

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

最佳創意獎

030824

「波」起「電」湧-新型波浪發電機

學校名稱：雲林縣私立正心高級中學(附設國中)

作者： 國二 許芷綸 國二 伍家欣	指導老師： 陳勇麟 夏姿婷
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：電磁感應、波浪發電、arduino

摘要

我們設計的新型波浪發電機，主要是以電磁感應為原理，讓強力磁鐵順應波浪浮動而能在線圈裝置內部移動進而產生電流，全程不製造任何汙染。首先我們設計了振動式的發電裝置，並測量其相關特性，以手搖測試時，最大感應電壓可達到5V。接著進行人造海浪測試，過程中發現磁鐵與線圈的相對位置會對發電能力有所影響。我們並設計了漂浮式和固定式兩種形式的發電機，並測量和比較其特性與優缺點，研究結果顯示漂浮式發電能力較佳，但容易受到線圈重量影響而限制其發電效能，而固定式感應電壓一開始雖然較低，但隨著線圈匝數增加時可有效增強發電能力。我們的研究相當具有應用的潛力以及前景，對於四面環海的台灣提供一個綠能發電的可能性。

壹、研究動機

前一陣子，和家人觀賞了一部由好萊塢知名影星，李奧納多·狄卡皮歐所拍攝的「洪水來臨前」，片中探討了人類對環境造成的破壞以及全球暖化的影響。盤旋在腦海中的驚訝與震撼，讓我一直思索著：「如果我們沒有改變，地球明天會是怎樣的情況？」

新聞報導上，也經常可見到許多能源相關的議題，前陣子最有爭議的大概就屬核電廠存廢吧？核電廠發電效益固然佳，但核廢料貯存、輻射外洩、廢熱等問題，使得核能發電正處於兩難的泥濘中。台灣的化石燃料和石油絕大多數都仰賴他國進口，燃燒產生的二氧化碳，加劇了溫室效應帶來的負面影響，也正因為非再生能源的諸多問題，再生性能源以及生質能源應運而生，但相對在開發上有比較多的難度。「面對能源逐漸枯竭的世代，我們似乎仍未準備好!!」



去年暑假全家一同到墾丁踏浪時，銀白的浪花，一波接著一波，強而有力的撞擊、拍打著海岸，「對了!!是否波浪可以提供一個發電的新契機呢?可是身為國中生的我們又可以如何利用?」回到家中，我開始查找資料，開啟了研究的旅程，也衷心希望我們的研究能為環境盡一份心力。


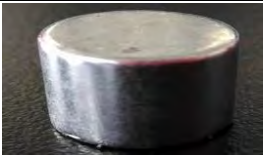


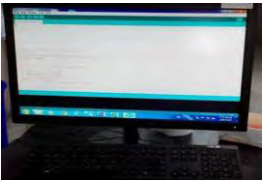







貳、研究目的

- 一、設計以彈力帶動磁鐵在感應線圈間移動，形成振動式發電裝置，並利用arduino連續擷取不同情形下的發電數據，找到最佳的發電方式與參數。
- 二、在陸地環境中，以手搖振動的方式使磁鐵在感應線圈間移動，觀察和初步探討發電機在以下條件的發電狀況，並確認裝置的運作和資料擷取能力。
 - (一)、不同磁鐵數(2、3、4、5個)
 - (二)、感應線圈不同匝數 (200、400、600、800、1000、1200、1400、1600圈)
 - (三)、2條橡皮筋串聯或並聯
 - (四)、磁鐵橫放或直立
- 三、進行水中波浪發電，以手壓大型寶特瓶的方式製造出波浪，探討不同變因下的發電狀況。
 - (一)、探究「漂浮式-波浪發電機」發電效能。
 - 1.設計可乘載波浪發電機的浮台(保麗龍材質)
 - 2.研究浮力裝置裝設於發電機上方和中間造成的差異
 - 3.感應線圈不同匝數(800、1200圈、1600圈)
 - 4.磁鐵橫放或直立搭配感應線圈不同匝數(800、1200圈、1600圈)。
 - (二)、探究「固定式-波浪發電機」發電效能。
 - 1.水位高中低(磁鐵在感應線圈中的相對位置)
 - 2.感應線圈不同匝數(800、1200、1600、2000圈)

參、研究設備與器材

一、使用器材設備

品名/功用	照片	品名/功用	照片
膠水瓶(發電機主體)		漆包(0.4mm)/製作感應線圈	

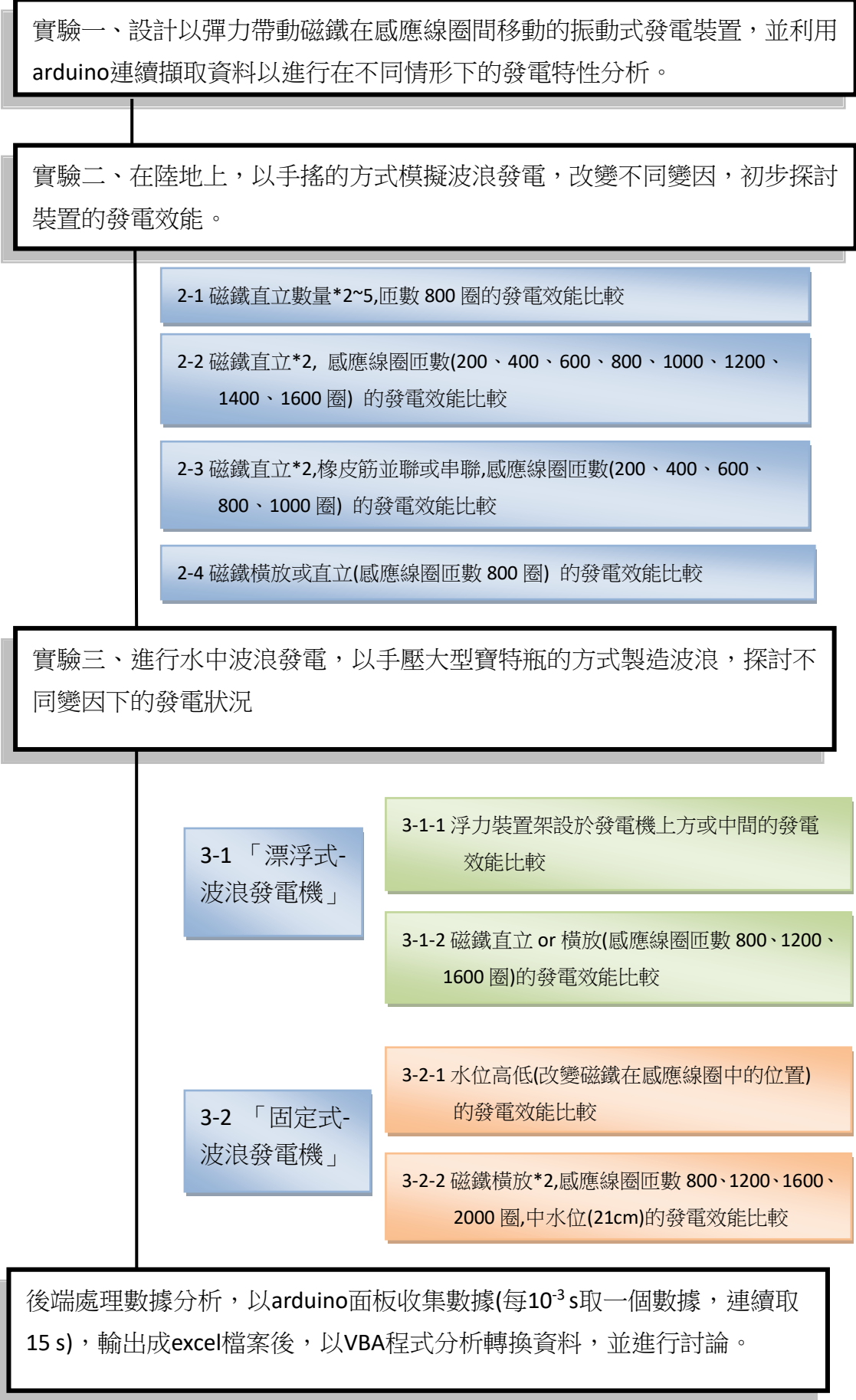
arduino接線 /收集數據		強力磁鐵/ 製造感應電流	
arduino uno 面板/收集數據		橡皮筋/ 固定強力磁鐵	
桌上型電腦 /收集數據		砂紙/ 焊接時磨漆包線漆	
膠帶/ 固定漆包線		布尺	
保麗龍板/ 浮台		鐵片/增加寶特瓶 重量	
大型寶特瓶 /製造波浪		大型塑膠桶	

二、製作與量測工具：

熱熔膠槍		三用電表	
熱熔膠條		焊槍	
美工刀		磅秤	

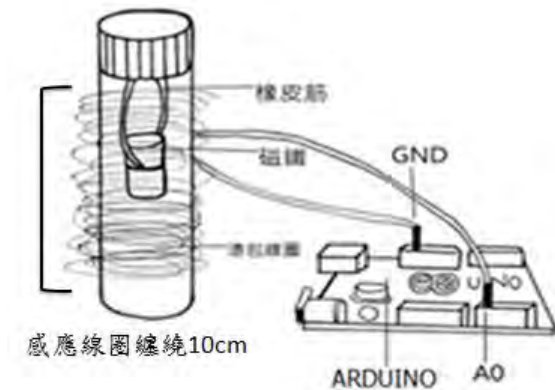
肆、研究過程或方法

一、研究架構

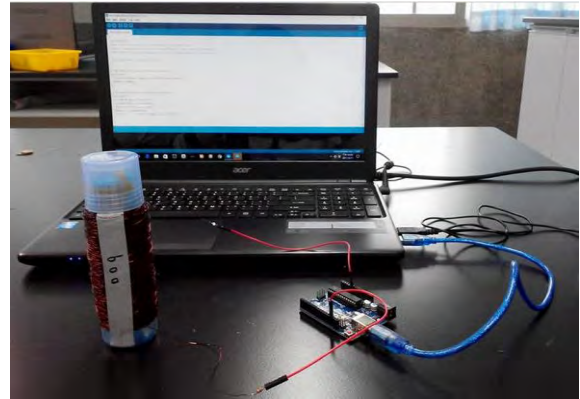


二、實驗設計圖

我們的設計主要是以電磁感應為原理，搭配橡皮筋的彈力，帶動強力磁鐵在感應線圈之間移動，造成磁通量的改變，引起感應電動勢，而產生感應電流。若以傳統的三用電表進行測量，則每次獲取的資料數據都相當有限，所以我們決定以arduino uno面板協助我們進行資料擷取。




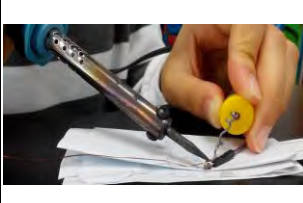
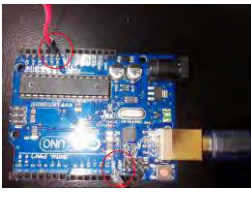


▲圖1：新式波浪發電原型設計圖



▲圖2：新式波浪發電成品圖

三、製作流程圖

			
選擇合適的瓶子，開始計數並緊密的纏繞漆包線	以膠帶固定漆包線圈	製作數個不同匝數的線圈	在待測匝數的線圈綁上橡皮筋和強力磁鐵
			
加上蓋子成品圖	以焊槍焊接 arduino 接線和感應線圈的漆包線	接上 arduino uno 電路板	開啟電腦 arduino 控制介面，架設完成，進行實驗數據擷取

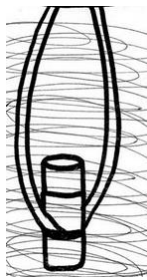
▲表 1：“新式波浪發電機”組裝製作過程

伍、實驗步驟與研究結果

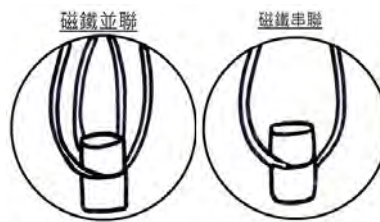
一、在陸地上，以手搖的方式模擬波浪發電，改變不同變因，初步探討機器的發電效能。

(一)、實驗步驟:

- 1.將裝置焊接好的接線連上arduino uno電路板，針腳一端接地，一端連接到A0的腳位，並將電路板連上電腦USB接孔。
- 2.手握裝置，盡量以一定的速度和力氣搖動裝置，使內部磁鐵與線圈產生最大的相對運動，產生感應電動勢。
- 3.以程式控制arduino 面板，連續紀錄搖動裝置時所產生的數值(每 10^{-3} s偵測一次)，持續15秒內產生的所有數據之後輸出成excel檔案。
- 4.探究不同變因:不同磁鐵數、不同線圈匝數、橡皮筋並聯數量、磁鐵直立或橫放的發電效能。每種變因均重複3次以確保實驗的精準性。各設計圖標示如下:



▲圖3：直立不同磁鐵數

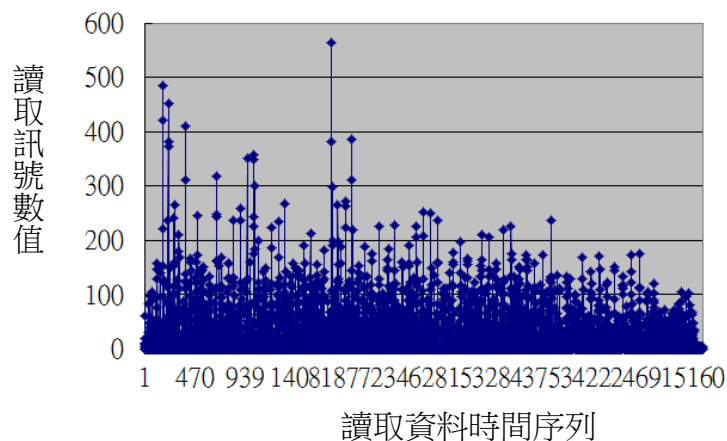


▲圖4：橡皮筋並聯或串聯



▲圖5：磁鐵直立或橫放

5.以arduino讀取的原始數據圖如下:

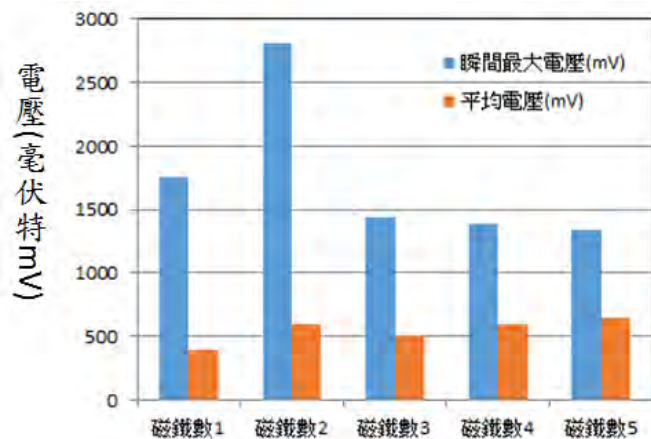


讀取訊號數值需轉換成電壓訊號，電壓數值=5000x(讀取訊號數值/1024)，單位為毫伏特(mV)，我們利用自行撰寫的VBA程式將以下分析的數值轉換為電壓(mV)方便我們進行後續討論。而因為資料量非常龐大，因此再以另一VBA程式進行資料分析，取出瞬間最大電壓、以及將最佳發電能力前500數值的平均電壓取出以便進行分析與討論。

(二)、實驗結果:

1.磁鐵數量2~5個(直立)，感應線圈匝數800圈

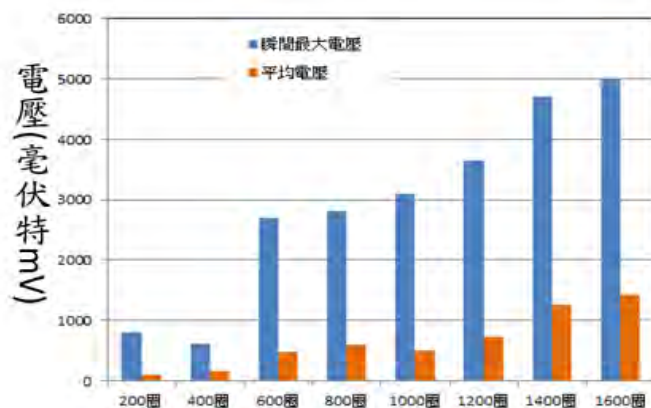
	瞬間最大電壓(mV)	平均電壓(mV)
磁鐵數 1	1757	398
磁鐵數 2	2812	601
磁鐵數 3	1442	514
磁鐵數 4	1391	594
磁鐵數 5	1341	650



→直立排放磁鐵時，磁鐵數 2 個時平均電壓會有最大值，有趣的是，繼續增加磁鐵數並不會使感應電壓增加，反而達是到飽和值。所以我們後續的實驗均以 2 個磁鐵進行探究。

2.磁鐵直立 2 個，感應線圈匝數不同(200、400、600、800、1000、1200、1400、1600 圈)

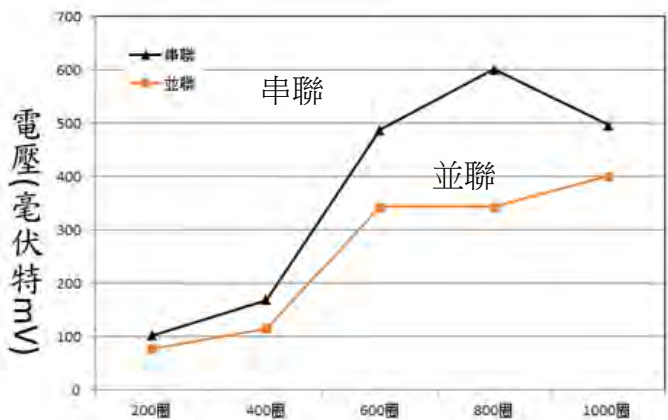
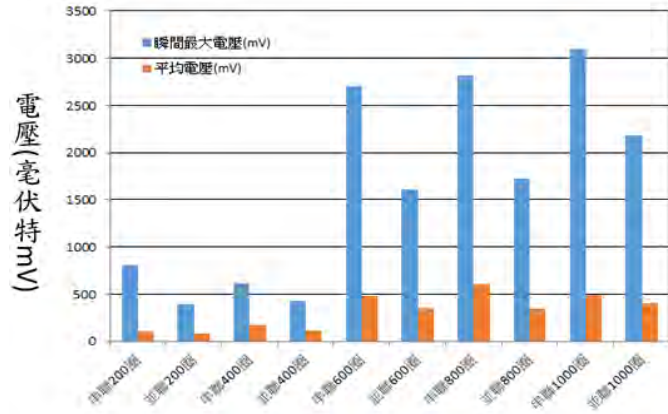
	瞬間最大電壓(mV)	平均電壓(mV)
200 圈	810	102
400 圈	615	169
600 圈	2709	488
800 圈	2812	601
1000 圈	3092	497
1200 圈	3651	727
1400 圈	4716	1252
1600 圈	4995	1423



→當相同的磁鐵數進出感應線圈時，漆包線纏繞圈數越多時，發電機能產生的電壓有越高的趨勢，從400圈到800圈，平均電壓增加3.5倍，從800圈到1600圈，平均電壓增加2.4倍。

3. 磁鐵直立2個，橡皮筋並聯或串聯，感應線圈匝數不同(200、400、600、800、1000圈)

	瞬間最大電壓 (mV)	平均電壓 (mV)
串聯 200圈	810	102
並聯 200圈	390	77
串聯 400圈	615	169
並聯 400圈	423	115
串聯 600圈	2709	488
並聯 600圈	1608	343
串聯 800圈	2812	601
並聯 800圈	117	343
串聯 1000圈	3092	497
並聯 1000圈	2185	401

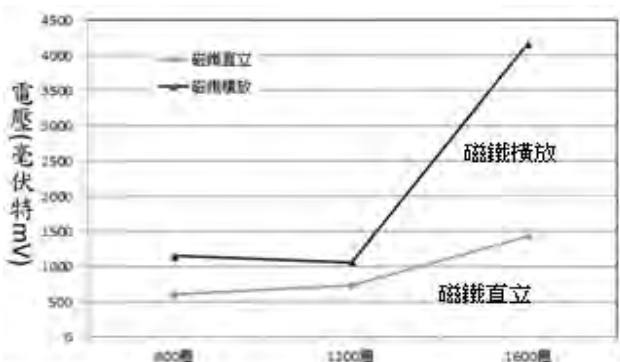
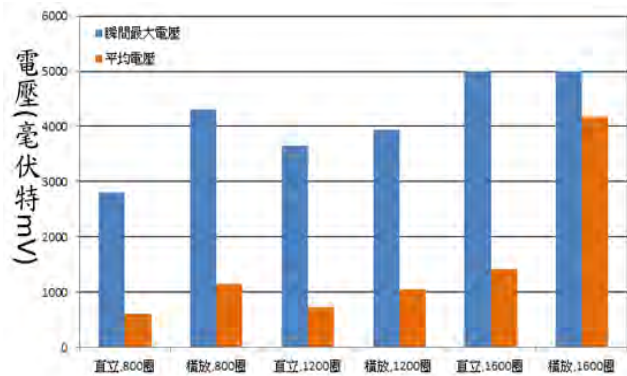


→分別將2條橡皮筋以串聯和並聯

進行處理時，可以發現串聯造成的電壓較大。串聯的橡皮筋有較低的彈力常數，容易使磁鐵在線圈內振動(位移較大)而產生較大的感應電壓。

4. 磁鐵橫放或直立2個，感應線圈匝數不同(800、1200、1600圈)

	瞬間最大電壓 (mV)	平均電壓 (mV)
直立,800圈	2812	601
橫放,800圈	4308	1147
直立,1200圈	365	27
橫放,1200圈	3949	1060
直立,1600圈	4995	1423
橫放,1600圈	4995	4168



→分別將2個磁鐵橫放或直立在感應線圈內時，可以發現磁鐵橫放的發電效果明顯比較好。但是因為我們使用的器材其瓶口較小，2個磁鐵橫放已是極限，若再增加無法置入。

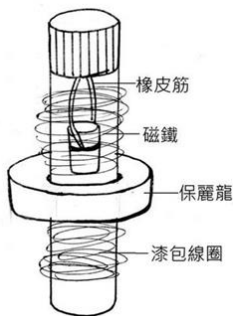


二、進行水中波浪發電，以手壓大型寶特瓶的方式製造波浪，探討不同變因下的發電狀況。

(一)、漂浮式-波浪發電機

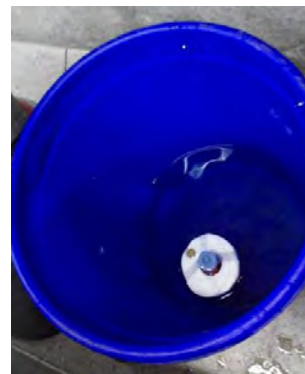
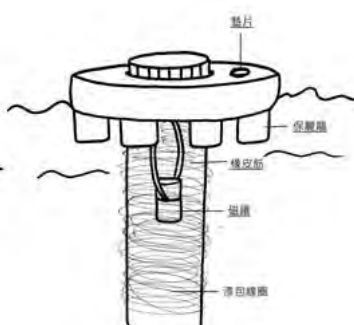
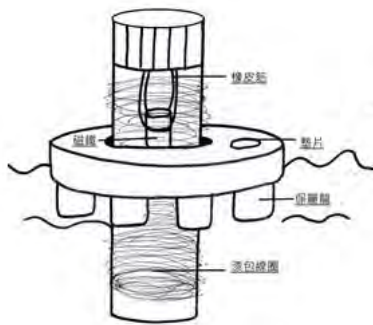
1.設置浮台

我們先以手繪設計圖，並設計浮台承載我們的波浪發電裝置，接著以保麗龍切割器進行裁切和製作，由於設計“游泳圈式”的浮台非常不穩，容易傾倒，無法運作，再經過一番改良設計以及不同模式的組合之後，我們發現在浮台下方四邊添加保麗龍塊，並加上一些硬幣作為墊圈以增加重量，可以讓裝置穩固的浮於水面上，即使浪花高低起伏，也不至於傾倒。



▲圖6：游泳圈式浮台設計圖

▲圖7：游泳圈式浮台設計在水中實況圖(傾倒)



浮台架設於中間

浮台架設於上方

▲圖8：修正後游泳圈式浮台設計圖以及在水中實況圖(能夠直立且不倒)



▲圖9：修正後游泳圈式浮台實況圖

2.準備人工製造波浪

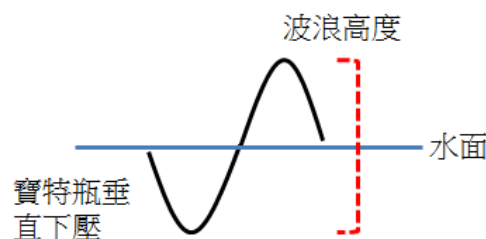
我們用大罐的寶特瓶(容量6公升)以一定的速度和力量垂直壓水的方式來製造波浪，但因為寶特瓶重量較輕很難下壓，所以我們在寶特瓶內增加了一些環形鐵片以增加重量(重量為778.3g)，使我們製造波浪的效果更佳。



▲圖10：人工製造波浪的寶特瓶，並以鐵環增加重量(放在大桶子中的樣子)

3.實驗步驟:

- (1).將裝置焊接好的接線連上arduino uno電路板，針腳一端接地，一端連接到A0的腳位，並將電路板連上電腦USB接孔。
- (2).將具有改良式浮台的波浪發電裝置放入裝有自來水(水面高度約17cm)藍色大型塑膠桶中(約63 cm高，底面直徑約48cm)。
- (3).以人工手壓寶特瓶(容量約6 L)的方式製造波浪，波浪高度最大可達49cm。



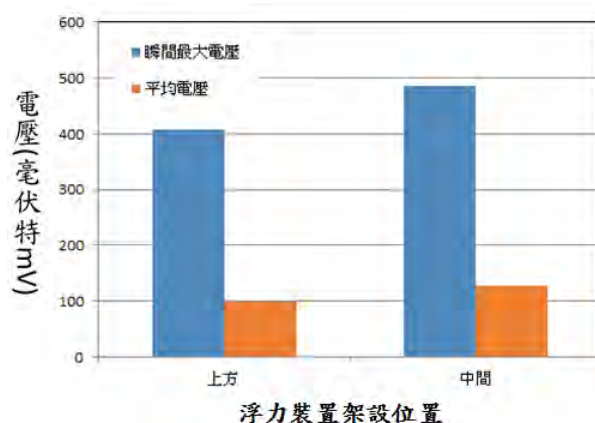
▲圖 11：波浪高度示意圖

- (4).以程式控制，連續紀錄波浪搖晃裝置時所產生的數值(每 10^{-3} s偵測一次)，連續獲取15s內所產生的所有數據之後輸出成excel檔案。
- (5).探究不同變因: 浮力裝置(簡稱:浮台)架設於發電機上方或中間、不同匝數線圈、磁鐵橫放或直立之對發電能力差異之影響。每種變因均重複3次以確保實驗的精準性。
- (6).因為資料量非常龐大，因此最後以VBA程式進行資料分析，取出瞬間最大電壓、以及將最佳發電能力前500數值的平均電壓取出。

4.實驗結果:

- (1).磁鐵直立2個，感應線圈匝數800圈，探討浮台位置對發電的影響

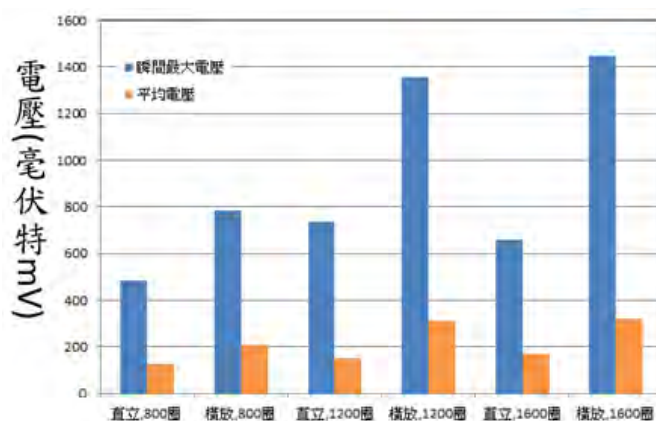
	瞬間最大電壓 (mV)	平均電壓 (mV)
上方	407	100
中間	470	128



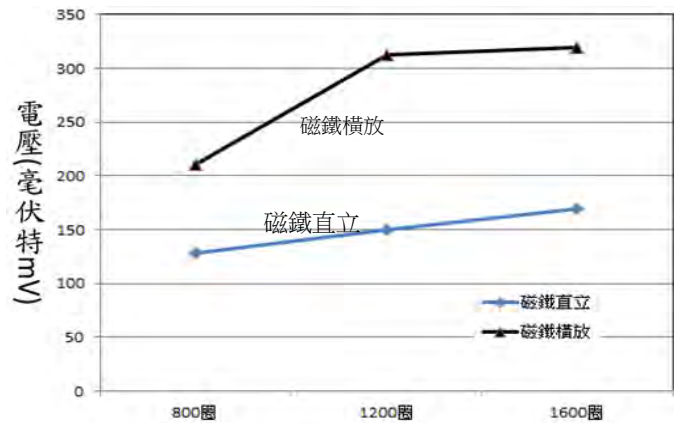
→當浮台架設於感應線圈裝置的中間時，其平均電壓較佳。故而後續的實驗皆以浮力裝置架設於中間來進行。

- (2).磁鐵數量2個(直立or橫放)，不同感應線圈匝數(800、1200、1600圈)，浮台裝置位於中間

	瞬間最大電壓 (mV)	平均電壓 (mV)
直立,800 圈	487	128
橫放,800 圈	783	211
直立,1200 圈	736	150
橫放,1200 圈	1357	312
直立,1600 圈	657	170
橫放,1600 圈	1448	320



→以漂浮式設計而言，2個磁鐵橫放時，依然有較佳的發電能力。當磁鐵橫放時線圈數增加至1200圈時平均感應電壓有較大的增加幅度，而1600圈的感應電壓則與1200圈相差不多約300mV。

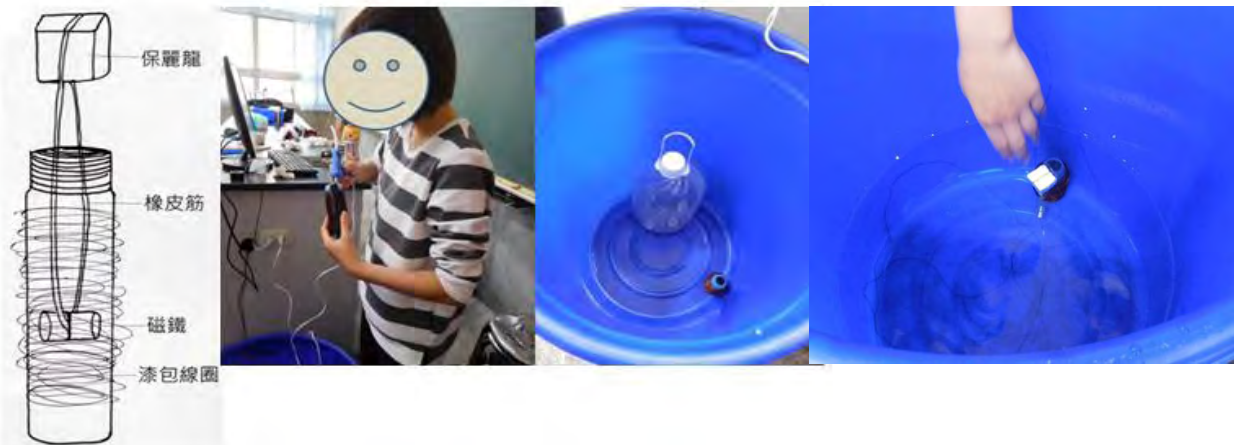


(二)、固定式-波浪發電機

1. 固定底座

在漂浮式的波浪發電機實驗中，我們觀察到裝置主體和強力磁鐵都會隨著波浪起伏，故而相對運動小，若是能固定裝置主體，則強力磁鐵進出感應線圈的相對運動會更大，是否能造成較強的電壓呢？

因此我們便設計了固定式的波浪發電機，先利用矽氧樹脂(silicon)將裝置主體黏置於大型塑膠桶底部，再將橡皮筋和強力磁鐵網綁於保麗龍塊下方，搭配不同變因來觀察發電的效能。



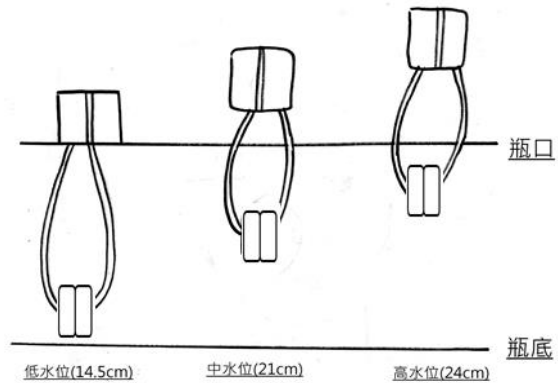
▲圖12：固定式波浪發電機設計圖以及製作過程，大塑膠桶中注水後觀察強力磁鐵在感應線圈中的相對位置。

2. 實驗步驟:

- (1). 首先將感應線圈主體裝置黏置於大型塑膠桶底部，並再大塑膠桶中注水(水面高度分別為24 cm、21cm和14.5cm三種高度)。
- (2). 將裝置焊接好的接線連上arduino uno電路板，針腳一端接地，一端連接到A0的腳

位，並將電路板連上電腦USB接孔。

- (3).人工手壓寶特瓶(容量約6 L)，以一定的速度和力量垂直壓水的方式的方式來製造波浪，製造波浪，波浪高度最大可達49cm。
- (4).以程式控制，連續紀錄波浪搖晃裝置時所產生的數值(每 10^{-3} s偵測一次)，連續獲取15s內所產生的所有數據之後輸出成excel檔案。
- (5).探究不同變因:水位高中低(磁鐵在感應線圈中不同位置)、不同匝數線圈對發電能力差異之影響。每種變因均重複3次以確保實驗的精準性。



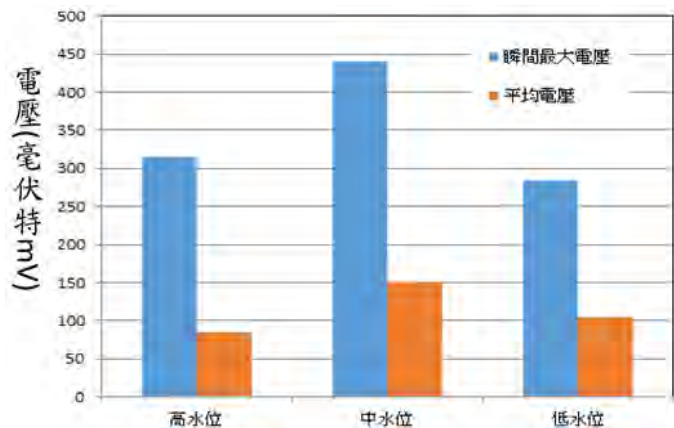
▲圖 13：固定式波浪發電機中，水位高中低可影響磁鐵在感應線圈中不同位置，以探討不同位移量對於發電效能的影響。

- (6).因為資料量非常龐大，因此最後以VBA程式語言進行資料分析，取出瞬間最大電壓、以及將最佳發電能力前500數值的平均電壓取出。

2.實驗結果:

- (1).磁鐵2個橫放，線圈匝數800圈，水位高中低(磁鐵在感應線圈中不同位置)

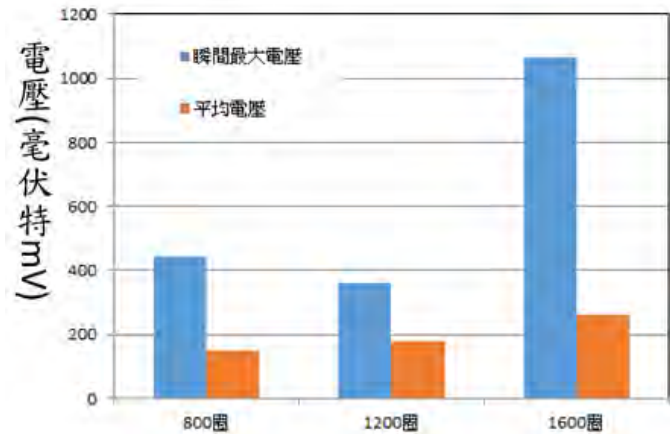
	瞬間最大電壓 (mV)	平均電壓 (mV)
水位高	316	84
水位中	441	151
水位低	284	104



→以固定式設計而言，以中水位(即磁鐵在感應線圈中間)時，有比較好的發電效果，推測此時可以造成的位移量最大，故而後續實驗以中水位進行。

(2).磁鐵2個橫放，線圈匝數800、1200、1600圈，中水位(21公分)

	瞬間最大電壓 (mV)	平均電壓 (mV)
800 圈	441	151
1200 圈	362	179
1600 圈	1066	263

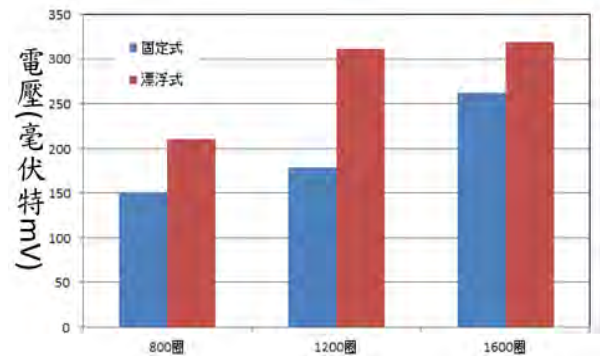


→以固定式設計而言，當相同的磁鐵數進出感應線圈時，漆包線纏繞圈數越多時，感應線圈產生的平均電壓較高，1600圈是800圈的1.7倍。

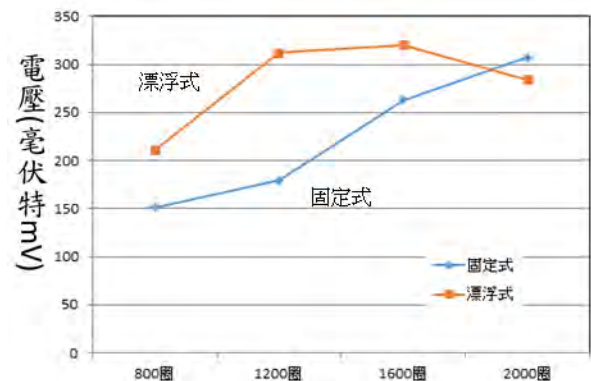
(三)、漂浮式與固定式波浪發電機發電效能比較

1.磁鐵2個橫放，感應線圈匝數(800、1200、1600圈)，固定式為中水位(21 cm)，
漂浮式之浮力裝置架設於中間。

	800 圈	1200 圈	1600 圈	2000 圈
固定式	151mV	179 mV	263 mV	307mV
漂浮式	211mV	312 mV	320 mV	284mV



→比較漂浮式和固定式的發電效能，可以發現漂浮式的感應電動勢較大。而固定式的電壓雖然較小，但1600圈的電壓是800圈的1.7倍，增加幅度較漂浮式大，如果繼續增加線圈數至2000圈，已比漂浮式的電壓(約300mV)來的高，可見固定式的發電



裝置仍有它的潛力。而漂浮式受限於線圈整體

重量影響，當線圈匝數過大時，平均感應電壓不升反降，發電能力較差。

陸、討論

一、設計以彈力帶動磁鐵在感應線圈間移動，形成振動式發電裝置，並利用arduino連續擷取不同情形下的發電數據，找到最佳的發電方式與參數。

(一)、在瓶子選擇方面，必須考量感應線圈半徑與強力磁鐵的大小關係，否則不易產生感應電動勢。

(二)、設計以橡皮筋的彈力作為帶動可以有效的儲存和釋放波浪的能量，使發電效率更為提升，也不必再經由發電機等裝置進行轉換，可以直接將位能轉換為電能。

(三)、以 arduino 進行資料的收集是非常方便的，可以有效的收集連續且大量的數據，對於我們裝置的發電特性提供完整的觀察與測量。而產生大量的資料與數據，我們請老師幫忙撰寫二個 excel 的 VBA 程式來協助資料的整理與分析，獲得良好可靠以及快速的數據分析。

二、在陸地上，以手搖的方式模擬波浪發電，探討振動式發電機在各種情形下的的發電效能。

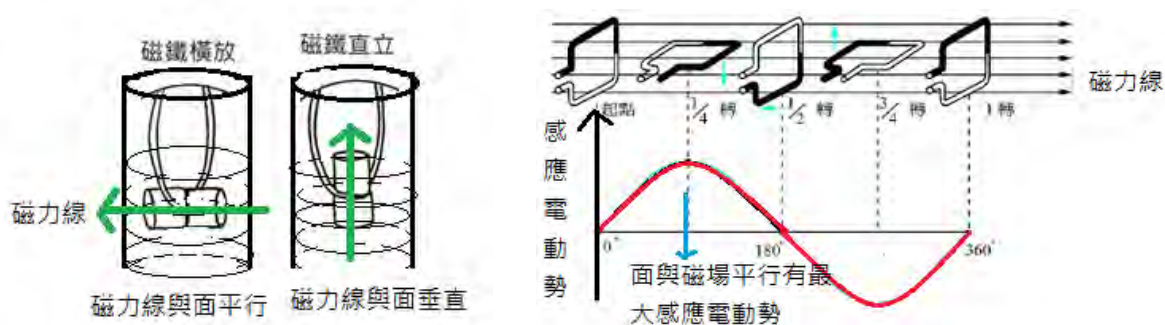
(一)、由法拉第的電磁感應定律可知線圈的感應電壓大小與磁場的變化率以及螺線管纏繞的線圈匝數成正比，我們的實驗數據顯示線圈數從 400 圈到 800 圈，平均電壓增加約 3.5 倍，而從 800 圈到 1600 圈，電壓增加 2.4 倍。增加的倍數有大於正比的趨勢。我們推測原因主要有以下幾點：

- 1.當磁鐵在線圈內振動時，並非每個線圈都有機會產生感電動勢，只有磁鐵有經過的線圈才有機會產生感應電動勢，並非全部線圈在瞬間都會產生感應電壓。所以線圈數較少時，感應電動勢會更微弱，造成 400 圈到 800 圈的電壓有較大的落差。
- 2.另一個原因是因為我們用手搖動的方式，每次的力道難免有所差異，導致磁鐵振動不盡然相同，造成磁場的變化率不同。
- 3.線圈以手工方式纏繞，難以整齊與平均的繞線。

以上都是可能造成感應電壓與線圈匝數非正比而只有正相關的因素，但我們發現在這種磁鐵隨機振動的模式下，線圈數到達 800 圈就有一個相對較大的平均電壓出現，1000 圈與 1200 圈並未增加太多的電壓，直到 1400 或 1600 圈才有更大的電壓出

現，就成本與效益來說，800 圈是一個不錯的線圈匝數選擇。

- (二)、直立式排放時，到 2 顆即可明顯觀察到電壓飽和的狀態，增加磁鐵數對感應電壓的產生沒有太大效果，原因是磁鐵數增加時，能造成磁場變化的主要是兩端的磁鐵磁場，中間的磁鐵對磁場變化較無貢獻。
- (三)、將 2 條橡皮筋並聯或串聯連接磁鐵時，並聯的發電量相對較小，原因是並聯時彈簧的彈力常數較大，在一定的力道振動時，其振幅較小，因此磁場變化較不劇烈，感應電壓也會較小。反之，串聯時容易有較大的振幅，形成較大的感應電壓。
- (四)、磁鐵橫放產生的感應電壓較磁鐵直立為佳，主要原因是因為磁鐵橫放時的磁力線與線圈面平行，此時磁通量較低，所以只要磁鐵稍微轉動，就有較大的磁通量變化量，根據法拉第定律，此時有最大的感應電動勢，此現象與國中物理課本介紹的發電機原理相同，都是在線圈面平行磁場時，有最大的感應電動勢。然而一般課本介紹磁鐵在線圈內的運動時，都只以直立式的方向進出線圈來介紹“冷次定律”，經過此實驗，我們發現，在振動的情形下，磁鐵橫放的感應電動勢會大於直立的感應電動勢。



▲圖 14：磁力線在磁鐵直立與橫放時之變化示意圖

- (五)、經由手搖的測試，我們已確認我們設計的振動式發電裝置在線圈匝數 1600 圈，2 條橡皮筋串聯下，橫放 2 個磁鐵，平均可以產生高達 4 伏特的感應電壓。也確認了我們的裝置可以正確的運作，有效的擷取出數據並進行分析。

三、進行水中波浪發電，以手壓大型寶特瓶的方式製造波浪，探討不同變因下的發電狀況。

(一)、漂浮式-波浪發電機

1.我們的浮台裝置上有加上硬幣作為墊片之用，我們推測有幾個原因導致重心歪斜的

現象:在纏繞線圈時未能平整、綁橡皮筋和強力磁鐵時的誤差，浮台的影響等...，如何將線圈有效且整齊的纏繞，或許是未來改良的重點。

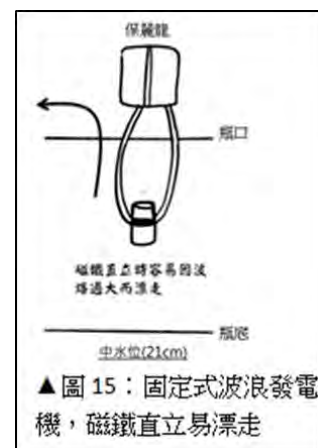
- 2.浮台分別設置於發電機的上方和中間。我們未進行浮台在下方是因為裝置重心不穩而傾倒無法進行實驗。另外我們發現浮力裝置架設於發電機中間的發電效果較佳，推測是因為重心比較高，能隨波浪有較大的振動幅度而仍保持直立，使磁鐵與線圈之間的相對運動達到最大的情形，所以有較佳的發電效果。
- 3.在漂浮式的設計中，我們發現磁鐵橫放時仍有較大的平均電壓，約是直立時的 2 倍。而橫放式磁鐵感應線圈纏繞的匝數在 1200 圈時的電壓與 1600 圈的電壓相差不多，沒有像手搖式有 2.4 倍的增加幅度，我們推論原因可能為線圈數增加時，重量也呈倍數成長(根據我們秤的感應線圈主體重量，800 圈是 150.8g、1200 圈是 211.5g、而 1600 圈則是 288.7g)，這時線圈的慣性增加，不易隨著波浪上下振動，導致感應電動勢也無法提升。可見在漂浮式的設計中，整體線圈的重量是一個很關鍵的因素，我們在觀察比較後發現 1200 圈的感應線圈數是我們人造海浪下的最佳參數，可以產生約 300mV 的感應電壓。

(二)、固定式-波浪發電機

- 1.我們固定了感應線圈，希望能加大線圈與感應磁鐵之間的相對運動，並將磁鐵設計為浮體，觀察其在感應線圈中的發電情形，發現中水位時(水面高度 21 cm)有較佳的發電狀況，推測是因為中水位磁鐵在線圈中的位置位於中央，能夠隨波浪而產生較大的位移，而製造出較高的感應電壓。

- 2.在固定式的設計中，沒能進行磁鐵直立的實驗，因為磁鐵直立時會隨著波浪漂移，離開感應線圈，導致實驗無法進行。而磁鐵橫放則恰能卡住瓶口，並隨波浪而震動。

- 3.固定式的設計而言，以中水位搭配線圈匝數達 2000 圈時，在有最佳的發電狀況，約達到 300mV 的感應電壓。



(三)、漂浮式和固定式的比較

- 1.原以為固定式會因為有較大的相對運動而有較佳的發電效果，但卻反而比不上漂

浮式的發電量，我們推測漂浮式電壓較大的原因在於磁鐵與線圈的相對振動較劇烈與持續，所以有較大的感應電壓，而固定式的線圈只有磁鐵隨波浪振動，有時磁鐵會卡在瓶口而抵銷了振動的現象，所以感應電壓值較低。

- 2.就線圈數的效果來說，固定式的 1600 圈是 800 圈的 1.7 倍，而漂浮式因為重量與慣性的增加，最大電壓在 1200 圈達到飽和(約 300mV)，無法繼續增加。相較之下，固定式比較不受線圈重量與慣性的限制，可以隨著線圈數的增加而提升感應電壓。後來我們發現當線圈數增加至 2000 圈時，固定式的電壓已不輸給漂浮式的電壓，繼續增加線圈數甚至超越漂浮式的電壓值，所以固定式的發電方式仍有它的潛力。
- 3.固定式的設計會有較大的難處，因為必須在海底設置感應線圈，另一方面它的磁鐵沉浮會受水位改變，而影響發電裝置的效能。漂浮式就比較不受水位高低的限制。

柒、結論與未來展望

一、為了找尋再生能源的應用，我們踏上了研究之路，與老師討論、和同學共同發想和查找資料之後，以電磁感應為原理，搭配感應線圈製作、arduino 面板焊接以及電腦資料數據的處理和分析等，克服了重重阻礙，終於做了一個小型簡易的波浪發電機原型，搭配不同的實驗設計，一步步地去探討和分析數據。重要實驗結論有以下幾點:

(一)實驗室初步手搖測試時，我們的設計原型能符合法拉第電磁感應定律

- 1.感應電壓與感應線圈的匝數有大於正比的關係，這是因為振動不規律以及線圈纏繞時不平整以及與磁鐵經過線圈的位置不同有關。經過我們的觀察線圈數差異達 800 圈時會有一個相對較大的平均電壓出現，故而 800 圈是一個適合後續實驗的匝數選擇。
- 2.磁鐵橫放產生的感應電壓比磁鐵直立更佳，這是因為磁鐵橫放時的磁力線與線圈面平行，此時磁通量較低，所以只要磁鐵稍微轉動，就有較大的磁通量變化量，而產生較大的感應電動勢和電壓。而因為我們實驗裝置的限制，無法再進一

步的探討磁鐵橫放個數再增加時的變化。而磁鐵直立時則於 2 個磁鐵時達到飽和，這是因為磁場的變化由磁鐵兩端造成，與中間無關。

3.橡皮筋串聯時產生的感應電壓比磁鐵直立更佳，因為串聯時的彈力長數較小。

(二)、進行水中波浪發電時，我們設計了漂浮式和固定式兩種形式的方式。

漂浮式

1.我們成功設計了浮台，也發現浮台位於裝置中央時能有較佳的發電效果，因為可使裝置產生的位移最大。

2.磁鐵橫放時仍有較大的平均電壓，約是直立時的 2 倍。與陸上手搖測試的結果相符。

3.整體線圈的重量是一個很關鍵的因素，線圈匝數增大時整體重量變重，慣性增加，減低了線圈匝數對發電能力的效應。

固定式

1.無法進行磁鐵直立的探究，因為磁鐵易隨波浪漂走。

2.水位高低會影響磁鐵在感應線圈中的位置，以中水位時，磁鐵能隨波浪在感應線圈中產生較大的位移而使產生較大的感應電壓。

3.線圈匝數是最重要的影響因子，此種設計不受線圈重量與慣性的限制，可以隨著線圈數的增加而提升感應電壓，當線圈數增加至 2000 圈時，固定式的電壓已超過了漂浮式的電壓。

(三)、我們比較了漂浮式和固定式的波浪發電機的優缺點:

波浪發電裝置	漂浮式	固定式
優點	1.不製造汙染 2.可設置於海面上，設置較為簡易。	1.不製造汙染 2.感應電壓不受裝置主體重量影響，與感應線圈匝數呈正相關。
缺點	1.受到感應線圈重量的影響，感應電壓有上限。	1.須將裝置固定於海底，電線連接較長且裝置設計難度較高。

(四)、未來展望方面，我們設計的波浪發電機具有許多優點，全程不產生汙染，未來或許可以結合電機裝置，將此裝置設計於淺海有波浪的區域，收集電能。

捌、參考資料及其他

- 1.趙英傑(103年)。超圖解 Arduino 互動設計入門 (第二版)。台北:旗標。
- 2.劉緻儀、江高舉等(105年)。跟我學 Excel VBA：從入門變高手。台北: 碁峰資訊。
- 3.郭重吉等(105年)。自然與生活科技第 6 冊。台北: 南一。p78-p85。
- 4.郭重吉等(105年)。自然與生活科技第 3 冊。台北: 南一。p166~173。

【評語】 030824

優點：

1. 讓參與學生知悉電磁感應原理及位能利用方法。
2. 利用電磁感應的原理，自製簡易的波浪發電機，並設計了漂浮和固定式兩種型式發電機，是有趣的主題。對電磁感應的實驗有詳細的探討。

待改進：

1. 未查考海洋洋流及潮汐能量利用現況。
2. 缺乏與簡易波浪發電機相關文獻的比較分析，是可加強處。
3. 未考慮防止海水腐蝕問題。

作品海報

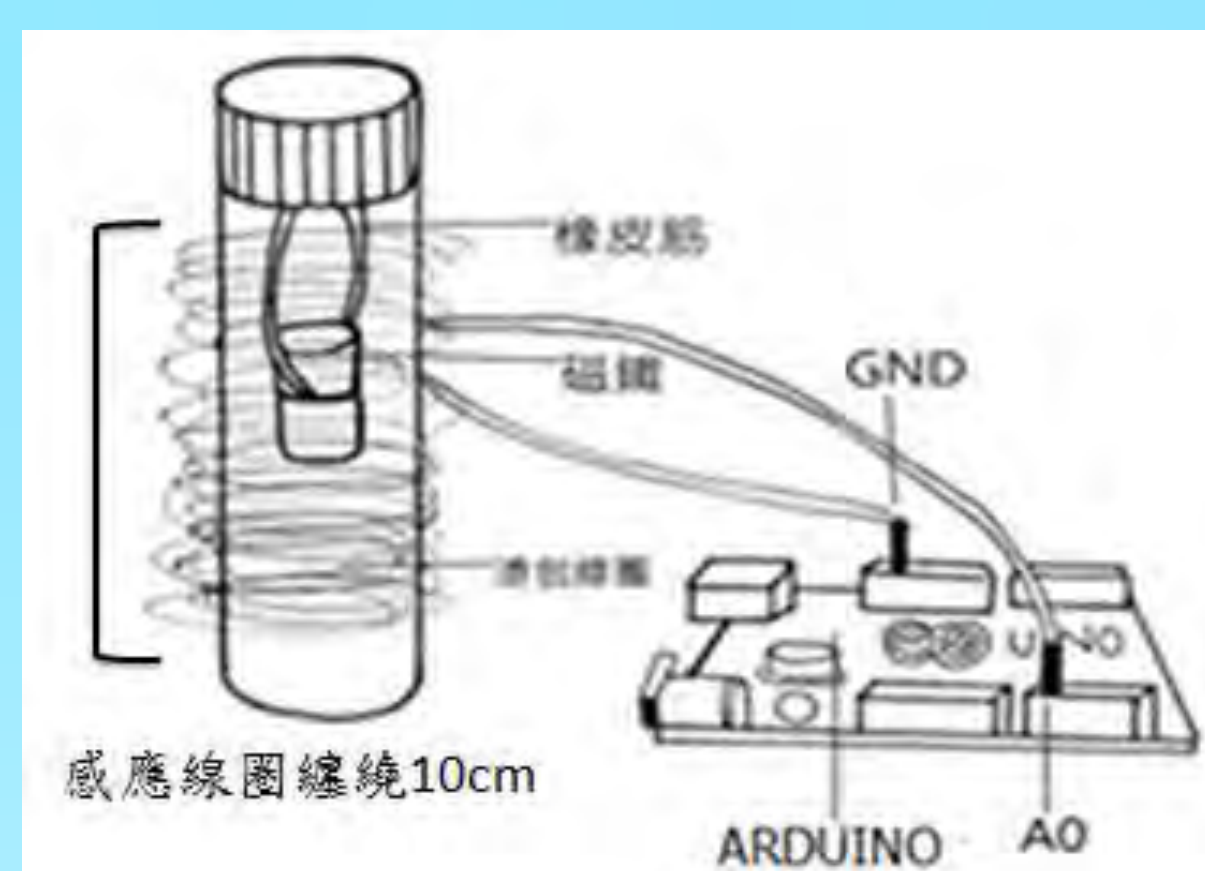
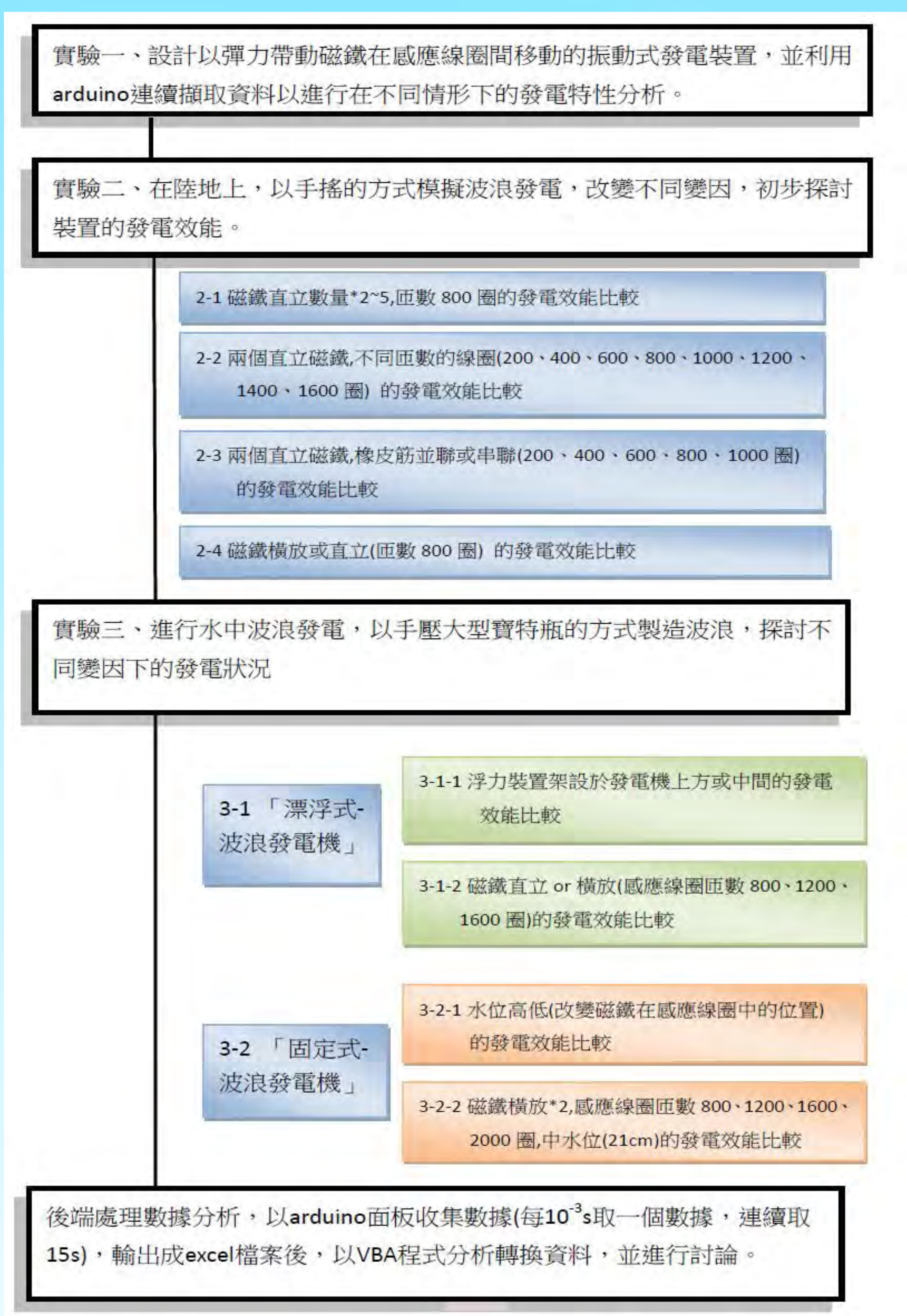
摘要

我們設計的新型波浪發電機，主要是以電磁感應為原理，讓強力磁鐵順應波浪浮動而能在線圈裝置內部移動進而產生電流，全程不製造任何汙染。首先我們設計了振動式的發電裝置，並測量其相關特性，以手搖測試時，最大感應電壓可達到5V。接著進行人造海浪測試，過程中發現磁鐵與線圈的相對位置會對發電能力有所影響。我們並設計了「漂浮式」和「固定式」兩種形式的發電機，並測量和比較其特性與優缺點，研究結果顯示漂浮式發電能力較佳，但容易受到線圈重量影響而限制其發電效能，而固定式感應電壓一開始雖然較低，但隨著線圈匝數增加時可有效增強發電能力。我們的研究相當具有應用的潛力以及前景，為四面環海的台灣提供一個綠能發電的可能性。

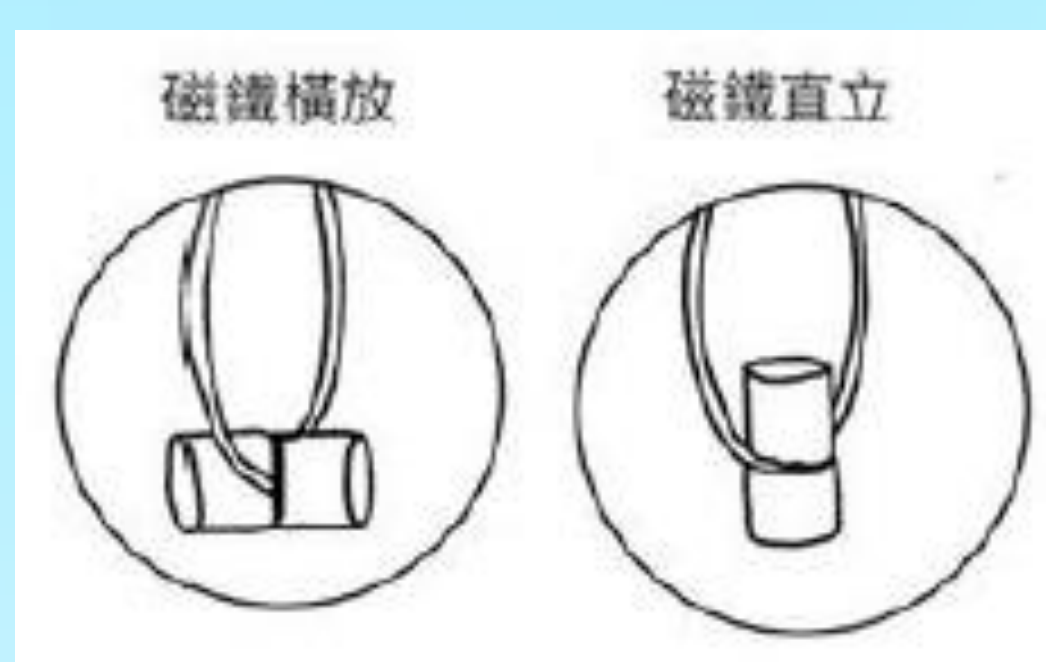
壹、研究動機

前陣子觀賞了「洪水來臨前」這部影片，片中探討人類對環境造成的破壞以及全球暖化的影響。盤旋在腦海中的驚訝與震撼，讓我一直思索著：「如果我們沒有改變，地球明天會是怎樣的情況？」之前在新聞報導上也看到許多專家學者和民眾沸沸揚揚的討論核四存廢相關議題。傳統的非再生能源的使用有許多爭議，再生能源則雖環保，但開發上難度較高。去年暑假到墾丁踏浪時，浪花激起了我的靈感，「是否可以使用“波浪”進行發電呢？但是身為國中生的我們又可以如何利用？」回到家中，我開始查找資料，開啟了研究的旅程，也衷心希望我們的研究能為環境盡一份心力。

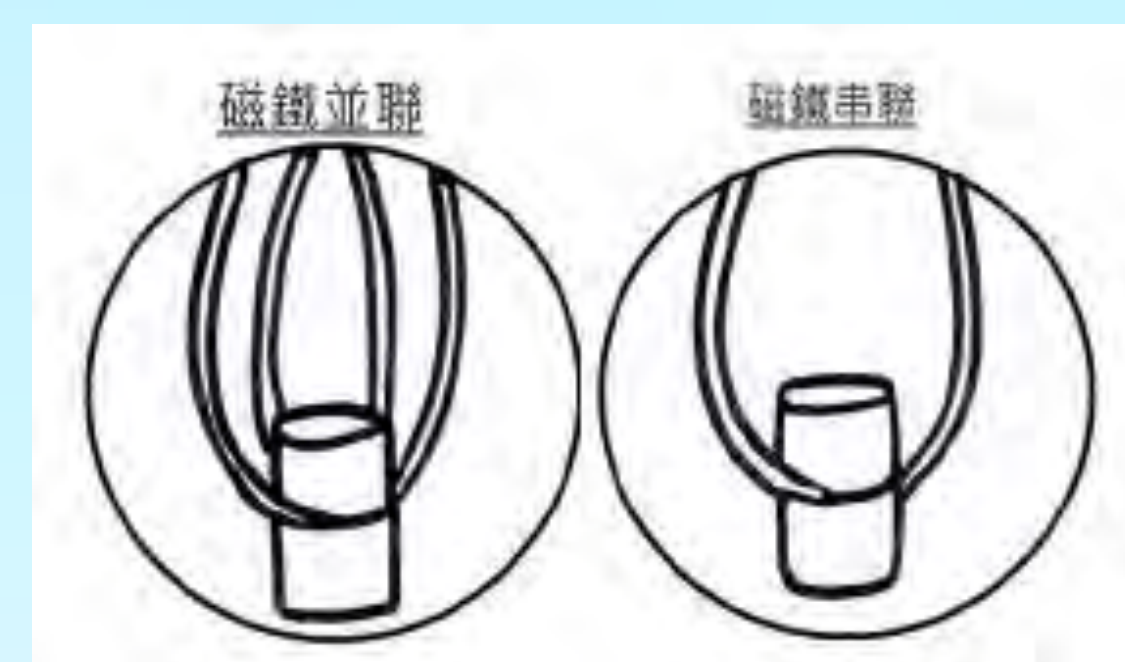
貳、研究過程和方法



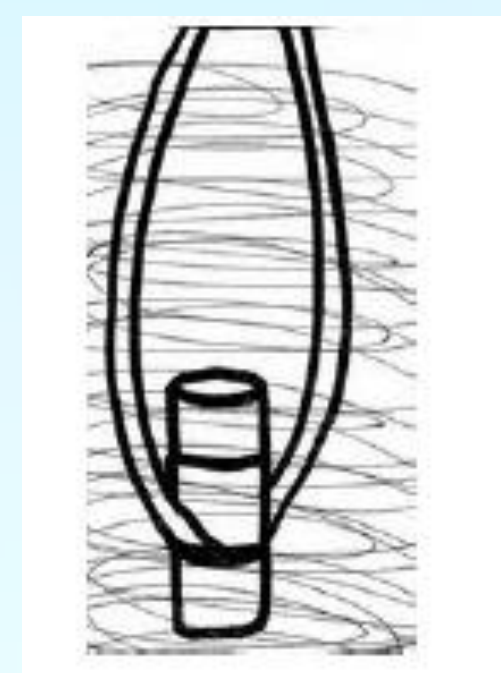
▲新式波浪發電原型設計圖



▲變因設計→磁鐵橫放或直立

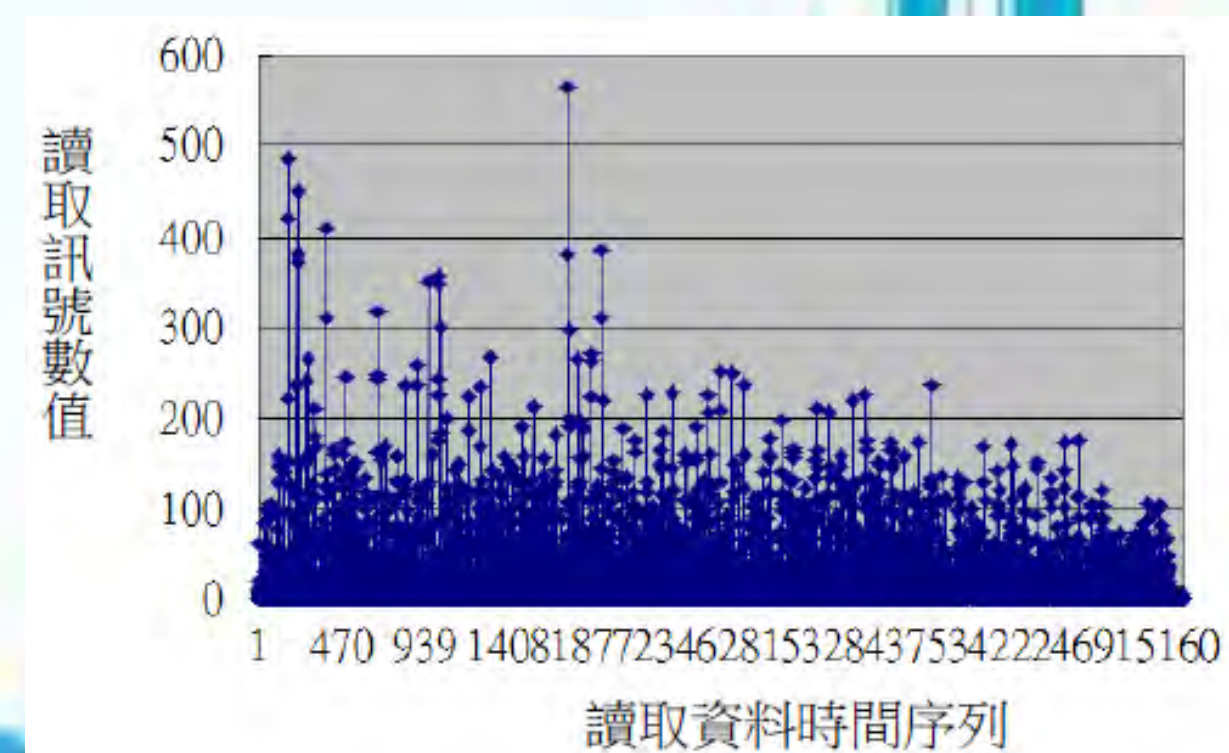


▲變因設計→橡皮筋並聯或串聯



▲變因設計→直立磁鐵之個數

二、製作流程圖

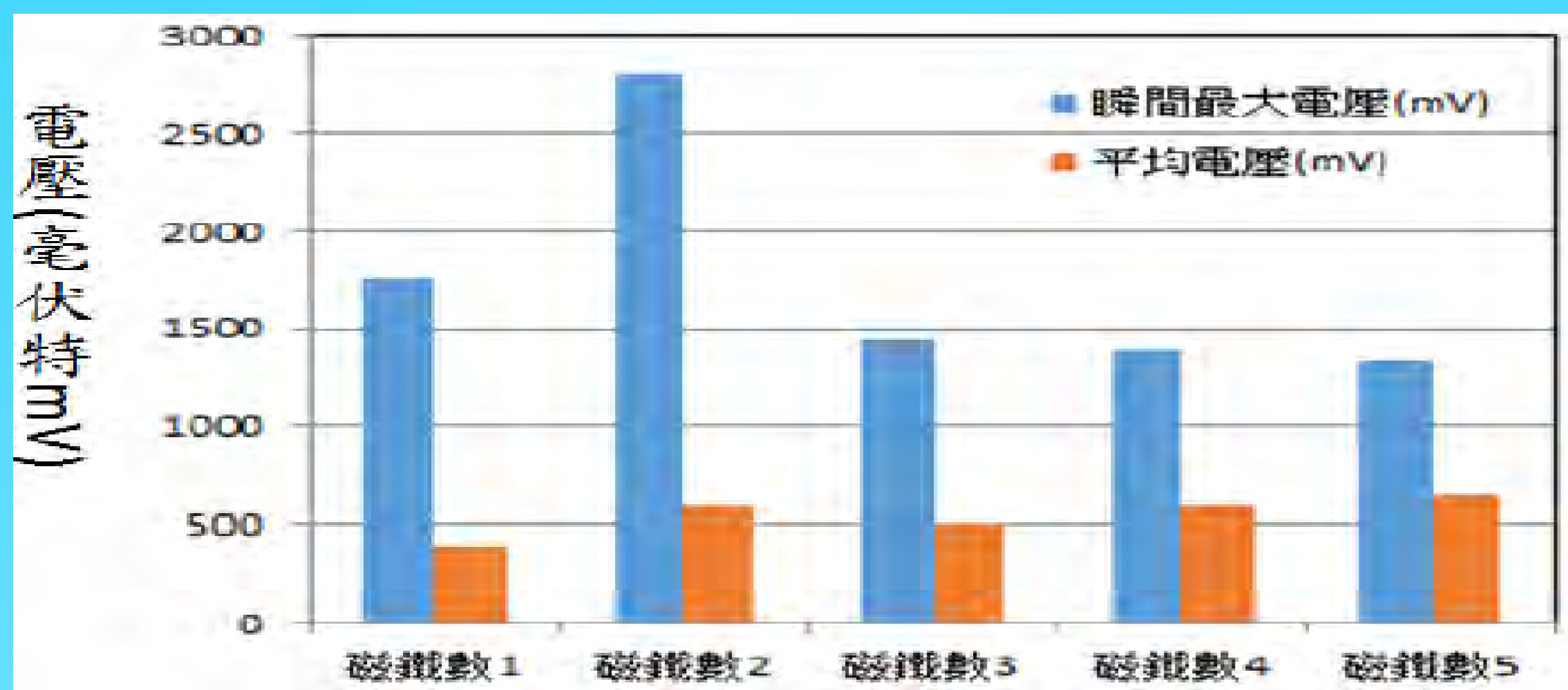


▲arduino擷取之數據圖

參、研究結果

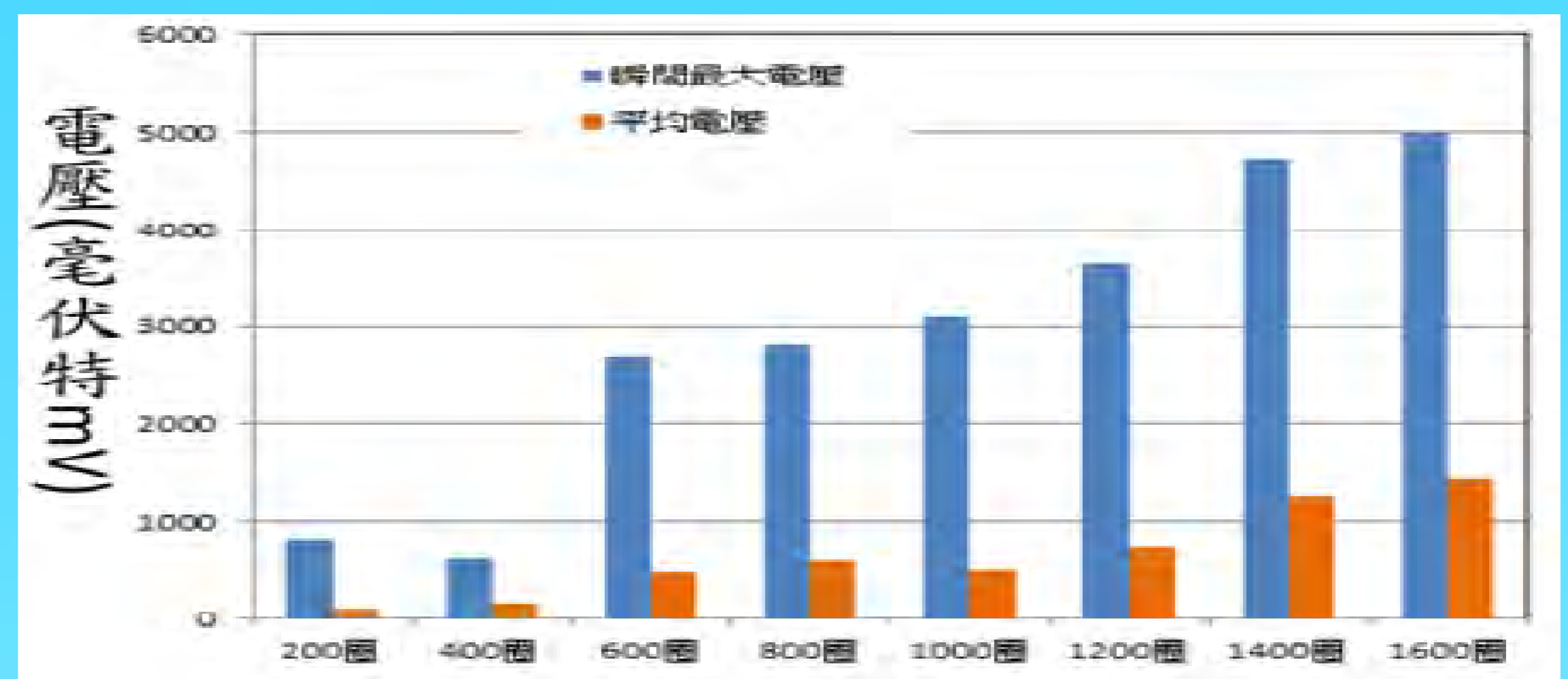
一、在陸地上，以手搖的方式模擬波浪發電，改變不同變因，初步探討機器的發電效能。

1. 磁鐵數量 2~5 個(直立), 感應線圈匝數 800 圈



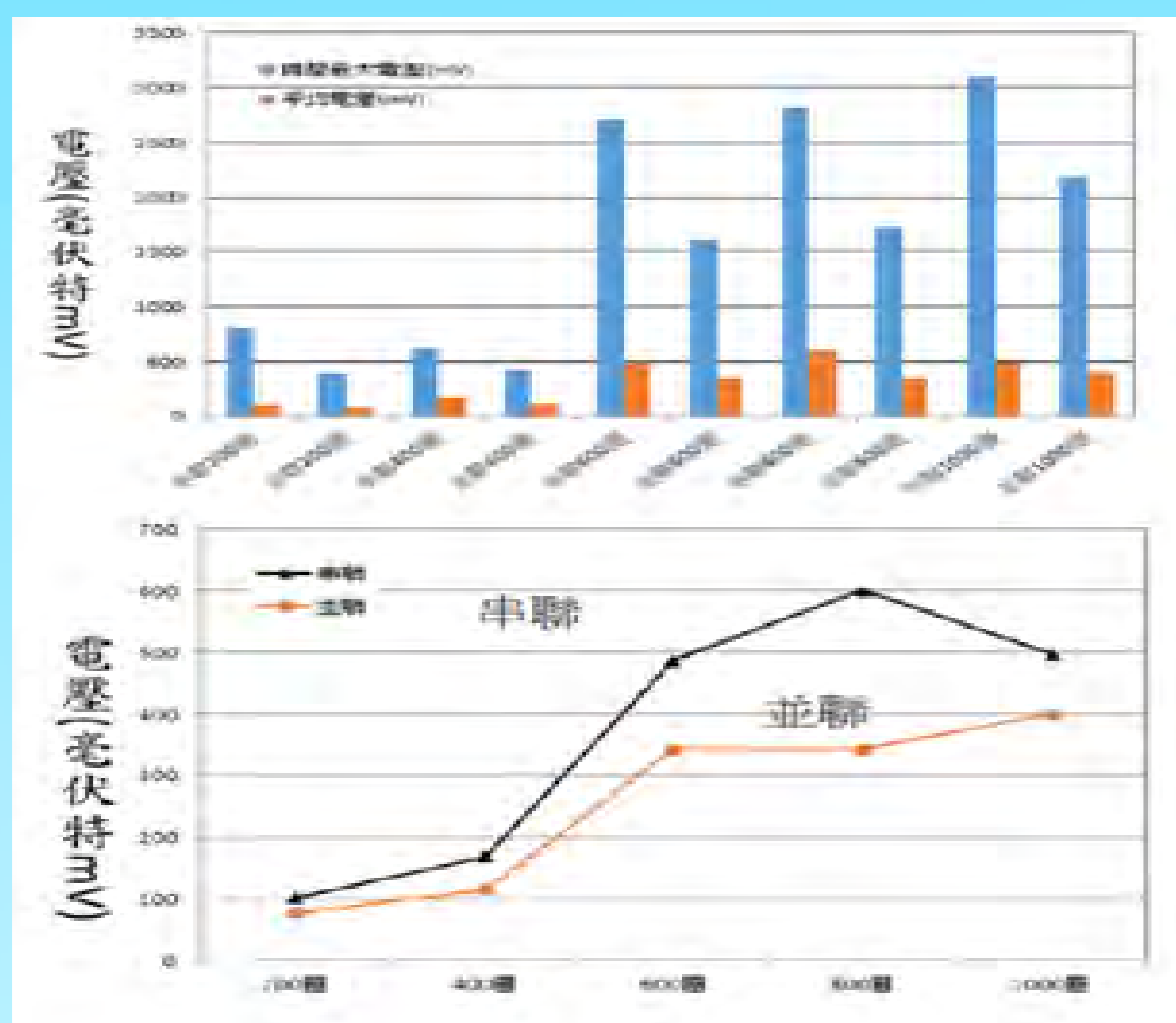
→ 直立排放磁鐵, 磁鐵數 2 個時平均電壓會達到飽和值。

2. 磁鐵直立 2 個, 感應線圈匝數不同 (200、400、600、800、1000、1200、1400、1600 圈)



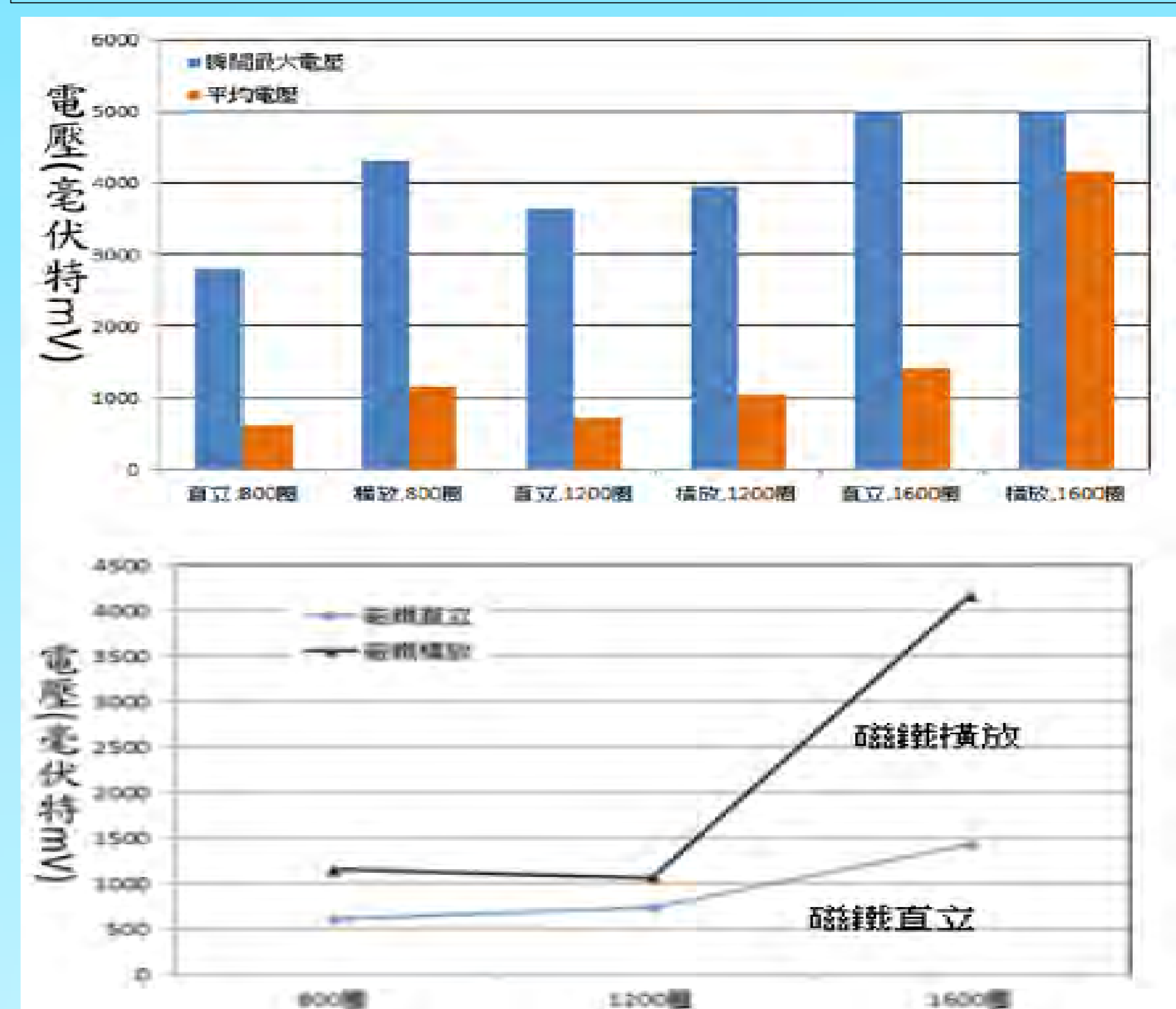
→ 當相同的磁鐵數進出感應線圈, 若漆包線纏繞圈數越多時, 發電機能產生的電壓有越高的趨勢。

3. 磁鐵直立 2 個, 橡皮筋並聯或串聯, 感應線圈匝數不同 (200、400、600、800、1000 圈)



→ 橡皮筋串聯時, 彈力常數較小, 使磁鐵在感應線圈中位移量較大, 導致感應電壓較大。

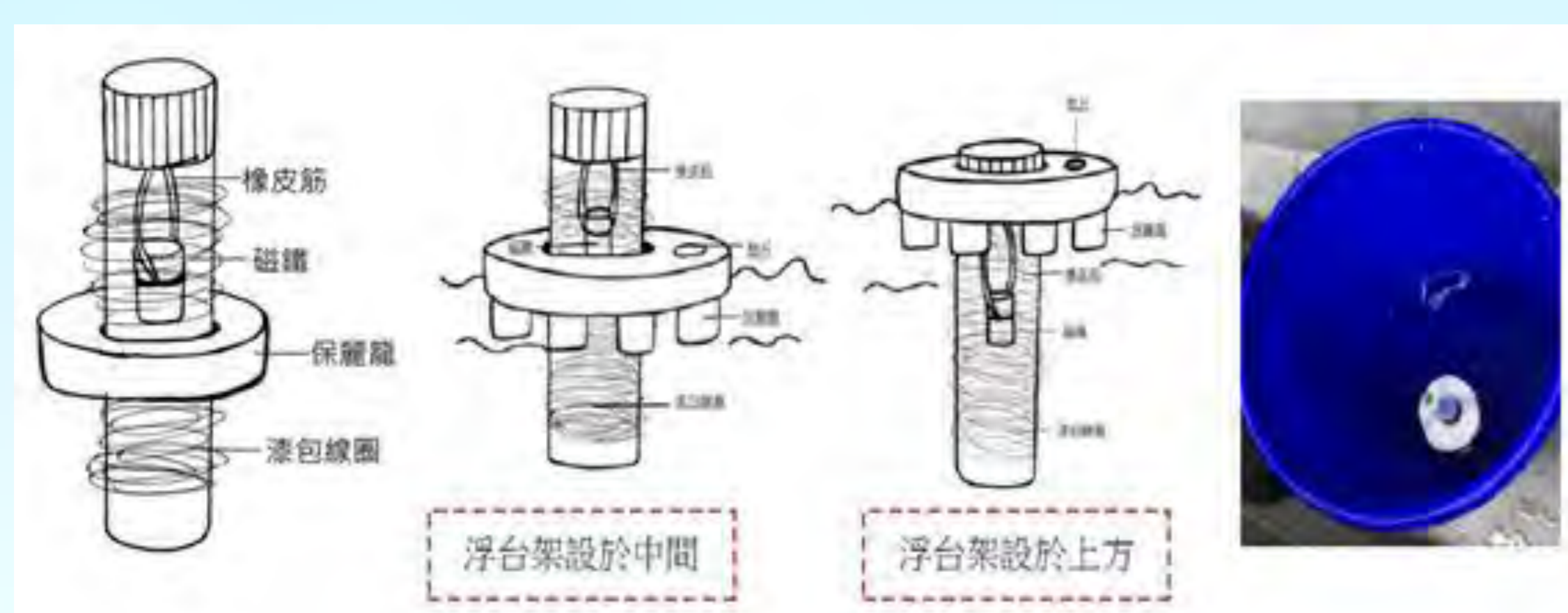
4. 磁鐵橫放或直立 2 個, 感應線圈匝數不同 (800、1200、1600 圈)



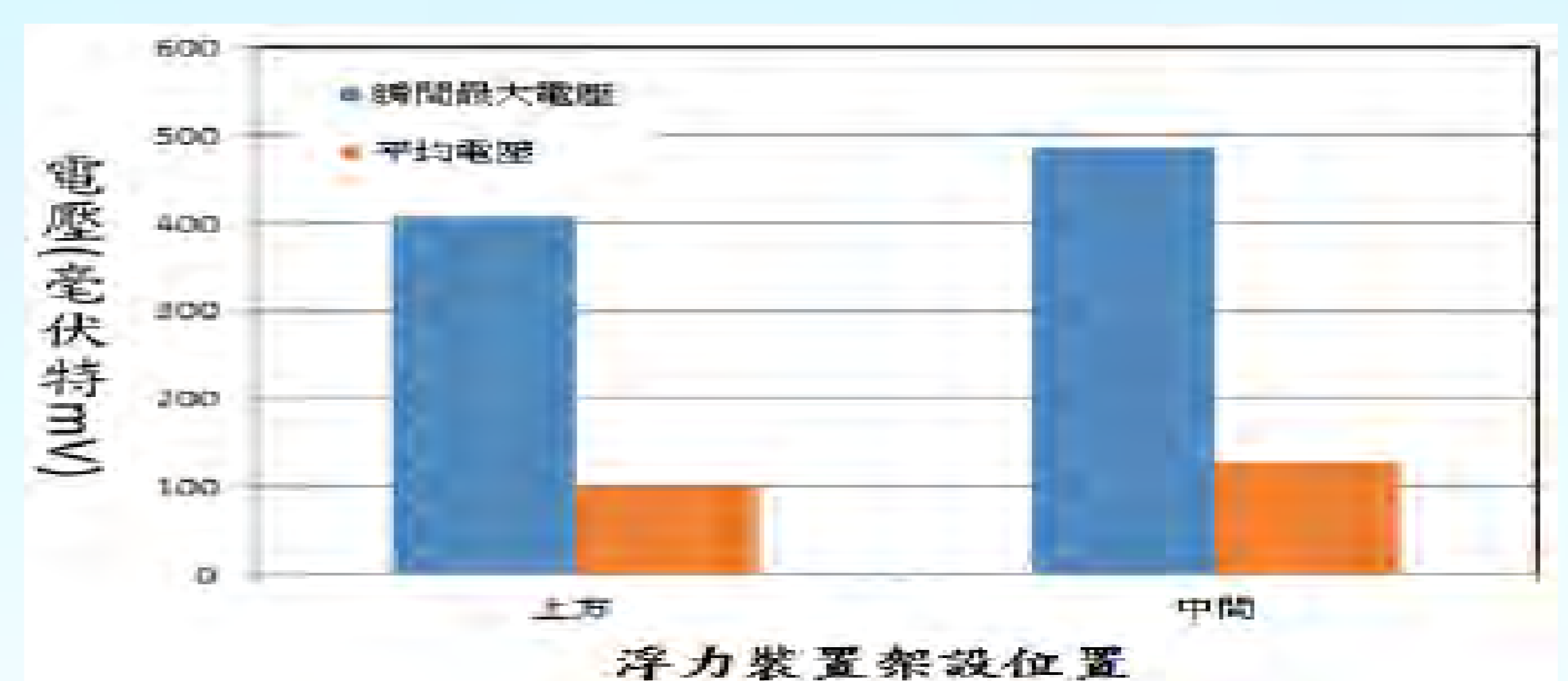
→ 磁鐵橫放時, 磁鐵橫放的發電效果明顯比較好。

二、進行水中波浪發電，以手壓大型寶特瓶的方式製造波浪，探討不同變因下的發電狀況 < 漂浮式設計 >。

浮台設計圖(修正前、後)以及在水中實況圖(修正後浮台能直立且不倒, 隨波浪起伏)

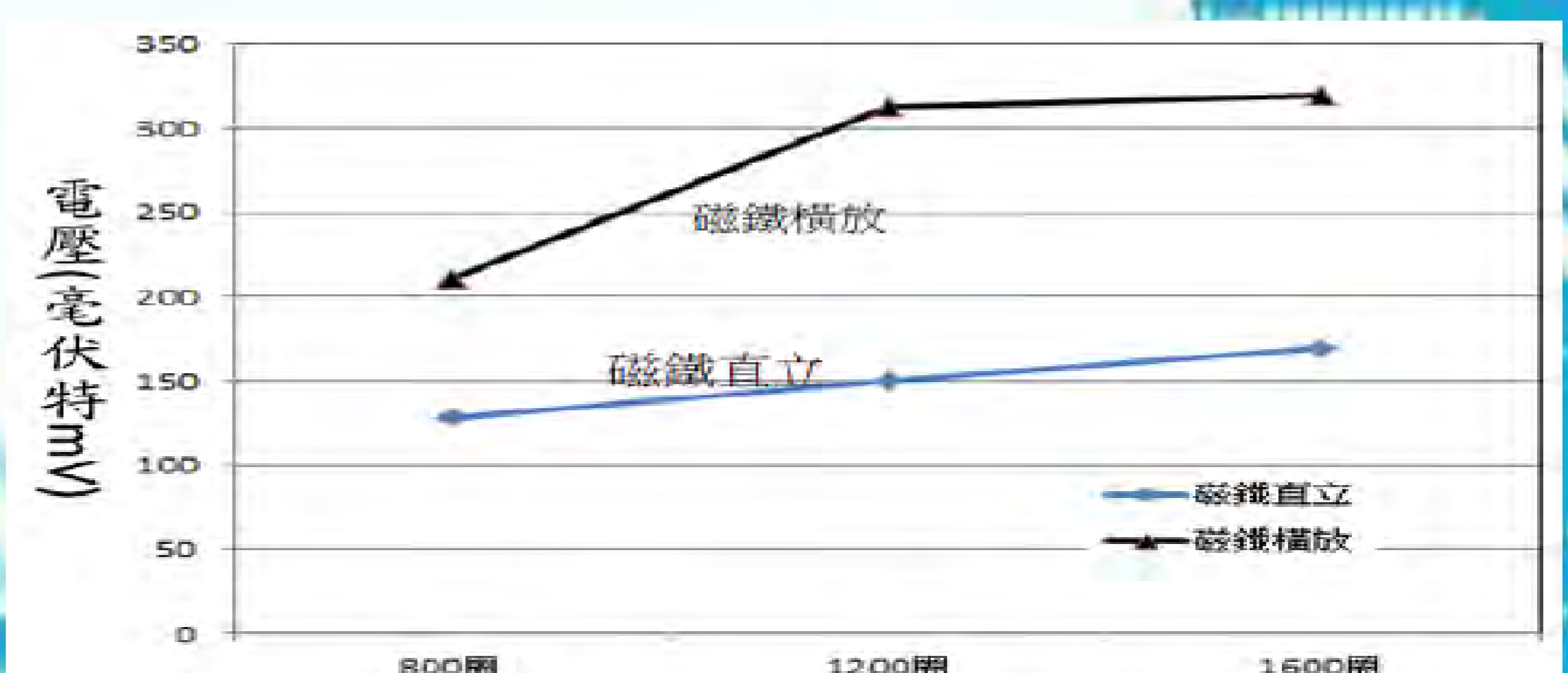
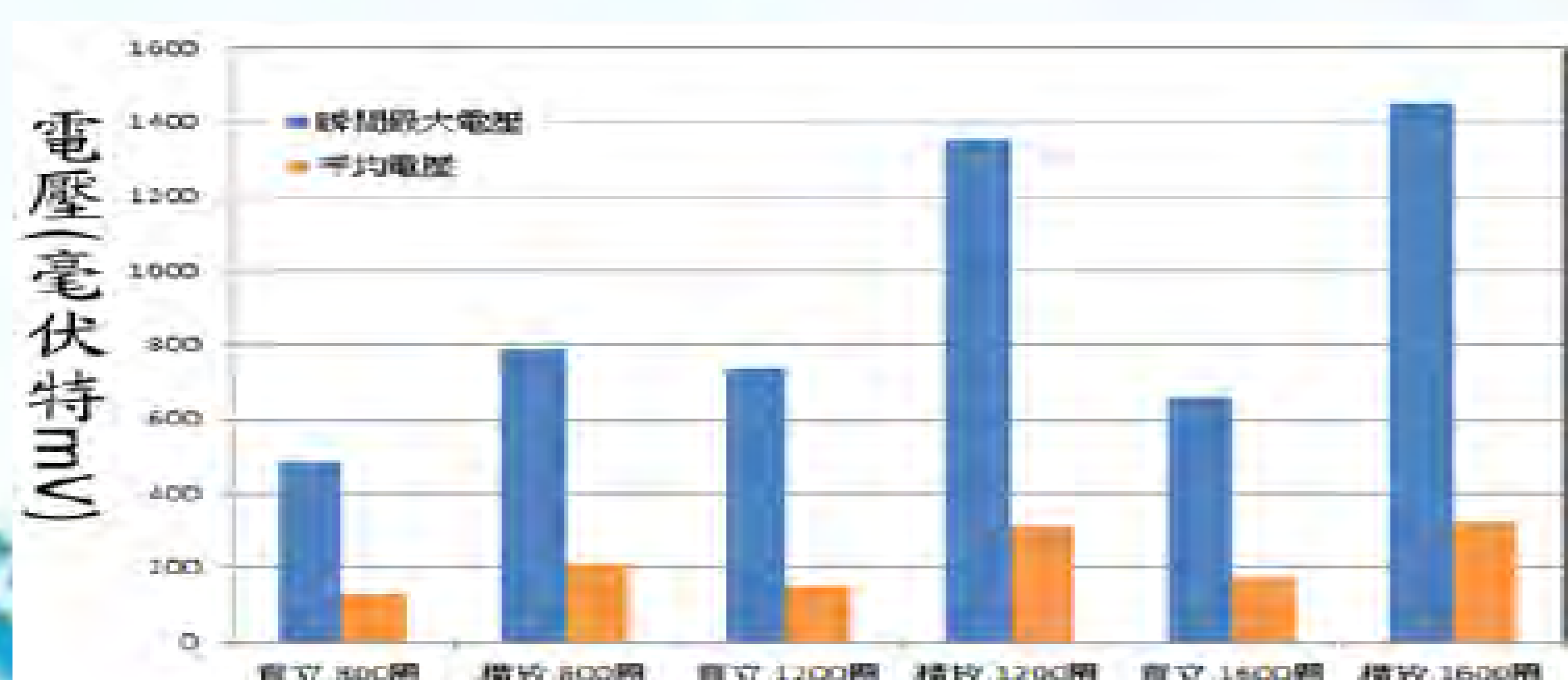


1. 探討浮台位置對發電的影響 (磁鐵直立 2 個, 感應線圈匝數 800 圈)



→ 當浮台架設於感應線圈裝置的中間時, 其平均電壓較高。

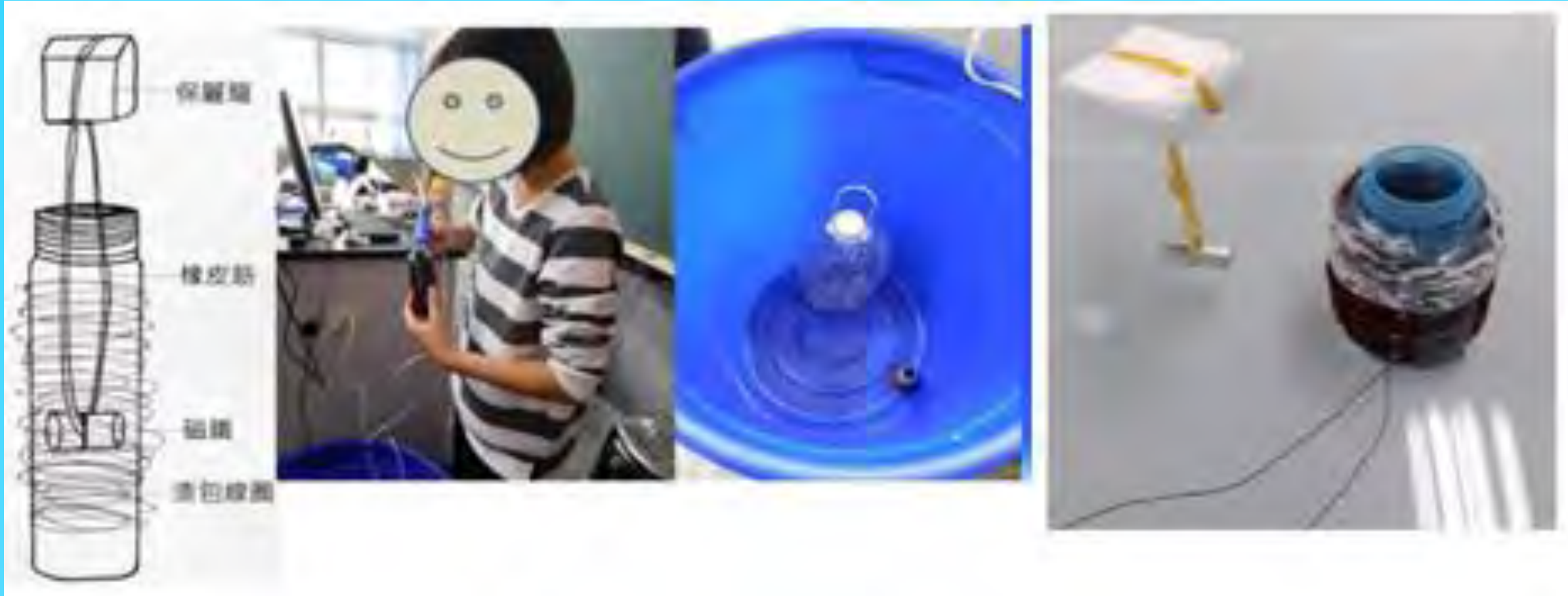
2. 磁鐵數量 2 個 (直立 or 橫放), 不同感應線圈匝數 (800、1200、1600 圈), 浮台裝置位於中間



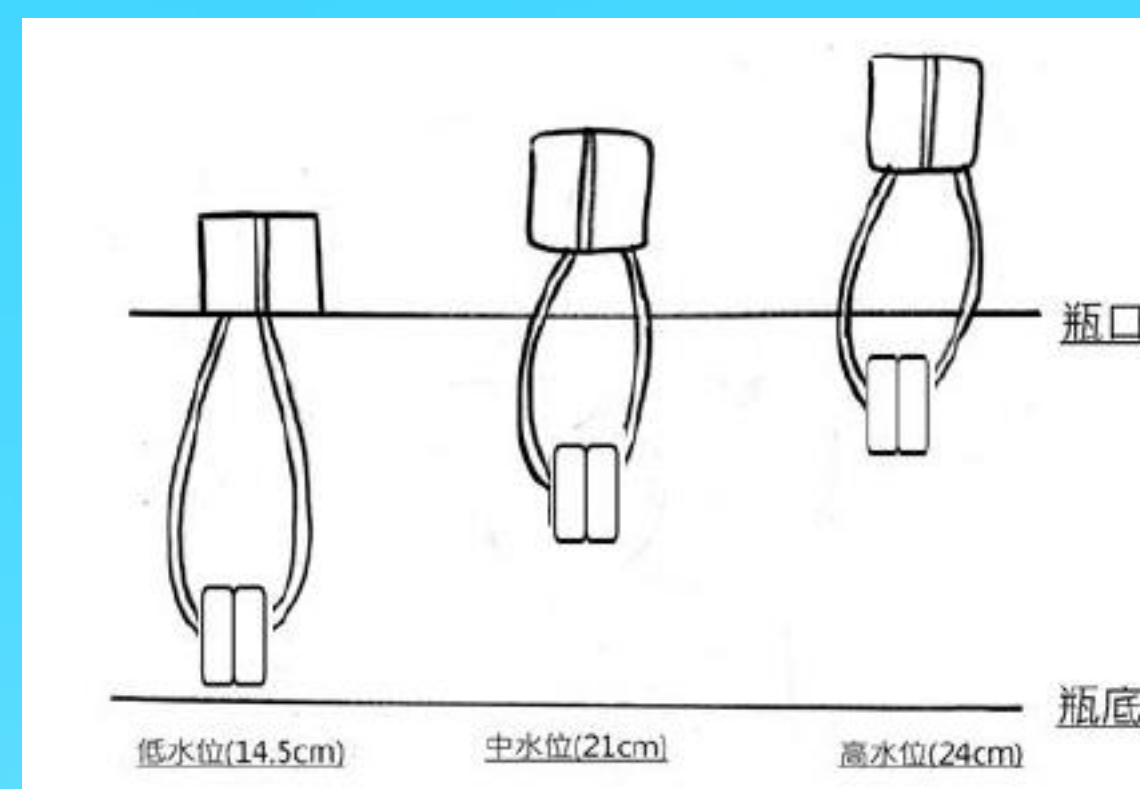
→ 以漂浮式設計而言, 2 個磁鐵橫放時, 依然有較佳的發電能力。當磁鐵橫放時, 線圈數由 800 增加至 1200 圈時平均感應電壓有較大的增加幅度。

三、進行水中波浪發電，以手壓大型寶特瓶的方式製造波浪，探討不同變因下的發電狀況<固定式設計>。

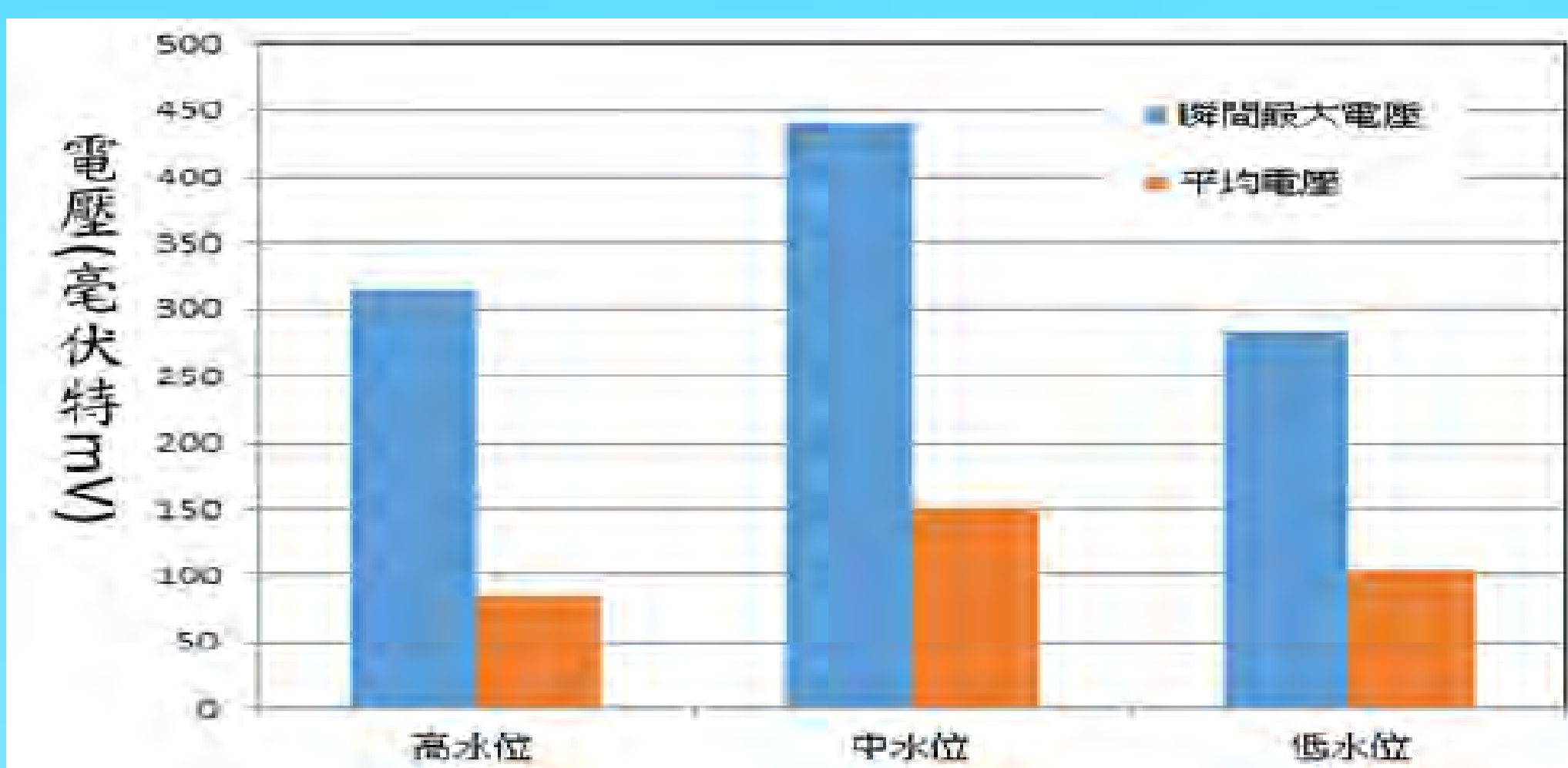
為加大主體和強力磁鐵之間的相對運動，我們設計了固定式波浪發電機。



變因設計→水位高中低
(使磁鐵在感應線圈中不同位置)

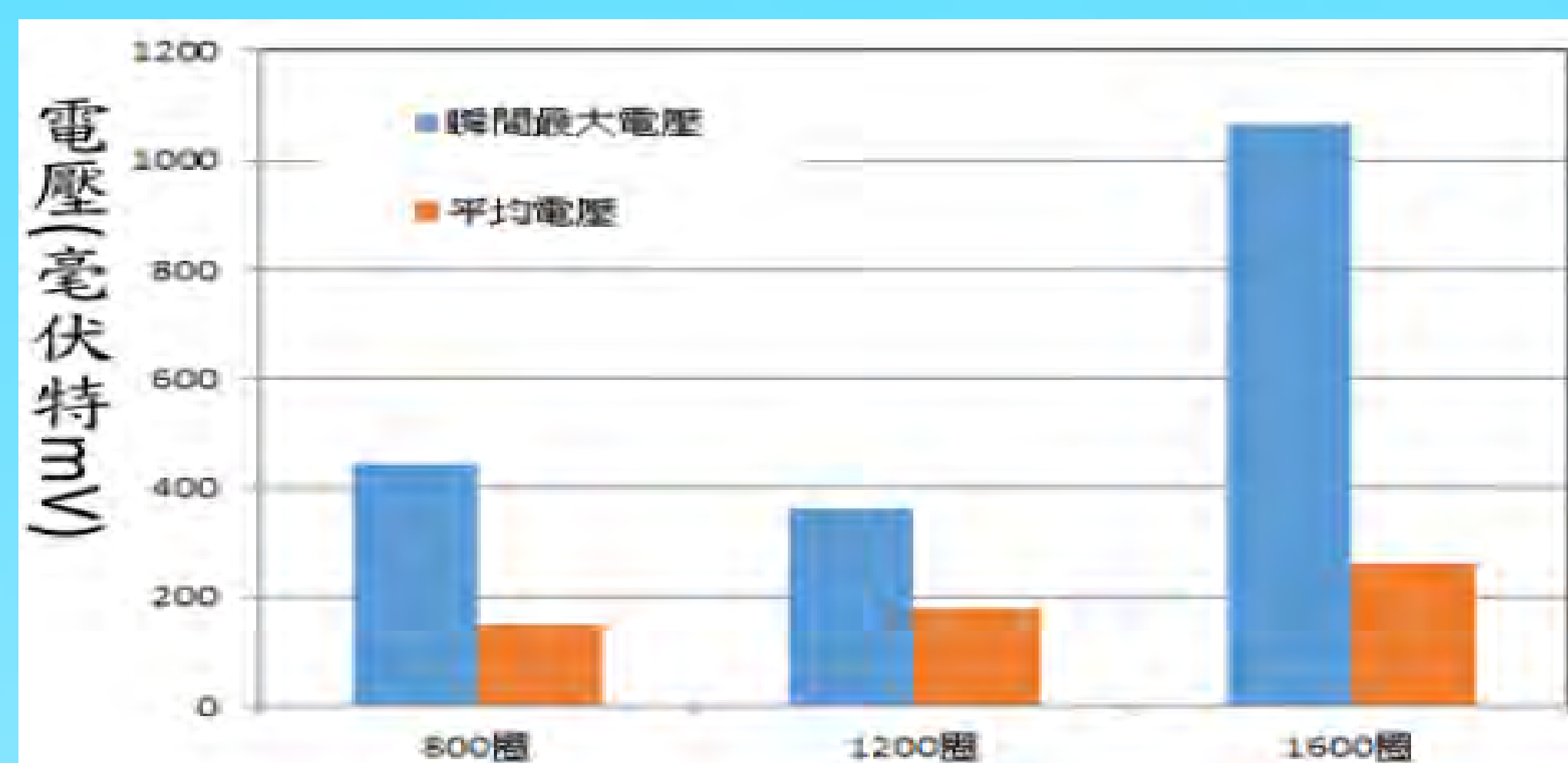


1. 水位高中低(磁鐵2個橫放,線圈匝數800圈)



→以固定式設計而言,以中水位(即磁鐵在感應線圈中間)時,有比較好的發電效果,推測此時可以造成的位移量最大。

2. 磁鐵2個橫放,線圈匝數800、1200、1600圈,中水位(21公分)



→當相同的磁鐵數進出感應線圈時,漆包線纏繞圈數越多時,感應線圈產生的平均電壓較高。

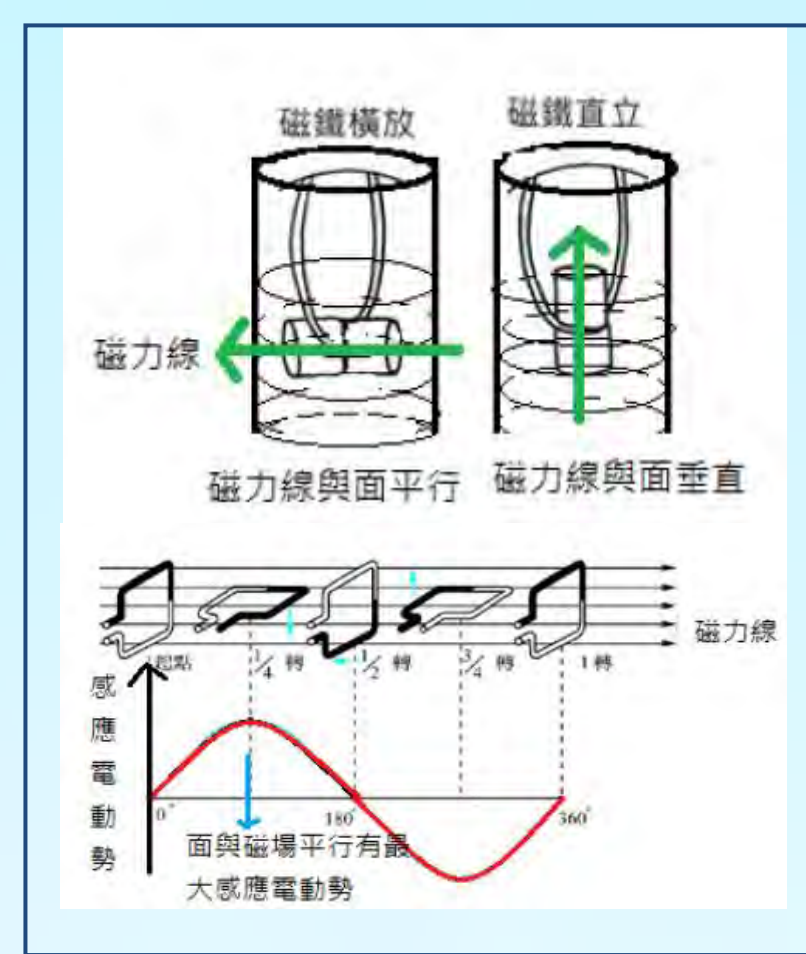
肆、討論與結論

一、設計以彈力帶動磁鐵在感應線圈間移動，形成振動式發電裝置，並利用arduino連續擷取不同情形下的發電數據，找到最佳的發電方式與參數。

- (一)、在瓶子選擇方面，必須考量感應線圈半徑與強力磁鐵的大小關係，否則不易產生感應電動勢。
- (二)、設計以橡皮筋的彈力作為帶動可以有效的儲存和釋放波浪的能量，使發電效率更為提升，不必再經由發電機等裝置進行轉換，可以直接將位能轉換為電能。
- (三)、以arduino進行資料的收集可以非常方便且有效的收集連續且大量的數據，後端我們以VBA程式來協助資料的整理與分析，獲得良好可靠以及快速的數據分析結果。

二、陸地上的初步手搖測試方面，我們發現：

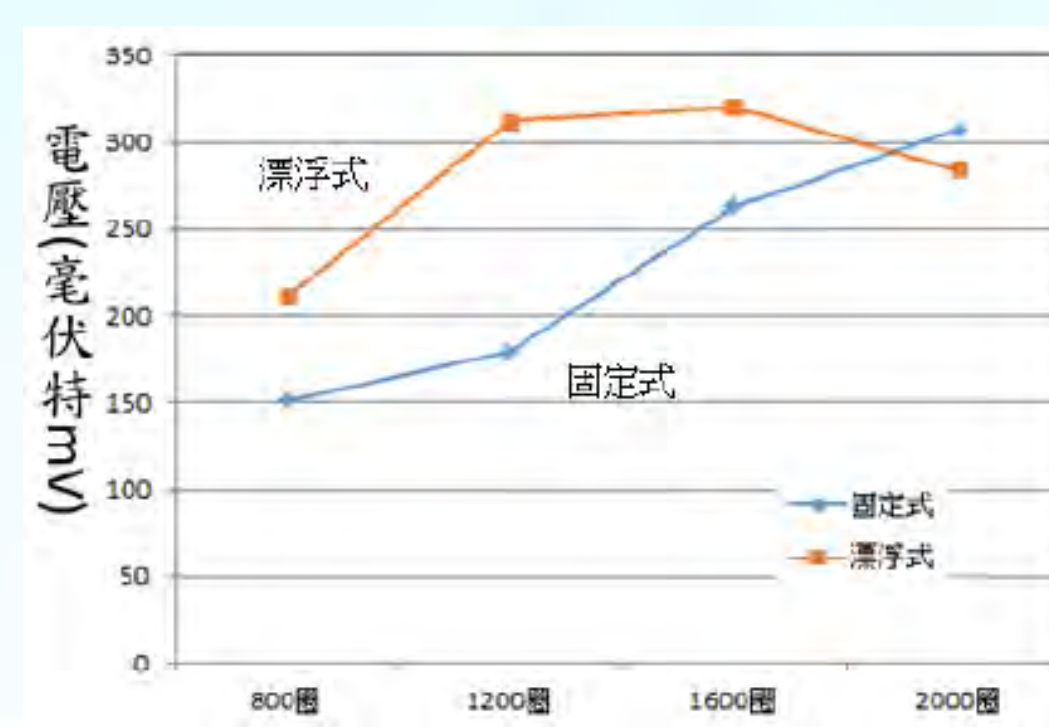
- (一)、由法拉第的電磁感應定律可知線圈的感應電壓大小與磁場的變化率以及螺線管纏繞的線圈匝數成正比。但我們的數據卻有大於正比的趨勢，這可能與纏繞未能平整、磁鐵隨機震動以及並非每個線圈都有機會產生感電動勢有關。
- (二)、直立磁鐵2個時，此時達飽和電壓的狀態，原因是磁鐵數增加時，能造成磁場變化的主要是兩端的磁鐵磁場，中間的磁鐵對磁場變化較無貢獻。
- (三)、磁鐵橫放時有較高電壓變化，推測是因為磁鐵橫放時的磁力線與線圈面平行，此時磁通量較低，所以只要磁鐵稍微轉動，就有較大的磁通量變化量，根據法拉第定律，此時有最大的感應電動勢。然而一般課本介紹磁鐵在線圈內的運動時，都只以直立式的方向進出線圈來介紹“冷次定律”。我們發現，在振動的情形下，磁鐵橫放的感應電動勢會大於直立的感應電動勢。又因我們裝置的限制，未能再進一步討論此變因的影響。



(四)、並聯的發電量相對較小，因為並聯時彈簧的彈力常數較大，強力磁鐵產生的位移較小。

三、進行水中波浪發電測試，以手壓大型寶特瓶的方式製造波浪，並探討“漂浮式”以及“固定式”的優缺點。

- (一)、比較漂浮式和固定式的發電效能，可以發現漂浮式的感應電動勢在低匝數時表現比固定式來的好，但當匝數繼續增加達2000圈時，固定式的裝置表現超越了漂浮式，推測主因是因為隨匝數增加時，重量也呈倍數成長(感應線圈主體重量，800圈是150.8g、1200圈是211.5g、而1600圈為288.7g)，這時線圈的慣性增加，不易隨著波浪上下振動，導致感應電動勢也無法提升。故而我們認為固定式的發電裝置仍有它的應用潛力。



(二)、漂浮式與固定式之比較：

波浪發電	漂浮式	固定式
優點	1.不製造汙染。 2.可設置於海面上，設置較為簡易。	1.不製造汙染。 2.電壓不受裝置主體重量影響，與感應線圈匝數呈正相關。
缺點	1.受到感應線圈重量的影響，感應電壓有上限。	1.須將裝置固定於海底，電線連接較長，裝置設計難度較高。 2.磁鐵在裝置中的高度受限於水位的高低影響。

四、這次的實驗中，我們一路克服了重重關卡，設置出波浪發電的模型，未來或許可以結合電機裝置，將此裝置設計於淺海有波浪的區域，收集電能，盼能提供一個再生能源應用的新契機。