

# 中華民國第 65 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(一)

佳作

032821

現代鬼動風水儀-利用壓電效應偵測並分析風場  
訊號之研究

學校名稱：臺南市立建興國民中學

作者：  國二 瞿佑恩	指導老師：  楊志鴻
-------------------	------------------

關鍵詞：壓電效應、卡門渦街現象、康達效應

# 作品名稱：現代鬼動風水儀—利用壓電效應偵測並分析風場訊號之研究

## 摘要

看過震動型風力發電機與鬼動草現象後，便思考是否能結合兩者製作出一台「現代鬼動風水儀」？

風經障礙物會因康達效應改變風場，本研究利用壓電效應偵測風在震動裝置後端產生的卡門渦街，藉由分析電訊號偵測不同障礙物所產生的風場。自定義葉片的等效邊長，發現電壓約和等效邊長、平方風速成正比；另外，不同迎風角度、擺設狹縫或遮住半邊葉片都會使 pp 板產生小波，牛奶瓶紙則是建立迎風角度的預測模型。狹縫的電壓放大倍率可用三次函數擬合。遮住半邊葉片時牛奶瓶紙會產生共振放大效應(鬼動現象)，而擺設圓柱則會使電壓增強，並且能建立電壓預測模型。

本研究成果可用來製作分析微小風場變化之大數據收集裝置，提供訓練 AI 及建立新的應用方向。

# 壹、前言

## 一、 研究動機

古時候人們在蓋房子時，常常會請風水師來評估當地的風水，讓人民可以居住的更安心。而古代的風水往往跟各地的環境氣流有關。但是古代的測量方法缺乏科學依據，所以我常常在想：能不能利用現今的科學技術製作出能辨識各地環境氣流資訊的裝置？

有次在滑短影片的時候意外看到了一個蠻有趣的發明。有間公司設計出了一種創新的風力發電，利用擾動過後的風產生的卡門渦街，帶動棍子震動發電；另外，在校園中，常常會看到樹木的葉子被風吹後不斷地擺動。造成這個現象的原因是因為風的擾動在葉片後端產生卡門渦街和葉子發生共振而導致的「共振放大效應」，進而產生無風葉子卻在擺動的錯覺，人們以為這是鬼在操縱葉片振動而稱這個現象為「鬼動草現象」。看了那麼多風場所產生的效應，我便想是否能結合兩者做出一台「現代鬼動風水儀」？並且透過分析不同風場產生的電訊號，提供我更多的科學證據與試圖建立一套分析和建立判準的模式。

## 二、 研究目的

根據研究動機，本研究從葉片的選擇及風場的改變，針對以下各項進行實驗：

- (一) 探討不同材質、尺寸及形狀的葉片對震動產生電訊號的影響
- (二) 探討不同迎風角度對兩種葉片震動產生電訊號的影響
- (三) 探討障礙物造成風場改變對葉片震動產生電訊號的影響
- (四) 探討不同迎風角度對不同紋路的牛奶瓶紙葉片產生電訊號的影響

## 三、 文獻回顧

### (一)相關原理

#### 1. 與震動相關之原理

- (1) **共振放大效應**：兩頻率相近的波發生建設性干涉，導致振幅逐漸增大，此效應稱為共振放大效應。常造成物品或建築物毀損而惡名昭彰。
- (2) **自然頻率**：系統經初始擾動後在不受外力持續作用的情況下產生自由振動，該振動的頻率稱為此系統之自然頻率。同系統可有多個自然頻率。
- (3) **鬼動草現象**：微風流經植物葉片後會在其後端產生卡門渦街，少數葉片的自然頻率和卡門渦街的振動頻率相近導致產生共振放大效應，造成少數葉片有大幅

度擺動時，人卻感覺不到風，因此以前人們認為是鬼在操控葉片，並稱此現象為「鬼動草現象」。

## 2. 與壓電相關之原理

- (1) **壓電效應**：指在壓電材料中電能和形變之間的轉換，分為正壓電效應和逆壓電效應。正壓電效應是指透過形變產生電的效應，即本研究的研究重點；逆壓電效應則是透過電場作用產生形變的效應[1]。
- (2) **PZT**：又稱銻鈦酸鉛，化學式為 $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ ，是目前最常見的壓電材料之一，也是本研究所使用的壓電材料，其介電常數由 Zr 和 Ti 的占比決定[1]。
- (3) **壓電常數**：壓電常數表示的是材料在單位應力或電場下所產生的電荷或形變，材料種類和形狀都會影響壓電常數。壓電常數的單位主要有： $\text{C/N}$ （庫侖/牛頓）：表示施加單位力量時材料表面所產生的電荷量。 $\text{m/V}$ （公尺/伏特）：表示施加單位電壓時材料產生的形變量。壓電常數與振動方向有關，本研究所討論之壓電常數為沿其厚度方向震動之壓電常數 $d_{33}$ ，本研究使用之壓電材料 PZT 其 $d_{33}$ 大多介在 200~600(pC/N) [1]。
- (4) **介電常數**：介電常數可表示出電容器的儲電能力。介電常數越大，單位電場產生的形變就會越大，但會有較高的能量損耗。介電常數的單位為 F/m，其大小取決於壓電材料的組成成分，本研究所使用的 PZT 是由 Zr 和 Ti 的占比決定[1]。
- (5) **壓電電壓公式**：壓電材料輸出之電壓由德國物理學家沃德馬·沃伊特（Woldemar Voigt）給出，如式(1)。

$$V = \frac{d_{33} \cdot F \cdot t}{\varepsilon \cdot A} \quad (1)$$

其中 V 為電壓(V)， $d_{33}$ 為該材料的壓電常數(m/V)，F 為受力(N)，t 為該材料的厚度(m)， $\varepsilon$  為該材料的介電常數(F/m)，A 為橫截面積( $\text{m}^2$ ) [1]。

## 3. 與流體力學相關之原理

- (1) **白努利定律**：在任意封閉系統中，對於無黏滯效應的不可壓縮流體，若該流體呈穩態，則以能量守恆的觀點，可得出式(2)如下。

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + P = \text{const.} \quad (2)$$

其中  $\rho$  為流體密度，v 為流速，g 為重力加速度量值，h 流體所處深度（以某一參考點開始計算），P 為流體所受壓力。也就是說風速越快，氣壓越小，反之

亦然[2]。由於低速的氣流可視為無黏滯效應的不可壓縮流體，因此白努利定律適用於本研究之實驗。

- (2) **窄管效應**：對於無黏滯效應的不可壓縮流體，密閉管中管徑較大處的流速大於管徑較小處，反之亦然，若以質量守恆的觀點解釋，則可得到式(3)如下。

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3)$$

其中  $A$  為管徑， $v$  為氣流流速[2]。

- (3) **天斬煞**：在房屋外有兩棟建築之間形成一道狹窄的空隙直對著宅主所居住的建築，就像一把從天而降的利斧將房屋斬成兩半後形成的煞氣，故稱為天斬煞。由於窄管效應的緣故，該宅主的建築會直接面對強大的氣流，在風水學中認為天斬煞破壞陰陽平衡，可造成血光之災、車禍、動手術、或危險性高的疾病等，通常以遮擋來化解。天斬煞有詳細的定義：狹縫寬度小於兩樓總高度的  $1/8$  並且離狹縫端點處距離為兩樓總高  $0.7$  倍之內[3]。
- (4) **康達效應**：流體經過曲面時會沿著曲面邊緣移動，而偏離原本的軌跡，此效應稱為康達效應[2]。
- (5) **卡門渦街現象**：氣流經過障礙物時，會因康達效應而在其後端產生一系列交錯排列的漩渦，此現象稱為卡門渦街現象[2, 4]。片震動的主因。

#### 4. 與資料處理相關之原理：

- (1) **直流偏移 (DC offset)**：在交流電波中出現不為零的直流分量，導致訊號受到干擾，也會使計算出的平均值有偏差，此現象稱為直流偏移。其產生原因包括裝置與元件製作的瑕疵，或來自於外在變因的干擾。處理資料時通常會先扣掉直流偏移再進行處理[5]
- (2) **殘差平方和 (residual sum of squares)**：以  $SS_{res}$  表示，表示實際數據和預測數據差的平方和[7]
- (3) **回歸直線**：一種使得各數據中殘差平方和最小的直線，用於表示出各離散點之間線性關係的直線[6, 7]。
- (4) **零截距回歸**：傳統的回歸分析只能給出線性預測，而無法表示出正比關係，而零截距回歸將截距設為  $0$  後再進行最小平方法，使回歸直線強制通過原點，為部分數據的分析提供更準確的預測[7]
- (5) **總變異平方和 (Total Sum of Squares)**：以  $SS_{tot}$  表示，為各數據與基準值的差平方後相加所得的值，不同回歸模型有不同的基準值，一般回歸模型使用數據的算術平均作為基準值，強制過原點的回歸模型則使用  $0$  作為基準值[6, 7]。

(6) 決定係數 ( $R^2$ )：用於判斷回歸模型的解釋力， $R^2$  越接近 1 代表擬合效果越好，此數值為相關係數的平方，計算公式如下。 $R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$  (4) [6, 7]

(7) 變異係數：定義為標準差與平均值的比值，由於某些數據的誤差可能因數據大小增加而增加，因此定義變異係數來消除數據大小對量化誤差的影響[6]。

(8) 傅立葉轉換 (Fourier Transform)：一種將波函數由時域轉頻域的積分轉換。

本研究使用 FFT (Fast Fourier Transform) 利用數值分析快速得出結果[8]

## (二)歷屆作品彙整

參考了三篇歷屆科展作品和一篇期刊後，我希望能結合這些作品的特點，並利用壓電和震動辨認風場訊號，製作出一台具有科學意義的風場偵測儀器。

表 1 歷屆作品研究焦點覽表

歷屆作品名稱	該作品內容與研究焦點	產生的靈感與本研究的關係
醜小「壓」發電-壓電材料發電之探討	此研究主要探討壓電效應與其性質，並測量出壓電片的伸縮頻率[9]。	此研究讓我有用了壓電效應表示微小震動的靈感，並決定分析電壓、頻率和波形。
風水與科學~探討天斬煞與氣流的關係	此研究主要探討天斬煞與氣流之間的關係，以積木模擬建築物，並利用乾冰顯現出氣流的流動情形，透過多個變因實驗各種天斬煞的擺法所產生的風場情形，並對天斬煞的預防提出了具科學性的解釋[3]。	因為偶然觀察到的鬼動草現和這篇作品給我的啟發，讓我聯想到氣流經過障礙物產生的微小變化配合上述的壓電裝置，或許可以辨認這種看不見的微小擾動。
VIV resonant wind generators	此研究利用微風產生的卡門渦街與圓柱體震動物的共振放大效應產生能量，並利用切割磁場的方式發電，提供了震動發電的可行性。研究最終的完成品發電效率相較目前常見的發電方式並不高，但足以應用於日常生活中[10]。	兩篇作品都認為目前震動發電的效率其實並不理想，因此如果將這樣的弱電訊號應用於偵測微風場，或許能有更出色的表現和貢獻，是本研究值得嘗試與研究的方向。
追風逐電-無扇葉型風力發電機	此研究希望能以 VIV resonant wind generators[10]為基礎，更進一步的研究震動發電。此研究找出在軟風	

	(風速為0.4~1.1m/s) 狀態下最佳的震動物模型，並利用實驗數據，得知感應電動勢會正比於振幅的 1.5 次方、頻率的 2 次方[11]。	
--	---	--

## 貳、研究設備與器材

### 一、一般設備及器材

表 2 一般設備及器材覽表

類別	項目
作圖與測量	鉛筆、橡皮擦、直尺、圓規、三角板、直角規、游標卡尺
美工用品	剪刀、熱熔膠、雙面膠、鑽頭（直徑 1/4 英寸）、護目鏡、手持鑽孔機、裁紙機、螺絲、螺絲起子、白膠、壓接鉗
材料	厚紙筒、衛生紙、紙板、塑膠管（直徑 6 英寸）、pp 瓦楞板、透明膠片、牛奶瓶紙、松木板
電子元件	杜邦頭、杜邦端子、圓形絕緣端子、3A125V 迷你 2 段開關、
其他	手機、電腦、電風扇、U 形夾

### 二、特殊設備及器材

表 3 特殊設備及器材覽表<作者自行拍攝>





1	2	3	4
			
68Hz 壓電片 (PZT)	示波器(Tektrinx TBS1000C)	風速計(Anemometer GM816)	旋轉連接器 MOFLON/MC330



圖 1 實驗設備擺設示意圖<作者自行拍攝>

## 參、研究過程與方法

### 一、研究過程

研究架構分為六大類，如圖 2 所示。科展主題構思透過文獻查詢，提供具創新性和可行性之研究目的。為了能更了解且更方便於後續實驗與推論，透過查詢資料建立理論基礎有助於後續實驗順利完成。實驗進行主要針對葉片和風場進行討論，並在數據分析中找出資料間的關聯性與規律。由分析後的數據建立預測模型，並為現代鬼動風水儀提供一個更科學且更嚴謹的解釋與應用。針對本研究的重要發現，提出一項結論，並思考未來能改進或應用的方向。

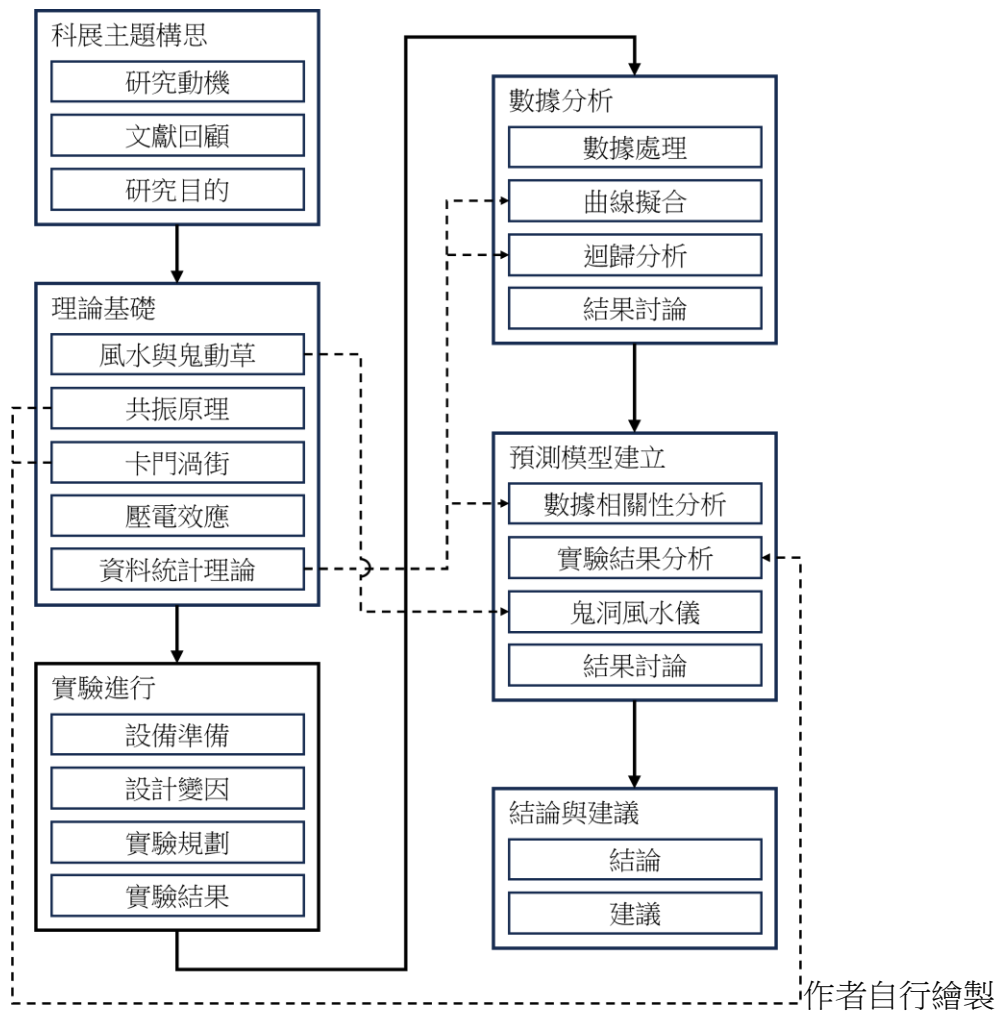


圖 2 研究架構流程圖

根據圖 2，實驗過程條列如下。

#### (一) 探討不同材質、尺寸及形狀的葉片對震動產生電訊號的影響

1. 探討不同材質的葉片對壓電片輸出電壓、頻率、波形的影響
2. 探討不同尺寸及形狀的 pp 瓦楞板葉片對壓電片震動頻率及其電壓的影響
3. 探討不同尺寸及形狀的牛奶瓶紙葉片對壓電片震動頻率及其電壓的影響

## (二) 探討不同迎風角度對兩種葉片震動產生電訊號的影響

1. 探討 pp 瓦楞板葉片在不同的迎風角度時對壓電片電壓、頻率和波形的影響
2. 探討牛奶瓶紙葉片在不同的迎風角度時對壓電片電壓、頻率和波形的影響

## (三) 探討障礙物造成的風場改變對葉片震動產生電訊號的影響

1. 探討狹縫氣流對不同迎風角度的 pp 瓦楞板葉片產生電壓、頻率和波形的影響
2. 探討不同迎風角度對僅一半迎風的牛奶瓶紙葉片產生電壓、頻率和波形的影響
3. 探討不同迎風角度對僅一半迎風的 pp 瓦楞板葉片產生電壓、頻率和波形的影響
4. 探討狹縫氣流對不同迎風角度的牛奶瓶紙葉片產生電壓、頻率和波形的影響
5. 探討擺設圓柱對 pp 瓦楞板葉片在不同迎風角度時產生電壓、頻率和波形的影響
6. 探討擺設圓柱對牛奶瓶紙葉片在不同迎風角度時產生電壓、頻率和波形的影響

## (四) 探討不同迎風角度對不同紋路的牛奶瓶紙葉片產生電訊號的影響

## 二、 研究方法

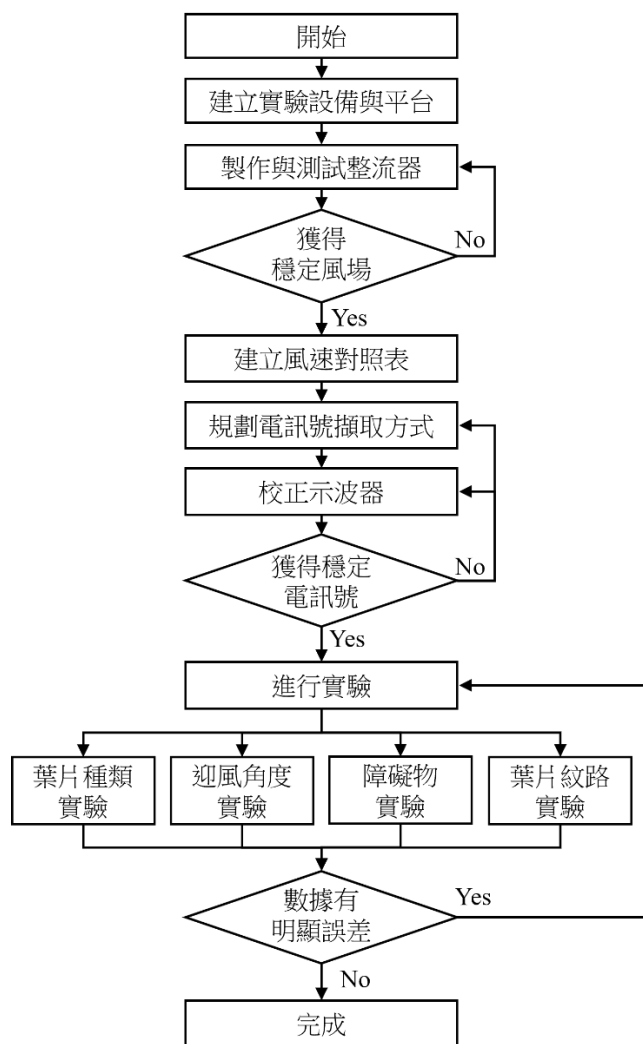


圖 3 實驗進行流程圖 <作者自行繪製>

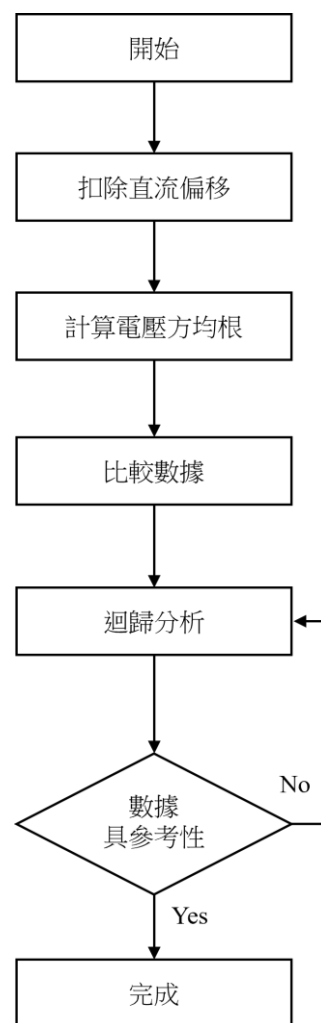


圖 4 數據分析流程圖

圖 3 和圖 4 分別以圖 2 為架構，為實驗進行和數據分析呈現更細部的研究方法。實驗進行主要分成穩定風場、獲得穩定電訊號和電訊號擷取三部分。第一部分以整流器穩定風場，隨後測量風速並建立對照表；第二部分著重於震動裝置的改良；第三部分對應研究目的，取得結果並檢核。數據分析先透過示波器輸出波形計算出電壓平均值，再透過迴歸分析找出數據間的規律。根據圖 3 和圖 4，詳細研究方法之細節說明如下。

### (一) 電訊號產生方式的選用

目前常見且適合本研究的發電方式有兩種，分別是切割磁場和壓電，根據美國國家職業安全衛生研究所（NIOSH）提出的七項偵測器性能指標，經初步判斷，比較兩種發電方式如表 4。

表 4 發電方式優缺點比較表

切割磁場較優	壓電較優	兩者性能接近	需經實驗確認
抗干擾能力 裝置壽命 量程	靈敏度 反應時間	穩定度與再現性	準確度

雖然壓電的部分性能遜於切割磁場，但由於本研究著重於測量微風場及其變化，而壓電剛好具備適合的特性，因此決定以壓電作為本研究電訊號產生的方式。

### (二) 震動裝置的固定

因為實驗需要頻繁的調整角度，因此我選用 U 形夾作為固定壓電片的器具。固定方式為：先將 U 形鐵夾夾於木板，再將壓電片夾緊。

### (三) 葉片的固定

#### 1. 固定方式

本研究選擇使用雙面膠將壓電片和葉片黏緊，雖然拆卸不易且可能導致壓電片損毀，但牢固的固定方式能有效避免誤差的產生，因此本研究會購買足夠的壓電片，使每個葉片都能各自黏於一個壓電片，能避免拆卸導致的壓電片損毀。

#### 2. 固定位置

本研究採用「葉片形心對準壓電片頂端」的方式固定。忽略葉片密度和厚度的不均勻，其形心位置會接近其質心，因此面積相同的兩葉片即使形狀不同，質量也會相同，由於質心位置相同，葉片重量產生的等效力矩就會相同，因此就能排除質量對壓電片震動情形的影響。

#### (四) 數據的擷取與處理

##### 1. 擷取的數據種類

本研究想藉由分析壓電片的震動情形分析出當時的微風場，由於電壓可以由擷取的波形計算出，因此決定擷取波形和頻率。波形可由示波器輸出，頻率則是在偵測當下的畫面顯示，並在擷取波形時記錄當下的頻率於實驗日誌中，但由於示波器擷取的頻率最小單位為 2Hz，導致研究中較難找出更細部的頻率變化（老師建議未來可以嘗試傅立葉分析），因此本研究著重探討電壓與波形。擷取時若調整風速，先待其電壓穩定後再進行擷取。

##### 2. 擷取次數：每種葉片製作五個，每片測量五次並將數據取平均並四捨五入至整數

##### 3. 電壓的提取

由於壓電片產生的電波為交流電，因此最理想的情況是整數個波中各處電壓的算術平均為 0mV，但會因為設備瑕疵或外在干擾產生直流偏移而須扣除，因此處理時先找出最左邊擷取波形中電壓為 0mV 的時刻，再找出最靠近右邊的一時刻使得兩時刻間包含整數個波，將原始數據扣兩時刻間電壓的算術平均，再利用 RMS 計算出兩時刻間的電壓作為本研究使用的數值。

#### (五) 整流器的製作與測試

##### 1. 整流器的製作

將厚紙筒交錯排列並用熱溶膠固定，形成蜂巢狀的整流器，如圖 5 所示

##### 2. 整流器的測試

為了確保整流器的有效性，決定將單層衛生紙條黏於紙板，製作出一個簡易的測試器具如圖 6 所示，測得結果如表 5 所示。可以發現有整流器的衛生紙條較直，而無整流器的則是無規律的飄揚，因此後續實驗決定使用整流器。



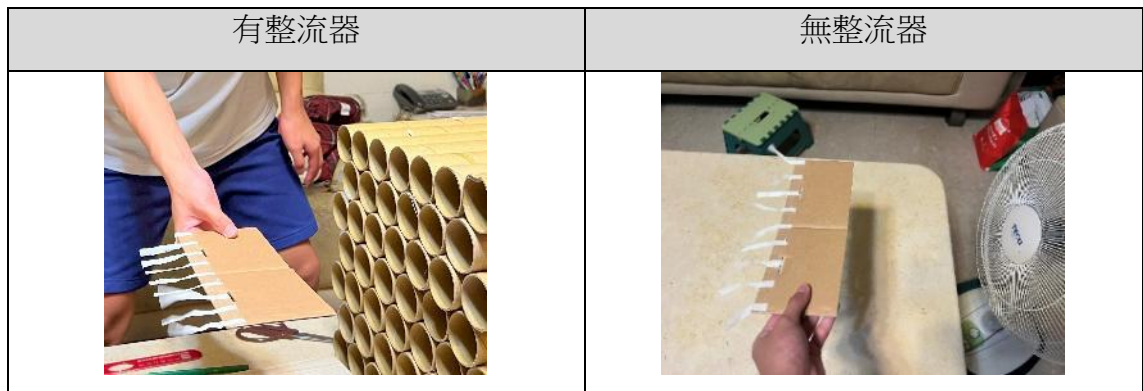
作者自行拍攝

圖 5 整流器



圖 6 簡易的整流器測試器具

表 5 有無整流器對氣流穩定度的影響



老師協助拍攝

#### (六) 電風扇各檔位風速的測量

為了方便後續實驗的風速對照，因此測量電風扇各檔位風速如表 6 所示。

表 6 電風扇各檔位的風速對照表

檔位	弱	中	強
風速 (m/s)	1.6	2.2	3.2

#### (七) 震動裝置的製作

透過不斷的改良，最終製作出一個能獲得穩定電訊號的震動裝置，製作步驟如下。

1. 裁切好葉片並標示出其形心。
2. 利用雙面膠將葉片固定於壓電片上
3. 裁出小片的絕緣透明膠片黏於壓電片底端，防止金屬固定器具對電訊號的影響

## 肆、研究結果與討論

### 一、探討不同材質、尺寸及形狀的葉片對震動產生電訊號的影響

#### (一) 探討不同材質的葉片對壓電片輸出電壓、頻率、波形的影響

找了家中適合的材質，決定使用 pp 瓦楞板、透明膠片和牛奶瓶紙進行實驗。每種材質分別製作  $49\text{cm}^2$  三角形、正方形和圓形葉片，在風速  $3.2\text{m/s}$  下記錄數據。

表 7 不同形狀的 pp 瓦楞板葉片輸出電壓和頻率

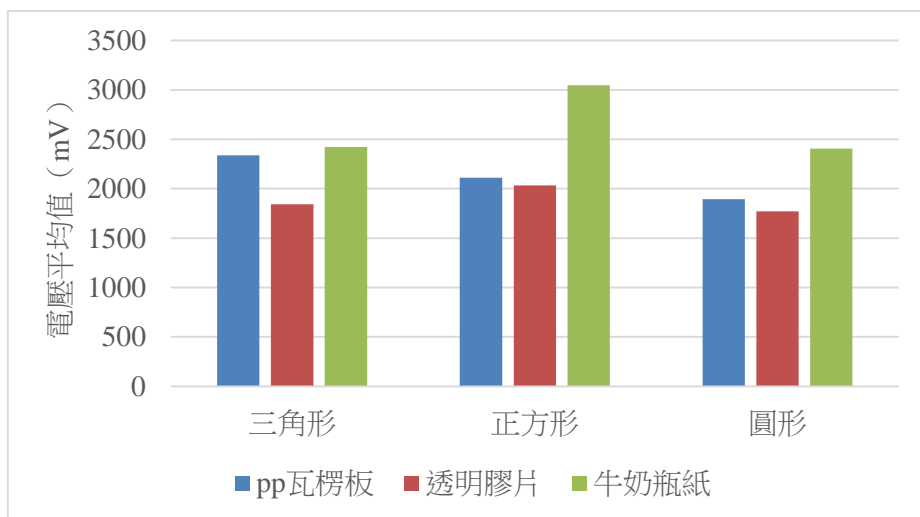
葉片形狀	三角形	正方形	圓形
電壓 (mV)	2339	2111	1894
頻率 (Hz)	20	24	28

表 8 不同形狀的透明膠片葉片輸出電壓和頻率

葉片形狀	三角形	正方形	圓形
電壓 (mV)	1843	2034	1770
頻率 (Hz)	26	27	35

表 9 不同形狀的牛奶瓶紙葉片輸出電壓和頻率

葉片形狀	三角形	正方形	圓形
電壓 (mV)	2421	3048	2405
頻率 (Hz)	21	23	32



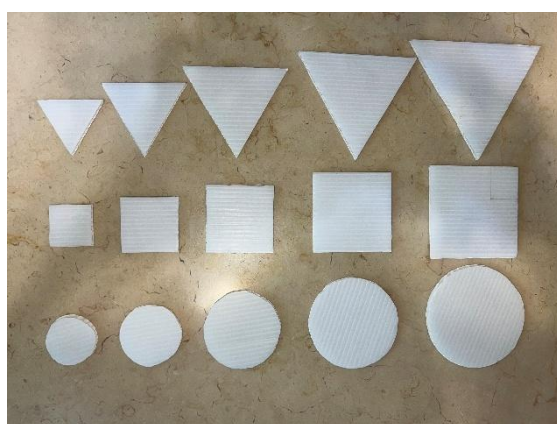
作者自行繪製

圖 7 不同材質的葉片輸出電壓長條圖

由以上數據發現三種材質頻率皆為圓形>正方形>三角形，另外牛奶瓶紙輸出電壓平均比 pp 瓦楞板高 25%、比透明膠片高 39%，因電壓越大越容易於實驗中觀測波形變化，考量到研究時間的限制，因此後續實驗決定使用 pp 瓦楞板和牛奶瓶紙。

## (二) 探討不同尺寸及形狀的 pp 瓦楞板葉片對壓電片震動頻率及其電壓的影響

為瞭解不同葉片的偵測效能與特性，以 pp 瓦楞板為材料，紋路平行於地面分別製作了 9、16、25、36 和 49cm<sup>2</sup> 的三角形、正方形、圓形葉片，並紀錄數據如下。



作者自行拍攝

圖 8 不同尺寸及形狀的 pp 瓦楞板葉片

(由左至右分別為 9、16、25、36、49cm<sup>2</sup>，上至下分別為正方形、三角形和圓形)

表 10 不同尺寸的 pp 瓦楞板三角形葉片輸出之電訊號

電訊號	風速 (m/s)	9cm <sup>2</sup>	16cm <sup>2</sup>	25cm <sup>2</sup>	36cm <sup>2</sup>	49cm <sup>2</sup>
電壓 (mV)	1.6	183	261	354	388	565
	2.2	288	462	692	745	878
	3.2	856	1058	1408	1846	2193
頻率 (Hz)	1.6	32	31	27	26	21
	2.2	35	30	29	26	22
	3.2	36	31	28	25	23

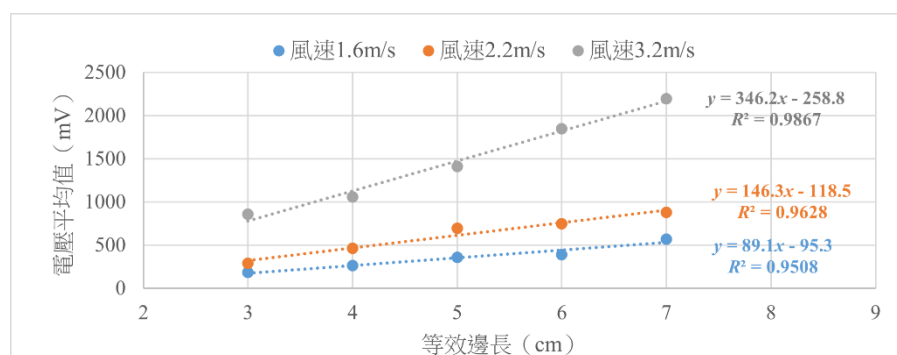
表 11 不同尺寸的 pp 瓦楞板正方形葉片輸出之電訊號

電訊號	風速 (m/s)	9cm <sup>2</sup>	16cm <sup>2</sup>	25cm <sup>2</sup>	36cm <sup>2</sup>	49cm <sup>2</sup>
電壓 (mV)	1.6	151	210	320	309	448
	2.2	298	443	479	732	737
	3.2	686	1253	1449	1860	2080
頻率 (Hz)	1.6	39	34	31	27	24
	2.2	41	36	32	28	24
	3.2	42	35	28	27	25

表 12 不同尺寸的 pp 瓦楞板圓形葉片輸出之電訊號

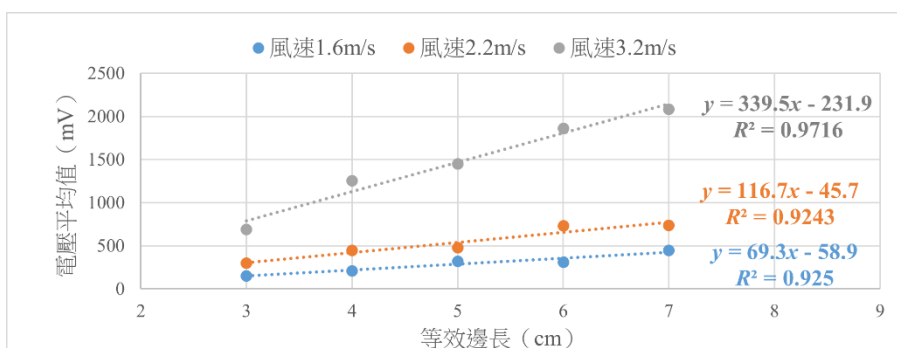
電訊號	風速 (m/s)	9cm <sup>2</sup>	16cm <sup>2</sup>	25cm <sup>2</sup>	36cm <sup>2</sup>	49cm <sup>2</sup>
電壓 (mV)	1.6	180	334	308	382	352
	2.2	432	537	602	778	864
	3.2	869	1257	1473	1881	1939
頻率 (Hz)	1.6	49	41	38	32	27
	2.2	45	40	37	36	27
	3.2	46	43	39	33	29

為了方便後續的撰寫，自定義葉片的等效邊長為與該葉片同面積正方形之邊長。由以上數據可以發現，頻率幾乎不因風速而改變，但與葉片面積呈負相關。另外，由圖 9 可以看出電壓約和等效邊長呈線性關係。



(a) 不同風速下pp瓦楞板三角形葉片之等效邊長與電壓的線性關係圖

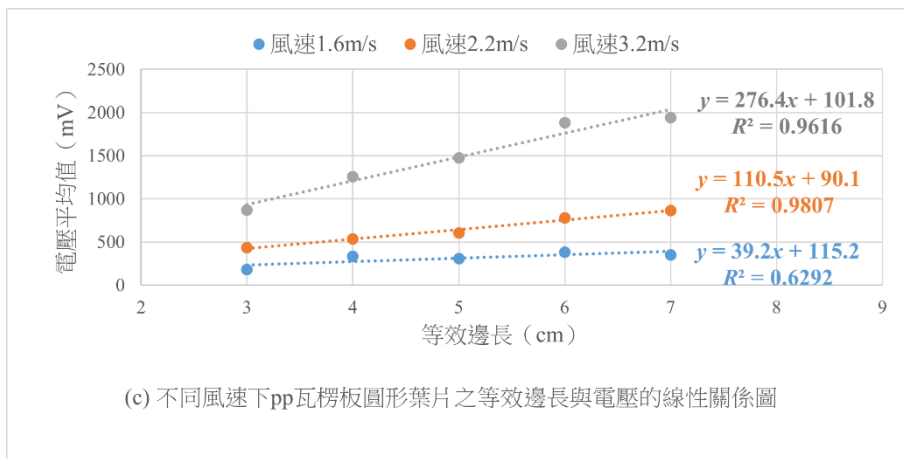
作者自行繪製



(b) 不同風速下pp瓦楞板正方形葉片之等效邊長與電壓的線性關係圖

作者自行繪製

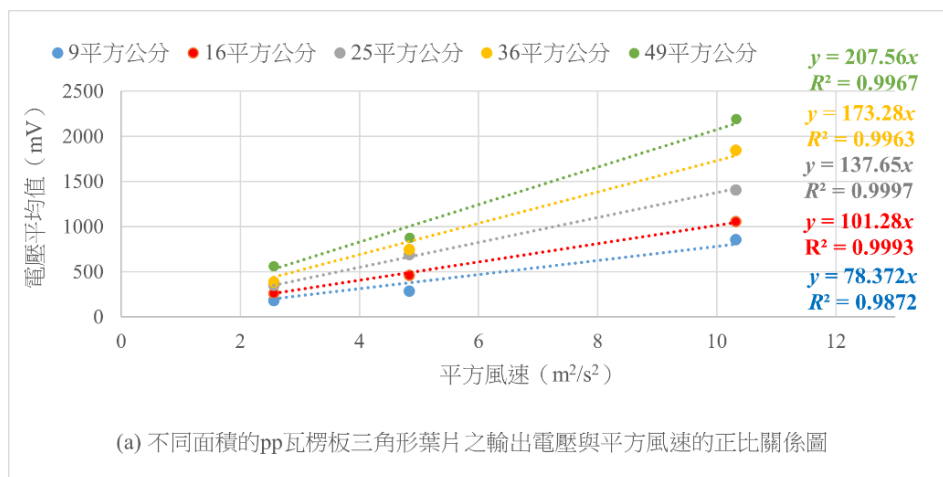
圖 9 不同風速下 pp 瓦楞板葉片之等效邊長與電壓的線性關係圖



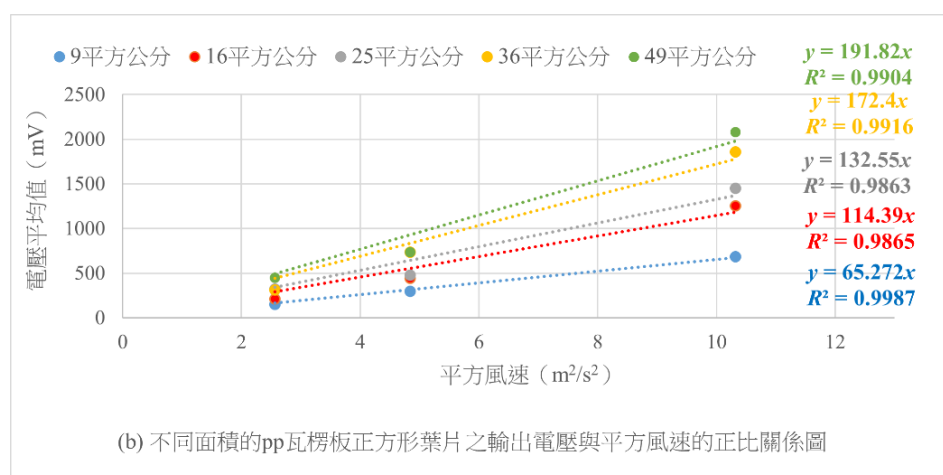
作者自行繪製

圖 9 不同風速下 pp 瓦楞板葉片之等效邊長與電壓的線性關係圖（續上頁）

另外由圖 10 也發現電壓約正比於平方風速，推測是因為動能正比於平方風速，而根據壓電電壓公式，壓電片受力正比於輸出電壓，結合兩者而得出此結果。

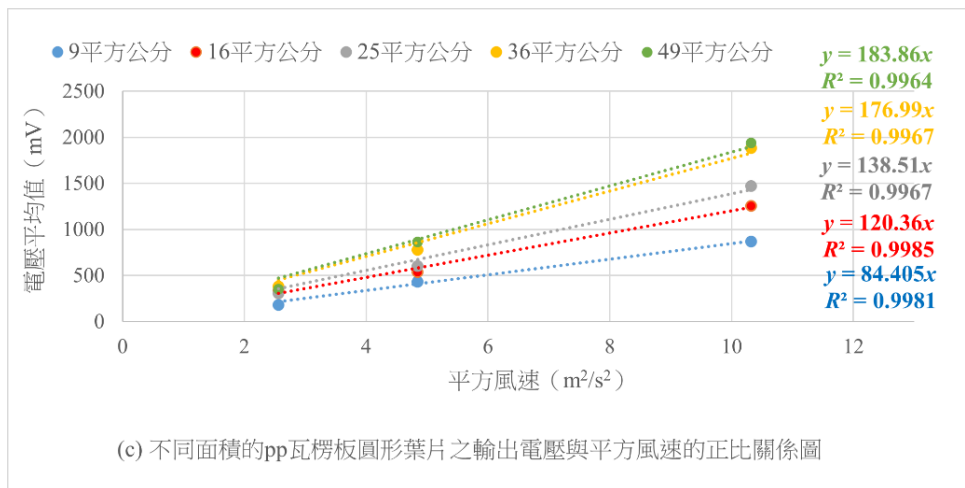


作者自行繪製



作者自行繪製

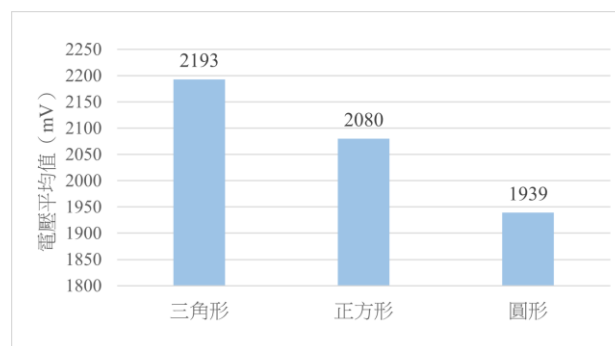
圖 10 不同面積的 pp 瓦楞板葉片輸出電壓與平方風速的正比關係圖



作者自行繪製

圖 10 不同面積的 pp 瓦楞板葉片輸出電壓與平方風速的正比關係圖（續上頁）

最後，由圖 11 顯示出 49cm² 的三角形葉片輸出電壓較正方形和圓形的大，且訊號穩定度也不遜於另外兩者，為了獲得較大的電壓以方便後續波形特徵的觀測，因此後續實驗決定使用 49cm² 的三角形作為 pp 瓦楞板材質的葉片。

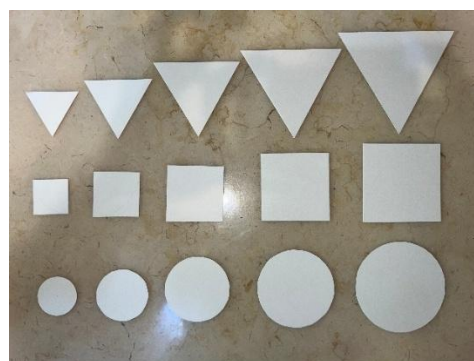


作者自行繪製

圖 11 風速 3.2 時 pp 瓦楞板 49cm² 的各葉片輸出電壓比較

### (三) 探討不同尺寸及形狀的牛奶瓶紙葉片對壓電片震動頻率及其電壓的影響

模仿前一實驗，以牛奶瓶紙為材料，製作葉片如圖 12，紀錄數據如下。



作者自行拍攝

圖 12 不同尺寸及形狀的牛奶瓶紙葉片

（由左至右分別為 9、16、25、36、49cm²，上至下分別為正方形、三角形和圓形）

表 13 不同尺寸的牛奶瓶紙三角形葉片輸出之電訊號

電訊號	風速 (m/s)	9cm <sup>2</sup>	16cm <sup>2</sup>	25cm <sup>2</sup>	36cm <sup>2</sup>	49cm <sup>2</sup>
電壓 (mV)	1.6	207	327	428	498	687
	2.2	352	585	832	929	1071
	3.2	1057	1924	2092	2128	2231
頻率 (Hz)	1.6	39	35	31	27	24
	2.2	38	36	30	28	26
	3.2	40	34	33	27	27

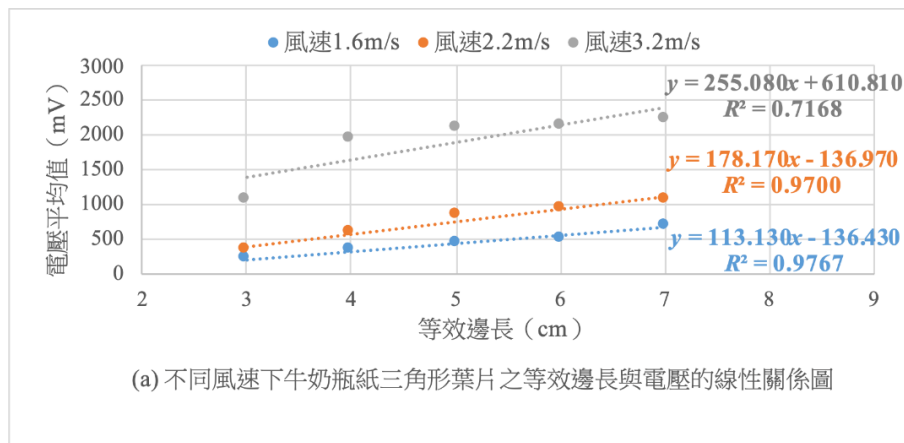
表 14 不同尺寸的牛奶瓶紙正方形葉片輸出之電訊號

電訊號	風速 (m/s)	9cm <sup>2</sup>	16cm <sup>2</sup>	25cm <sup>2</sup>	36cm <sup>2</sup>	49cm <sup>2</sup>
電壓 (mV)	1.6	210	289	432	420	578
	2.2	419	606	651	940	997
	3.2	948	1561	1995	2618	2962
頻率 (Hz)	1.6	40	35	32	30	26
	2.2	38	38	32	28	27
	3.2	39	36	33	29	25

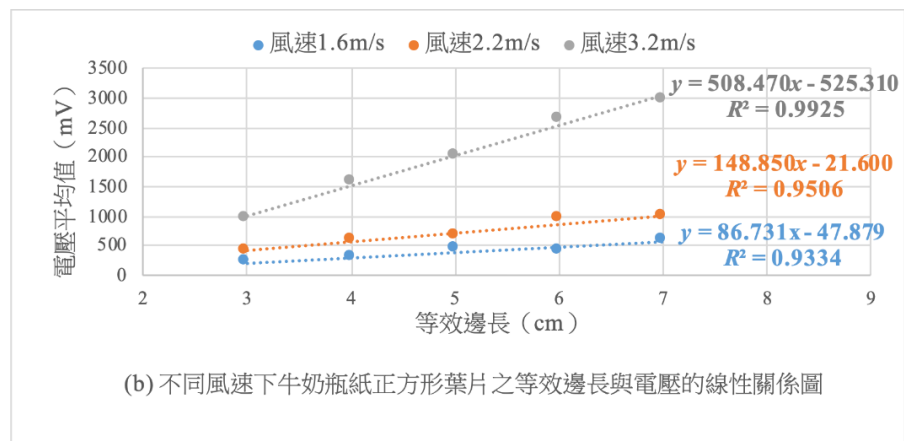
表 15 不同尺寸的牛奶瓶紙圓形葉片輸出之電訊號

電訊號	風速 (m/s)	9cm <sup>2</sup>	16cm <sup>2</sup>	25cm <sup>2</sup>	36cm <sup>2</sup>	49cm <sup>2</sup>
電壓 (mV)	1.6	239	437	398	471	425
	2.2	528	693	909	996	818
	3.2	1150	1548	1905	2331	2409
頻率 (Hz)	1.6	43	40	37	35	34
	2.2	45	41	38	35	33
	3.2	42	40	36	31	30

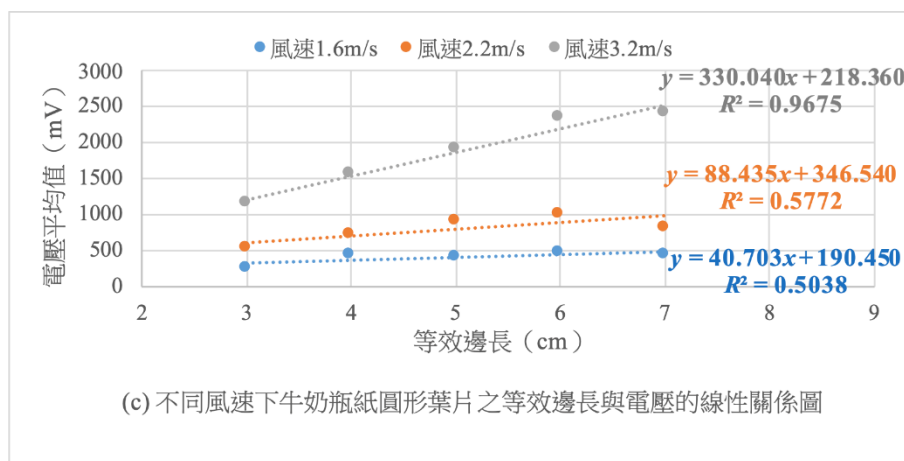
以牛奶瓶紙為材質的葉片也可找出與 pp 瓦楞板葉片相同的規律，發現頻率都與風速無關，且與葉片面積呈負相關，電壓的部分則是都與等效邊長呈線性關係且和平方風速成正比，以下是電壓與等效邊長的線性關係圖。



作者自行繪製



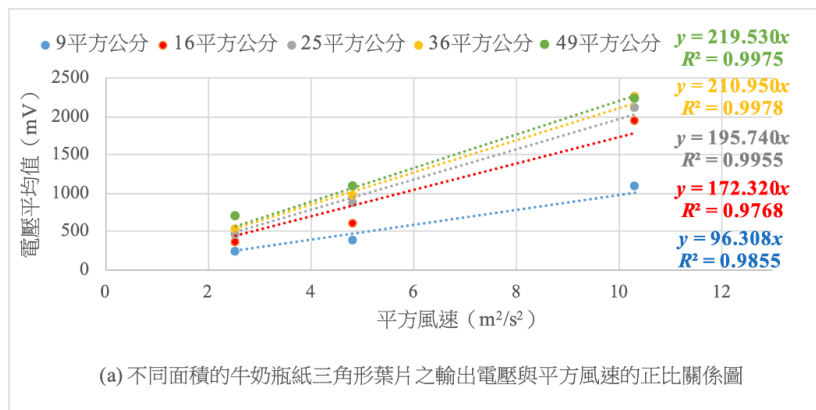
作者自行繪製



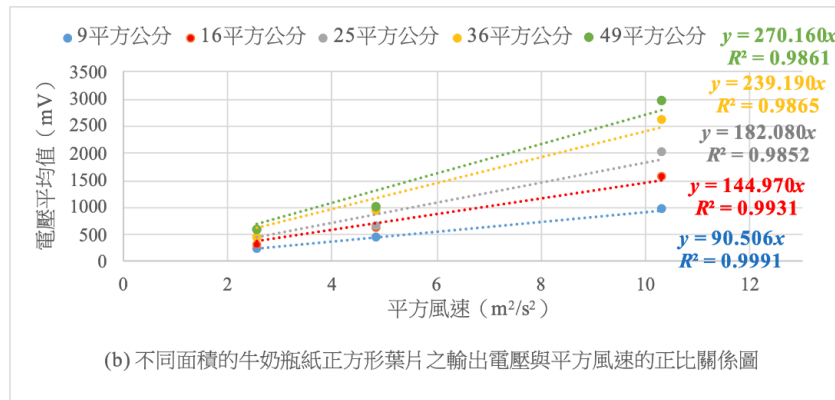
作者自行繪製

圖 13 不同風速下牛奶瓶紙葉片等效邊長與電壓的線性關係圖

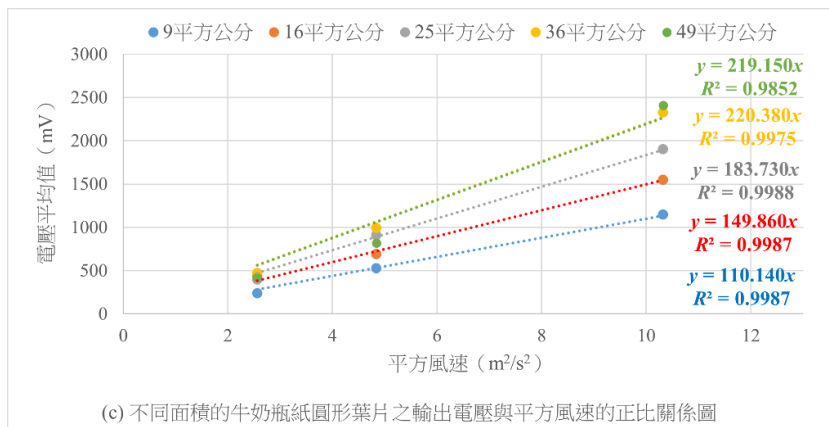
以下為牛奶瓶紙葉片輸出電壓與平方風速的正比關係圖。



作者自行繪製



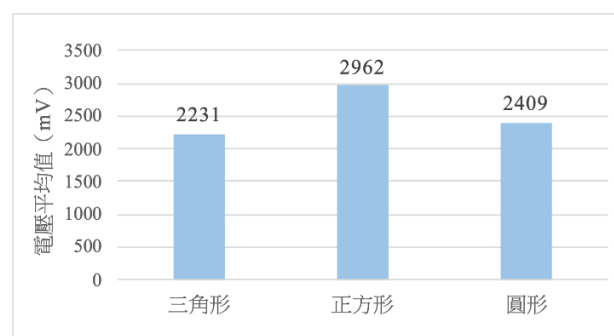
作者自行繪製



作者自行繪製

圖 14 不同面積的牛奶瓶紙圓形葉片之輸出電壓與平方風速的正比關係圖

最後由圖 15 和上述數據都顯示出正方形葉片無論是輸出電壓和訊號穩定度皆優於另外兩者，因此決定使用 **49cm<sup>2</sup>** 正方形葉片作為後續實驗牛奶瓶紙材質的葉片。



作者自行繪製

圖 15 風速 3.2 時牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 的各葉片輸出電壓比較

## 二、 探討不同迎風角度對兩種葉片震動產生電訊號的影響

考量到實驗的便利性，決定測量  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  的迎風角度，並以三角板輔助調整角度，希望透過實驗了解不同風向對電訊號的影響，實驗結果如下。

### (一) 探討 pp 瓦楞板葉片在不同的迎風角度時對壓電片 電壓、頻率和波形的影響

本實紀錄了 pp 瓦楞板  $49\text{cm}^2$  三角形葉片產生的電壓與頻率，如表 16，發現在不同迎風角度時電壓仍然與平方風速成正比，但由於頁數的限制，正比關係圖於附錄 中。當迎風角度改變時，電壓不再與等效邊長呈線性關係，由圖 16 可看出當迎風角度改變時電壓會呈波浪狀變化，推測是卡門渦街與壓電片的共振效應而導致，就是俗稱的「鬼動草現象」，但由於數據較少，因此較難建立預測曲線。

表 16 不同迎風角度 pp 瓦楞板  $49\text{cm}^2$  三角形葉片產生的電壓與主要頻率

迎風角度 風速	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
1.6m/s	508	474	670	521	374	21	19	22	25	21
2.2m/s	880	799	924	735	874	20	17	22	20	22
3.2m/s	1874	1531	1571	2021	1906	22	23	21	19	24

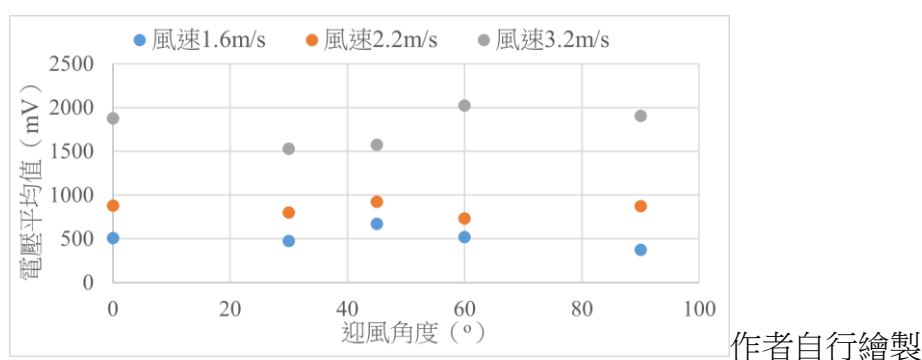


圖 16 不同風速下不同迎風角度的 pp 瓦楞板  $49\text{cm}^2$  三角形葉片輸出電壓散佈圖

另外，從波形中會看到除了主要的正弦波外，還會和頻率較高、振幅較小的波疊加，導致波形出現抖動的情況，推測是因氣流到達葉片的時間差使葉片不同部位的震動情形不同而導致。經由傅立葉分析可以得出兩個主要的峰值，振幅較小的即為小波，經紀錄後得知小波的頻率大約介在  $166$  到  $178\text{Hz}$  之間，且不隨迎風角度和風速變化；而電壓則是迎風角度或風速越大，電壓越大，但測量時發現同一數據的五次測量變異係數部分超過 20%，如表 18，考量到數據的可信度，較難建立準確的預測模型，因此希望未來能找到此現象之原因並改善，以建立更完整的預測模型。

表 17 不同風速下不同迎風角度的 pp 瓦楞板三角形葉片產生小波的電壓及頻率

迎風角度 風速	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	0°	30°	45°	60°	90°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	35	48	55	57	69	173	168	173	167	171
2.2m/s	67	74	92	107	153	166	177	169	169	168
3.2m/s	106	110	132	148	211	174	174	178	168	172

表 18 不同風速下不同迎風角度的 pp 瓦楞板三角形葉五次小波電壓的變異係數

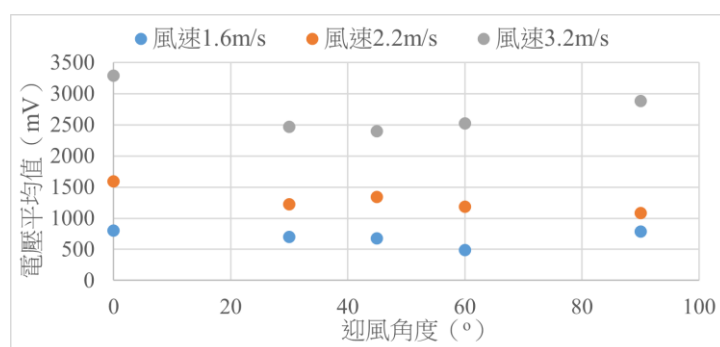
迎風角度 風速	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	19%	24%	18%	20%	26%
2.2m/s	21%	16%	18%	25%	10%
3.2m/s	9%	21%	17%	19%	22%

## (二) 探討牛奶瓶紙葉片在不同的迎風角度時對壓電片 電壓、頻率和波形的影響

本實驗紀錄了牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 正方形葉片產生的電壓與頻率，如表 19，和前一實驗相同，電壓仍然與平方風速成正比但不與等效邊長呈線性關係。和前一實驗不同的是牛奶瓶紙沒有明顯的小波產生。

表 19 不同迎風角度牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 正方形葉片產生的電壓與頻率

迎風角度 風速	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	0°	30°	45°	60°	90°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	508	474	670	521	374	24	27	25	26	25
2.2m/s	880	799	924	735	874	26	23	23	24	24
3.2m/s	1874	1531	1571	2021	1906	25	24	25	25	25



作者自行繪製

圖 17 不同風速下不同迎風角度的牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 正方形葉片輸出電壓散佈圖

由圖 18 可以看出風速為 3.2m/s 的數據點分佈非常接近拋物線，因此製作了一張預測圖來建立風速 3.2 的預測模型如圖 18。

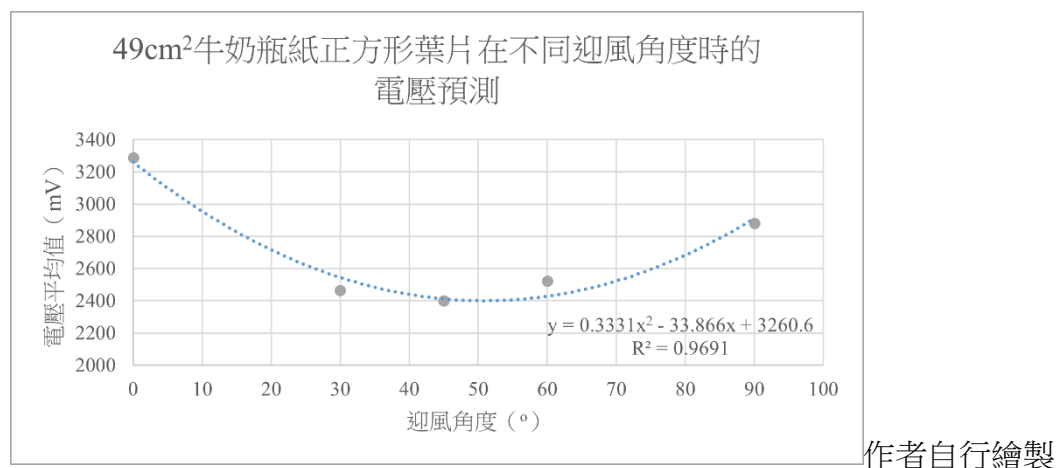


圖 18 在 3.2m/s 的風速下 49cm<sup>2</sup> 牛奶瓶紙正方形葉片在不同迎風角度時的電壓預測

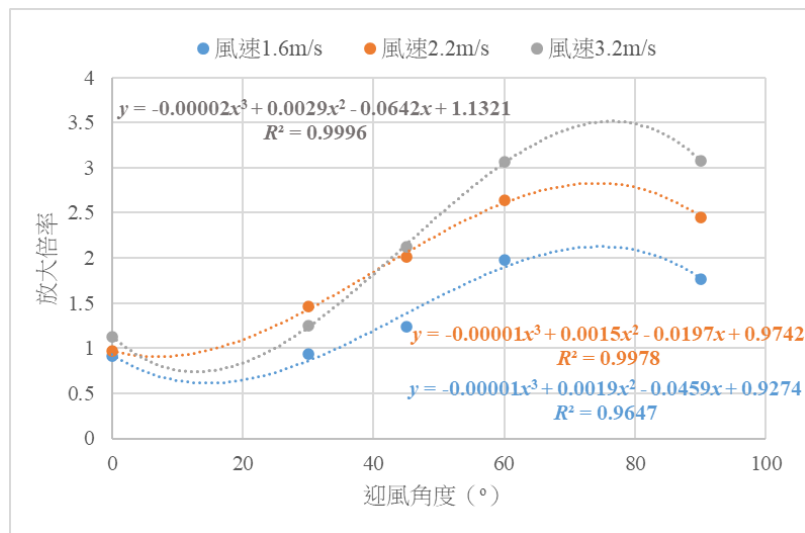
### 三、 探討障礙物造成的風場改變對葉片震動產生電訊號的影響

#### (一) 探討狹縫氣流對不同迎風角度的 pp 瓦楞板葉片產生電壓、頻率和波形的影響

由實驗紀錄可以發現氣流流經狹縫後，電壓依然和平方風速成正比，而波形則會出現頻率不固定且各頻率之振幅都較目的二所測得小波小的小波。由於此種複頻有較多的電壓和頻率，在數據處理上會比較困難，也由於出現複頻而導致部分頻率示波器無法精準偵測，因此本實驗更著重於電壓的分析。根據窄管效應，氣流流經狹縫後流速會增快，在風水學中稱為「天斬煞」。以風速計確認狹縫有風速增強的效果後，發現電壓有時卻不增反減，並且可透過角度的三次函數進行預測，因此推論氣流流經狹縫時可能產生震動，並與震動裝置發生共振，在峰值的發生就是俗稱的「鬼動草現象」，希望藉由分析這些「鬼動」訊號，為現代鬼動風水儀增加更多的科學依據。

表 20 狹縫氣流流經不同迎風角度 pp 瓦楞板 49cm<sup>2</sup> 三角形葉片產生的電壓

迎風角度 風速	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	467	445	831	1031	662
2.2m/s	854	1167	1856	1941	2143
3.2m/s	2118	1915	3330	6205	5871



作者自行繪製

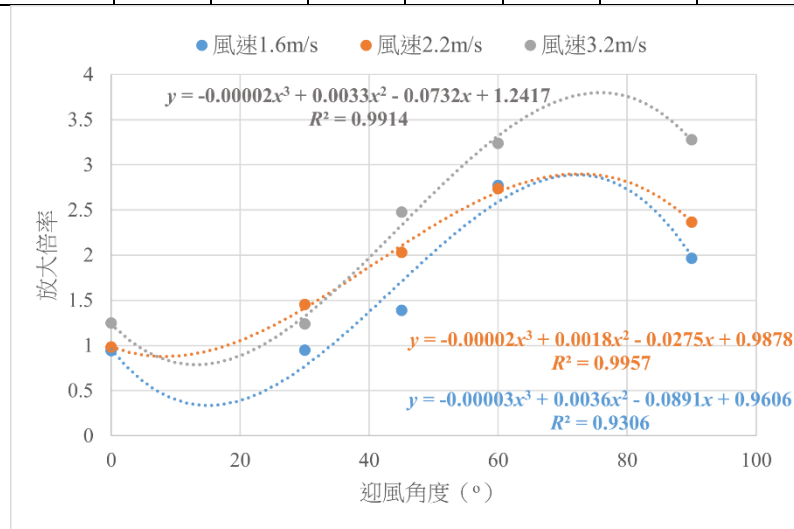
圖 19 狹縫對 pp 瓦楞板 49cm<sup>2</sup> 的三角形葉片輸出電壓放大倍率趨勢圖

## (二) 探討狹縫氣流對不同迎風角度的牛奶瓶紙葉片產生電壓、頻率和波形的影響

和前一實驗相同，電壓放大倍率皆可利用三次函數進行預測如圖 20，但沒有明顯產生小波，也希望未來能有更多數據，更精確的建立預測模型並增加其可信度。

表 21 狹縫氣流流經不同迎風角度牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 正方形葉片產生的電壓

迎風角度 風速	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	0°	30°	45°	60°	90°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	755	666	937	1353	1542	26	25	27	25	25
2.2m/s	1561	1779	2725	3239	2561	26	25	22	26	27
3.2m/s	4114	3056	5944	8161	9436	24	25	24	24	23



作者自行繪製

圖 20 狹縫對牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 的正方形葉片輸出電壓放大倍率趨勢圖

(三) 探討不同迎風角度對僅一半迎風的 pp 瓦楞板葉片產生電壓、頻率和波形的影響

為了方便說明，定義迎風面朝向障礙物時迎風角度為正，反之為負。觀察擷取的波形，會發現波形高低起伏，推測其中出現更低頻率的波進行疊加，但經傅立葉分析後沒有觀察到更低頻的訊號，希望未來有機會再次實驗時可以延長擷取時間，讓低頻訊號能更完整地顯現出來。而此種疊加波形的產生可能可由白努利定律解釋。由於障礙物的原因導致葉片兩端有風速差，根據白努利定律會出現氣壓差，因而在無風的一端產生新的風場並產生不規則的干涉波形。由於波形的高低起伏和擷取時間不夠長，導致電壓不穩定，因此難以看出電壓間的關聯。

表 22 不同迎風角度時僅一半迎風的 pp 瓦楞板 49cm<sup>2</sup> 三角形葉片產生的電壓

迎風 角度 風速	-90°	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	482	775	808	744	1074	1198	1762	2359	865
2.2m/s	1349	1215	1619	2129	2109	2475	4355	4554	2389
3.2m/s	3851	4199	4349	5445	6149	4119	10453	10995	4796

(四) 探討不同迎風角度對僅一半迎風的牛奶瓶紙葉片產生電壓、頻率和波形的影響

與前一實驗不同的是，此材質的葉片沒有產生波形的高低起伏變化，因此在電壓數據較為穩定，並且由圖 21 中可以看出三種風速皆會在迎風角度為 45°時產生峰值（鬼動草現象），希望此結果能使預測模型更加完善。

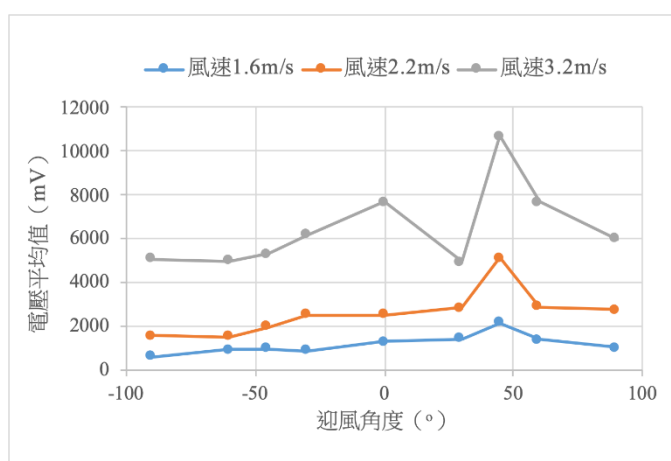
表 23 不同迎風角度時僅一半迎風的牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 正方形葉片產生的電壓

迎風 角度 風速	-90°	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	589	922	943	877	1293	1403	2123	1388	1024
2.2m/s	1574	1510	1952	2512	2507	2840	5112	2887	2732
3.2m/s	5078	4955	5308	6146	7656	4953	10678	7671	5978

（電壓單位：mV）

表 24 不同迎風角度時僅一半迎風的牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 正方形葉片產生的頻率

迎風 角度 風速	-90°	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	23	22	25	27	25	26	24	27	25
2.2m/s	25	24	26	25	29	25	25	24	23
3.2m/s	25	25	26	25	25	24	25	25	25



作者自行繪製

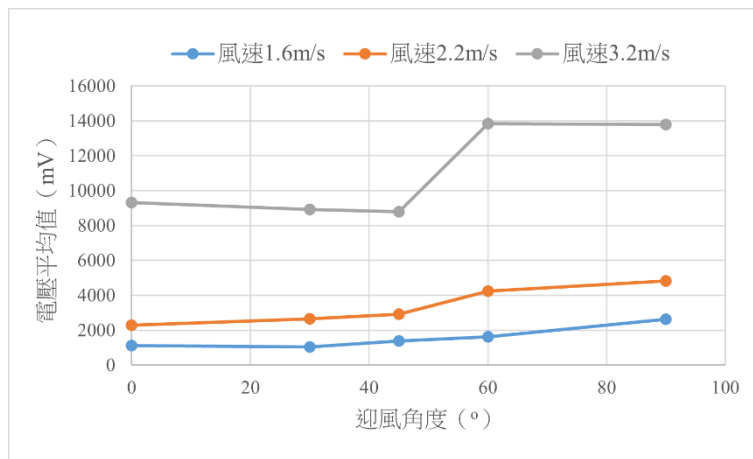
圖 21 不同迎風角度僅一半迎風的 49cm<sup>2</sup> 牛奶瓶紙正方形葉片輸出電壓散佈圖

#### (五) 探討擺設圓柱對 pp 瓦楞板葉片在不同迎風角度時產生電壓、頻率和波形的影響

由數據可以發現經過圓柱的氣流會使壓電片輸出電壓增大，推測是因為氣流流經圓柱時會先產生一系列卡門渦街，而此震動又與壓電片後端的卡門渦街疊加進而形成振幅更大的波。此外，擺設圓柱後電壓依然與平方風速成正比，並且發現當迎風角度增加時垂直受風面積會減少，但電壓卻不減反增，推論是兩次的卡門渦街共振而導致。由於電壓可能跟垂直迎風面積有關，因此我將迎風角度取餘弦值並發現風速為 1.6 和 2.2m/s 時此值和電壓有線性關係，並建立線性迴歸預測模型，而風速 3.2m/s 時可能是因為共振導致電壓過大而失去線性關係。

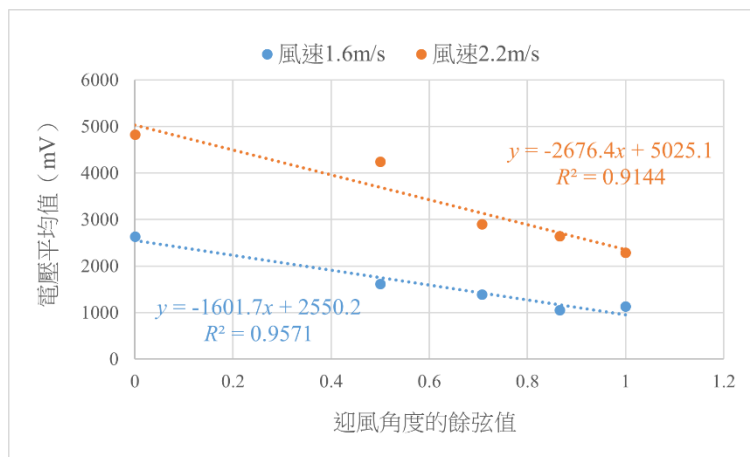
表 25 擺設圓柱後 pp 瓦楞板 49cm<sup>2</sup> 的三角形葉片在不同迎風角度的輸出電壓及頻率

迎風角度 風速	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	0°	30°	45°	60°	90°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	1128	1052	1392	1618	2638	21	21	18	21	20
2.2m/s	2288	2642	2905	4243	4822	24	23	17	21	22
3.2m/s	9327	8915	8799	13846	13790	19	20	24	16	20



作者自行繪製

圖 22 擺設圓柱後 pp 瓦楞板 49cm<sup>2</sup>的三角形葉片在不同迎風角度的輸出電壓折線圖



作者自行繪製

圖 23 擺設圓柱後 pp 瓦楞板 49cm<sup>2</sup> 三角形葉片電壓與迎風角度餘弦值的線性關係圖

#### (六) 探討擺設圓柱對牛奶瓶紙葉片在不同迎風角度時產生電壓、頻率和波形的影響

和前一實驗相同，圓柱皆會使電壓增強，並且電壓約和平方風速成正比，電壓也皆可透過取迎風角度的餘弦值對風速為 1.6 和 2.2m/s 的情況進行線性預測。另外，由圖 24 中可以看出風速為 3.2m/s 時會在迎風角度為 60°時出現峰值，證實了利用「鬼動」效應偵測風場的可行性。

表 26 擺設圓柱後牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup>的正方形葉片在不同迎風角度的輸出電壓及頻率

迎風角度 風速	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	0°	30°	45°	60°	90°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	1506	1325	1882	2042	3395	26	25	24	26	25
2.2m/s	3070	3367	3748	5442	6418	24	27	25	26	24
3.2m/s	11712	11503	10977	18176	14355	19	25	27	26	25

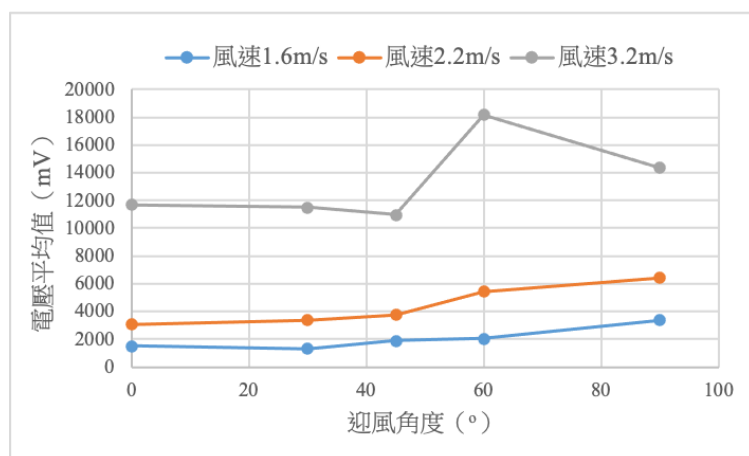


圖 24 擺設圓柱後 49cm<sup>2</sup> 牛奶瓶紙的正方形葉片在不同迎風角度的輸出電壓折線圖

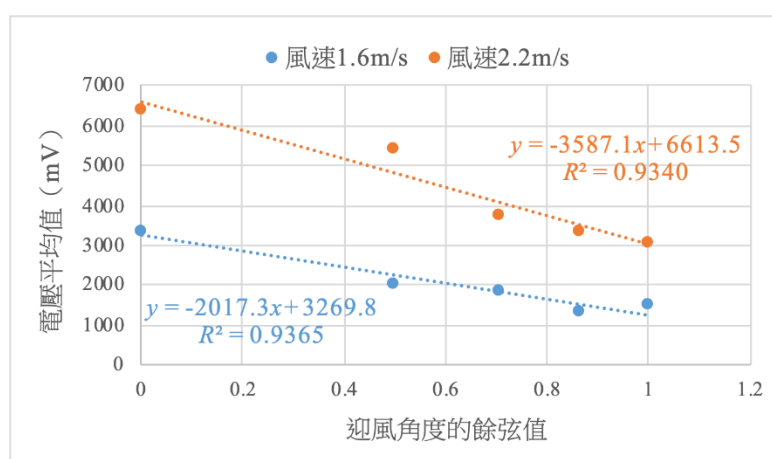


圖 25 擺設圓柱後 49cm<sup>2</sup> 牛奶瓶紙正方形葉片電壓與迎風角度餘弦值的線性關係圖

#### 四、 討不同迎風角度對不同紋路的牛奶瓶紙葉片產生電訊號的影響

由實驗三可以發現 pp 瓦楞板材質的葉片在特定障礙物擺設方式時會出現複頻，而牛奶瓶指則無，因此我便思考是不是因為 pp 瓦楞板上的紋路導致小波的出現？我設計了四種不同的紋路，分別為雙面直紋、雙面橫紋、雙面同向斜紋、雙面反向斜紋，其中斜紋在切割時平行對角線，並且相鄰紋路相距 5mm。經過實驗測得數據如下。

表 27 風速為 3.2m/s 時不同迎風角度下不同紋路牛奶瓶紙 49cm<sup>2</sup> 葉片產生的電壓與頻率

風速 \ 迎風角度	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	0°	30°	45°	60°	90°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	820	714	665	501	784	27	26	23	22	26
2.2m/s	1491	1167	1309	1196	998	24	25	22	27	26
3.2m/s	3155	2407	2399	2545	2902	25	25	21	25	25

表 28 風速為 3.2m/s 的狹縫氣流在使不同紋路牛奶瓶紙葉片產生的電壓與頻率

風速 \ 迎風角度	電壓 (mV)					頻率 (Hz)				
	0°	30°	45°	60°	90°	0°	30°	45°	60°	90°
1.6m/s	723	618	956	1294	1503	26	27	24	24	25
2.2m/s	1524	1788	2912	3131	2511	26	22	27	26	25
3.2m/s	4024	3101	5836	8012	9043	24	23	23	25	27

由以上數據發現，無論由電壓或頻率來看都與之前所得結果相近，波形上也沒有明顯的小波，關於此現象有兩種可能的解釋，可能是紋路深度不夠或牛奶瓶紙本身的特性較難產生小波，因此在偵測類似的風場時牛奶瓶紙的能力可能較 pp 瓦楞板稍弱一些。

## 伍、結論

根據研究結果與討論形成以下結論：

### 一、探討不同材質、尺寸及形狀的葉片對震動產生電訊號的影響

- (一) 自定義葉片的等效邊長為與該葉片同面積之正方形邊長，由數據中可以發現電壓約和平方風速成正比，和等效邊長呈線性關係，頻率則幾乎不因風速改變，且與葉片面積呈負相關。
- (二) 經由電壓與決定係數的比較選定 49cm<sup>2</sup> 的三角形 pp 瓦楞板葉片、正方形牛奶瓶紙葉片作為最佳葉片並於後續實驗探討其中特性。

### 二、探討不同迎風角度對兩種葉片震動產生電訊號的影響

- (一) 當迎風角度改變時，電壓仍然與平方風速成正比，但不與等效邊長呈線性關係。
- (二) 可由二次迴歸曲線建立風速 3.2m/s 牛奶瓶紙正方形葉片的預測模型。
- (三) pp 瓦楞板會出現頻率介在 166 到 178Hz、電壓與迎風角度和風速成正相關的小波。

### 三、探討障礙物造成風場改變對葉片震動產生電訊號的影響

- (一) 除了遮住半邊葉片，其餘電壓都與平方風速成正比，但不與等效邊長呈線性關係。
- (二) 狹縫可使電壓放大或縮小，放大倍率可由三次函數擬合，發現在特定條件下可重現「鬼動草現象」；pp 瓦楞板出現多頻且振幅較小的波。
- (三) 遮住半邊葉片時，pp 瓦楞板的波形會出現高低起伏導致電壓不穩定，牛奶瓶紙則在 45°時產生峰值，再次重現「鬼動草現象」。
- (四) 圓柱增強輸出電壓並在 60°風速 3.2m/s 出現峰值，仍可重現「鬼動草現象」，並且可由迎風角度的餘弦值對風速為 1.6 和 2.2m/s 的情況進行線性預測。

### 四、探討不同迎風角度對不同紋路的牛奶瓶紙葉片產生電訊號的影響

本研究在葉片上所刻劃的四種紋路型式對產生弱電訊號的影響不大。

五、根據研究動機，設計並製作現代鬼動風水儀裝置，如下圖 26 所示。



圖 26 現代鬼動風水儀裝置<作者自行拍攝>

## 陸、未來展望

延續結論五，本研究提出 AI 應用的創新方向，以上述諸多研究成果為基礎，包括數據處理程序、迴歸分析機制及判準設定條件，未來可進一步撰寫程式並製作 AI 晶片組裝成裝置如圖 27 所示。隨時隨地收集大數據來透過類神經網絡訓練 AI，真實地應用於各種環境微小風場變化之分析。

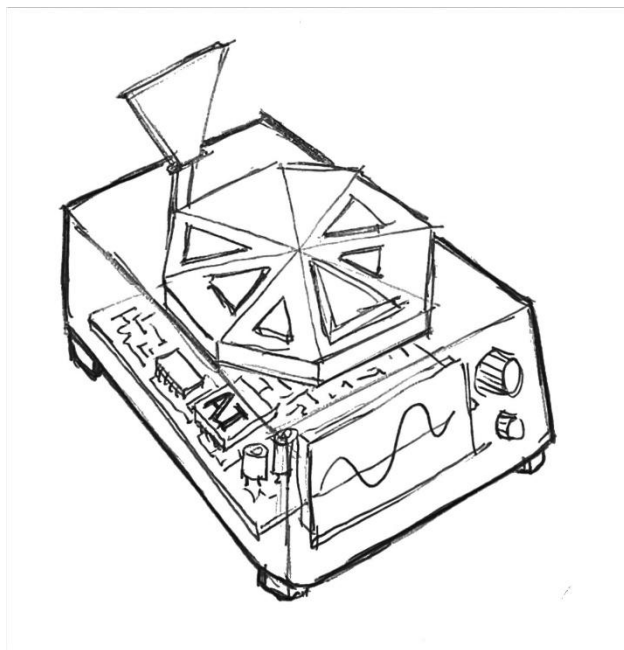


圖 27 第二代現代鬼動風水儀裝置設計圖<作者自行繪製>

## 柒、參考文獻

- [1] Heywang, W., Lubitz, K., & Wersing, W. (2008). *Piezoelectricity: Evolution and future of a technology*. Springer.
- [2] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2013). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications (3rd ed.)*. McGraw-Hill Education.
- [3] 王苡蕎、連啓斌、蘇涌鑫、汪宸甫、陳昱翔、許博閔（2020）。風水與科學~探討天斬煞與氣流的關係。臺灣網路科教館。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-080112.pdf>
- [4] 姜仲霞、姜川濤、劉桂芳（2006年11月1日）。渦街流量計。中國石化出版社。
- [5] Rudy J., van de Plassche. (2009). *Dynamic Offset Compensated CMOS Amplifiers*. Springer.
- [6] Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., Cochran, J. J., Fry, M. J., & Ohlmann, J. W. (2019). *Statistics for business and economics (14th ed.)*. Cengage Learning.
- [7] 王瑋（2023年7月31日）。迴歸分析。志光保成。
- [8] 吳德豐（2024）。拉普拉斯及傅立葉先導課程（2024春季班）[線上課程]。台灣全民學習平台。  
<https://taiwanlife.org/admin/tool/mooccourse/mnetcourseinfo.php?hostid=12&id=3588>
- [9] 黃煥睿、周心妮、陳建佑（2018）。醜小「壓」發電-壓電材料發電之探討。臺灣網路科教館。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-052405.pdf>
- [10] 劉邦彥、黃子嘉、林義傑（2016）。追風逐電-無扇葉型風力發電機。臺灣網路科教館。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/052606.pdf>
- [11] Yáñez Villarreal, D. J. (2018, June 7). *VIV resonant wind generators*. Vortex Bladeless.

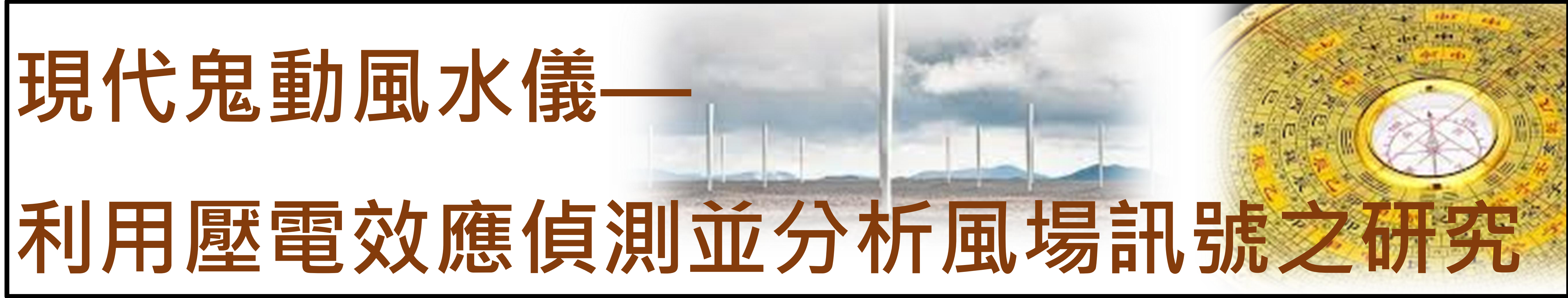
## 【評語】 032821

1. 此作品探討自然環境的「鬼動草」現象，使用壓電效應偵測在低風速下不同形狀裝置下游產生的卡門渦街現象，以科學化方式解釋傳統風水，創意與趣味兼具。
2. 實驗結果發現遮住半邊葉片時牛奶瓶紙會產生共振放大效應(鬼動現象)，而擺設圓柱則會使電壓增強，並且能建立電壓預測模型。
3. 由於在低風速下震動裝置產生的壓電訊號可能很微小，建議思考如何提升所設計裝置的訊號/雜訊比，使能在更低的風速下操作使用，依作品內容所示(例如圖 16)目前最低的風速情況為 1.6 m/s。

作品海報

現代鬼動風水儀——

利用壓電效應偵測並分析風場訊號之研究



# 摘要

看過震動型風力發電機與鬼動草現象後，便思考是否能結合兩者製作出一台「現代鬼動風水儀」？

風經障礙物會因康達效應改變風場，本研究利用壓電效應偵測風在震動裝置後端產生的卡門渦街，藉由分析電訊號偵測不同障礙物所產生的風場。自定義葉片的等效邊長，發現電壓約和等效邊長、平方風速成正比；另外，不同迎風角度、擺設狹縫或遮住半邊葉片都會使pp板產生小波，牛奶瓶紙則是可以建立迎風角度的預測模型。狹縫的電壓放大倍率可用三次函數擬合。遮住半邊葉片時牛奶瓶紙會產生共振放大效應(鬼動現象)，而擺設圓柱則會使電壓增強，並且能建立電壓預測模型。

本研究成果可用來製作分析微小風場變化之大數據收集裝置，提供訓練AI及建立新的應用方向。

# 動機

古時候人們在蓋房子時，常常會請風水師來評估當地的風水，讓人民可以居住的更安心。而古代的風水往往跟各地的環境氣流有關。但是古代的測量方法缺乏科學依據，所以我常常在想：能不能利用現今的科學技術製作出能辨識各地環境氣流資訊的裝置？

有次在滑短影片的時候意外看到了一個蠻有趣的發明。有間公司設計出了一種創新的風力發電，利用擾動過後的風產生的卡門渦街，帶動棍子震動發電；另外，在校園中，常常會看到樹木的葉子被風吹後不斷地擺動。造成這個現象的原因是因為風的擾動在葉片後端產生卡門渦街和葉子發生共振而導致的「共振放大效應」，進而產生無風葉子卻在擺動的錯覺，人們以為這是鬼在操縱葉片振動而稱這個現象為「鬼動草現象」。看了那麼多風場所產生的效應，我便想是否能結合兩者做出一台「現代鬼動風水儀」？並且透過分析不同風場產生的電訊號，建立一套分析和建立判準的模式，提供更多的科學證據。

# 目的

根據研究動機，本研究從葉片的選擇及風場的改變，針對以下各項進行實驗：

一、探討不同材質、尺寸及形狀的葉片對震動產生電訊號的影響

二、探討不同迎風角度對兩種葉片震動產生電訊號的影響

三、探討障礙物造成風場改變對葉片震動產生電訊號的影響

四、探討不同迎風角度對不同紋路的牛奶瓶紙葉片產生電訊號的影響

# 過程與方法

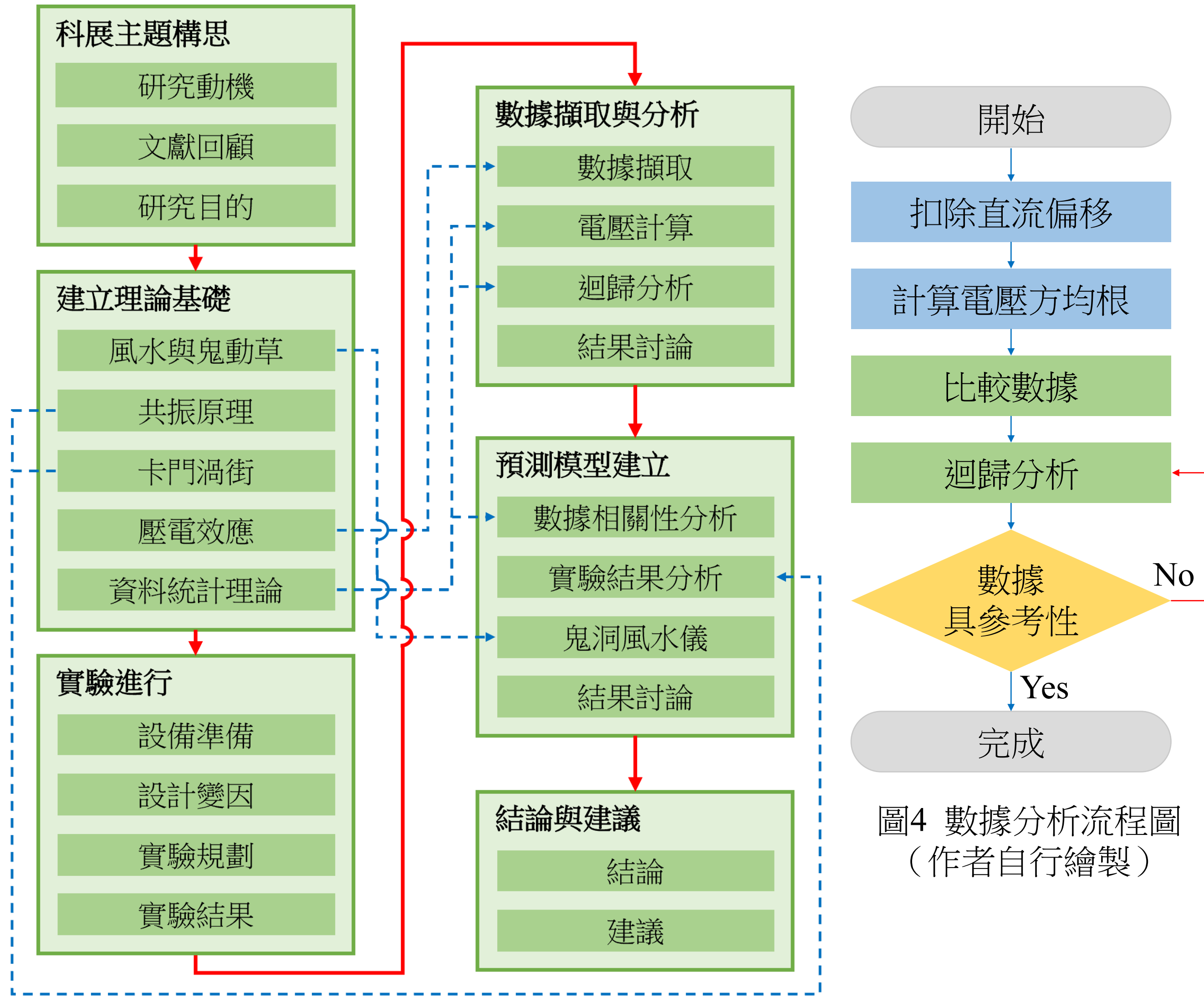


圖2 研究架構流程圖（作者自行繪製）

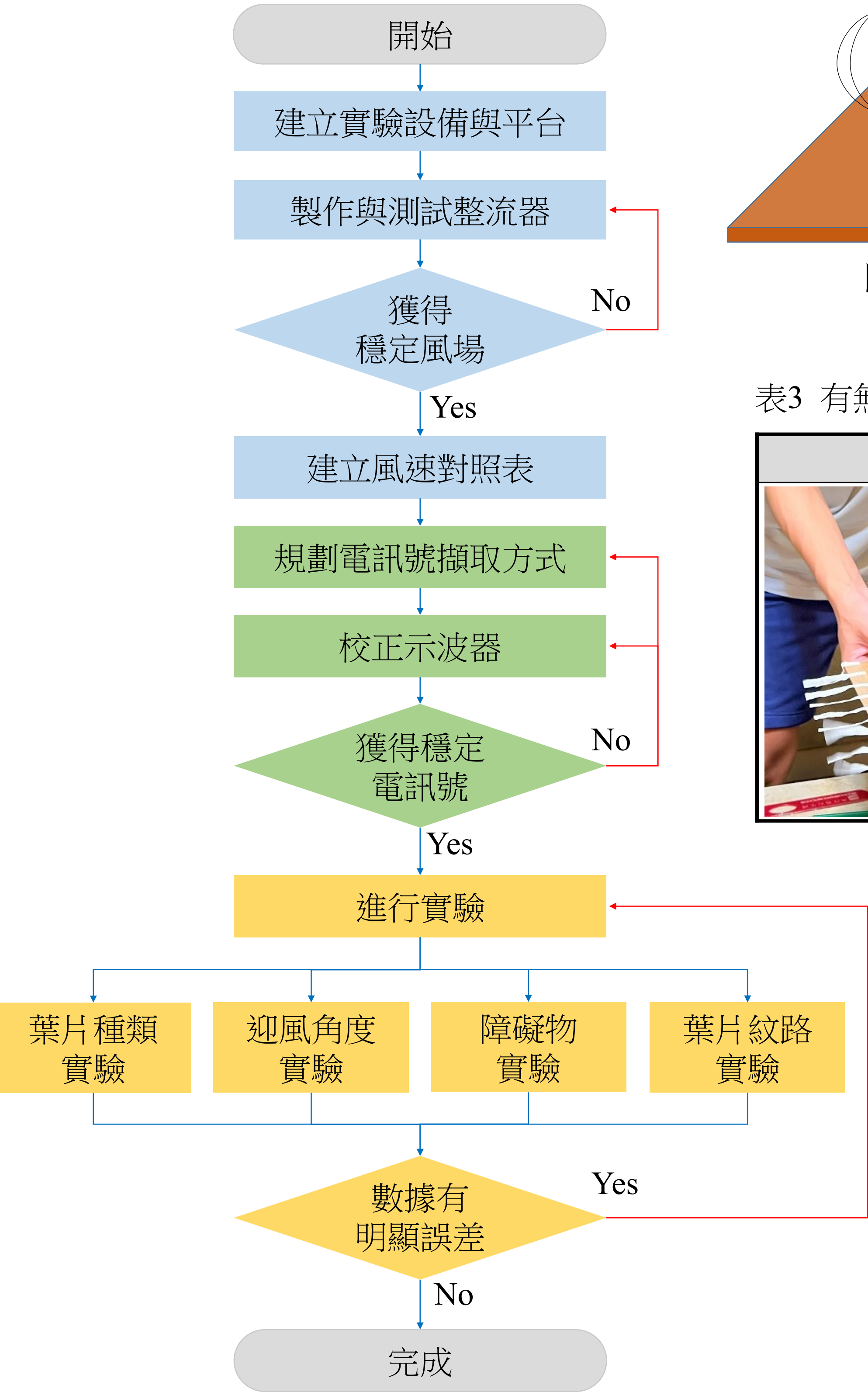


圖3 實驗進行流程圖（作者自行繪製）

# 文獻探討

表1 研究相關原理簡表（作者自行繪製）

領域	原理	領域	原理
與流體力學相關	白努利定律	與壓電相關	壓電效應
	窄管效應		壓電電壓公式
	天斬煞	與資料處理相關	直流偏移
	康達效應		回歸直線
	卡門渦街現象		零截距回歸
與震動相關	共振放大效應		決定係數
	自然頻率		變異係數
	鬼動草現象		傅立葉轉換

## 壓電電壓公式

$$V = \frac{d_{33} \cdot F \cdot t}{\epsilon \cdot A}$$

$V$ ：電壓  
 $d_{33}$ ：壓電常數  
 $F$ ：受力  
 $t$ ：厚度  
 $\epsilon$ ：介電常數  
 $A$ ：橫截面積

## 卡門渦街現象



圖1 卡門渦街現象示意圖（作者自行繪製）

# 設備與器材

表2 重要設備與器材（作者自行拍攝及繪製）

68Hz壓電片（PZT）	示波器	風速計	旋轉連接器

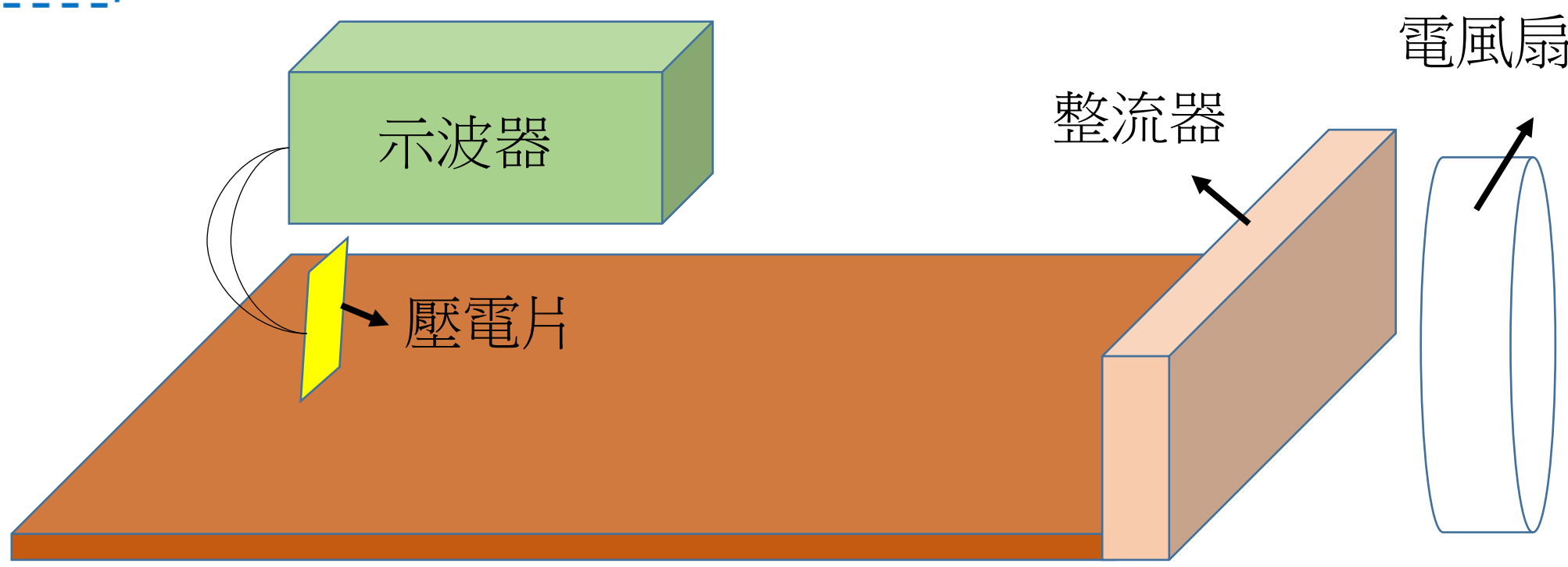


圖5 研究設備設置示意圖（作者自行繪製）



圖6 整流器（作者自行拍攝）

表3 有無整流器對氣流穩定度的影響（老師協助拍攝）

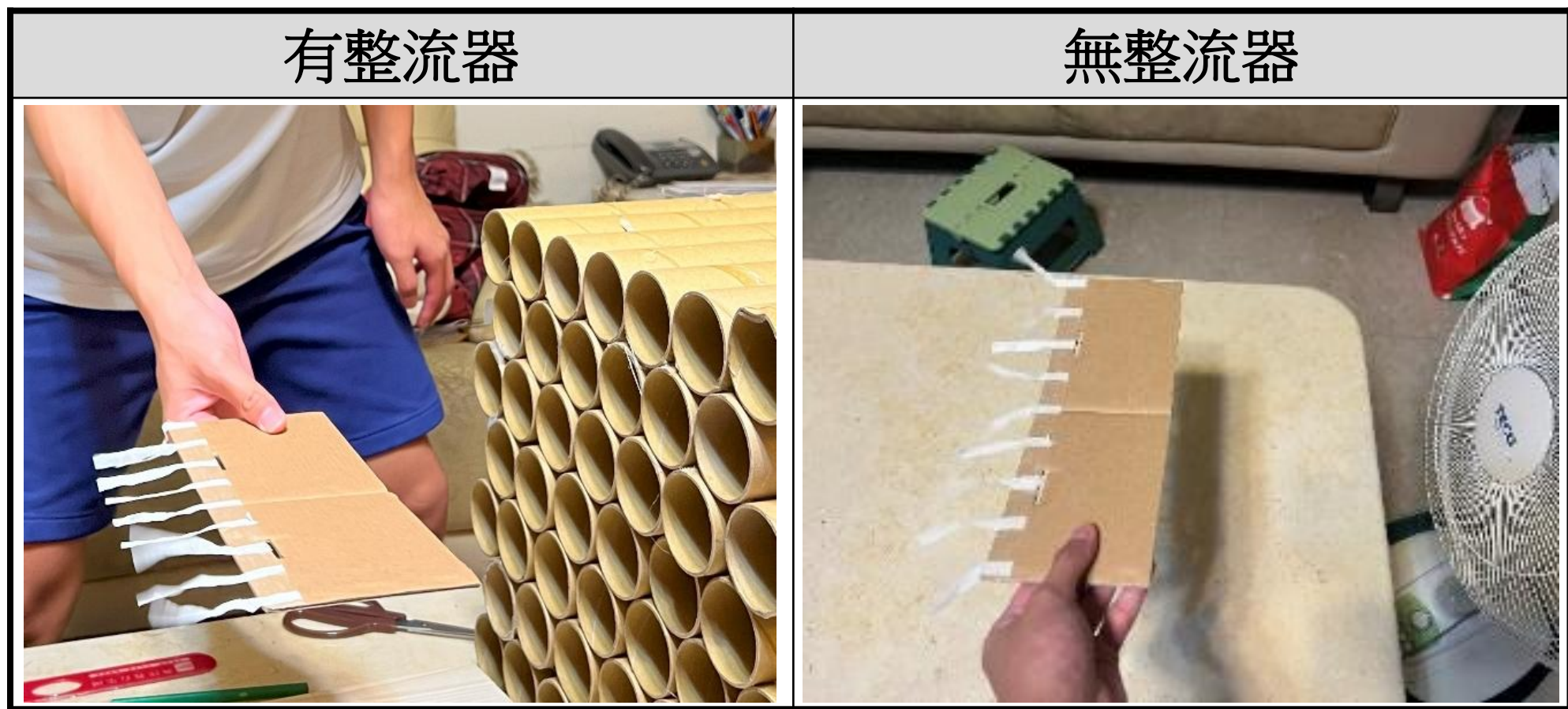


圖7 整流器測試裝置（作者自行拍攝）

表4 發電方式優缺點比較表（作者自行繪製）

切割磁場較優	壓電較優	兩者性能接近	需經實驗確認
抗干擾能力 裝置壽命 量程	靈敏度 反應時間	穩定度與再現性	準確度

表5 電風扇各檔位風速對照表（作者自行測量及繪製）

檔位	弱	中	強
風速（m/s）	1.6	2.2	3.2

結果與討論

一、探討不同材質、尺寸及形狀的葉片對震動產生電訊號的影響

(一)探討不同材質的葉片對壓電片輸出電壓、頻率、波形的影響

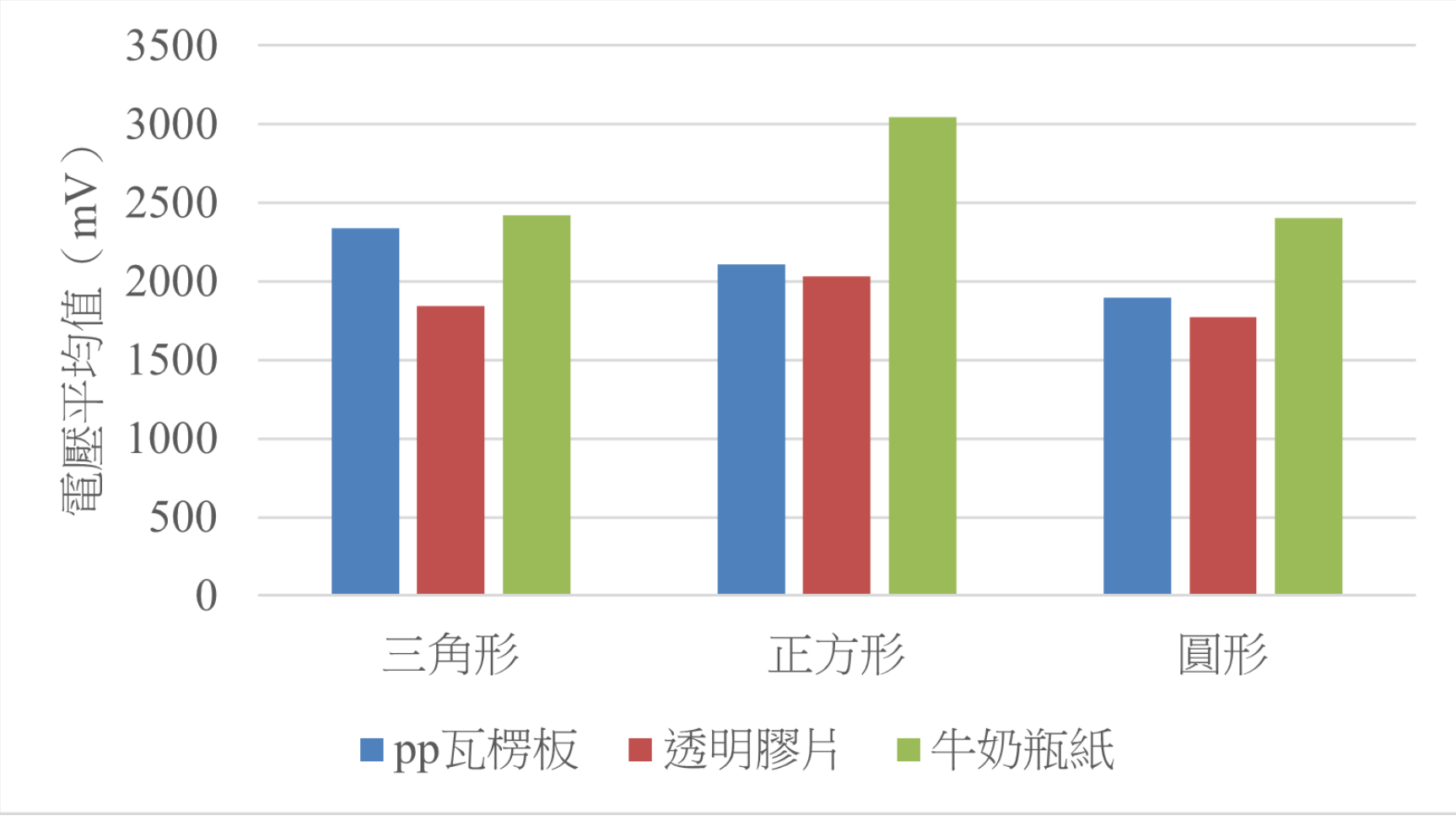


圖8 不同材質的葉片輸出電壓長條圖(作者自行繪製)

討論

- 三種材質頻率皆為：圓形>正方形>三角形。
- 牛奶瓶紙輸出電壓平均比pp瓦楞板高25%、比透明膠片高39%。

由於電壓越大越易觀察波形的變化，因此後續實驗決定使用pp瓦楞板和牛奶瓶紙作為葉片材質。

(二)探討不同尺寸及形狀的pp瓦楞板葉片對壓電片震動頻率及其電壓的影響

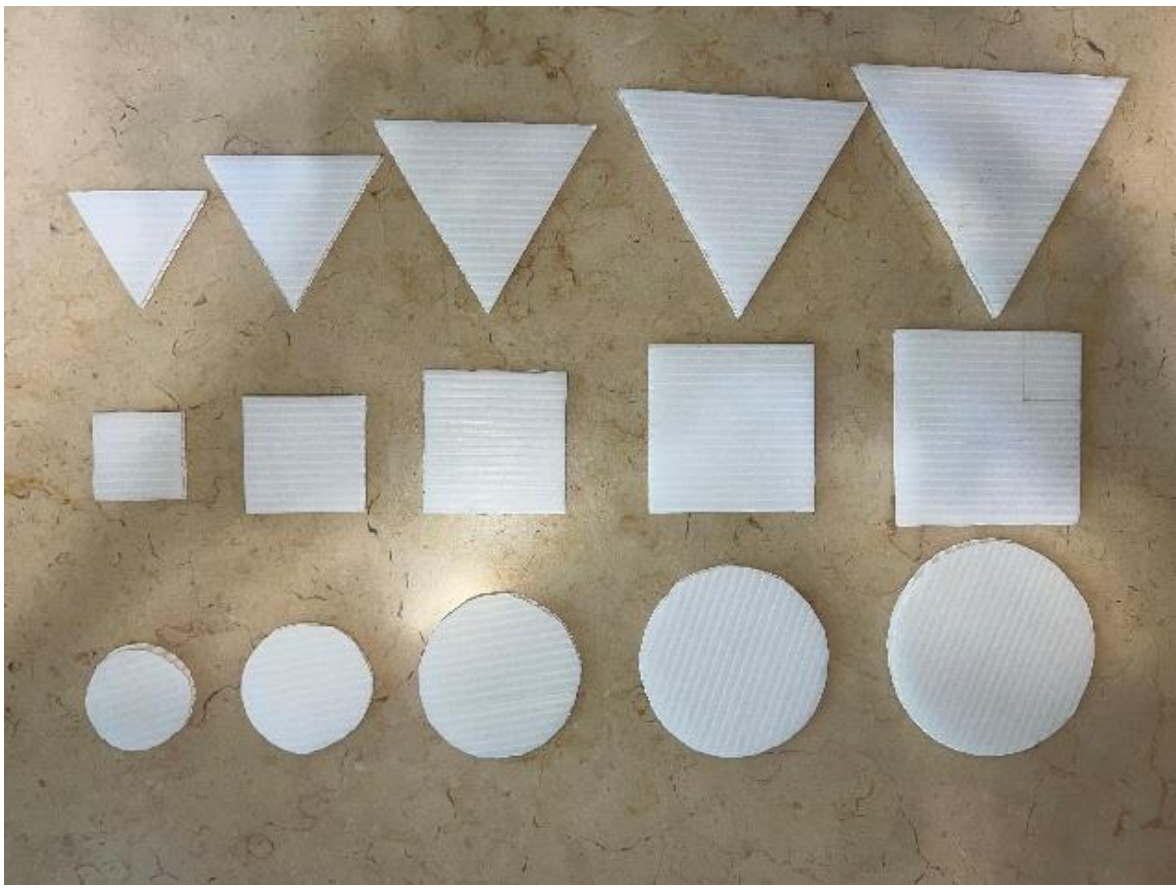


圖9 不同尺寸及形狀的pp瓦楞板葉片（作者自行拍攝）

為了解不同葉片的偵測效能與特性，以pp瓦楞板作為材料，紋路平行於地面，如圖8，由左至右分別為9、16、25、36、49cm²，由上至下分別為正方形、三角形和圓形。

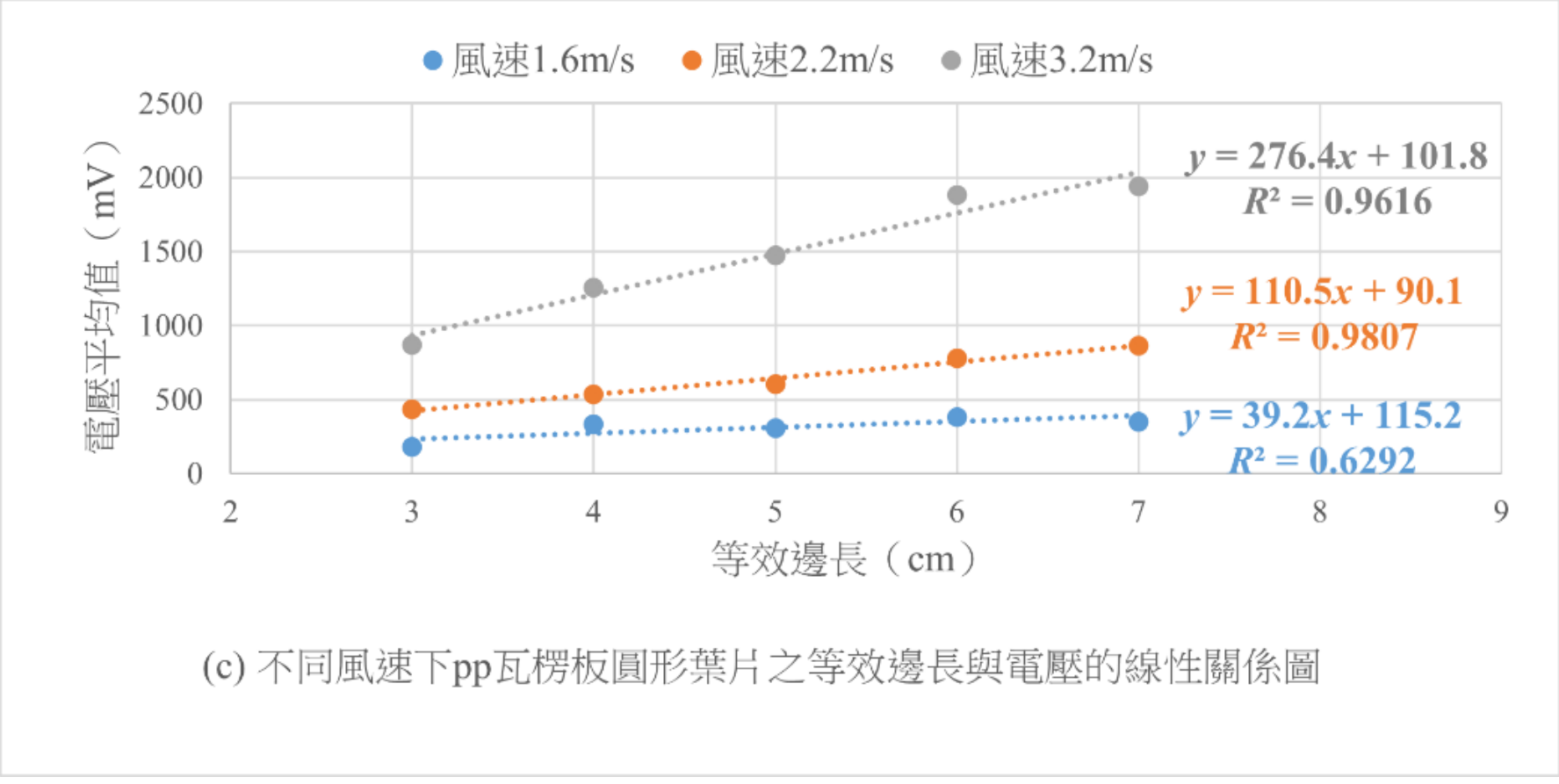
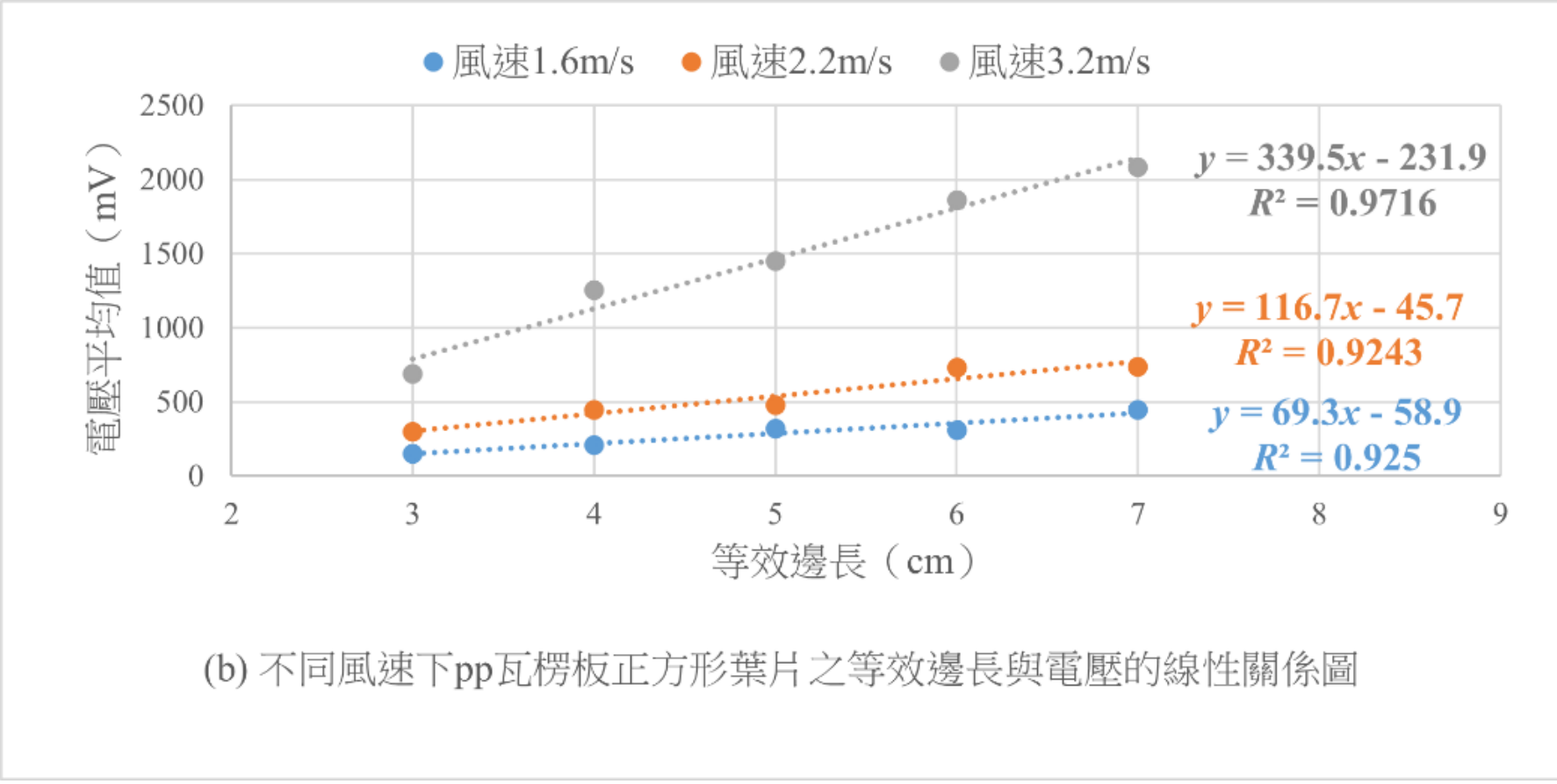
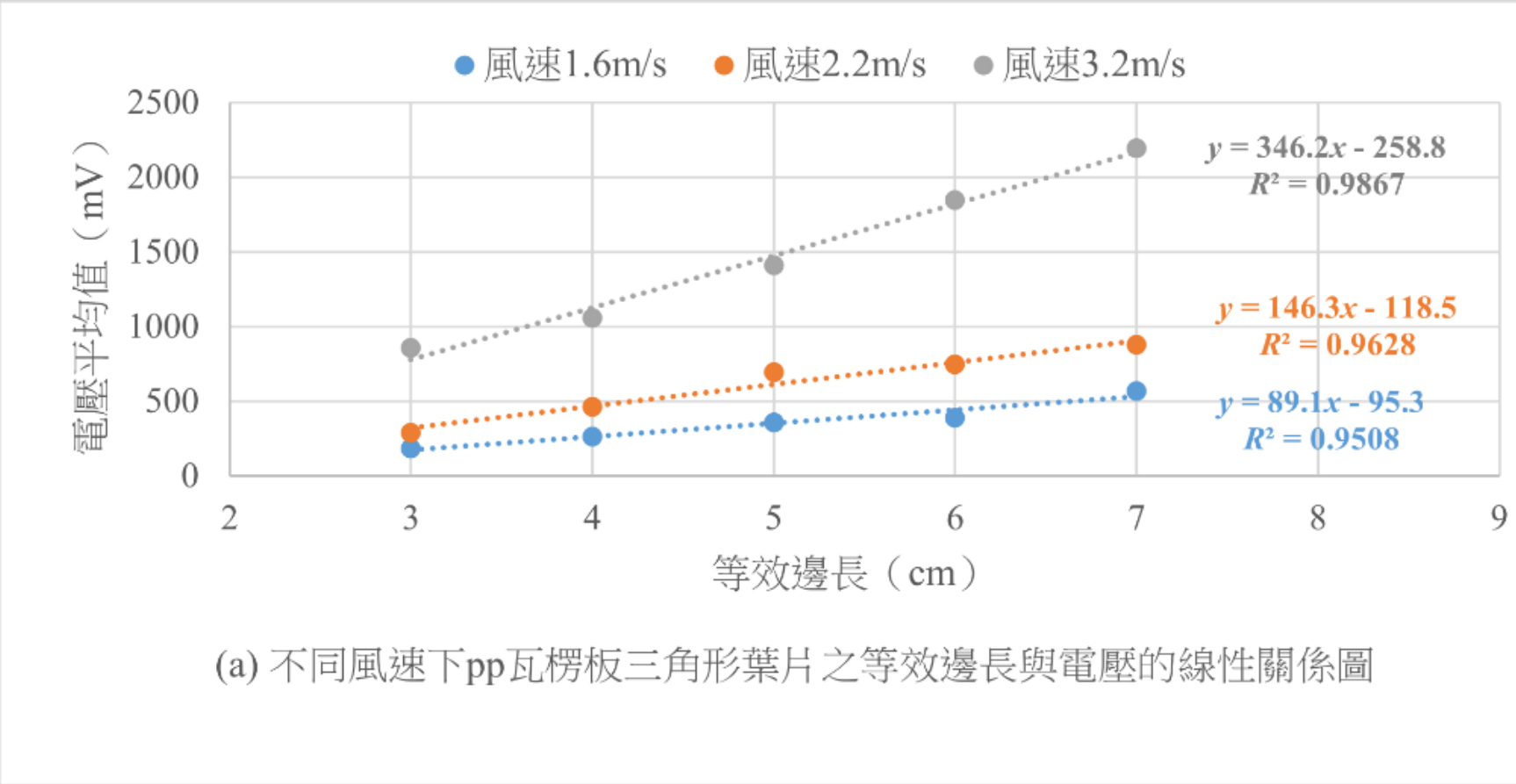


圖10 不同風速下pp瓦楞板葉片之等效邊長與電壓的線性關係圖（作者自行繪製）

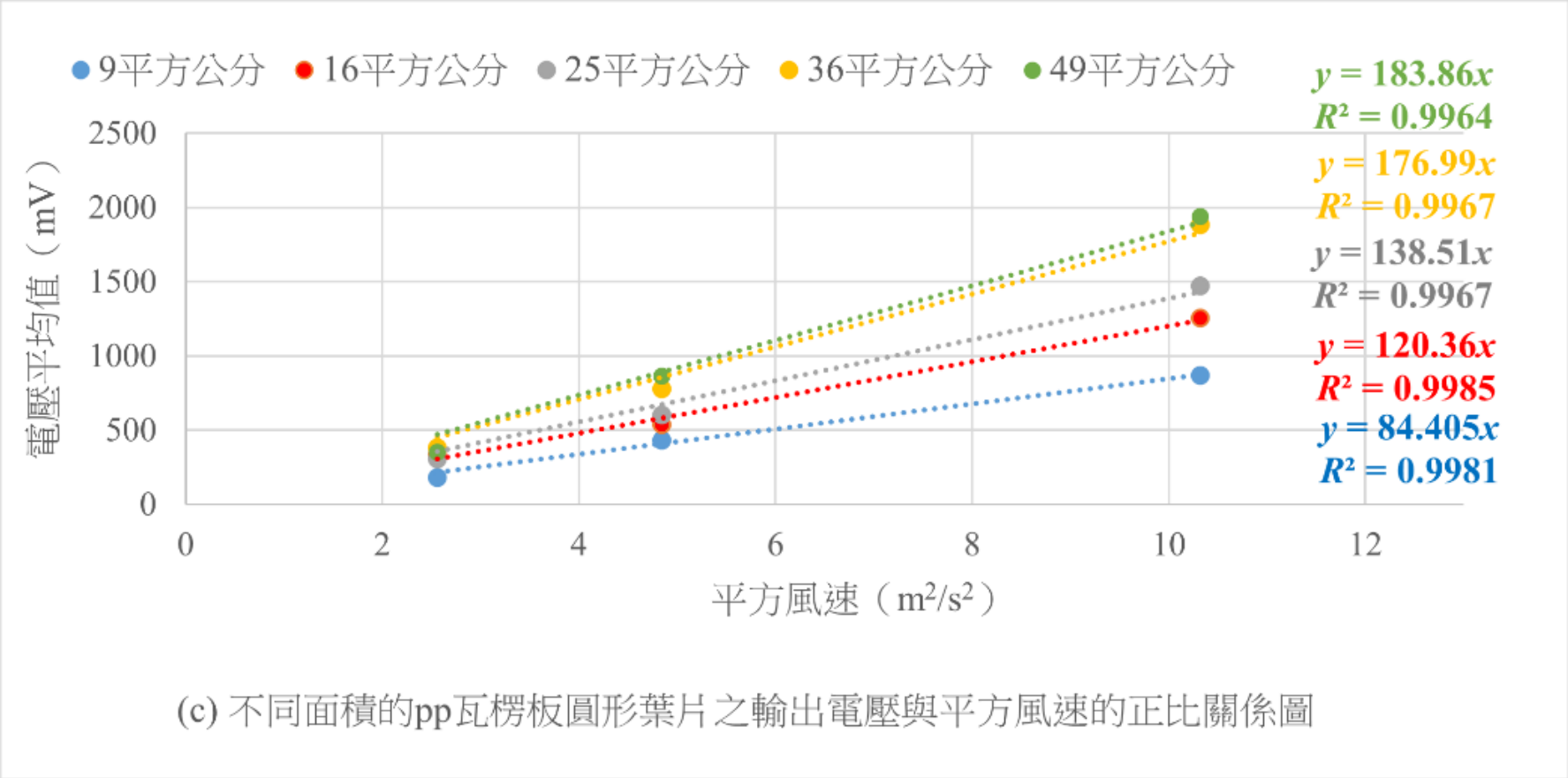
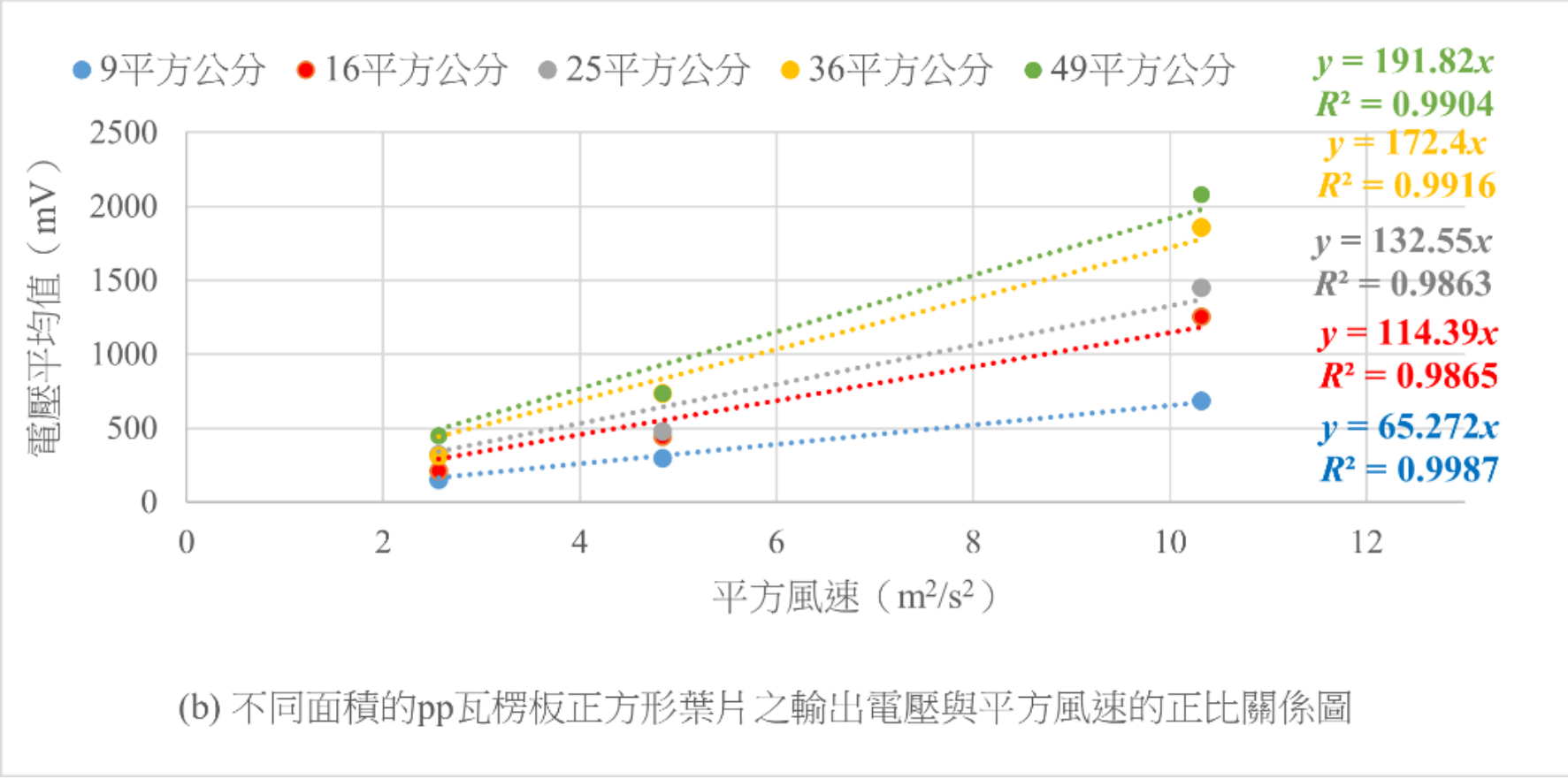
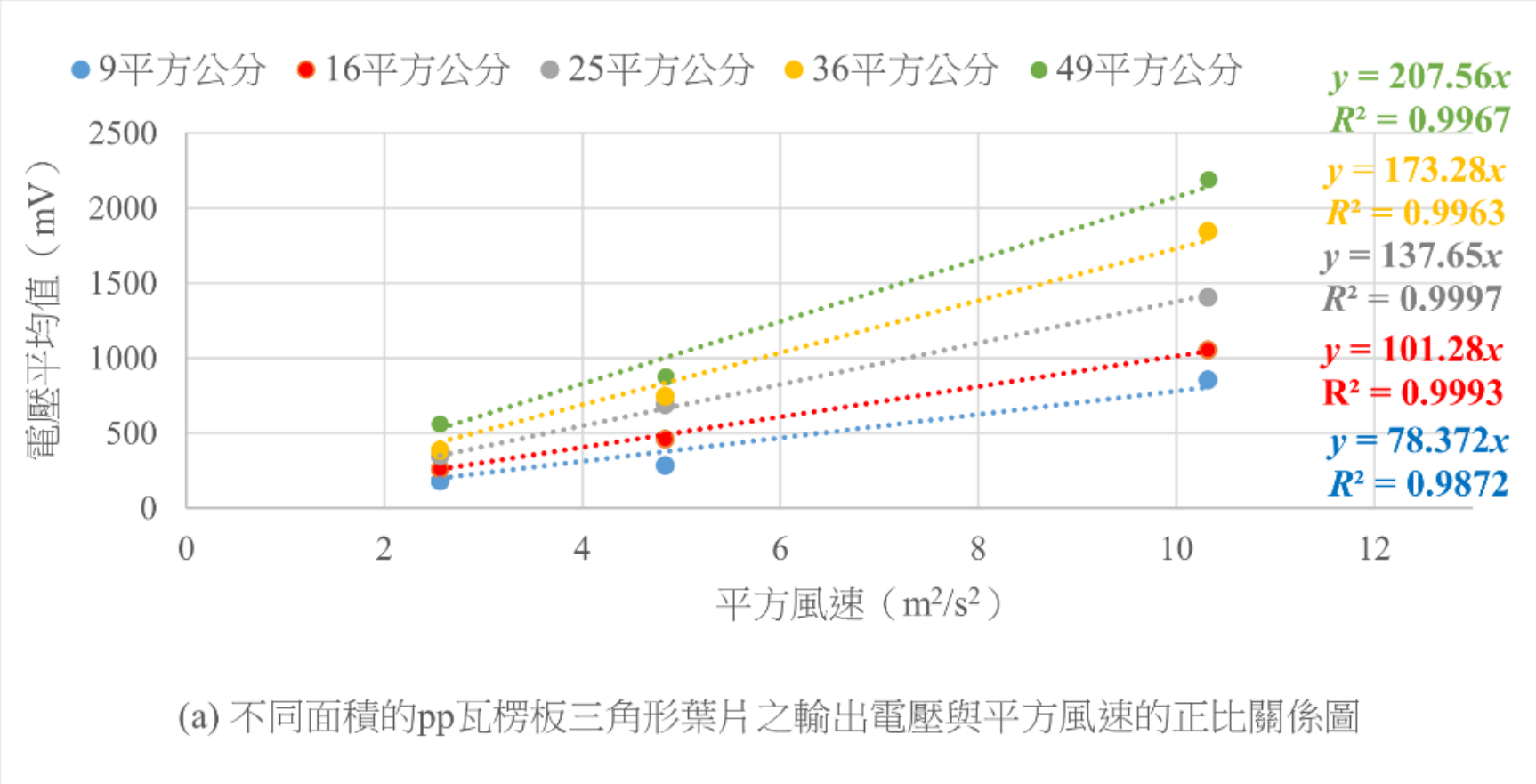


圖11 不同面積的pp瓦楞板葉片輸出電壓與平方風速的正比關係圖(作者自行繪製)

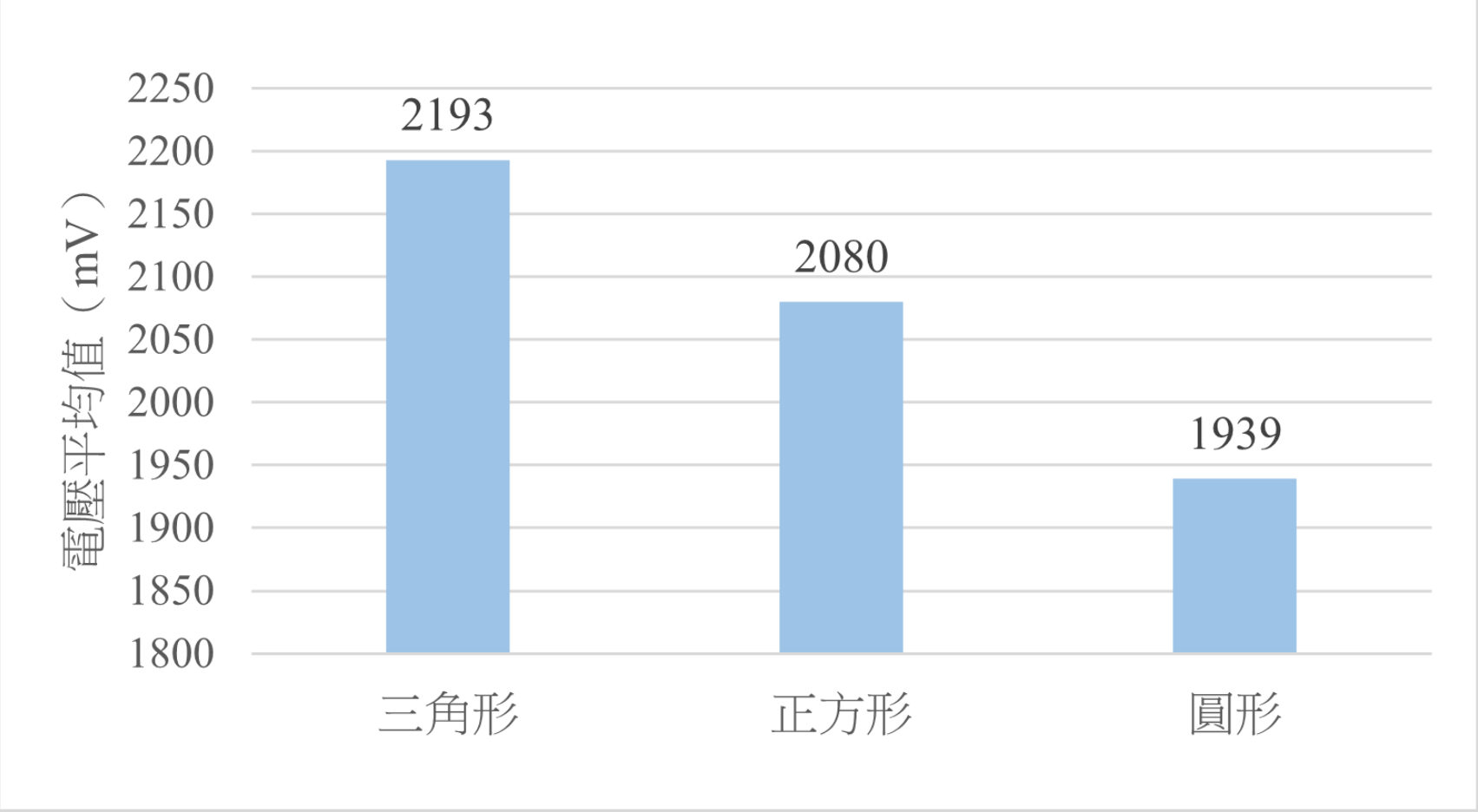
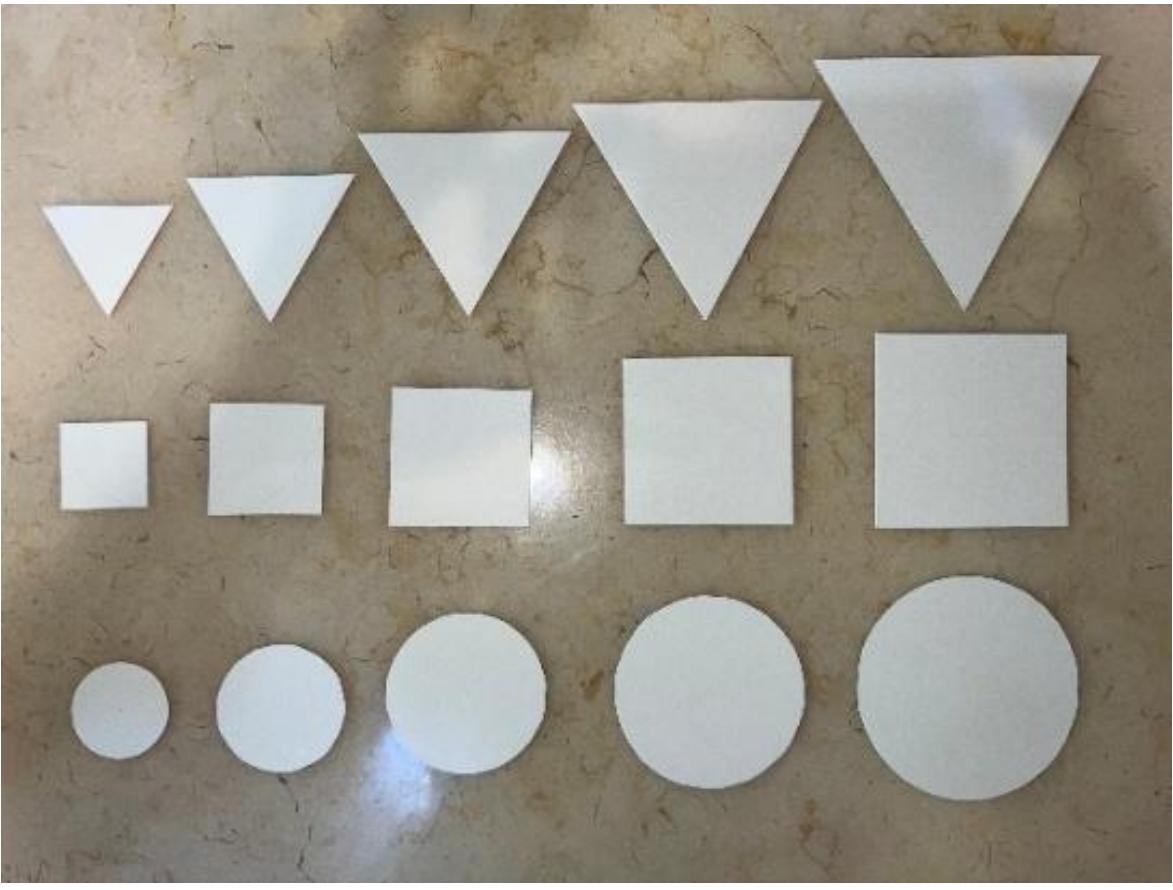


圖12 風速3.2m/s時pp瓦楞板49cm²的各葉片輸出電壓比較(作者自行繪製)

討論

- 自定義葉片的等效邊長為「與該葉片同面積正方形之邊長」。
- 電壓約和等效邊長呈線性關係。
- 電壓約和風速的平方成正比。
- 頻率幾乎不因風速而改變，但與葉片面積呈負相關。
- 49cm²的三角形葉片輸出電壓較正方形和圓形的大，且訊號穩定度也不遜於另外兩者，因此後續實驗決定使用49cm²的三角形作為pp瓦楞板材質葉片。

(三)探討不同尺寸及形狀的牛奶瓶紙葉片對壓電片震動頻率及其電壓的影響



模仿前一實驗，以牛奶瓶紙為材料，製作葉片如圖12，由左至右分別為9、16、25、36、49cm²，由上至下分別為正方形、三角形和圓形。

圖13 不同尺寸及形狀的牛奶瓶紙葉片(作者自行拍攝)

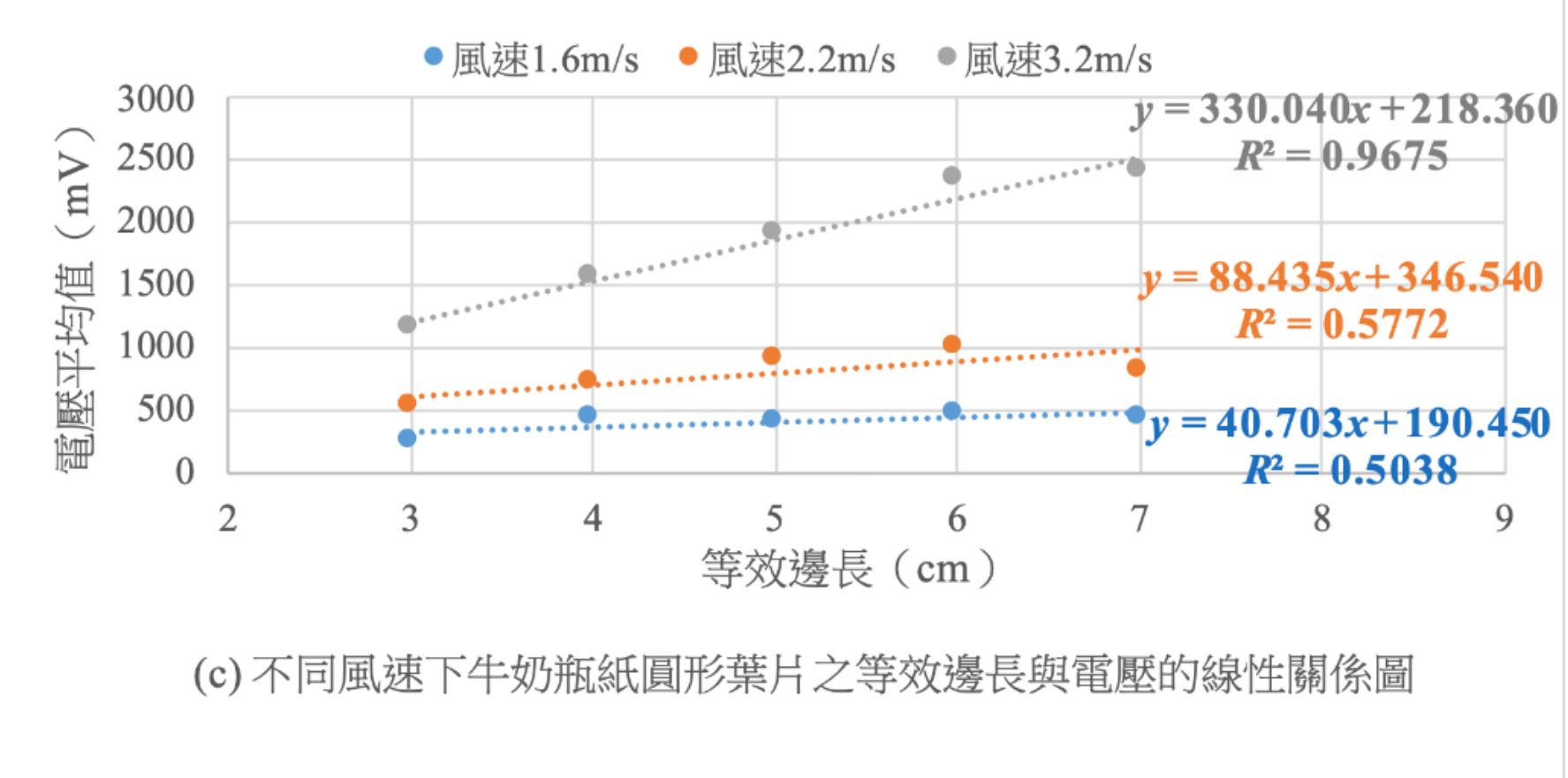
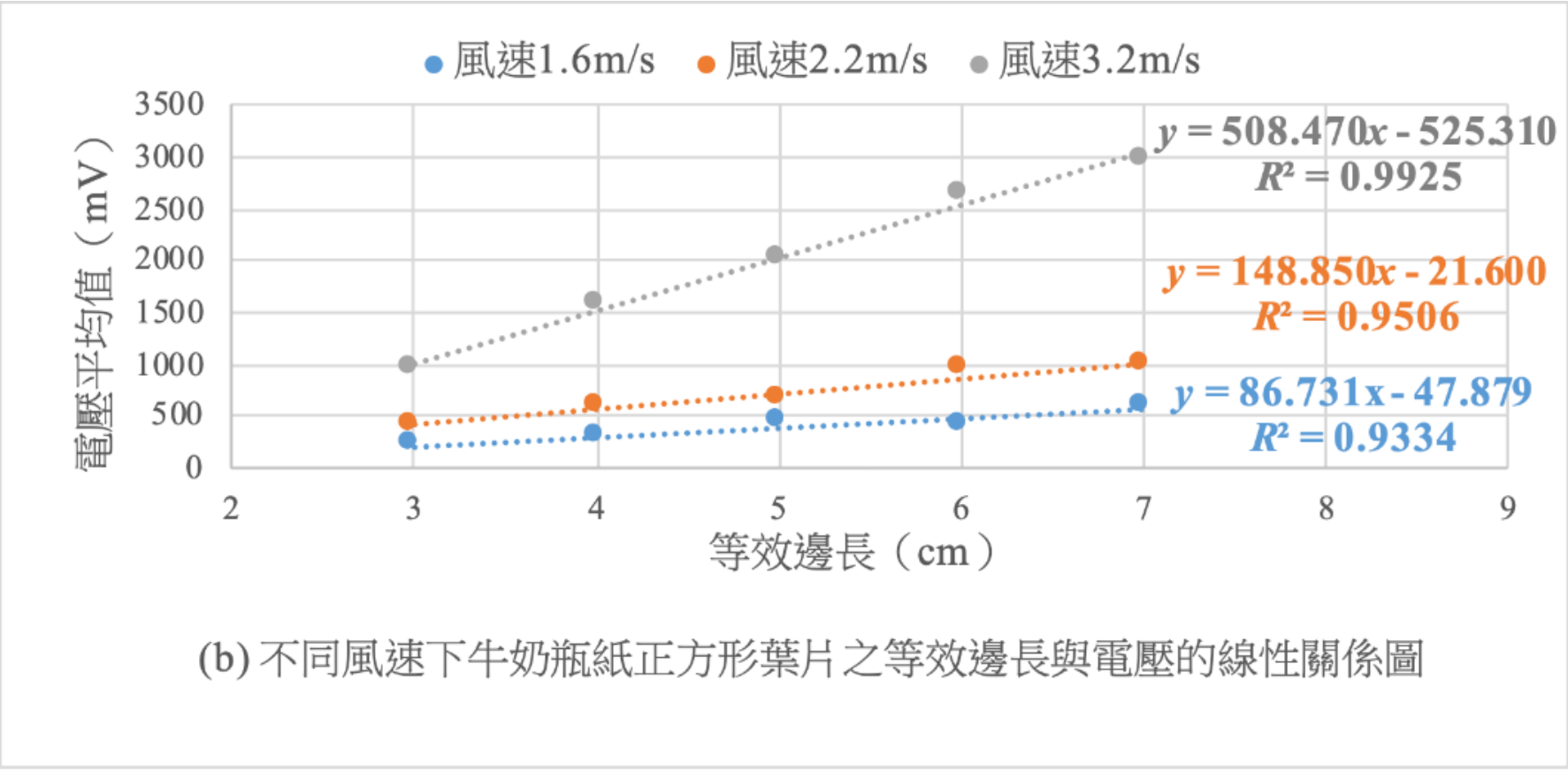
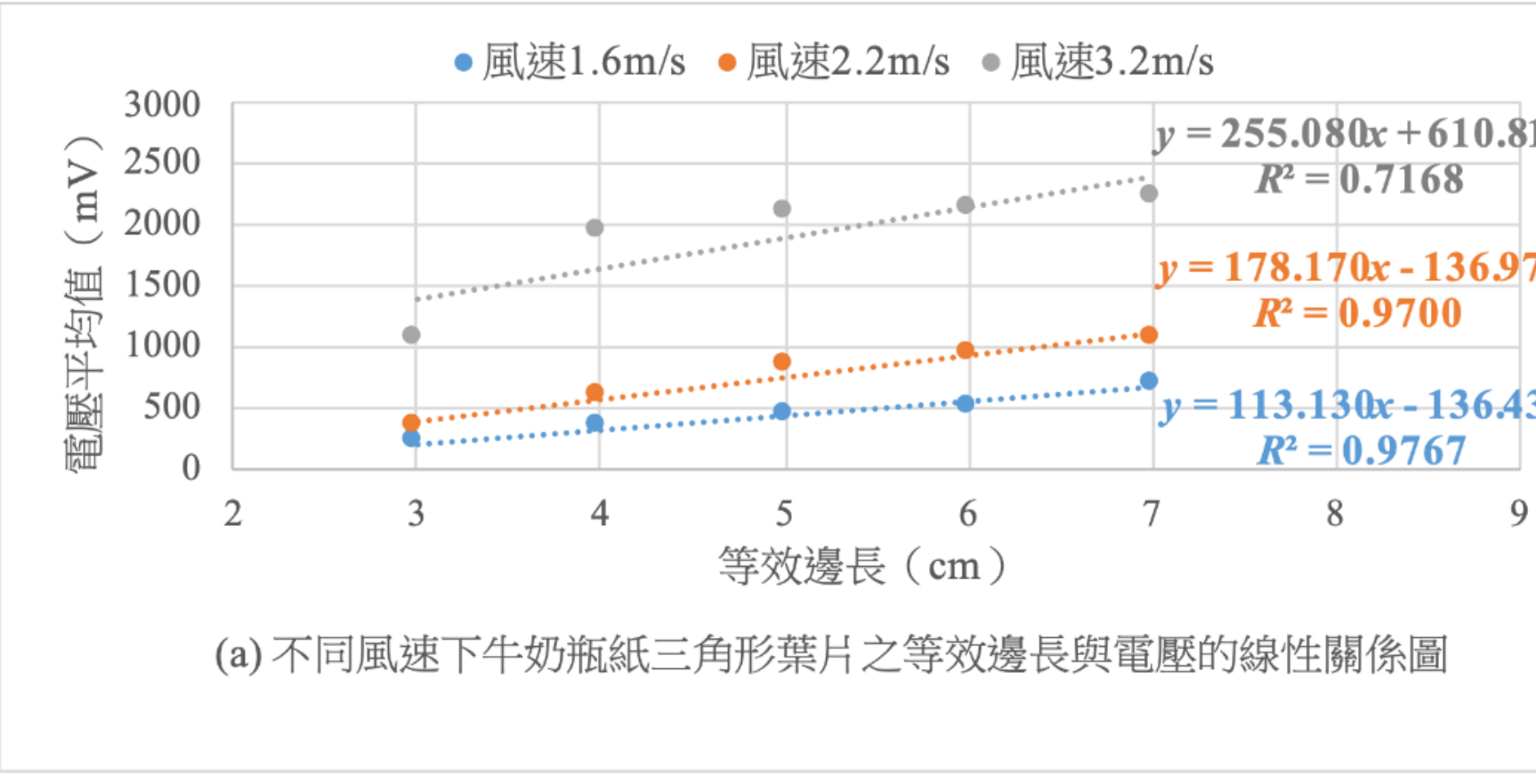


圖14 不同風速下牛奶瓶紙葉片等效邊長與電壓的線性關係圖(作者自行繪製)

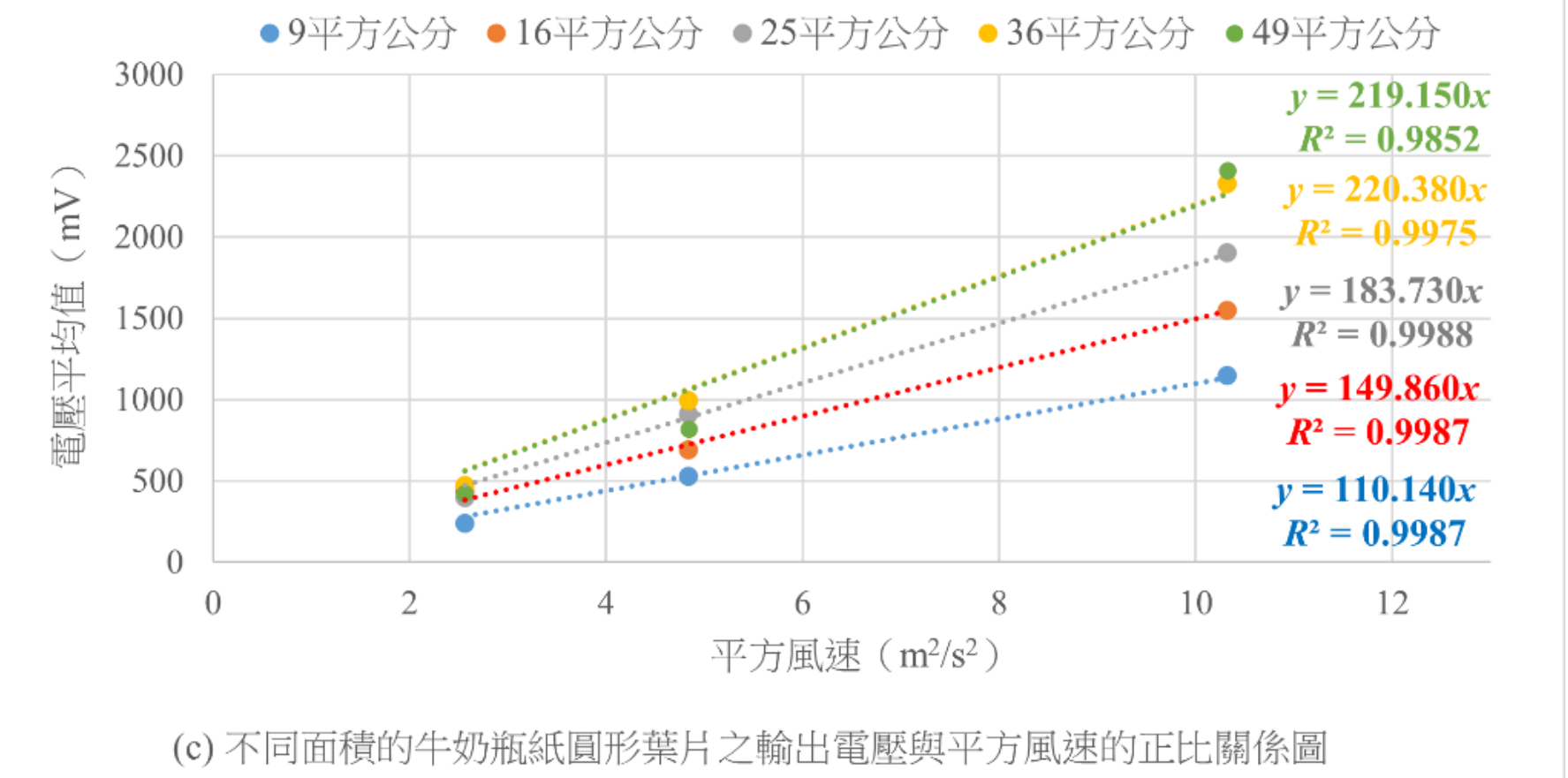
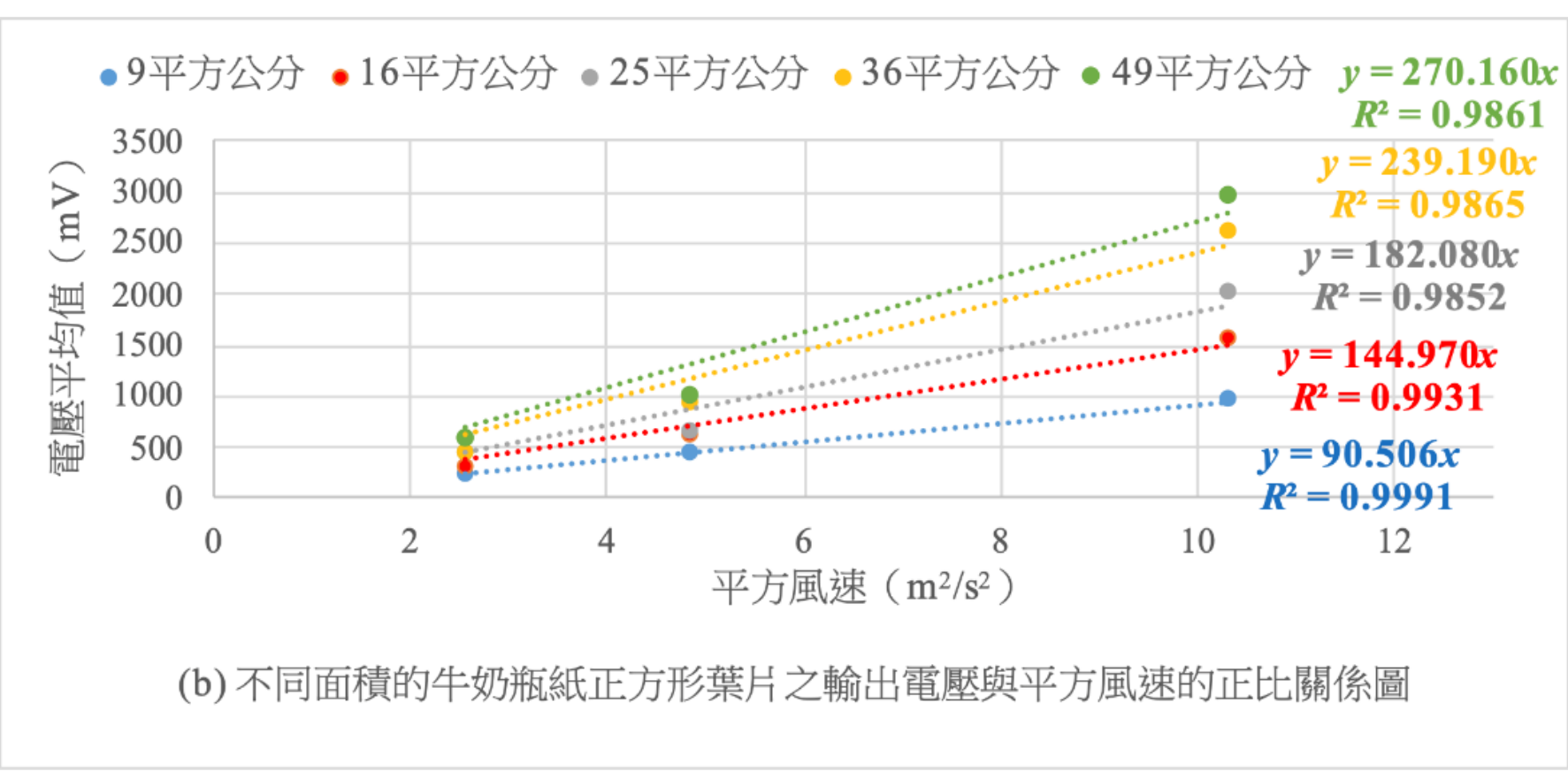
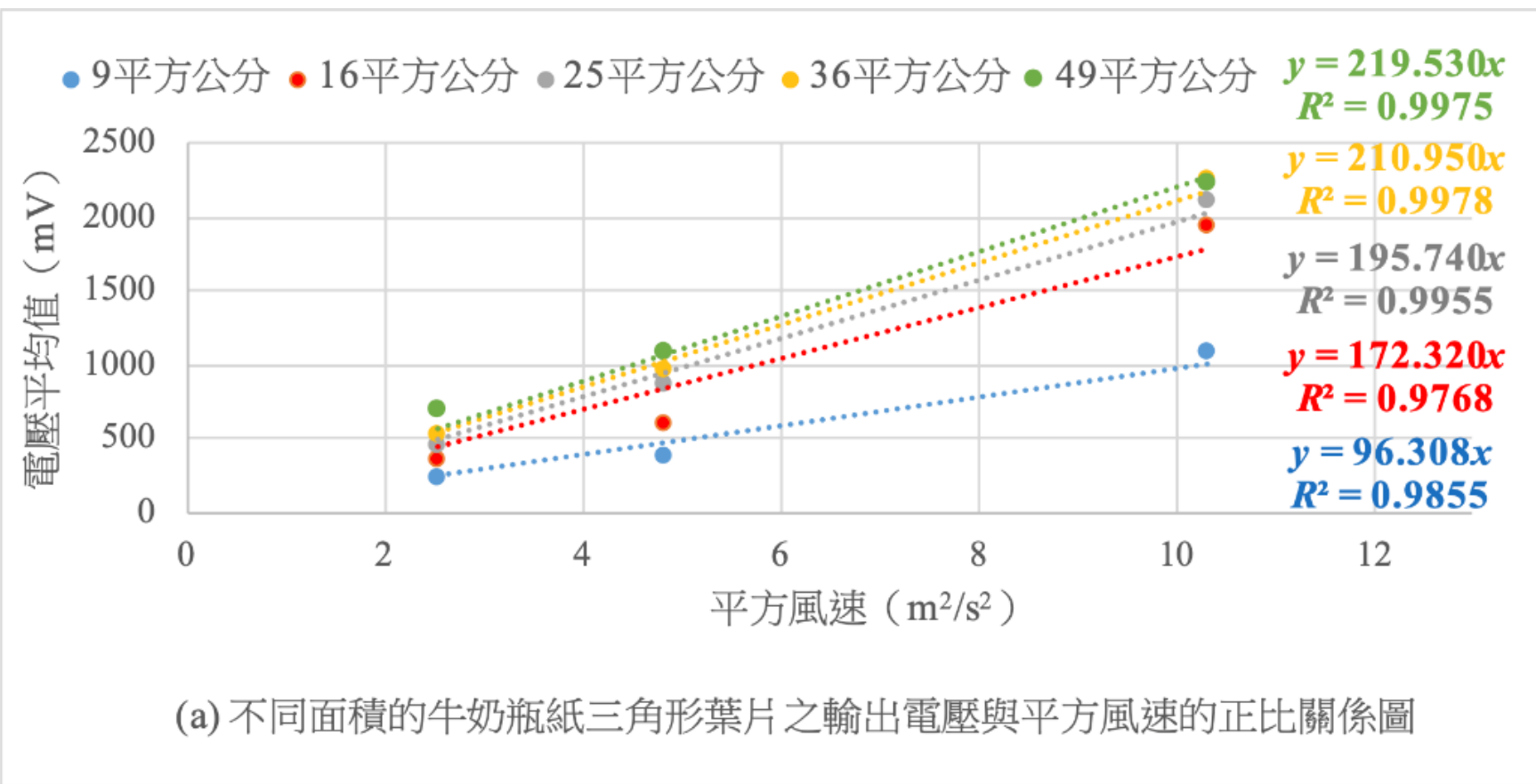
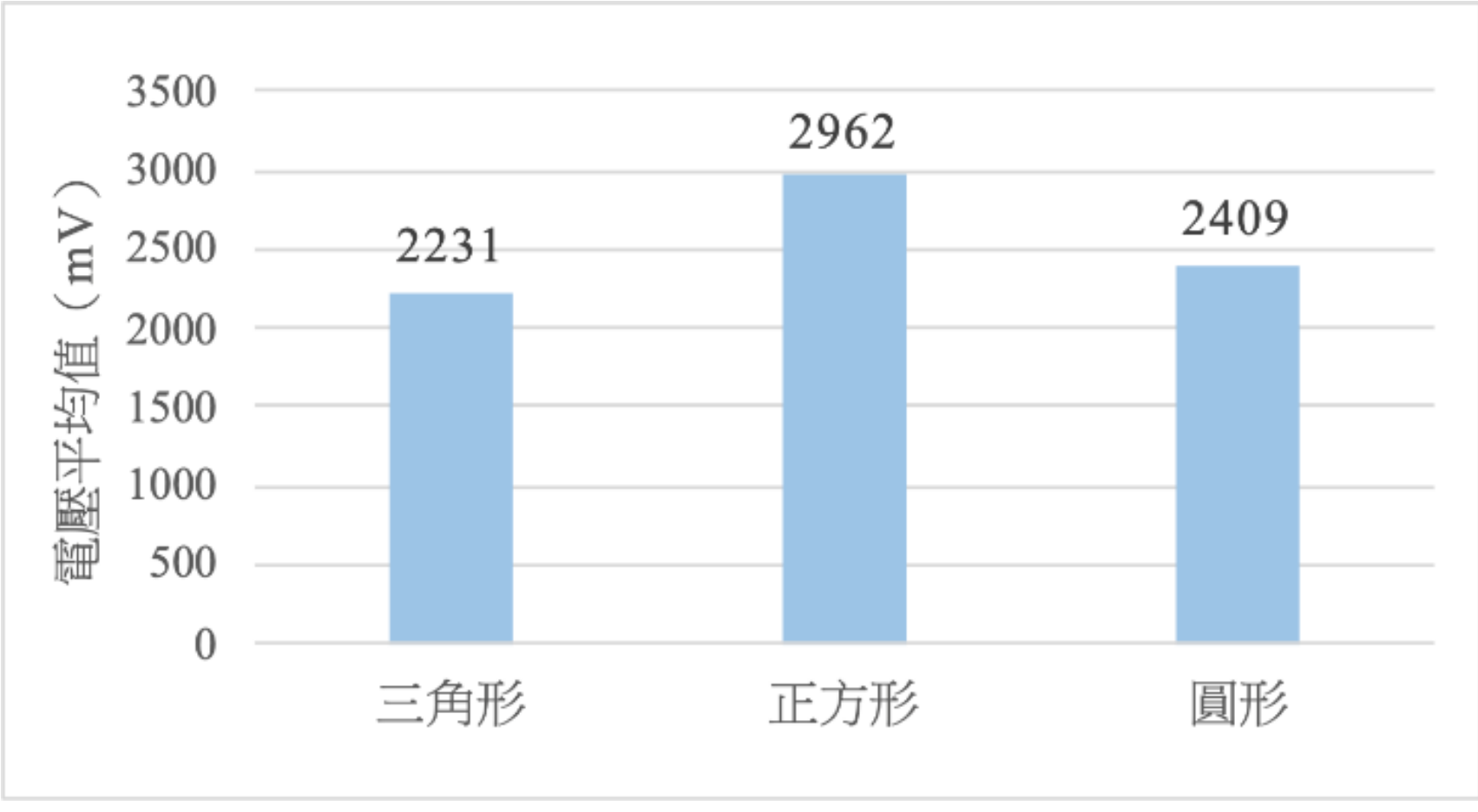


圖15 不同面積的牛奶瓶紙圓形葉片之輸出電壓與平方風速的正比關係圖(作者自行繪製)



討論

- 電壓約和等效邊長呈線性關係。
- 電壓約和風速的平方成正比。
- 頻率幾乎不因風速而改變，但與葉片面積呈負相關。
- 正方形葉片無論是輸出電壓和訊號穩定度皆優於另外兩者，因此決定使用49cm²正方形葉片作為後續實驗牛奶瓶紙材質的葉片。

前三點與前一實驗之討論相同，而不同的是兩者最佳葉片形狀不一樣，因此後續實驗希望針對49cm²的牛奶瓶紙正方形葉片和49cm²的pp瓦楞板三角形葉片進行探討。

圖16 風速3.2m/s時牛奶瓶紙49cm²的各葉片輸出電壓比較(作者自行繪製)

二、探討不同迎風角度對兩種葉片震動產生電訊號的影響

(一)探討pp瓦楞板葉片在不同的迎風角度時對壓電片 電壓、頻率和波形的影響

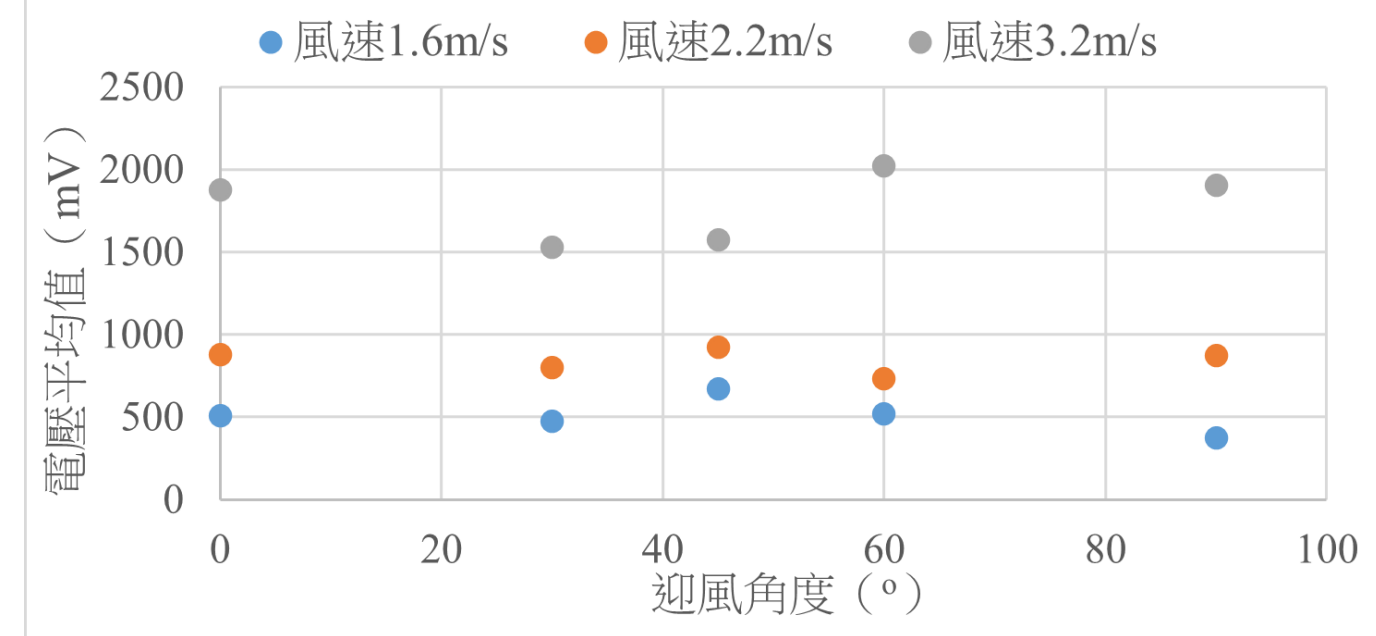


圖17 不同風速下不同迎風角度的pp瓦楞板49cm<sup>2</sup>三角形葉片輸出電壓散佈圖(作者自行繪製)

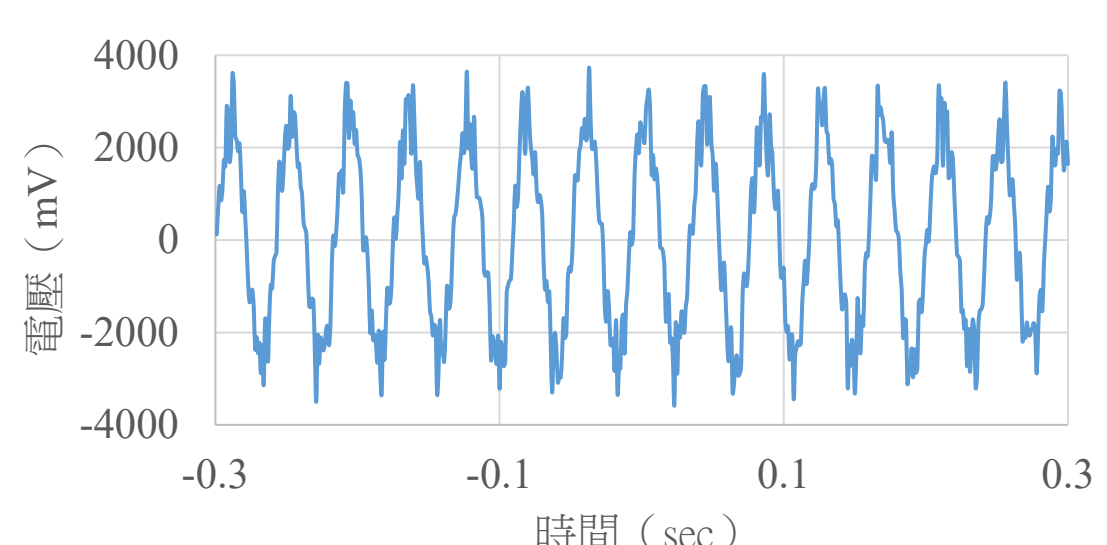


圖18 風速3.2m/s迎風角度90度pp瓦楞板49cm<sup>2</sup>三角形葉片的輸出波形圖(作者自行繪製)

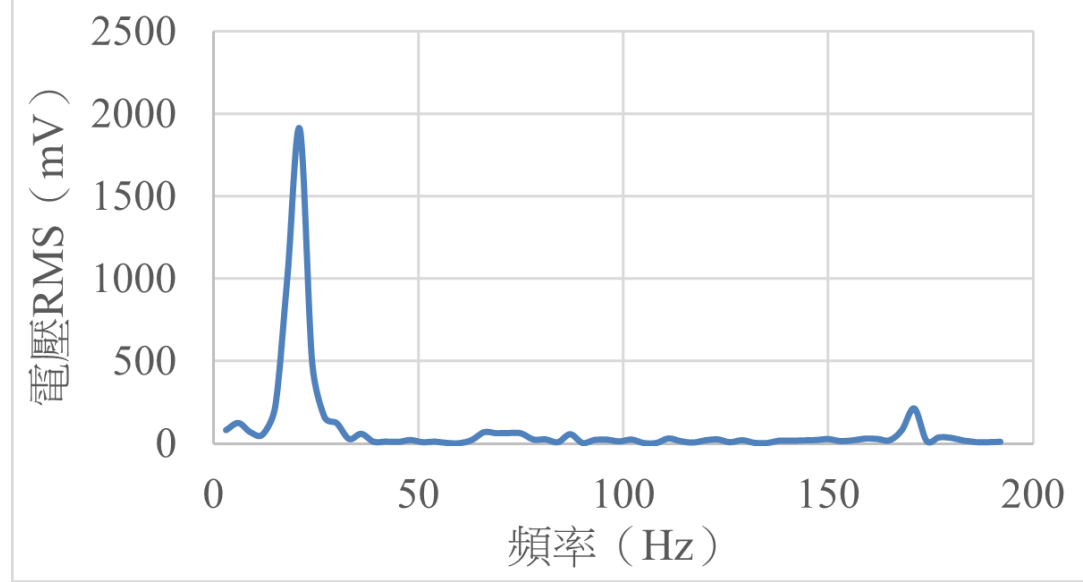


圖19 風速3.2m/s迎風角度90度pp瓦楞板49cm<sup>2</sup>三角形葉片的頻譜圖(作者自行繪製)

從波形中會看到除了主要的正弦波外，還會和頻率較高、振幅較小的波疊加。經由傅立葉分析可以得出兩個主要的峰值，振幅較小的即為副波，經紀錄後得知小波的頻率大約介在166到178Hz之間，且不隨迎風角度和風速變化；而電壓則是迎風角度或風速越大，電壓越大，但測量時發現同一數據的五次測量變異係數部分超過20%，考量到數據的可信度，較難建立準確的預測模型。

(二)探討牛奶瓶紙葉片在不同的迎風角度時對壓電片 電壓、頻率和波形的影響

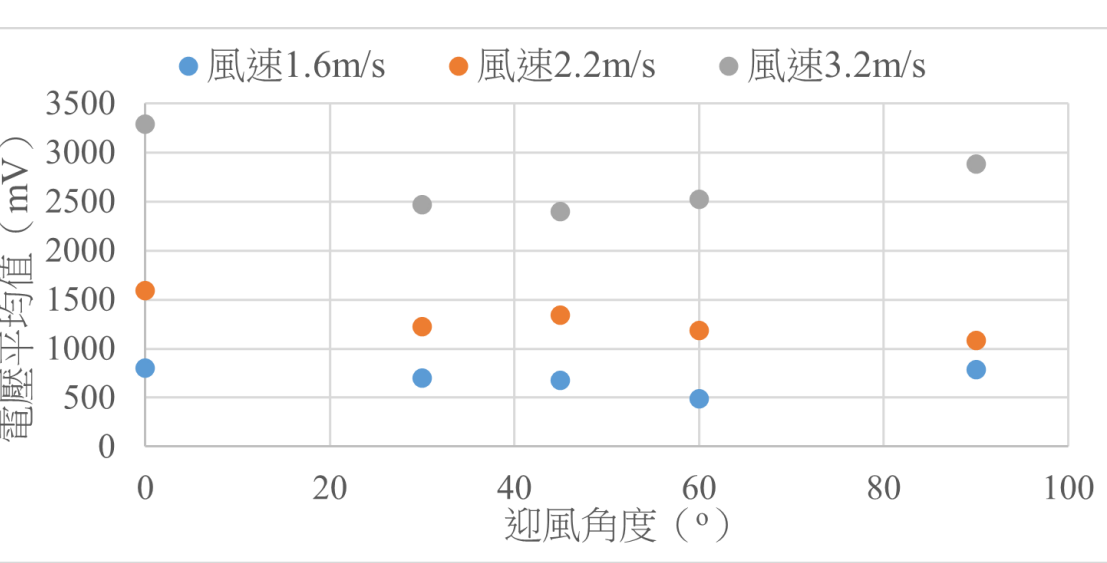


圖20 不同風速下不同迎風角度的牛奶瓶紙49cm<sup>2</sup>正方形葉片輸出電壓散佈圖(作者自行繪製)

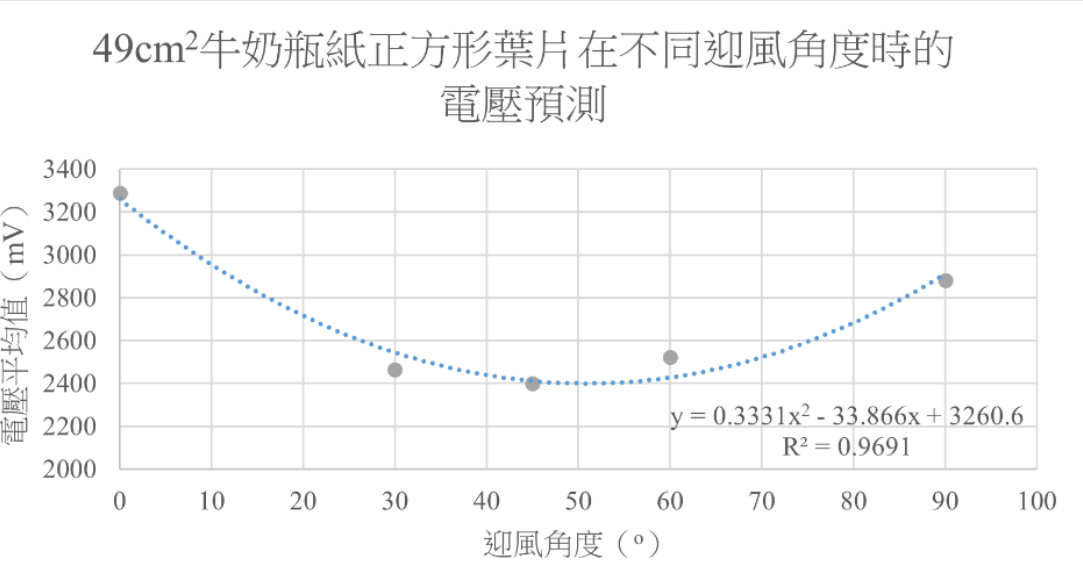


圖21 3.2m/s的風速下49cm<sup>2</sup>牛奶瓶紙正方形葉片在不同迎風角度時的電壓預測(作者自行繪製)

三、探討障礙物造成的風場改變對葉片震動產生電訊號的影響

(一)探討狹縫氣流對不同迎風角度的pp瓦楞板葉片產生電壓、頻率和波形的影響

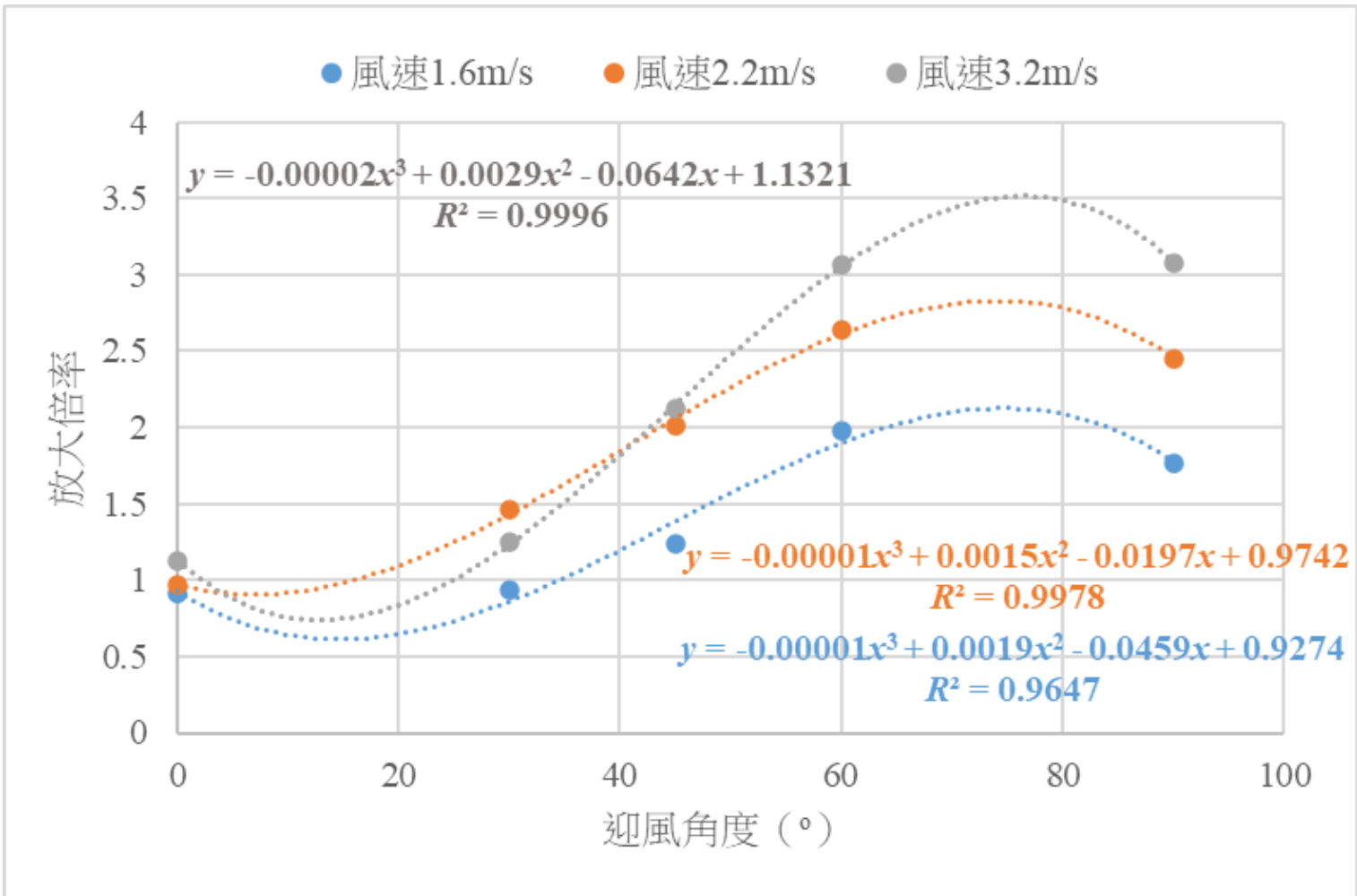


圖22 狹縫對pp瓦楞板49cm<sup>2</sup>的三角形葉片輸出電壓放大倍率趨勢圖(作者自行繪製)

可以發現氣流流經狹縫後，電壓依然和平方風速成正比，而波形則會出現頻率不固定且各頻率之振幅都較小的副波。根據窄管效應，氣流流經狹縫後流速增快，在風水學中稱為「天斬煞」。以風速計確認狹縫有風速增強的效果後，發現電壓有時卻不增反減，並且可透過角度的三次函數進行預測，因此推論氣流流經狹縫時可能產生震動，並與震動裝置發生共振，在峰值的發生就是俗稱的「鬼動草現象」，希望藉由分析這些「鬼動」訊號，為現代鬼動風水儀增加更多的科學依據。

(二)探討狹縫氣流對不同迎風角度的牛奶瓶紙葉片產生電壓、頻率和波形的影響

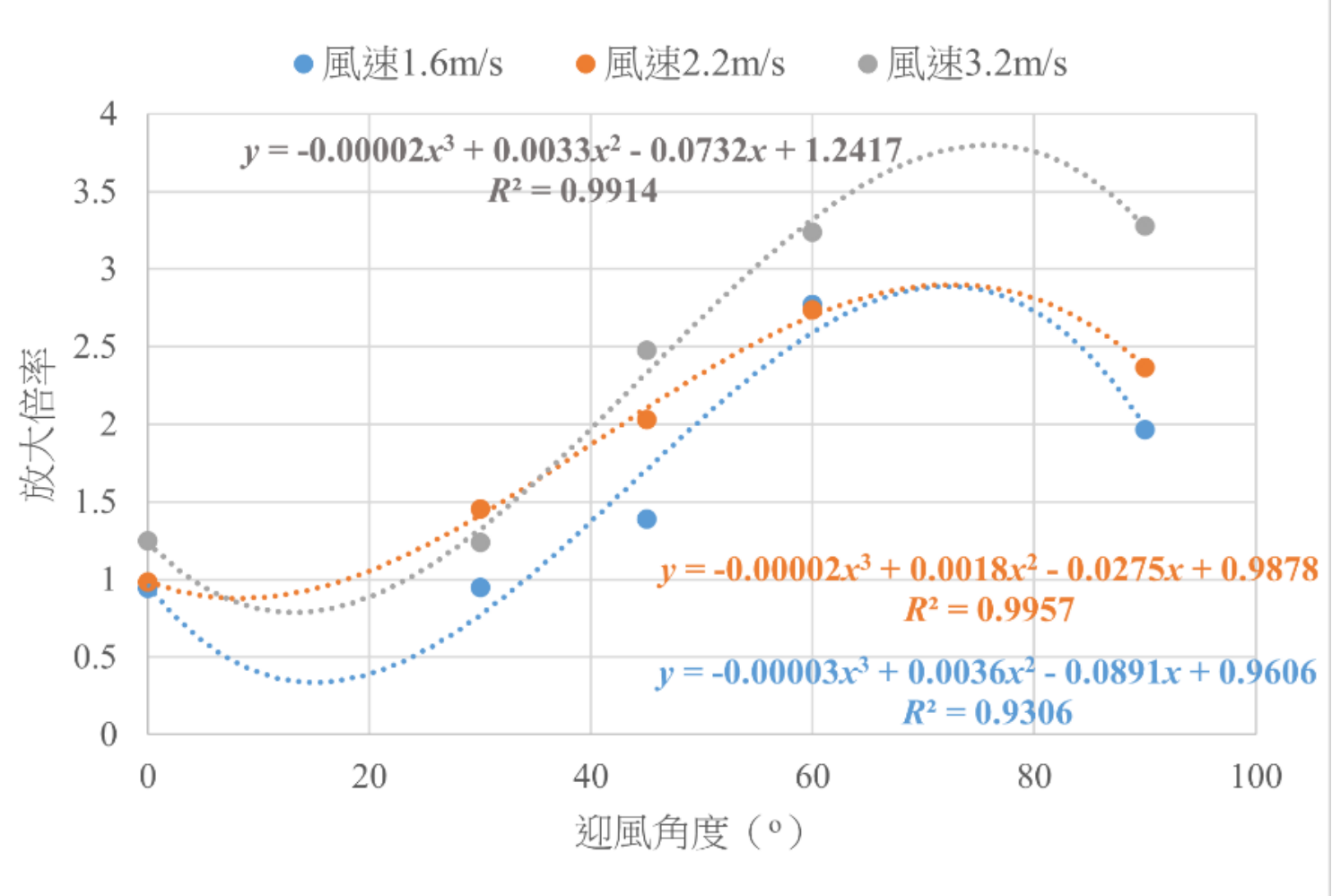


圖23 狹縫對牛奶瓶紙49cm<sup>2</sup>的正方形葉片輸出電壓放大倍率趨勢圖(作者自行繪製)

(三)探討不同迎風角度對僅一半迎風的pp瓦楞板葉片產生電壓、頻率和波形的影響

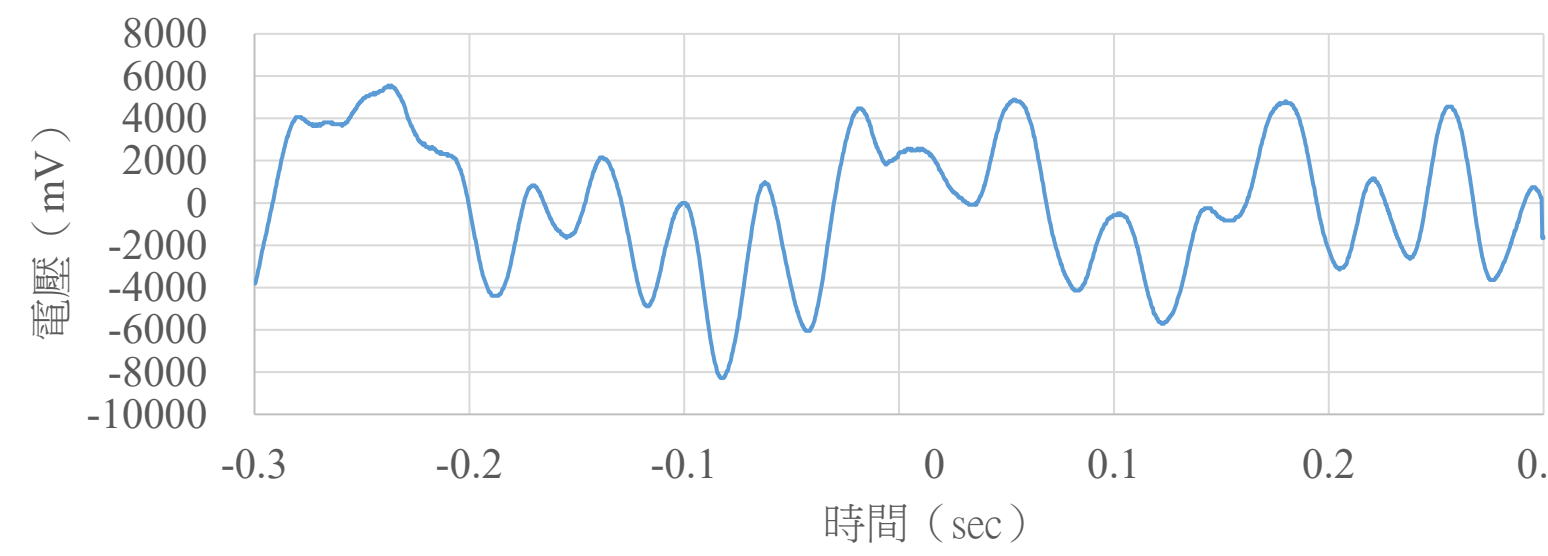


圖24 風速3.2m/s迎風角度90度僅一半迎風的pp瓦楞板49cm<sup>2</sup>三角形葉片輸出波形圖(作者自行繪製)

觀察到波形產生較低頻的波疊加，此現象可由白努利定律解釋。由於障礙物的原因導致葉片兩端產生風速差，根據白努利定律，兩端會出現氣壓差，因而在無風的一端產生新的風場並產生不規則的干涉波形。由於波形的高低起伏和擷取時間不夠長，導致電壓不穩定，因此難以看出電壓間的關聯。

(四)探討不同迎風角度對僅一半迎風的牛奶瓶紙葉片產生電壓、頻率和波形的影響

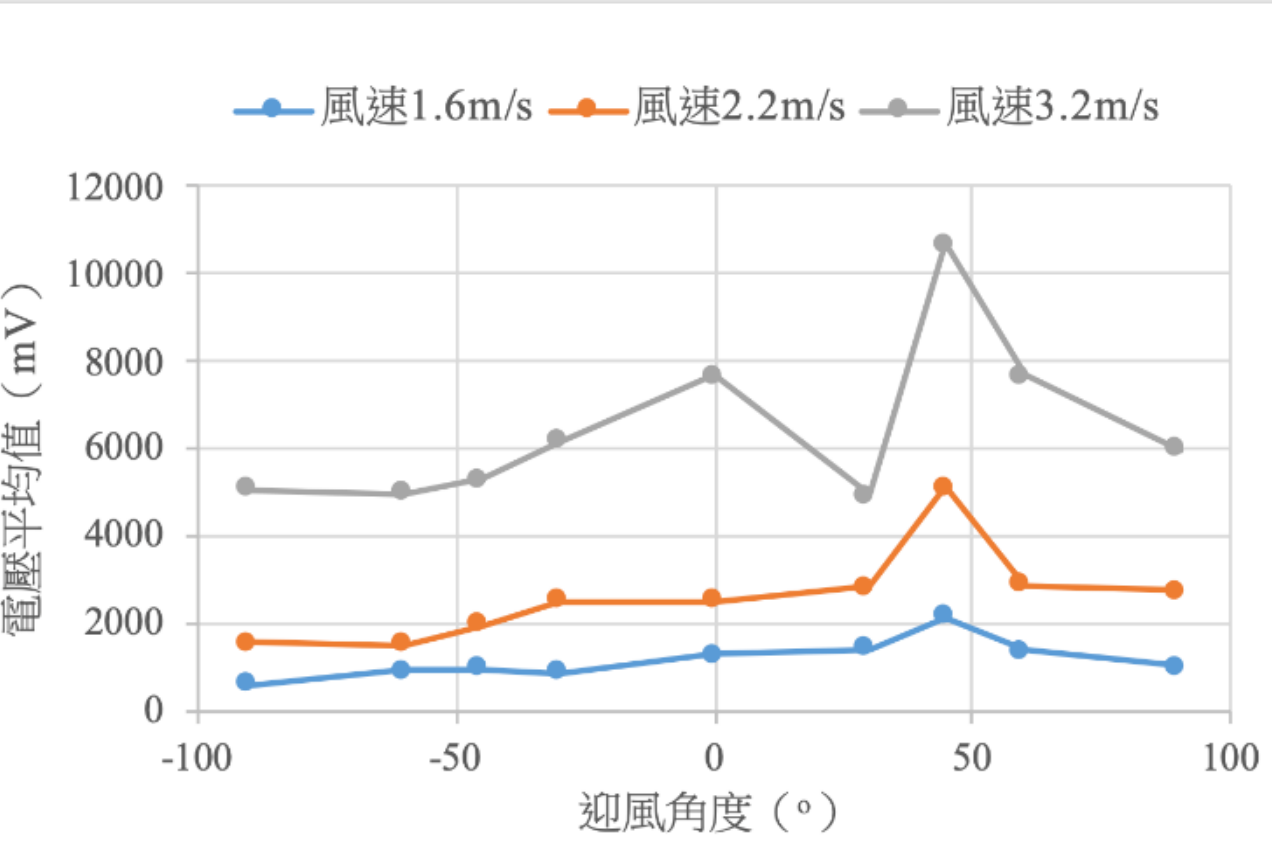


圖25 不同迎風角度僅一半迎風的49cm<sup>2</sup>牛奶瓶紙正方形葉片輸出電壓散佈圖(作者自行繪製)

(五)探討擺設圓柱對pp瓦楞板葉片在不同迎風角度時產生電壓、頻率和波形的影響

圖26與圖27皆為作者自行繪製

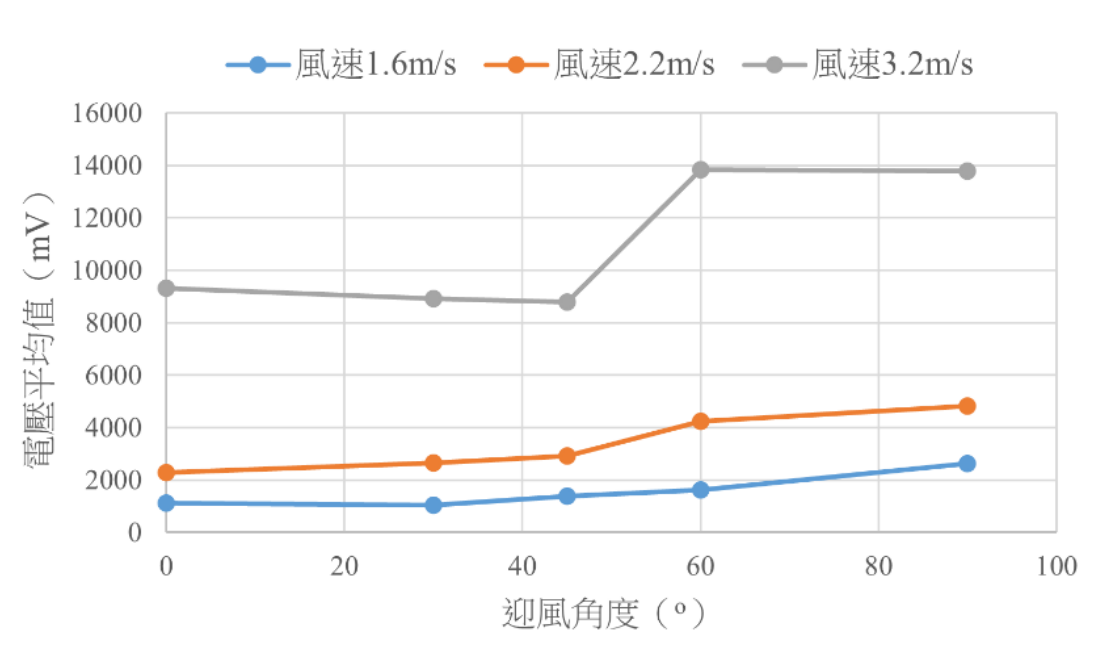


圖26 擺設圓柱後pp瓦楞板49cm<sup>2</sup>的三角形葉片在不同迎風角度的輸出電壓折線圖

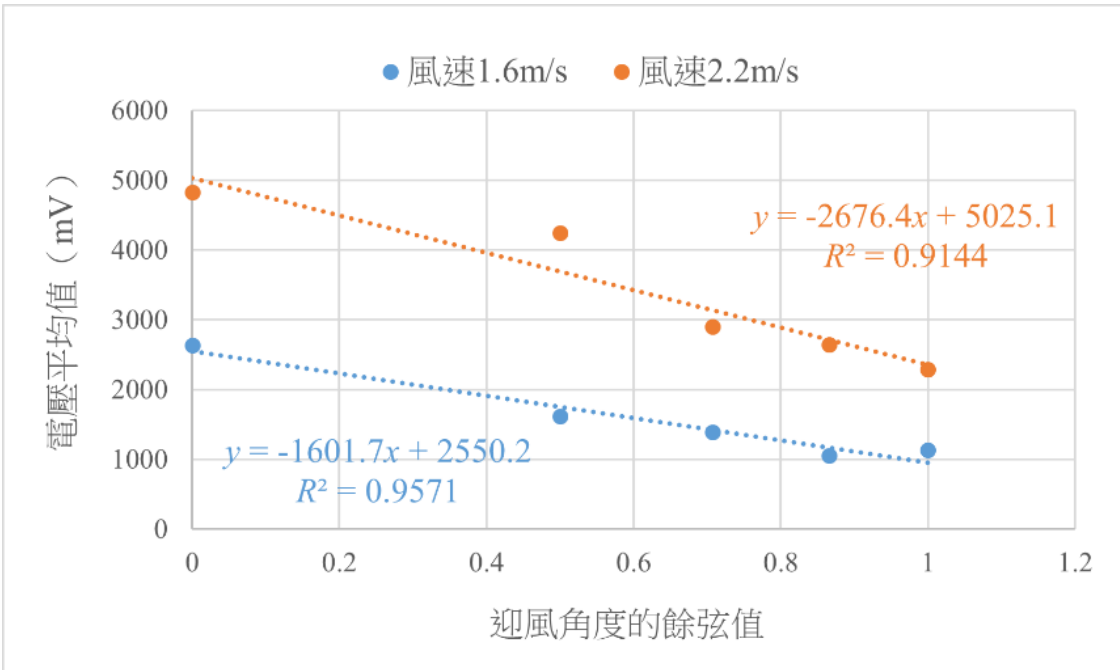


圖27 擺設圓柱後pp瓦楞板49cm<sup>2</sup>三角形葉片電壓與迎風角度餘弦值的線性關係圖

發現經過圓柱的氣流會使壓電片輸出電壓增大，推測是因為氣流流經圓柱時會先產生一系列卡門渦街，而此震動又與壓電片後端的卡門渦街疊加進而形成振幅更大的波。此外，擺設圓柱後電壓依然與平方風速成正比，並且發現當迎風角度增加時垂直受風面積會減少，但電壓卻不減反增，推論是兩次的卡門渦街共振而導致。

(六)探討擺設圓柱對牛奶瓶紙葉片在不同迎風角度時產生電壓、頻率和波形的影響

圖28與圖29皆為作者自行繪製

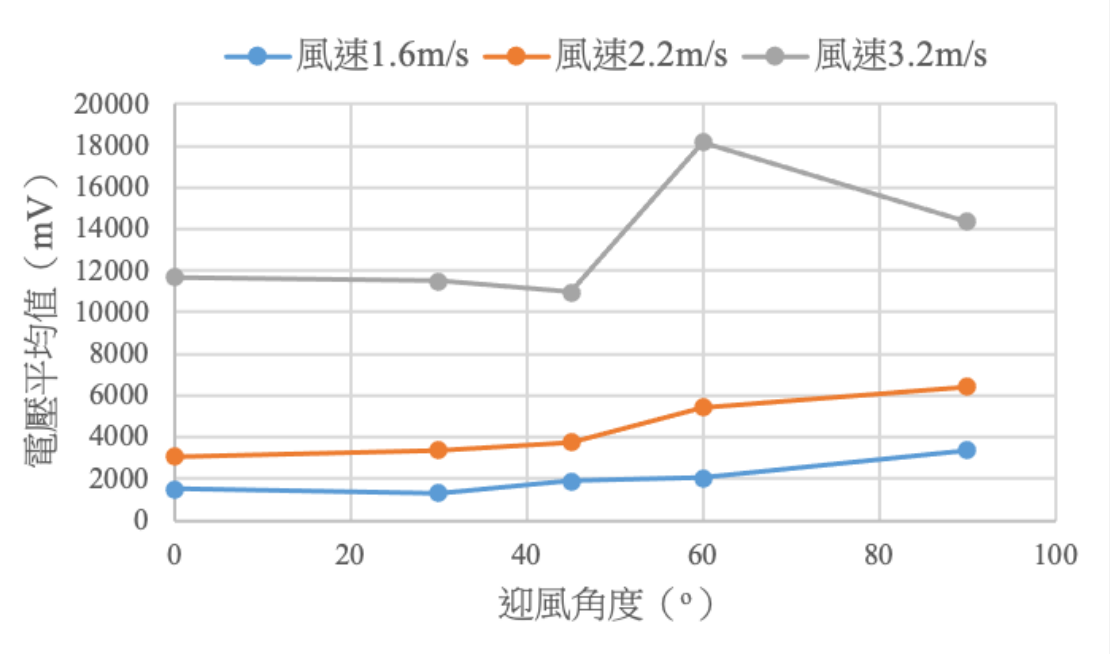


圖28 擺設圓柱後49cm<sup>2</sup>牛奶瓶紙的正方形葉片在不同迎風角度的輸出電壓折線圖

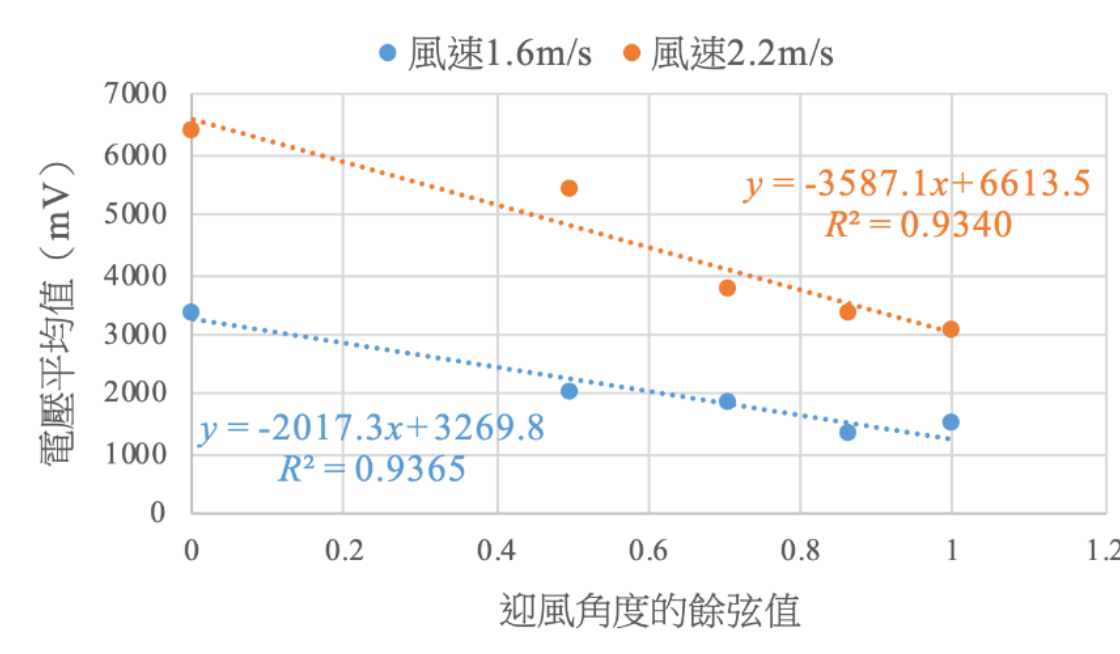


圖29 擺設圓柱後49cm<sup>2</sup>牛奶瓶紙正方形葉片輸出電壓與迎風角度餘弦值的線性關係圖

和前一實驗相同，圓柱皆會使電壓增強，並且電壓約和平方風速成正比，電壓也皆可透過取迎風角度的餘弦值對風速為1.6和2.2m/s的情況進行線性預測。另外，由圖27中可以看出風速為3.2m/s時會在迎風角度為60°時出現峰值，顯示了利用「鬼動」訊號偵測風場的可行性。

四、探討不同迎風角度對不同紋路的牛奶瓶紙葉片產生電訊號的影響

不同紋路的平均電壓相近，從波形來看則有微小差異，但不易建立判準；推測是紋路深度不夠或材質特性較不易產生小波及其他變化所致，未來應加深紋路並搭配葉形做更多的比較分析。

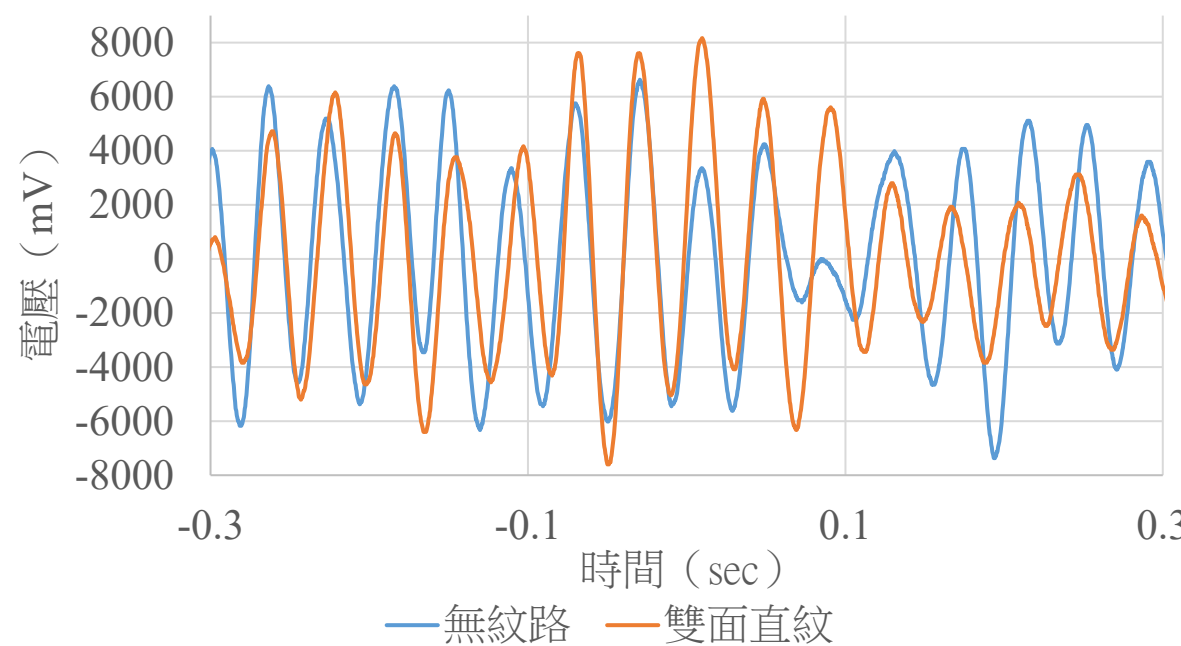


圖30 有無紋路的49cm<sup>2</sup>牛奶瓶紙的正方形葉片輸出波形比較(作者自行繪製)

結 論

一、探討不同材質、尺寸及形狀的葉片對震動產生電訊號的影響

- (一)自定義葉片的等效邊長為與該葉片同面積之正方形邊長，由數據中可以發現電壓約和平方風速成正比，和等效邊長呈線性關係，頻率則幾乎不因風速改變，且與葉片面積呈負相關。
- (二)經由電壓與決定係數的比較選定49cm<sup>2</sup>的三角形pp瓦楞板葉片、正方形牛奶瓶紙葉片作為最佳葉片並於後續實驗探討其中特性。

二、探討不同迎風角度對兩種葉片震動產生電訊號的影響

- (一)當迎風角度改變時，電壓仍然與平方風速成正比，但不與等效邊長呈線性關係。
- (二)可由二次迴歸曲線建立風速3.2m/s牛奶瓶紙正方形葉片的預測模型。

三、探討障礙物造成風場改變對葉片震動產生電訊號的影響

- (一)除了遮住半邊葉片，其餘電壓都正比於平方風速，但不與等效邊長呈線性關係。
- (二)狹縫可使電壓放大或縮小，放大倍率可由三次函數擬合，發現在特定條件下可重現「鬼動草現象」；pp瓦楞板出現多頻且振幅較小的波。
- (三)遮住半邊葉片時，pp瓦楞板的波形會出現高低起伏導致電壓不穩定，牛奶瓶紙則在45°時產生峰值，再次重現「鬼動草現象」。
- (四)圓柱增強輸出電壓並在60°風速3.2m/s出現峰值，仍可重現「鬼動草現象」，並且可由迎風角度的餘弦值對風速為1.6和2.2m/s的情況進行線性預測。

四、探討不同迎風角度對不同紋路的牛奶瓶紙葉片產生電訊號的影響

本研究在葉片上所刻劃的四種紋路型式對產生弱電訊號的影響不大。

五、根據研究動機，設計並製作現代鬼動風水儀裝置，如右圖所示。

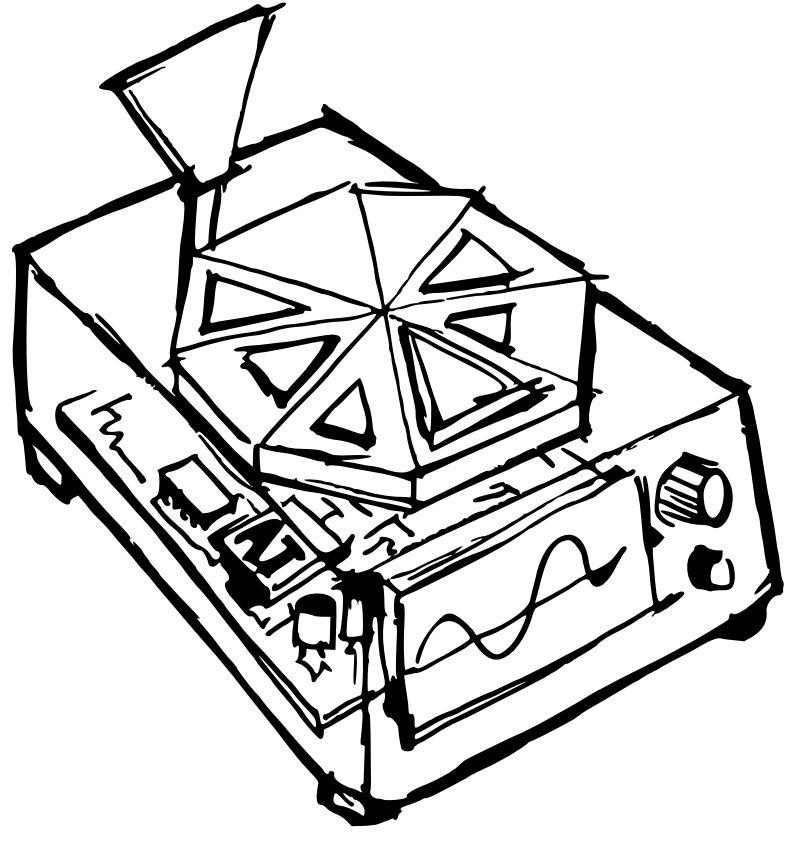


圖31 第一、二代現代鬼動風水儀(作者自行拍攝與繪製)