

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第三名

030117

用白努利定律分析影響風力發電的因素

學校名稱：彰化縣立彰興國民中學

作者： 國二 洪子耘	指導老師： 陳楷文
---------------	--------------

關鍵詞：白努利定律、提升風力發電效率、康達效應

摘要

我們先開發有風罩的風力發電機，已證明風罩能提升或降低發電電壓，讓我們對其中的物理原理更有學習興趣。風力發電機要迎風才能有最大的發電效率，由牛頓定律和白努利定律解釋尾翼如何讓風力發電機迎風。白努利定律解釋了為什麼風罩面積愈大發電效率更高，而康達效應告訴我們發電機的位置也是重要關鍵。

壹、 研究動機

風電是透過風力發電機將風能可以轉變成機械能，再將機械能轉成電能。這種風力發電可以分成二種，水平軸風力發電機，風輪的旋轉軸與風向平行;垂直軸風力發電機，風輪的旋轉軸垂直於地面或者氣流方向。這二種發電方式各有優缺點，但是發電效能高的是水平軸風力發電機，垂直軸風力發電機的特色是不管風向都能發電。

目前風力發電主要缺點是沒風就不能發電，風小發電量不足，於是我們已經設計出一種集風罩，可以將弱風集中來提升風速，讓風力發電機在弱風時也能有不錯的發電效率，另外我們也設計出相反功能的散風罩，當風速太高時 $>25\text{m/s}$ 時，我們研發的散風罩就能降低風速保護發電機，又能高效率發電，取代目前強風時將馬達上鎖停止發電的模式。

我們想要用白努利定律和康達效應來解釋和分析集風罩和散風罩的原理，期待更了解這些定律後能提升風力發電的效能。

貳、研究目的

- 一、用白努利定律來解釋和分析集風罩和散風罩的功用。
- 二、運用 3D 列印協助實驗測試，用 Arduino 來搜集物理實驗資料。
- 三、分析康達效應對集風罩的影響。

參、研究設備及器材

1. 香港希瑪 AT816 可攜式風速計



多種測量模式

- (1)即時測量
- (2)AVG 平均值
- (3)MAX 值

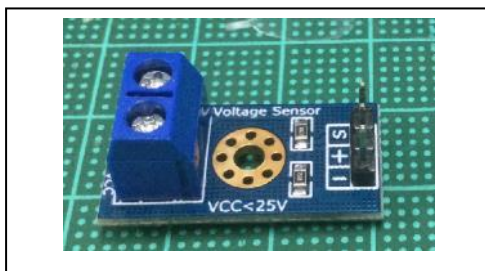
2、三用電錶



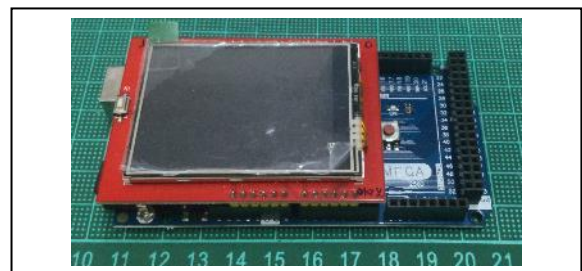
3、轉速錶 DT-2234C+



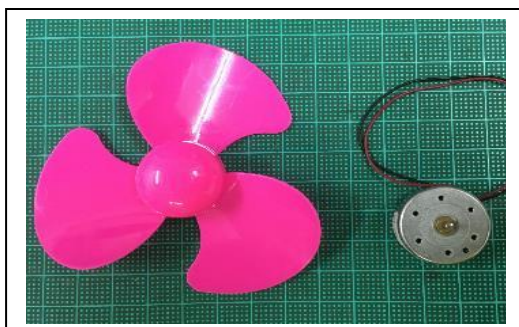
4、Voltage Sensor 電壓感測器



5、Arduino Mega2560 和 2.4 吋 TFT



6、風力發電馬達和風扇葉片



7、Arduino uno，XD-204 資料記憶模組，SD 卡



Arduino UNO 收集發電電壓資料

XD-204 插到 Arduino UNO 上，
可以儲存實驗資料到 XD-204 內
的 SD 記憶卡。

8、3D 列印機 CR-200B



CR-200B

成品尺寸：200*200*200mm

成型技術：FDM

噴嘴直徑：0.4mm

熱床溫度：<100 度

封閉式機殼

9、3D 列印線材



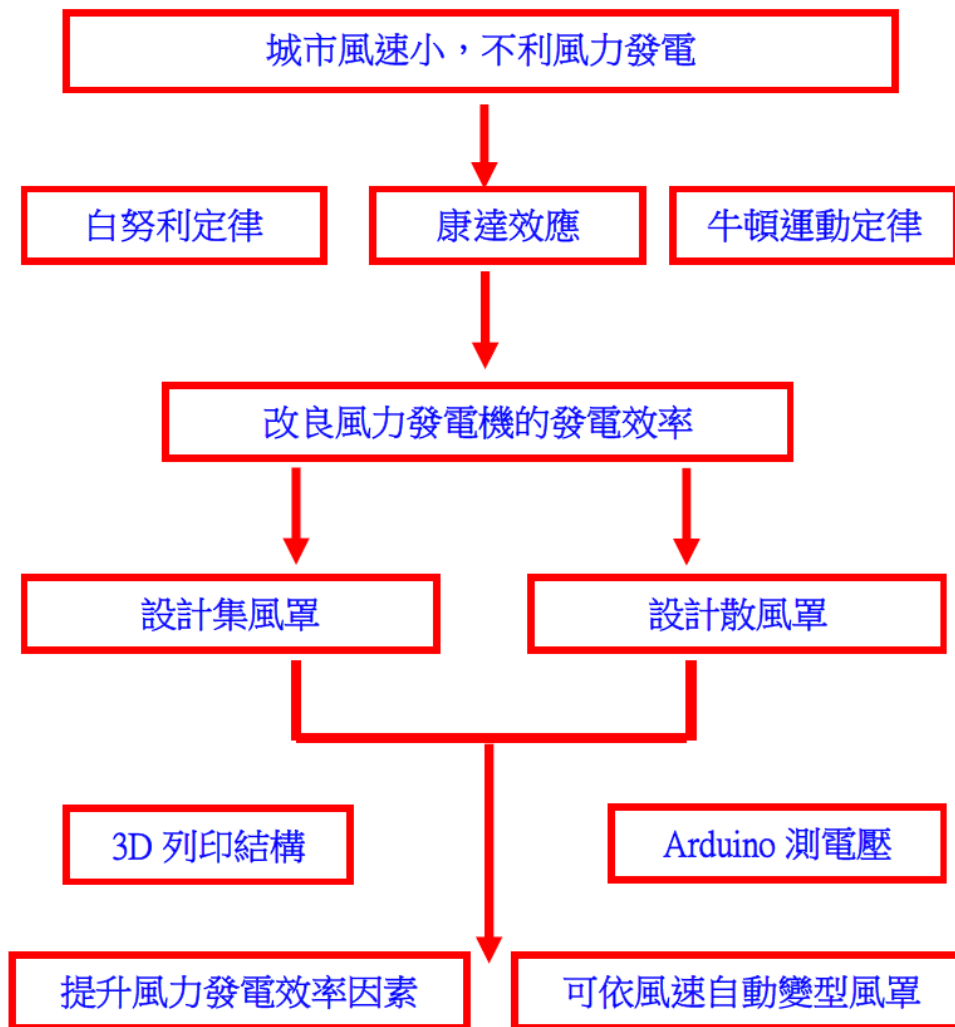
PLA 線材

(1) PLA 又稱為聚乳酸，是由植物澱
粉所製造成。

(2) 列印溫度 190~230 度。

(3) 容易受潮斷裂，影響列印品質。

肆、研究過程或方法



一、3D 繪圖和 3D 列印結構

(一)、繪圖軟體：123D Design

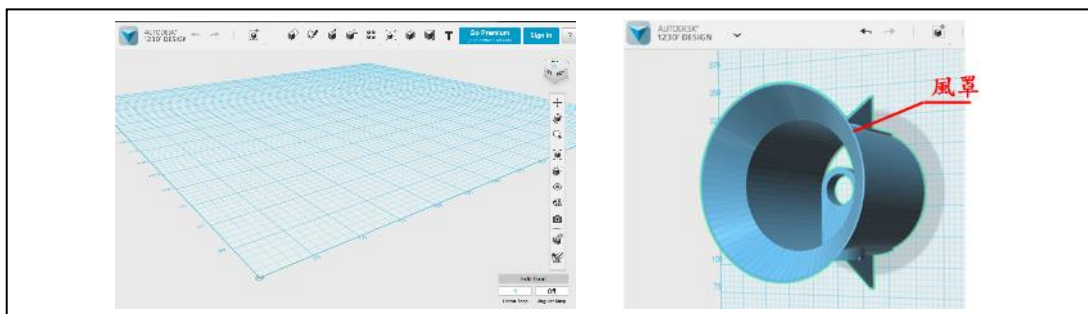


圖 1、使用 123D Design 免費繪圖軟體去繪製風力發電機結構

(二)、使用 3D 列印機列印模型

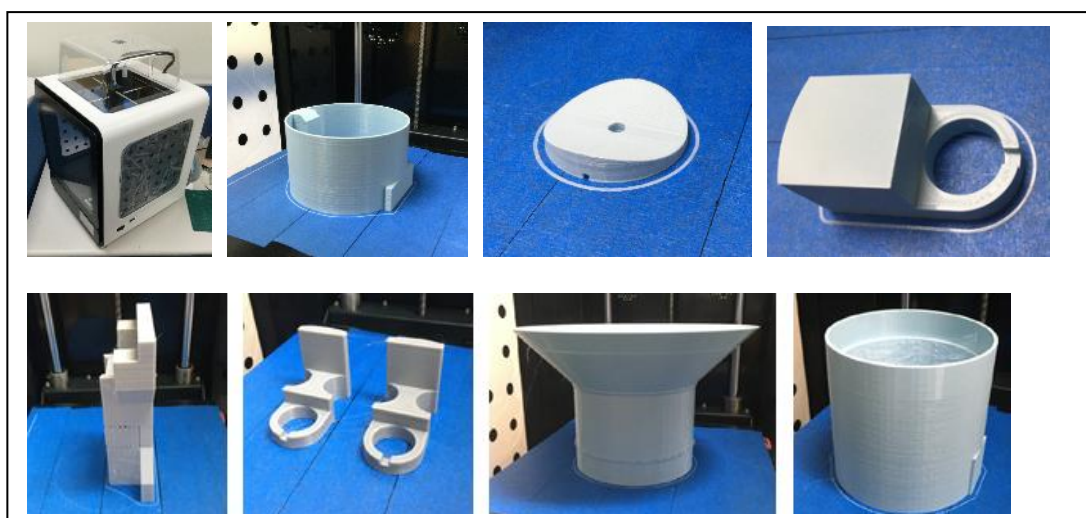


圖 2、使用 3D 列印機去列印風力發電機內部結構

(三)、將設計好的集風罩用 3D 列印列出

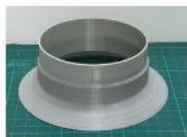
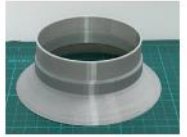
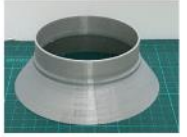
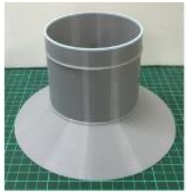
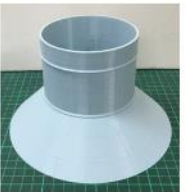
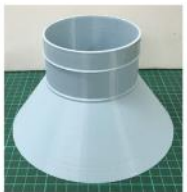
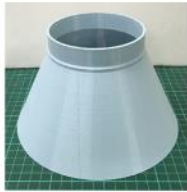
小集風罩組				
開口角度	55度	45度	35度	
開口直徑	133mm	133mm	133mm	
大集風罩組				
開口角度	55度	45度	35度	25度
開口直徑	186mm	186mm	186mm	186mm

圖 3、2 種類型集風罩。一種集風罩是半徑 66.5mm，一種集風罩是半徑 93mm。

小集風罩組高度相同，只有集風角度不同。大集風罩組高度相同，只有集風角度不同

(四)、將設計好的散風罩用 3D 列印列出

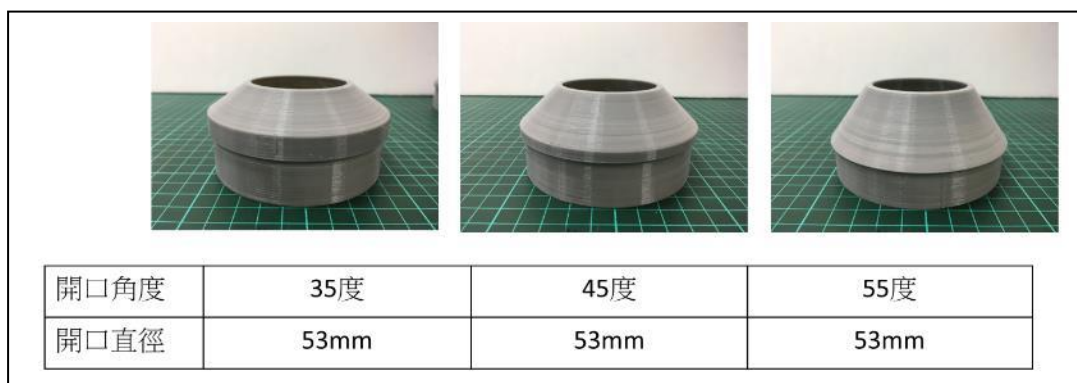


圖 4、相同高度和相同開口直徑，只有進風角度不同。

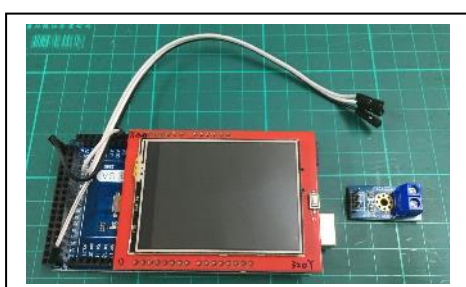
二、測量風速和發電測量



- (1) 香港希瑪 AT816 可攜式風速計，是一種迷你型的數字風速測速計，在本實驗中測量風速。
- (2) 三用電表，在本實驗中用來測量發電機的發電電壓。

圖 5、測量風速的風速計和測量發電電壓的 3 用電錶

三、Arduino 和 Voltage Sensor 電壓感測器



此模組基於電阻分壓原理所設計
電壓輸入範圍：DC0-25V
電壓檢測範圍：DC0.02445V-25V
電壓模擬分辨率：0.00489V

圖 6、用來測量發電電壓的的 Arduino mega2560 和測電壓模組 voltage sensor

四、組裝一個風力發電機

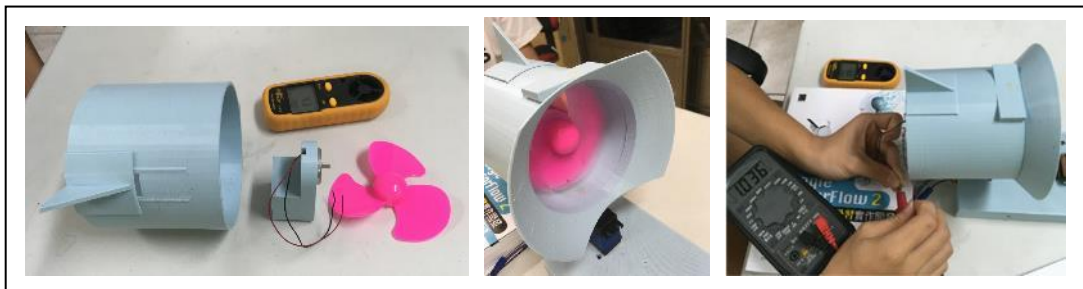


圖 7、組裝風力發電模組，可以測發電電壓，也能測量風速。

把繪製好的模型用 3D 列表機印出，在將馬達和風扇固定後裝到風力發電機上，接著用 3 用電錶測量發電電壓，証明系統可以運作。

五、風力發電機可以抽換不同型式的風罩



圖 8、設計出一種可以抽換的風罩系統。

測試要在同一種環境下，為了測試多種風罩影響風力發電的數據，設計出一種可以抽換系統，讓實驗唯一變數是風罩角度。

六、自製風洞



圖 9、將塑膠椅切割，組裝到電風扇，自做一個風洞。

沒辦法在有風洞的實驗室測試，我們依照風洞原理，讓電風扇的風能集中穩定的吹出來，減少實驗不利的因素。

七、運用 voltage sensor 讀出風力發電的電壓值

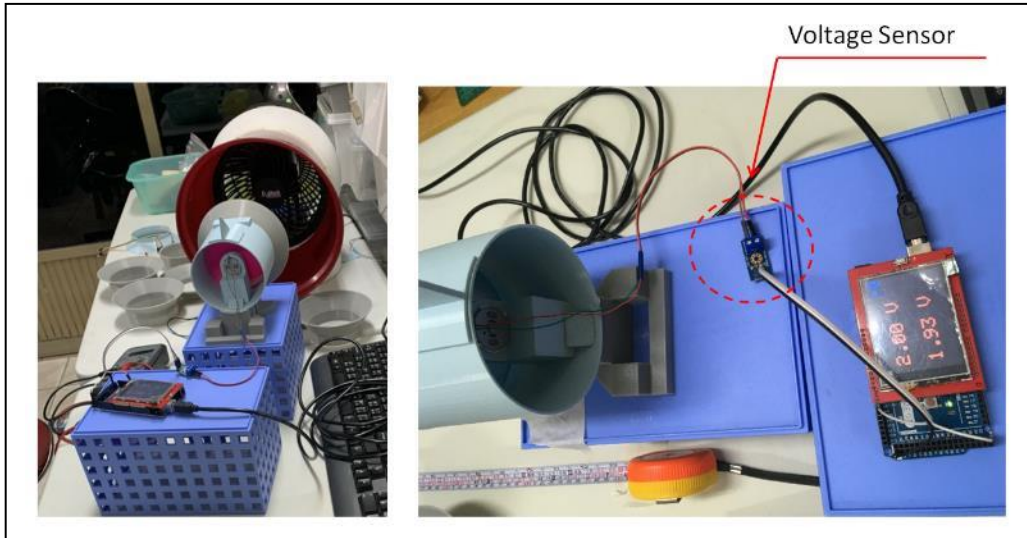


圖 10、組裝能自動測量和紀錄風力發電電壓的系統

三用電表可以測出發電的電壓，風力計可以讀出風速，但是這些資料我們只能看到再用手紀錄，可惜不能給微電腦運用。

有沒有可能找到能自動紀錄又能讓微電腦運用這些資料的方法? Arduino + TFT 螢幕 + Voltage Sensor 就能將發電的電壓紀錄和運用。

```
for (i=0;i<200;i++)
{
  val_ADC=analogRead(A8); //接A1
  val_volt=val_ADC*4.8828*5; //ADC轉mV x5倍(因電阻分壓,故需x5)
  val_volt_total=val_volt_total+val_volt;
  delay(10);
}
```

delay(10)，每 1/100 秒測一次，連續測量 200 次電壓後求平均，平均的電壓跳動的幅度就能縮小。購買模組時，露天賣家 **DIY_LAB** 提供程式碼讓我們參考學習。

mama810830@gmail.com共用了 1 個資料夾



mama810830@gmail.com邀請您檢視以下這個共用資料夾：

■ (DIY_LAB#2376) 電壓檢測模組 Voltage Sensor



這封電子郵件將授予收件人這個項目的存取權，讓收件人無需登入帳戶即可存取。請確定轉寄對象是您信任的人。

八、用 3D 列印康達效應模型

我們在實驗白努力定律時，發現一個怪現象，集風罩內的發電電壓急速降低後上升。

推測是康達效應造成的結果。

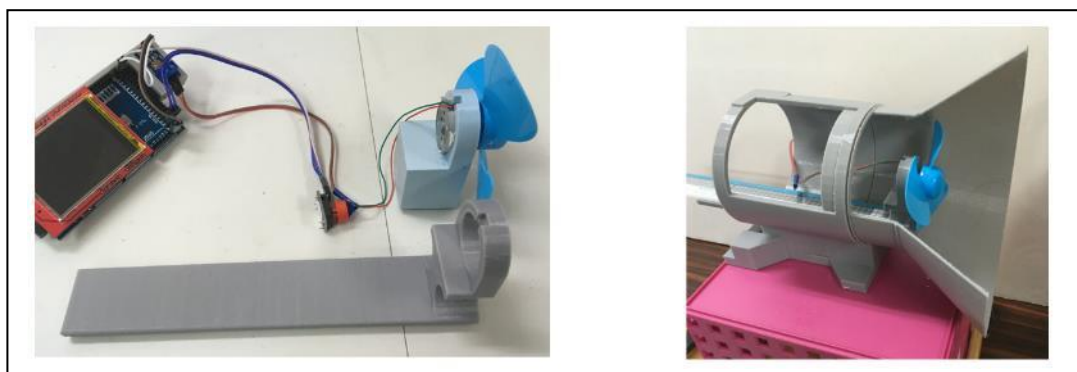


圖 11a、設計了一個解說用模型，長條狀的風力馬達固定器可以滑動，調整發電位置。

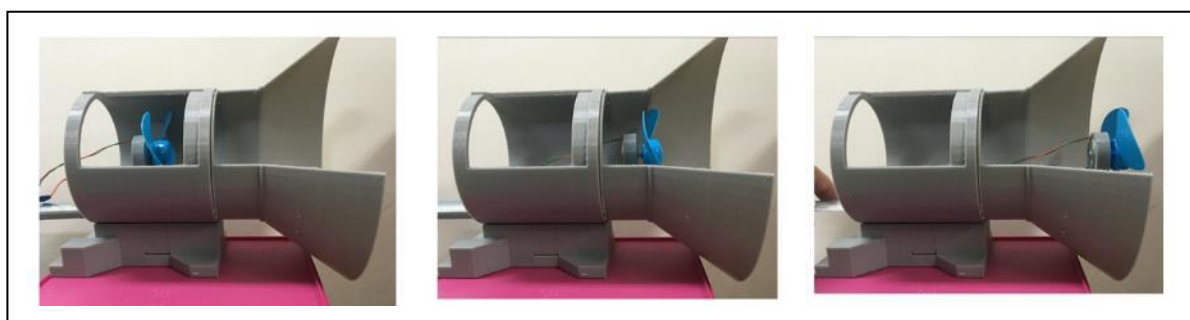


圖 11b、長條狀上放一支尺，就能知道滑動的精確距離(cm)。

九、測試 2 組集風罩，大集風罩組和小集風罩組。

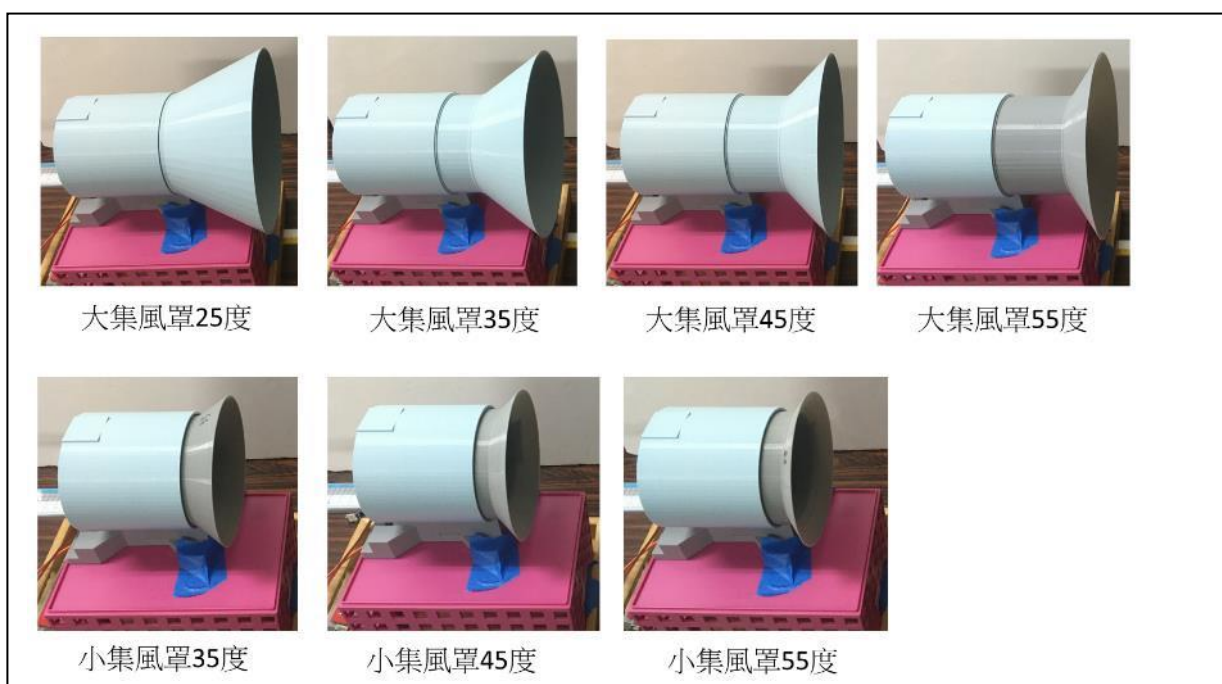


圖 12、測試這 7 種可更換式的集風罩發電電壓。

十、同時準備 2 組風力發電模組，1 組模仿現有的風力發電，1 組是有風罩的風力發電。

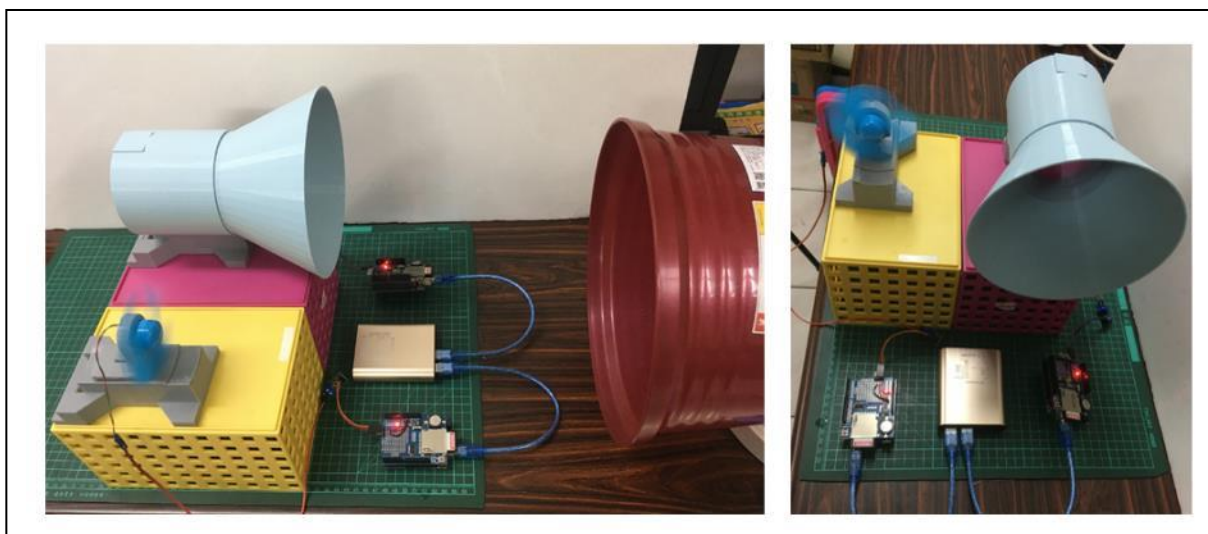


圖 13、黃色盒上的風力發電組是無風罩，紅色盒上是使用大集風罩 25 度。2 者採用 XD-204 資料記憶模組，每隔 10 分鐘紀錄發電電壓。

十一、可依風速調整風罩型態，集風模式或散風模式

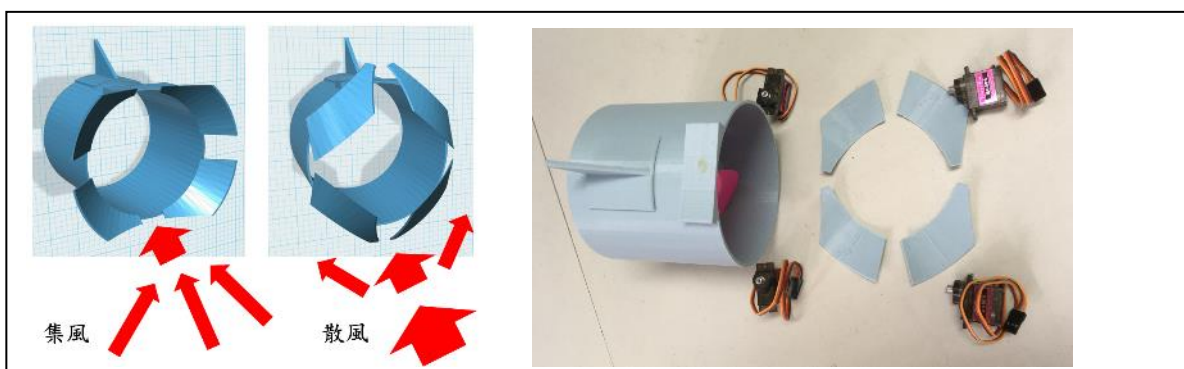


圖 14a、原始構想 4 片風罩，可以用伺服馬達驅動，我們技術做不到 4 片連動。

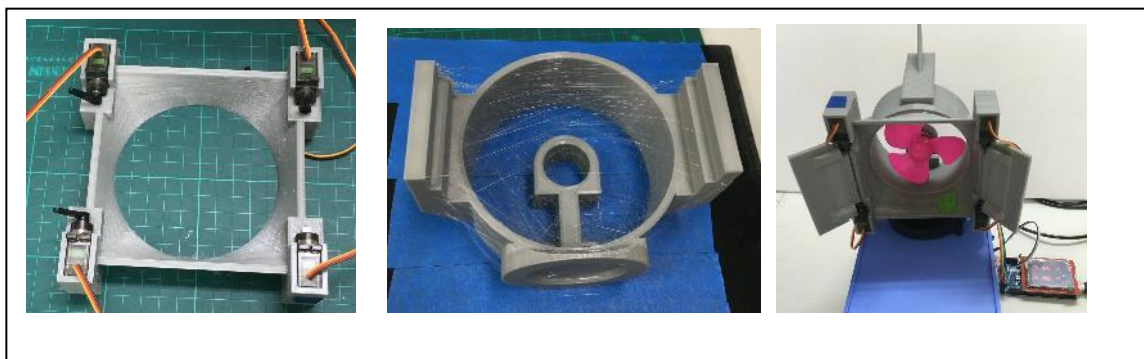


圖 14b、分成 2 個組件，1 個有 4 個伺服馬達，1 個是風力馬達和主結構的固定架組件。2 者組合後，左右二測各有 2 個伺服馬達間夾一個擋板。

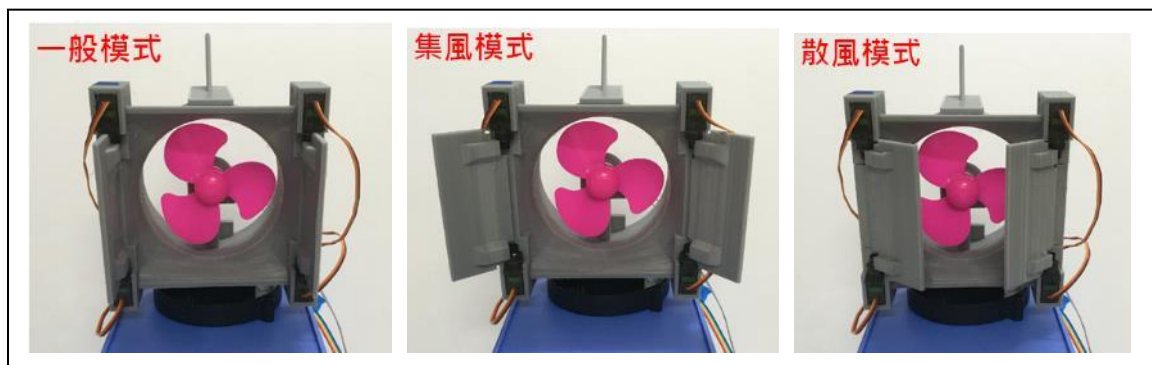


圖 14c、會依照風速來調整型態，微風(<20m/s)時是集風模式，強風(20~25m/s)是一般模式，超強風(>25m/s)是散風模式。

伍、研究結果

一、用風速計測量風速，用 voltage sensor 偵測電壓

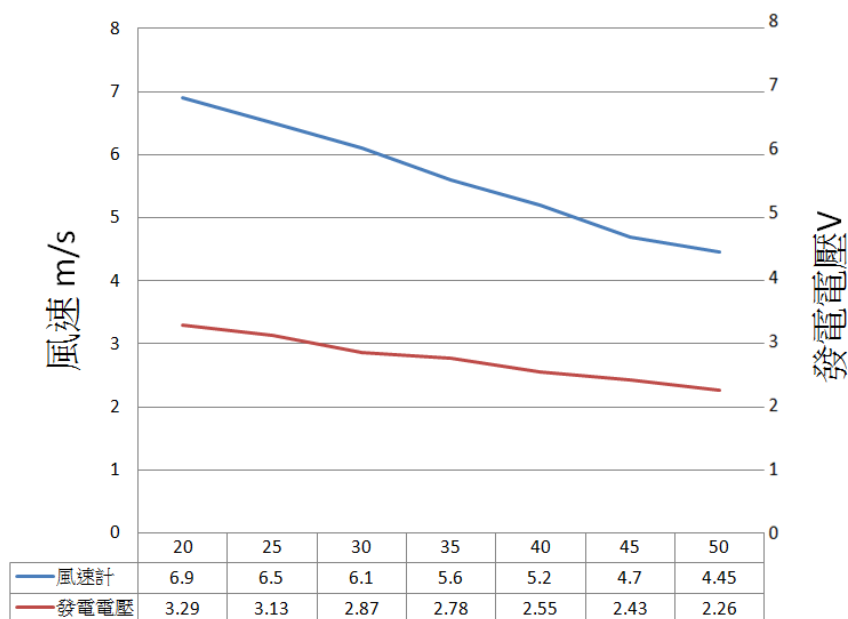


圖 15，距離風洞的距離愈遠，風速和發電電壓等斜率下跌。

當距離風洞距離增加時，風速計下降的斜率和發電電壓下降的斜率一致，偵測發電電壓的變化也能代表風速的變化。

二、測量三種散風罩在不同距離的發電電壓

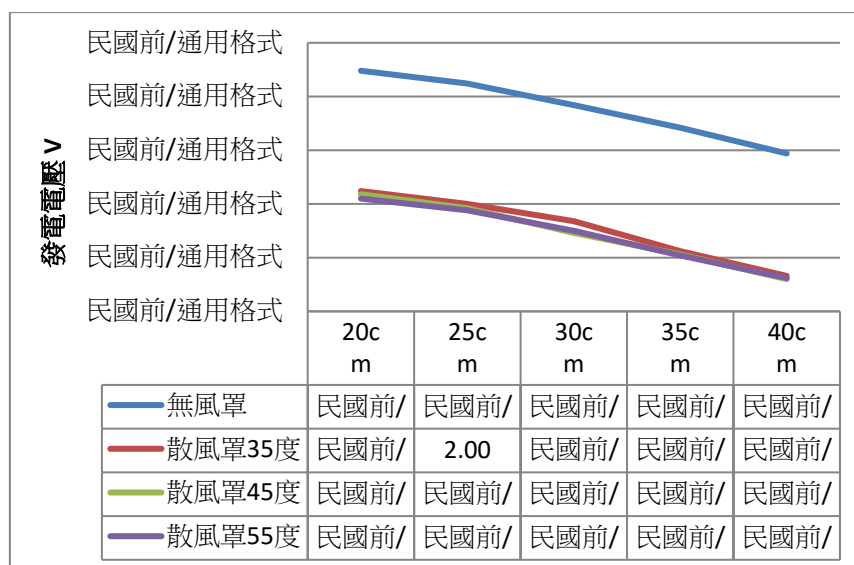


圖 16、風力發電機使用 3 種不同角度散風罩測試電壓和距離關係。

和預期結果相同，進風口的面積一樣時，風力發電的電壓下降很接近
其中散風罩 55 度有比較明顯的偏低。

三、測量集風罩在不同距離的發電電壓

(1)、比較相同集風角度，但是不同進風口(直徑)的發電電壓

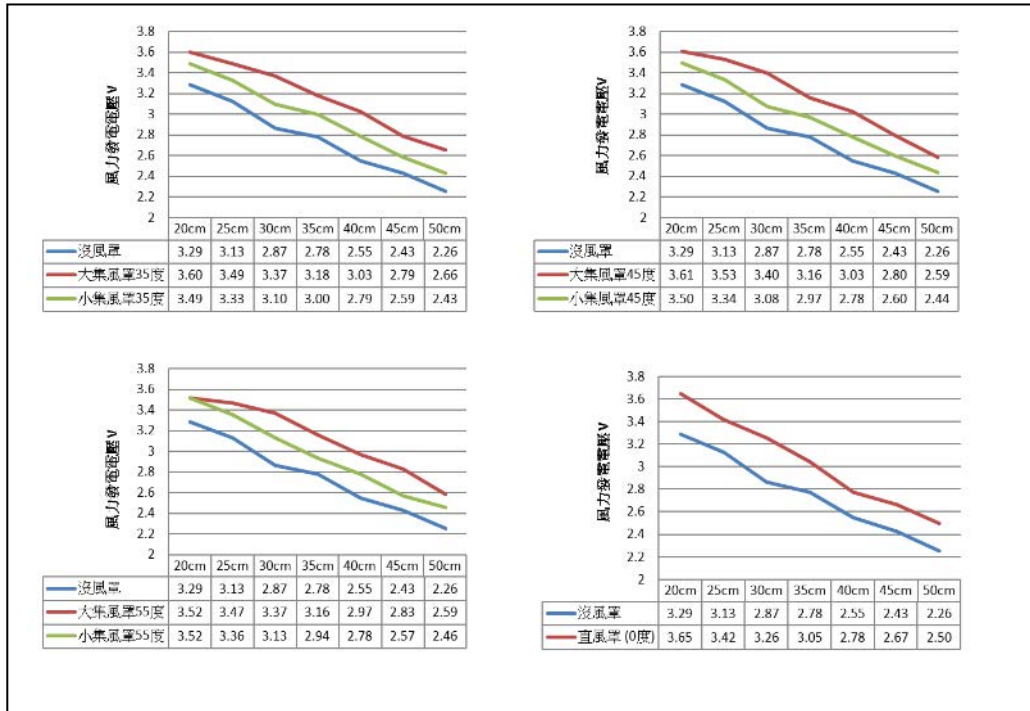


圖 17a 風力發電機使用 6 種集風罩的測試電壓和距離關係。

結果顯示，使用風罩比沒使用的發電電壓更高，風罩直徑愈大且角度愈小更好。

(2)比較同直徑進風口，但進風角度不同的差異。

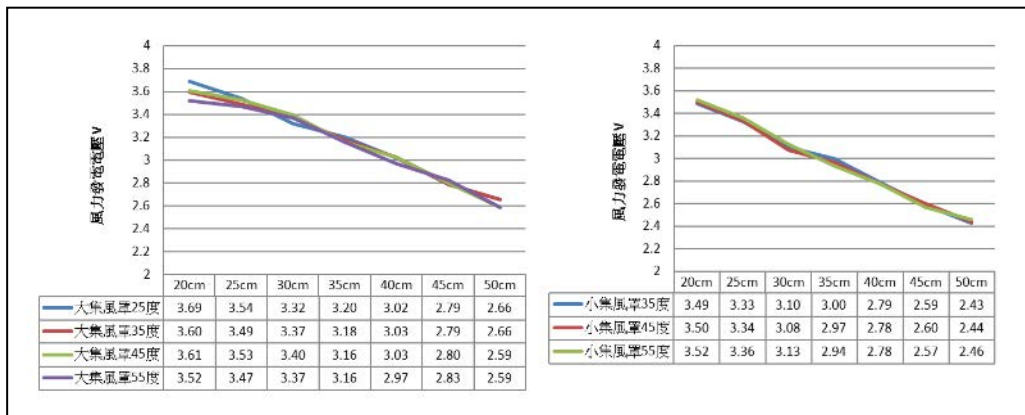


圖 17b 將 2 種截面積的進風口分開做比較。

依白努利定律來看，截面積由大到小時風的流速增加，進入角度影響很小，截面積愈大，風的流速愈快。

比較特別的是直風罩，截面積相同，但是風的流速反而增加。

四、測量集風罩時的意外發現，當風力發電機在集風罩的角度內，風的流速下降。

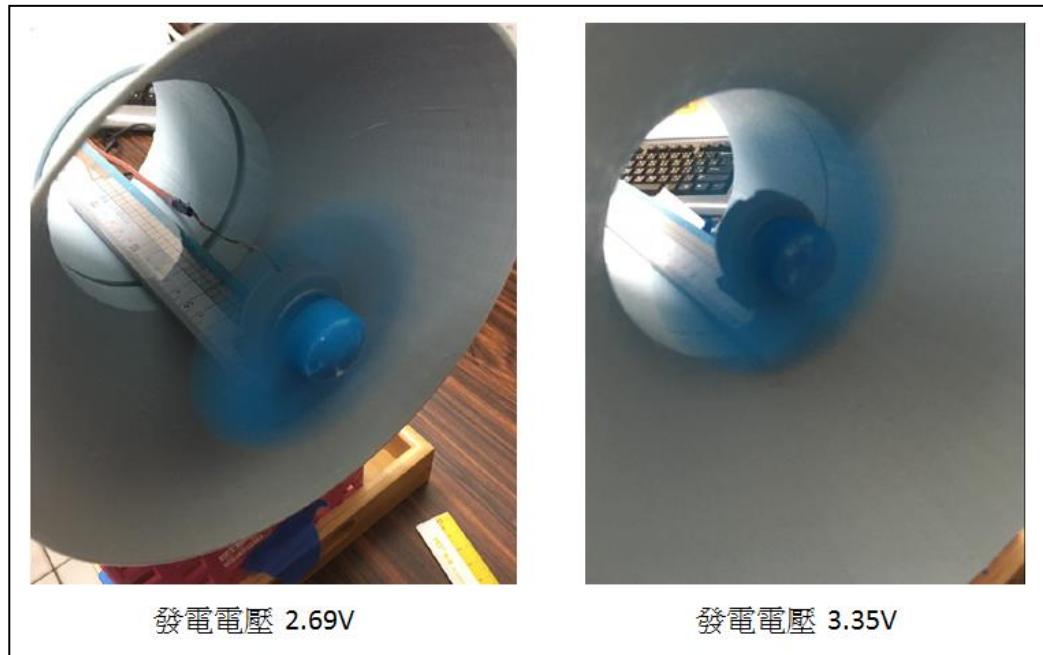


圖 18a、和原本預期相反，發電電壓先小後大，和白努利定律解釋不同。當截面積縮小時，依白努利定律，流速會逐步增加。

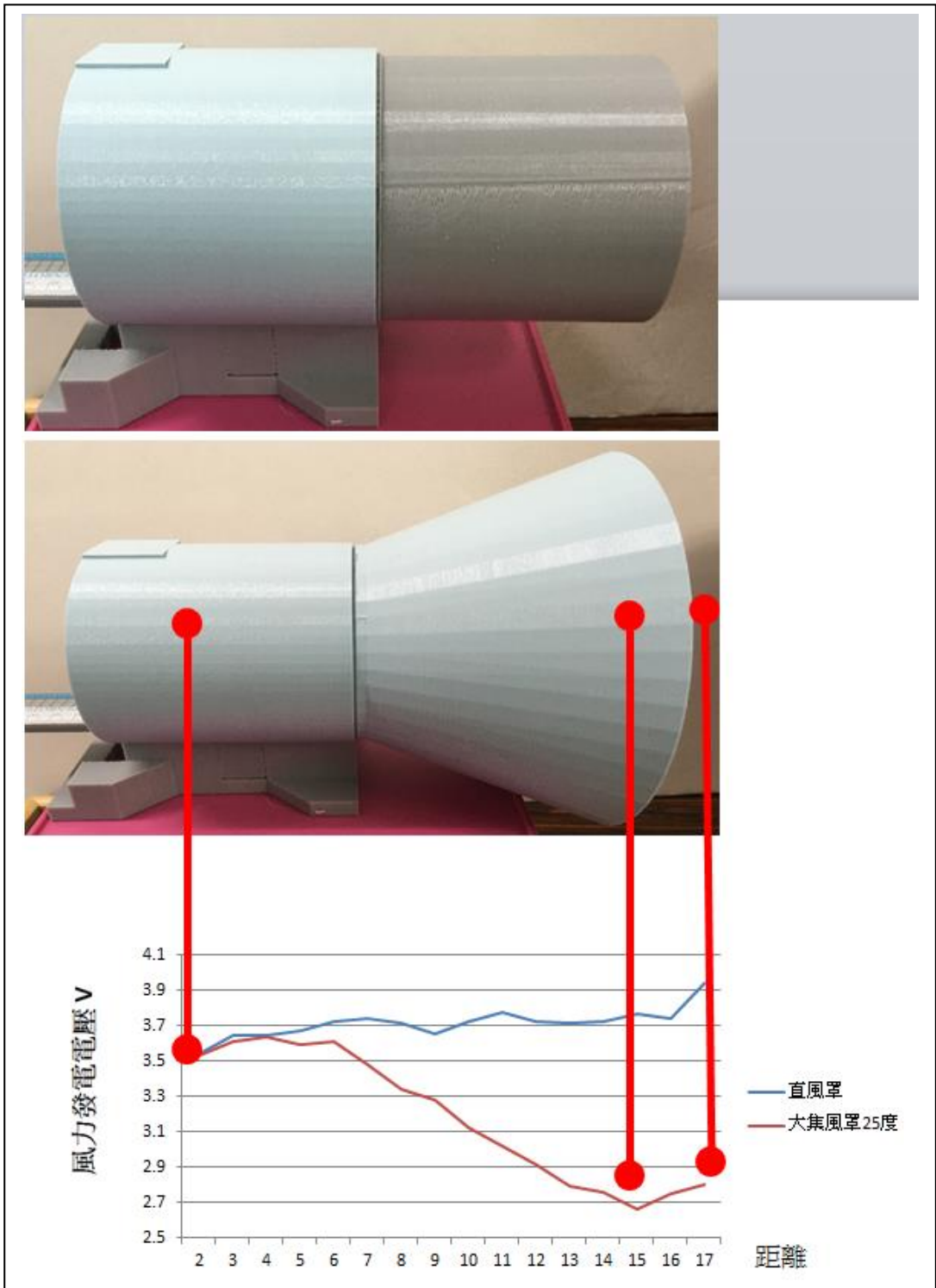


圖 18b、在風力馬達安裝一支尺，就能以公分為單位慢慢移動風力馬達，取得在不同位置的發電電壓。直風罩是對照組，大集風罩 25 度是測驗組。

陸、討論

- (一)、如果沒有 3D 列印，要做出各種角度的集風罩或散風罩是很困難的，但是引進 3D 列印技術後製作，就由車床加工改成電腦繪圖，之後在交由 3D 列印出後就能測試想法是否符合預期。
- (二)、如果能直接有效率的測量風罩對風速的影響當然很好，但是我們只有簡單的風速計，只能用看的知道風速，還會一直跳動，只能參考而已。我們想到另一個間接測量方式，直接測量發電的電壓，圖 15 已證明風速和發電電壓是相關的。
- 風力發電的電壓一直會有微小跳動，如果直接測風力發電產生的電壓會很辛苦，但是交由 Arduino 和 voltage sensor，可以在 2 秒內測量 200 次後將電壓平均輸出到電腦或小螢幕上，使實驗更容易進行。
- (三)、風力發電機要追風向，這樣子的發電效率才是最高，我們模擬了現有小型風力發電機的尾翼設計，運用白努利定律可以讓風力發電機的方向迎風。

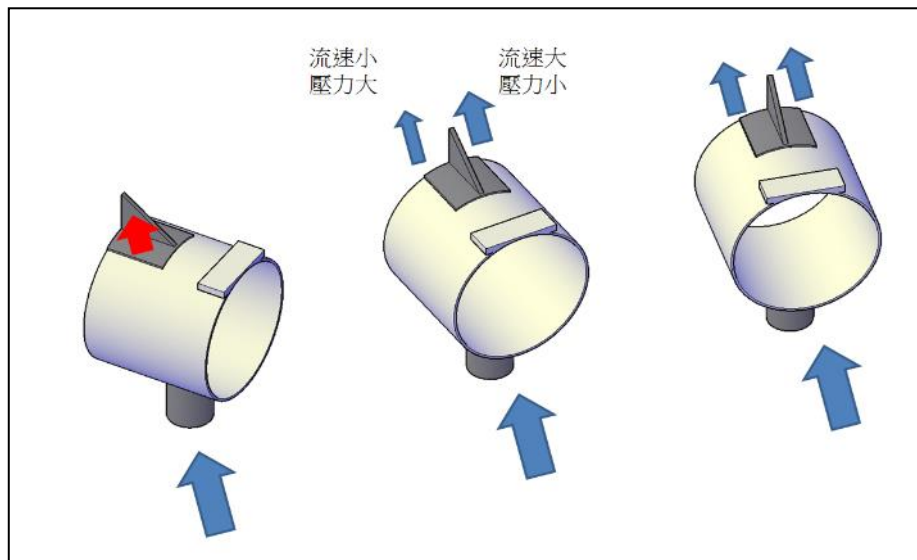
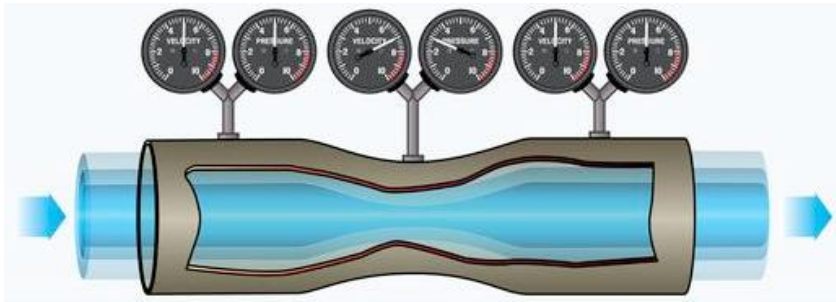


圖 13、當風向改變時，風力發電機如何轉向示意圖

- 1、風向改變時，風直接撞尾翼讓風力發電機轉向(紅色箭頭)(牛頓定律)。
- 2、當轉向接近時，直接推的力量縮小，白努利定律指出，左邊的流速小壓力大，但是右邊流速大壓力小，就會有力量由高壓力區推向低壓力區。
- 3、當左右的流速一致時，風力發電機就會迎向風面，發揮最大發電效益。

(四) 文氏管是白努利定律的一個實際運用



當流體由大截面積流向小截面積的管路時，流速會上升，反之就會下降。

- 1、當風力發電機使用集風罩時，可以在風力微弱時，提升進入風力發電機的風速。

結果和預期符合

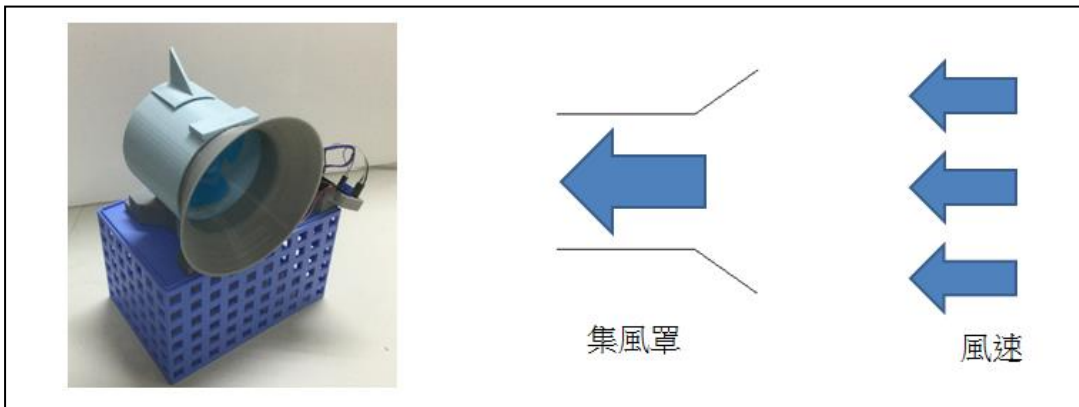
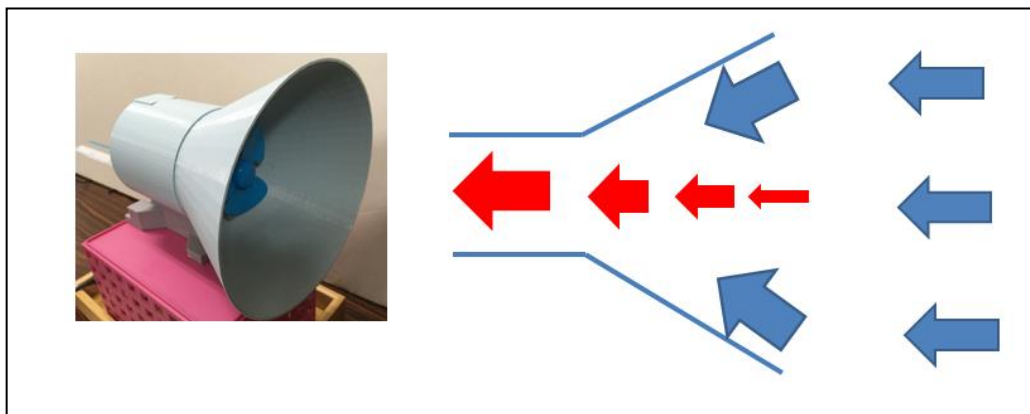
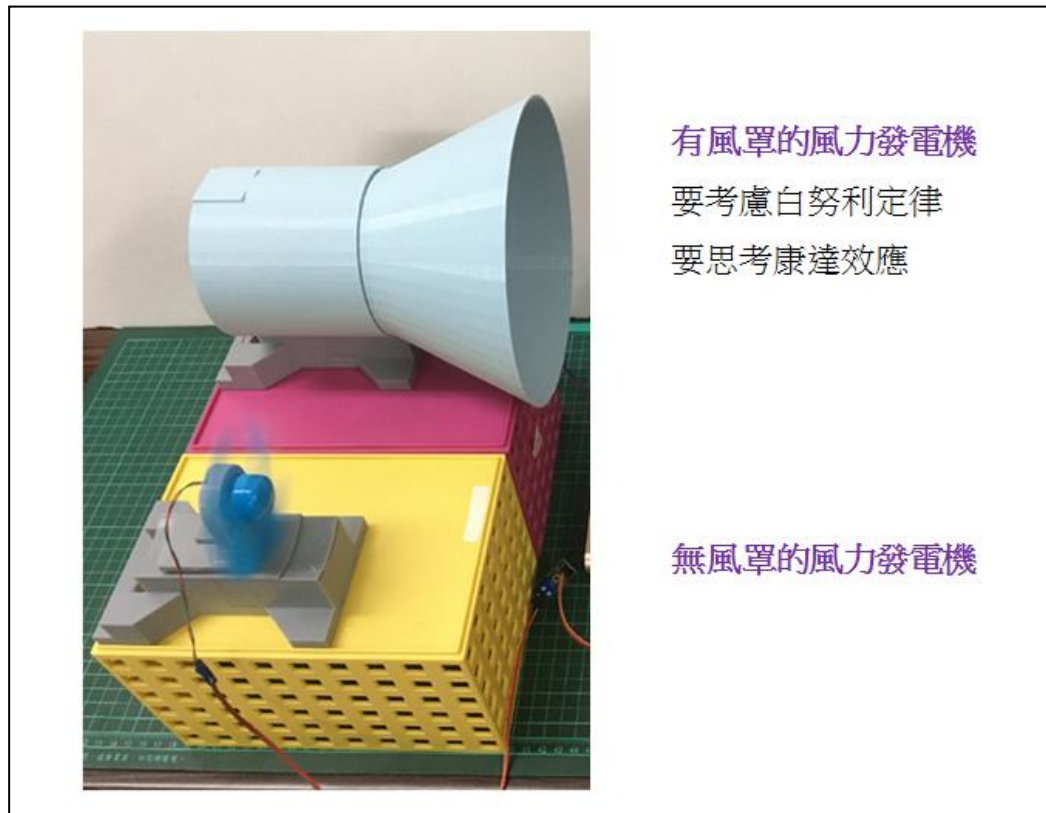


圖 17b 可以看出，集風罩的發電電壓很接近，還是可以看出 35 度>45 度>55 度，如果把風罩的截面積加大，發電電壓還能再提升，提升的效率比進風角度更好。

- 2、當我們以為實驗差不多時，突然發現有不對的地方，圖 18 是我們無意發現的，發電機在大集風罩 25 度內，測到的電壓急降後緩升，如果用白努利定律是無法解釋的，由康達效應就能合理解釋，我們由結果提出下方模型來說明。



3、一般風力發電機沒有集風罩，就不必討論康達效應，但是我們研發的風力發電機為了安裝風罩有一個圓桶的固定結構，康達效應就要仔細研究和探討。



4、圖 13，我們已將這二組風力發電機放置在屋頂測試，想不到遇到梅雨，因為實驗機型不防水，只好先收起來。等晴天有風時，我們會重做一定戶外實測，用自然風來比較一般風力發電機和有風罩的風力發電機的發電效率。

5、圖 4、如果風速太強，會將風力發電機鎖住防止發電馬達燒毀，但是風大才是發電效率最好的時刻，上鎖不發電真的很可惜。所以我們也研發散風罩，可以將進入風力發電機的風速降低，可以保護風力發電機在強風中也能全力發電。

6、風小用集風罩提升風速來增加發電，風大用散所罩降低風速保護發電機能全速發電，但是這些風罩如果用人工換來換去很麻煩，我們設計了一個可自動偵測風速來改變伺服馬達旋轉角度而變型的系統原型機 (圖 14)。

柒、結論

- 1、牛頓定律和白努利定律可以用來解釋風力發電機的尾翼可自動迎風功能。
風力發電機要迎風才能有最佳的發電效率。
- 2、白努利定律能解釋散風罩降低風速和集風罩提升風速的原因，一般城市的風速比較弱，用集風罩可以推廣城市的風力發電。
- 3、使用風罩來提升風速時，風力發電機在風罩內的位置就很重要，要選在康達效應最小的位置。

捌、參考資料及其他

- 1、香港希瑪 AT816 可攜式風速計 <https://www.ruten.com.tw/item/show?21904702511541>
- 2、楊明豐(2016)。Arduino 最佳入門與應用-打造互動設計輕鬆學。台北市：碁峰資訊
- 3、全金屬齒輪 Tower Pro MG90S 14g 舵機 <https://www.ruten.com.tw/item/show?21533365028019>
- 4、電壓檢測模組 Voltage Sensor<https://www.ruten.com.tw/item/show?22129998093532>
- 5、ARDUINO 2.4 寸 TFT <https://www.ruten.com.tw/item/show?21731816933947>
- 6、Arduino MEGA2560 <https://www.ruten.com.tw/item/show?21527951087377>
- 7、維基百科：城市氣候 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9F%8E%E5%B8%82%E6%B0%A3%E5%80%99>
- 8、飛行原理中說的「白努力」原理，是啥 http://www.how01.com/post_Mekv1p3R0BIRX.html

【評語】 030117

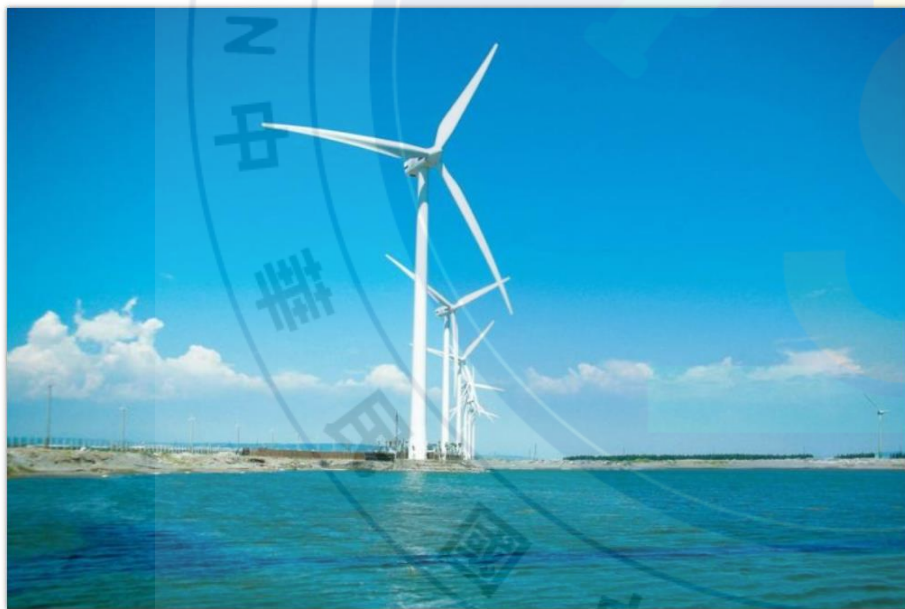
1. 本研究設計風罩並分析增加風力發電量及防止強風損壞發電機之研究主題具實用價值。
2. 同學動手能力強是位 Maker，研究過程中 3D 繪圖、列印，自動控制技術與電路設計皆獨立完成。
3. 若能透過實驗數據歸納整理找出最佳設計，更能凸顯研究價值。

作品簡報

用白努利定律分析影響風力發電的因素

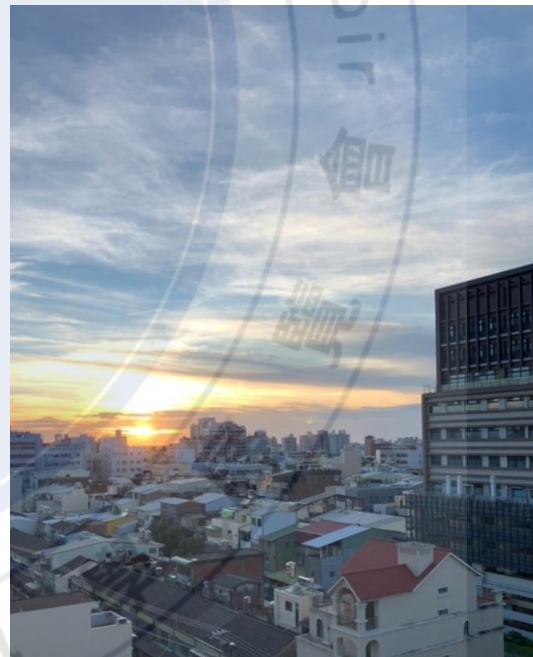
台灣風力強的地方佈滿大型風力發電機

18個最佳海上風力發電風場 有16個在台灣海峽



▲台灣海峽擁有全球最佳設置海上風力發電風場的優勢，台電將在彰化外海，於2025年底前設置200部風力發電機。
(圖 / 翻攝自台電月刊)

城市內就很少見到風力發電機



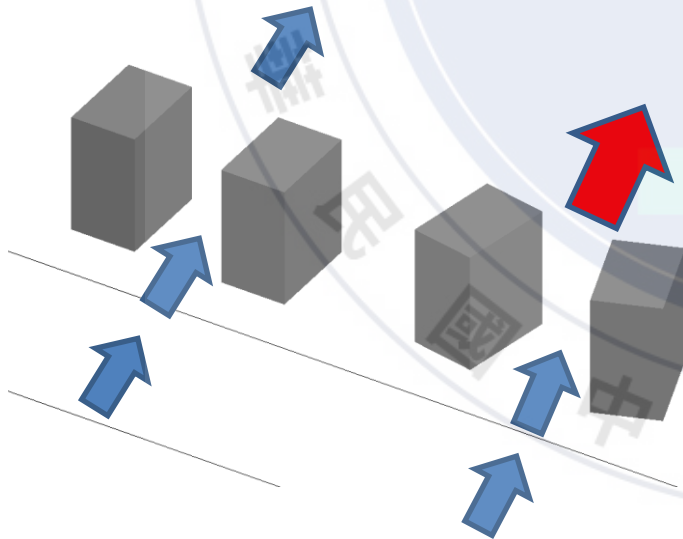
現況調查與創意來源

維基百科
自由的百科全書

城市氣候

市區風速一般小於郊區。市區年平均風速比郊區小20-30%，陣風(最大風速)減小10-20%，靜風頻率則增加5-20%。但城市建築間因通道狹隘而形成的「弄堂風」風速比自然風大得多。

城市中有些地方的風就是比較大



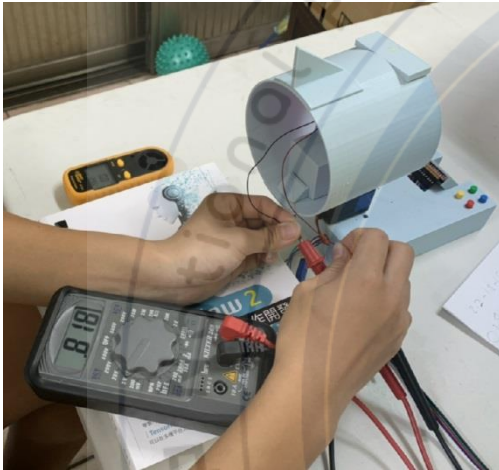
發電電壓：0.762V



發電電壓：0.931V

實驗設計和科學紀錄

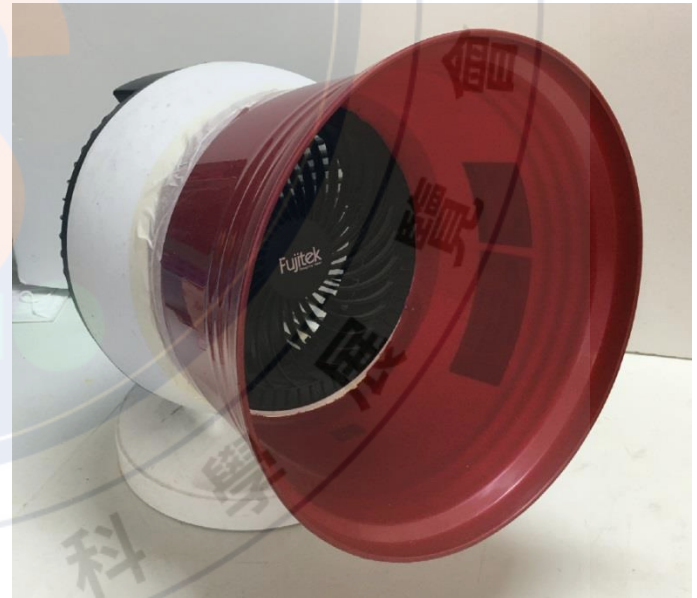
三用電錶測電壓



自製風洞，提供穩定風速



風速計測量風速



簡化實驗，測量發電電壓

Arduino+測電壓模組紀錄

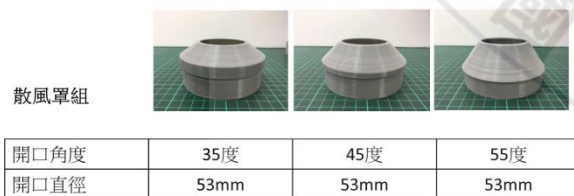
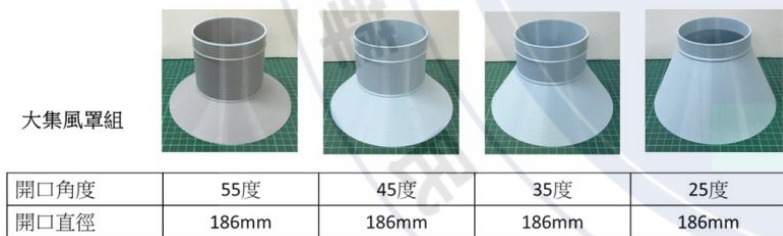
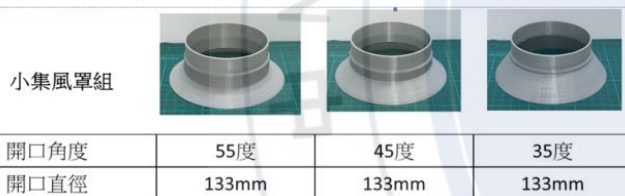
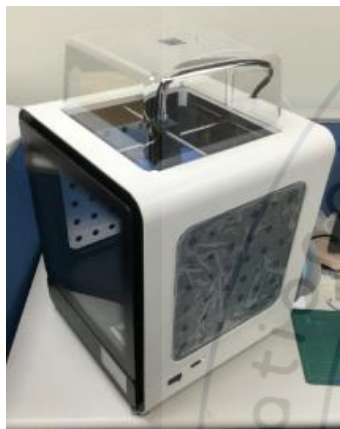


風速計	20	25	30	35	40	45	50
風速計	6.9	6.5	6.1	5.6	5.2	4.7	4.45
發電電壓	3.29	3.13	2.87	2.78	2.55	2.43	2.26



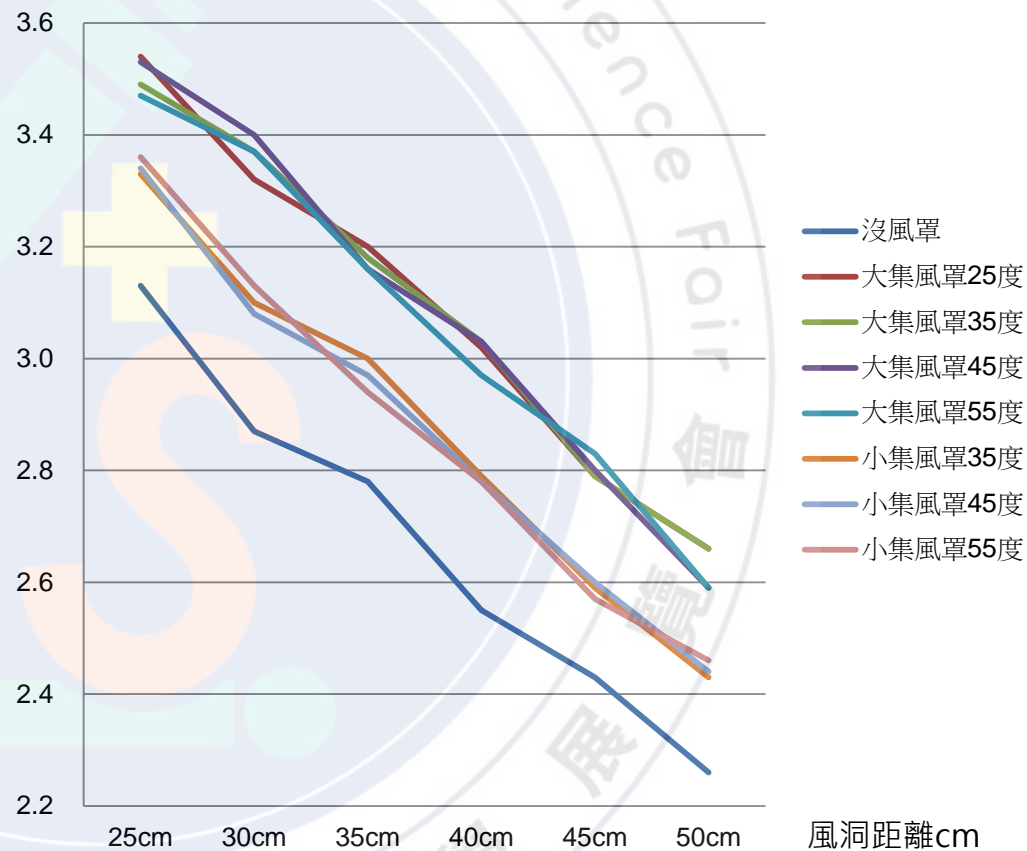
```
for(i=0;i<200;i++)
{
  val_ADC=analogRead(A8); //接A1
  val_volt=val_ADC*4.8828*5; //ADC轉mV x5倍(因電阻分壓,故需x5)
  val_volt_total=val_volt_total+val_volt;
  delay(10);
}
```

運用電腦繪圖和3D列印技術



測量2組不同角度的集風罩發電電壓

發電電壓V

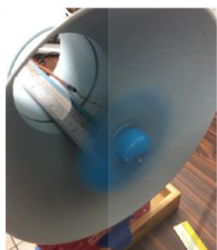


符合白努利定律，截面積大進入截面積小時，流速增加。

大集風罩直徑186mm，小集風罩直徑133mm，入口直徑96mm

測試過程中，結果和預期不合(1)

實驗變因：有或無集風角度

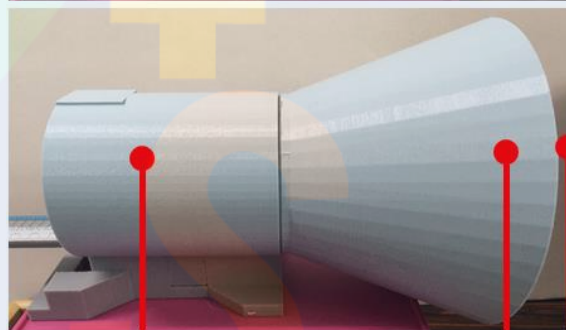
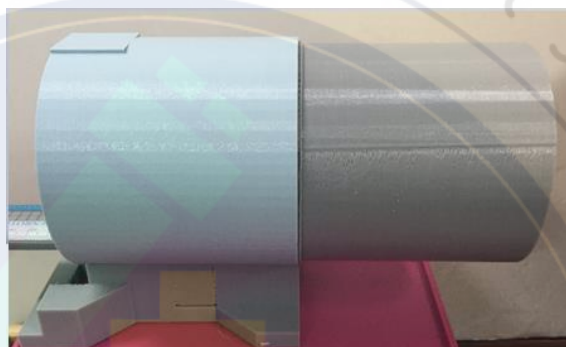
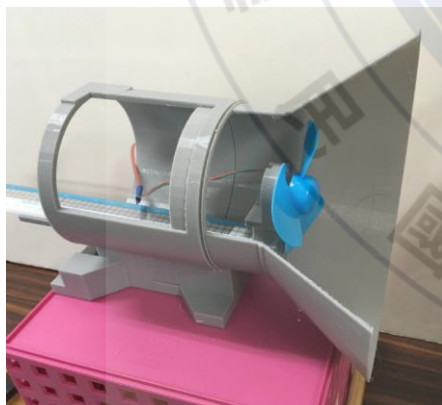
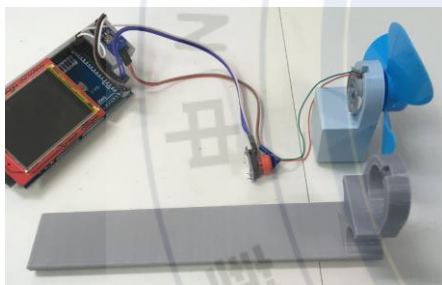


發電電壓 2.69V

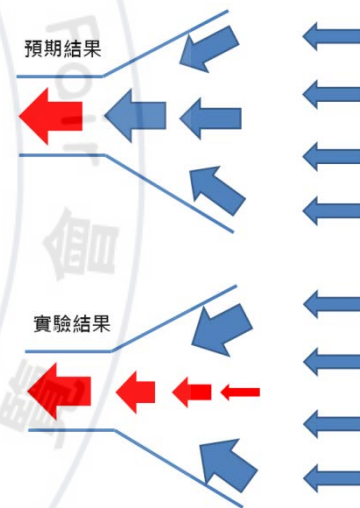


發電電壓 3.35V

設計實驗，精確測量



由結果推論：
康達效應影響

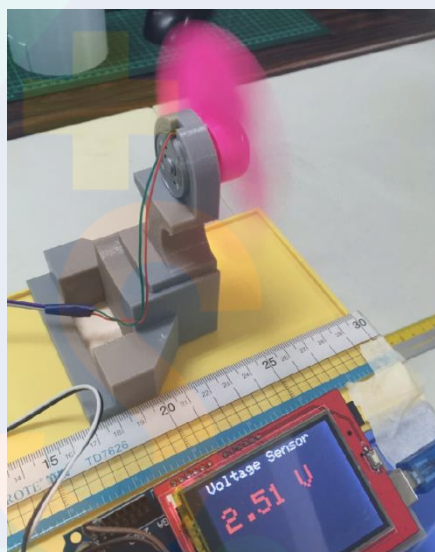


康達效應影響，截面積內的流速不是均勻的。

和城市風力發電機比較

發電電壓和預期不合(2)

為了安裝風罩設計圓柱形載體，反而讓電壓下降



發電電壓 2.51V

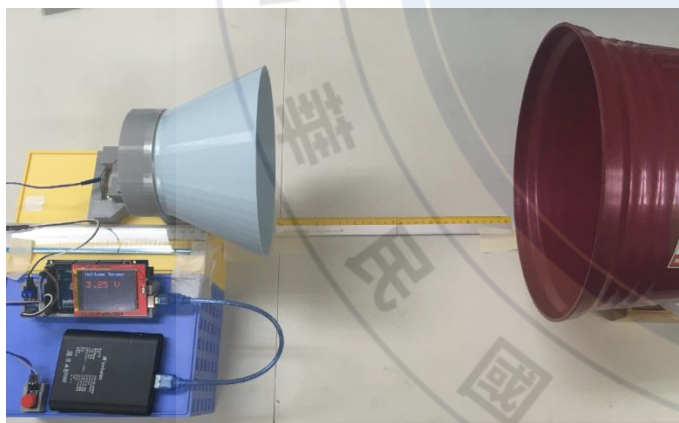
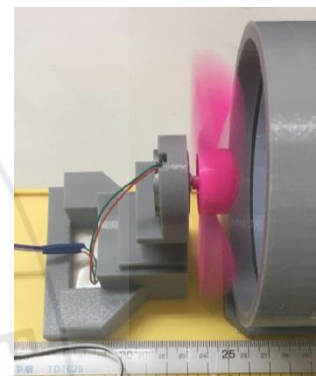
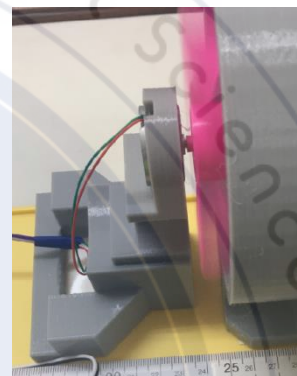
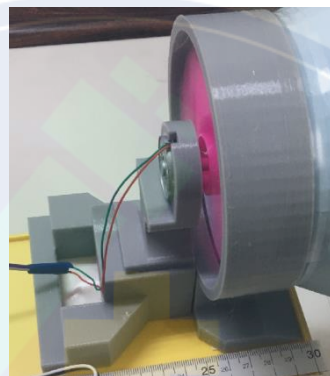
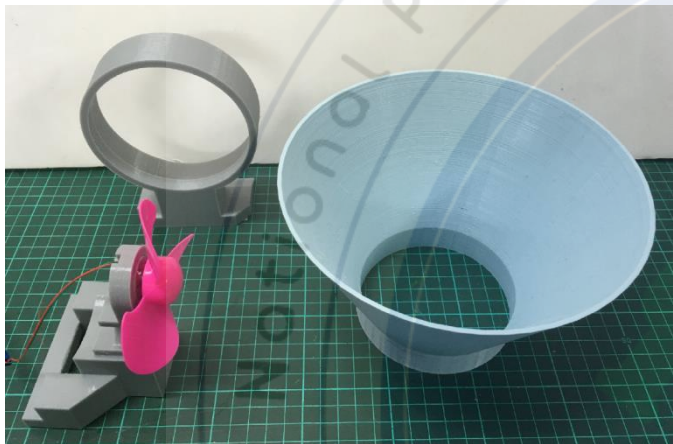


發電電壓 2.36V

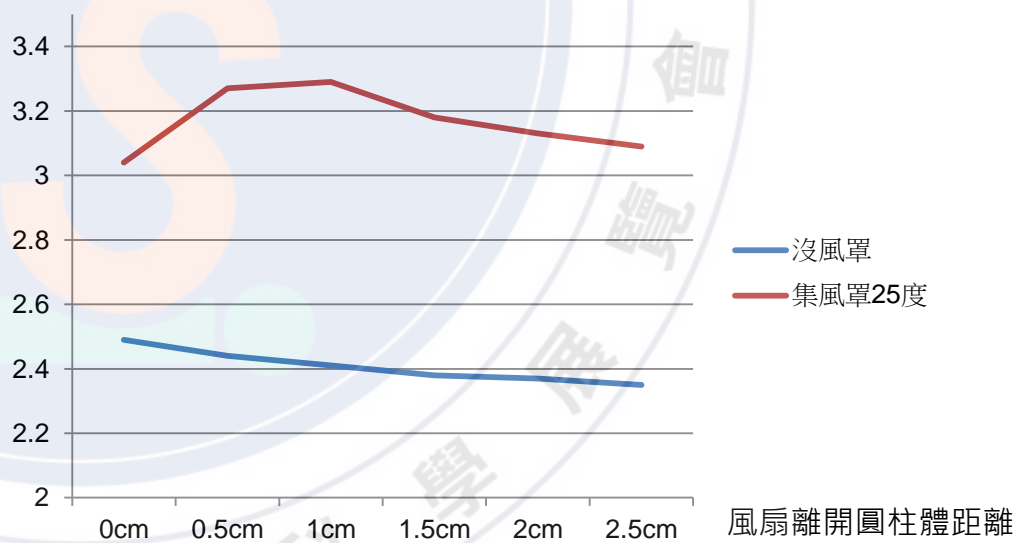
國外城市中的小型風力發電機

重新設計實驗

消除康達效應的負面影響

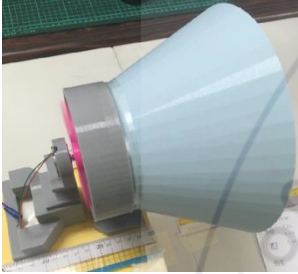


發電電壓V

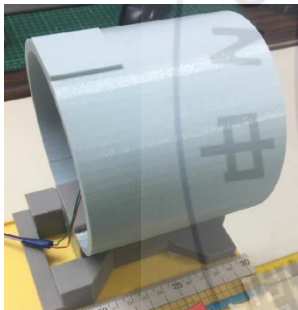


找出最佳風力發電方式

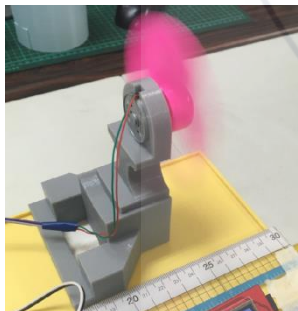
最佳方式



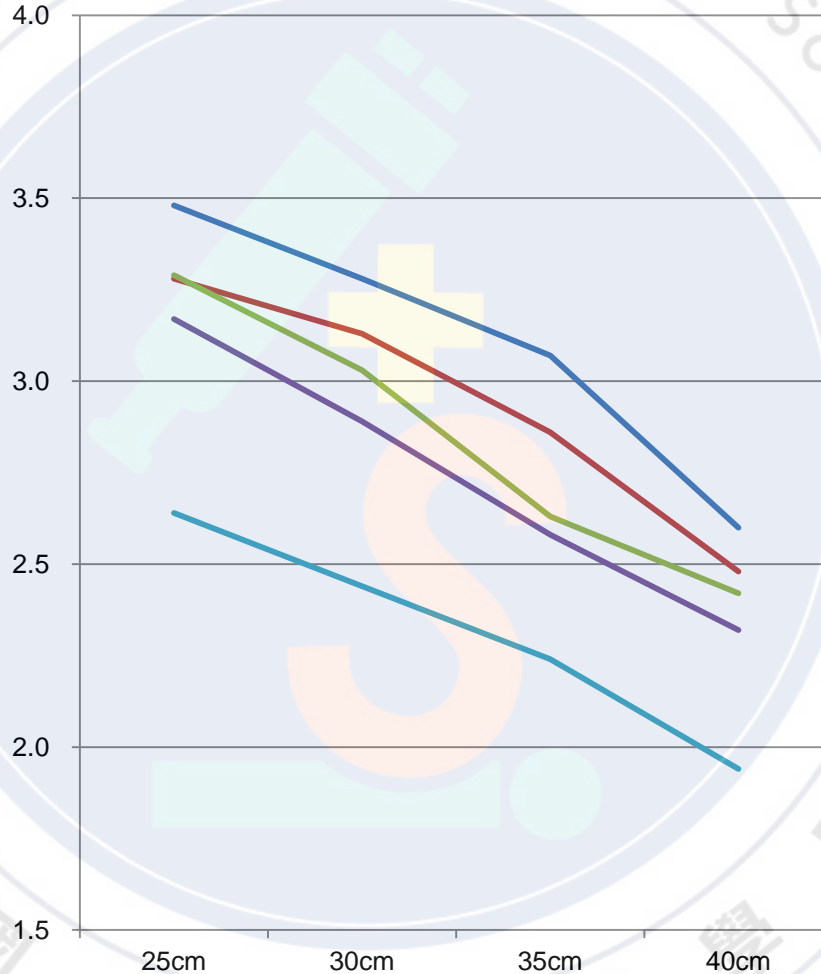
圓柱體



無風罩無圓柱體



發電電壓V



- 最佳方式 大集風罩25度
- 最佳方式 大集風罩45度
- 圓柱體 大集風罩25度
- 圓柱體 大集風罩45度
- 沒風罩，無圓柱體

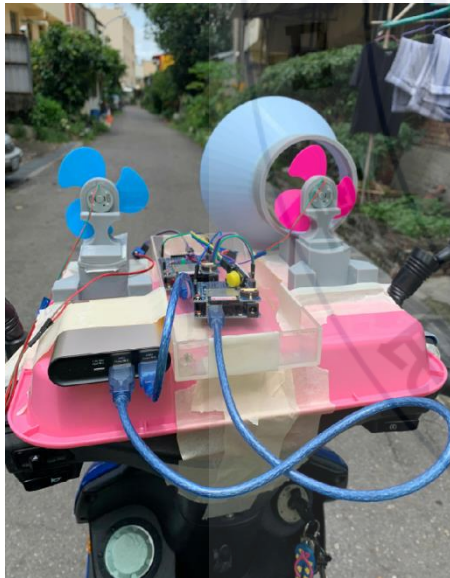
風洞距離

31.8% 34.4% 37.1% 34.0%

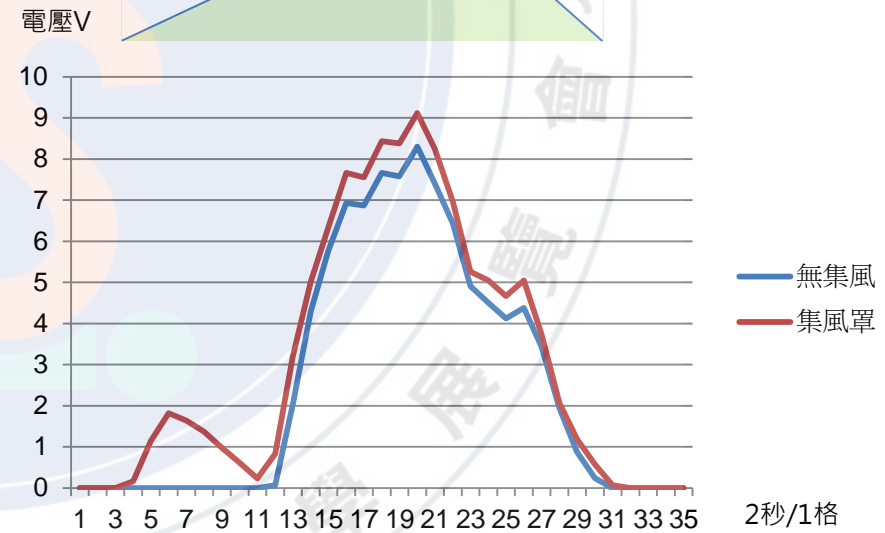
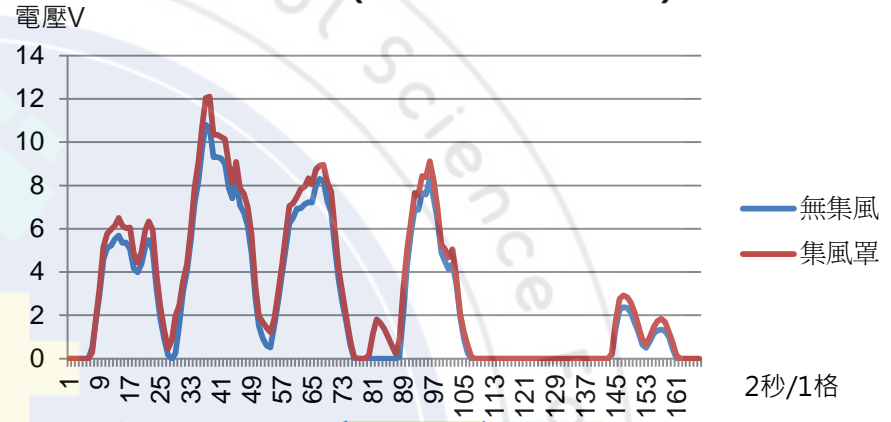
發電量增加 %

摩托車追風測試

電風扇的風速有限，將實驗移到摩托車上，
選擇沒有人馬路做發電測試，紀錄到SD卡。



發電測試(大集風罩25度)

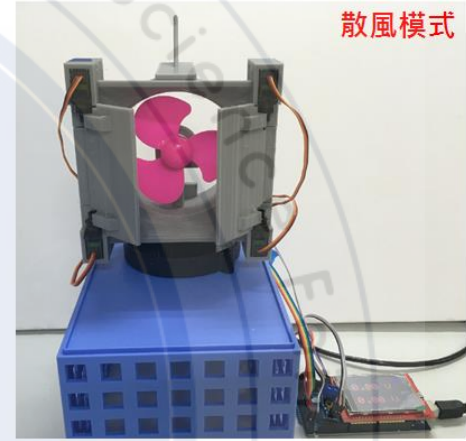
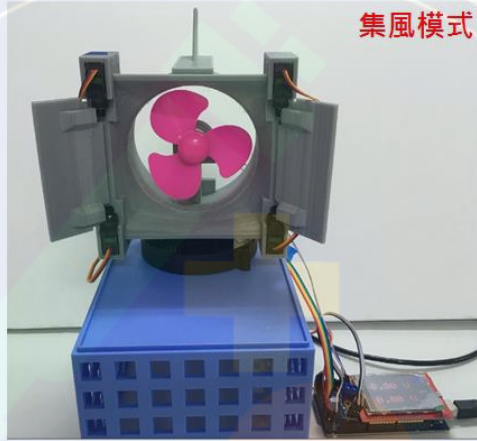
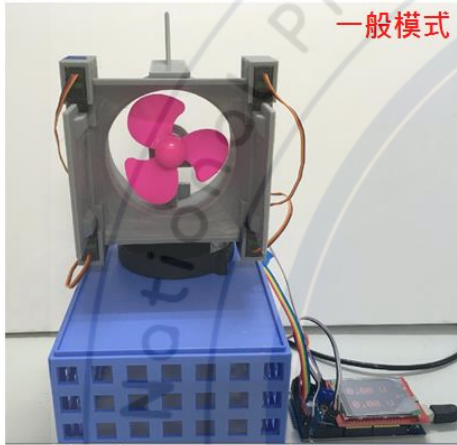


*風速低速時有集風罩可發電

*風速高時，有集風罩優於無集風罩

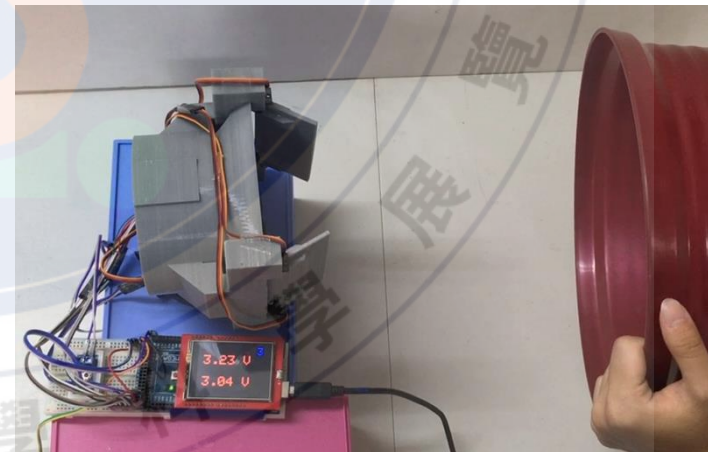
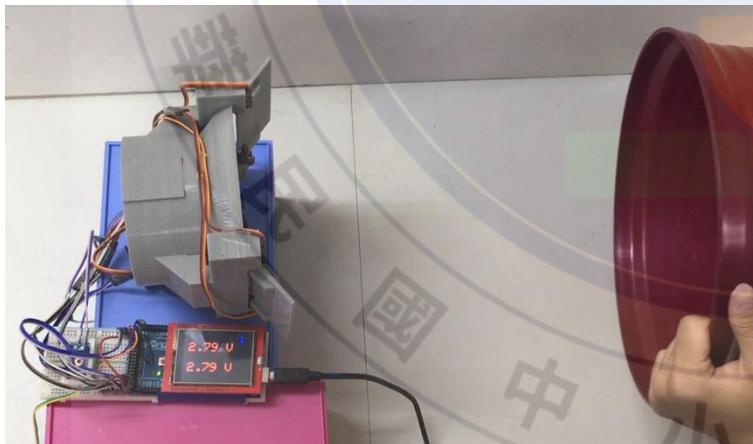
可改變風速的風力發電機

雛形：風小能集風，風太大能散風



集風模式：當發電電壓 $< 3V$

散風模式：當發電電壓 $> 3V$



結論

- (一) 使用集風罩可以提高風速，集風罩的截面積愈大效果愈佳，符合白努利定律。
- (二) 透過相同截面積但是進風角度不同來研究康達效應，結果顯示進風角度愈小發電電壓愈高。康達效應會讓截面積內的風速不均勻，中心風速會偏低。
- (三) 集風罩可以提高發電電壓，但是集風罩的固定方式會讓發電電壓下降，我們已經找出最佳的風罩安裝方式，同一顆馬達可以將風力發電效率提升32%~37%。

感謝評審聆聽