變因比較可以得知以表的第 14 到第 18 組的操縱變因為電極和切線之夾角，而其餘皆為控制變因

控制變因

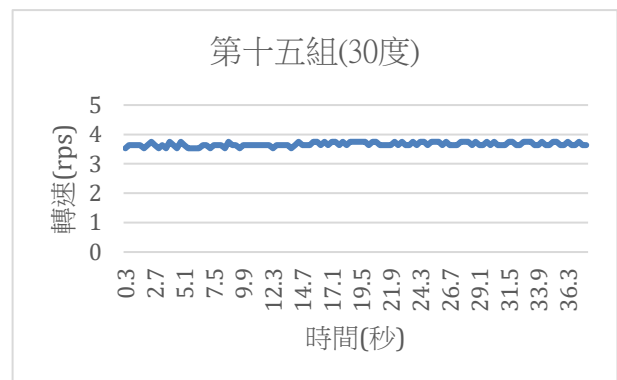
1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 鋁箔一整面(一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 數量 2 個
 - (3) 電源正接
 - (4) 電極排列 AB
 - (5) 有尖角(尖角為 40 度、共 8 個)
 - (6) 有包覆絕緣材質
 - (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個

操縱變因

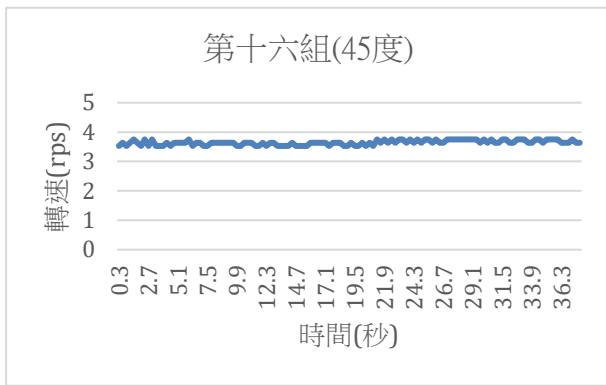
1. 電極
 - (1) 電極和塑膠杯切線之夾角 15 度到 75 度



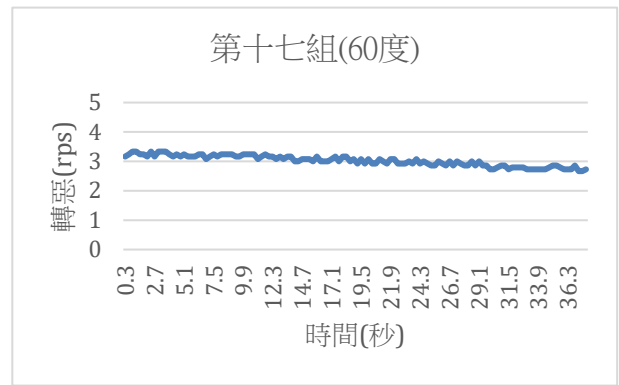
圖二十四：第十四組(15 度)的轉速對時間圖



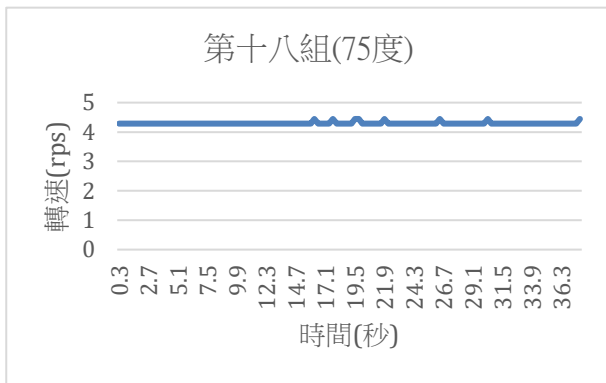
圖二十五：第十五組(30 度)的轉速對時間圖



圖二十六：第十六組(45度)的轉速對時間圖



圖二十七：第十七組(60度)的轉速對時間圖



圖二十八：第十八組(75度)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
14(15度)	3.52
15(30度)	3.66
16(45度)	3.64
17(60度)	3.02
18(75度)	4.30

表四：第十四到十八組(C組)平均轉速表

由以上數據(C組)可以得知

1. 第 18 組(電極和塑膠杯切線夾角 75 度)時，馬達轉速最快，而且明顯快於別組。
2. 第 14 組(電極和塑膠杯切線夾角 15 度)時，馬達轉速最慢。
3. 第 17 組的轉速隨著時間些微下降，可以得知電子的推力小於塑膠杯與軸之間的動摩擦力，而使馬達減速。

由以上的第 1 組到第 6 組、第 9 組到第 13 組、第 14 組到第 18 組(A 組到 C 組)，可以得知

1. 在電極有包覆時，電極和塑膠杯切線夾角 75 度，馬達轉速最快
2. 在電極沒包覆時，電極和塑膠杯切線夾角 45 度，馬達轉速最快
3. 單看馬達轉速最快的情形時，是發生在電極沒有包覆的狀態
4. 在 45 度以下時，有尖角的電極會勝過沒有尖角的電極
5. 在同樣的角度下時除了 75 度以外，有包覆的都比沒有包覆的差

(二) 實驗二：

幾片電極下及電源排列下電量馬達能有最高的轉速？

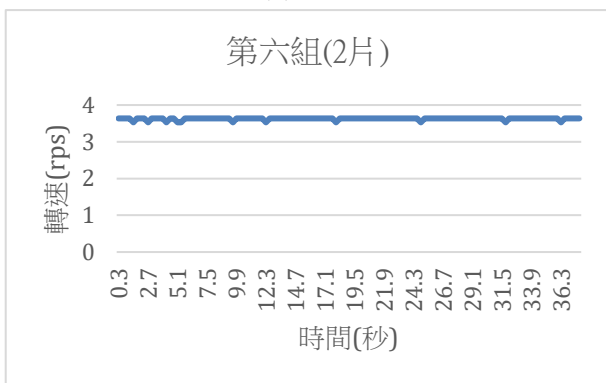
D組：由實驗變因比較可以得知以表的第 6 和第 7 組和第 13 組和第 28 組的操縱變因為電極數量，而其餘皆為控制變因

控制變因

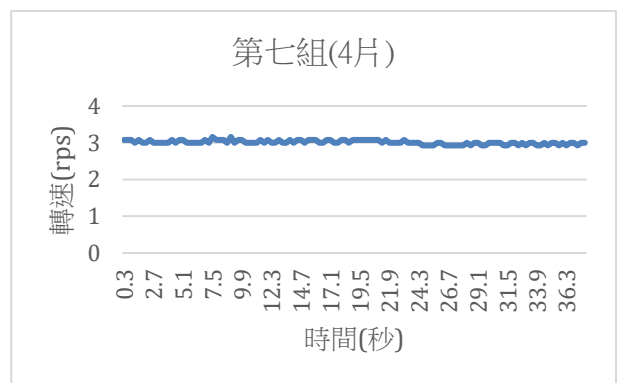
1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 鋁箔一整面(一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 電極和塑膠杯切線之夾角 75 度
 - (3) 無尖角
 - (4) 無包覆絕緣材質
 - (5) 電極與杯緣距離 0.15 公分
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個
 - (2) 電源正接和正負正負排列

操縱變因

1. 電極
 - (1) 電極數量 2 及 4



圖二十九：第六組(2片)的轉速對時間圖



圖三十：第七組(四片)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
6(2片)	3.63
7(4片)	3.01

表五：第六和第七(D組)平均轉速表

由以上數據(D組)可以得知

1. 第 6 組(電極 4 片)比第 7 組(電極 2 片)，馬達轉速更快，可以得知 2 片電極時比 4 片電極佳。

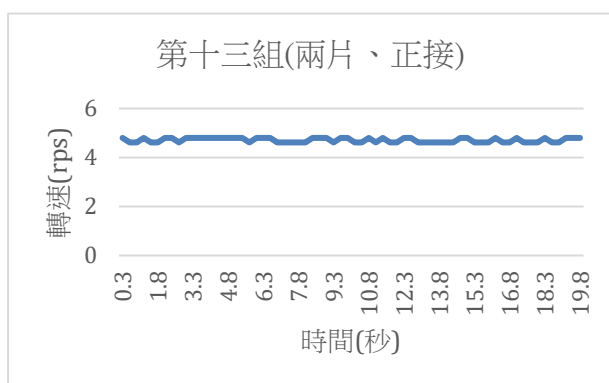
E組：由實驗變因比較可以得知以表的第 13 和第 28 組的操縱變因為電極數量和電源排列，而其餘皆為控制變因

控制變因

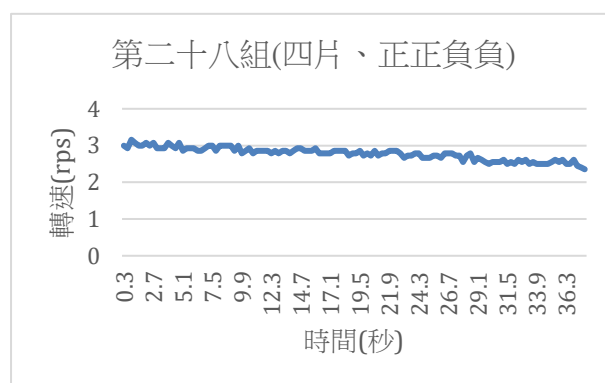
1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 鋁箔一整面(一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 電極和塑膠杯切線之夾角 75 度
 - (3) 無尖角
 - (4) 有包覆絕緣材質
 - (5) 電極與杯緣距離 0.15 公分
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個

操縱變因

1. 電極
 - (1) 電極數量 2 及 4
 - (2) 電源正接和電源正正負負排列



圖三十一：第十三組(兩片、正接)的轉速對時間圖



圖三十二：第二十八組(四片、正正負負)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
13(兩片、正接)	4.70
28(四片、正正負負)	2.78

表六：第三十一和第三十二(E組)平均轉速表

由以上數據(E組)可知

1. 第 13 組的馬達轉速明顯優於第 28 組的，可以再次確認四片電極並亮片電極的差。
2. 第 28 組的馬達轉速隨著時間而些微下降，可以之得其電極給與馬達的推力不足以超過馬達轉軸的動摩擦力。

由第 6 組、第 7 組、第 13 組、第 28 組(D 組、E 組)的同型中可得知

1. 第 6 組和第 7 組比較時，第 7 組的轉速比第 6 組的慢了 16.9%，但第 13 組和第 28 組比較時，第 28 組的轉速少了 40.8%，這兩組比較分別建立在同樣的控制變因下，前組都固定未包覆，而後組都固定包覆，但兩組比較時是差在電源排列方式，因此可以由轉速下降的百分比，得知都是四片電極中，哪一種的電源排列方式(正正負負或正負正負)較好，由實驗得知，正負正負的排列較正正負負的為佳。

(三) 實驗三：

在何者兩片電極之排列和電源排列下能有最高的馬達轉速?

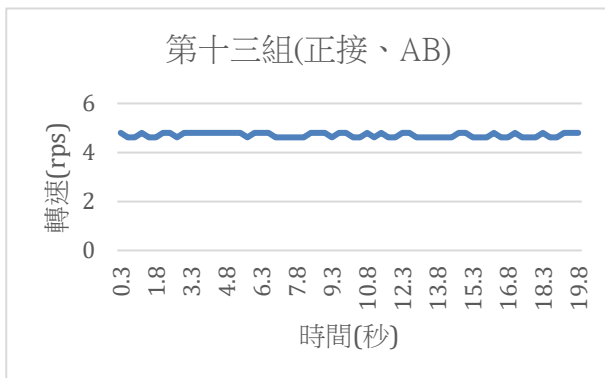
F 組：由實驗變因比較可以得知以表的第 13 和第 26 組和第 27 組的操縱變因為電極數量，而其餘皆為控制變因

控制變因

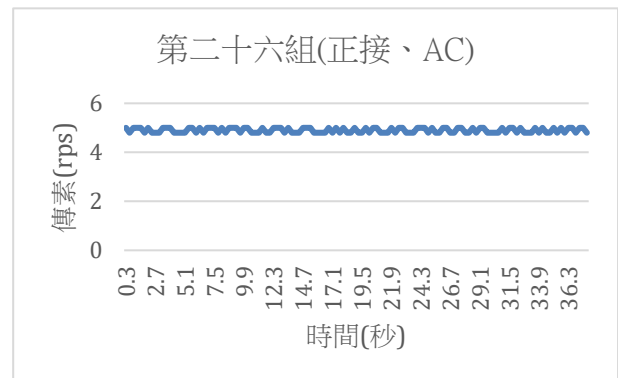
1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 鋁箔一整面(一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 電極和塑膠杯切線之夾角 75 度
 - (3) 無尖角
 - (4) 有包覆絕緣材質
 - (5) 電極與杯緣距離 0.15 公分
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個

操縱變因

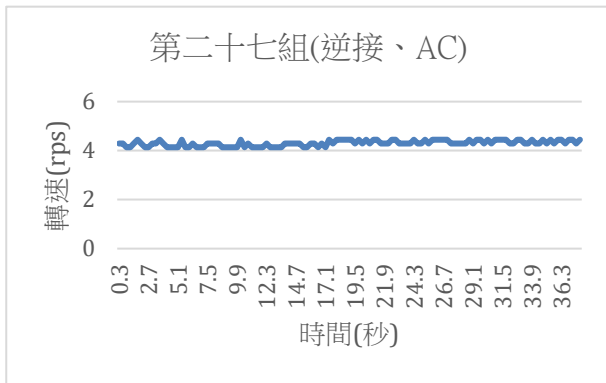
1. 電極
 - (1) 電源正接或逆接
 - (2) 電極排列(AB 或 AC)



圖三十三：第十三組(正接、AB)的轉速對時間圖



圖三十四：第十三組(正接、AC)的轉速對時間圖



圖三十五：第二十七組(逆接、AC)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
13(正接、AB)	4.70
26(正接、AC)	4.89
27(逆接、AC)	4.30

表七：第十三組和第二十六組和第二十七組(F 組)平均轉速表

由以上數據(F 組)可以得知

1. 第 26 組(電源正接)比第 27 組(電源逆接)，馬達轉速更快，可以得知電源正接時比電源逆接佳。
2. 而以較快的 AC 排列(電源正接)，轉速會比第 13 組快，但若以較慢的 AC 排列(電源逆接)，轉速會比第 13 組慢，因此可以得知電源逆接會減慢馬達的轉速。

(四) 實驗四：

在何種鋁箔高度和電極高度的組合下，能有馬達的最高轉速?

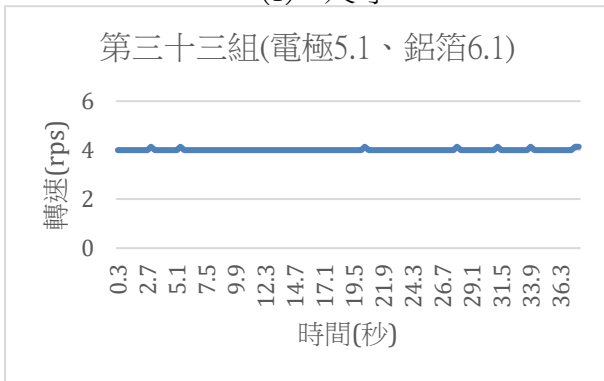
G 組：由實驗變因比較可以得知以表的第 33 組到第 37 組的操縱變因為電極高度和鋁箔高度，而其餘皆為控制變因

控制變因

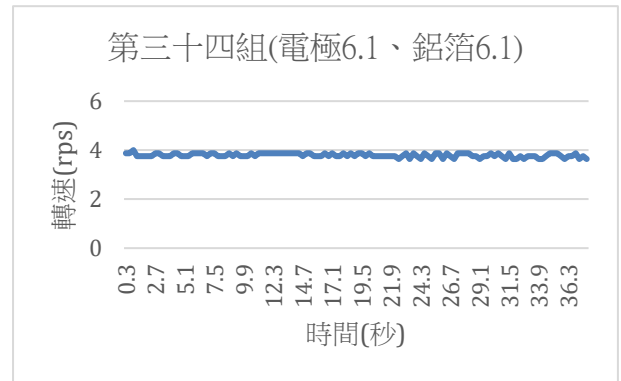
1. 鋁箔
 - (1) 位在塑膠杯內
 - (2) 亮面朝外
 - (3) 鋁箔一整面(一整面)
 - (4) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 數量 2 個
 - (3) 電源正接
 - (4) 電極排列 AB
 - (5) 無尖角
 - (6) 有包覆絕緣材質
 - (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
 - (8) 電極和塑膠杯切線之夾角 75 度
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個

操縱變因

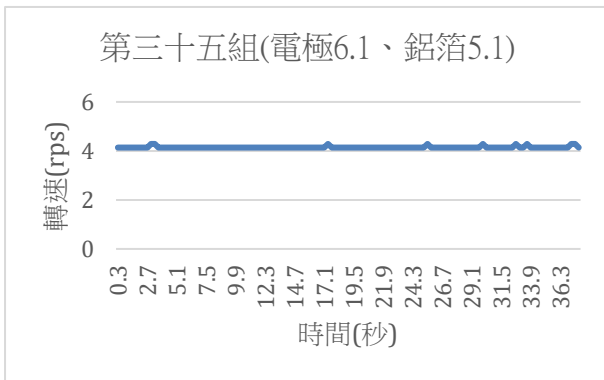
1. 鋁箔
 - (1) 尺寸
2. 電極
 - (1) 尺寸



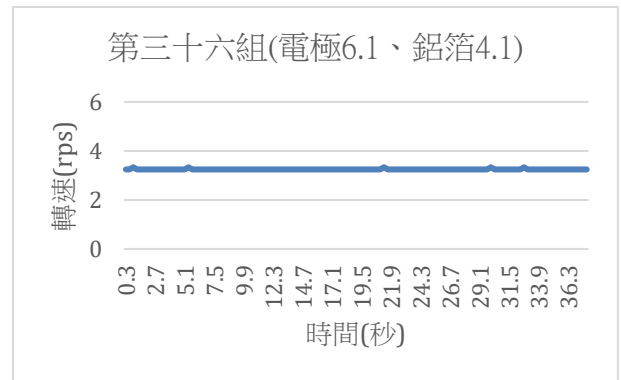
圖三十六：第三十三組(電極 5.1、鋁箔 6.1)的轉速對時間圖



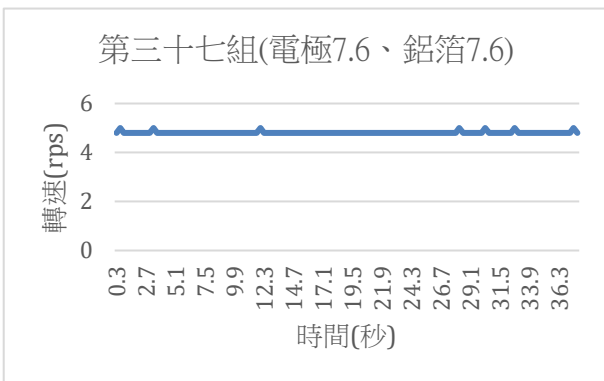
圖三十七：第三十四組(電極 6.1、鋁箔 6.1)的轉速對時間圖



圖三十八：第三十五組(電極 6.1、鋁箔 5.1)的轉速對時間圖



圖三十九：第三十六組(電極 6.1、鋁箔 4.1)的轉速對時間圖



圖四十：第三十七組(電極 7.6、鋁箔 7.6)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
33(電極 5.1、鋁箔 6.1)	4.00
34(電極 6.1、鋁箔 6.1)	3.79
35(電極 6.1、鋁箔 5.1)	4.15
36(電極 6.1、鋁箔 4.1)	3.24
37(電極 7.6、鋁箔 7.6)	4.81

表八：第三十三組到第三十七組(G 組)平均轉速表

由以上數據(G 組)可以得知

1. 第 33 組(5.1 公分高的鋁箔和 7.6 公分高的電極)會比第 13 組(6.1 公分高的鋁箔和 7.6 公分高的電極)慢，且第 13 組又會比第 37 組(7.6 公分高的鋁箔和 7.6 公分高的電極)慢。
2. 統整第一點可知，在電極高度固定時，鋁箔高度越小，馬達轉速越慢。
3. 第 34 組(6.1 公分高的鋁箔和 6.1 公分高的電極)會比第 35 組(6.1 公分高的鋁箔和 5.1 公分高的電極)快，且第 35 組又會比第 36 組(6.1 公分高的鋁箔和 4.1 公分高的電極)快。
4. 統整第三點可知，在鋁箔高度固定時，電極高度越高，馬達轉速越快。
5. 可以由一到四點的推論中，得知 7.6 公分高的鋁箔和 7.6 公分高的電極的組合會有最高的馬達轉速，而已 37 組實驗的數據來看，確實第 37 組的馬達轉速最快。

(五) 實驗五：

鋁箔亮面朝內或外，能有馬達的最高轉速？

H 組：由實驗變因比較可以得知以表的第 38 組和第 13 組的操縱變因為鋁箔亮面朝外或亮面朝內，而其餘皆為控制變因

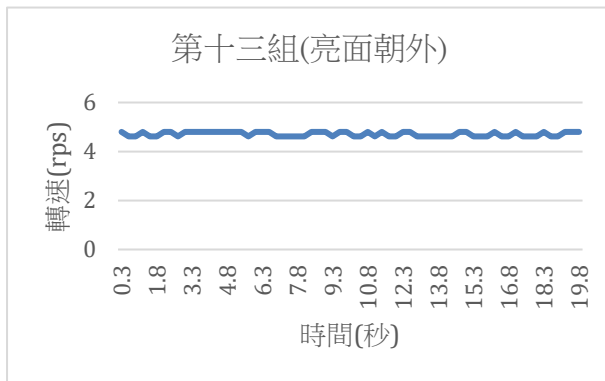
控制變因

1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 數量 1 個(一整圈)
 - (4) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 數量 2 個
 - (3) 電源正接
 - (4) 電極排列 AB
 - (5) 無尖角
 - (6) 有包覆絕緣材質
 - (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
 - (8) 電極和塑膠杯切線之夾角 75 度
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個

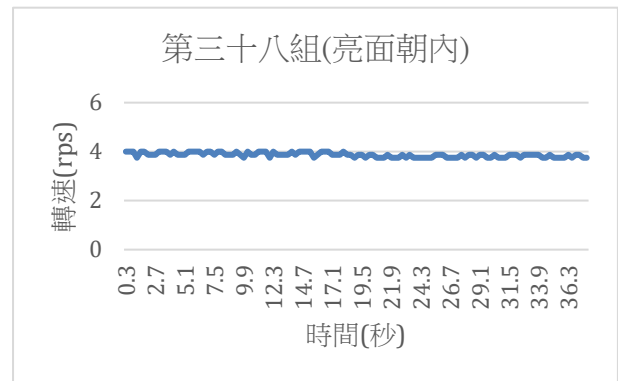
操縱變因

1. 鋁箔

(1) 亮面朝外或內



圖四十一：第十三組(亮面朝外)的轉速對時間圖



圖四十二：第三十八組(亮面朝內)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
13(亮面朝外)	4.70
38(亮面朝內)	3.86

表九：第十三組和第三十八組(H 組)平均轉速表

由以上數據(H 組)可以得知

1. 第 13 組(亮面朝外)會比第 38 組(亮面朝內)快，因此可以知道亮面朝外較好。

(六) 實驗六：

何者鋁箔數量會有馬達最高的轉速？

I 組：由實驗變因比較可以得知以表的第 6 組和第 8 組的操縱變因為鋁箔數量，而其餘皆為控制變因

控制變因

1. 鋁箔

- (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
- (2) 位在塑膠杯內
- (3) 亮面朝外
- (4) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯

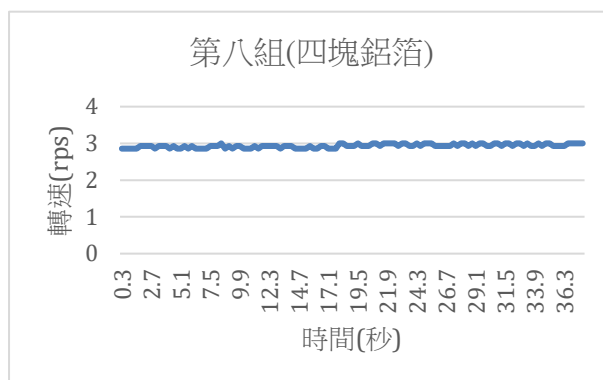
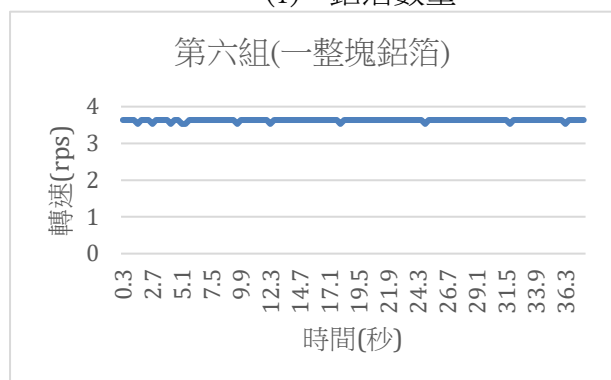
2. 電極

- (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
- (2) 數量 2 個
- (3) 電源正接
- (4) 電極排列 AB
- (5) 無尖角
- (6) 無包覆絕緣材質
- (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
- (8) 電極和塑膠杯切線之夾角 75 度

3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯一個

操縱變因

1. 鋁箔
 - (1) 鋁箔數量



圖四十三：第六組(一整塊鋁箔)的轉速對時間圖

圖四十四：第八組(四塊鋁箔)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
6(一整塊鋁箔)	3.63
8(四塊鋁箔)	2.93

表十：第六組和第八組(I 組)平均轉速表

由以上數據(I 組)可以得知

1. 第 13 組(一整塊鋁箔)會比第 38 組(4 塊鋁箔、間隔 0.75 公分)快，因此可以知道一整塊鋁箔較好。

(七) 實驗七：

鋁箔和塑膠杯最外側的距離幾層塑膠杯，馬達會有最高的轉速？

J 組：由實驗變因比較可以得知以表的第 29 組和第 30 組和第 31 組的操縱變因為鋁箔和塑膠杯最外側的距離幾層塑膠杯，而其餘皆為控制變因

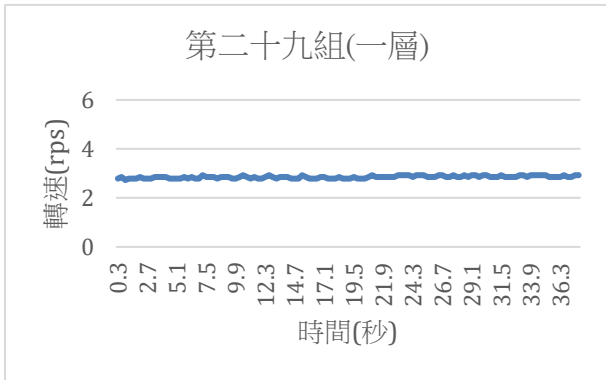
控制變因

1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 6.1 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 數量 1 個 (一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離一層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 數量 2 個
 - (3) 電源正接
 - (4) 電極排列 AB
 - (5) 無尖角
 - (6) 有包覆絕緣材質
 - (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
 - (8) 電極和塑膠杯切線之夾角 75 度

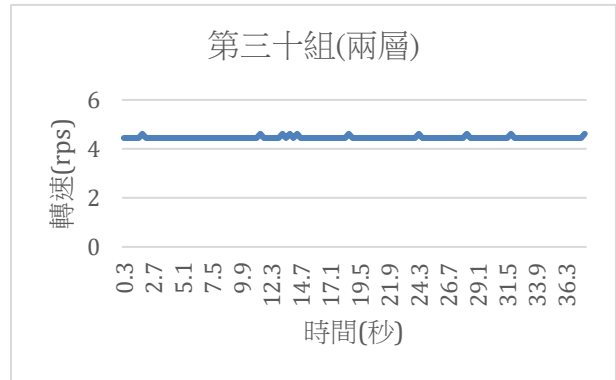
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯四個

操縱變因

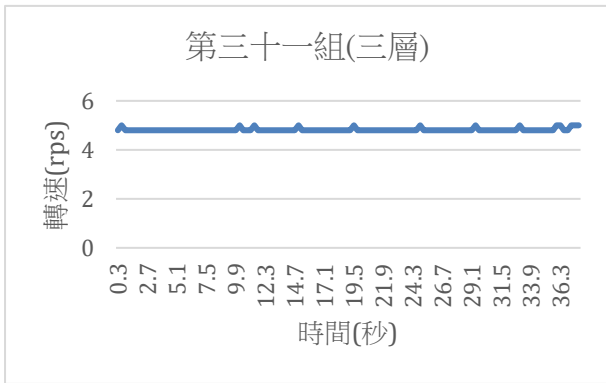
1. 鋁箔
 - (1) 鋁箔和塑膠杯最外側距離不同層數的塑膠杯



圖四十五：第二十九組(一層)的轉速對時間圖



圖四十六：第三十組(兩層)的轉速對時間圖



圖四十七：第三十一組(三層)的轉速對時間圖

組別	平均轉速(rps)
29(一層)	2.85
30(兩層)	4.45
31(三層)	4.82

表十：第二十九到三十一組和第八組(J 組)平均轉速表

由以上數據(J 組)可以得知

1. 第 31 組(鋁箔和塑膠杯最外側距離 3 層數的塑膠杯)會比第 30 組(鋁箔和塑膠杯最外側距離 2 層數的塑膠杯)快，而第 30 組又比第 29 組(鋁箔和塑膠杯最外側距離 1 層數的塑膠杯)，因此可以知道隔三層塑膠杯比較好。

陸、討論

一、實驗一：在什麼角度下和是否有尖角的電量馬達能有最高的轉速？

- (一) 在電極和塑膠杯夾角 75 度時，電極有包覆絕緣材質時較好，可能是因為在電極包覆時，電子不易由電極的側面射出，而所有的電子將由邊緣射出，因此會對塑膠杯有較大的推力。
- (二) 在電極和塑膠杯夾角 45 度時，電極無包覆時較好，可能是因為在電極無包覆時，較多的電子將由側面側處，但不同於 75 度的是，在 45 度時，因為角度較小，由側面射出的電子仍能使塑膠杯加速。
- (三) 在同樣的角度下時除了 75 度以外，有包覆的都比沒有包覆的差，且所以組繫中最快的一組是發生在沒有包覆的 45 度時，因此可能包覆會影響電子射出的容易程度，在未包覆時雖然電子較不集中，但相對來說電子也較多，才會使轉速更快，而在 75 度時因為電極的大部分太接近塑膠杯本體了，大多的電子由側面釋放，又在大角度時，側面釋放的電子無法使塑膠杯加速，因此無包覆的電極才會比較差。
- (四) 有包覆的電極隨著角度增加，馬達轉速也增加，可能是因為在小角度時，推動馬達轉動的電子並未完全打在塑膠杯上(因為電極和塑膠杯之間間隙)，因此越接近垂直(實驗至多至 75 度)時，轉速越大。
- (五) 在電極和切線夾角小於 45 度時，有尖角的電極會勝過沒有尖角的，可能是因為有尖角的電極角容易讓射出去的電子偏折，因為電子極中自尖端放出，而又因為尖角並非理想中的平坦，因此堆積在尖端的電子容易以高速向各放向散射，而在 45 度以下時，此散射現象能使更多電子推動塑膠杯(相較於無間角的情形)，因此轉速更快，但在大於 45 度時，無尖角的電極反而能更均勻切定向的將電子射出，因此轉速較有尖角的高。

二、實驗二：幾片電極下電量馬達能有最高的轉速？

- (一) 兩片電極時的馬達轉速比四片電極時的馬達轉速更快，可能是因為在我們的四片電極的實驗架設中，我們是採正負正負交替的排列，可能某些部分的電子因為電極互相太靠近，而產生電弧，因此喪失了一部分電子的動能，才會使轉速更慢。
- (二) 正負正負的電源排列較正正負負的電源排列為佳，因為正正負負排列時，塑膠杯的兩個負極電極射出之電子將快速在塑膠杯上累積，而另一邊的正極將會吸引這些電子，而使塑膠杯轉速下降，為了克服正極吸引電子而對塑膠杯做負功的現象，我們做了不同電極的排列方式，將在實驗三敘述。

三、實驗三：在何者兩片電極之排列和電源排列下能有最高的馬達轉速？

- (一) 在 AC 排列下，電源正接，馬達的轉速更快，因為如實驗二討論第三點所述，在以往的 AB 排列中，一邊的負極電極射出電子推動馬達，一邊的正極電極吸引電子卻反而是對馬達做負功，原因在於 AB 排列中，兩個電極是反方向的，但作用力又是反方向的，因此才會造成負極做正功，而正極卻做負功，而在 AC 排列中，因為倒置了正極方向，使正極也能做正功，轉速才會提高。
- (二) 電源逆接不只不能提升速度，反而還會拖慢速度，由 AC 排列，電源逆接的實驗中可知，這組比我們的對照組 AB 排列的還慢，因此更可確認正極的確吸引塑膠杯。

四、**實驗四**：在何種鋁箔高度和電極高度的組合下，能有馬達的最高轉速？

- (一) 在鋁箔高度固定時，電極高度越高，馬達轉速越快，因為越高的電極能射出更多的電子，即使電極高度已經超過鋁箔的高度了，此舉仍然有效。
- (二) 在電極高度固定時，鋁箔高度越高，馬達轉速越快，因為越高的鋁箔能接收更多的電子，使更多的電子能堆動塑膠杯。
- (三) 因此可以預測在鋁箔高度最高(7.6 公分)和電極高度最高(7.6 公分)時，馬達轉速最快，而第 37 組數據的確吻合此趨勢，顯示了理論和實驗的吻合。

五、**實驗五**：鋁箔亮面朝內或朝外，能有最高的馬達轉速？

- (一) 亮面朝外較亮面朝內佳，推測是因為亮面相較於霧面來說導電度較佳，因此較容易吸引電子，而得到較大的的推力，而有較高的轉速。

六、**實驗六**：何者鋁箔數量會有馬達最高的轉速？

- (一) 一整塊鋁箔較四塊鋁箔佳為佳，可能是因為四塊鋁箔間那些空隙，因為背後缺乏鋁箔而無法吸引電子，所以受到的推力較小，而使轉速較慢。

七、**實驗七**：鋁箔和塑膠杯最外側局離幾個塑膠杯，馬達會有最高轉速？

- (一) 距離三層塑膠杯的會比距離兩層塑膠杯的快，而距離兩層的又比距離一層的快，可推測或許是因為這樣電極和鋁箔間的介質變多，可以儲存更多的電，類似電容的概念，又抑或是因為正極做負功的影響變小，目前的實驗不足，還不足以驗證此假說。

八、**誤差討論**

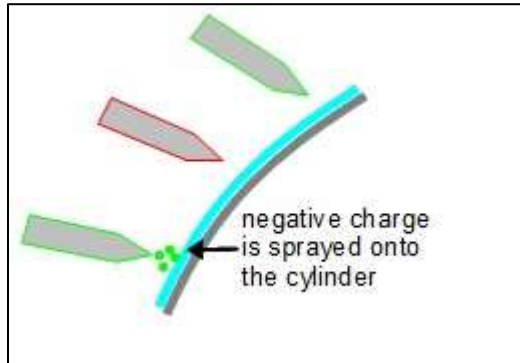
- (一) 塑膠杯和軸所接觸的位置仍有摩擦力，也許量質部位太大，但對於非常輕的塑膠杯而言，所造成的誤差就會較可觀。
- (二) 塑膠杯非圓柱狀，而是有些許的傾斜角度，如切掉頂的圓錐形，因此在安裝電極時，無法同時滿足整片電極到杯緣距離相等，而可能造成杯子受力不均，而產生搖晃的現象。

柒、結論

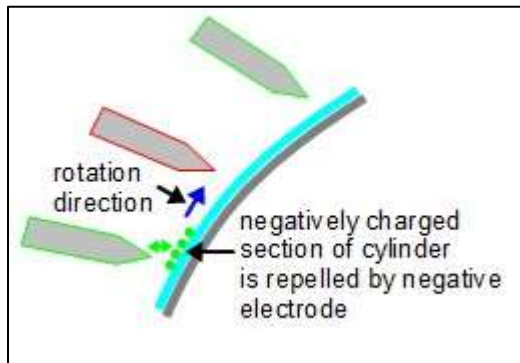
一、對於庫倫靜電力的探討

(一) 運作順序

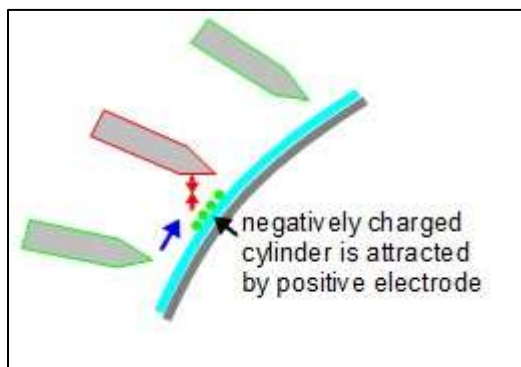
第一步：一個負極的電極散播負電荷到面對它的轉軸表面上。



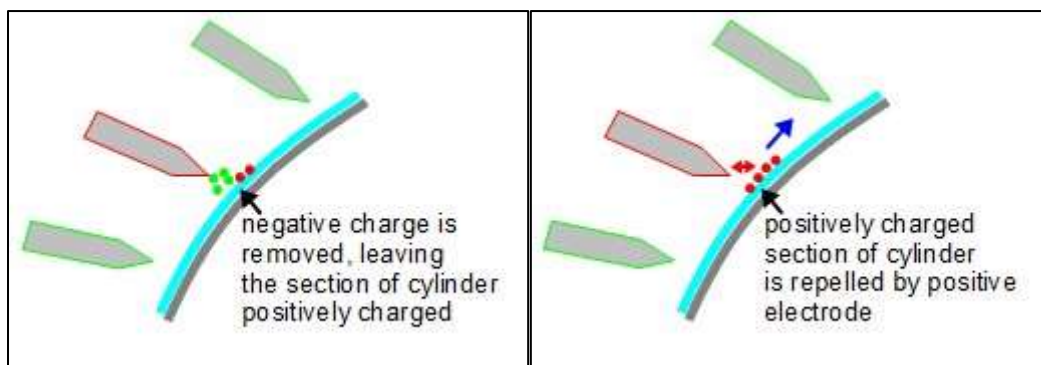
第二步：電子會互相排斥，所以轉軸表面上的電子便想要離開，但是又因為轉軸表面是介電體所以電子不會流走只能微微偏向分子中的某一側。所以他們只好帶著整個轉軸轉向，遠離負電極。轉軸便開始動。而至於轉動的方向則取決於電極所指的方向，因為電極偏的方向將得到較多的電子。因此產生的庫倫靜電力更大。



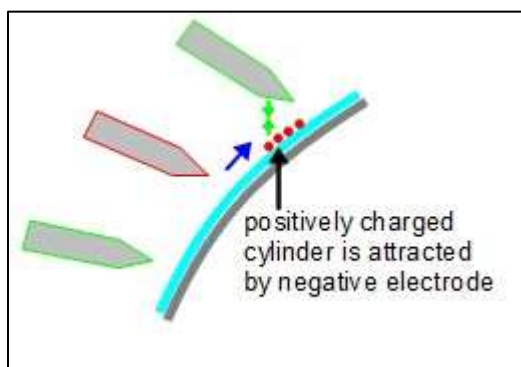
第三步：當帶負電的轉軸表面接近正極端的時候便會受到它的吸引，而使部分帶負電的轉軸，逐漸轉向正極。



第四步：當帶負電的轉軸表面經過正電極時負電荷又從轉軸上跳回電極上，因此表面開始帶部分正電，而正電極又再次和轉軸產生斥力而繼續轉動。



第五步：再一次地，帶正電的轉軸表面再接近負極時受到吸引，且在經過負電極表面時接收負電荷而從部分帶正轉為部份帶負，並受到下一個正極吸引。



回到第一步：電子再度由負極散播，由正極回收，周而復始。

(二) 運作原理

1. 庫倫靜電力：庫倫定律表明，在真空中兩個靜止點電荷之間的交互作用力與距離平方成反比，與電量乘積成正比，作用力的方向在它們的連線上，同號電荷

相斥，異號電荷相吸。庫侖定律的標量形式可以表示為

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

2. 尖端放電：尖端放電的原因主要為導體尖端周圍的空氣被導體產生的電場電離。當導體周圍電場的值(Potential gradient)夠高來形成一個可作為導體的區域時，將會發生放電現象，但其電場值並不足以引起電壓崩潰(Electrical breakdown)或對附近的物件造成電弧現象。
3. 離子風：當一個高電壓連結一個尖銳電極使其產生電暈放電時，電極周遭空氣分子遭游離化，游離的空氣分子和電極具相同電荷故被排開並以此造成一股風，這股風便被稱為離子風(ionic wind)。我們的電暈馬達動力來源一部分便是來自股風造成的推力。但是這股風在真空的低壓環境時才會具有足夠的推力來推動馬達，實驗時我們僅觀察到粉末被吹開的情況。

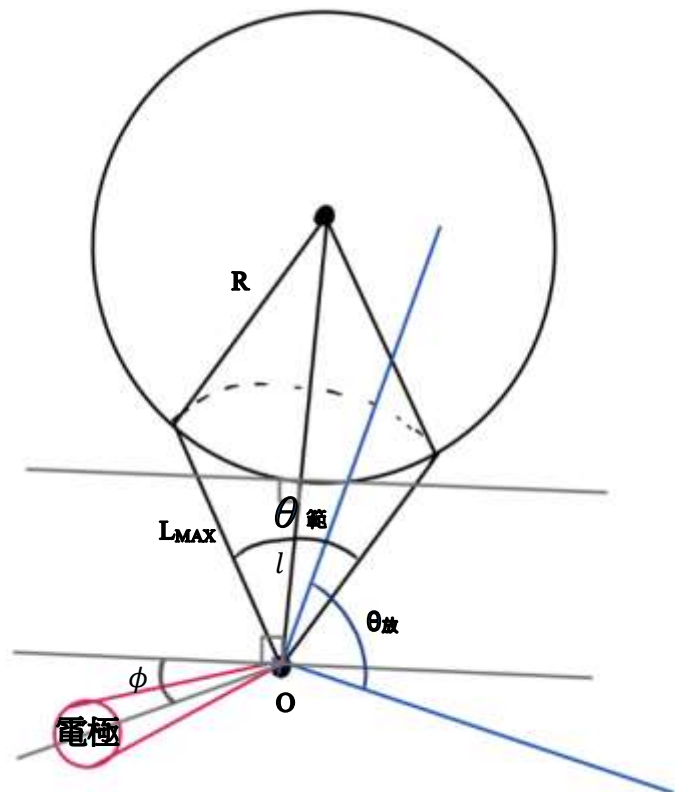
(三) 量化計算

為了量化轉軸的角速度(ω)我們**假設**尖端放電所放電子只會出現在其延伸線上左右張開總共 $\theta_{放}$ 的範圍內。並且因 Peek' s Law 所敘述的，我們可知當放電電壓(V)固定時，其所能放電距離(L_{max})有最大值。因此，從下圖中，我們可以看到 $\theta_{範}$ 是可以藉由 L_{max} 和 R 的值算出來。其值如下：

$$\theta_{範} = \arccos\left(\frac{R^2 - L^2 - (R + l)^2}{-2L(R + l)}\right)$$

此外，尖端放電所放出的電子只會在 $\theta_{範}$ 內，且只有 $\theta_{放}$ 內會放電子，其重疊範圍方為真實的電子所在區域，假設其角度為 $\theta_{重}$ 。其角度為下：

$$\theta_{重} = \frac{\theta_{放}}{2} + \phi + \frac{\theta_{範}}{2} - 90$$



假設其附著在轉軸表面上的電子可用其中點(M)表達其總電荷，如下圖:



$$\theta_A = \frac{-\theta_{放} - 2\phi + 180}{4}$$

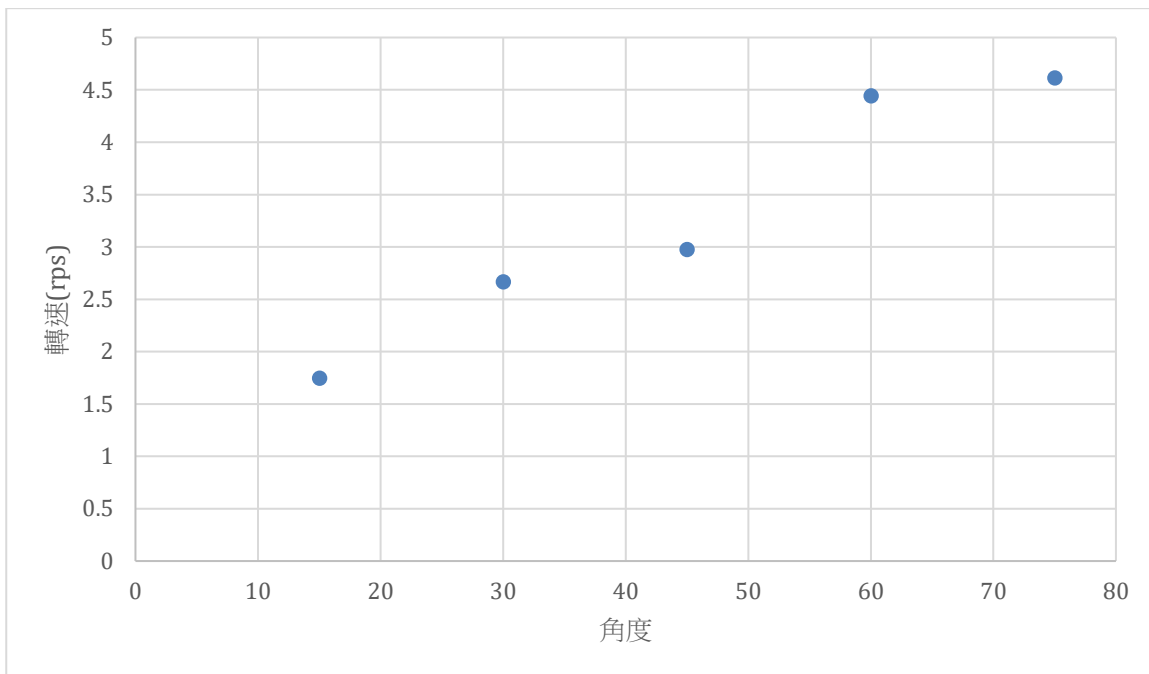
則我們可以用利用庫倫靜電力公式，計算出其力值大小(假設電極電量 Q，放出之電子密度為每度 q 顆)

$$F_{靜} = \frac{KQq}{R^2} = \frac{KQ\theta_A q}{\left(\frac{2(R+l)\cos\theta_A + \sqrt{(2(R+l)\cos\theta_A)^2 - 4((R+l)^2 - R^2)}}{2} \right)^2}$$

但因實際的力矩來自上述力在切面方向上的分力，所以需要乘以 $\sin\theta_A$ 。

另外，因為 $F \propto W \propto E \propto \omega^2$ ，所以 $\omega \propto \frac{\sqrt{KQ\theta_A q}}{\frac{2(R+l)\cos\theta_A + \sqrt{(2(R+l)\cos\theta_A)^2 - 4((R+l)^2 - R^2)}}{2}}$

因為做實驗時真正有在變化的是 ϕ ，所以其他當常數。而此時， ϕ 與 ω 正相關。



此為數據 9 到 13，由此圖可知理論與實驗數據相符合，皆為正相關。

理論最佳組別

由實驗一到實驗七，由以上結論可以得知在以下情況時，馬達會有最高轉速

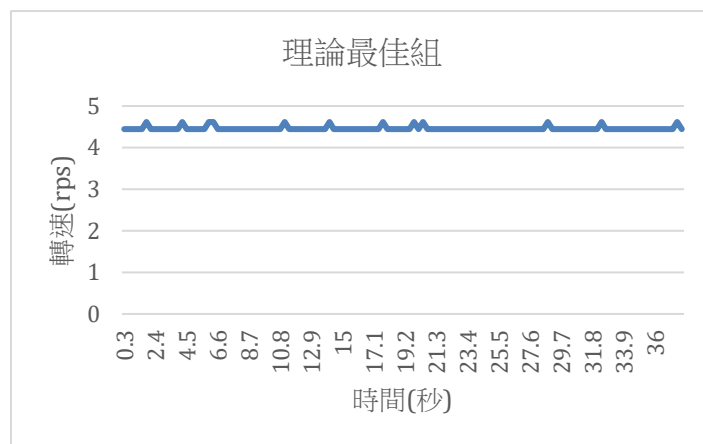
(一) 控制變因

1. 鋁箔
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分)
 - (2) 位在塑膠杯內
 - (3) 亮面朝外
 - (4) 數量 1 個 (一整面)
 - (5) 鋁箔和塑膠杯最外側的距離三層塑膠杯
2. 電極
 - (1) 尺寸(高度 7.6 公分、上底 2.5 公分、下底 1.95 公分)
 - (2) 數量 2 個
 - (3) 電源正接
 - (4) 電極排列 AC
 - (5) 無尖角
 - (6) 有包覆絕緣材質
 - (7) 電極與杯緣距離 0.15 公分
 - (8) 電極和塑膠杯切線之夾角 45 度
3. 塑膠杯
 - (1) 塑膠杯四個

(二) 操縱變因

1. 鋁箔
 - (1) 鋁箔和塑膠杯最外側距離不同層數的塑膠杯

但在用以上變因做實驗後，實驗數據如下圖



平均轉速(rps)為 4.46

可由此數據看出此組並非全部組別裡馬達轉速最高的，可能是因為許多變因並非獨立，都是環環相扣的，因此在獨立變因社的的實驗中，該變因雖然表現最好，但該變因若和其他變因一起實驗時，該變因可能就無法發會最高成效，因此此組才不會是最佳的一組。

捌、未來展望

- 一、利用螢光塗料確認電子的分布及射出情形，確定電子如何和塑膠杯有交互作用，並在鋁箔片上是如何移動的，來驗證之前的假說。
- 二、使用磁浮軸承裝置來架設電暈馬達系統，使周承翰馬達之間的磨擦力更小，以減少非保守力對馬達轉速的誤差。
- 三、改用沒有傾斜角度的塑膠杯來實驗，並嘗試更多種不同材質及後部的塑膠半，看此種電暈馬達的轉速是否更佳。
- 四、用不同大小的電壓測試，並試著加大規模，使電機間的距離更遠，之間不意有電弧產生，嘗試是否能有更高的轉速。
- 五、做更多實驗，找出所有有連動的變因，並依照招出的郭律，再次推導出最大轉速最高的組別，以研究在何種變因下能使馬達轉動最快。

玖、參考資料及其他

- 一、How to Make Corona Motor (v2) aka Electrostatic Motor/Atmospheric Motor (youtube, RimstarOrg, Aug 8, 2014)
<https://www.youtube.com/watch?v=9uEjXsX1F14>
- 二、Gauss's law
https://en.wikipedia.org/wiki/Gauss%27s_law
- 三、<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/elewor.html>
- 四、Peek's law
https://en.wikipedia.org/wiki/Peek%27s_law
- 五、<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/efromv.html>
- 六、Rotational energy
https://en.wikipedia.org/wiki/Rotational_energy

【評語】 052317

此作品針對電暈馬達轉動的原理，以設計的馬達來建立量化模型，並尋找最高轉速。學生實際驗證磁學和電學耦合的物理關係，以及相關的工程應用，可做為科普教學的教材。建議由理想模型先推論出理想幾何，再由理想幾何展開各式實驗測試。此外，應針對系統效益做量化評估。

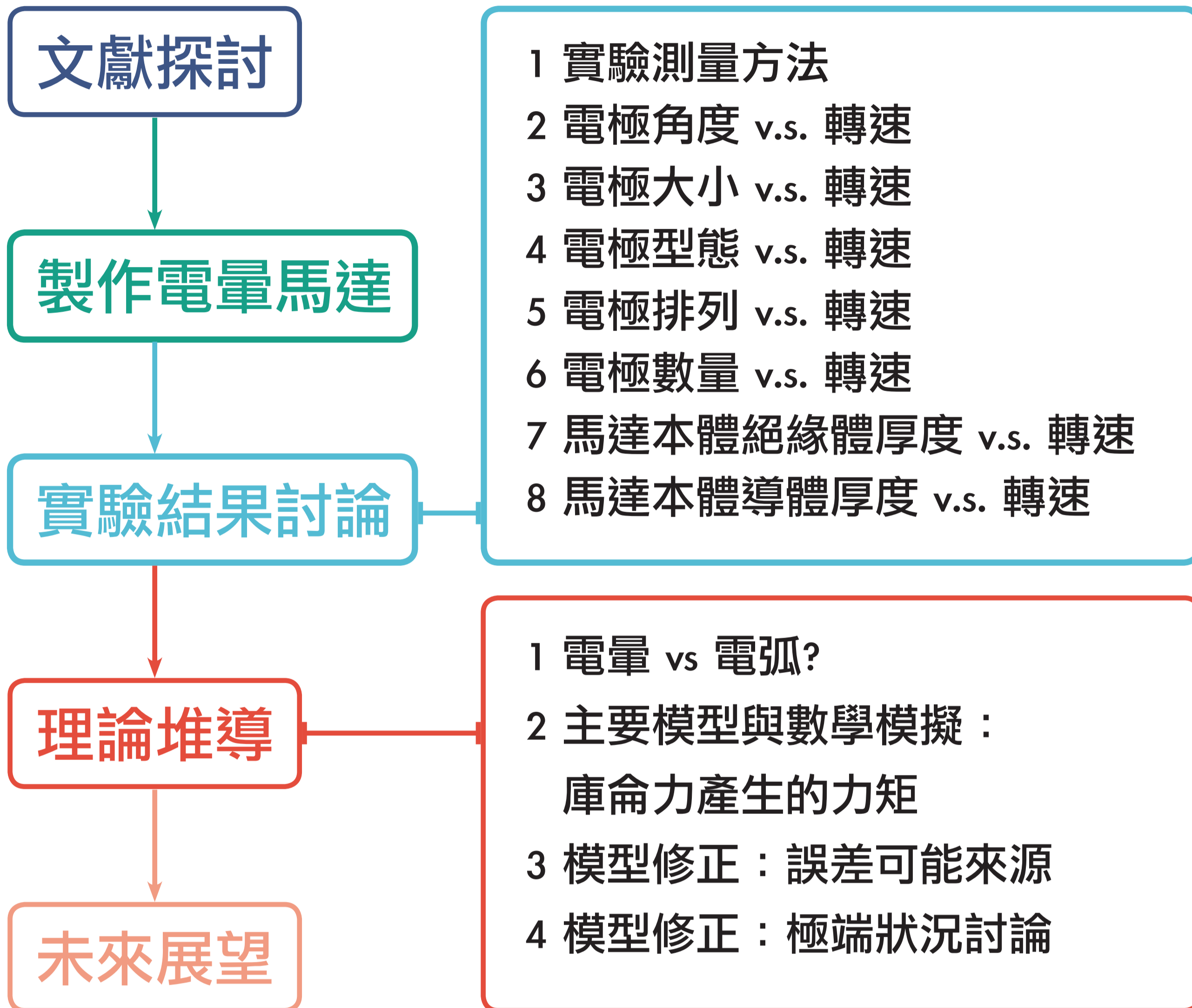
摘要 / 研究目的

電暈馬達的各項性質對於轉速的影響？

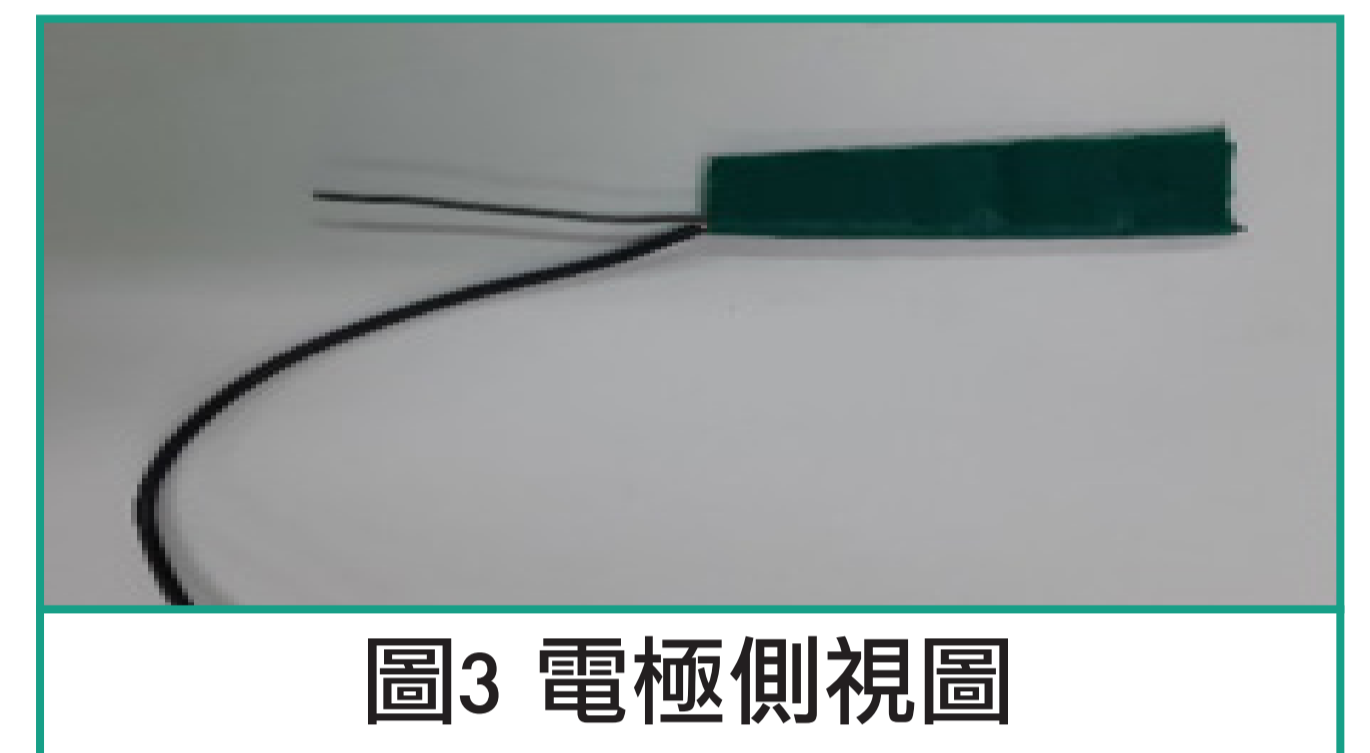
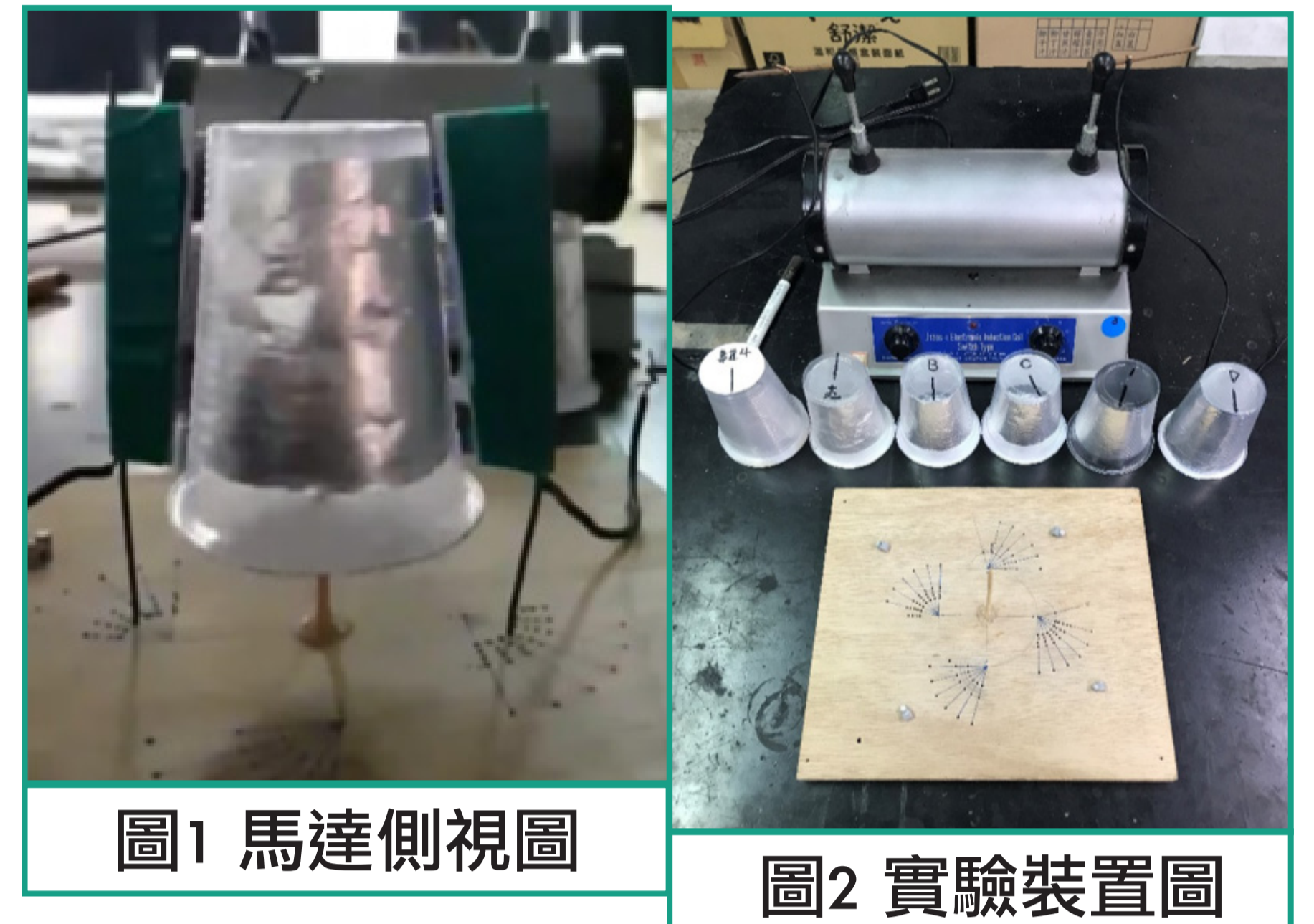
本研究針對自製的電暈馬達 (Corona Discharge Motor) 進行探討，探究如何以尖端放電所伴隨的電暈為動力，推動自製的絕緣馬達本體轉動。在研究中，我們首先討論了電暈馬達轉動的原理，並且以數學式建立定量模型；再以實驗對照數學模型對於此現象的描述。實驗中，我們輸入固定的電壓，配合錄影和 Tracker 影片分析軟體，實驗並討論馬達裝置的各種性質對於轉速的影響。

此外，我們企圖尋找能達到最高轉速的最佳馬達設計。我們在杯高 7.6 公分、電極板距塑膠杯 0.15 公分、電極板和塑膠杯切線夾角 45 度、4 層塑膠杯的情況下，找到此研究中的最高轉速 (4.46 RPS)。

研究過程 / 架構

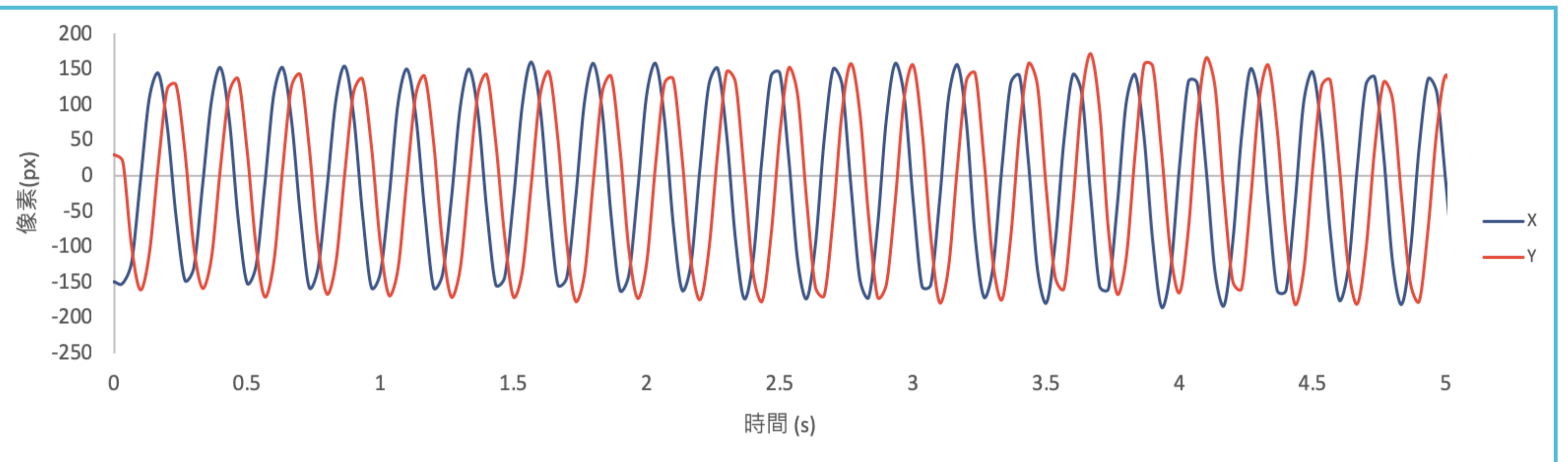
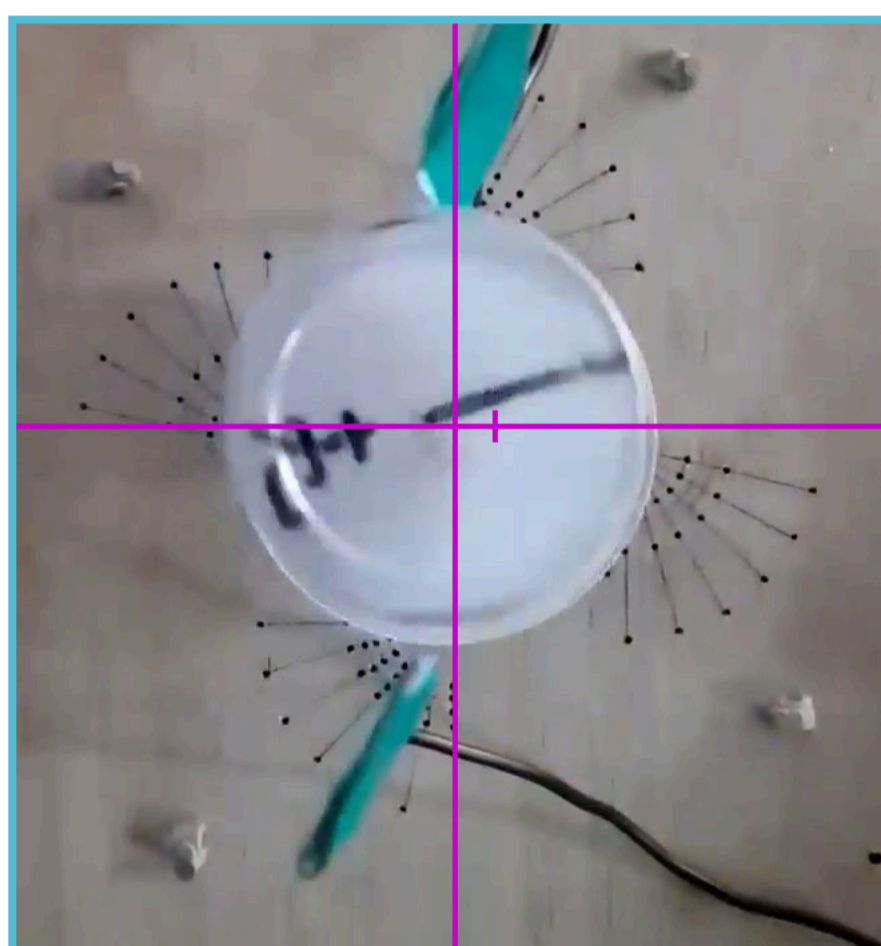


製作電暈馬達



實驗結果 / 討論

#1 實驗測量方法



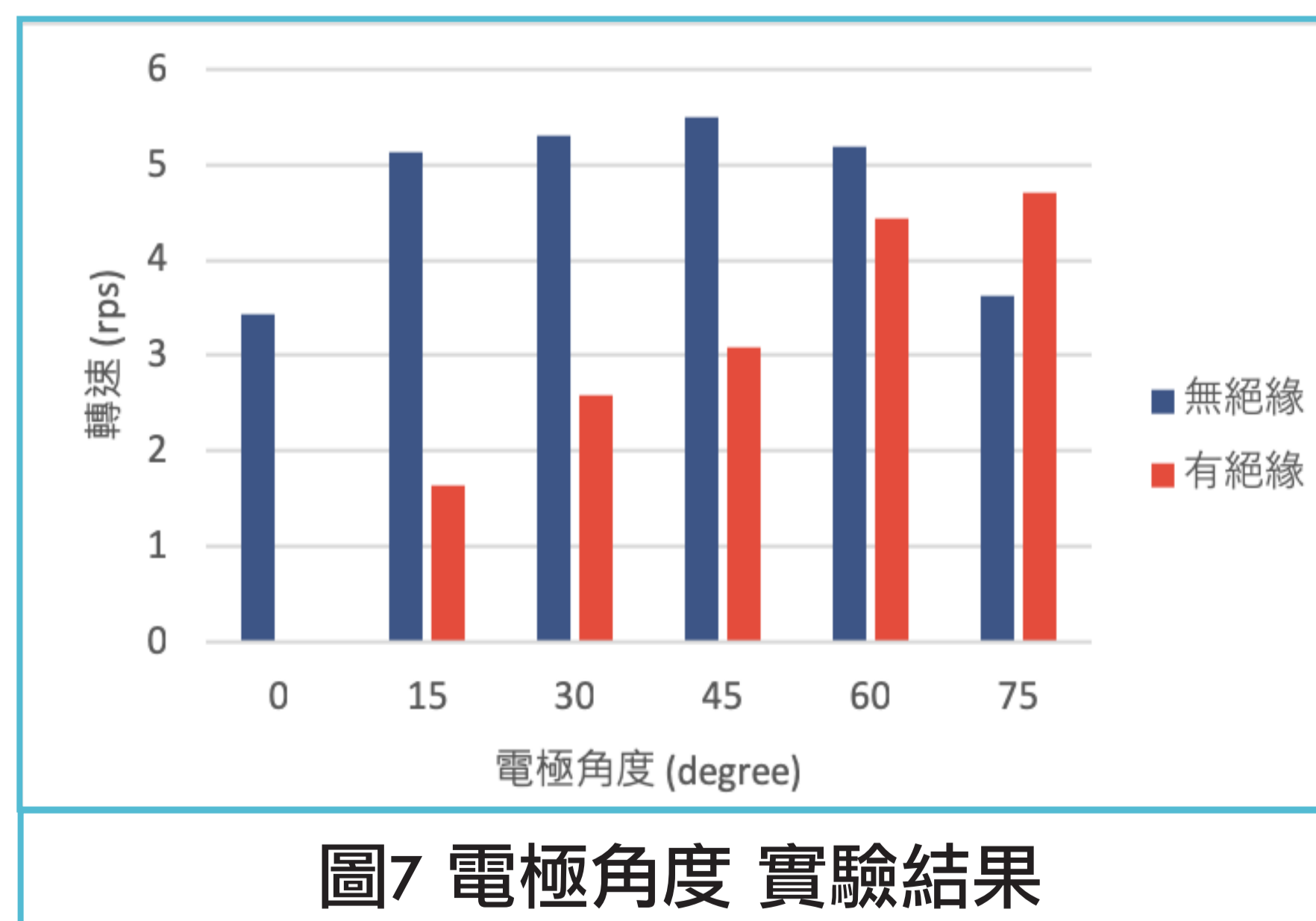
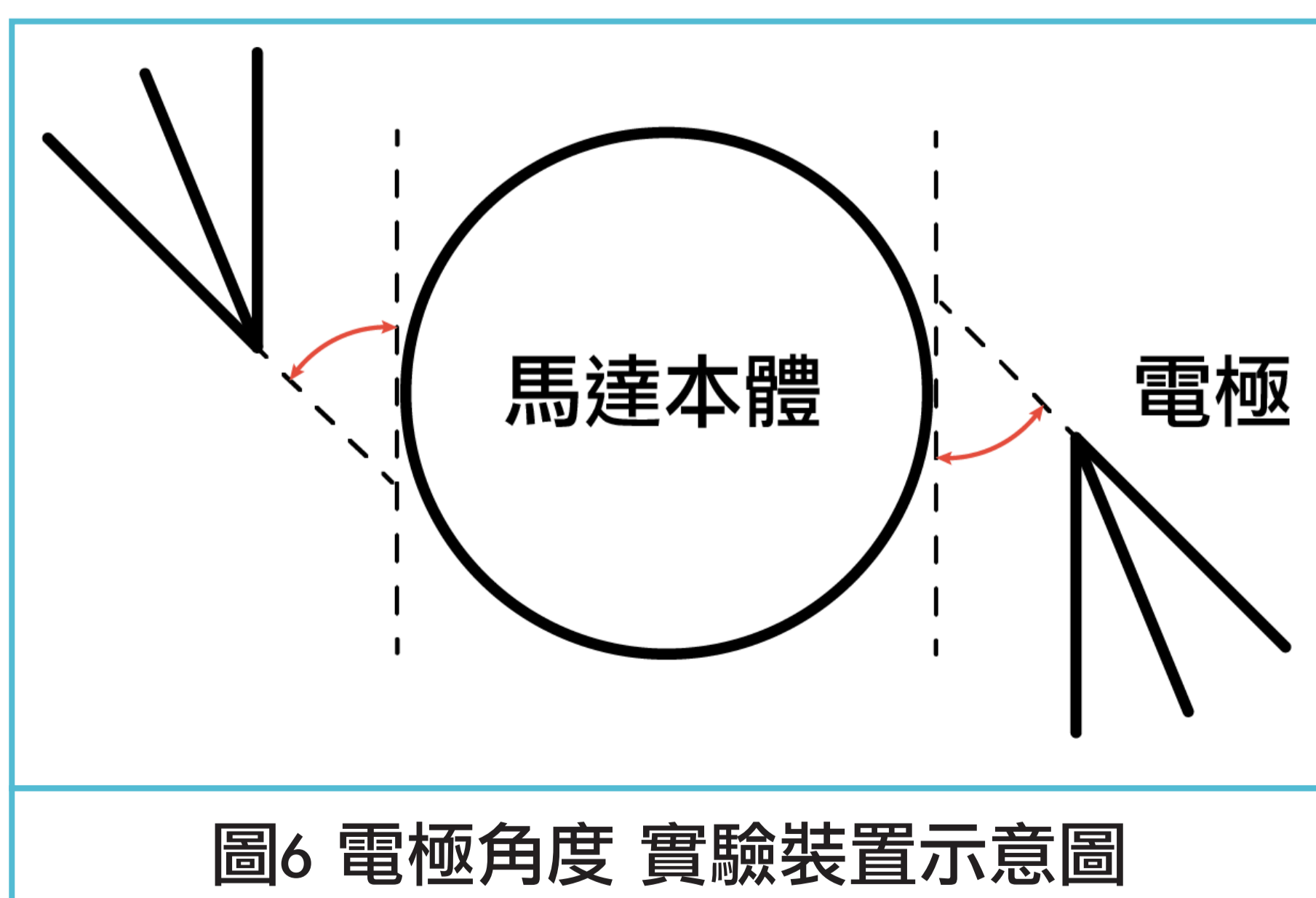
實驗影片分析

繪製XY位置圖

推算週期

推算角速度

#2 電極角度 vs 轉速



討論

- 1 無絕緣組在角度45度時找到轉速最大值 / 有絕緣組未有最大值結果。
- 2 (轉速大小) 無絕緣的轉速皆大於有絕緣，推測是因為絕緣後的電極釋放出的電暈較少。
- 3 (轉速趨向) 無絕緣組在45度時有最大值因為電極給予本體的力矩最大。

#3 電極大小 vs 轉速

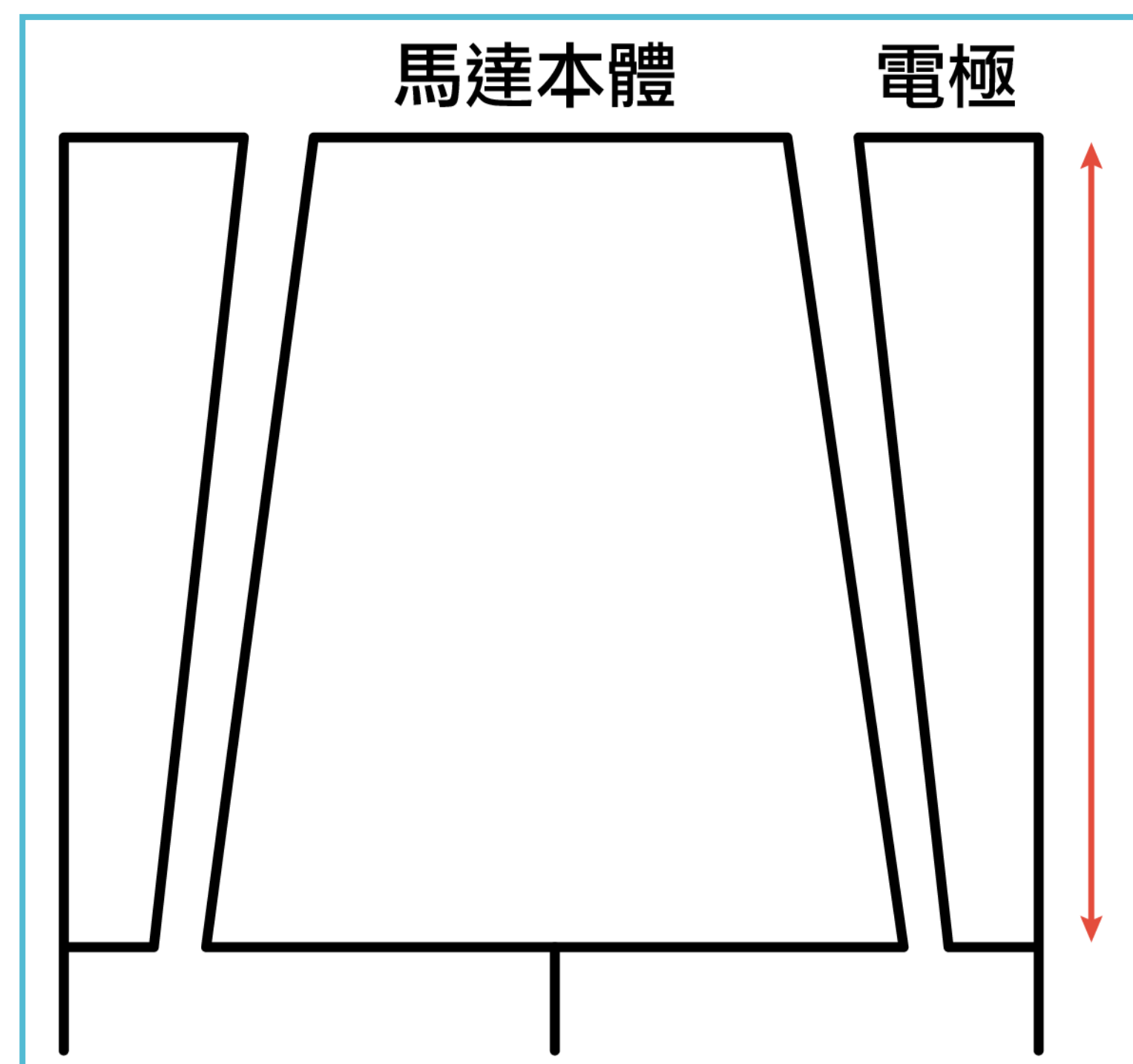


圖8 電極大小 實驗裝置示意圖

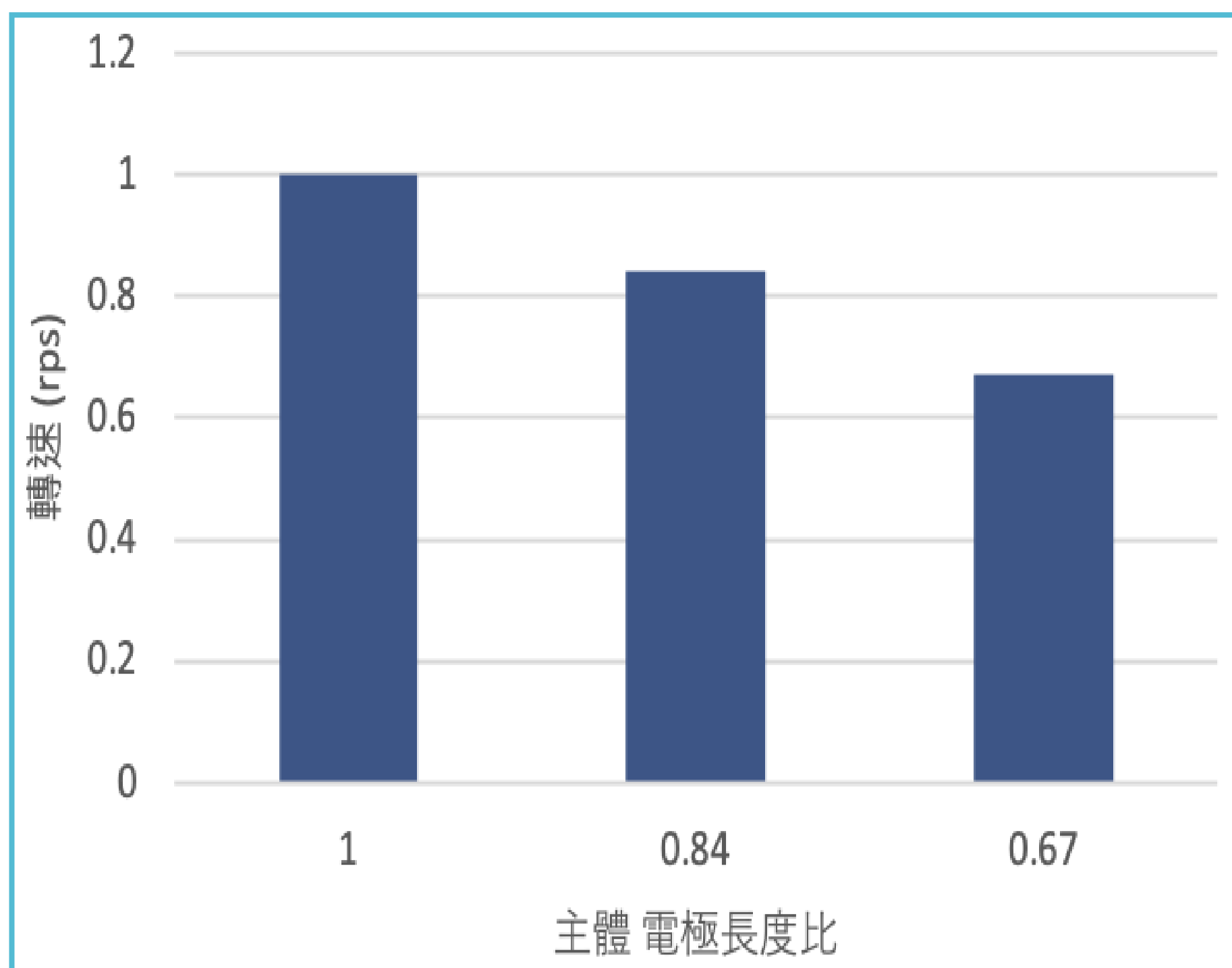


圖9 主體電極比例 實驗結果

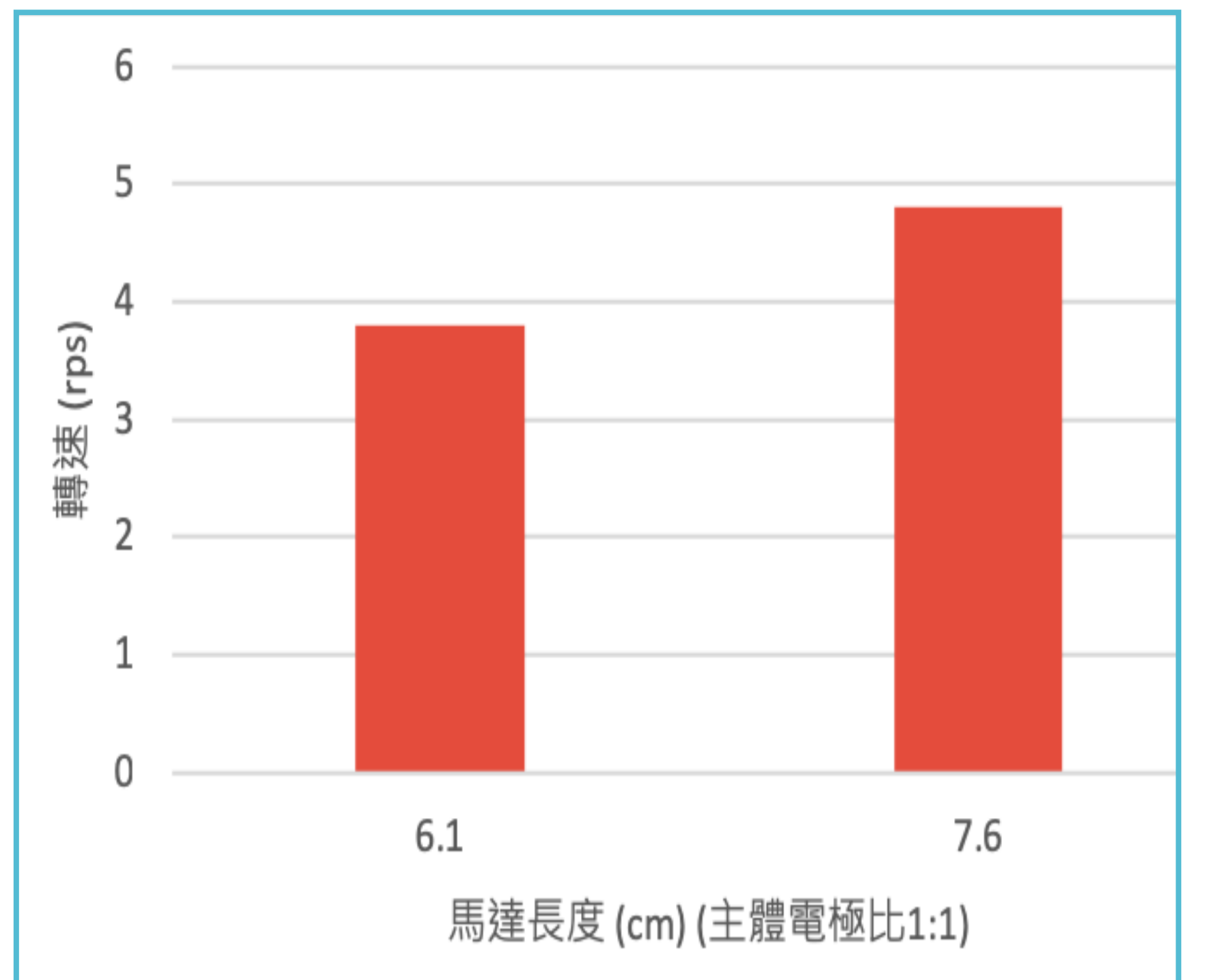


圖10 電極長度 實驗結果

討論

- 1 主體電極長度比越小轉速越小，推測是因為在三維空間中作力矩減少的結果。
- 2 馬達長度越大轉速越大，推論是因為力矩增加幅度大於轉動慣量的結果。

#4 電極型態 vs 轉速

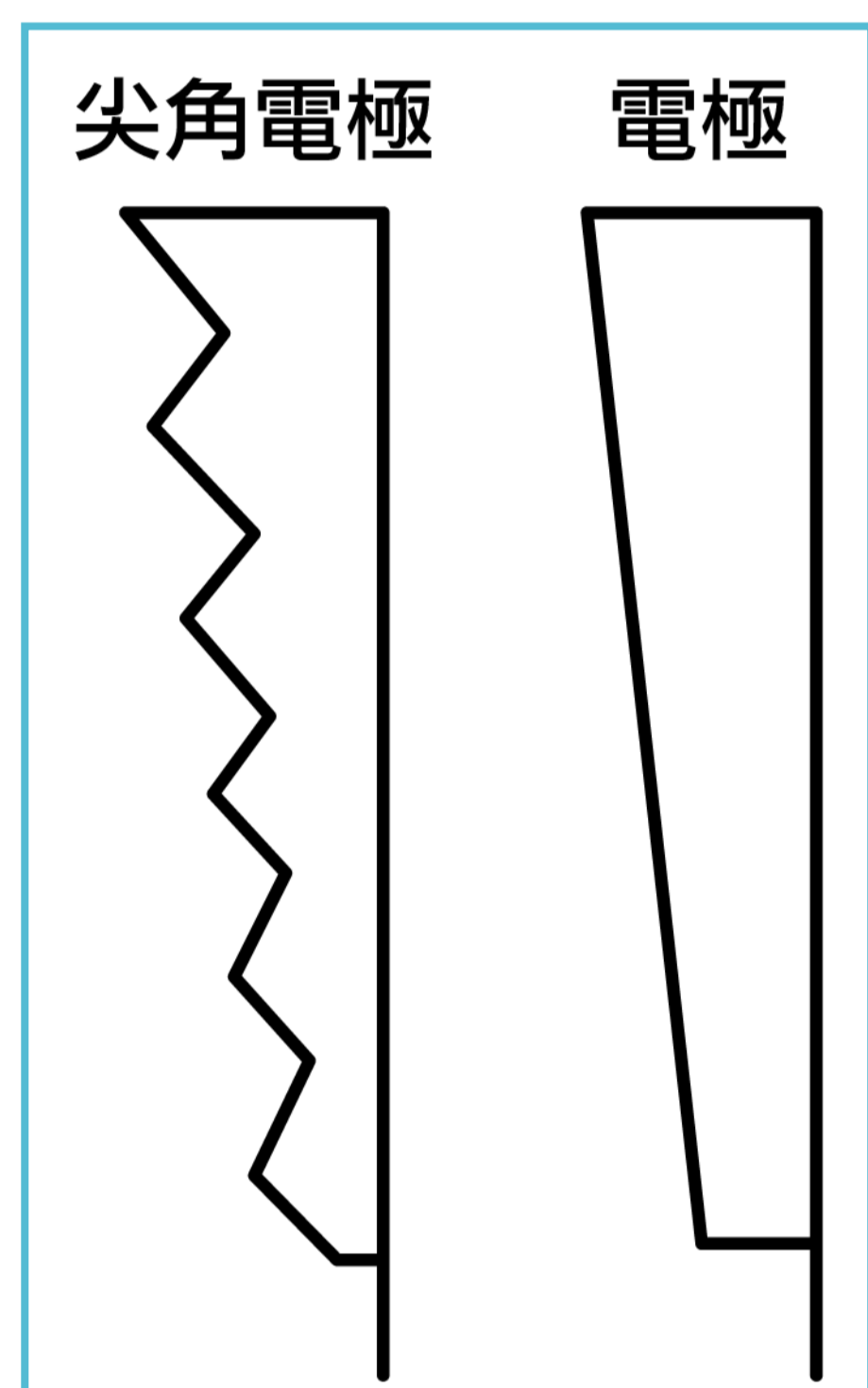


圖11 電極型態

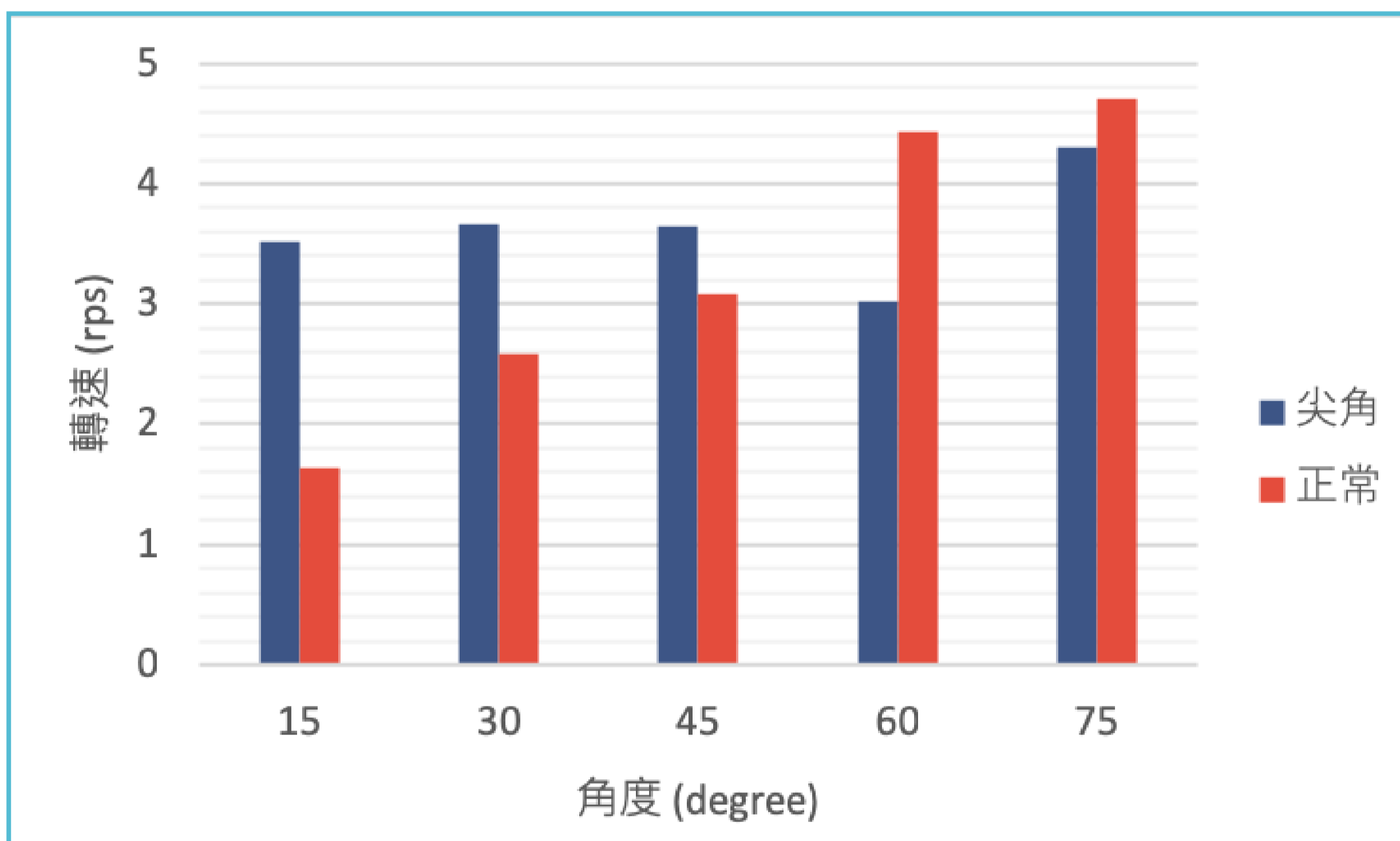


圖12 電極型態 實驗結果

討論

- 1 無轉速最大值結果。
- 2 尖角電極在低角度時，較一般電極有較大轉速；推論應該是因為尖角曲率較小，導致電場加大，使得力矩加大的結果。
- 3 大角度實驗結果仍無法完好解釋。

#5 電極排列 vs 轉速

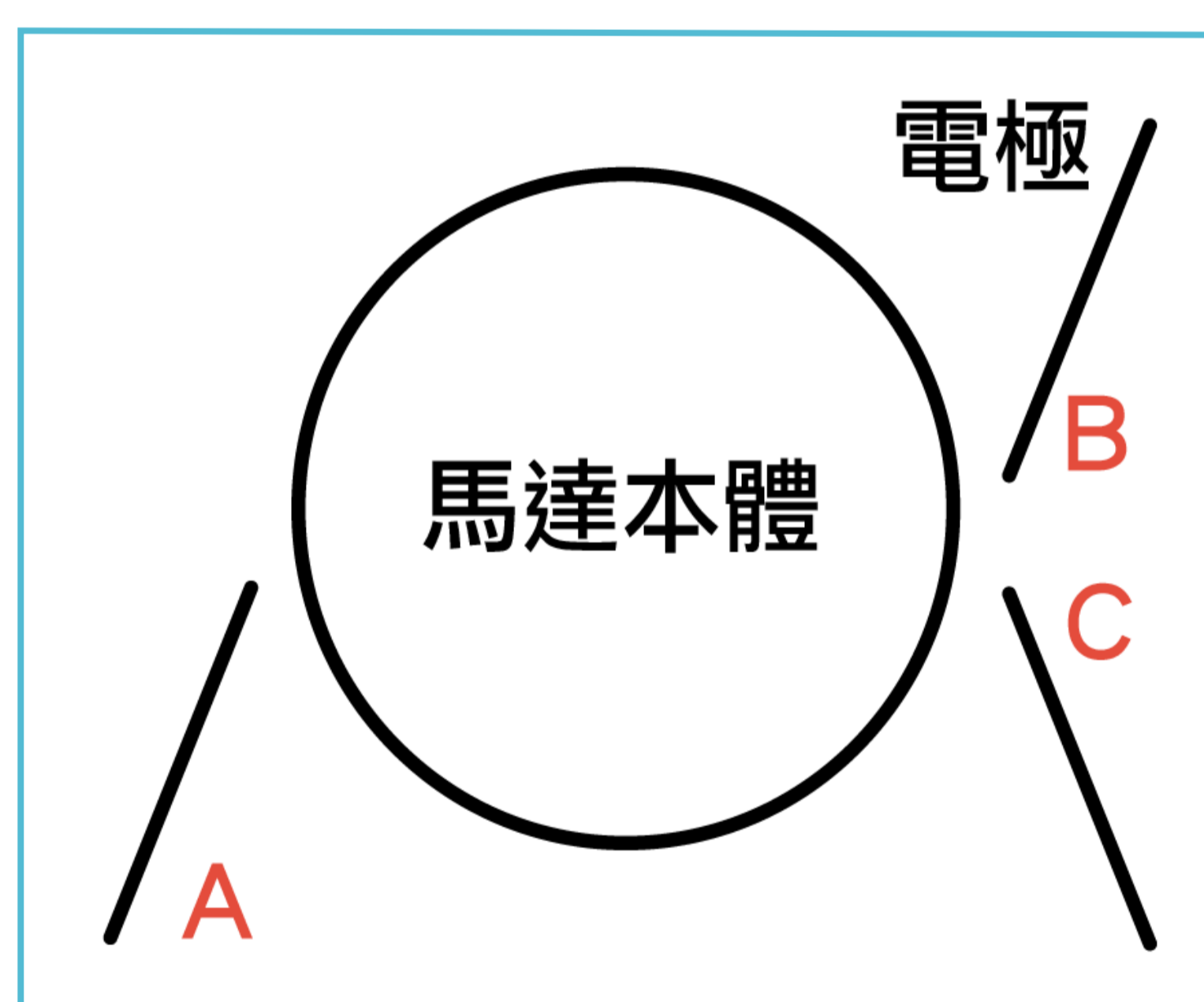


圖13 電極排列 示意圖

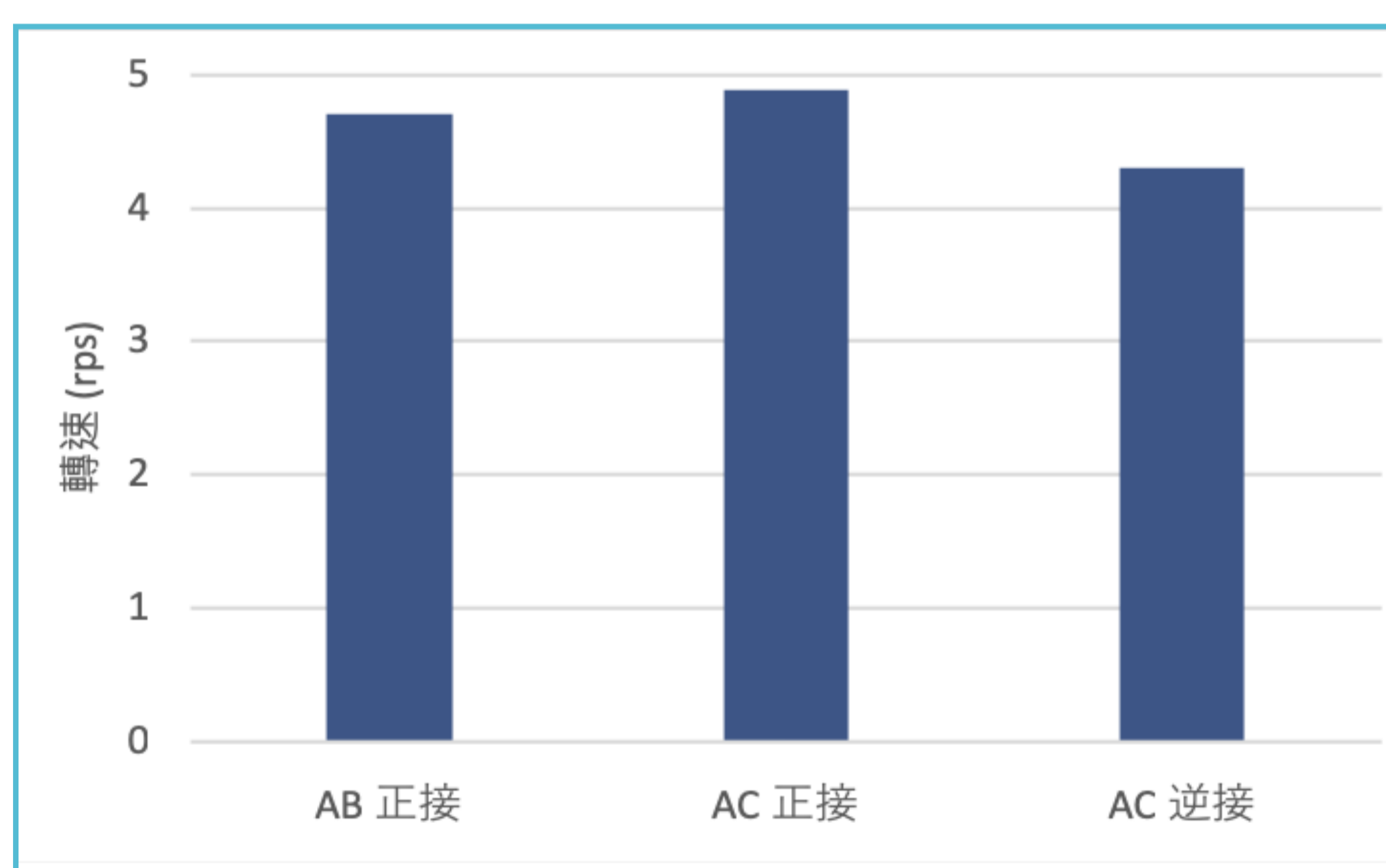


圖14 電極排列 實驗結果

討論

- 1 正接轉速大於逆接；AC正接轉速最大。
- 2 AB正接效果較AC正接效果差。

#6 電極數量 vs 轉速

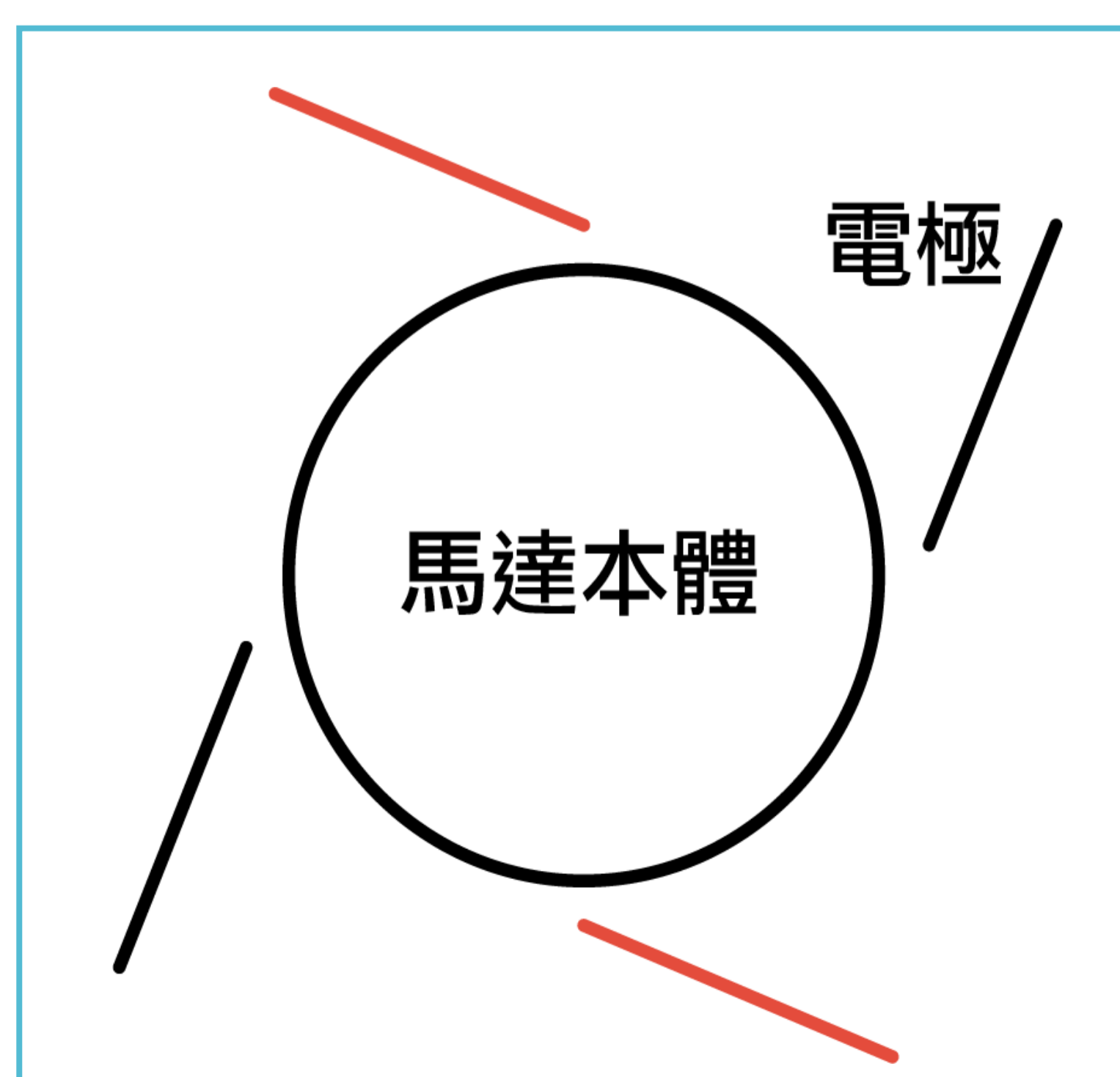


圖15 電極數量 示意圖

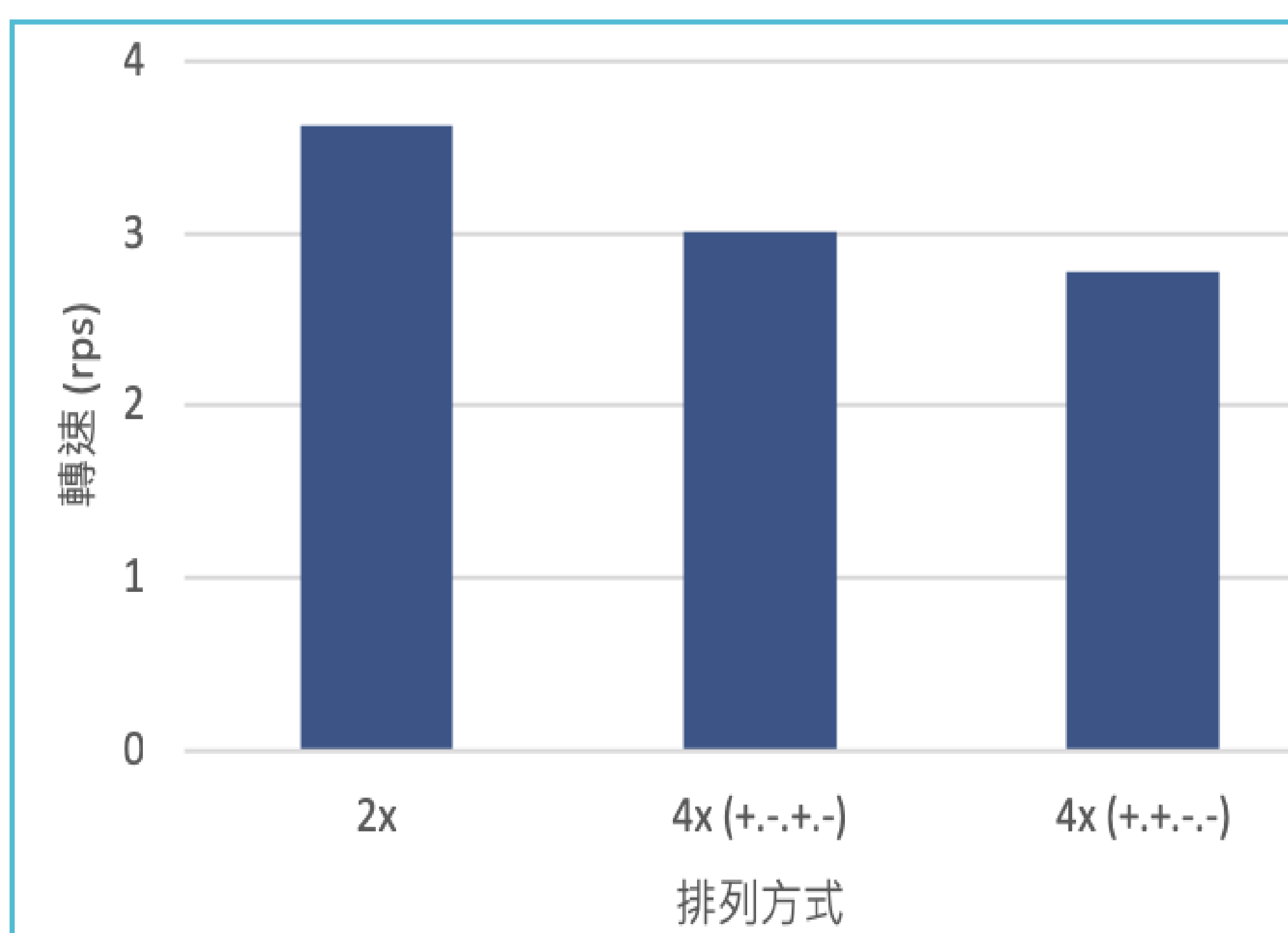


圖16 電極數量 實驗結果

討論

- 1 二片電極轉速大於四片。
- 2 +.-.+.- 效果較 +.+.-.- 差。

#7 馬達本體絕緣體厚度 vs 轉速



圖17 絕緣體厚度示意圖

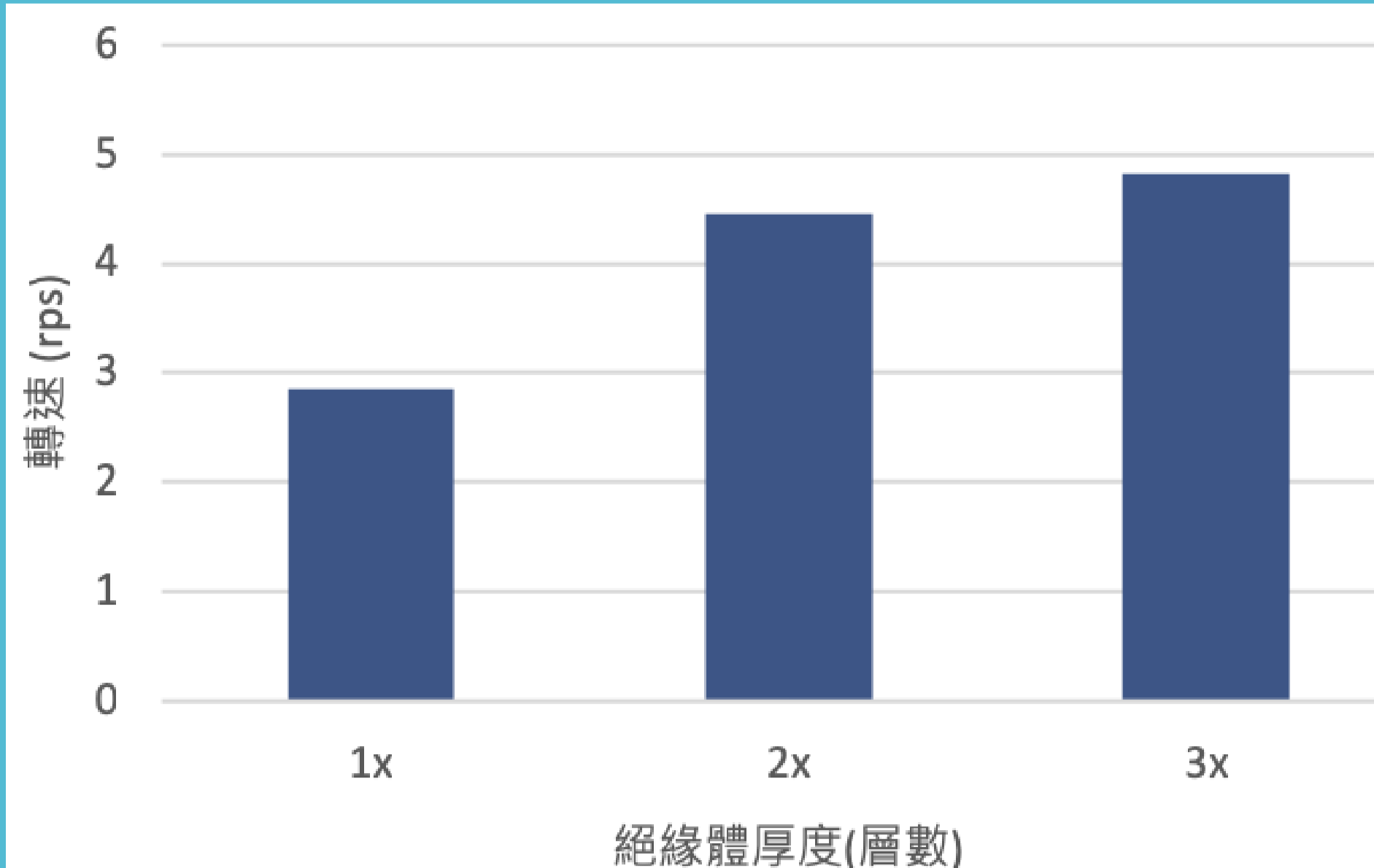


圖18 絕緣體厚度 實驗結果

討論

- 1 絕緣體越厚轉速越大。
- 2 推論是因為絕緣體越厚，能**吸附的電子越多**，於是有更大的力矩可以推動馬達。

#8 馬達本體導體厚度 vs 轉速



圖19 導體厚度示意圖

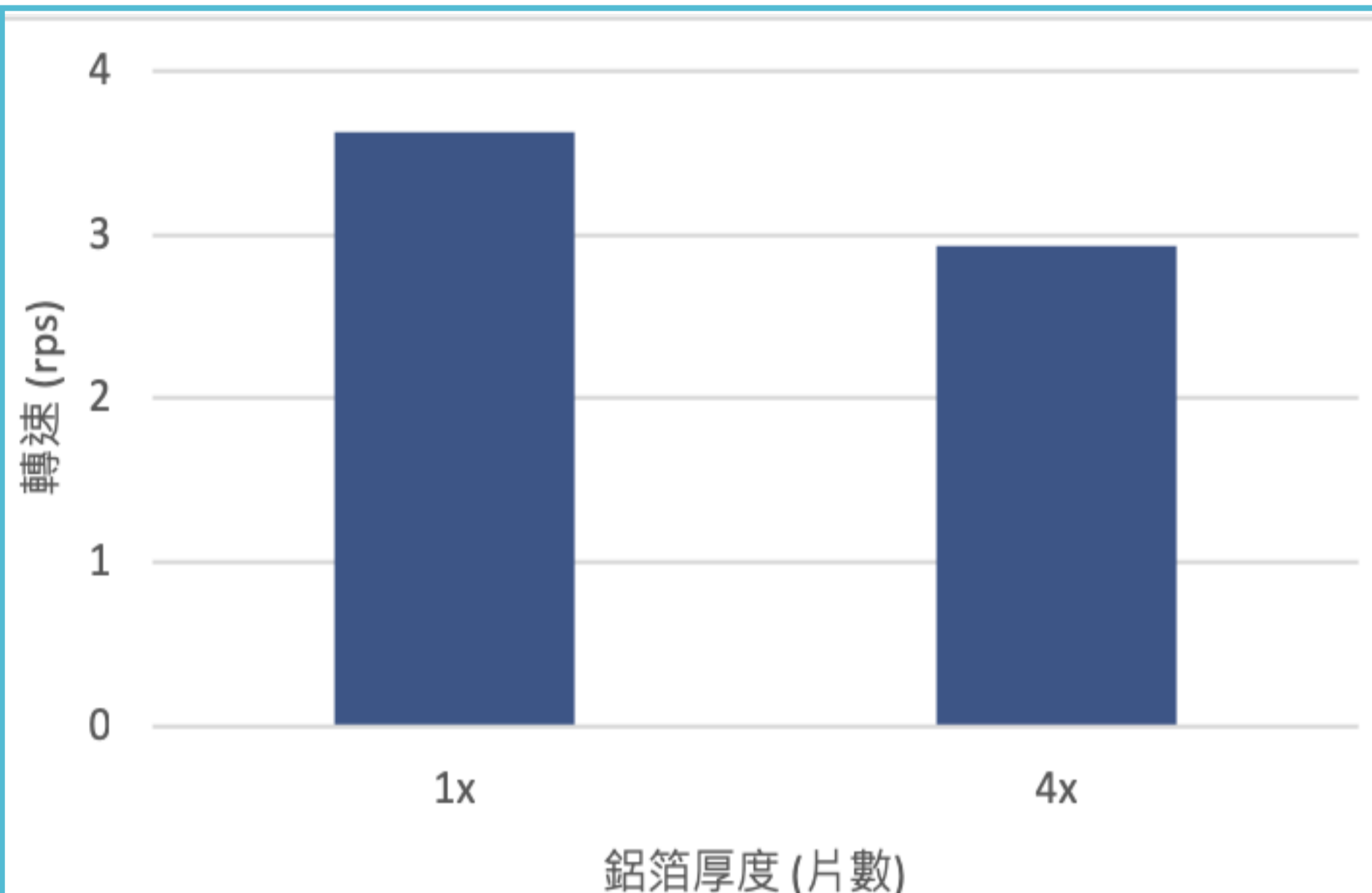


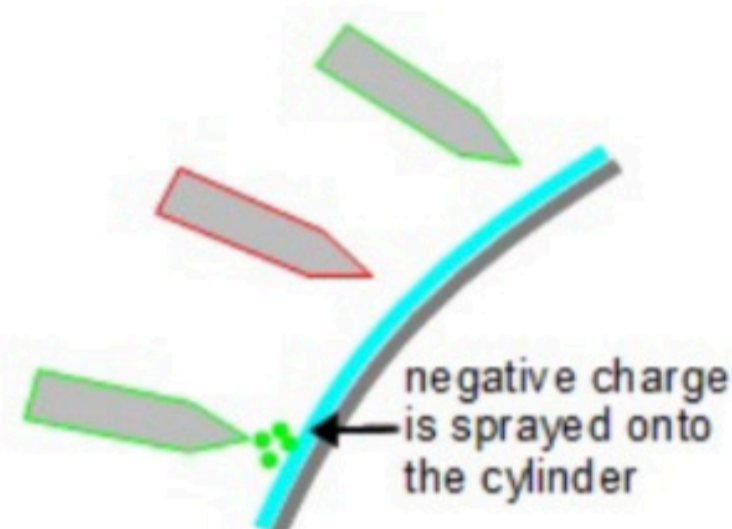
圖18 絕緣體厚度 實驗結果

討論

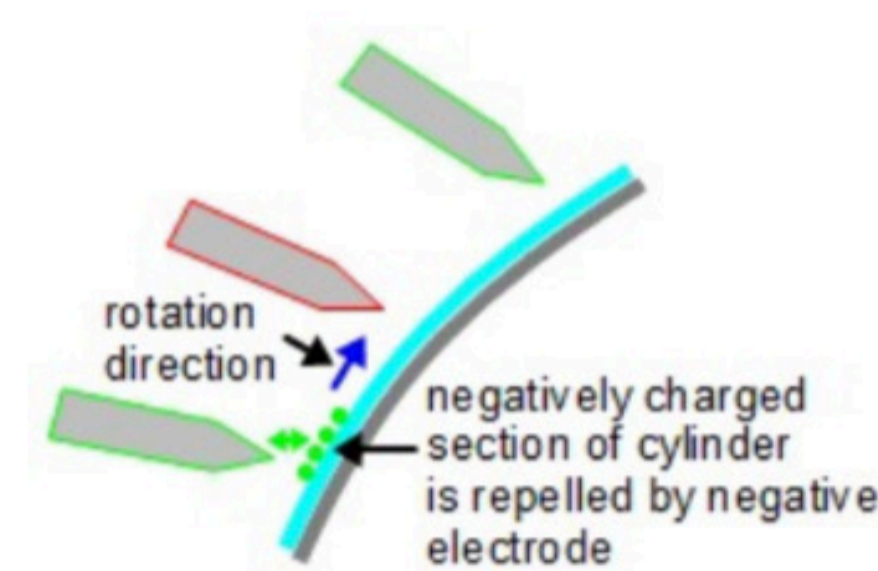
- 1 導體越厚轉速越小。
- 2 推論是因為導體越厚，能**感應電荷分佈越廣**，於是吸附的電子更廣，但密度較低，於是總力矩減少。

理論推導

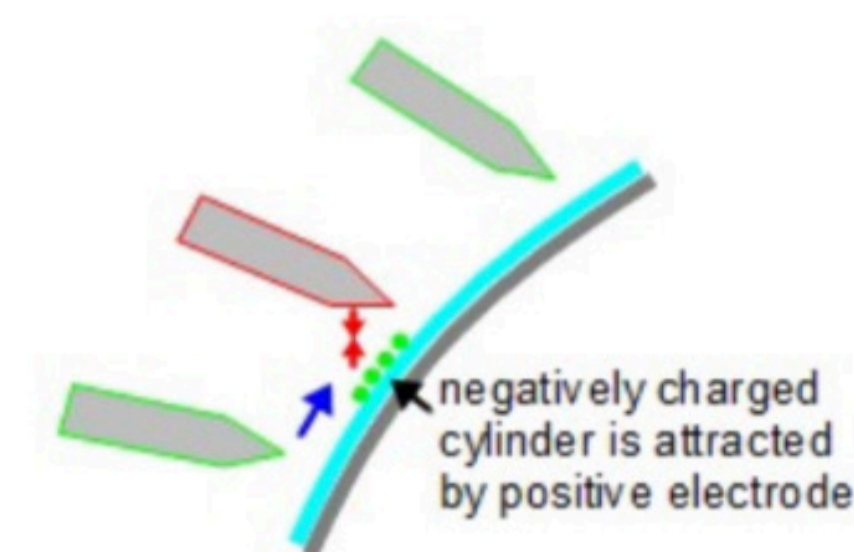
第一步：一個負極的電極散播負電荷到面對它的轉軸表面上。



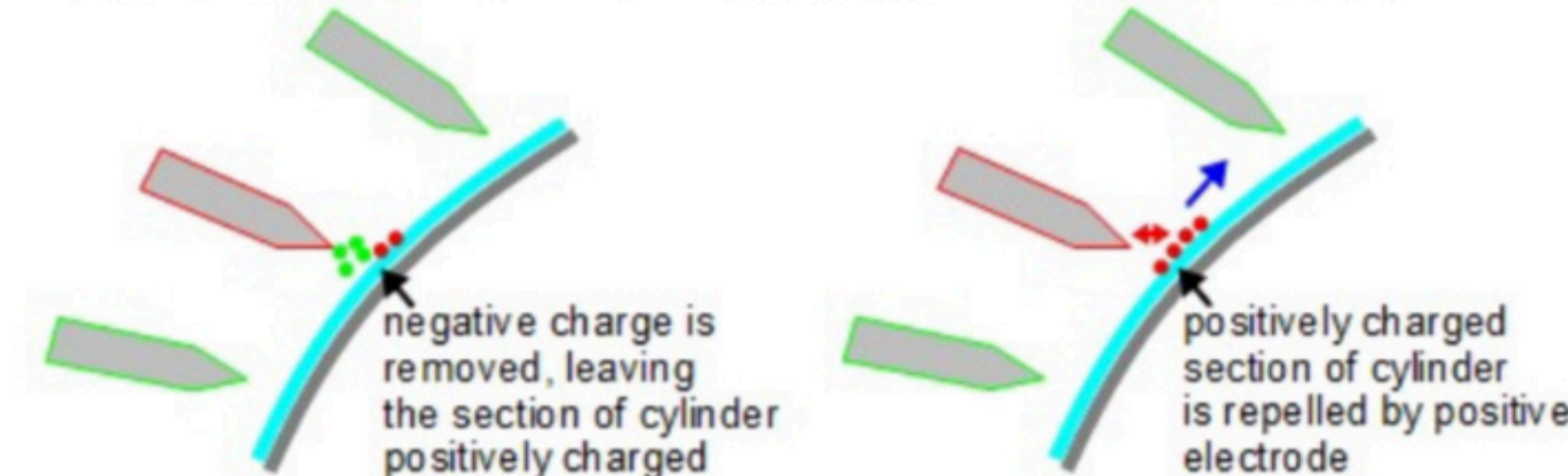
第二步：電子會互相排斥，所以轉軸表面上的電子便想要離開，但是又因為轉軸表面是介電體所以電子不會流走只能微微偏向分子中的某一側。所以他們只好帶著整個轉軸轉向，遠離負電極。轉軸便開始動。而至於轉動的方向則取決於電極所指的方向，因為電極偏的方向將得到較多的電子。因此產生的庫倫靜電力更大。



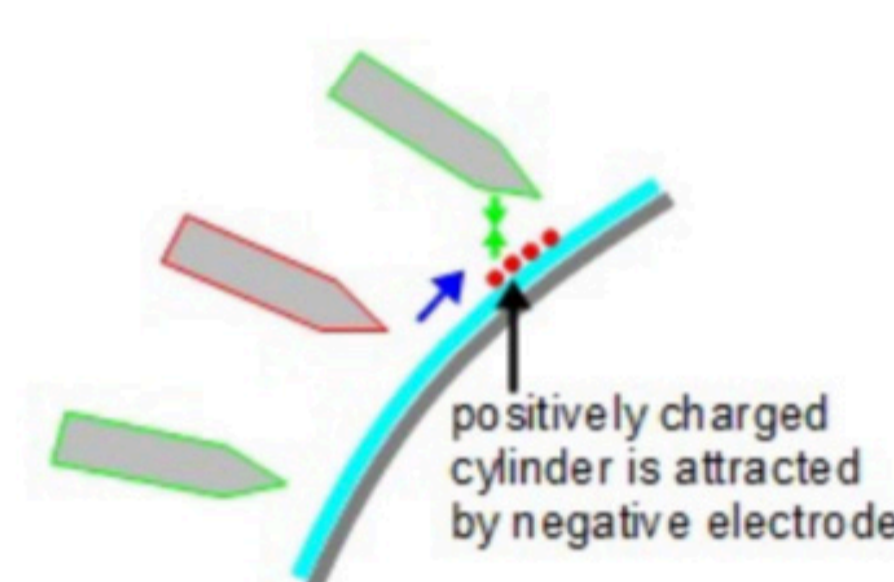
第三步：當帶負電的轉軸表面接近正極端的時候便會受到它的吸引，而使部分帶負電的轉軸，逐漸轉向正極。



第四步：當帶負電的轉軸表面經過正電極時負電荷又從轉軸上跳回電極上，因此表面開始帶部分正電，而正電極又再次和轉軸產生斥力而繼續轉動。



第五步：再一次地，帶正電的轉軸表面再接近負極時受到吸引，且在經過負電極表面時接收負電荷而從部分帶正轉為部份帶負，並受到下一個正極吸引。



回到第一步：電子再度由負極散播，由正極回收，周而復始。

$$F_{靜} = \frac{KQq}{R^2} = \frac{KQ\theta_A e}{\left(\frac{2(R+l)\cos\theta_A + \sqrt{(2(R+l)\cos\theta_A)^2 - 4((R+l)^2 - R^2)}}{2} \right)^2}$$

$$\omega \propto \frac{\sqrt{KQ\theta_A e}}{2(R+l)\cos\theta_A + \sqrt{(2(R+l)\cos\theta_A)^2 - 4((R+l)^2 - R^2)}}$$

未來展望

- 1 利用**螢光塗料**確認電子的分布及射出情形，確定電子如何和塑膠杯有交互作用，並在鋁箔片上是如何移動的，來驗證之前的假說。
- 2 使用**磁浮軸承裝置**來架設電暈馬達系統，使周承翰馬達之間的磨擦力更小，以減少非保守力對馬達轉速的誤差。
- 3 改用**沒有傾斜角度的塑膠杯**來實驗，並嘗試更多種不同材質及後部的塑膠半，看此種電暈馬達的轉速是否更佳。
- 4 用**不同大小的電壓**測試，並試著加大規模，使電機間的距離更遠，之間不意有電弧產生，嘗試是否有更高的轉速。