

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第一名

032903

風再起時—探討以不同方向風力為動力的自製
纜車用來運輸之可行性

學校名稱：臺北市立明湖國民中學

作者： 國二 洪皓翔 國一 洪家澤	指導老師： 許振松
---------------------------------	------------------

關鍵詞：風力、纜車、3D 列印

得獎感言

明湖國中--風再起時

依然記得當時的心情緊張又興奮！站上頒獎台的那一刻，是歲月累積的成果，也是我們辛苦的回報。

每天不斷的修正和精進，是我們拿到台灣國際科展門票的墊腳石。我們吃苦當吃補，憑著堅定的意志力，鍥而不捨、堅忍不拔，才能得到這份榮譽，也讓我們有機會為國爭光。

感謝博通公司給家澤這個機會，讓家澤能夠出國比賽，磨練心智，培養外語能力，展現自我，冀望在國際間綻放光芒。

感謝爸媽和母校明湖國中師長們的栽培；謝謝許振松老師在自然科領域為我們打下良好根基和蔡淑芬、陳家慶組長大力支援，還有紀祝華導師及911同學們的鼓勵，更不能忘記胡家蕙導師和808同學們的支持！

感謝莊志明校長帶領的行政團隊及明湖家長會的強力後援；感謝麗山高中柯明樹校長帶領的優質團隊來培訓我們；感謝台北市教育局及介壽國中師長的加油打氣；感謝淡江大學風工程研究中心及內湖高工資訊科的協助；感謝陳昭安老師、陳義勳教授、林永發教師、陳英杰老師、蘇恭彥老師、徐志成老師、任建安老師、謝妹嫻老師等人的指導；感謝師大呂有豐教授師生的專業輔導……有這麼多師長的教導，才能讓我們站在「第60屆全國科展」的舞台上，開啟科學的殿堂。

在進行實驗的過程中，難免會遇到一些挫折，但我們憑著堅忍的毅力，對實驗數據的執著，不斷的操作實驗，才能有今天的成績。

想對學弟妹們說：「只要肯努力，就會開花結果。」以我們的例子來看，皓翔即將參加會考，但為了科展，花了一半的時間在實驗探究上，另一半的時間用來準備考試，雖然犧牲了許多休閒時光，但得到的收穫是筆墨難以形容的。

感謝代表台北市參賽全國科展的夥伴們！一群志同道合的朋友，我們腦力激盪，互相幫忙，分工合作，驗證了團結力量大，激發了無限的創意！在修正機構或口頭報告時，不分年級、不分組別，大家總能互相打氣，覺得有趣又不會感到太大的壓力。

「如果一個人沒有信心，就不會成功。」在進行研究的過程中，要抱持著熱情，盡力去做，不用害怕自己會不會成功。

做科展，是不斷的研究，不斷的努力，不斷的更新，不斷的學習，不斷的修正和不斷的成長……我們充滿熱忱，繼續做延伸性的研究。努力的過程才是最重要的，過程中學到的經驗也是金錢買不到的。

科展，拓展了我們的視野，也更加豐富了我們的人生。



明湖國中莊志明校長在建中出現陪伴，加油打氣，總是令人驚喜！



明湖國中莊志明校長鼓勵的話語，讓我們感到溫暖，信心滿滿！



明湖國中莊志明校長的幽默風趣，總讓我們開懷大笑，忘記壓力！

摘要

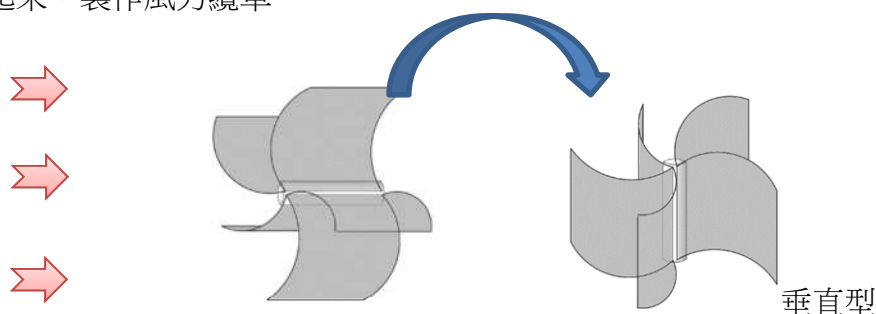
作品延續 2019 台北市科展作品「逆風而上」，我們將橫流風扇改成垂直式，以 3D 列印設計機構本體，並組合塑膠齒輪做成纜車，自製類低速風洞，提高風速避免亂流，完成實驗；作品經四次改善，具備以下功能：

1. 可以順、逆風行走，各方向吹來的風均可以利用
2. 纜車可以控制正反向行走
3. 空車無負載時可高速行走，以節省時間
4. 低速行走時，扭力增加，可負載重量
5. 具煞車和減速功能
6. 在纜車停用且有風的情況下，可發電並儲存所產生的電能，以備無風狀況下使用，更貼近生活。

作品測試：分別以自製類風洞測試，與不同坡度實驗，施予不同方向強、弱風等實驗，**結果顯示：**纜車扇葉轉數與行走速度均有一致規律。**荷重實驗：**本體重 234.7g，在坡度 10° 可以荷重 1,900g，速度達 0.28cm/s。

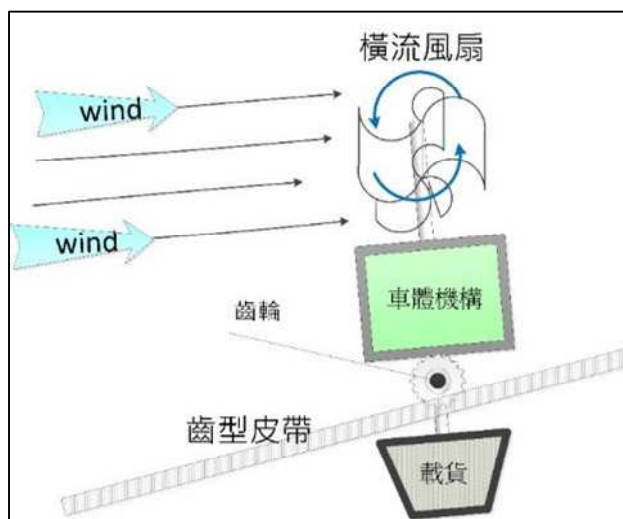
壹、研究動機

本組作品在 107 年度參加台北市科展：「逆風而上」— 探討改良翻滾仔逆境下的運動。評審老師給了本組很大鼓勵，希望本組可以繼續朝應用方面研究；考慮後我們認為主題可以延伸二個方向：製作出可將風力或水力運用於載送物品的機構，討論後，決定以風力來完成此實驗。因為對水力而言，僅能二個方向，即順流或逆流，而且台灣山區河流短促，多急流瀑布落差大，而風力則無限制可以運用。所以我們延伸了原本「橫流風扇」的研究，將橫流風扇垂直立起來，製作風力纜車。



現況：台灣多山，在山區種植高品質的水果與高冷蔬菜，都能改善生活，但因農產運送的問題，造成農民的損失，山谷間或河床上雖有「流籠」可以運送，有用柴油發電或是以人力拉牽，造成空氣汙染與人工成本仍大。本

實驗的優勢：因山谷裡的谷風，受日照影響氣流，白天吹谷風，晚上吹山風，風力取之不盡、用之不竭，**劣勢**：我們觀察山間吊橋周圍的氣流紊亂，**對策**：風力纜車須能夠**利用各方來風**。如何利用風力來做能源？這是我們製作風力纜車作為山區搬運研究的動機。與課程相關章節：



九上 / 自然 5：第 2 單元 力與運動、第 3 單元 功與機械應用

九上 / 生活科技：第 8 單元 運輸科技



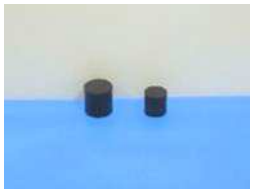







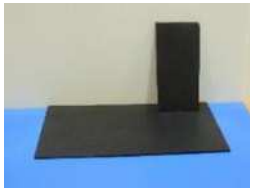


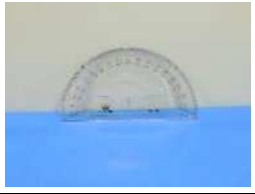


貳、研究目的

本實驗利用風力驅動纜車，實驗將纜車運動的齒輪組合，做成類齒輪箱，調整齒輪比，提高負載重量，原為單向行走，後改可以雙向行走，再增改高速與低速的運動機構與剎車裝置；並在纜車停用時，可利用風力發電儲能，在無風下仍可使用，可達到生活應用的最佳效果。**實驗一~二為基礎測試，以自製風洞實驗，實驗三~五為改良後的第四代機構的條件實驗。因扇葉裝置是對稱性，所以測量直角相鄰兩側的風力影響改變。**

- 一、實驗一：測量前方與左方高風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速
- 二、實驗二：測量後方與右方低風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速
- 三、實驗三：測量 0° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度
- 四、實驗四：測量 10° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度
- 五、實驗五：測量 20° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度
- 六、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間
- 七、增能應用：發電儲能的增設

參、研究設備與器材

(一)設備與器材

			
強力風扇	調速器	固定柱	熱熔槍與膠
			
飲料瓶(扇葉用)	3D 印表機	砝碼	吸管
			
風速計	轉速計	塑膠瓦楞板	各式齒輪
			
壓克力板	量角器	3.0mm 齒距皮帶	發電機

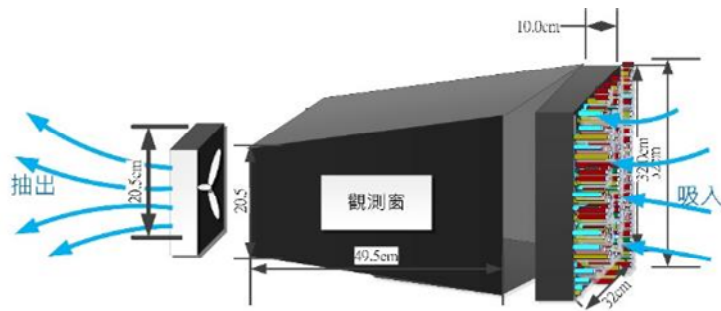
(二)低速風洞的設計與製作

- 1.目的：製作類風洞的裝置，提高風速，使纜車模型的扇葉受風一致。
- 2.製作：材質 PP 瓦楞板 5.0mm 加厚型，阻尼網為 16 目尼龍網，安裝在蜂窩器的兩側，除固定蜂窩器並使內側穩定氣流，蜂窩器用吸管直徑 10mm 長度 10cm。

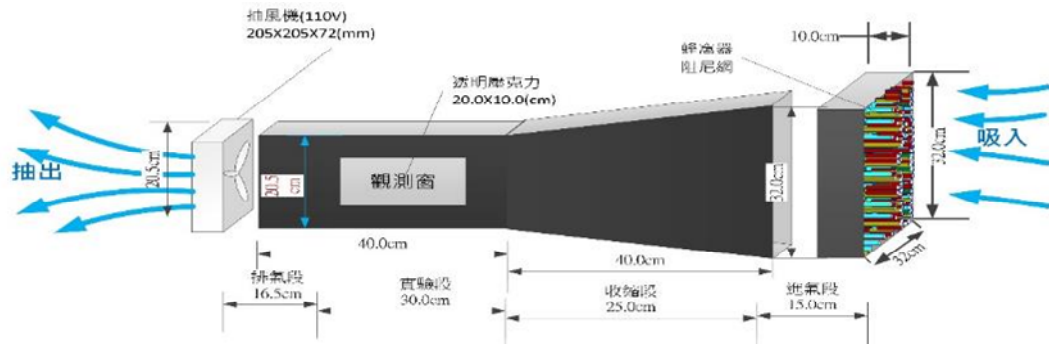
(1)直筒式設計外觀與規格：



(2)斜筒式



(3)綜合式



2. 材質與尺寸：塑膠瓦楞板，依上圖大小裁剪後，以熱熔膠黏合。

3. 風扇規格(取自風扇使用說明書)：

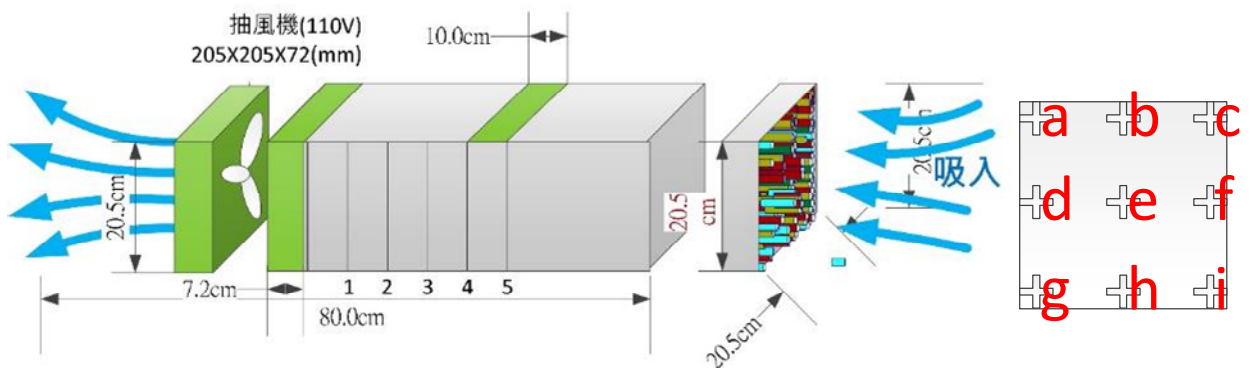
Model	Voltage (V)	Freq. (Hz)	Current (A)	Power (W)	Speed (RPM)	Air Flow (CFM)	Pressure (in-H ₂ O)	Noise (dB)
CY12072HBT(L)	115	50/60	0.61/0.86	65/102	2850/3200	700/740	0.93/0.44	61/64

4.風速測試：

(1)電源供應：110V，以調速器控制風扇轉速。

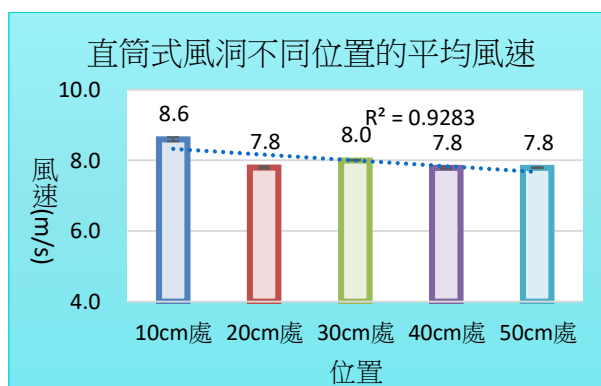
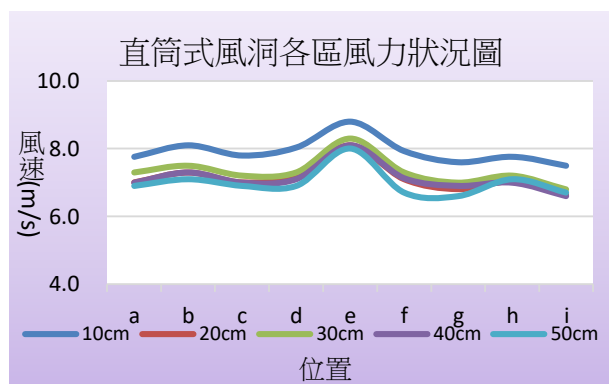
(2)開啟風扇，調速器設定最高風速：9.2m/s。

(3)在風洞每隔 10.0 公分的不同位置(編號依序為 1、2、3、4、5)在其橫切面處，測量 9 個固定點位置(編號依序為 a、b、c……i)的風速，如下左圖與下右圖。



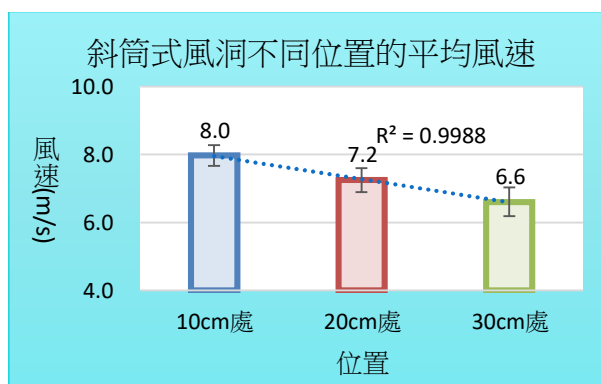
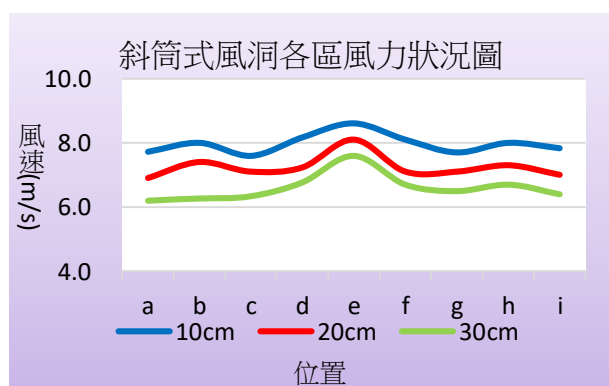
5.測量結果：(三次測量平均)

(1)直筒式



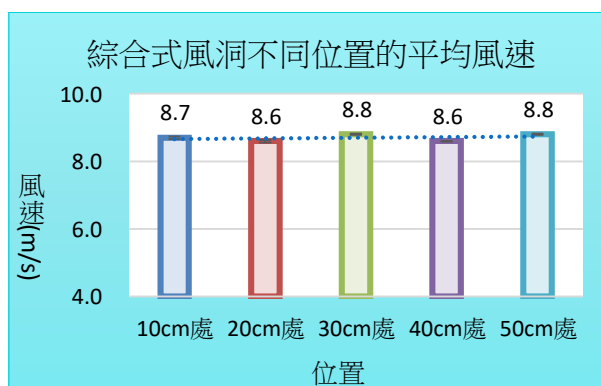
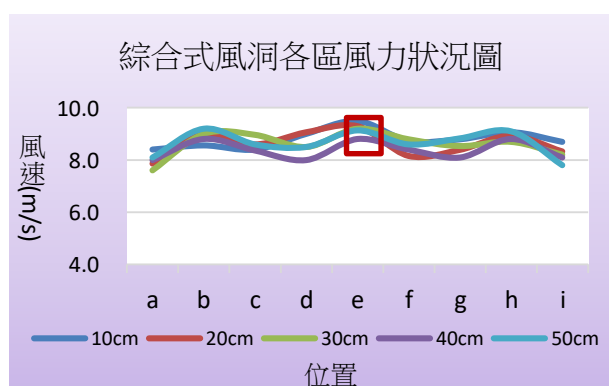
結果：在中心處 e 點兩側 d 與 f 處，風力會偏低，風力以 10cm 處最大，20cm 後較一致。

(2)斜筒式






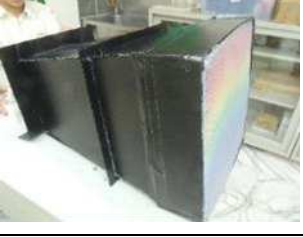


結果：顯示風力以上下的兩側會偏低，中間較一致，風力大小則 10cm > 20cm > 30cm。

(3)綜合式



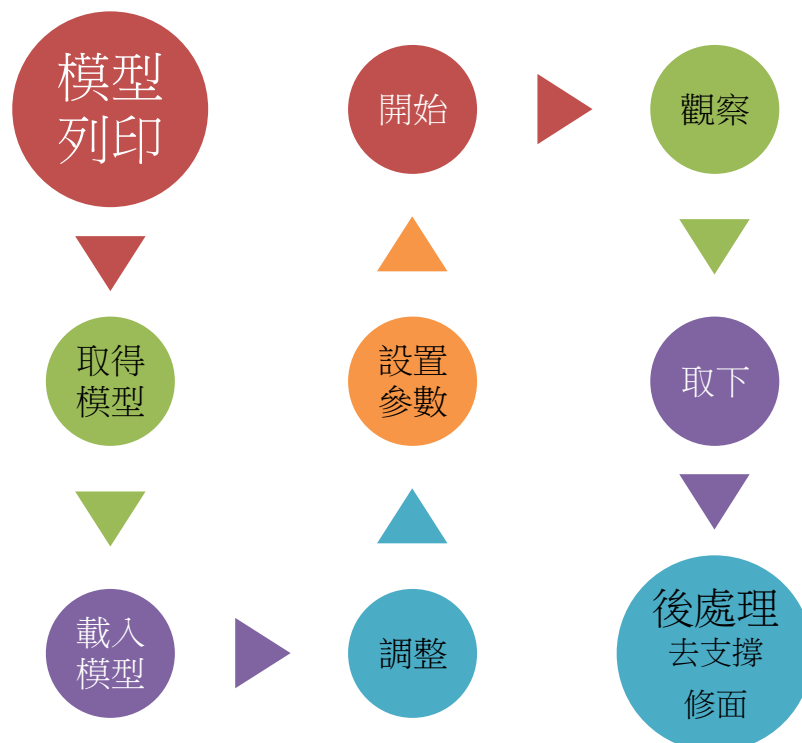
結果：組合斜筒式與直筒式作成綜合式，原風扇風力最高 5.8m/s，經壓縮後可提升至 9.2 m/s 以上，且測量三次標準的標準差值，在 0.04~0.02，e 點位置較高，30cm 以後較為穩定，故本組以綜合式完成實驗。

製作實物與測量照片

		
第一代完成試作	蜂窩器製作	直筒式
		
斜筒式	綜合式	風速集中筒 (風洞外實驗用)

(三)特殊器材使用說明：Flashforge Finder 3D 列印機

1. 原理：採用的列印技術是「擠製成型技術」，也就是將列印材質透過加熱，再施加壓力通過噴嘴，以穩定流量一層層堆疊成三維的立體形狀。
2. 材質：使用 PLA 一種聚乳酸材質，機械性佳；環保易分解。
3. 流程：



4. 軟體建模與切片：

- (1) 以軟體 Autodesk 123D Design 將纜車模型的各部位繪製完成。
- (2) 完成圖形轉成.STL 檔，再以切片軟體 (FlashPrint) 設定印件的旋轉角度、擺設位置及支架支撐等設定。
- (3) 使用切層軟體設定列印層高、填充、外殼...等參數，設定列印品質，再轉成.gx 檔。



5. 列印：

- (1) 列印前將列印平臺清理乾淨，準備所要列印的 3D 檔，可以用 USB 傳輸線或是以 WIFI 傳送輸出.gx 格式的模式。
- (2) 然後列印頭和列印平臺就會開始加熱到工作溫度，便會開始列印模型，這時就可拔除電腦連接線。

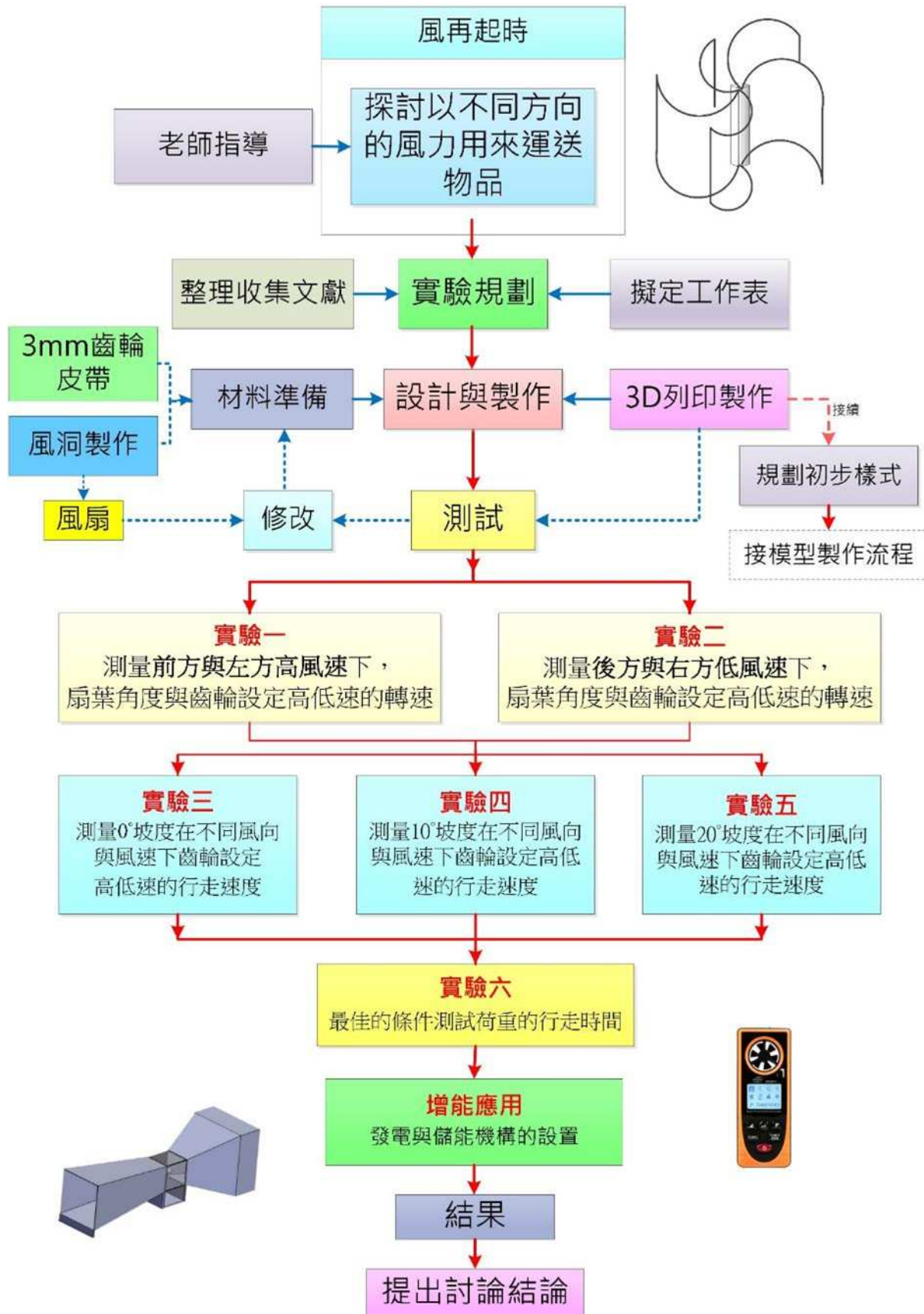
6. 完成取出：

- (1) 剛列印完成溫度高，須等待列印品冷卻，準備好鑷子，鑷子會較容易深入列印品底部，讓列印品與臺面脫離，平臺冷卻後放置過久會黏固，不易脫離。



肆、研究過程及方法

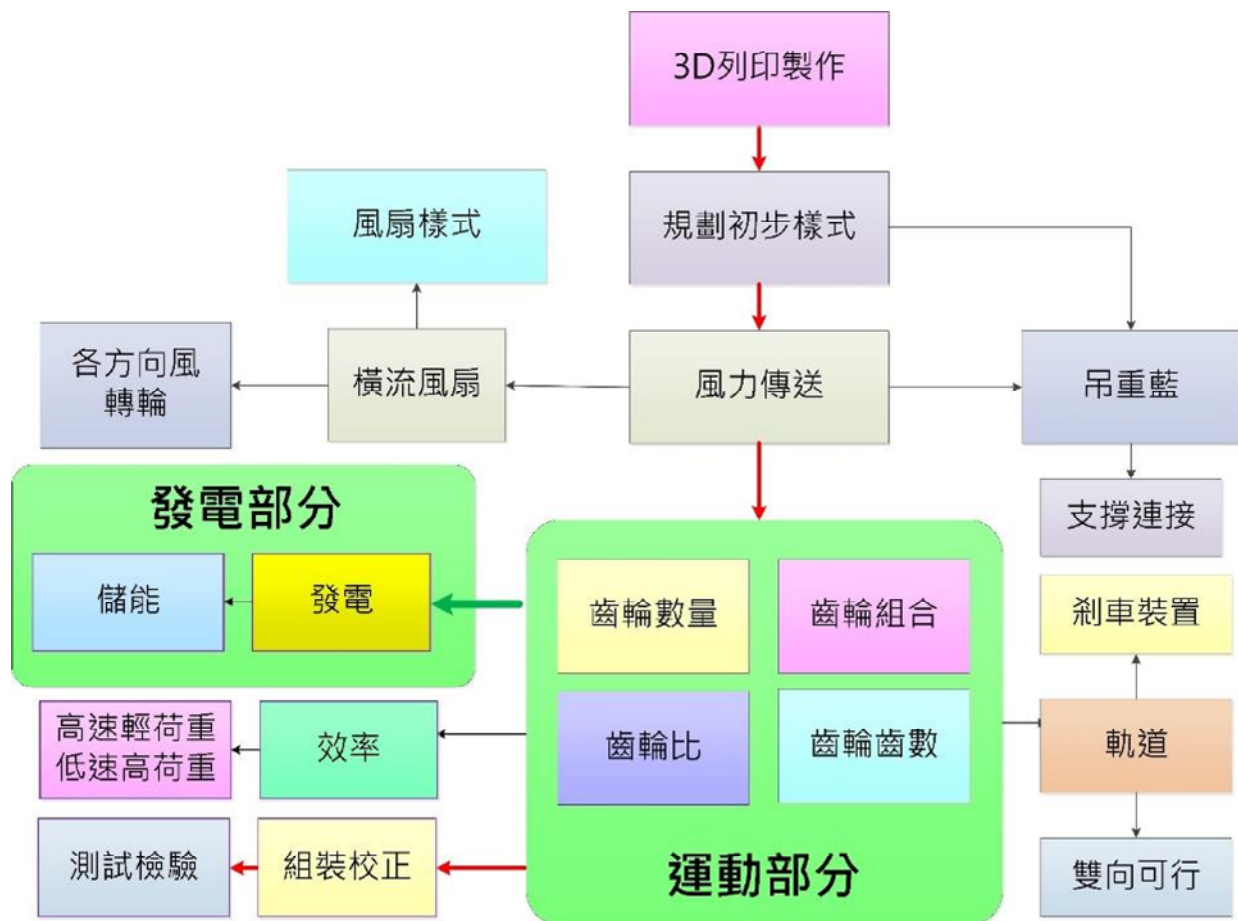
一、 實驗流程



二、實驗準備

(一) 3D 模型的設計：

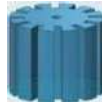

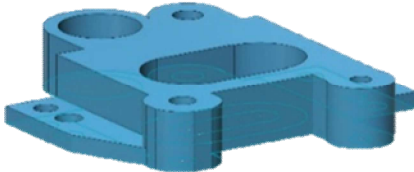
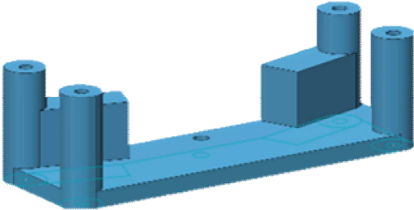
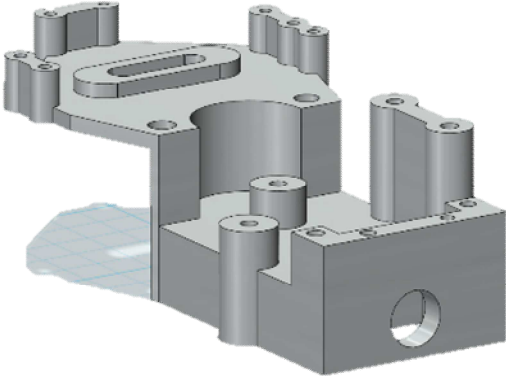

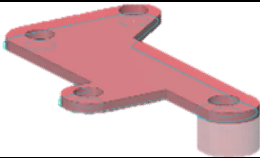


1. 考慮以下：(1)製作可以在軌道上行走的纜車(2)纜車運動方式：以低速行走吊掛重物或是高速行走無負載(3)可長期連續運轉、低噪音(4)可接受各個風向(5)不同齒輪帶動。
2. 參考各網站的製作模型與機械式玩具相關構造。
3. 模型製作流程：軟體 Autodesk 123D Design(free download).



說明：

1. 運動部分，上部：風扇以垂直型橫流扇葉方式，製作風扇固定座，上方可固定並改變不同粗細的固定柱。中部：製作齒輪箱，當風扇的齒輪轉動後，帶動組合的齒輪，可以在齒型皮帶上移動。下部：吊重方式以塑膠盒裝入不同重量砝碼實驗。
2. 發電部分：增設選擇開關、橋式整流器、儲存電力的鋰與發電小馬達。

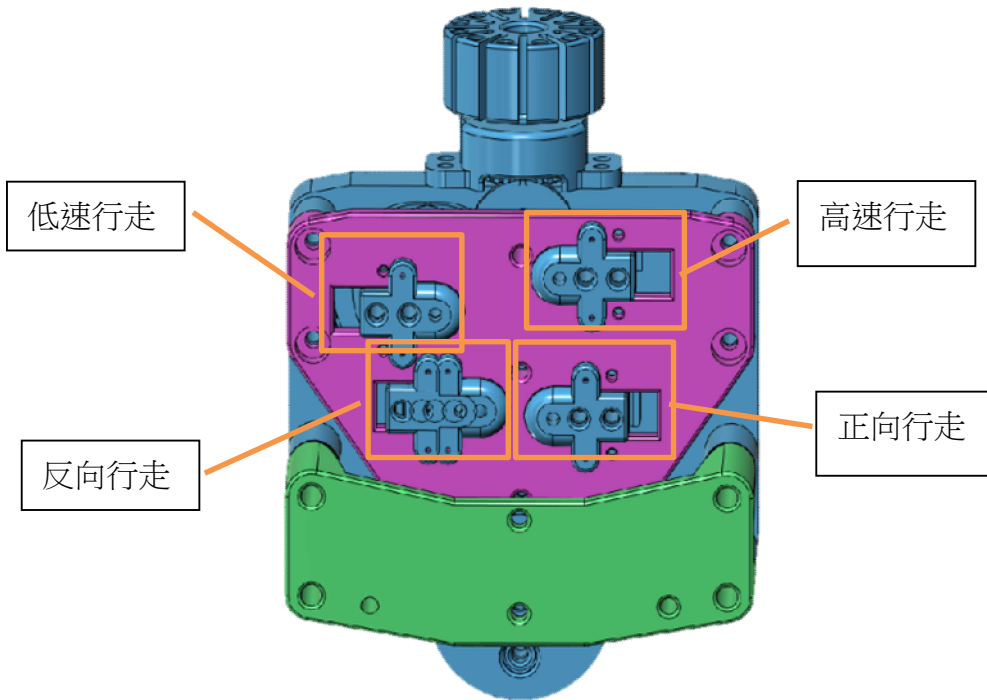
(二) 第四代模型的設計與自製：

運動部分			
項次	零件名稱	圖片	大小尺寸(mm)
1	風扇固定座		直徑 24.6×20h 深度 5.0 溝槽
2	控制鈕製作		9.5w×14h
3	方向與速度切換 控制座		43L×34w×8h
4	齒輪外固定座		70.3L×24.4w×20h
5	纜車主體		70.2L×39w×31.6h
6	皮帶軌道齒輪		17.5w×6h
7	齒輪內支撐固定 板		16L×28w×4.2h
8	方向控制鈕		13.6L×3.0w×3.1h
9	方向控制鈕下方 移動座		14.7L×8.6w×3.3h

發電部分			
項次	零件名稱	圖片	大小尺寸(mm)
1	剎車控制器		18.7Lx9.0w×4.5h
2	齒輪固定板		74.2Lx87.0w×10h
3	控制器固定座		89.0Lx74.1w×7h
4	方向控制器 下固定座		24.2Lx10.3w×6.6h
5	方向控制器		30.9Lx7.5w×7.4h
6	主要支撐架		62.3Lx47.4w×36.0h
7	發電機(馬達)座		24.2Lx12.3w×18.6h
8	電池固定座		60.0Lx45.0w×20.0h
9	齒輪固定		30.0Lx20.8w×9.3h

(三)運動部分的控制與操作說明：

1. 操作控制鈕



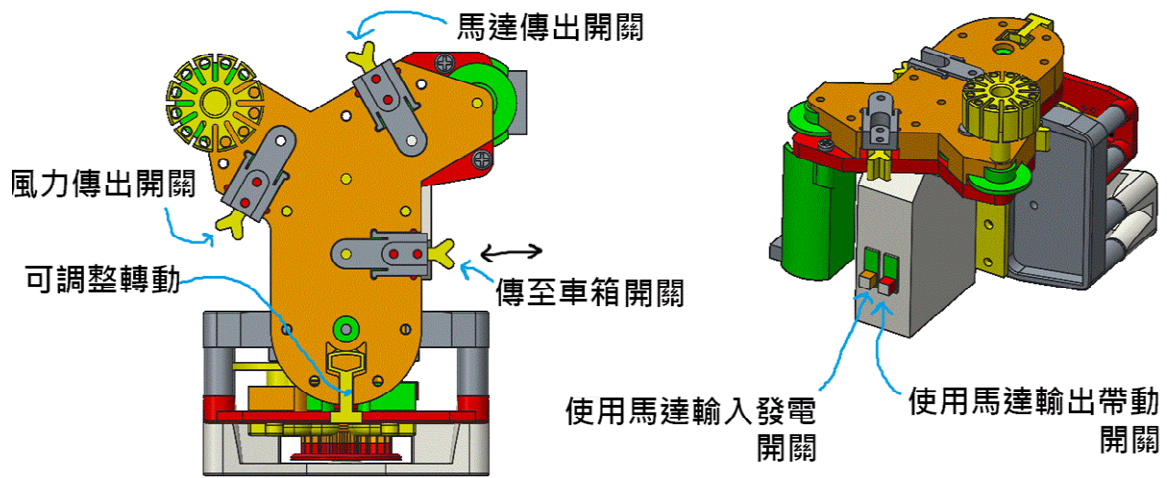
※操作方式：低速行走與高速行走，僅能選擇一項動作執行，不能兩者同時並行。

同理，正向行走與反向行走，也是兩者選擇一項執行行走。

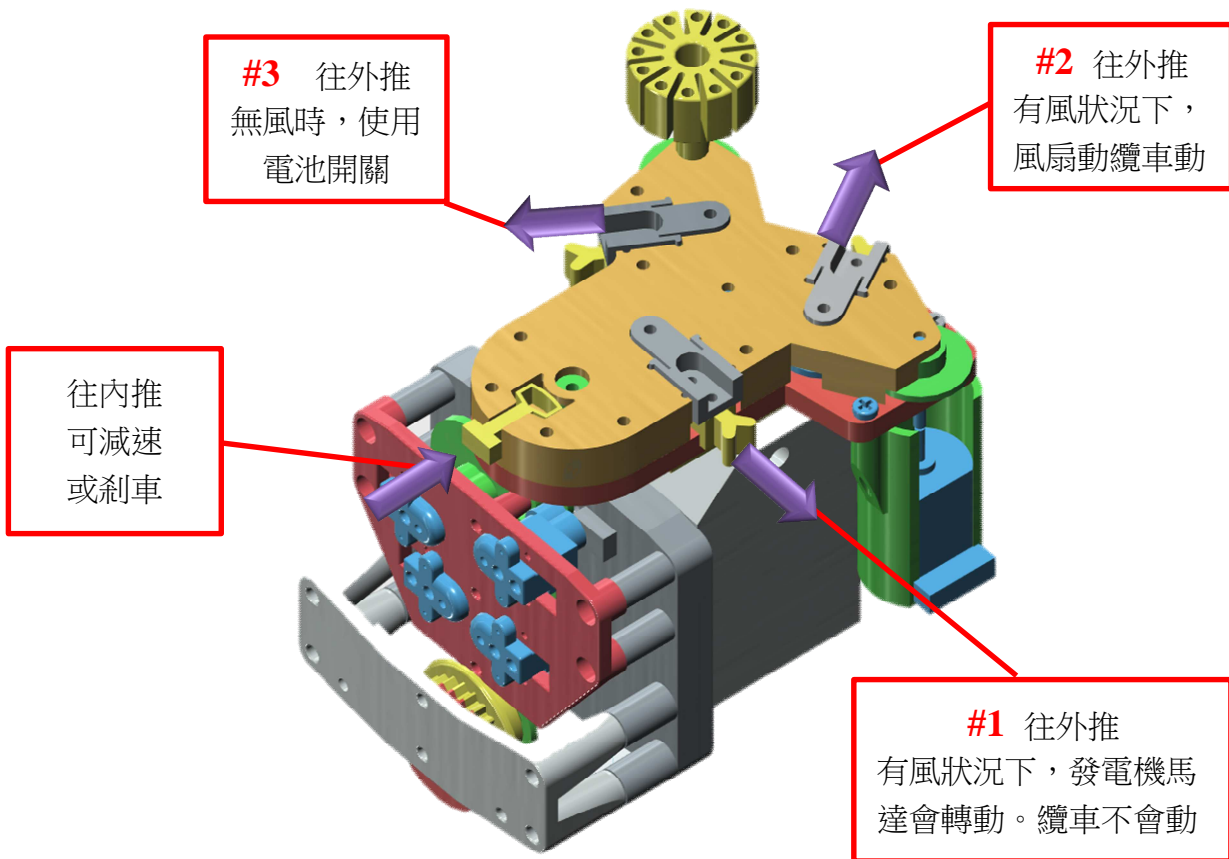
功能	開啟		關閉	
	向右	向左	向右	向左
慢速行走	✓			✓
快速行走		✓	✓	
反向行走	✓			✓
正向行走		✓	✓	
靜止煞車	✓	✓		
空檔、無剎車、可手推			✓	✓

(四) 第四代增加發電儲能機構與剎車功能：

1.各部位開關功能標示：



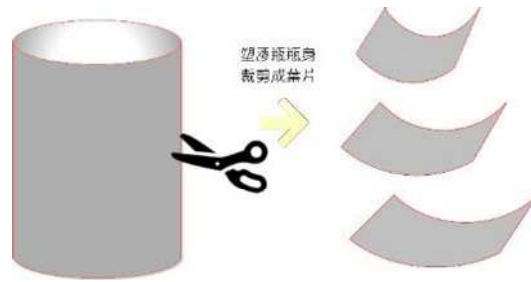
2. 使用說明



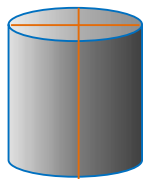
狀況		#1	#2	#3
有風	發電，纜車不行走		✓	✓
	纜車行走	✓		✓
	發電又行走	✓	✓	✓
無風	使用電力行走	✓	✓	

三、實驗一：測量前方與左方高風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速

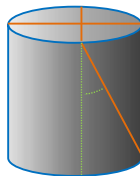
(一) 扇葉條件：4片、弧長 7.0cm、硬質寶特瓶材質。



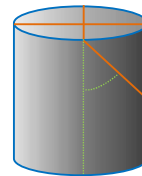
(二) 固定柱條件：橡膠、直徑 3.0cm，分別與扇葉結合，以平行固定柱為 0°夾角標準，製作 30°和 60°的扇葉夾角，做成風扇組，如下示意圖。



0°夾角



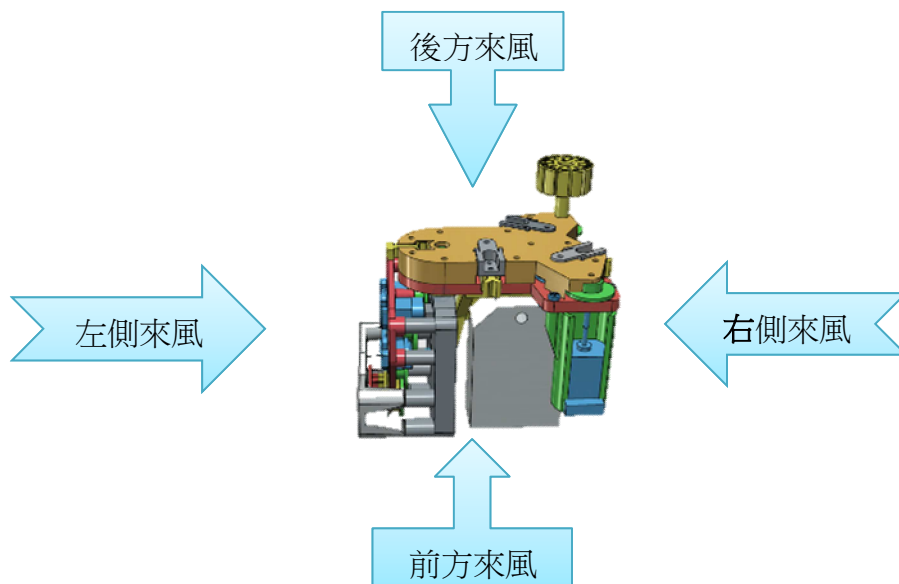
30°夾角



60°夾角

(三) 實驗準備：

1. 檢查綜合式風洞組水平放置實驗桌上，進、出風口無放置物品，避免氣流干擾。
2. 在自製纜車的扇葉固定柱上方以反光貼紙標示，作為光測量轉速的反射標的。
3. 纜車水平放置在距離風扇 30.0cm 處，底部以 10mm 壓克力板固定，避免被強風吹走，同時壓克力板可轉向接受不同方向的風作實驗。放置位置如下示意圖。
4. 在風洞觀測口下方，風扇組上方，架設轉速計(離風洞 15.0cm)。
5. 將轉速計開啟測量不同風速，確認轉速正確。

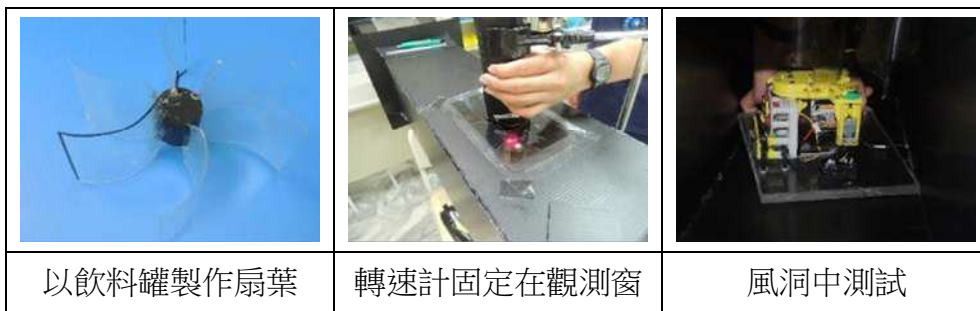


(四)開始測量：

1. 風扇組在高風速下 9.2 m/s，測試三種角度扇葉。
2. 利用測速器測量轉速 rpm，進行三次重複並記錄於實驗紀錄簿。
3. 完成前方來風實驗後，轉動壓克力底座再續左方來風。

四、實驗二：測量後方與右方低風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速

- (一) 將固定纜車的壓克力轉向，即原前端移作成後端，放置安穩。
- (二) 實驗方法同實驗一。纜車風扇組以風速 7.8 m/s，測試三種角度扇葉。
- (三) 利用測速器測量進行三次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。



五、實驗三：測量 0°坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度

- (一) 條件設定製作：
 1. 以萬用角座架設好兩端固定位置。
 2. 以黑色 3.0mm 齒輪皮帶做軌道，固定行走距離為 20.0cm，做好記號，再以手機 APP 氣泡水平儀確認水平 (提供 Gamma Play 1.1 版)。
 3. 風扇：以捲尺測量出風口位置在纜車前 100cm，以調速器確認風速為 4.0m/sec 與 6.0 m/sec，「風道」的風向中心位置對準扇葉右側垂直放置的固定位置。
 4. 放置安穩：確認纜車上與齒行皮帶的的齒輪有吻合。
- (二) 纜車風扇組以風速 6.0 m/s 與 4.0m/s，測試三種角度扇葉。
- (三) 利用計時器測量，進行三次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。
- (四) 記錄方式如下：

齒輪設定	前方來風						右側來風					
風速(m/s)	4.0			6.0			4.0			6.0		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60

六、實驗四：測量 10°坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度

- (一) 將 3.0mm 齒距皮帶，以量角器與水平儀調整坡度為 10°。
- (二) 實驗方法同實驗三。風扇組在風速下 6.0 m/s 與 4.0m/s，測試三種角度扇葉
- (三) 利用測速器測量進行三次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。

七、實驗五：測量 20°坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度

- (一) 將 3.0mm 齒距皮帶，以量角器與水平儀調整坡度為 20°。
- (二)測試：方法同實驗三。

八、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間

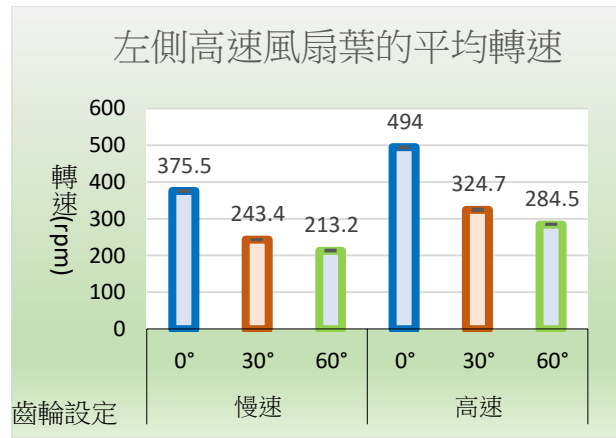
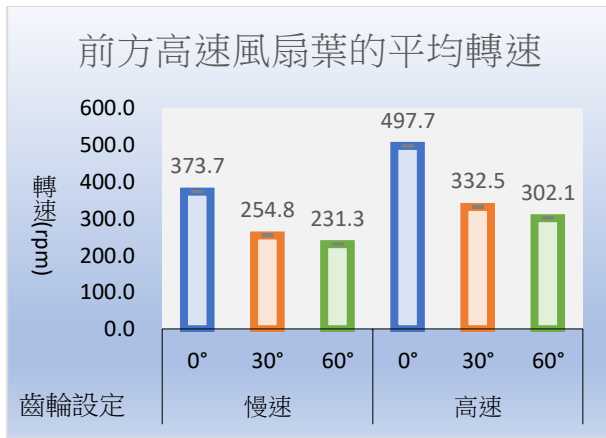
- (一) 條件設定與製作：
 1. 纜車荷重設定為低速，下方吊放不同配重的砝碼，每次增加 100g 不等重量。
 2. 用逆風由上往下，風速 7.0 m/s，由後方向前方吹。
 3. 坡度 10°的軌道安裝。同前實驗四。
 4. 4 片扇葉；弧長 7.0cm 實驗。(參考 107 年《逆風而上》作品)
- (二)測試：方法同前(略)



伍、研究結果

一、實驗一：測量前方與左方高風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速(三次平均)

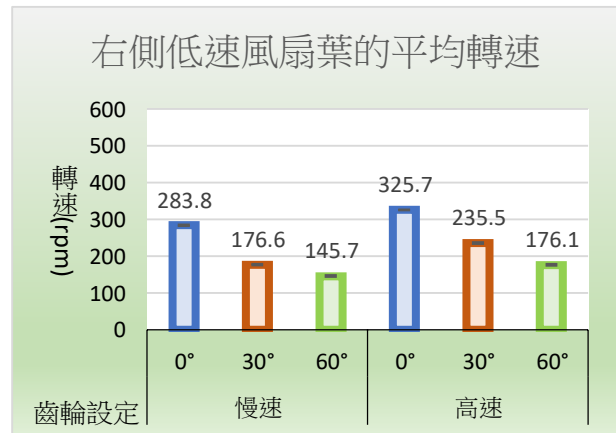
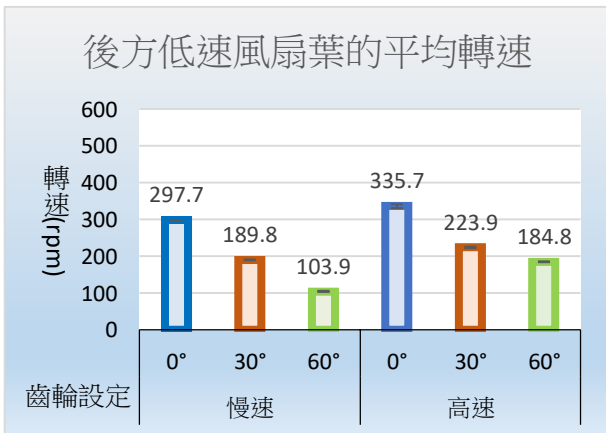
風向	前方來風						左側來風					
	低速			高速			低速			高速		
齒輪設定	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均轉速(rpm)	373.7	254.8	231.3	497.7	332.5	302.1	375.5	243.4	213.2	494.0	324.7	284.5
標準差	1.44	3.45	1.17	2.50	2.89	1.47	2.41	1.72	2.59	2.82	2.91	1.76



結果：前方來風與左側來風測試結果，兩者的實驗結果相當一致。

二、實驗二：測量後方與右側低風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速(三次平均)

風向	後方來風						右側來風					
	低速			高速			低速			高速		
齒輪設定												
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均轉速(rpm)	297.7	189.8	103.9	335.7	223.9	184.8	283.8	176.6	145.7	325.7	235.5	176.1
標準差	0.83	1.71	1.83	5.13	2.43	1.39	2.22	2.30	2.66	1.15	2.30	2.44

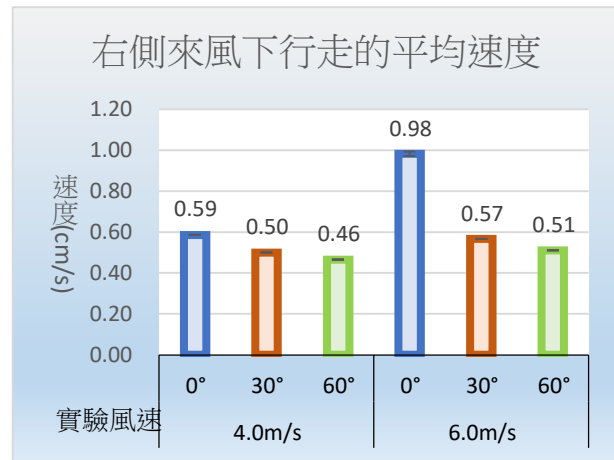
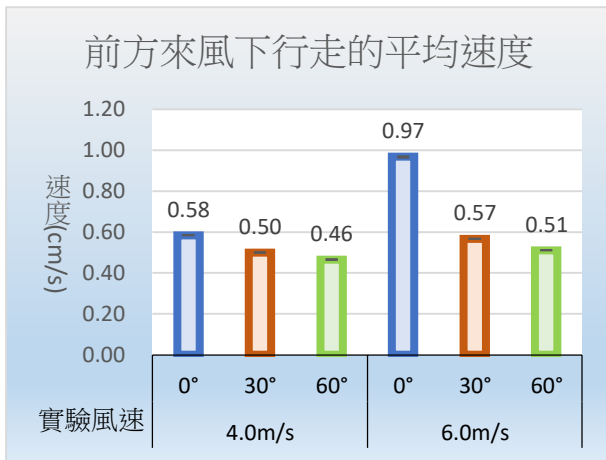


結果：齒輪設定高速行走，較設定低速轉速快，正面迎風的扇葉有較高轉速 0° > 30° > 60°。

三、實驗三：測量 0° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度(三次平均)

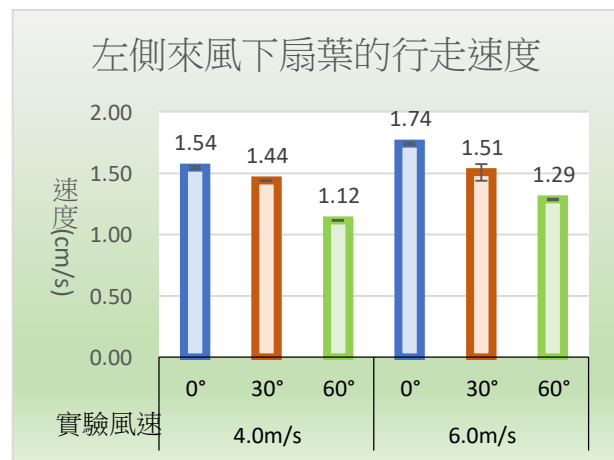
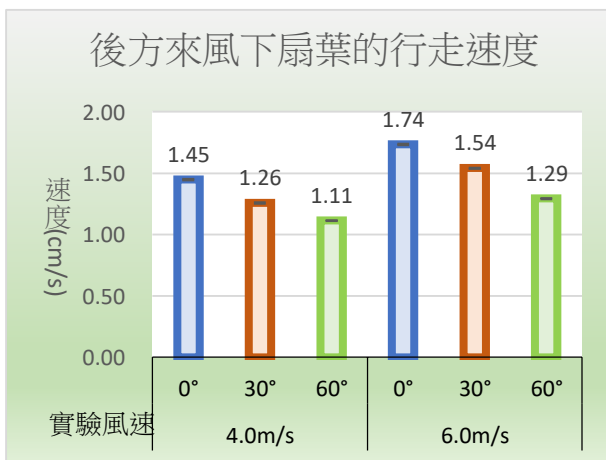
(一) 坡度 0°，低速齒輪設定：前方與右側來風的行走速度：

齒輪設定	前方來風						右側來風					
	4.0			6.0			4.0			6.0		
實驗風速(m/s)												
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	0.58	0.50	0.46	0.97	0.57	0.51	0.59	0.50	0.46	0.98	0.57	0.51
標準差	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.011	0.000	0.001



(二) 坡度 0°，高速齒輪設定：後方與左側來風的行走速度：

齒輪設定	後方來風						左側來風					
	4.0			6.0			4.0			6.0		
實驗風速(m/s)	4.0			6.0			4.0			6.0		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	1.45	1.26	1.11	1.74	1.54	1.29	1.54	1.44	1.12	1.74	1.51	1.29
標準差	0.007	0.006	0.004	0.007	0.005	0.006	0.012	0.004	0.002	0.010	0.067	0.006

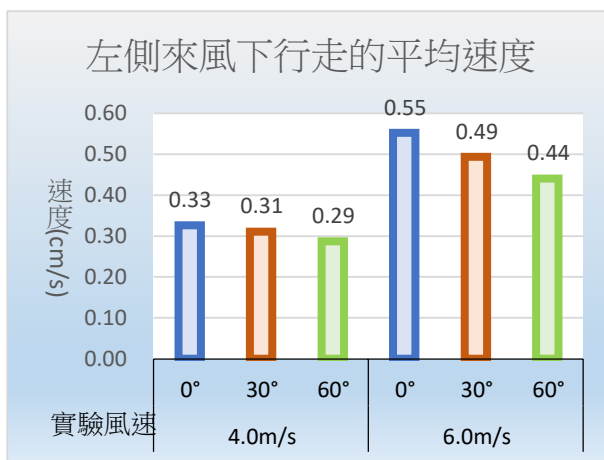
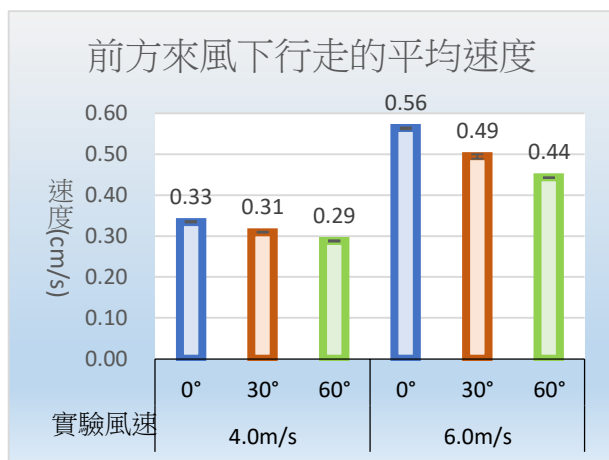


結果：分別高速與低速齒輪下，不同風向的來風，測試的結果相當接近。

四、實驗四：測量 10° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度(三次平均)

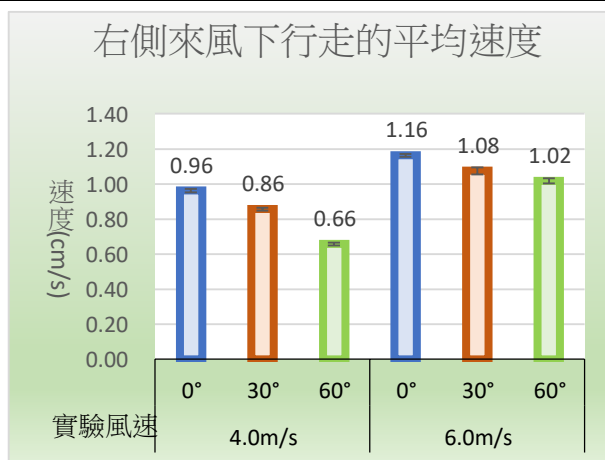
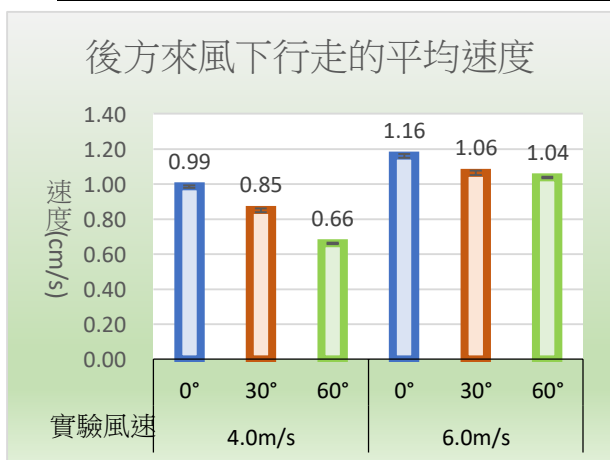
(一) 坡度 10°，低速齒輪設定：前方與左側來風的行走速度：

齒輪設定	前方來風						左側來風					
	4.0			6.0			4.0			6.0		
實驗風速(m/s)	4.0			6.0			4.0			6.0		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	0.33	0.31	0.29	0.56	0.49	0.44	0.33	0.31	0.29	0.55	0.49	0.44
標準差	0.002	0.001	0.002	0.002	0.005	0.001	0.005	0.000	0.001	0.011	0.002	0.004



(二) 坡度 10°，高速齒輪設定：後方與右側來風的行走速度：

齒輪設定	後方來風						右側來風					
	4.0			6.0			4.0			6.0		
實驗風速(m/s)	4.0			6.0			4.0			6.0		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	0.99	0.85	0.66	1.16	1.06	1.04	0.96	0.86	0.66	1.16	1.08	1.02
標準差	0.007	0.011	0.005	0.011	0.013	0.005	0.010	0.009	0.008	0.008	0.020	0.014

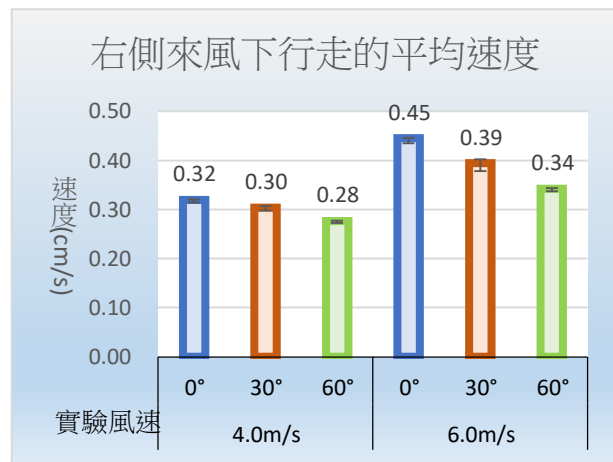
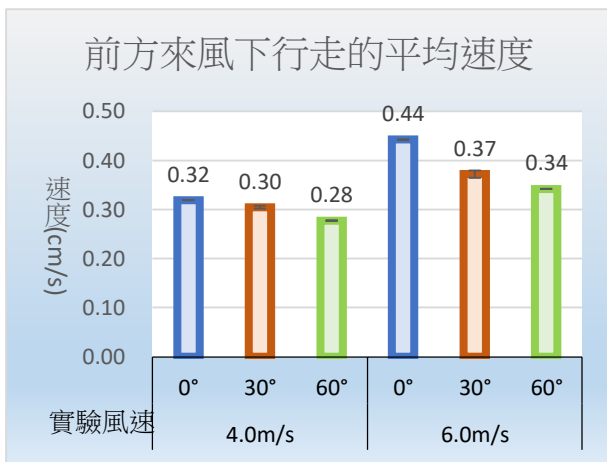


結果：在坡度 10°下，分別高速與低速齒輪，不同風向的來風，測試的結果相當接近。

五、實驗五：測量 20°坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度(三次平均)

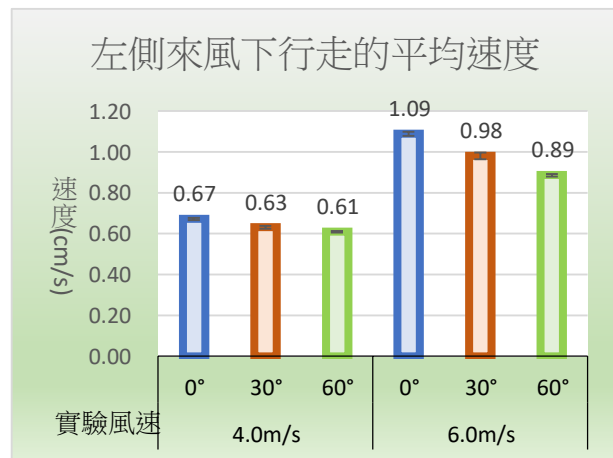
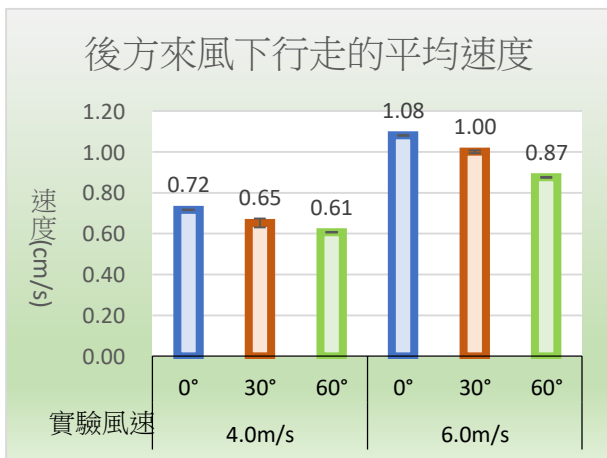
(一) 坡度 20°，低速齒輪設定：前方與右側來風的行走速度：

齒輪設定	前方來風						右側來風					
	4.0			6.0			4.0			6.0		
實驗風速(m/s)	4.0			6.0			4.0			6.0		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	0.32	0.30	0.28	0.44	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.45	0.39	0.34
標準差	0.000	0.003	0.000	0.001	0.008	0.000	0.001	0.003	0.000	0.001	0.008	0.001



(二) 坡度 20°，高速齒輪設定：後方與左側來風的行走速度：

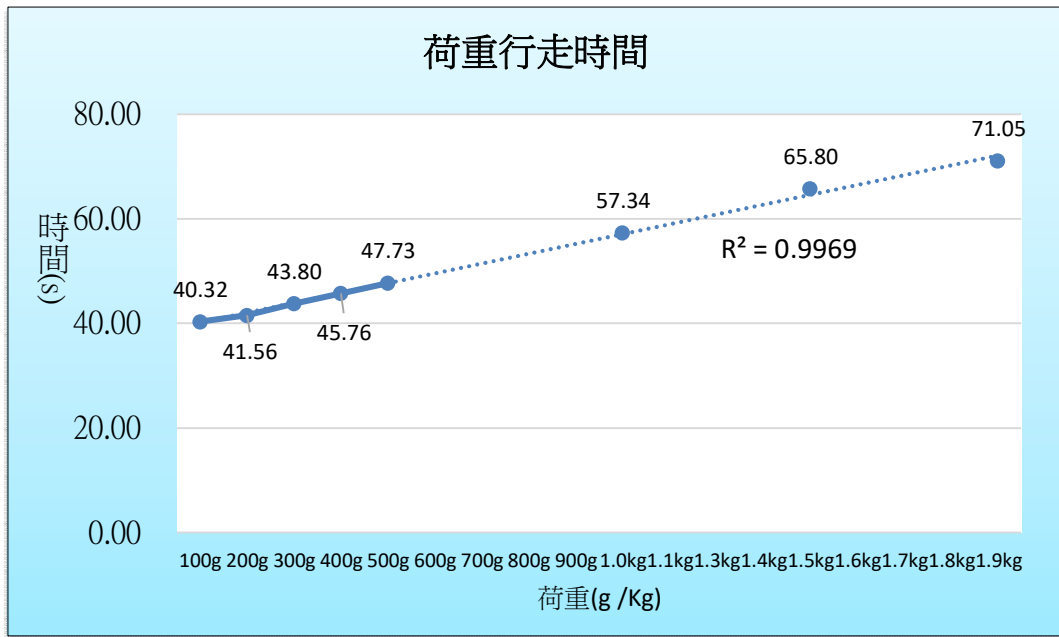
齒輪設定	後方來風						左側來風					
	4.0			6.0			4.0			6.0		
實驗風速(m/s)												
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	0.72	0.65	0.61	1.08	1.00	0.87	0.67	0.63	0.61	1.09	0.98	0.89
標準差	0.002	0.022	0.002	0.001	0.007	0.002	0.006	0.006	0.004	0.010	0.016	0.006



結果：在坡度 20°下，分別高速與低速齒輪，不同風向的來風，測試的結果相當接近。

六、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間(三次平均)

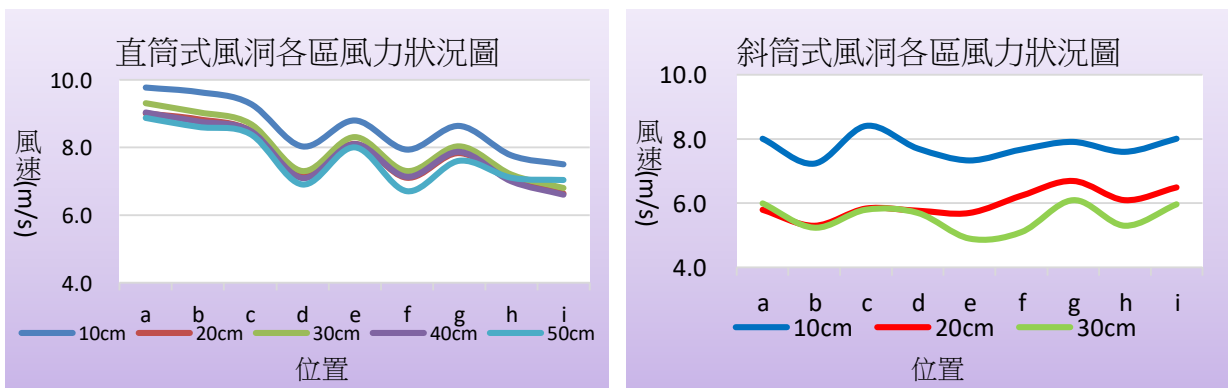
荷重	100g	200g	300g	500g	1.0kg	2.0kg	2.5kg	3.1kg
行走時間 平均值(s)	40.32	41.56	43.80	45.76	47.73	57.34	65.80	71.05
標準差	0.09	0.08	0.09	0.11	0.16	0.49	0.60	0.80



※測試最高重量 1900g，行走需時 71.05 s，速度 0.28cm/s。

陸、討論

一、工欲善其事，必先利其器：本實驗初期以風扇作為風力來源，但易受周圍氣流影響，數據上較為不穩定，且風速不足，因此我們以自製「類風洞」來實驗，幸得廠商提供 Air Flow700 CFM 風扇，其風速最高達 5.6 m/s，經壓縮後在「風道」中測量有達到 10.0m/s 風速，本組以穩定最高 9.2 m/s 實驗。我們自製了四種風洞，分別測量其各段風速，使用機械式的扇葉式測量，初步結果如下兩圖：

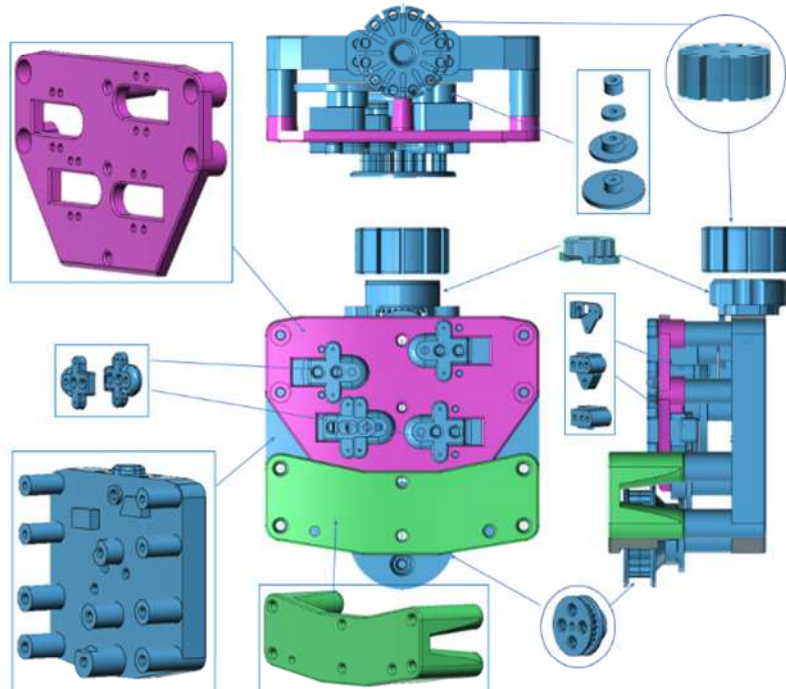


以上左圖為例，a、b、c 三處風力較高，檢查後發現風道左上有縫隙，造成氣流外洩，以致偏高，黏貼補強裂縫後正常；上右圖的風力本體較短，其風速不對稱明顯，研判風速不穩，經拆散再重新黏貼，加強結構，避免因抽風造成變形。

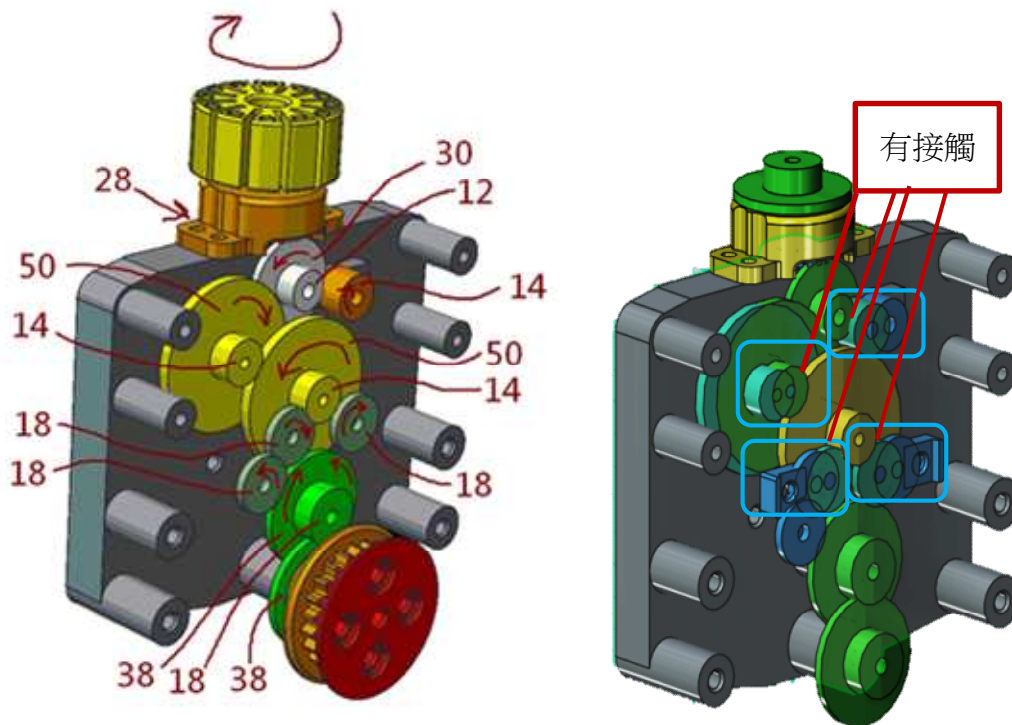
二、風力纜車的製作，是以 3D 模型列印完成，一共歷經四代改良，改善如下表：

改善經過	使用功能
第一代	受不同方向風力後，纜車會單向移動
第二代	風力纜車可以控制正、反雙向行走，齒輪比較大，荷重能力佳
第三代	1. 具有空車無負載時的高速行走功能，以節約時間 2. 具有負載重量時可增加扭力的低速行走
第四代	1. 具停止狀況剎車和行進中可減速功能 2. 在纜車停用下，可發電儲能，以備無風狀況下使用

風力纜車能完成，主要在設計的齒輪的組合，在齒輪的選用，使用現有的齒輪來做實驗，省卻我們設計與製作的困擾，在製造工廠裡製作一個齒輪，其程序非常的複雜，目前塑膠齒輪已有大量製造，其價格甚低，故本實驗直接取用市售品，以現有的齒輪，設計用在纜車可以吊重後平衡的行走。第四代的運動機構與第三代是一致。分解如下圖：



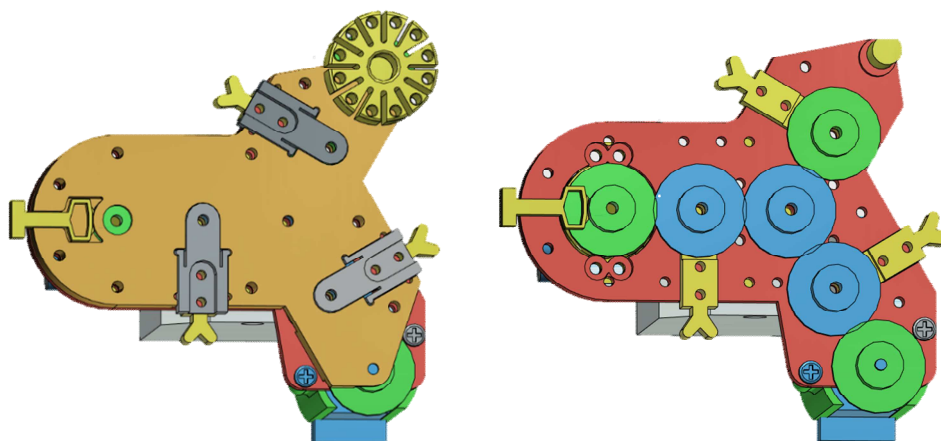
本實驗所使用的齒輪兩種運動方式，下左圖為前進方向，下右圖為反向行走。在快、低速行走與正、反向行走，則以手動的方式來控制齒輪離合，如下圖控制器對照上圖的齒輪：



第三代的運動部分設計組合，其重點除維持在可以正反向行走，再增加高低速，可以在不同荷重時，有更高的效率，所以在設計上考慮以兩種方式組合：兩種齒輪比，如下：

$$\text{快} = \frac{30}{28} \times \frac{50}{12} \times \frac{38}{14} \times \frac{38}{18} \quad \text{慢} = \frac{30}{28} \times \frac{50}{12} \times \frac{50}{14} \times \frac{38}{14} \times \frac{38}{18}$$

第四代的運動部分要配合新增減速、發電、儲能，故將風扇外移，使用 6 個齒輪以 1:1 大小傳動，如下圖，使具有四個控制開關：

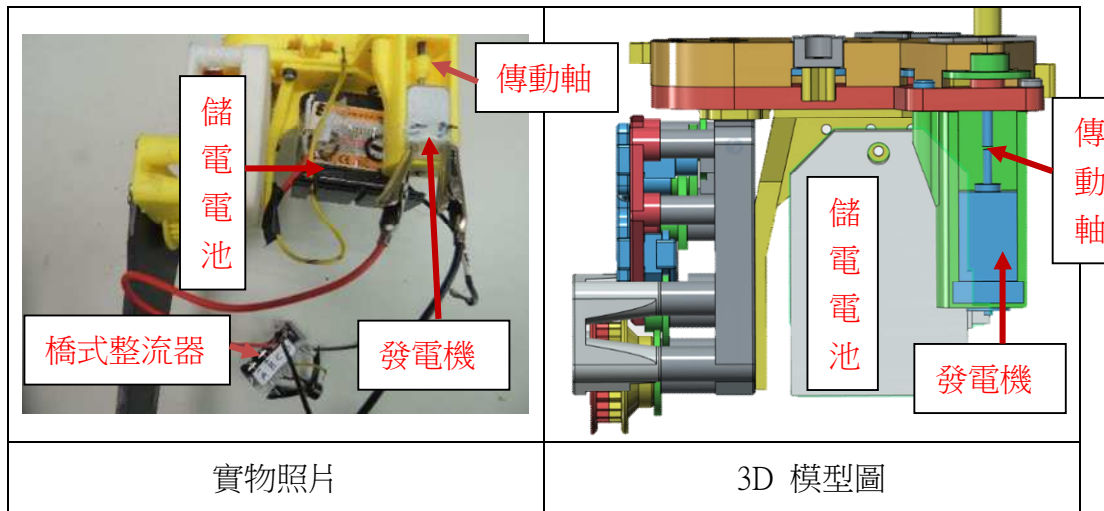


外觀有蓋板

取下蓋板後的內部

三、發電部分：

(一)下面圖示，發電與儲電的裝置。

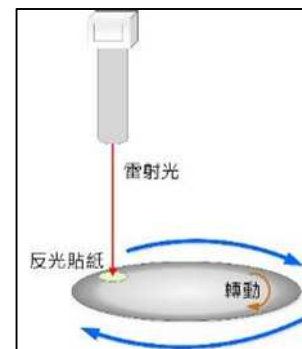


四、實驗一：測量前方與左方高風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速

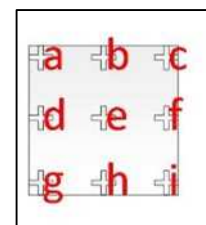
五、實驗二：測量後方與右方低風速下，扇葉角度與齒輪設定高低速的轉速

(一)實驗一、二使用自製的風洞實驗，其目的提供一個有穩定氣流的環境來實驗，自製的風力纜車在風速 7.8m/s 和 9.2m/s 下，可以正常運行。初期以保特瓶製作扇葉，但市售飲料的瓶子都較為軟質，當風速較高時，會使扇葉變形，以致實驗數據產生較大的誤差，為改善此問題，我們找到硬質且較厚的寶特瓶來做實驗。

(二)本實驗使用的轉速計，以光學原理，先發射光線後，照射扇葉固定軸的邊緣處的銀色貼紙，因為風扇轉動，反射光非連續，會被偵測到感測時間的間隔，待 1-2 分鐘後，轉速穩定即能得知轉速；若反射片離中心點太近，則反射光是連續光，無法測得轉速。

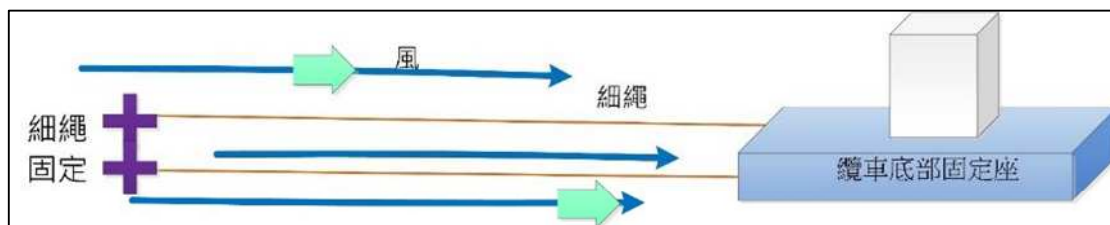


(三)實驗僅測量呈直角的兩組數據，是因為被測試的設備，具”對稱性”結構，且橫流風扇，可接受各方來風，所以同一條件下測量兩組緊鄰的不同方向來風；在風洞裡是同方向的風，所以左右轉動纜車的固定底座方向。我們測量以距離風扇 30 公分

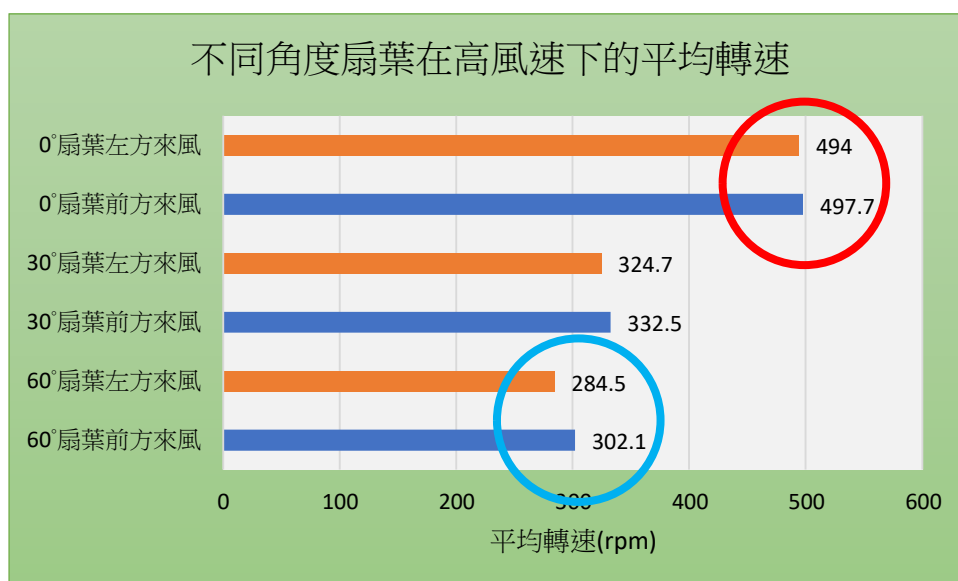
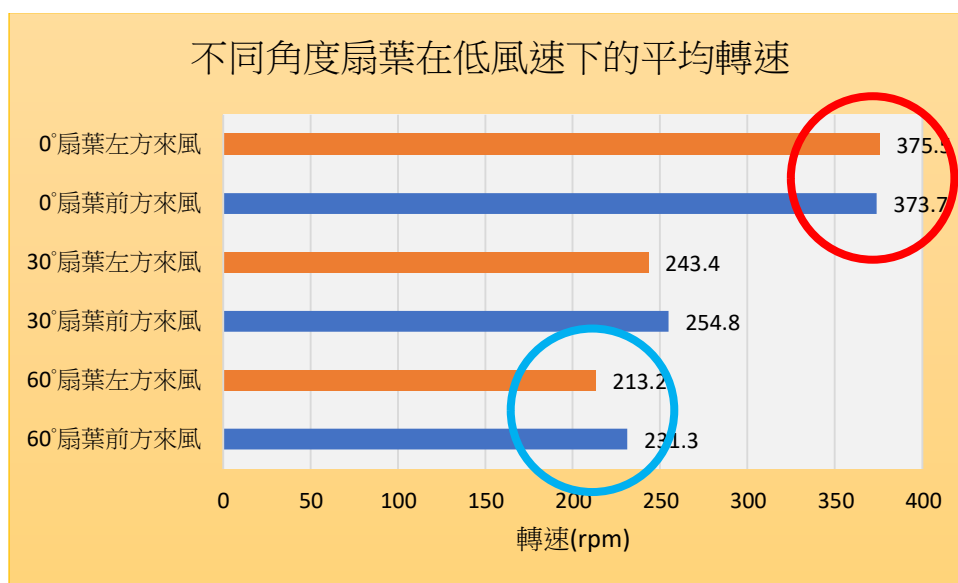


處的 e 點位置風速較為穩定，測量 9 個點位置，發現中心處 e 點風速會較高，且變異較小，四個角落風速較低。在距離風扇 10cm 至 50cm 間風速大致相同。為避免

纜車被風給吹動偏離位置，我們在進氣口底部牽拉兩條尼龍細繩，繫在纜車底部固定座上，風速越大繩子拉得越緊，底座越穩。



(四)實驗一：測量前方與左方高風速下，實驗二：測量後方與右側低風速下，分別得到以下圖：



結果：1.扇葉 0° 正向的受風面積大，不論高低風速，轉速接近。

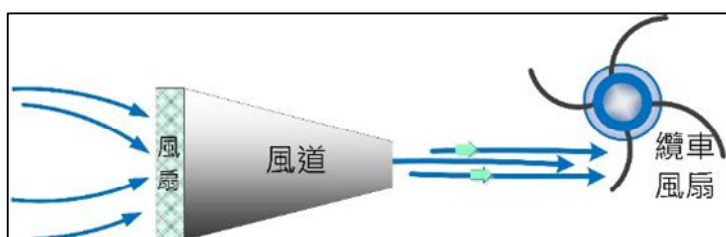
2.對 60°扇葉，則會有較大的變化。

六、實驗三：測量 0° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度

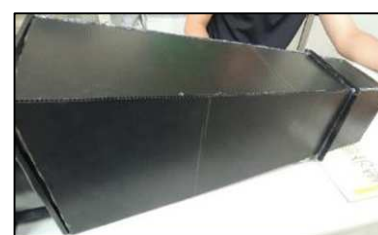
七、實驗四：測量 10° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度

八、實驗五：測量 20° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定高低速的行走速度

(一) 實驗三、四、五使用自製的「風道」實驗，其目的提高風速與穩定氣流來實驗，使風力纜車在行走時，風速由 5.6m/s 最高可提升至 7.4m/s，以調速器調整穩定的風力；方向控制：出風口吹向纜車的扇葉，使「風道」的風向中心位置對準扇葉右側垂直放置的固定位置。因為風力的一致，實驗數據較為穩定。



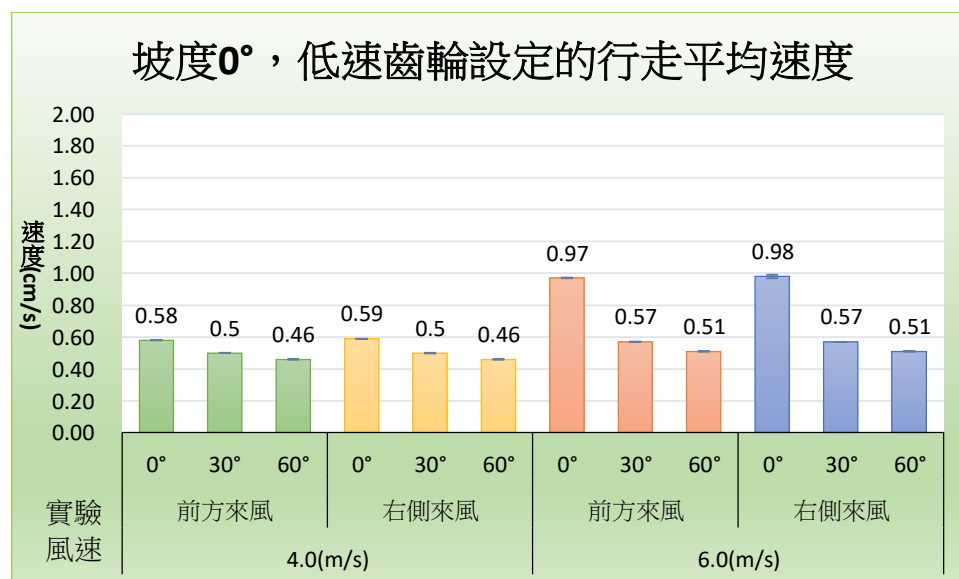
實驗裝置

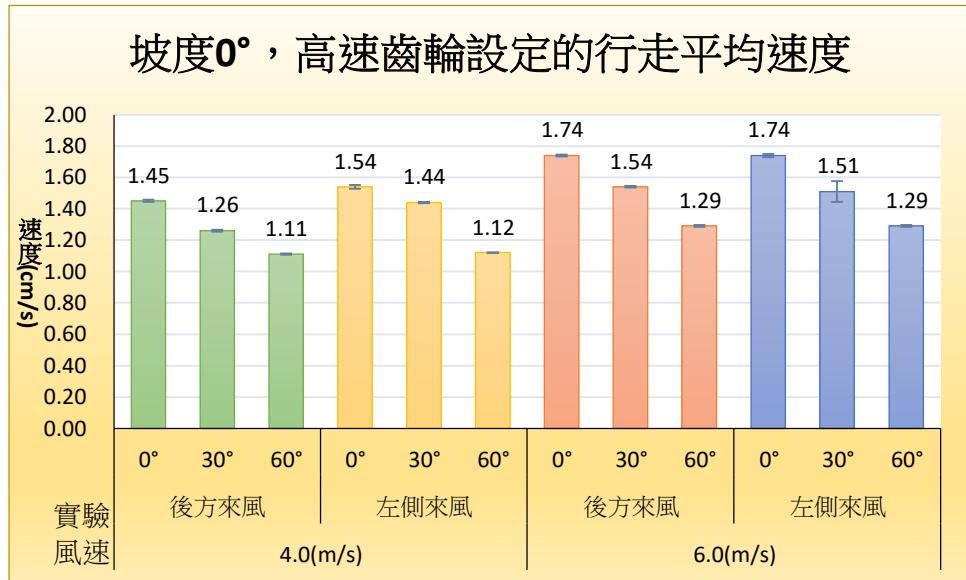


自製「風道」

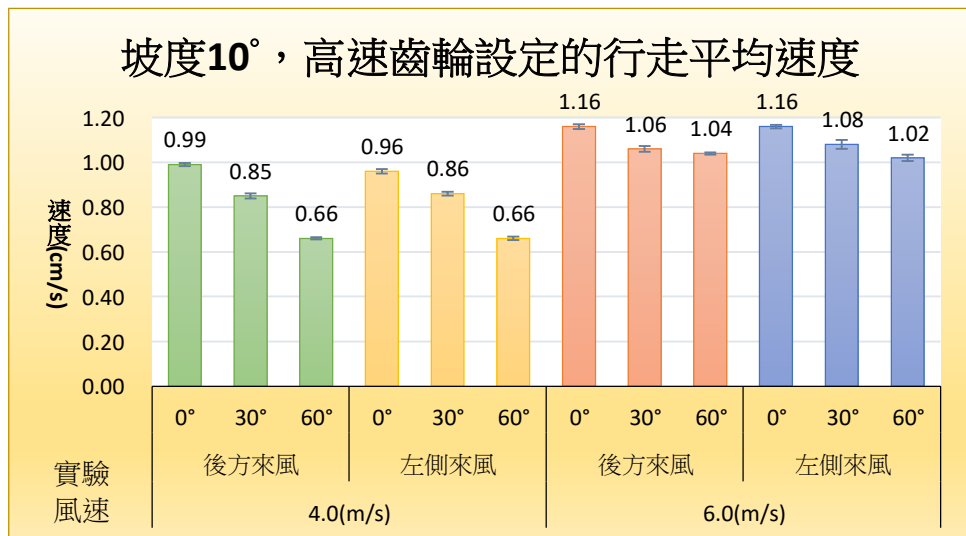
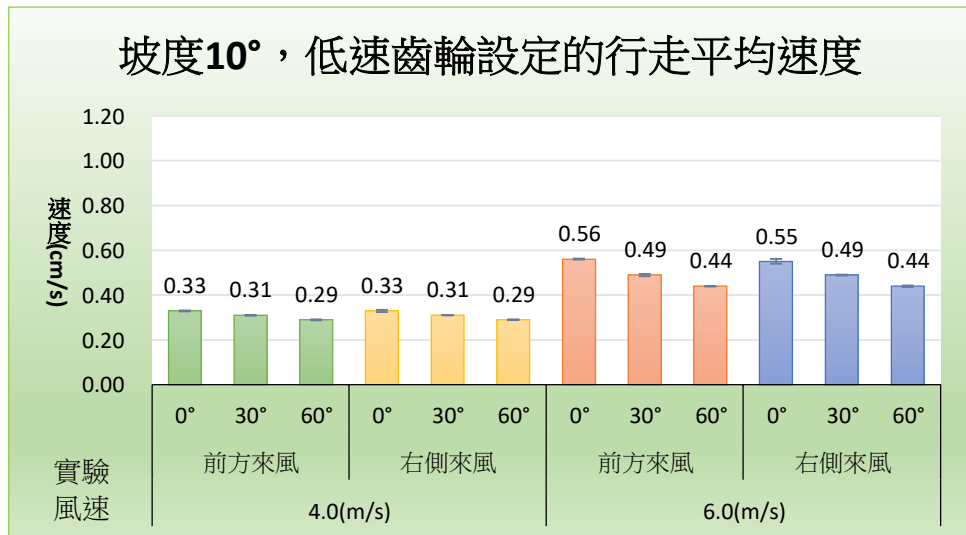
(三) 比較纜車在三種不同坡度的行走平均速度，

1. 坡度 0° 的比較：

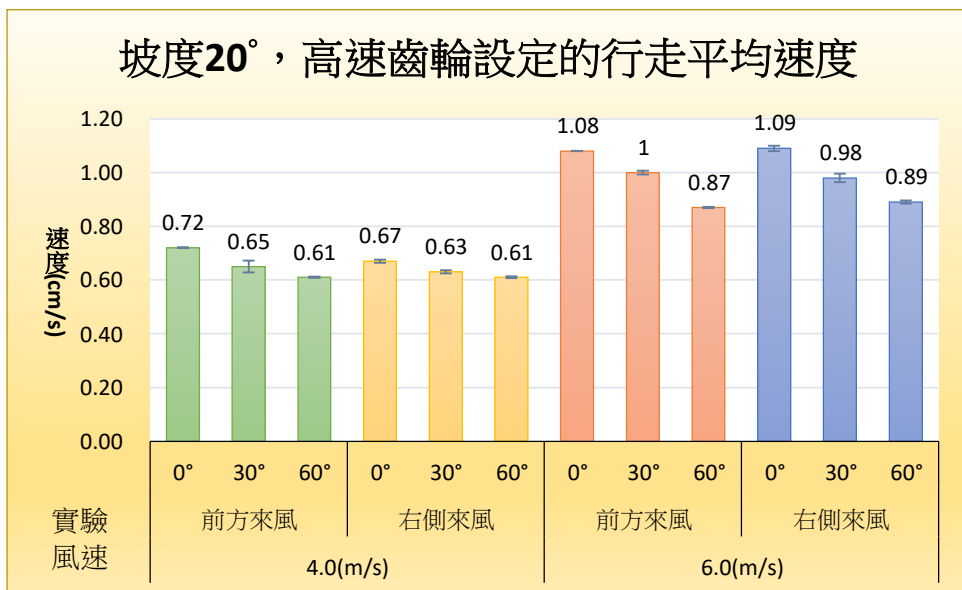
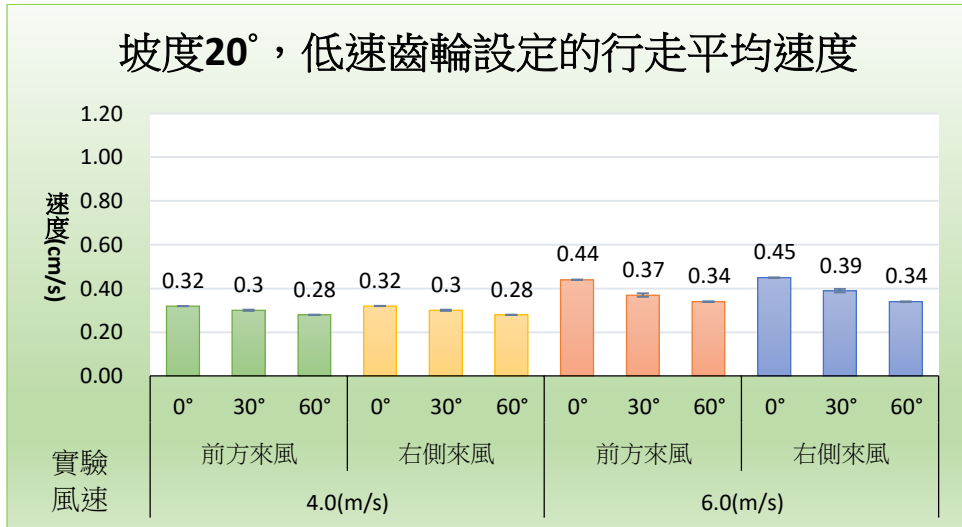




2.坡度 10°的比較：



3.坡度 20°的比較：



結果：將風力纜車放置於不同坡度下，測試以齒輪高低速設定，得到以上各組非常接近結果，顯示自製風力纜車確實可行。

九、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間

第四代改良後：本體重量 188.7g。風扇 46.0g，底座吊籃有 359.6g，在設定低速行走，上坡 10°下，附載 1900g，行走時間是 72.1s，換算速度 $20.0/72.1 = 0.28\text{cm/s}$ 。過高的附載難以行走，齒輪的契合處會滑開。

十、增能應用：發電儲能的增設

完成 3D 列印安裝發電機部分，風力發電論述與實驗甚多，本組另備資料說明。

柒、結論

我們以 3D 列印設計機構本體，並組合塑膠齒輪做成纜車，自製類低速風洞，提高風速避免亂流，完成實驗，作品經四次改善，具備以下功能：

1. 可以順、逆風行走，各方向吹來的風均可以利用
2. 纜車可以控制正反向行走
3. 空車無負載時可高速行走，以節省時間
4. 負載重量時可增加扭力並低速行走
5. 具煞車和減速功能
6. 在纜車停用且有風的情況下，也可儲存藉由風力產生的電能，以備無風狀況下使用，更貼近生活。

作品分別以自製類風洞，以強風 9.2m/s 與弱風 7.8m/s 對扇葉角度 0°、30°、60°測試；在 3.0mm 齒距皮帶上，以 6.0m/s 與 4.0m/s 「風道」穩定風速，完成 0°、10°、20°三種坡度測試，測試結果如下：纜車扇葉轉數與行走速度均呈現一致的規律。荷重實驗：在坡度 10°可以荷重 1,900g，有 0.28cm/s 的速度。。

未來展望：

研究過程中，發電機與運動機本體連結，造成重量增加，未來我們考慮將發電部分或儲電電池置於橋墩側，是我們近程目標：以減輕纜車載重，看看是否「橫流風扇」的效率是最高？希望未來可以找到最有效率的扇葉，能夠提高我們作品的效率。中程目標：齒輪組合的改善是一個不可中斷的過程，在材質上希望能用到質輕又堅固碳纖維，最後希望將乾淨的風能普及應用到日常生活各方面，減少因為製造能源而產生的汙染問題。

捌、參考資料

郭偉謙、高宗佑、李濤昀(2018)。3D 列印葉片對電力及風力生成的影響。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書。

關旂(2010) 分析單點校園氣象站歷年氣象資料時間序列 探究白雲山東側山谷風特徵。2010 年城市氣象感測網路在教育上的應用 專題論文彙編。

趙珩宇(2015)。科學實驗與科技實作的 3D 列印應用。科學研習 JAN 2015 No.54-135

小原齒輪工業株式會社(2014)。齒輪技術入門篇。台北市。3-9 頁。

道明中學。風力發電機。查詢日期：2019/10/02。網址：

http://www.mingdao.edu.tw/acaaff/facility/volunteer/green_room.pdf

周宇若(2009)。風力發電葉片與電風扇葉片的不同。查詢日期：2019/10/12。網址：

<https://www.pixnet.net/pcard/s90304a123/profile/info>

劉政熙，分離式空調機橫流扇相似定律之研究。碩士論文。國立臺北科技大學冷凍空調工程研究所，台北，2004。

羅振春(2006) 高山的氣候 行政院農業委員會林務局編印 Vol.32 No.2 2006.04。75 頁。

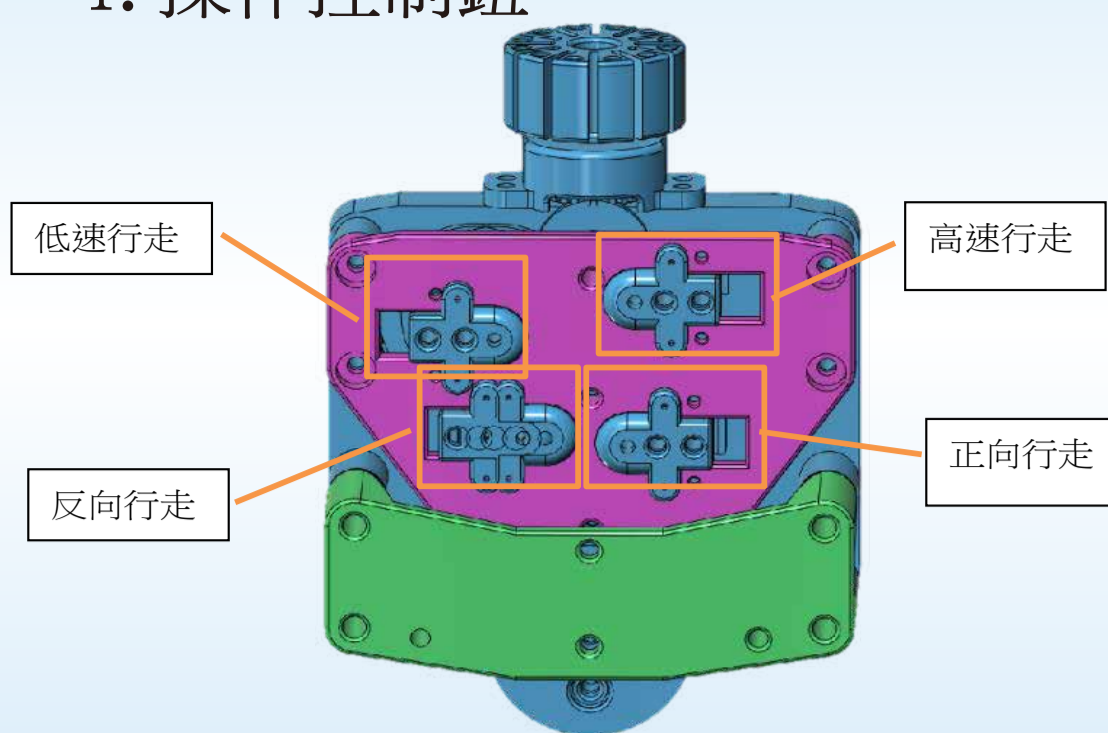
鄭正元等十人(2017) 3D 列印：積層製造技術與應用。新北市。全華圖書出版。

陳奕澄、賴鴻翔、劉晉璋(2016)。啟發式機件原理教學模組。全國小論文。查詢日期：2019/10/24。網址：<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/11/2016110721501583.pdf>

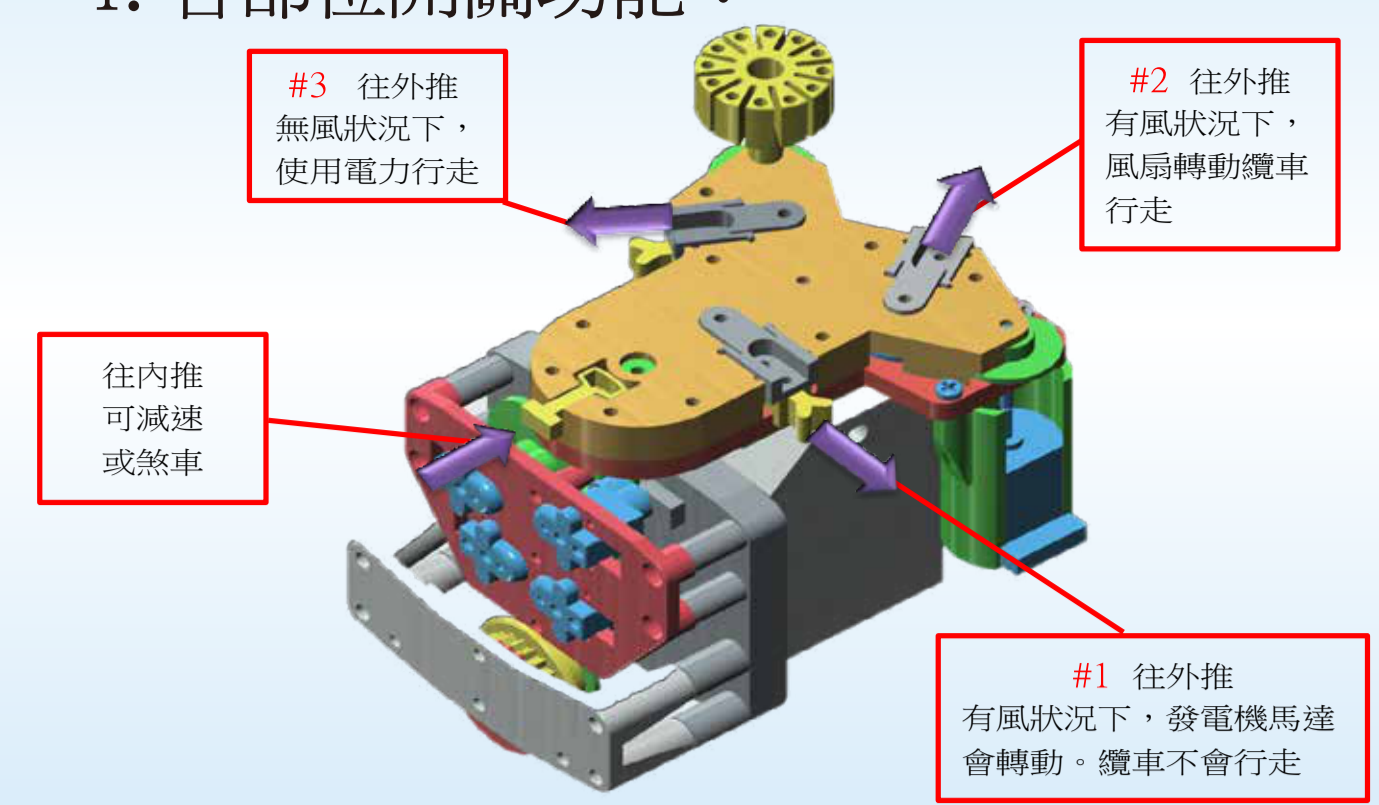
【評語】 032903

1. 針對纜車的實際應用，合適地設計操作變因。實驗的架構清楚，具有邏輯性。妥善分析實驗 1 結果，探討實驗數據背後的意義。
2. 自製類低速風洞，進行六項測試，最後並考量風力儲能裝置，內容豐富完整。
3. 本作品探討以不同方向風力為動力的自製纜車用來運輸之可行性，採用垂直式風扇，組合元件做成纜車，類低速風洞避免亂流，可以利用各方向吹來的風，可以發電並儲能，非常具有應用價值。
4. 雖纜車的基本結構是參考網路範例，但額外加入方向控制系統、行駛速度調節系統、和發電儲能系統，增加其實際應用可能性。

(三)運動部分的控制與操作說明：
1. 操作控制鈕

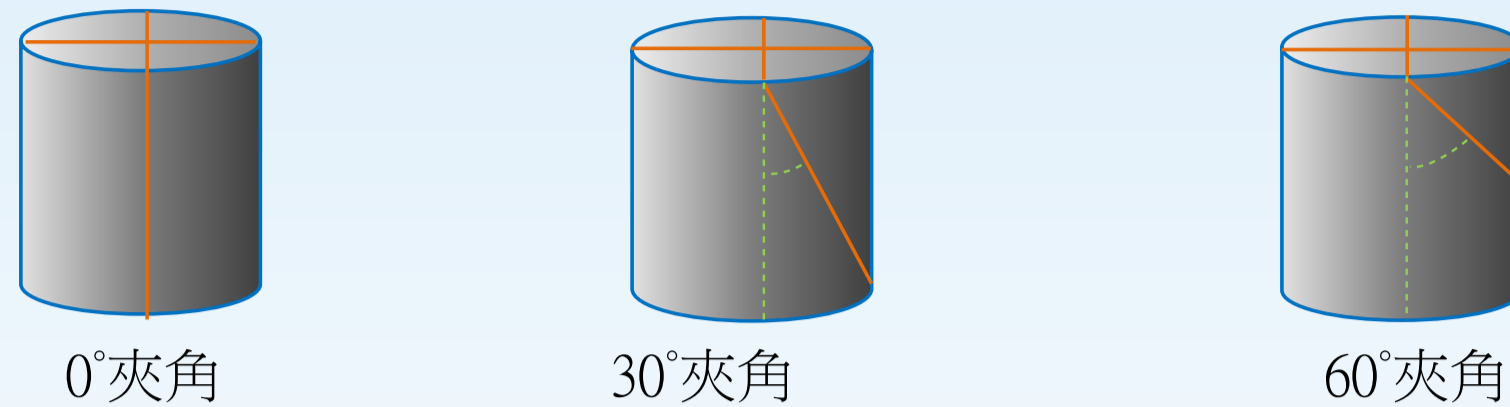


(四)第4代增加發電儲能機構與煞車功能：
1. 各部位開關功能：

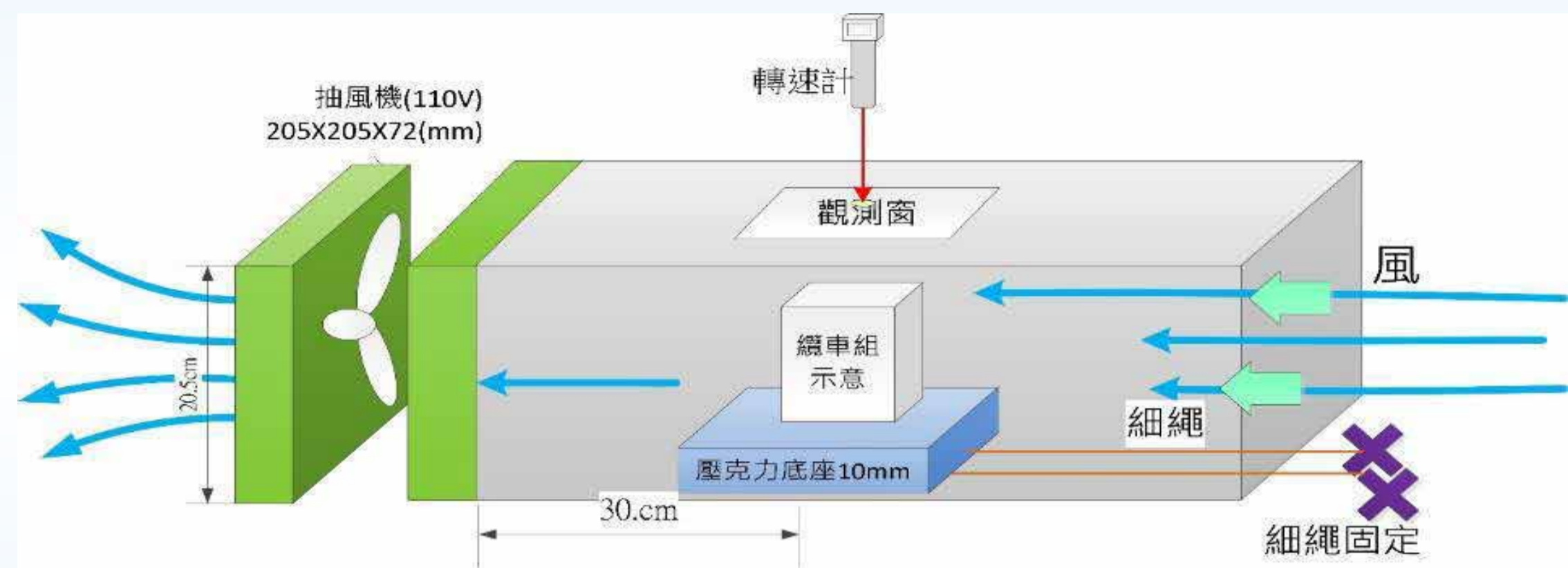


三、實驗一：測量前方與左方高風速下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速

- (一)扇葉條件：4片、弧長7.0cm、硬質寶特瓶材質。
- (二)以平行固定柱為0°夾角標準，製作30°和60°的扇葉夾角，做成風扇組，如下示意圖。



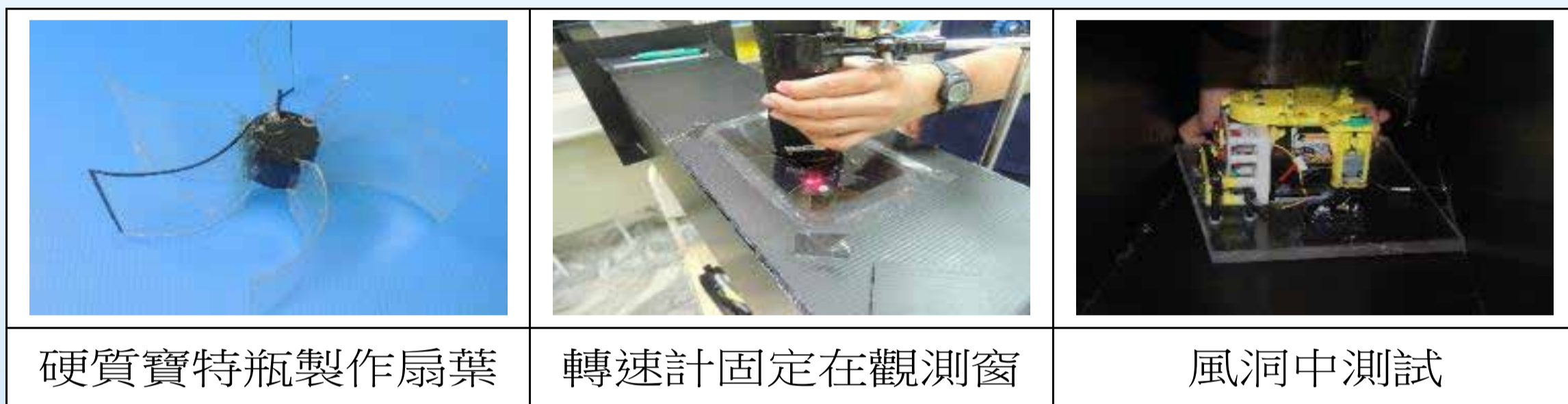
(三)實驗準備：風速9.2 m/s。



(四)開始測量：利用測速器測量進行3次重複實驗。

四、實驗二：測量後方與右方低風速下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速

- (一)將固定纜車的壓克力轉向，即原前端移作後端，放置安穩。
- (二)實驗方法同實驗一。纜車風扇組以風速7.8 m/s，測試3種角度扇葉。



五、實驗三：測量0°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

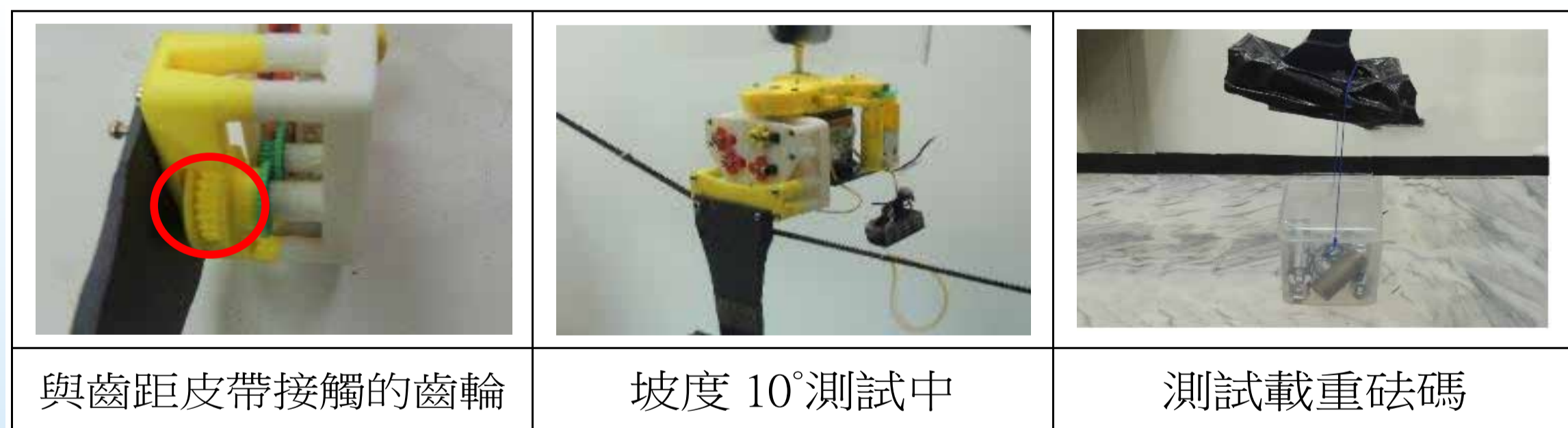
- (一)條件設定製作：
 - 以萬用角座架設好兩端固定位置。
 - 以黑色3.0 mm齒輪皮帶做軌道，固定行走距離為20.0 cm，做好記號，再以手機APP氣泡水平儀確認水平(提供Gamma Play 1.1版)。
 - 風扇：以捲尺測量出風口位置在纜車前100 cm，以調速器確認風速為4.0 m/sec與6.0 m/sec，「風道」的風向中心位置對準扇葉右側垂直放置的固定位置。
 - 放置安穩：確認纜車上與3.0 mm齒距皮帶的齒輪有嚙合。
- (二)纜車風扇組以風速6.0 m/s與4.0 m/s，測試3種角度扇葉。
- (三)利用計時器測量，進行3次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。

六、實驗四：測量10°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

七、實驗五：測量20°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

八、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間

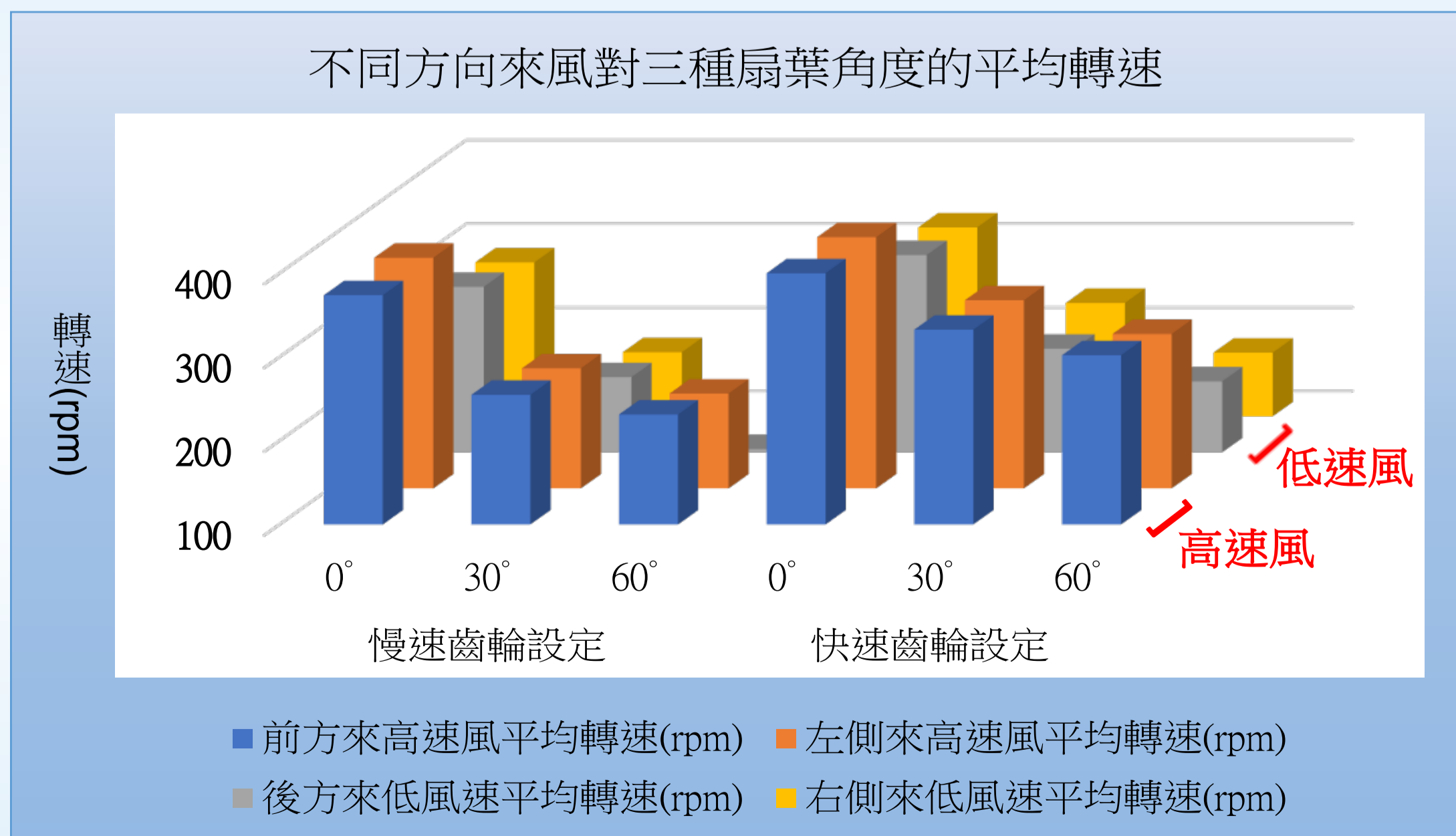
- (一)條件設定與製作：
 - 纜車荷重設定為低速，下方吊放不同配重的砝碼，每次增加100gw不等重量。
 - 用逆風由上往下，風速7.0 m/s，由後方向前方吹。
 - 坡度10°的軌道安裝。同前實驗四。
 - 4片扇葉，弧長7.0 cm實驗。(參考107年《逆風而上》作品)



伍、研究結果

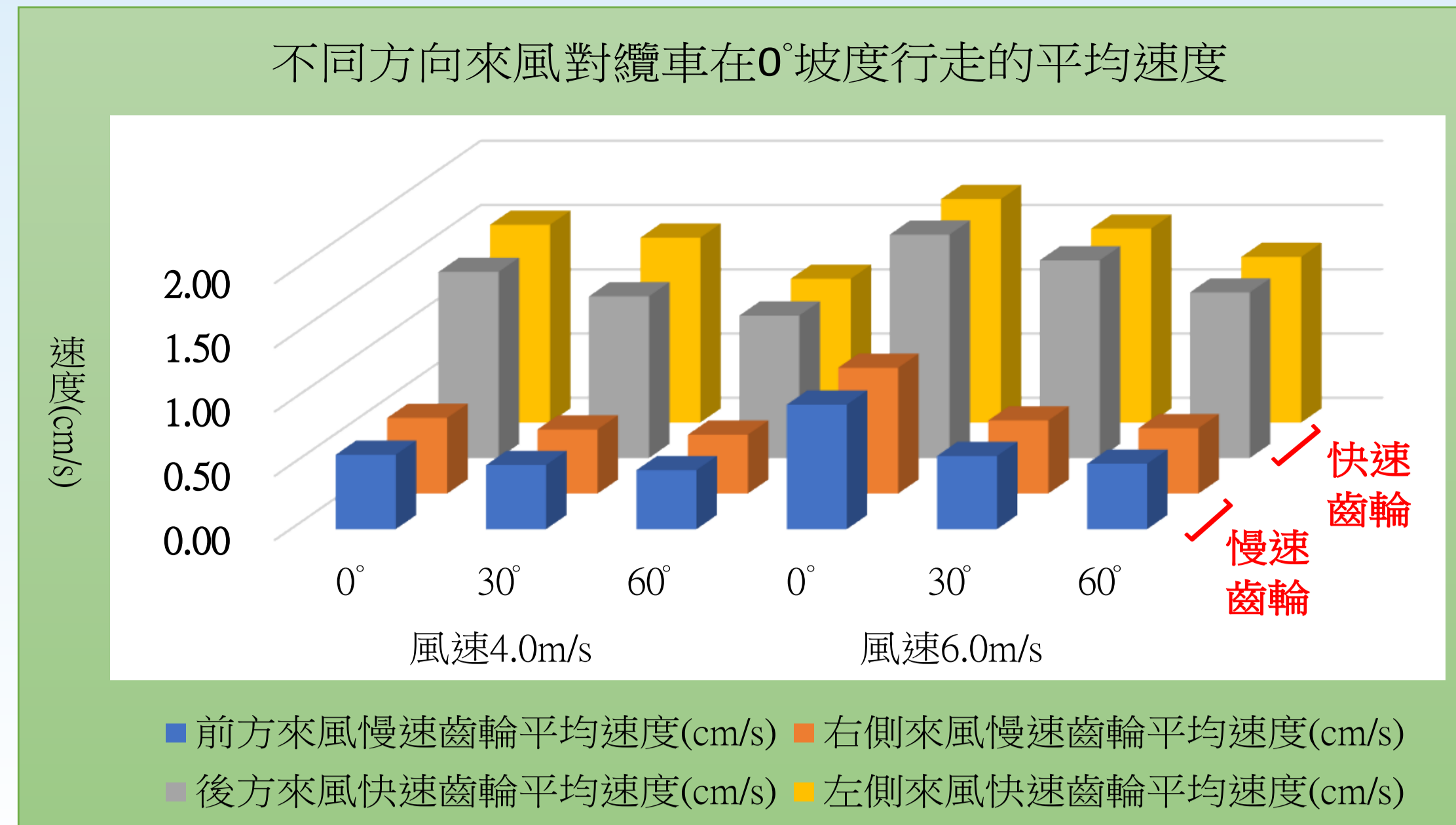
一、實驗一：測量前方與左方高風速下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速(3次平均)

二、實驗二：測量後方與右側低風速下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速(3次平均)



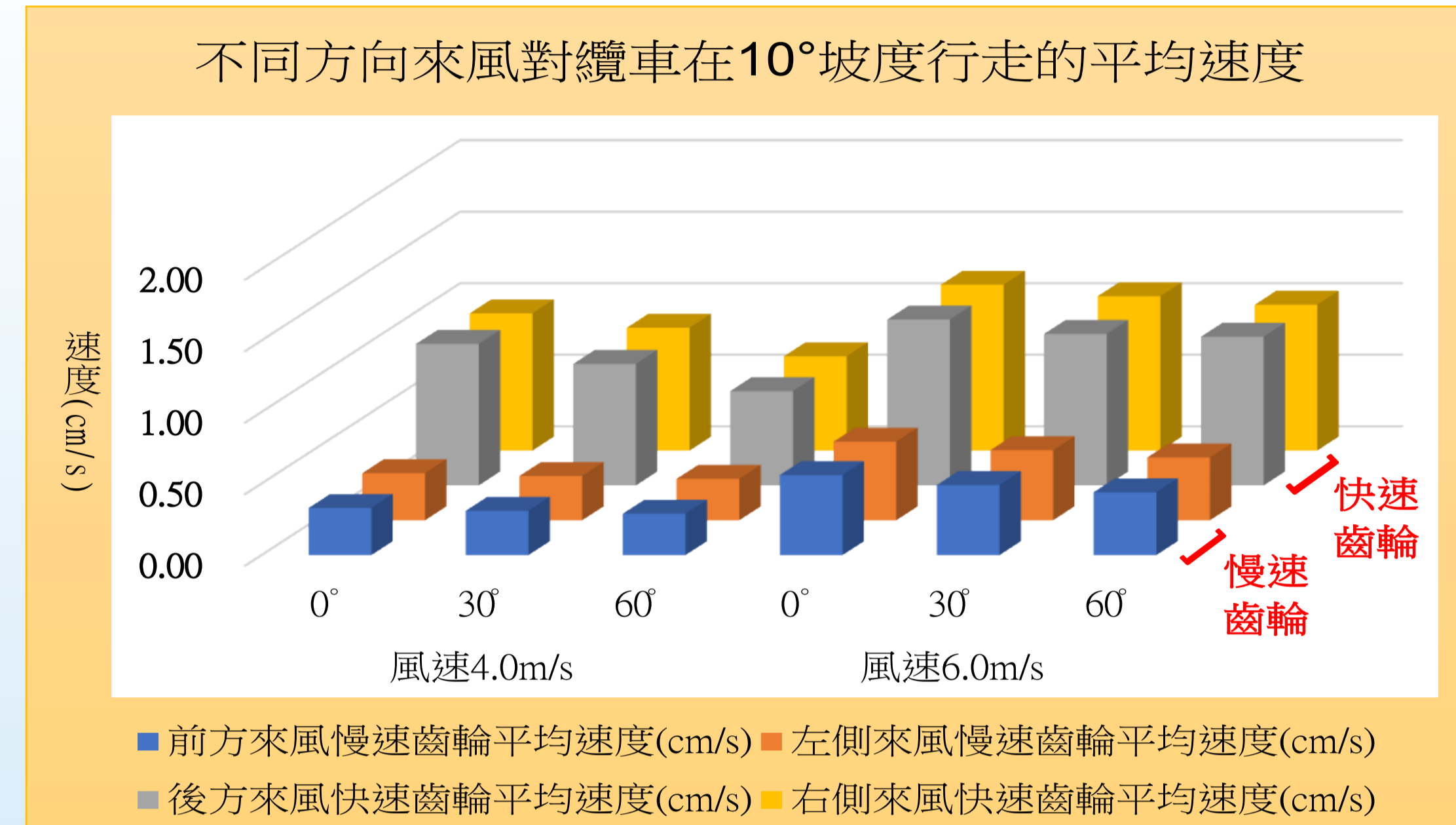
結果：1. 前方來風與左側來風測試結果，兩者的實驗結果相當一致。
2. 齒輪設定快速行走，較設定慢速轉速快。
3. 正面迎風的扇葉有較高轉速 0° > 30° > 60°。

三、實驗三：測量0°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度(3次平均)



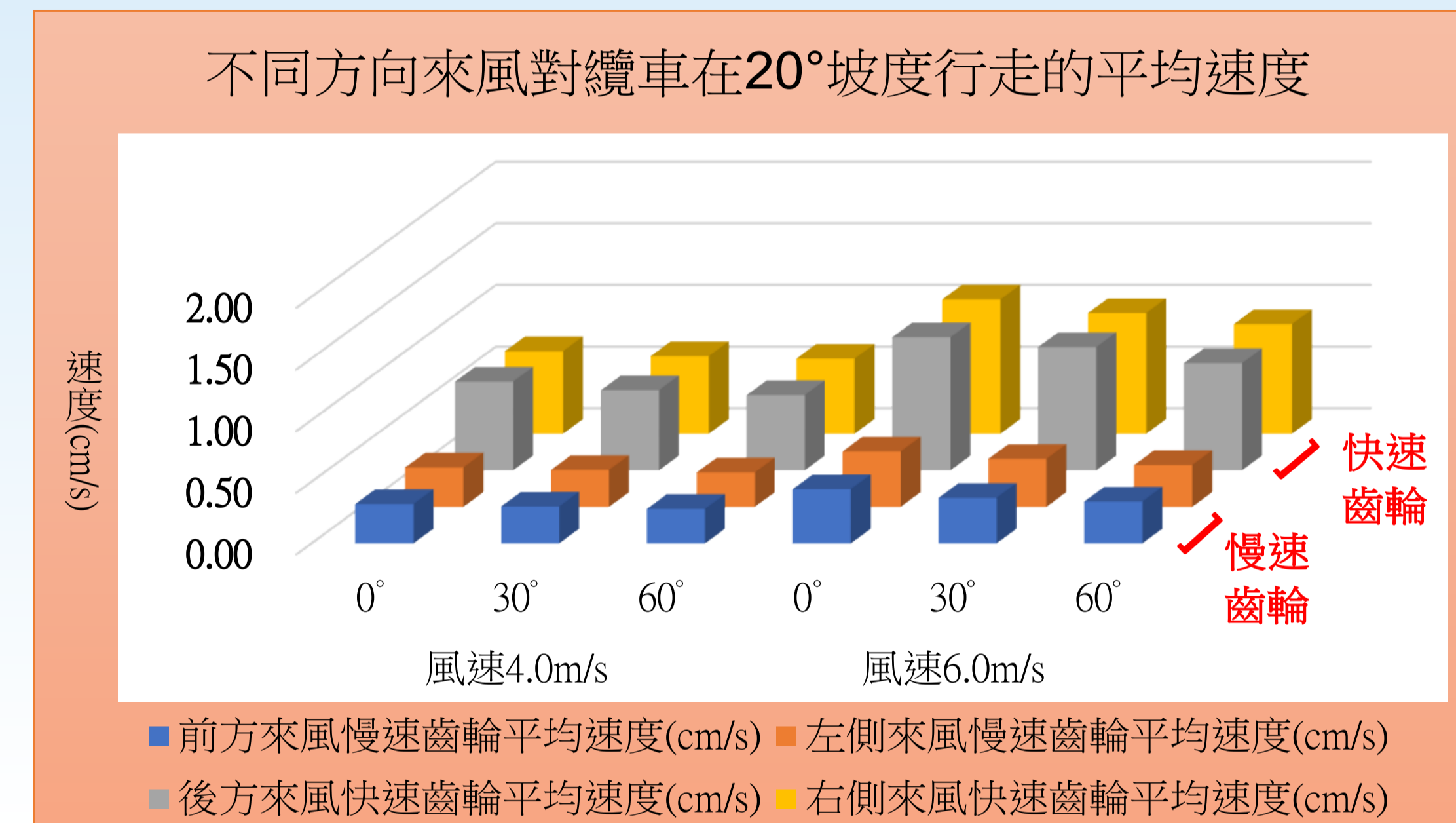
結果：坡度0°下，扇葉0°明顯有較高行走速度，且0° > 30° > 60°。

四、實驗四：測量10°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度(3次平均)



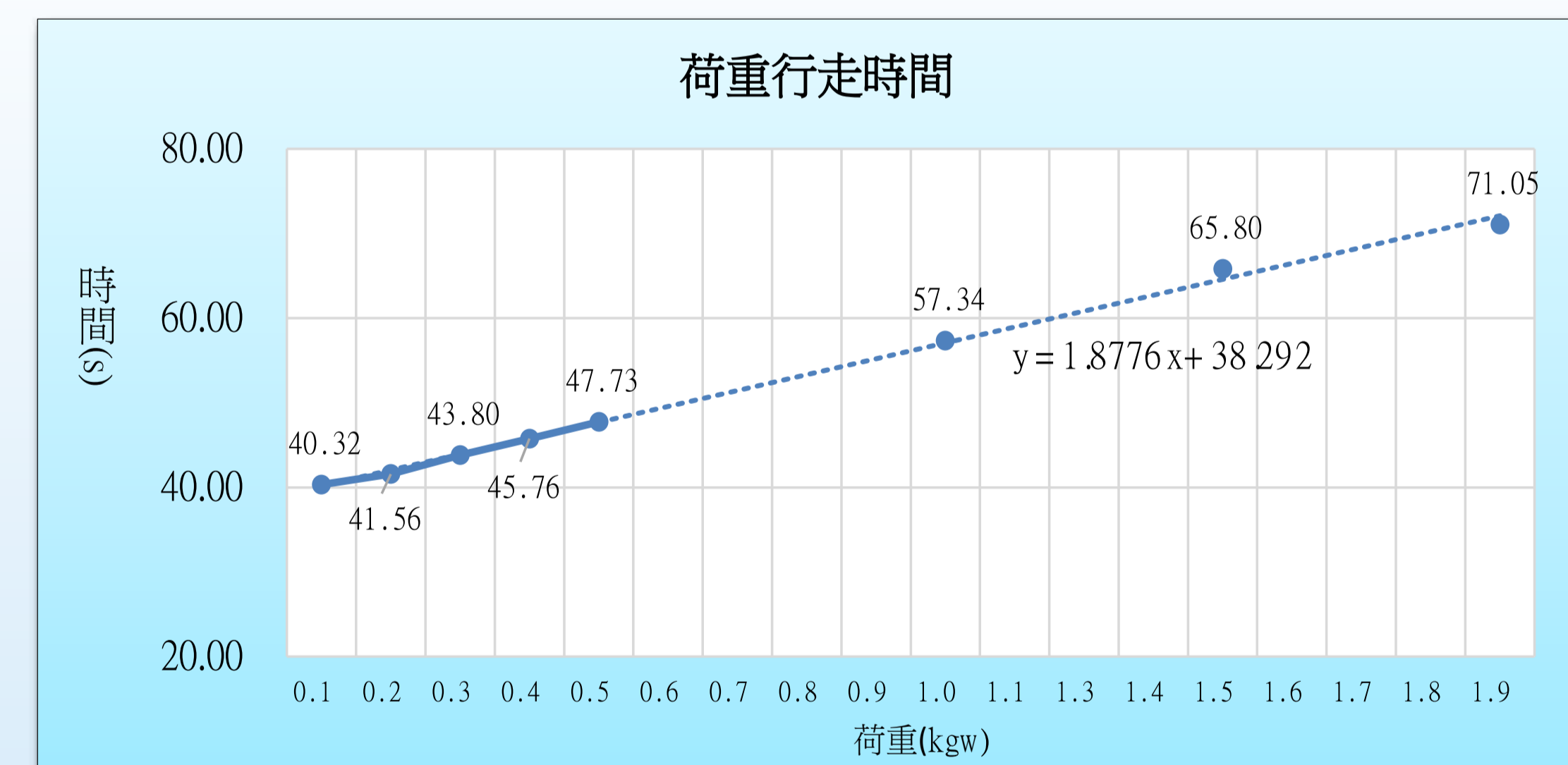
結果：在坡度10°下，高速風較低速風的行走速度快，且較明顯。

五、實驗五：測量20°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度(3次平均)



結果：在坡度20°下，測試的結果行走速度較小且較為接近。

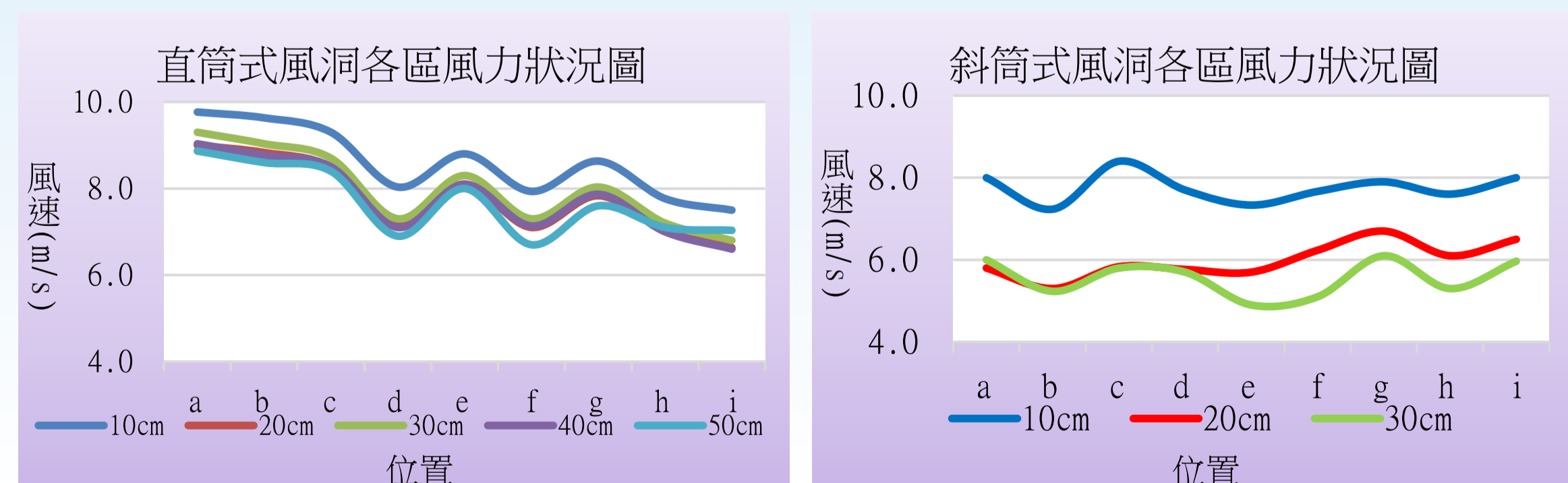
六、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間



※測試最高重量1.9Kg，行走需時71.05 s，速度0.28 cm/s。

陸、討論

一、工欲善其事，必先利其器：本組自製了3種風洞，使用扇葉機械式的風速計測量，分別測量其各段風速，結果如下兩圖：

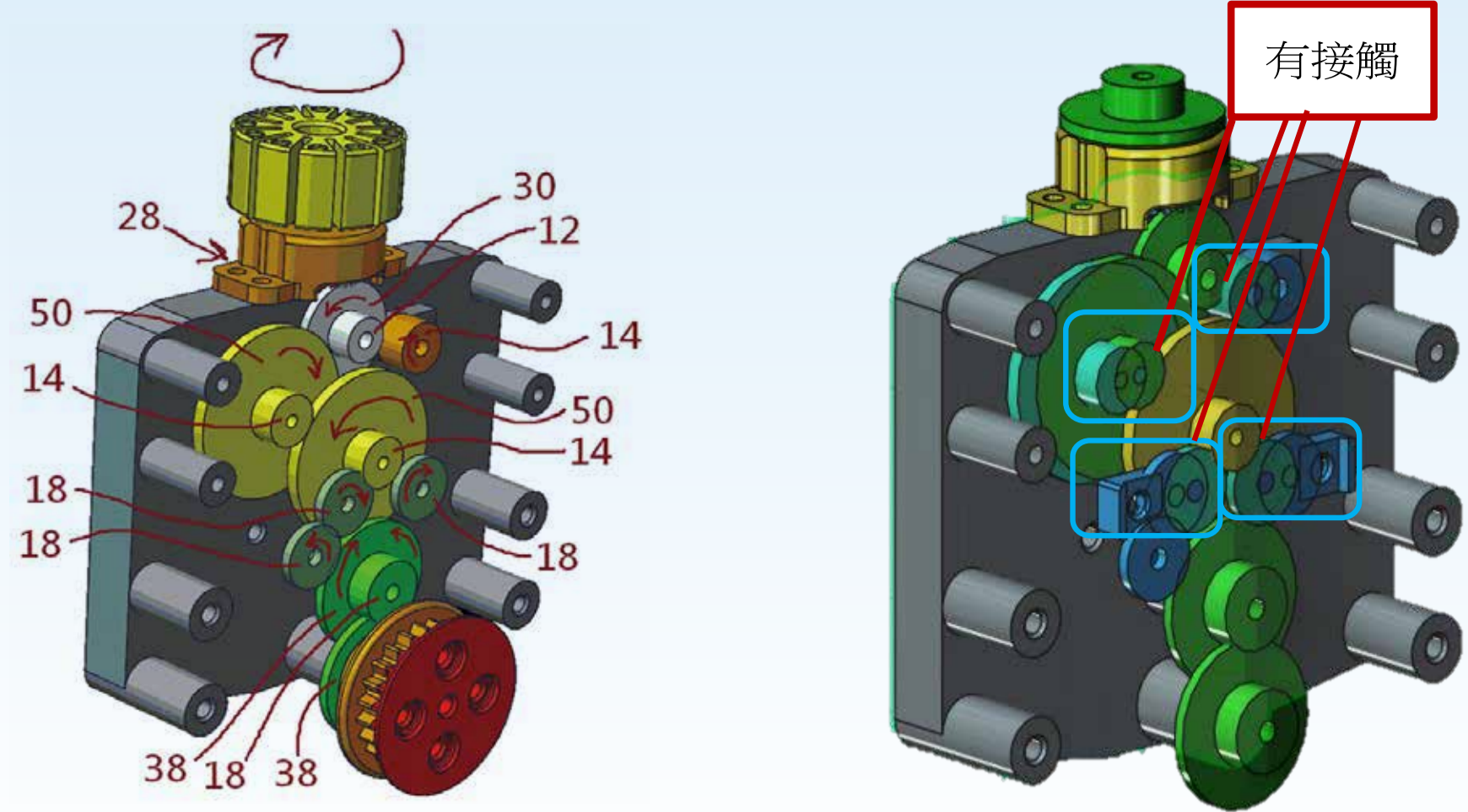


以上左圖為例，a、b、c三處風力較高，檢查後發現風道左上有縫隙，造成氣流外洩，以致偏高，上右圖的風力不對稱風速不穩，以上經拆散再重新加強結構，避免因抽風造成變形或外漏，反覆測試至正常。

二、風力纜車的製作，是以3D模型列印完成，一共歷經4代改良，如下表：

改善經過	使用功能
第1代	受不同方向風力後，纜車會單向移動
第2代	風力纜車可以控制正、反雙向行走，大齒輪比，荷重能力佳
第3代	1. 具有空車無負載時的高速行走功能，以節約時間 2. 具有可增加扭力的低速行走功能，以提高負載重量
第4代	1. 具停止狀況煞車和行進中可減速功能 2. 在纜車停用或行進中，可發電儲能，以備無風狀況下使用

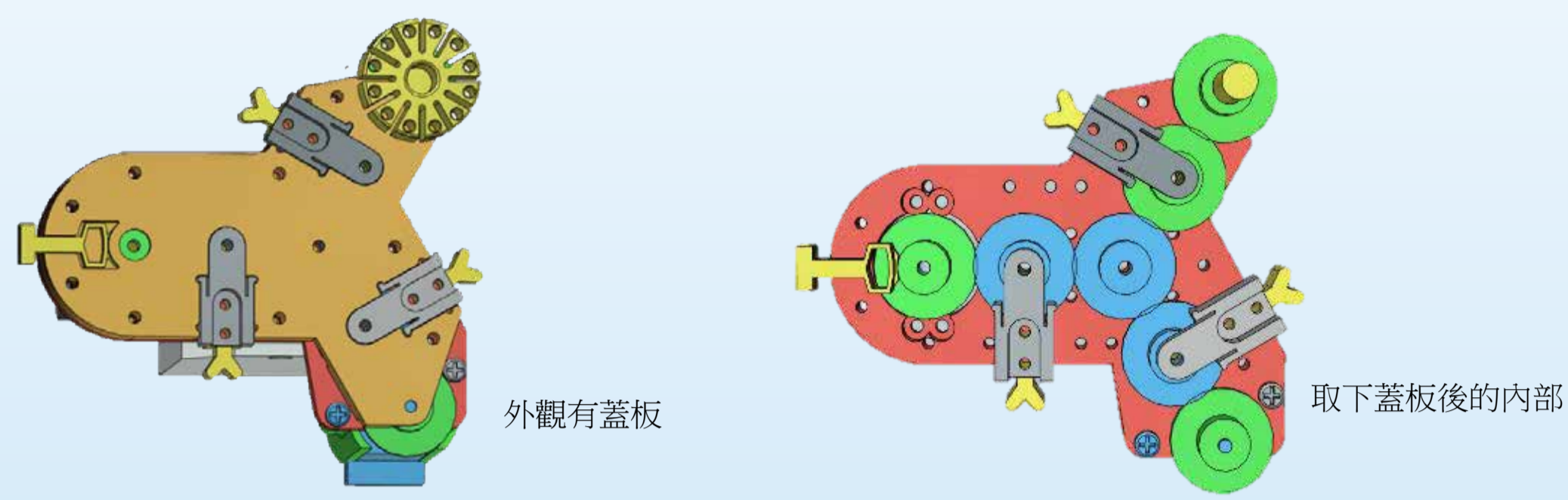
本實驗所使用的齒輪兩種運動方式，在快、慢速行走與正、反向行走，則以手動的方式來控制齒輪離合，如左圖控制器對照右圖的齒輪：



第3代的運動部分設計組合，其重點除維持在可以正反向行走，再增加快、慢速，可以在不同荷重時，有更高的效率，所以在設計上考慮以兩種方式組合：兩種齒輪比，如下：

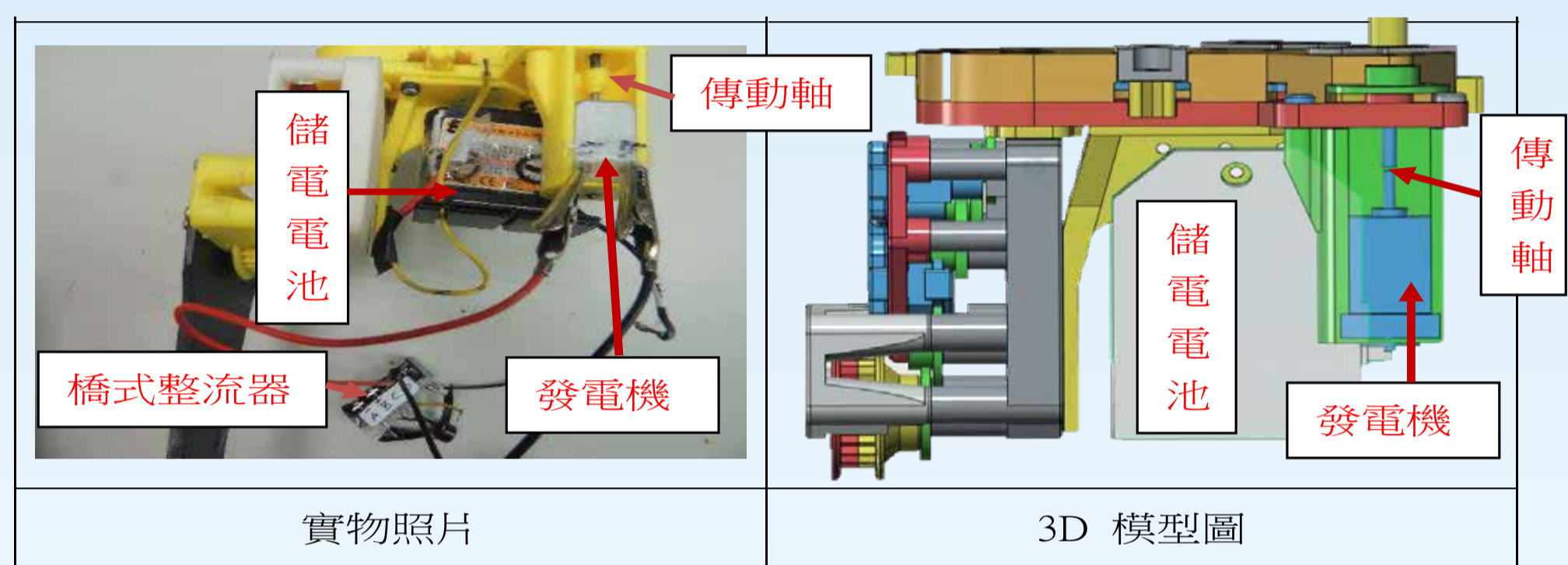
$$\text{快} = \frac{30}{28} \times \frac{50}{12} \times \frac{38}{14} \times \frac{38}{18} \quad \text{慢} = \frac{30}{28} \times \frac{50}{12} \times \frac{50}{14} \times \frac{38}{14} \times \frac{38}{18}$$

第4代的運動部分要配合新增減速、發電及儲能，故將風扇外移，使用7個齒輪以1：1大小傳動，如下圖，使具有四個控制開關：



三、發電部分：

(一)下面圖示，發電與儲電的裝置。



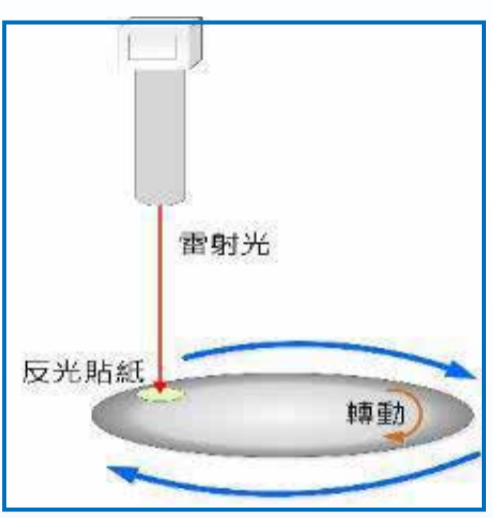
風洞內齒輪快慢實驗

四、實驗一：測量前方與左方高風速下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速

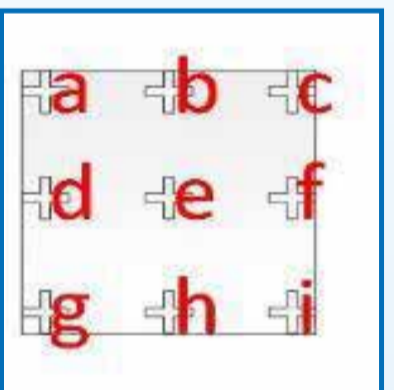
五、實驗二：測量後方與右方低風速下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速

(一) 實驗一、二使用自製的風洞實驗，其目的提供一個有穩定氣流的環境來實驗。初期以保特瓶製作扇葉，當風速較高時，會使扇葉變形，以致實驗數據產生較大的誤差，為改善此問題，我們找到硬質且較厚的寶特瓶製作扇葉來做實驗。

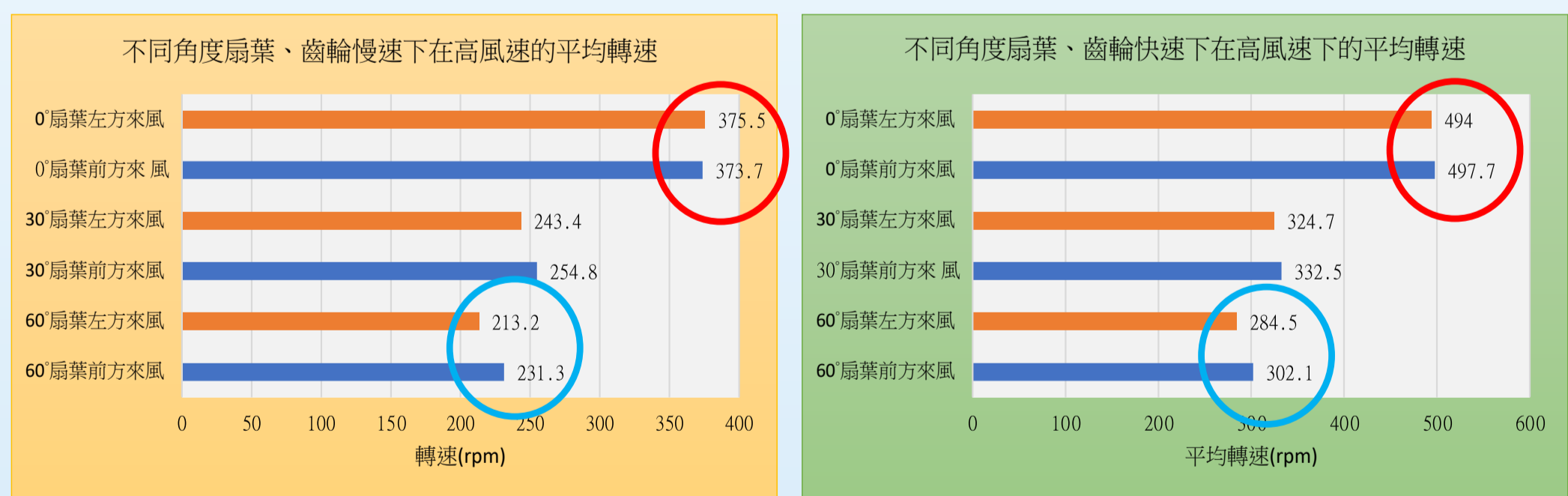
(二) 本實驗使用的轉速計，以光學原理，先發射光線後，照射扇葉邊緣處的銀色貼紙，當風扇轉動，非連續反射光，會被偵測到感測時間的間隔，待轉速穩定即能得知轉速；若反射片離中心點太近，則反射光是連續光，無法測得轉速。



(三) 實驗僅測量相鄰直角的兩組數據，是因為被測試物，具「對稱性」結構，且橫流風扇，可接受各方來風，所以同一條件下測量兩組相鄰的不同方向來風；在風洞裡是同方向的風，所以左右轉動纜車的固定底座方向。測量9個點位置，發現中心處e點風速會較高，且變異較小，4個角落風速較低。



(四) 實驗一：測量前方與左方高風速下，得到以下圖：



結果：1.扇葉0°正向的受風面積大，不論高低風速，轉速接近。
2.對60°扇葉，則會有較大的變化。

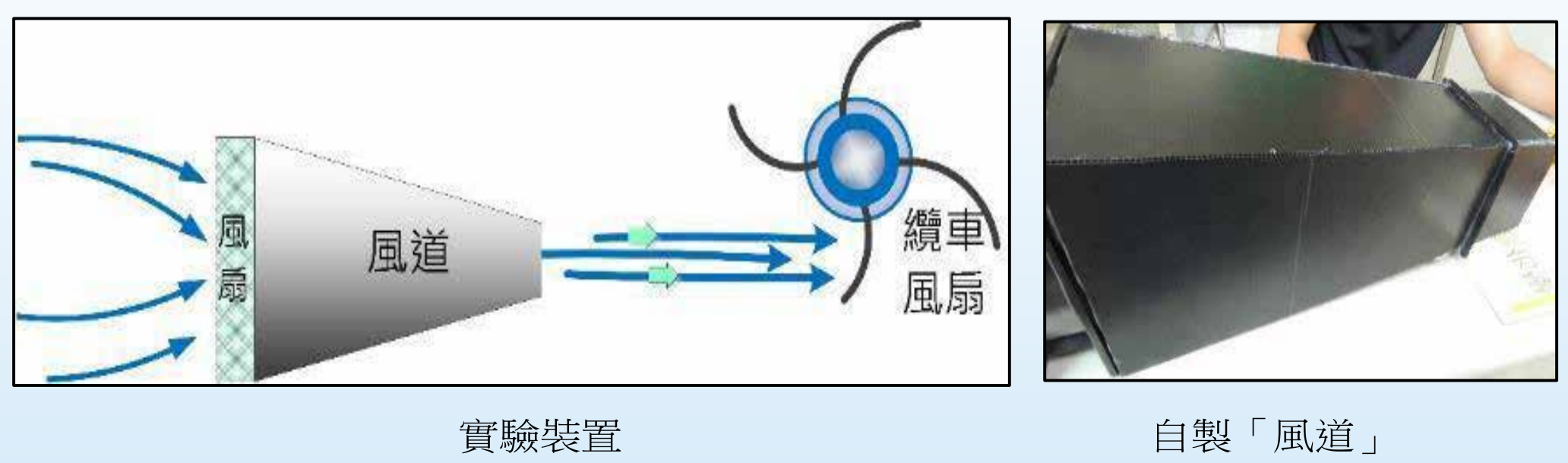
不同坡度下齒輪設定快慢實驗

六、實驗三：測量0°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

七、實驗四：測量10°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

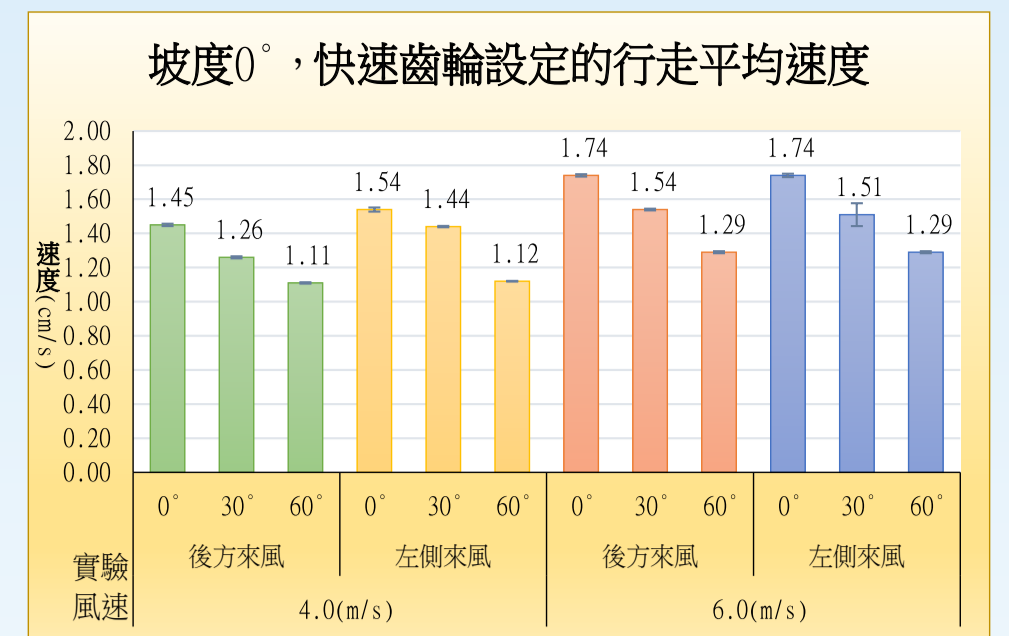
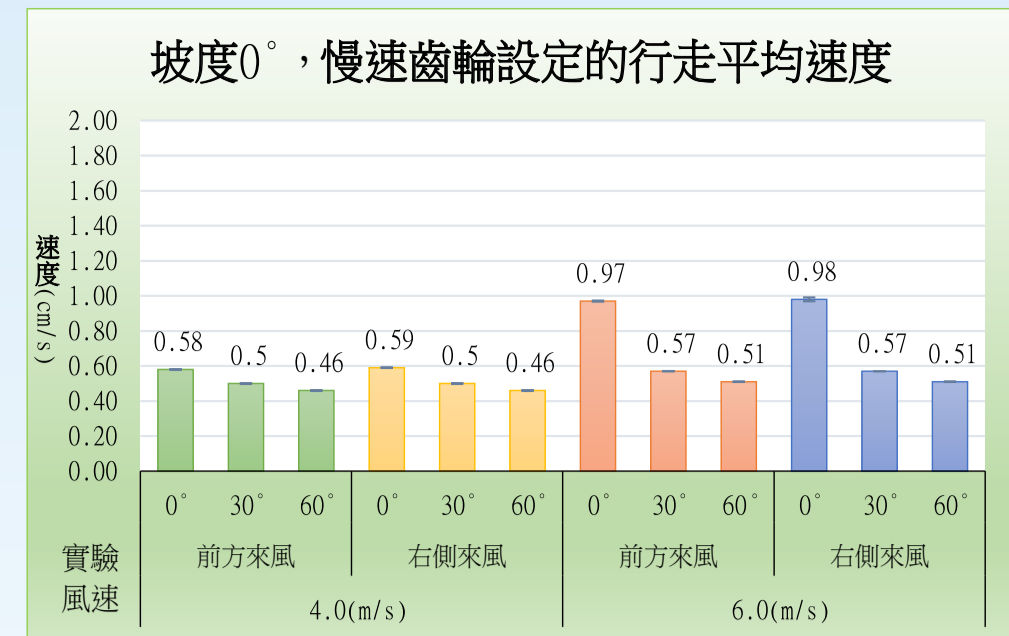
八、實驗五：測量20°坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

(一) 實驗三、四、五使用自製的「風道」實驗，其目的提高風速與穩定氣流來實驗，使風力纜車在行走時，風速由5.6 m/s最高可提升至7.4 m/s，以調速器調整風速，使氣流穩定；方向控制：出風口吹向纜車的扇葉，使「風道」的風向中心位置對準扇葉右側垂直放置的固定位置。因為風力的一致，實驗數據較為穩定。

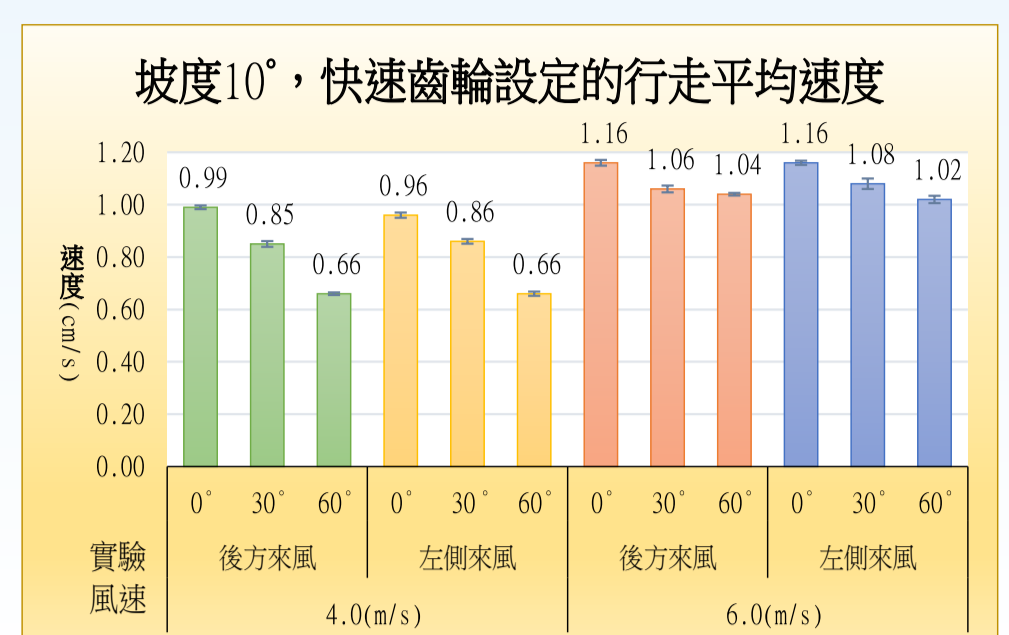
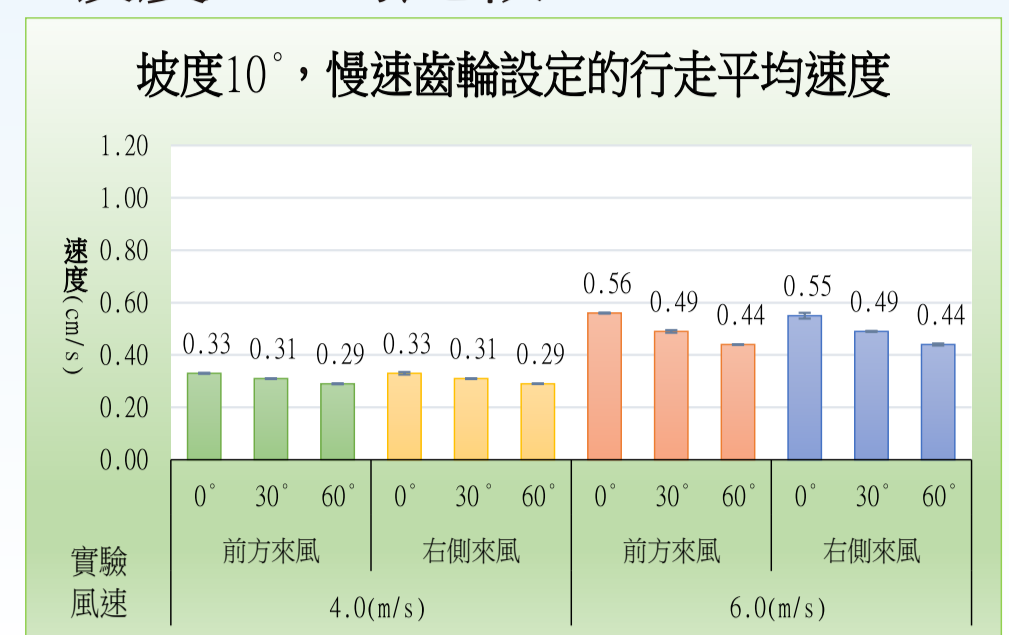


(二)比較纜車在3種不同坡度的行走平均速度

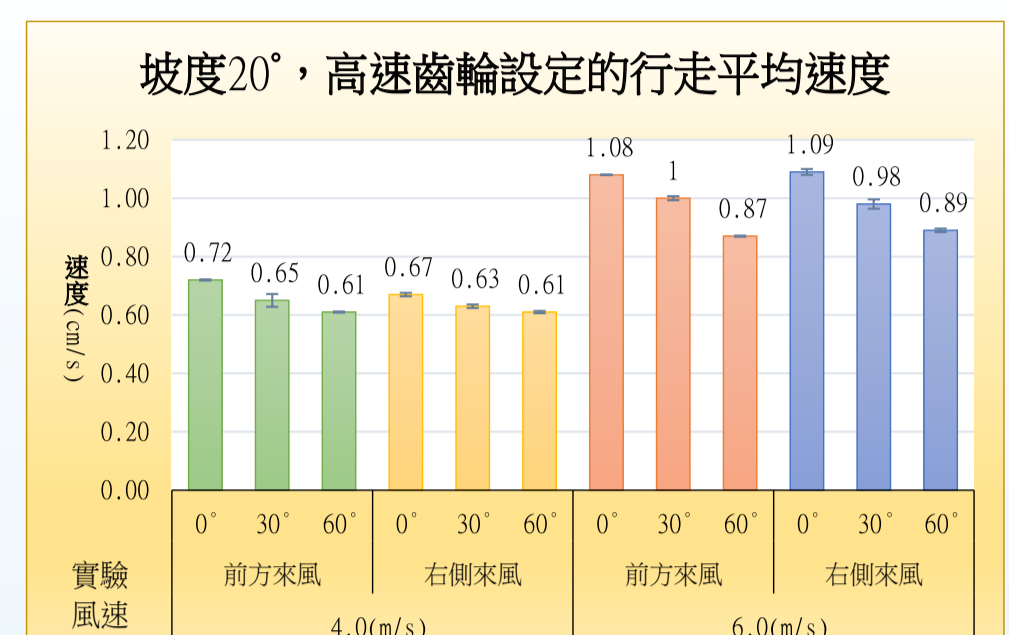
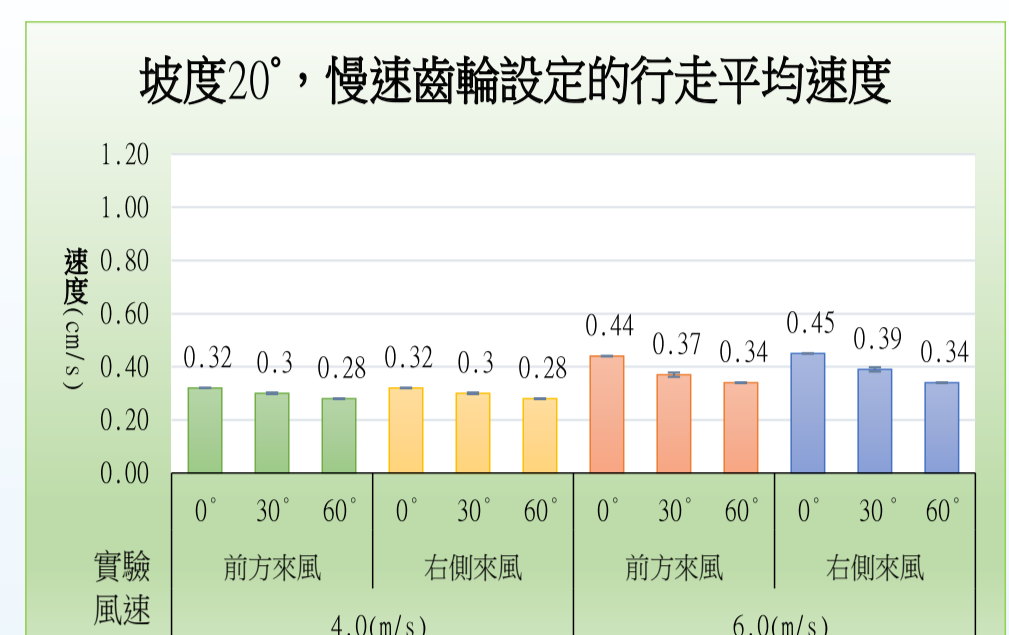
1.坡度0°的比較：



2.坡度10°的比較：



3.坡度20°的比較：



結果：將風力纜車放置於不同坡度下，測試以齒輪快、慢速設定，得到以上各組非常接近結果，顯示自製風力纜車確實可行。

九、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間

第4代改良後：本體重量188.7 gw。風扇46.0 gw，底座吊籃有359.6 gw，在設定慢速行走，上披10°下，附載1,900 gw，行走時間是72.1s，換算速度20.0/72.1 = 0.28 cm/s。過高的附載難以行走，齒輪的啮合處會滑開。

十、增能應用：發電儲能的增設

完成3D列印安裝發電機與儲能部分，為未來展望實驗。

柒、結論

一、我們以3D列印設計機構本體，並組合塑膠齒輪做成纜車，作品經4次改善，實驗一~二以自製類低速風洞，提高風速避免亂流，完成基礎測試；

實驗一	測量前方與左方高風速下	扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速
實驗二	測量後方與右方低風速下	

結論：扇葉0°正向的受風面積大，快或慢齒輪設定相同時，各在高風速或是低風速的不同方向來風，測試扇葉的轉速在高風速下僅有0.48%~0.75%差異，顯示纜車風扇不受風向的影響，可接受各方來風。

二、實驗三~五為纜車在不同坡度、風向、風速與齒輪設定快慢條件下的測試。

實驗三	測量0度坡度	在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度
實驗四	測量10度坡度	
實驗五	測量20度坡度	

結論：風力纜車於不同坡度、不同風向與風速下，齒輪設定快、慢速分別測試，得到各組完全無差異有50.0%，且其總平均差異1.58%，顯示自製風力纜車確實可行。

三、實驗六之荷重實驗：在坡度10°可以荷重1.9 kgw，有0.28 cm/s的速度。

四、完成作品具以下功能：

- 1.各方向吹來的風均可以利用
- 2.纜車可以控制正向或反向行走，且具有煞車和減速功能
- 3.空車無負載時可快速行走，以節省時間，慢速行走時，扭力增加，可負載重量
- 4.在有風的情況下，在停止或行進中，可發電並儲存所產生的電能，以備無風狀況下使用，更具實用性。

未來展望

研究過程中，發電機與運動機本體連結，造成重量增加，未來考慮將發電部分或儲電電池置於橋墩側以減輕纜車載重。

近程目標：找出比「橫流風扇」更高效率的扇葉。

中程目標：齒輪組合機構的改善是一個不可中斷的過程，在材質上希望能用到質輕又堅固碳纖維。

最後希望將乾淨的風能普及應用到日常生活各方面，減少因為製造能源而產生的汙染。

捌、參考資料

- 郭偉謙、高宗佑、李濤均(2018)。3D列印葉片對電力及風力生成的影響。中華民國第58屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 關旂(2010)分析單點校園氣象站歷年氣象資料時間序列 探究白雲山東側山谷風特徵。2010年城市氣象感測網路在教育上的應用 專題論文彙編。
- 趙珩宇(2015)。科學實驗與科技實作的3D列印應用。科學研習 JAN 2015 No. 54-135
- 小原齒輪工業株式會社(2014)。齒輪技術入門篇。台北市。3-9頁。
- 周宇若(2009)。風力發電葉片與電風扇葉片的不同。查詢日期：2019/10/12。網址：<https://www.pixnet.net/pcard/s90304a123/profile/info>
- 劉政熙，分離式空調機橫流扇相似定律之研究。碩士論文。國立臺北科技大學冷凍空調工程研究所，台北，2004。
- 羅振春(2006) 高山的氣候 行政院農業委員會林務局編印 Vol.32 No.2 2006.04。75頁。
- 鄭正元等十人(2017) 3D列印：積層製造技術與應用。新北市。全華圖書出版。

作品已申請新型專利案號：109209009