

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080104

I can fly~從穩定性探討物體飛翔的秘密

學校名稱：桃園市桃園區中山國民小學

作者： 小六 丁竣翊 小六 莊英宥 小六 林沛然 小五 曾繁軒 小六 宋昀真	指導老師： 林文鄉
---	--------------

關鍵詞：穩定性、重心、展弦比

摘要

從飛行穩定性來探討物體的飛翔，發現翼面積大小、展弦比、後掠翼、翼面配重是影響穩定性的要素。所以要設計穩定飛翔的飛機必須強調適當翼面積大小、展弦比、後掠翼，以及翼面配重重量與位置必須適當，配重位置應該靠近翼前緣效果較好，甚至利用延伸出翼面的方式，能以較輕的重量達到下壓翼前緣的效果，避免失速；最後還發現垂直尾翼可有效改善偏航現象。本研究還觀察出翼的上反角有助於防止飛機滾轉，進而設計風洞實驗，發現錐體能穩定不翻滾；因此推論秋行軍蟲的翅膀與身體如果能形成近似錐體，就能在氣流吹襲下，穩定停留在空中，進而飛越千里來台。了解以上這些影響飛行穩定性的因素後，實際用在所設計的飛機上，可讓飛機飛的又穩、又遠。

壹、研究動機










每次看到鳥在空中飛翔，常常就能引發我們的疑問，為什麼鳥可以穩定的在空中飛呢？而我們做的紙飛機卻做不到！在家看新聞還發現秋行軍蟲已經從大陸傳播到台灣來，這小小的蛾到底是怎麼來到台灣的呢？這些飛行體從大飛機到小昆蟲，為什麼都可以穩定的在天空中飛翔呢？這引起我們很大的好奇心，於是展開有關於物體飛翔的研究探討。

貳、研究目的

- 一、探究影響物體穩定飛翔的因素。
- 二、探究物體能穩定飛翔的方式。
- 三、製作穩定飛翔的飛機。

參、研究設備及器材

自製保麗龍切割器(木板、鎳鉻絲、螺絲釘、電源供應器、橡皮筋)、保麗龍、剪刀、吸管、無痕膠帶、瓦楞板、鐵架、捲尺、旗桿座、旗桿架、鐵片、銅線、鋁線、電子秤(可準確到 0.01g)、攝影機、腳架、照相機、透明塑膠片、電風扇、風速計

		
圖 1-1: 電源供應器	圖 1-2: 旗桿座+旗桿架+電磁鐵	圖 1-3: 0.2mm 鎳鉻絲
		
圖 1-4: 吸管	圖 1-5: 鐵片	圖 1-6: 風速計
		
圖 1-7: 攝影機+腳架	圖 1-8: 電子秤	圖 1-9: 保麗龍

肆、研究過程或方法

一、名詞解釋

(一)物體在空氣中的受力

物體在空氣中受到升力、重力、阻力、推力。升力是讓物體可以滯留在空中的力量，方向朝上，與重力的方向相反；而重力是地球引力，會把物體往下拉；阻力是空氣阻止物體前進的力量；推力是物體前進的力量（圖 2-1）。

(二)攻角、失速

攻角：機身縱軸跟飛行路徑的夾角(圖 2-2)。

失速：當攻角適度增加時，氣流流過上翼面的速度變大，壓力變小，升力因而增加(圖 2-3)，但當攻角大到某一個限度時，氣流無法順利流過上翼面，甚至在翼面上產生許多亂流，而造成升力急速下降，飛機因為失去升力而無法再與重力抗衡，就會像落葉般掉落的現象，稱為失速(圖 2-4)。

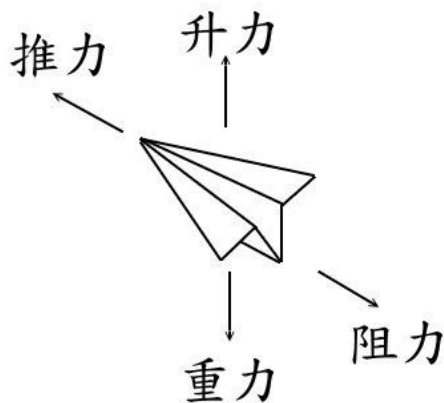


圖 2-1:飛機受力圖

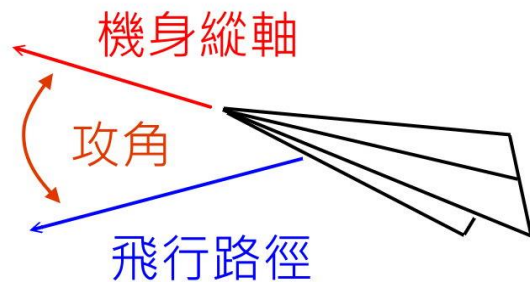


圖 2-2:攻角

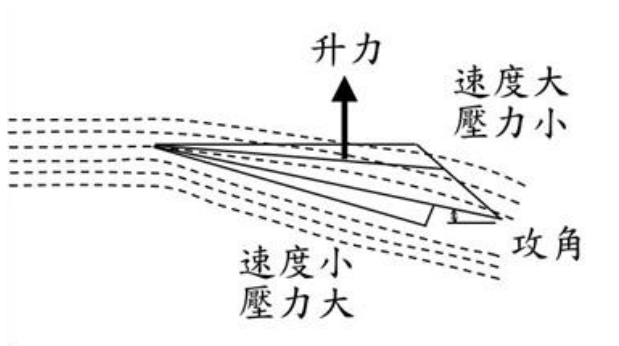


圖 2-3:升力的生成

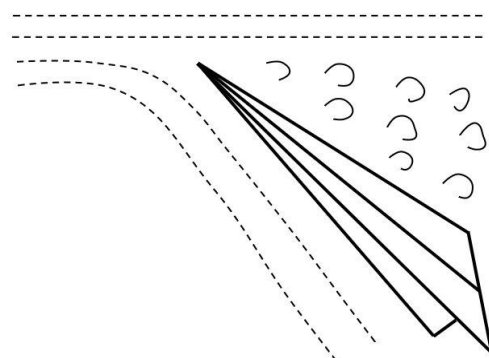


圖 2-4:失速

(三)展弦比

展弦比(AR)是翼面的翼展(b)與翼弦長度(c)的比值，也就是翼面的長寬比(b/c)，展弦比越大表示翼形越細長；然而如果是不規則形，則不容易求得展弦比，就可用以下的公式來計算，也就是翼展的平方與面積(A)的比值(圖 3)。

$$\frac{b}{c} = \frac{b \times b}{c \times b} = \frac{b^2}{A}$$

(四)後掠角(SA)

機翼沿翼展方向的邊緣，相對翼面橫軸所具有的一個向後的角度(圖 4)。

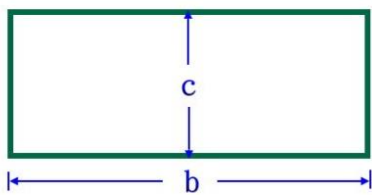


圖 3:展弦比

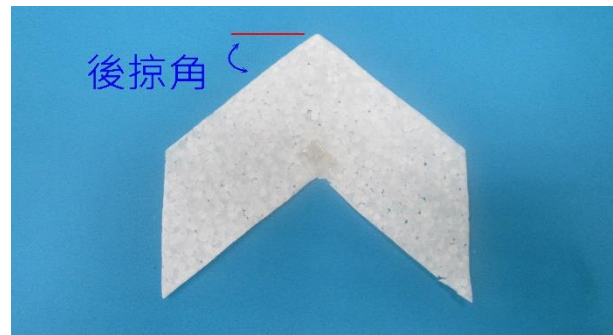


圖 4:後掠角

(五)上反角

指機翼往上翹，翼平面與水平面有一個角度稱為上反角；反之，若機翼往下擺稱為下反角。

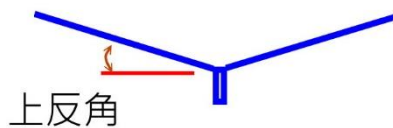


圖 5-1:上反角

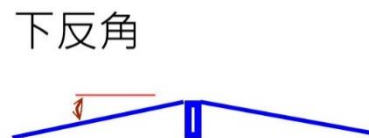


圖 5-2:下反角

(六)穩定性

指物體在飛行過程中，受到某種干擾而偏離平衡狀態，並在干擾消失後，又能自動恢復平衡狀態的特性。飛機的俯仰、滾轉、偏航會影響飛行的穩定性(圖 6)。

俯仰：當飛機圍繞橫軸所做的運動，稱為俯仰，也就是機頭的抬頭、低頭。

滾轉：當飛機圍繞縱軸所做的運動，稱為滾轉，也就是機翼一上、一下的傾斜轉動。

偏航：當飛機圍繞垂直軸所做的運動，稱為偏航，也就是飛機的左轉彎或右轉彎。

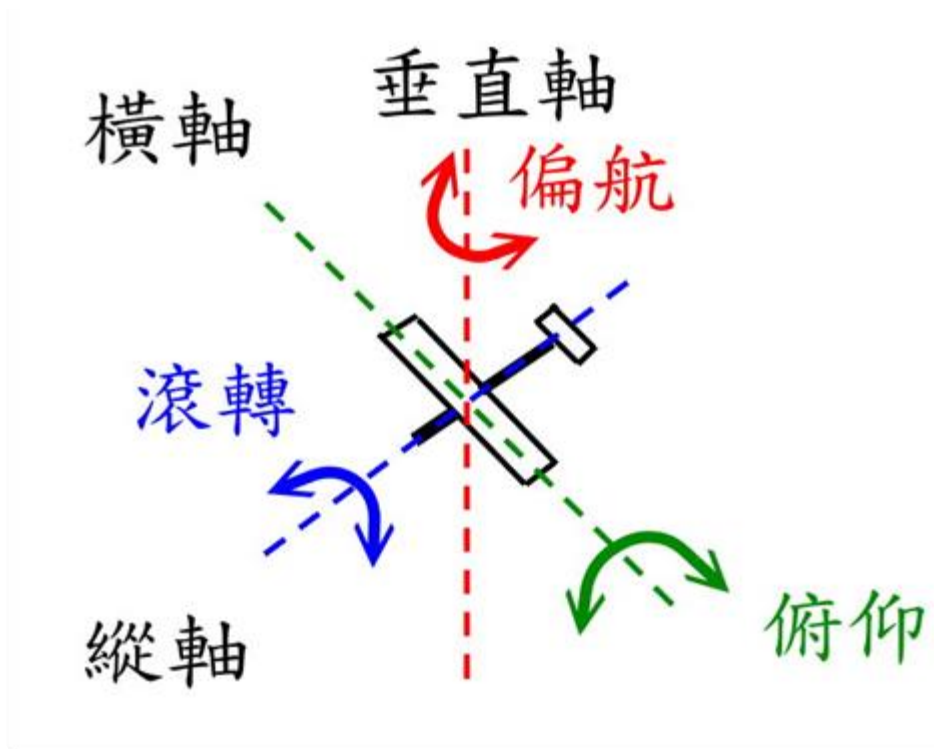


圖 6:飛機的動作

(七)翼的飛行動作解析(圖 7-1~4)

直墜：以翼面積最大的部分面對空氣下墜。

滑翔：翼沿水平面向左或右滑，但翼不可能一直維持這種姿態，否則翼永遠不下墜，因此如果翼面與水平面夾角小於 45 度，我們也都定義為滑翔。

下切：以翼面積最小的部分面對空氣下墜，但如果翼面與水平面夾角大於 45 度，我們也都稱之為下切。

翻滾：指翼產生 360 度翻轉的現象。

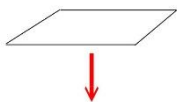


圖 7-1:直墜



圖 7-2:滑翔



圖 7-3:下切

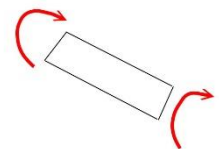
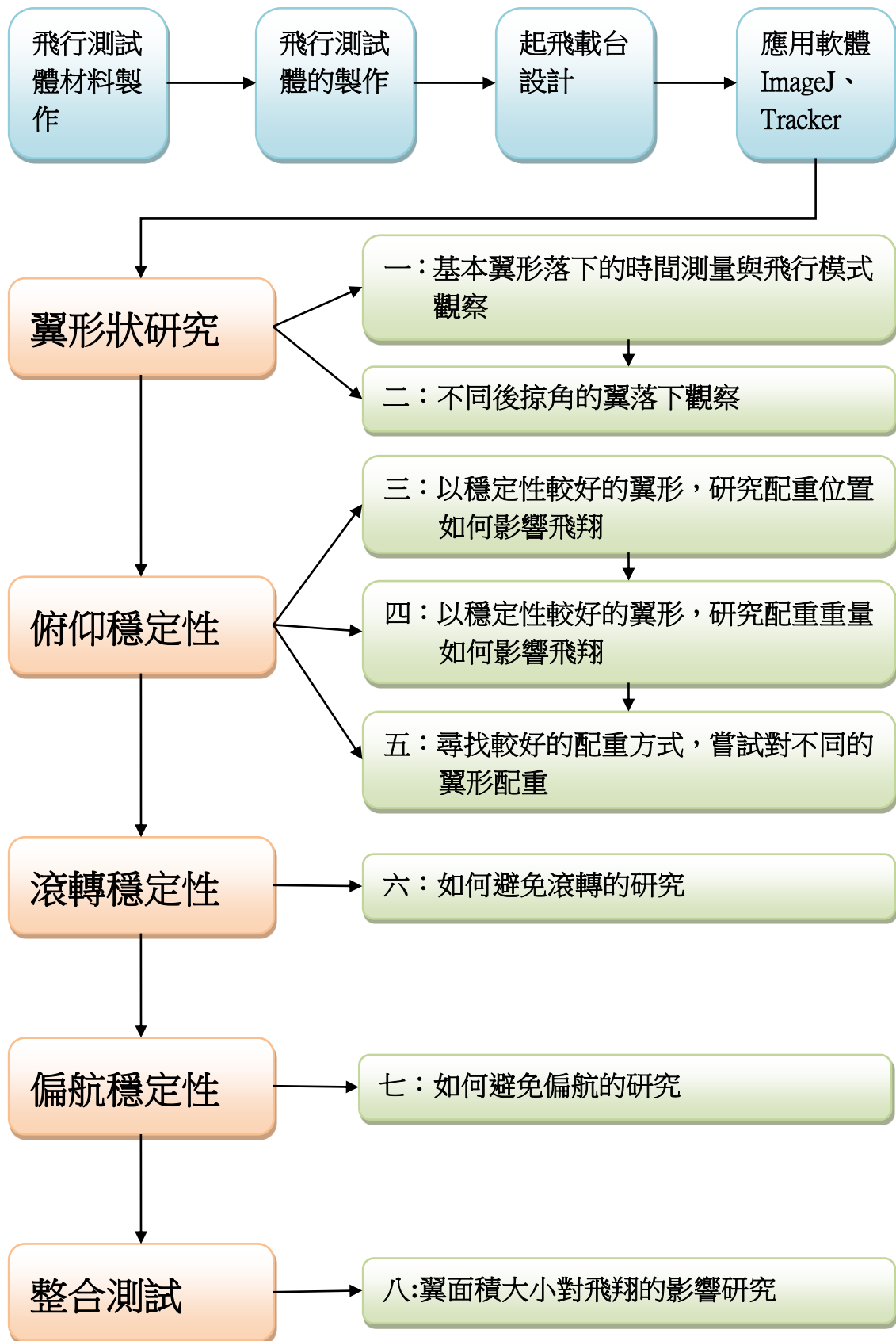


圖 7-4:翻滾

二、研究流程



三、飛行測試體材料製作

因為市面上的保麗龍切割器不符合我們的需求，因此利用 0.2mm 鎳鉻絲、電源供應器，自製大型保麗龍切割器，可切割出小於 1mm 厚度的保麗龍，來達到較好的滑翔效果。發現切割出的保麗龍比一般紙還薄、重量輕，但卻比紙更能維持一定的形狀，不易變形(圖 8-1~4)。

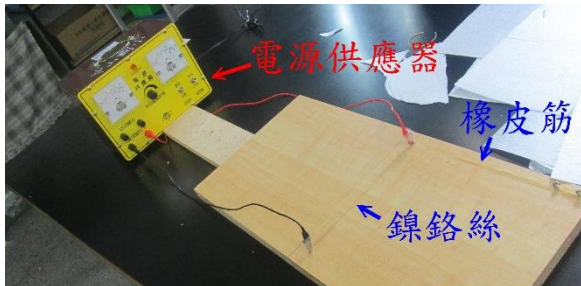


圖 8-1: 電源供應器輸出直流電加熱鎳鉻絲



圖 8-2: 切割保麗龍



圖 8-3: 切割成薄狀的保麗龍

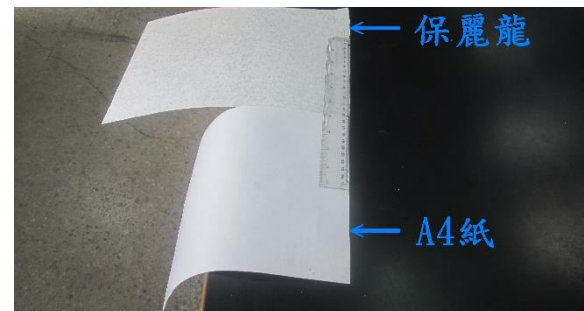


圖 8-4: 與同樣大小 A4 紙比較，較不易變形

四、飛行測試體的製作

以切成薄片的保麗龍來製作翼，一方面可降低阻力，一方面容易裁切，可調整面積達到增加升力的目的，讓翼可以滯空時間久一點，或滑翔的距離長一點。首先在紙上繪製想要的形狀；裁剪後，接著在保麗龍上描繪形狀；裁剪下來的保麗龍必須經過配重，配重可用銅線、鋁線、鐵片及剪裁的吸管，最後發現吸管不易變形、重量輕，還可剪裁成細長條，將重量分散延伸出去，有助於飛機的穩定；最後再加上垂直尾翼、試飛，即可完成(圖 9-1~6)。

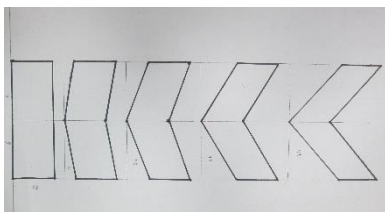


圖 9-1: 繪製形狀

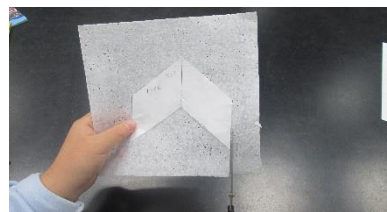


圖 9-2: 裁剪

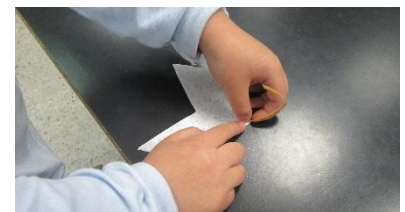


圖 9-3: 配重

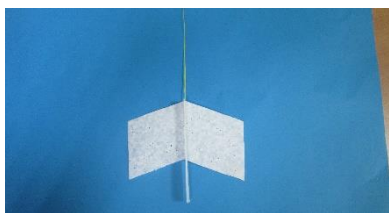


圖 9-4: 加上垂直尾翼

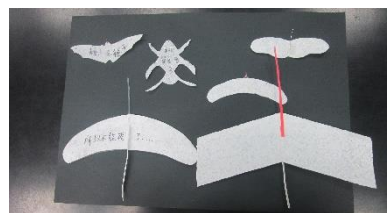


圖 9-5: 成品 1



圖 9-6: 成品 2

五、起飛載台設計

裝置 1：這個裝置設計由一個電磁鐵吸住飛行測試體，因此測試體上面必須黏貼鐵片，當電源供應器上的開關切斷後，磁力消失即可讓飛行測試體自由落下，測試高度也可升降(圖 10-1~4)。

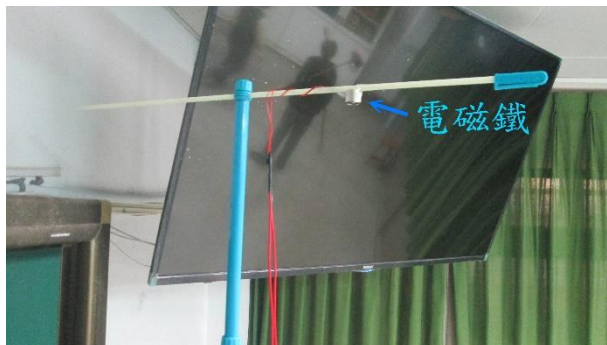


圖 10-1:載台上的電磁鐵裝置處

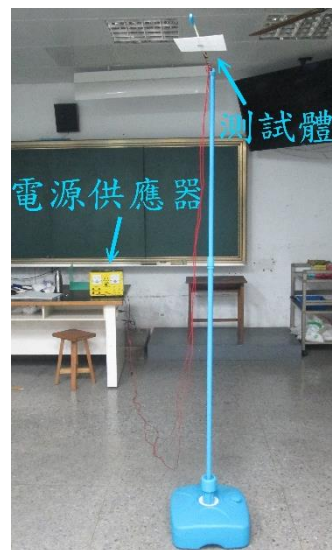


圖 10-2:電源供應器連接電磁鐵，磁力吸住測試體



圖 10-3:吸住測試體準備飛行

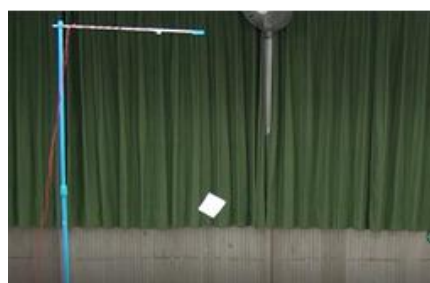


圖 10-4:斷電後，釋放測試體

裝置 2：上下用磁鐵吸住，因為隔著瓦楞板，磁力不會太強，輕輕一拉就可以釋放測試體，且釋放時不易引起下降氣流而干擾測試體的飛行；測試體不須額外黏貼鐵片，而載台也可以升降(圖 11-1~4)。

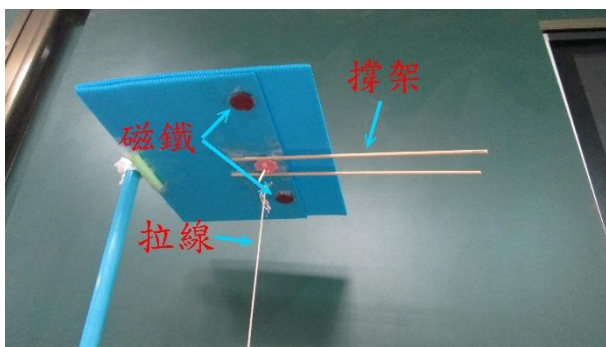


圖 11-1:載台裝置 2

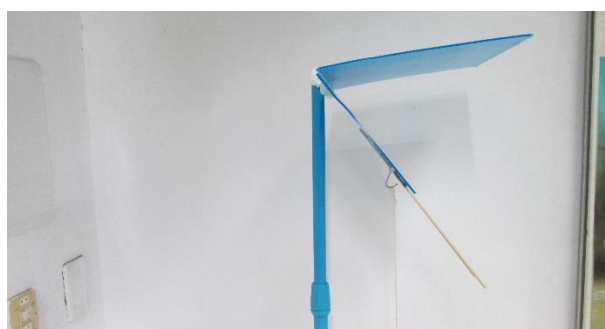


圖 11-2:拉動後，測試體即可釋放



圖 11-3:準備釋放



圖 11-4:拉動後釋放

六、應用軟體

- (一)利用 ImageJ 軟體計算不規則形狀面積(圖 12)
- (二)利用 Tracker 軟體追蹤物體飛行軌跡(圖 13)

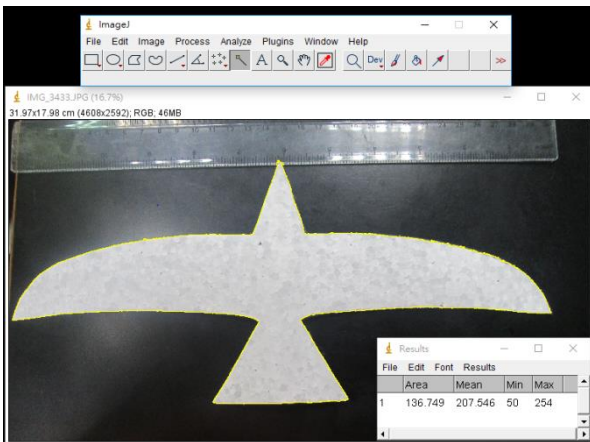
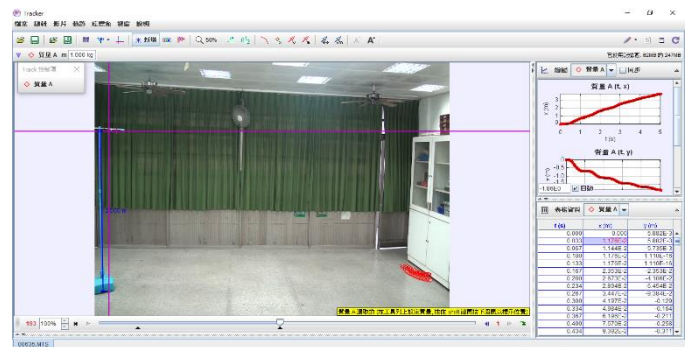


圖 12:計算不規則形狀面積



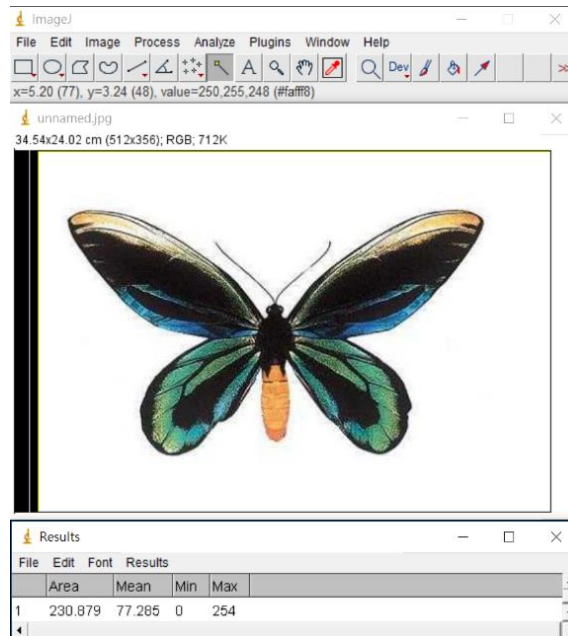


圖 14:用 ImageJ 軟體計算亞歷山大鳥翼鳳蝶面積

表 1：不同的面積與不同展弦比的翼尺寸

面積 (平方 公分)	展弦比 =1	展弦比 =1.78	展弦比 =2.78	展弦比 =4	展弦比 =5.47	鐵片配 重後重 量(克)
	長*寬 (公 分)	長*寬 (公 分)	長*寬 (公 分)	長*寬 (公 分)	長*寬 (公 分)	
225.00	15.00 * 15.00	20.00 * 11.25	25.00 * 9.00	30.00 * 7.50	35.00 * 6.40	0.55
156.25	12.50 * 12.50	16.68 * 9.37	20.84 * 7.50	25.00 * 6.25	29.24 * 5.34	0.47
100.00	10.00 * 10.00	13.34 * 7.50	16.67 * 6.00	20.00 * 5.00	23.39 * 4.28	0.23
56.25	7.50 * 7.50	10.01 * 5.62	12.50 * 4.50	15.00 * 3.45	17.54 * 3.21	0.14
25.00	5.00 * 5.00	6.67 * 3.75	8.34 * 3.00	10.00 * 2.50	11.69 * 2.14	0.07

(三)裁剪成不同形狀的翼測試片，在中心貼上鐵片，一方面配成同面積、同重量，一方面可讓電磁鐵吸住(圖 15-1~2)。

(四)利用裝置 1，以電源供應器的切斷，讓測試片從 2 公尺自由落下，用攝影機攝影(圖 15-3~4)。

(五)利用 Tracker 軟體追蹤軌跡，畫出軌跡圖。

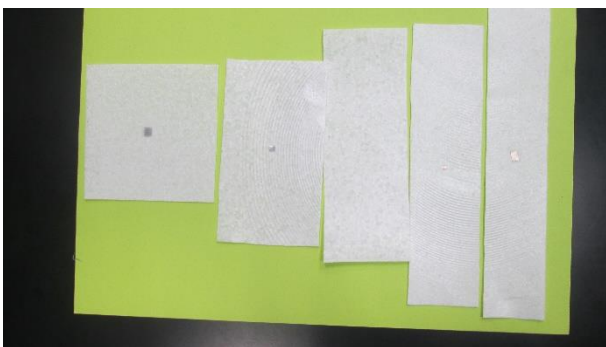


圖 15-1:15*15 平方公分測試片



圖 15-2:5*5 平方公分測試片



圖 15-3:吸住試片



圖 15-4:掉落

八、實驗二：不同後掠角的翼落下觀察

- (一)以 12 乘 2、12 乘 4、12 乘 6 平方公分的長方形為基礎，同面積變化成不同後掠角的翼，後掠角從 0 度到 40 度，一次增加 10 度(圖 16-1~3)。
- (二)利用裝置 2，讓測試片從 2 公尺落下，用攝影機攝影(圖 16-4~5)。
- (三)利用 Tracker 軟體追蹤軌跡，畫出軌跡圖。

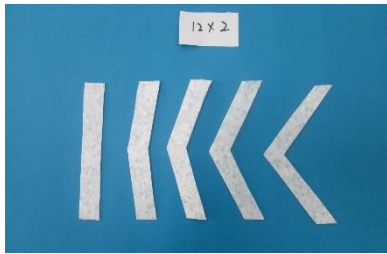


圖 16-1:12*2 平方公分，不同後掠角

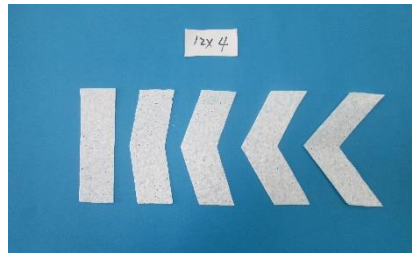


圖 16-2:12*4 平方公分，不同後掠角



圖 16-3:12*6 平方公分，不同後掠角



圖 16-4:試片預備



圖 16-5:落下

九、實驗三：以穩定性較好的翼形，研究配重位置如何影響飛翔

- (一)測量 12 乘 6 平方公分，40 度角後掠翼，找出重心位置在距最前端 5.4 公分(圖 17-1)。
- (二)以同一塊 0.04 克鐵片(包括膠帶)，分別配重在距最前端 0.5、2.5、4.5 公分處(圖 17-2~4)。
- (三)分別利用裝置 1，讓測試片從 2 公尺自由落下，用攝影機攝影(圖 17-5~17-6)。
- (四)用 Tracker 軟體追蹤軌跡， Excel 軟體畫出軌跡圖比較。
- (五)用 ImageJ 軟體估算飛行軌跡圖以下的面積， Excel 軟體畫出面積與時間的關係圖比較。

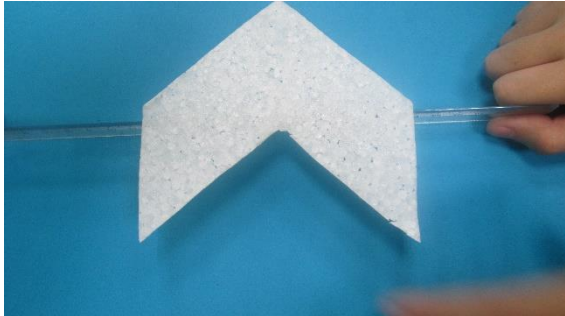


圖 17-1:測量重心位置，距最前端 5.4 公分

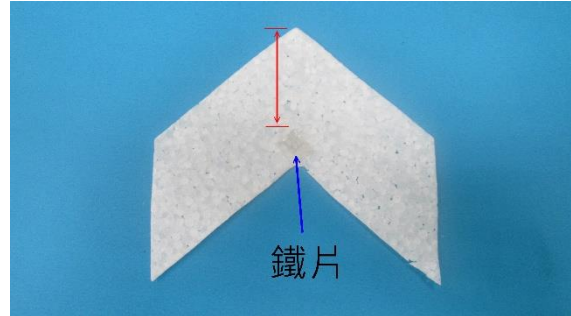


圖 17-2:鐵片距最前端 4.5 公分

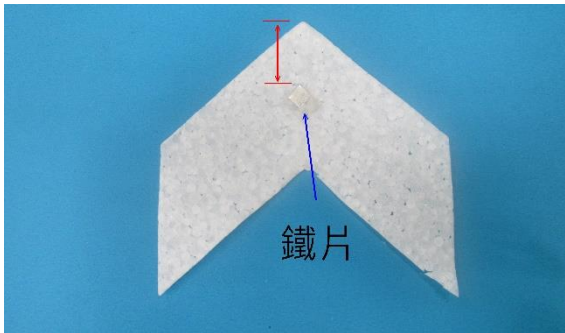


圖 17-3: 鐵片距最前端 2.5 公分

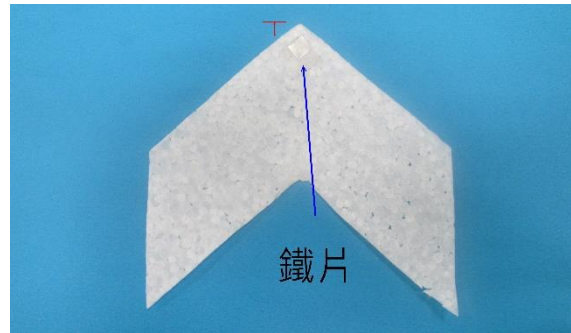


圖 17-4: 鐵片距最前端 0.5 公分



圖 17-5:試片預備



圖 17-6:斷電後落下

十、實驗四：以穩定性較好的翼形，研究配重重量如何影響飛翔

- (一)以不同塊鐵片重量分別為 0.05、0.04、0.03 克(包括膠帶)，對相同的 12 乘 6 平方公分，40 度後掠翼配重，配重在距最前端 0.5 公分處(圖 18-1~2)。
- (二)分別利用裝置 1，讓測試片從 2 公尺落下，用攝影機攝影。
- (三)用 Tracker 軟體追蹤軌跡，以 Excel 軟體畫出軌跡圖比較。
- (四)用 ImageJ 軟體估算飛行軌跡圖以下的面積， Excel 軟體畫出面積與時間的關係圖比較。



圖 18-1:配重鐵片，0.05、0.04、0.03 克

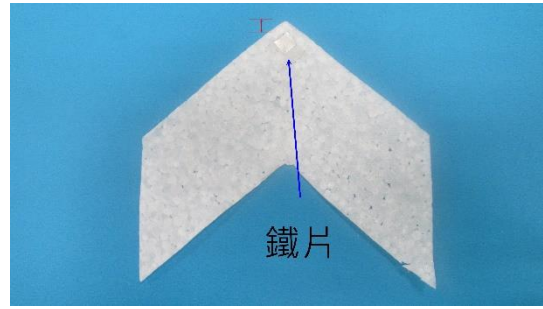


圖 18-2:鐵片配重處

十一、實驗五：尋找較好的配重方式，嘗試對不同的翼形配重

- (一)以同條裁剪過的吸管配重，重 0.04 克，分別對同面積 12*6 平方公分，從 0 度至 40 度後掠角的翼形配重(圖 19-1~2)。
- (二)分別利用裝置 2，讓測試片從 2 公尺落下，用攝影機攝影。
- (三)用 Tracker 軟體追蹤軌跡，畫出軌跡圖比較。
- (四)用 ImageJ 軟體估算飛行軌跡圖以下的面積， Excel 軟體畫出面積與時間的關係圖比較。

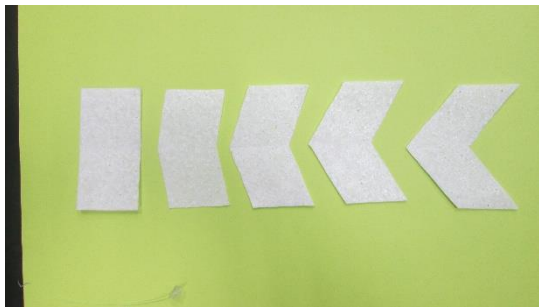


圖 19-1:不同後掠角

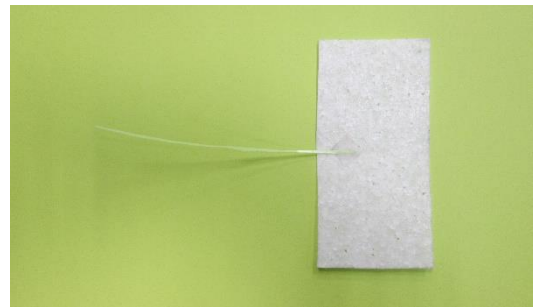


圖 19-2:以同條吸管(0.04g)配重

十二、實驗六：如何避免滾轉的研究

- (一) 以 12 乘 6 平方公分長方形翼形，折成下反角 10 度至 40 度，每次增加 10 度(圖 20-1)。
- (二) 利用裝置 2，讓翼以下反角的姿態掉落(圖 20-2)。
- (三) 觀察其落下情形。

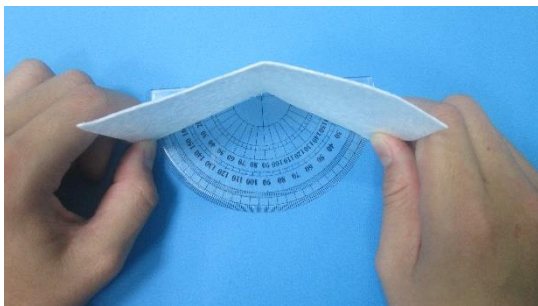


圖 20-1:翼折成下反角

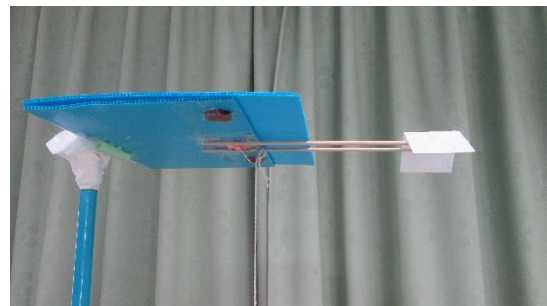


圖 20-2:以下反角姿態落下

- (四) 保麗龍薄片裁剪成 $7/8$ 、 $3/4$ 、 $1/2$ 、 $3/8$ 的圓形，且每個圖形面積都是 100 平方公分 (圖 21-1)。
- (五) 黏貼缺口使每個圓形都形成圓錐，而缺口越大的圓，所形成的圓錐平面夾角越小，分別大約為 120、100、60、45 度(圖 21-2~3)。
- (六) 利用裝置 2，讓圓錐以下反角的姿態掉落(圖 21-4)。

(七) 觀察其落下情形。



圖 21-1:面積 100 平方公分，由左至右分別為 $7/8$ 、 $3/4$ 、 $1/2$ 、 $3/8$ 的圓形

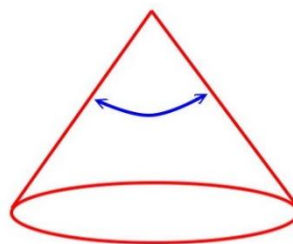


圖 21-2: 圓錐平面夾角



圖 21-3: 由左至右圓錐平面夾角分別大約為 120 、 100 、 60 、 45 度

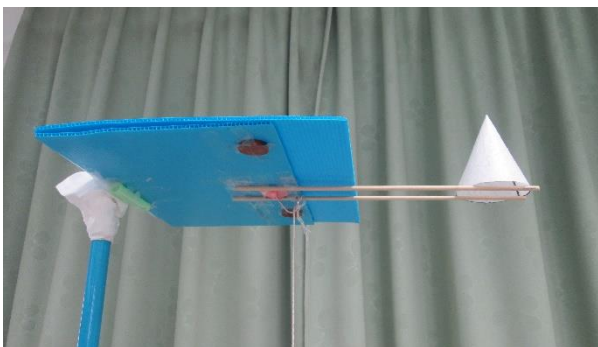


圖 21-4: 以下反角姿態落下

十三、實驗七：如何避免偏航的研究

- (一) 找到一片容易偏航的翼面，面積 12 乘 6 平方公分、後掠角 20 度，以吸管剪細長條來配重(圖 22-1)。
- (二) 在下翼面黏上寬 1 公分、長 10 公分的長條薄保麗龍，作為垂直尾翼(圖 22-2~3)。
- (三) 以有無垂直尾翼來進行飛行軌跡比較。
- (四) 分別利用裝置 2，讓測試片從 1.5 公尺落下，用攝影機從二樓以俯視的角度攝影(圖 22-4)。
- (五) 利用 Tracker 軟體追蹤軌跡，畫出軌跡圖比較。

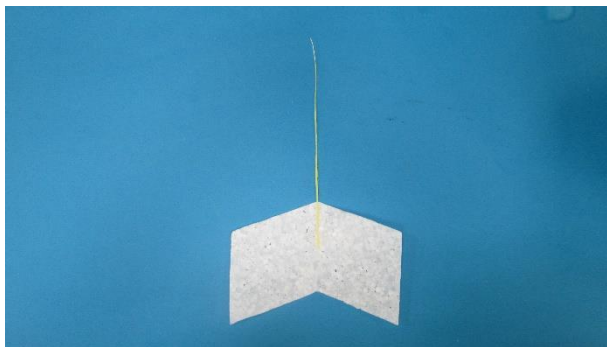


圖 22-1:無尾翼

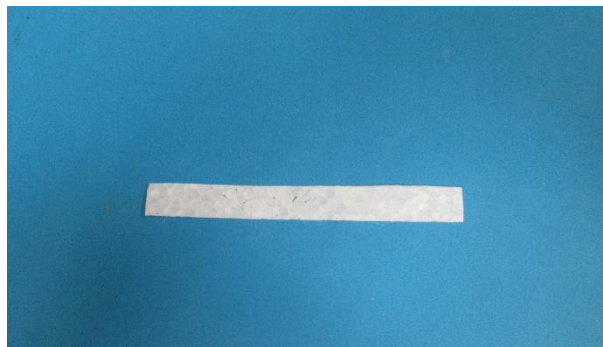


圖 22-2:垂直尾翼

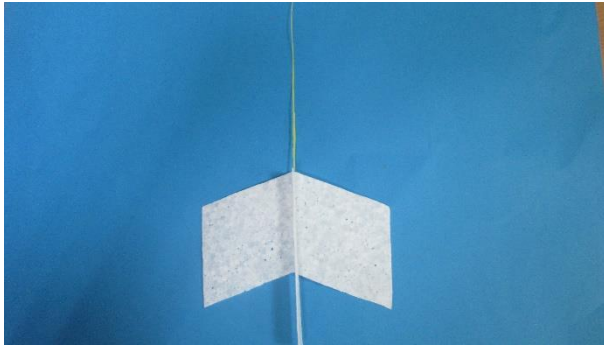


圖 22-3:有尾翼

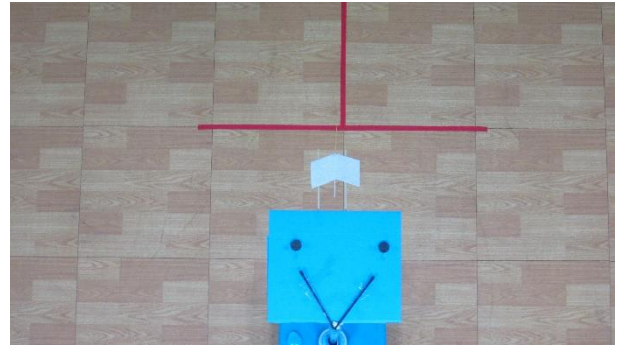


圖 22-4:俯視攝影

十四、實驗八:翼面積大小對飛翔的影響研究

- (一) 將 12 乘 6 平方公分，後掠角 40 度的翼形，以影印機縮小 50%(圖 23-1)。
- (二) 面積大小不同的翼以裁剪的吸管配重，加上垂直尾翼後，比較兩者的飛行軌跡(圖 23-2)。
- (三) 分別利用裝置 2，讓測試片從 2 公尺落下，用攝影機攝影。
- (四) 用 Tracker 軟體追蹤軌跡，畫出軌跡圖比較。
- (五) 用 ImageJ 軟體估算飛行軌跡圖以下的面積， Excel 軟體畫出面積與時間的關係圖比較。

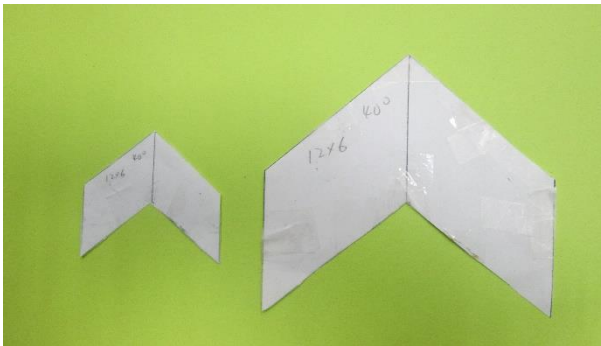


圖 23-1:長度縮小 50%

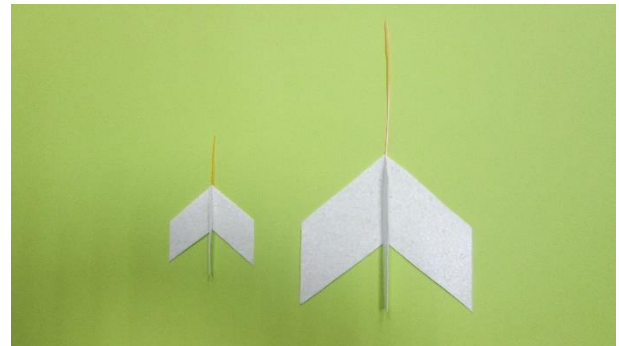


圖 23-2:不同大小翼面積比較

伍、研究結果

一、實驗一：基本翼形落下的時間測量與飛行模式觀察

(一)結果

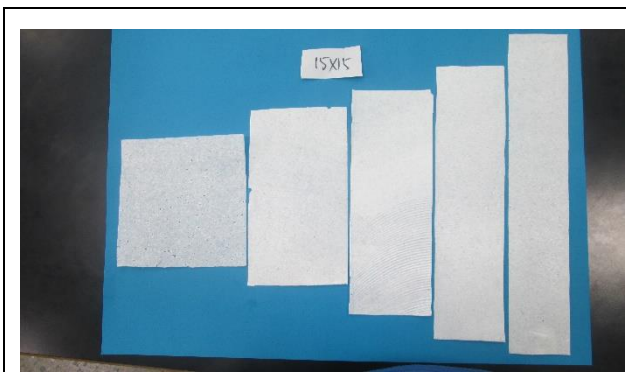


圖 24-1:A=225 平方公分，不同展弦比翼形

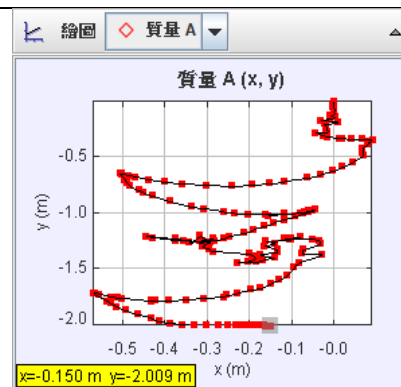


圖 24-2:AR=1, t=6.406s, 滑翔為主

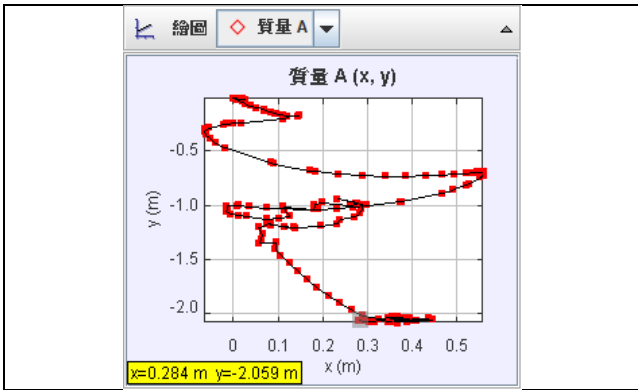


圖 24-3:AR=1.78, t=4.905s, 滑翔, 最後下切

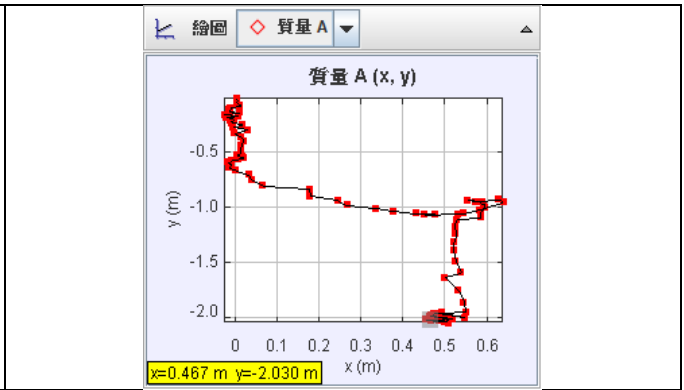


圖 24-4:AR=2.78, t=3.770s, 滑翔, 最後下切

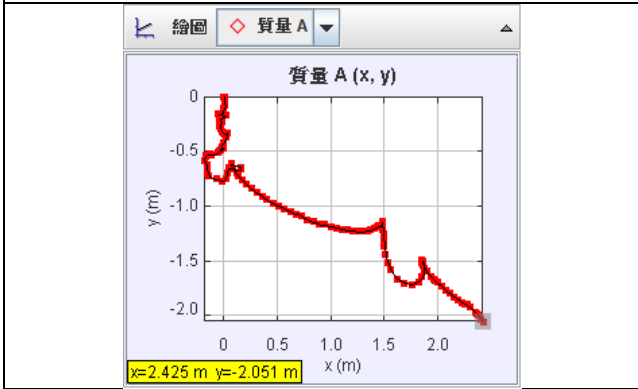


圖 24-5:AR=4, t=4.638s, 滑翔、翻滾

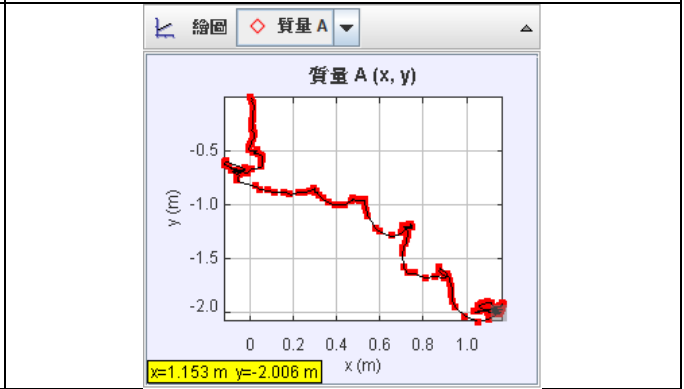


圖 24-6:AR=5.47, t=7.007s, 翻滾

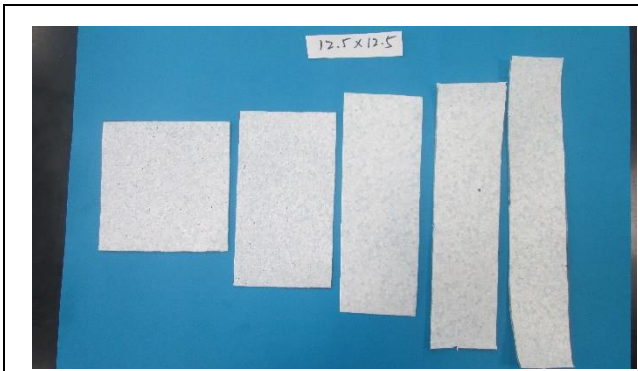


圖 25-1:A=156.25 平方公分, 不同展弦比翼形

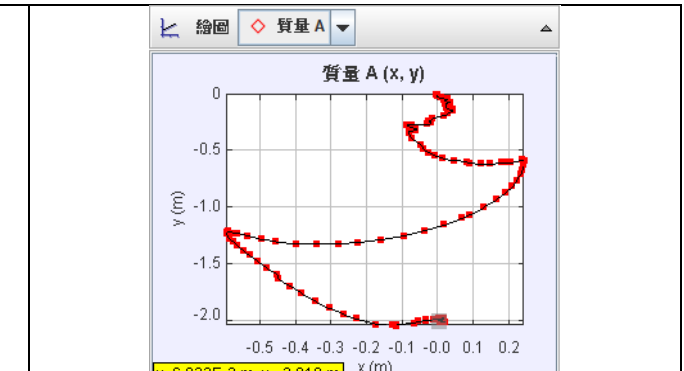


圖 25-2:AR=1, t=3.837s, 滑翔

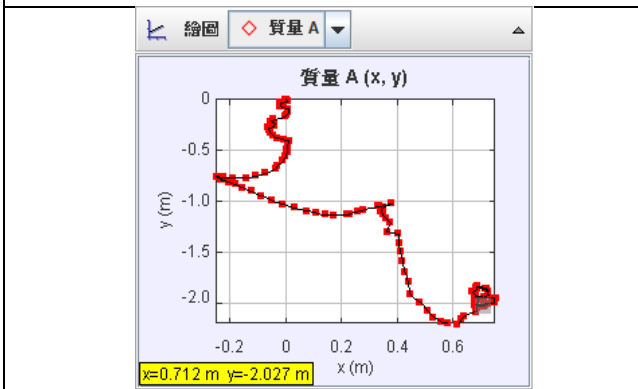


圖 25-3:AR=1.78, t=3.971s, 滑翔, 最後下切

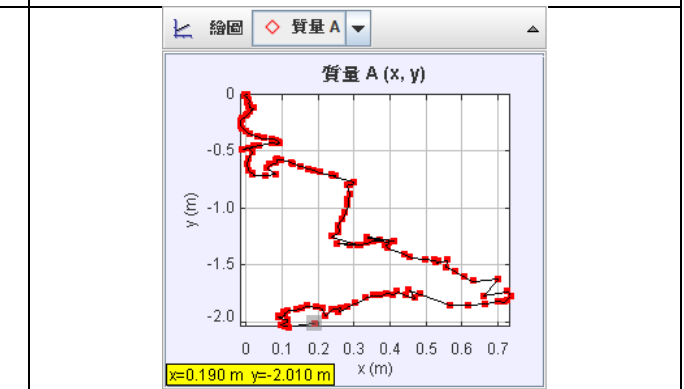


圖 25-4:AR=2.78, t=4.972s, 翻滾

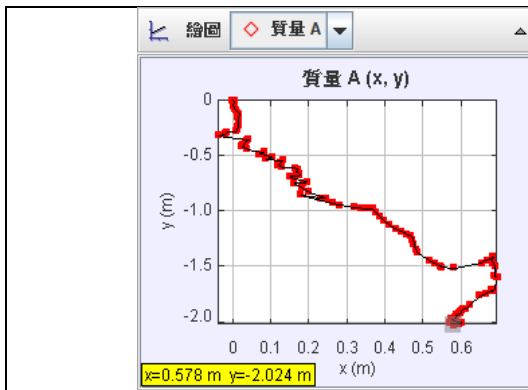


圖 25-5:AR=4, t=4.505s, 滑翔、翻滾

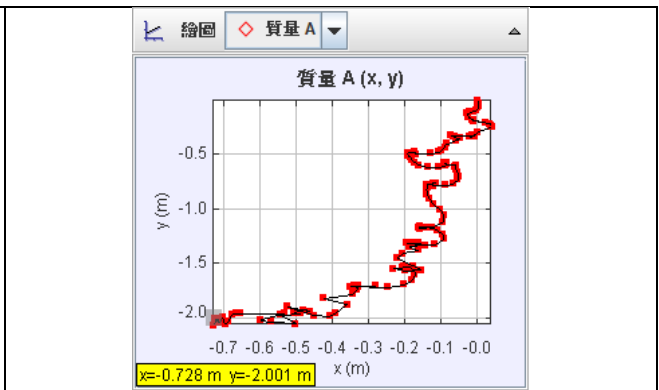


圖 25-6:AR=5.47, t=4.738s, 翻滾

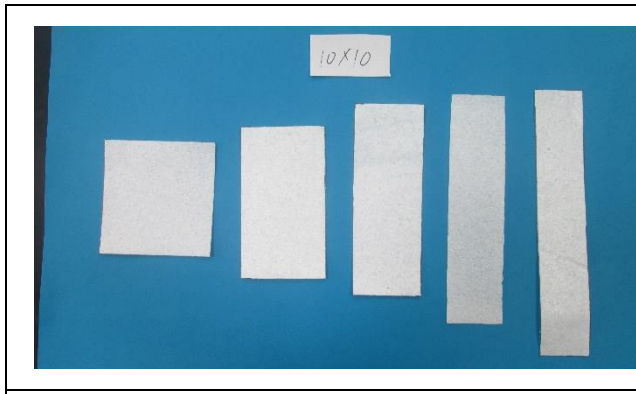


圖 26-1:A=100 平方公分, 不同展弦比翼形

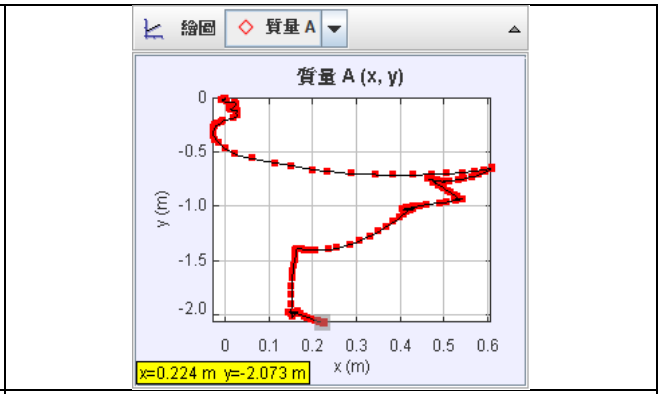


圖 26-2:AR=1, t=4.738s, 滑翔, 最後下切

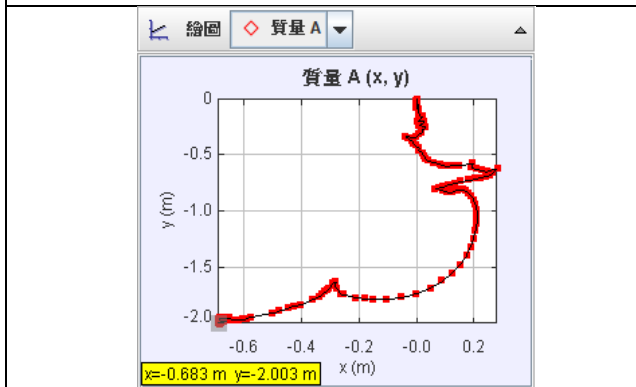


圖 26-3:AR=1.78, t=4.171s, 滑翔、翻滾

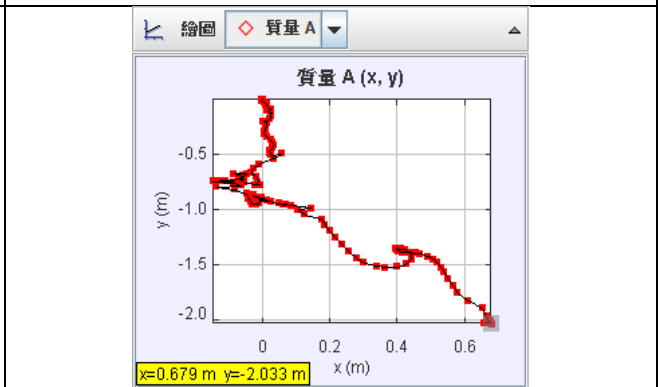


圖 26-4:AR=2.78, t=4.137s, 翻滾、下切

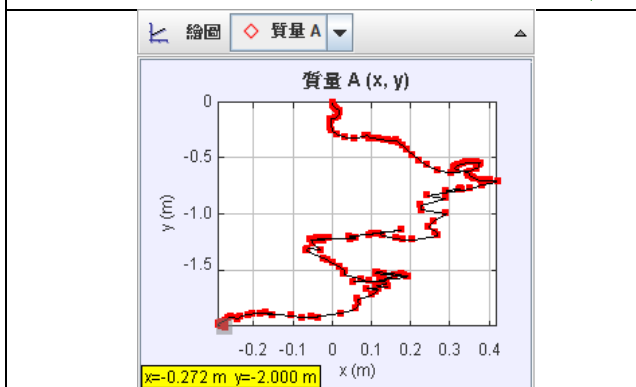


圖 26-5:AR=4, t=5.038s, 翻滾、滑翔

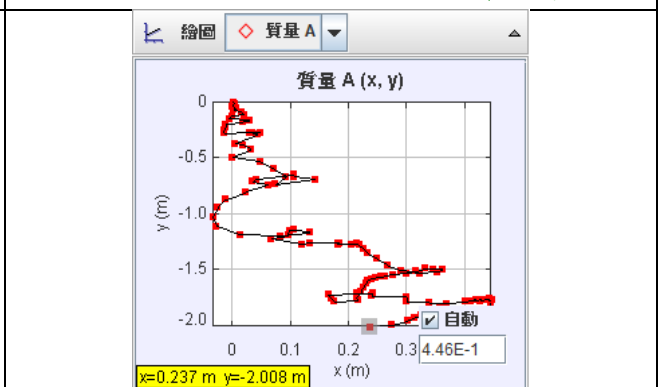


圖 26-6:AR=5.47, t=3.704s, 翻滾

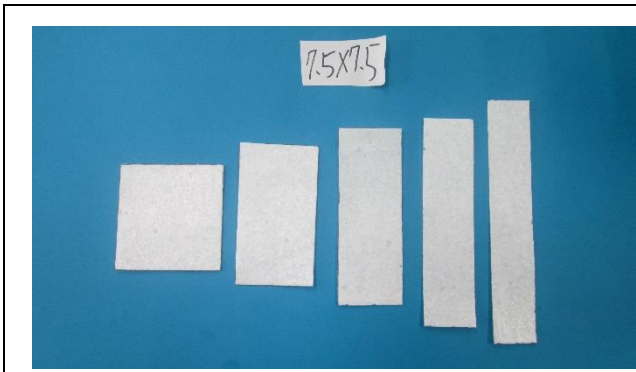


圖 27-1:A=56.25 平方公分, 不同展弦比翼形

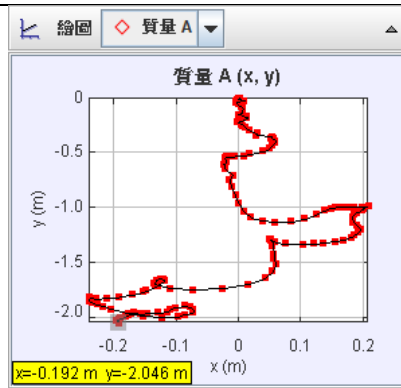


圖 27-2:AR=1, t=4.771s, 翻滾、滑翔



圖 27-3:AR=1.78, t=4.171s, 翻滾、滑翔

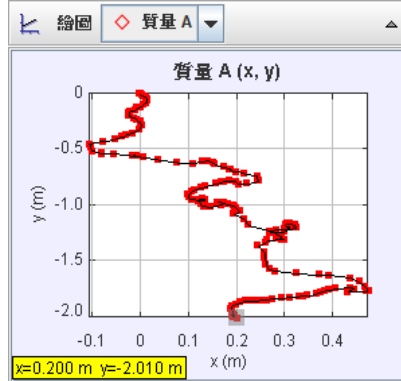


圖 27-4:AR=2.78, t=5.339s, 翻滾、滑翔

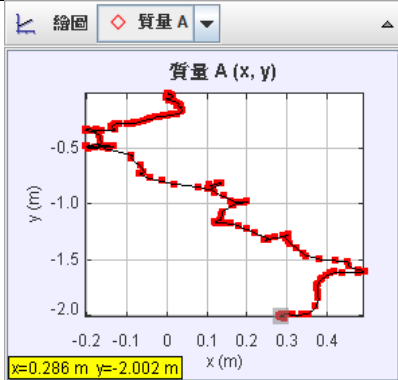


圖 27-5:AR=4, t=5.005s, 翻滾

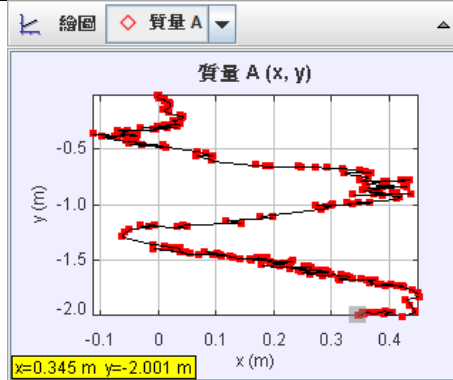


圖 27-6:AR=5.47, t=6.974s, 翻滾

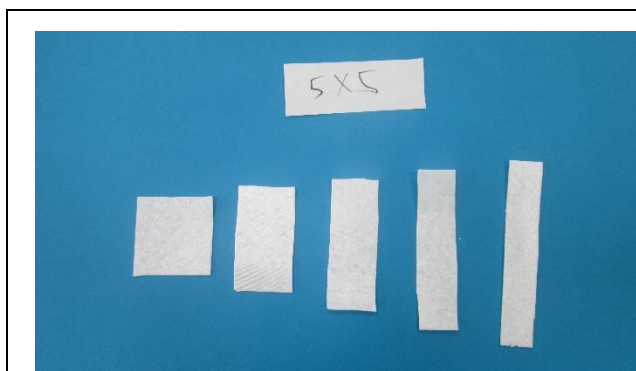


圖 28-1:A=25 平方公分, 不同展弦比翼形

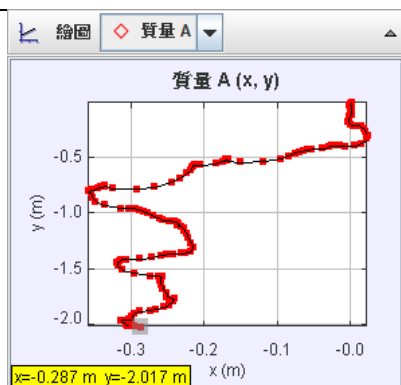
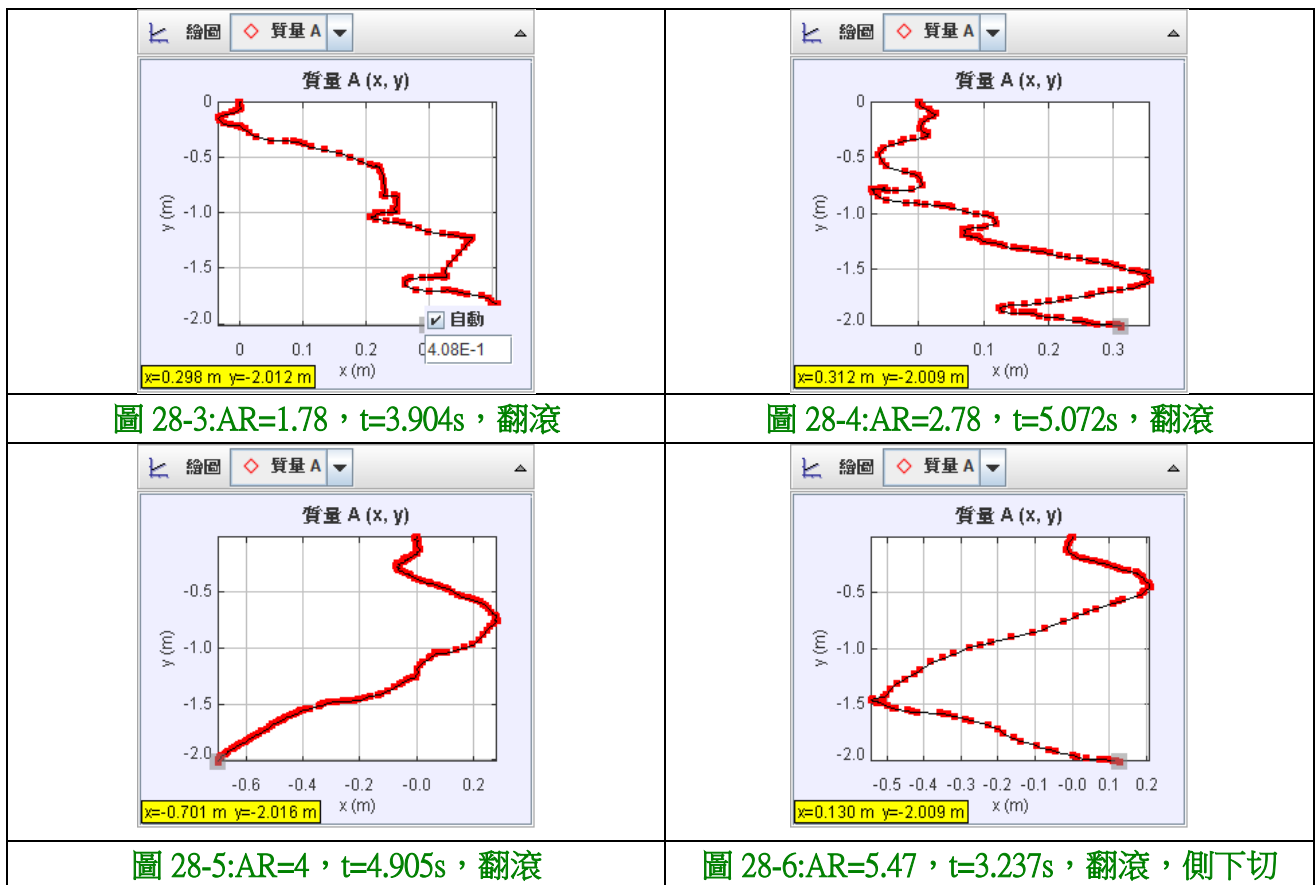


圖 28-2:AR=1, t=4.404s, 翻滾

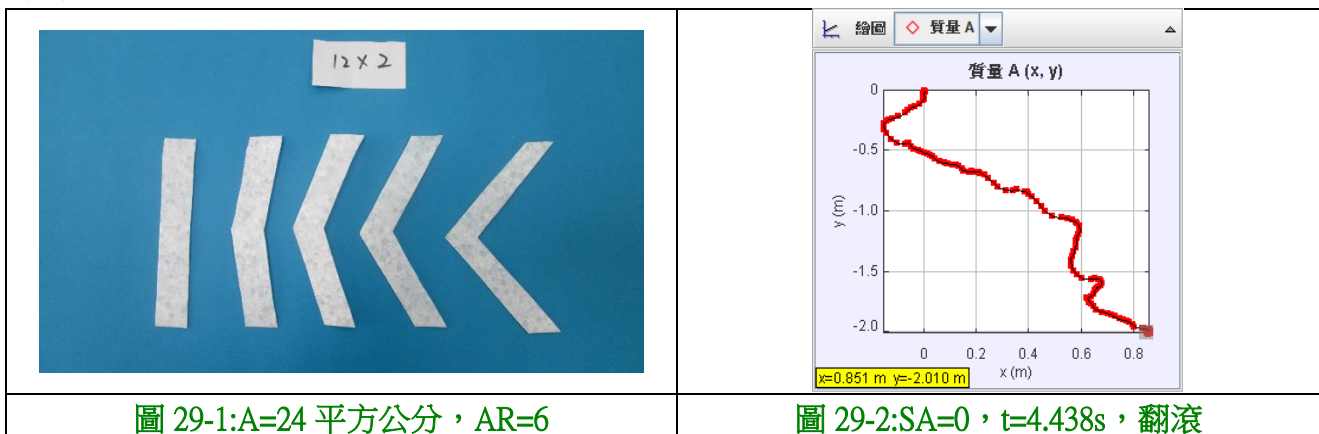


(二)發現：

1. 面積越大或展弦比越小，飛行姿態越趨向滑翔。
2. 面積越小或展弦比越大，飛行姿態越趨向翻滾。
3. 水平的滑翔或高頻率的翻滾都會延長滯空時間。
4. 與水平夾角太大的滑翔或低頻率的翻滾，都容易導致下切，使翼很快掉落。
5. 展弦比高的翼面以翻滾為主，高頻率翻滾雖可延長滯空時間，但展弦比過高，也較容易導致翼面從較窄的一邊下切(側下切)，如圖 28-6。
6. 不是面積越大，滯留在空中的時間就比較久，如圖 24-4 的例子，因為發生下切現象，因此必須另外找出平衡的方法，翼面才能穩定的滑翔。

二、實驗二：不同後掠角的翼落下觀察

(一)結果：



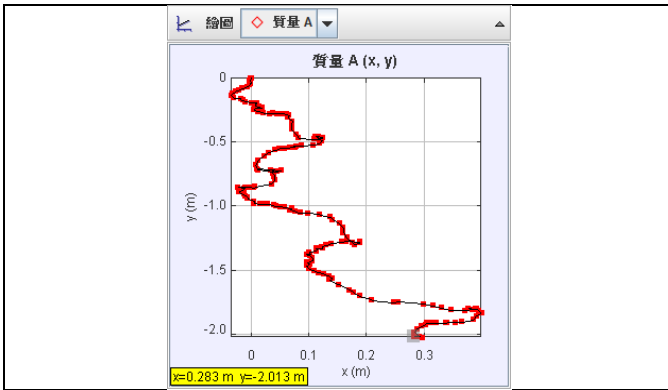


圖 29-3:SA=10, t=6.006s, 翻滾

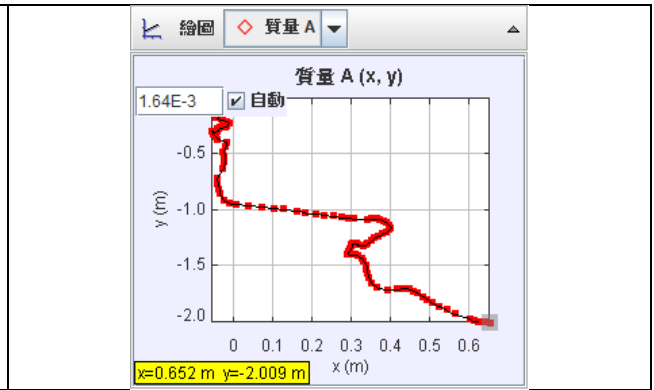


圖 29-4:SA=20, t=4.071s, 翻滾、滑翔

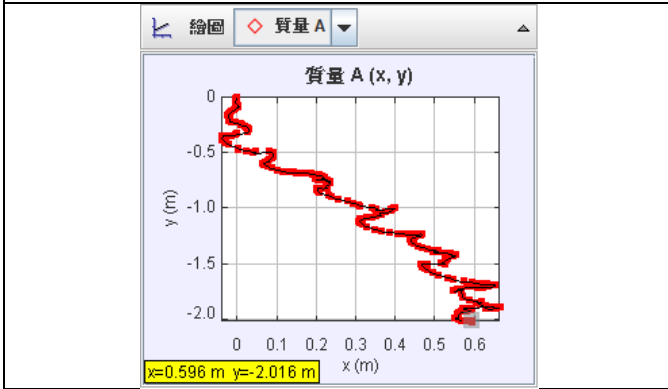


圖 29-5:SA=30, t=8.275s, 滑翔

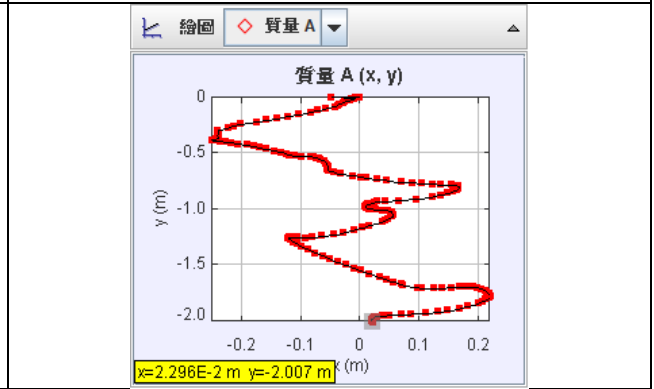


圖 29-6:SA=40, t=5.639s, 滑翔

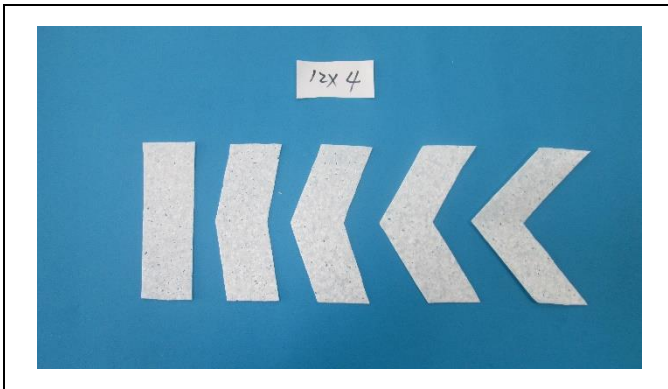


圖 30-1:A=48 平方公分, AR=3

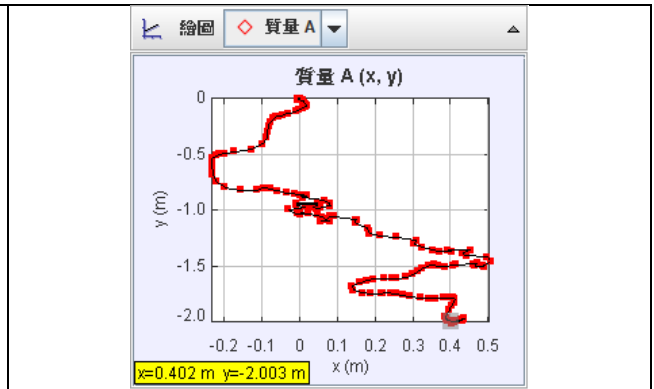


圖 30-2:SA=0, t=5.672s, 翻滾、滑翔

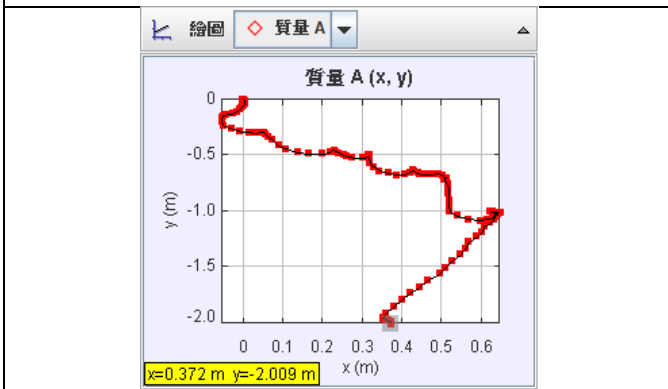


圖 30-3:SA=10, t=4.071s, 翻滾, 最後下切

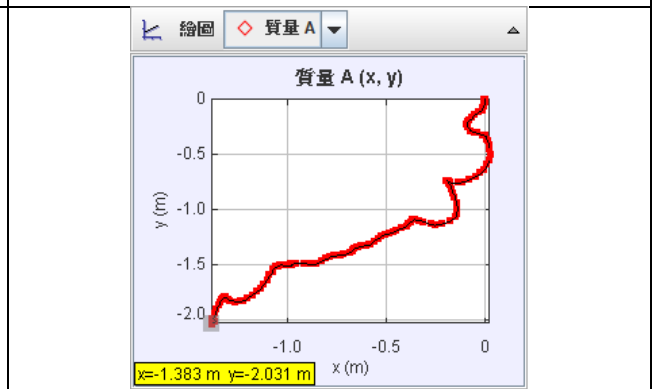
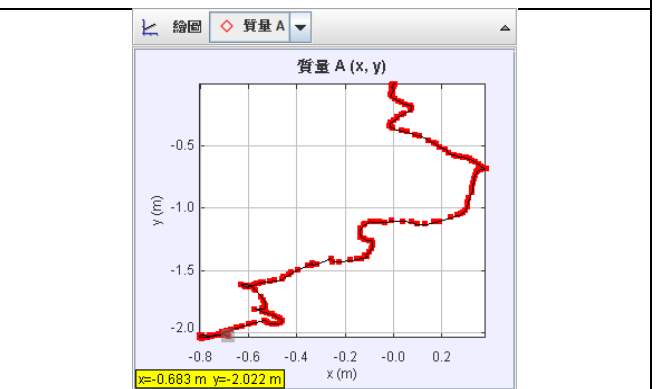
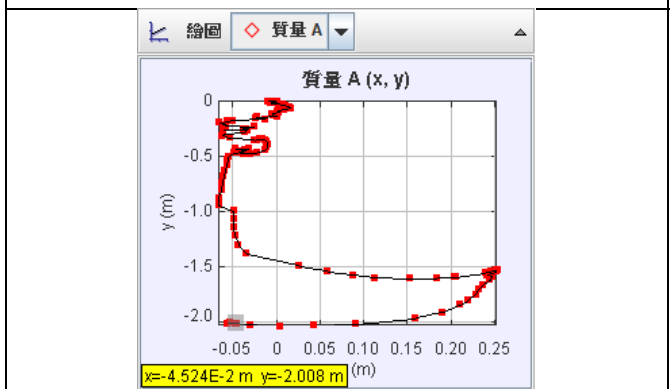
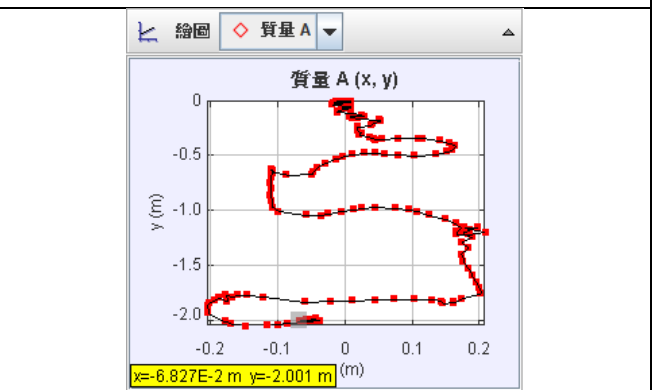
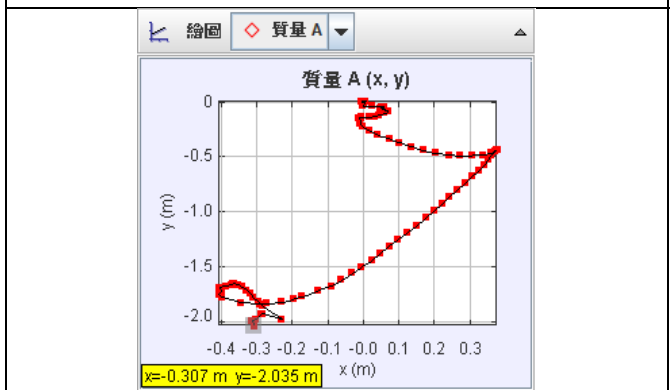
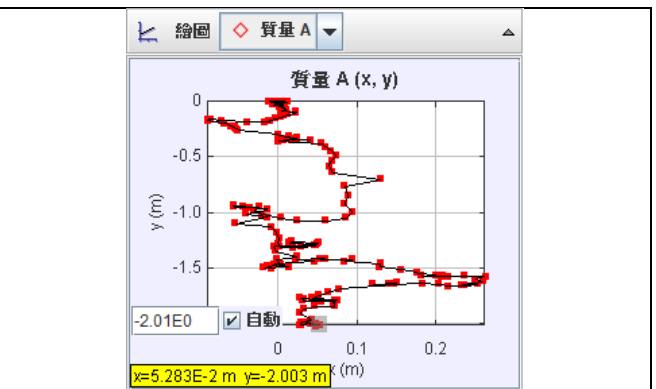
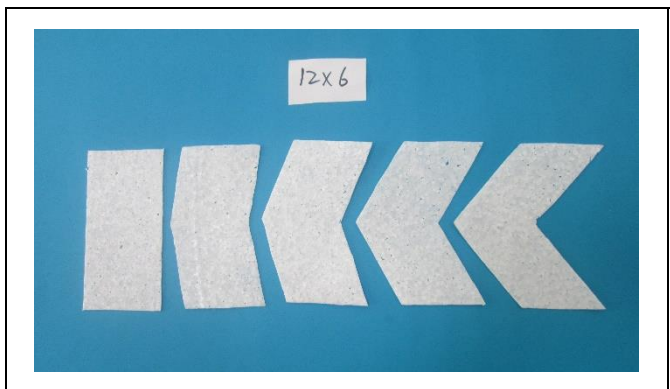
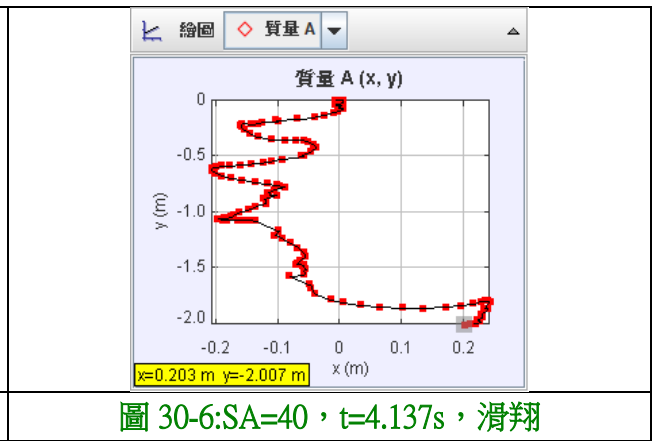
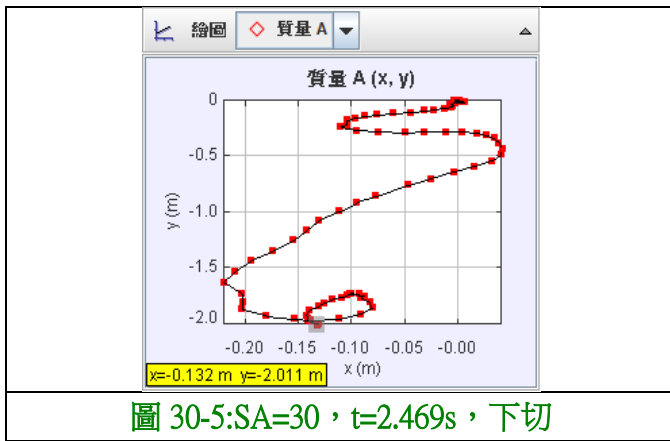


圖 30-4:SA=20, t=4.505s, 滑翔、翻滾



(一) 發現：

1. 展弦比越大的翼，越容易翻滾。
2. 面積越大或後掠角越大的翼較不易發生翻滾現象，如圖 29-5，有最長的滯空時間。

三、實驗三：以穩定性較好的翼形，研究配重位置如何影響飛翔

(一)結果：



圖 32-1: 在距翼最前端 4.5 公分處配重，下落時直墜，翼前緣抬起，產生失速、前進少



圖 32-2: 在距翼最前端 2.5 公分處配重，下落時翼前緣往下壓，但又再抬起，又重複下壓、抬起多次



圖 32-3: 在距翼最前端 0.5 公分處配重，下落時翼前緣往下壓，沒有失速現象，往前滑翔

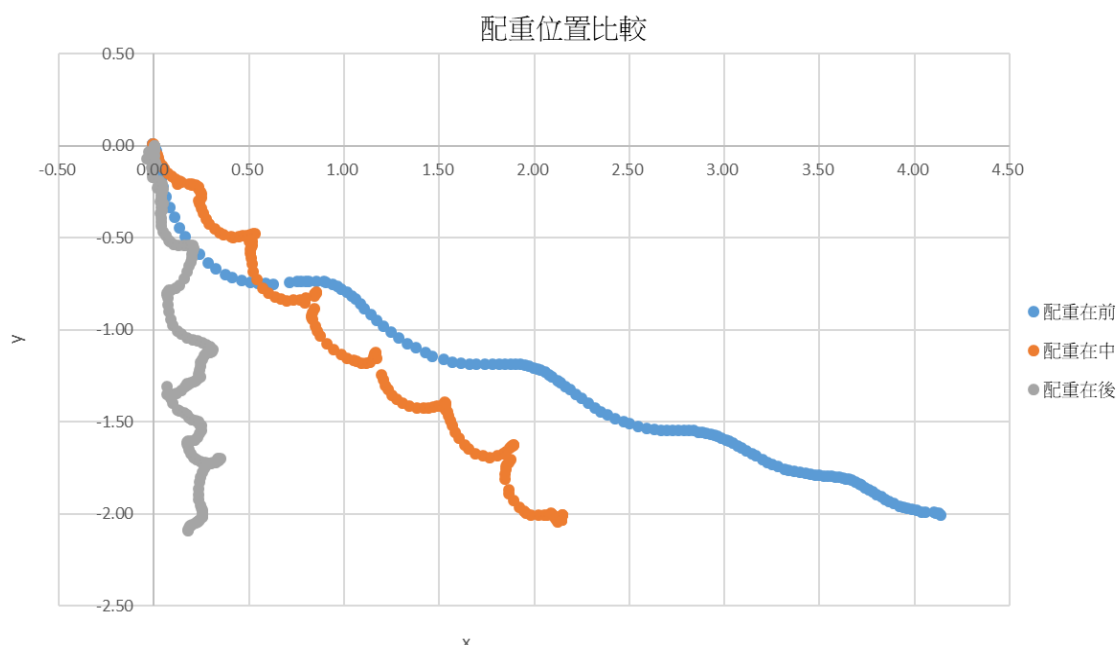


圖 32-4: 12*6 平方公分，40 度角後掠翼，以 0.04 克分別在距最前端 0.5、2.5、4.5 公分處配重

配重位置	飛行時間(秒)	飛行軌跡下所覆蓋面積(平方公尺)
在距最前端 0.5 公分處配重	5.171	3.126
在距最前端 2.5 公分處配重	6.106	1.983
在距最前端 4.5 公分處配重	5.138	0.314

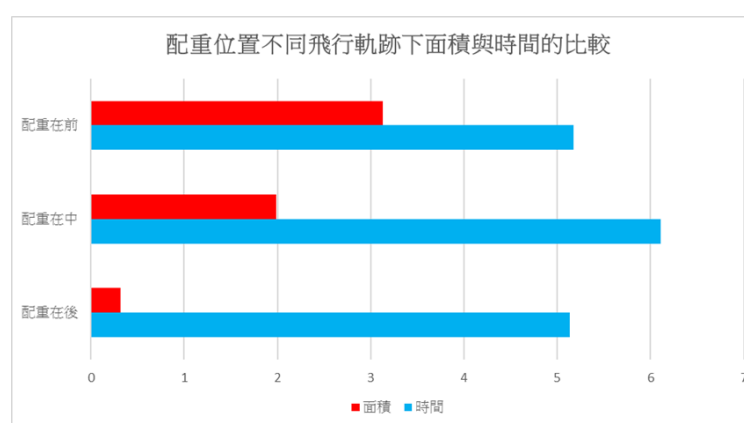


圖 32-5：飛行軌跡下所覆蓋面積與時間的比較

(二)發現：

1. 雖然後掠翼較不易翻滾，但還是需要配重才能穩定滑翔長距離。
2. 良好的配重產生下壓翼前緣的效果，避免翼前緣抬起過高而攻角太大，產生失速現象。
3. 配重越靠近重心，下壓翼前緣的效果小，飛機容易失速，越不容易滑翔遠距離(圖 32-1)。
4. 配重在中間位置，下壓翼前緣的效果雖然稍好，但仍嫌不足，導致翼前緣易抬起而攻角變大，因而獲得高升力，把飛機升起，但終避免不了失速而下墜，下墜後又壓低翼前緣往前滑翔一些，又重複的升起、下墜的循環，好像海豚跳一樣(圖 32-2)。
5. 配重在靠近前緣部分，下壓翼前緣的效果最好，雖然一開始下墜幅度較大，最終沒有產生失速現象，一直向前滑翔(圖 32-3)。
6. 除了配重的重量外，距離也是重要因素，配重距離越遠離重心，越能以較輕的重量產生較好的下壓效果，避免失速，這也顯示後掠翼的優越性，因它的前緣距離重心較長。
7. 飛行軌跡下所覆蓋面積越大，表示飛機飛得越高越遠，配重在前緣部分，沒有失速現象，面積也最大；配重在中間，因為機首一再抬起，升力變大，反而延長時間(圖 32-4、5)。

四、實驗四：以穩定性較好的翼形，研究配重重量如何影響飛翔

(一)結果：



圖 33-1: 距最前端 0.5 公分處配重，配重太重(0.05 克)，下滑的角度太大，前進距離短

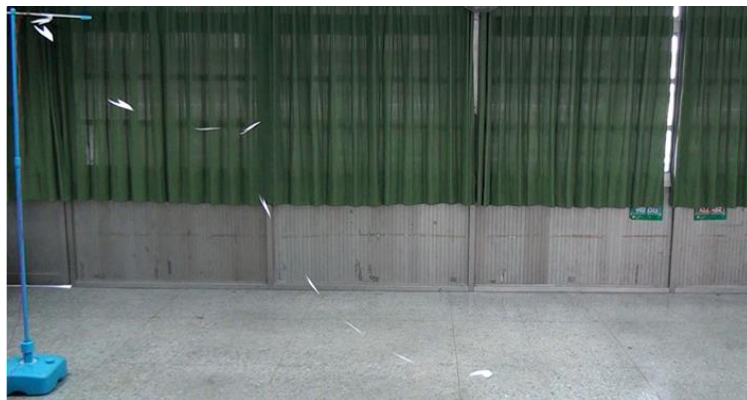


圖 33-2: 距最前端 0.5 公分處配重，配重太輕(0.03 克)，產生一次失速現象

配重重量比較

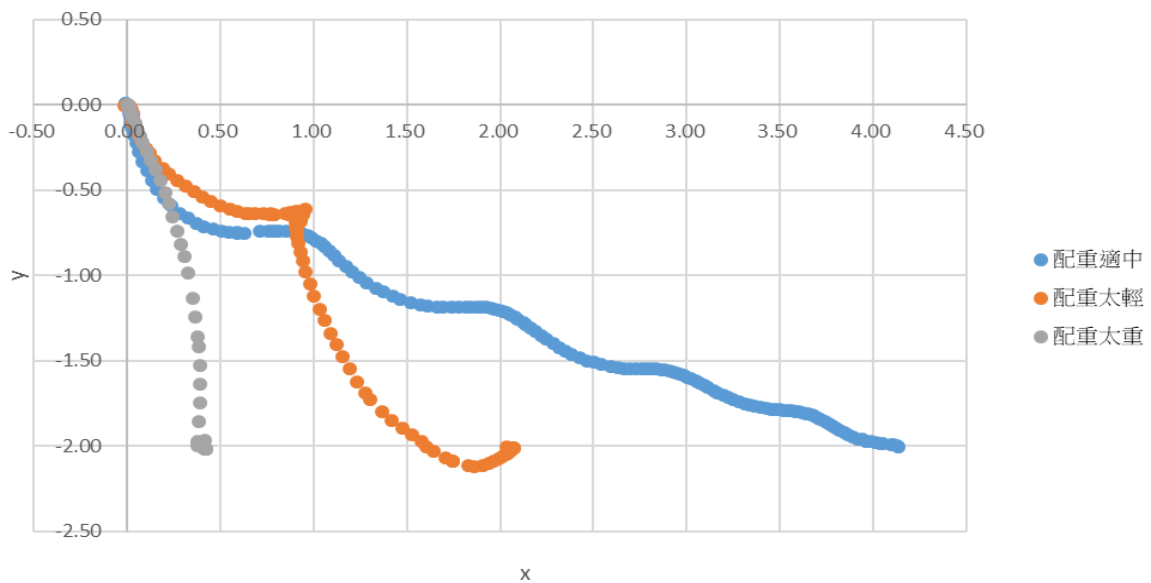


圖 33-3: 12*6 平方公分，40 度角後掠翼，在距最前端 0.5 公分處配重，分別以 0.03 克(太輕)、0.04 克(適中)、0.05 克(太重)的重量配重

表 3：配重重量不同		
配重重量	飛行時間(秒)	飛行軌跡下所覆蓋面積(平方公尺)
配重重量適中	5.172	3.126
配重重量太輕	3.103	1.709
配重重量太重	1.969	0.568

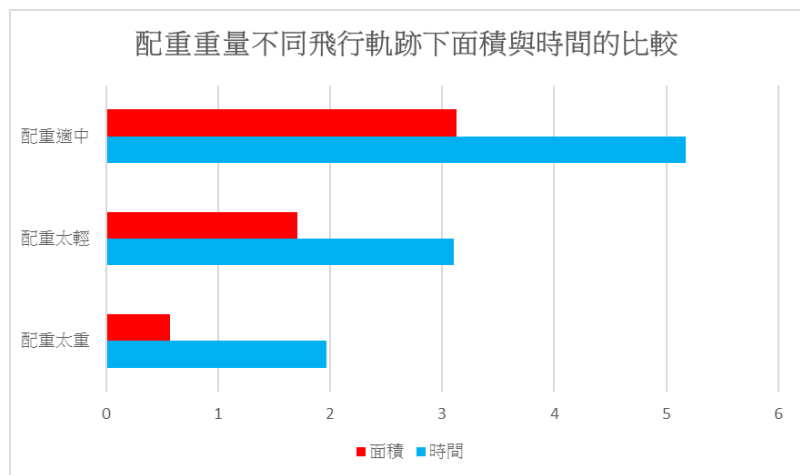


圖 33-4：飛行軌跡下所覆蓋面積與時間的比較

(二)發現：

1. 雖然配重位置已經較遠離重心，然而配重太重，導致翼前緣下壓的角度太大，滑翔距離不長(圖 33-1)。
2. 配重太輕又會翼前緣抬起產生失速現象，但不像實驗三配重在距前端 2.5 公分的例子，這次只產生一次失速現象，可見距離因素發生效果，只是重量依然不足，只有剛好才能穩定滑翔長距離(圖 33-2)。
3. 只能在翼面上配重，重量稍輕、稍重，飛行軌跡變化很大，配重不易，所以需要其他較好的配重方式(圖 33-3)。
4. 配重重量適中，飛行軌跡下所覆蓋的面積與飛行時間都較大(圖 33-4)。

五、實驗五：尋找較好的配重方式，嘗試對不同的翼形配重

(一)結果：



圖 34-1:面積 12 乘 6 平方公分，後掠角 0-40 度的翼，用相同的細長條吸管(0.04g)配重



圖 34-2: 後掠角 0 度，翼前緣易抬起失速



圖 34-3:後掠角 40 度，起飛時下墜幅度不大，飛行平穩，飛行長距離

後掠角不同的翼飛行軌跡比較

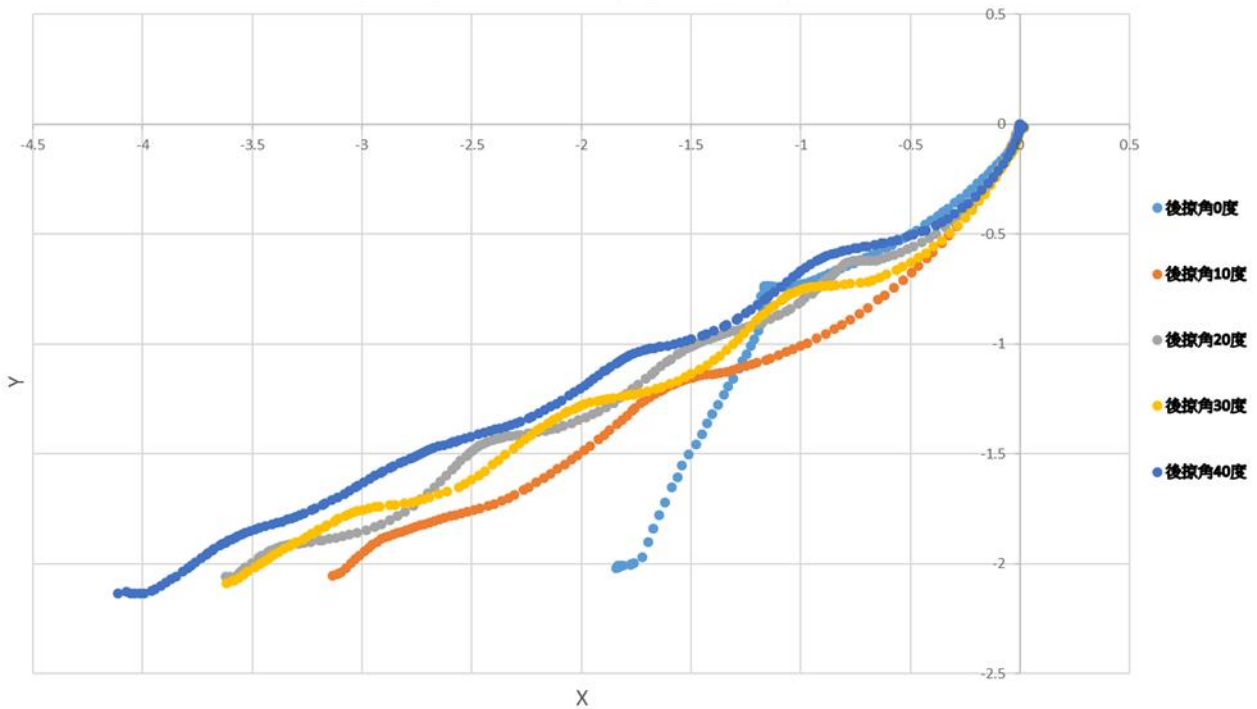
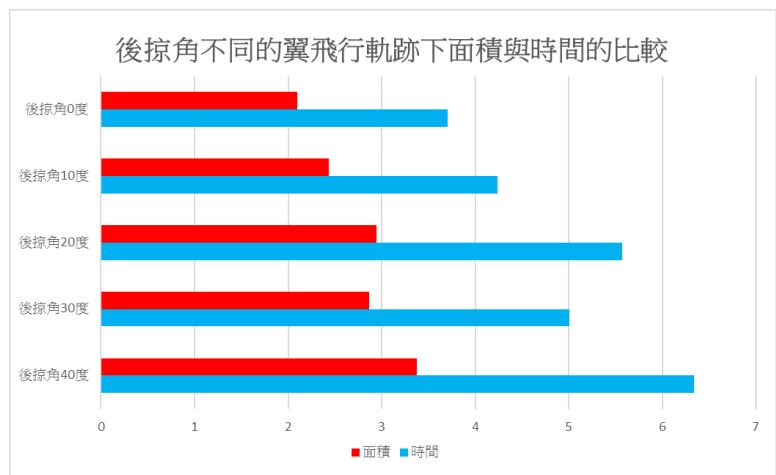


圖 34-4：面積 12*6 平方公分，後掠角不同的翼，相同的延長配重方式，飛行軌跡的比較

表 4：後掠角不同		
後掠角	飛行時間(秒)	飛行軌跡下所覆蓋面積(平方公尺)
後掠角 0 度	3.704	2.097
後掠角 10 度	4.238	2.433
後掠角 20 度	5.572	2.948
後掠角 30 度	5.005	2.865
後掠角 40 度	6.340	3.374



圖：34-5：飛行軌跡下所覆蓋面積與時間的比較

(二)發現：

1. 以吸管剪成細長條，可將重量分散延伸到較遠離重心的位置，相同重量下更能發揮較好的下壓效果，使飛機更不容易失速，配重更容易，飛機的穩定性更高。
2. 配重不集中在一處，而是分散延伸到較遠離重心的位置，可避免一開始下墜幅度過大，導致飛行距離不長(圖 34-4)。
3. 後掠角越高，飛機較易配重，穩定性越高(圖 34-3);無後掠角，易失速，配重不易(圖 34-2)。
4. 後掠角越高的翼，穩定性高，飛行軌跡下所覆蓋面積與時間都較大(圖 34-5)。

六、實驗六：如何避免滾轉的研究

(一)結果：

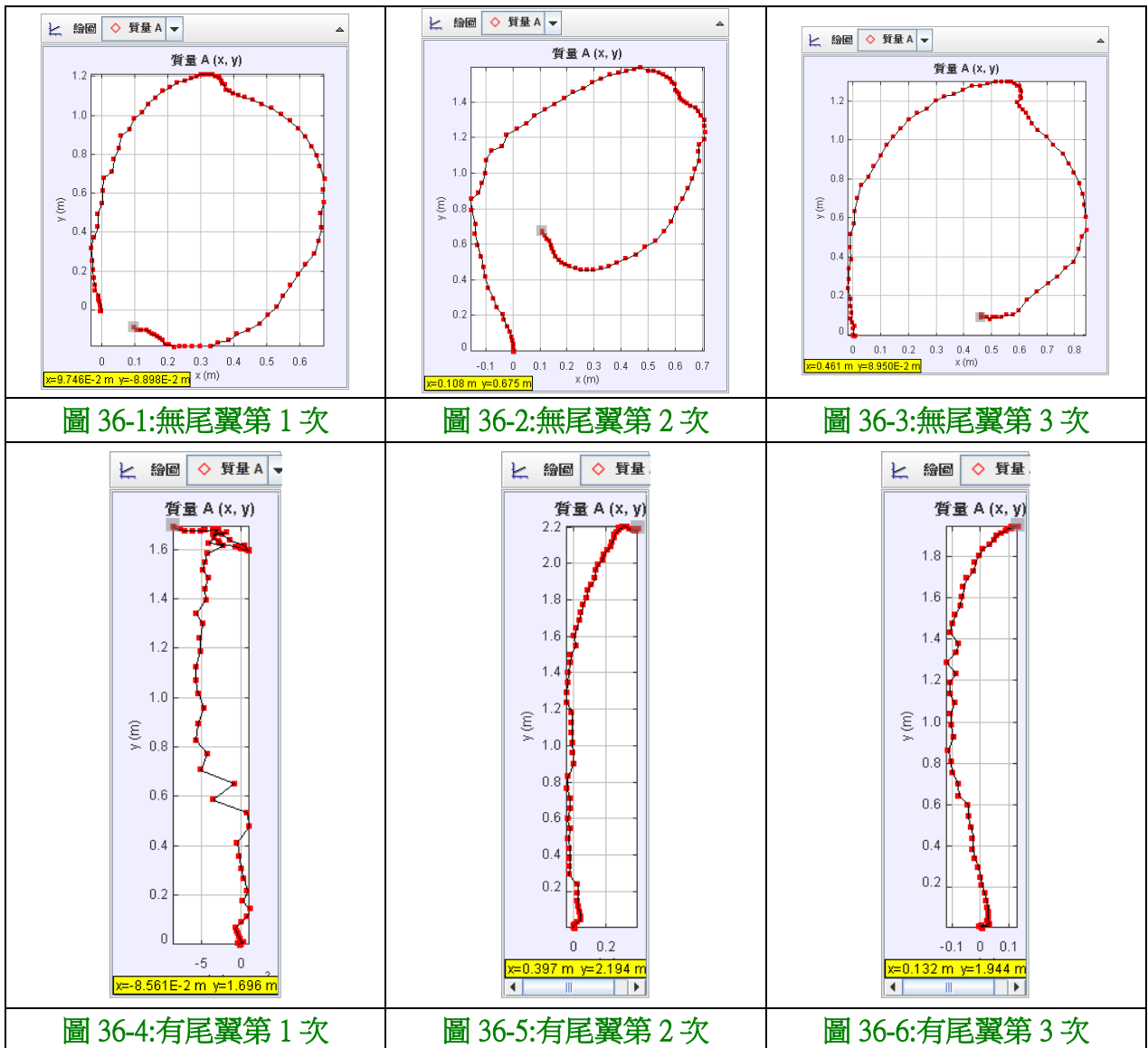
			
圖 35-1:下反角 10 度	圖 35-2:下反角 20 度	圖 35-3:下反角 30 度	圖 35-4:下反角 40 度
			
圖 35-5：錐角 120 度	圖 35-6：錐角 100 度	圖 35-7：錐角 60 度	圖 35-8：錐角 45 度

(二)發現：

1. 所有 0-40 度下反角的翼，下落都會自動轉成上反角。所以上反角可使飛機穩定；反之，下反角是不穩定的狀態。下反角越大的翼，翻轉成上反角越快、越容易(圖 35-1~4)。
2. 所有平面夾角 120-45 度的圓錐，以下反角姿態落下，落下後都會自動轉成上反角。下反角越大的圓錐，翻轉成上反角越快、越容易，飛行姿態也越穩定，較不易擺盪(圖 35-5~8)。

七、實驗七：如何避免偏航的研究

(一)結果：



(二)發現：

加了垂直尾翼後，大幅改善了原本偏航、轉彎的缺點(圖 36-1~6)。

八、實驗八:翼面積大小對飛翔的影響研究

(一)結果：

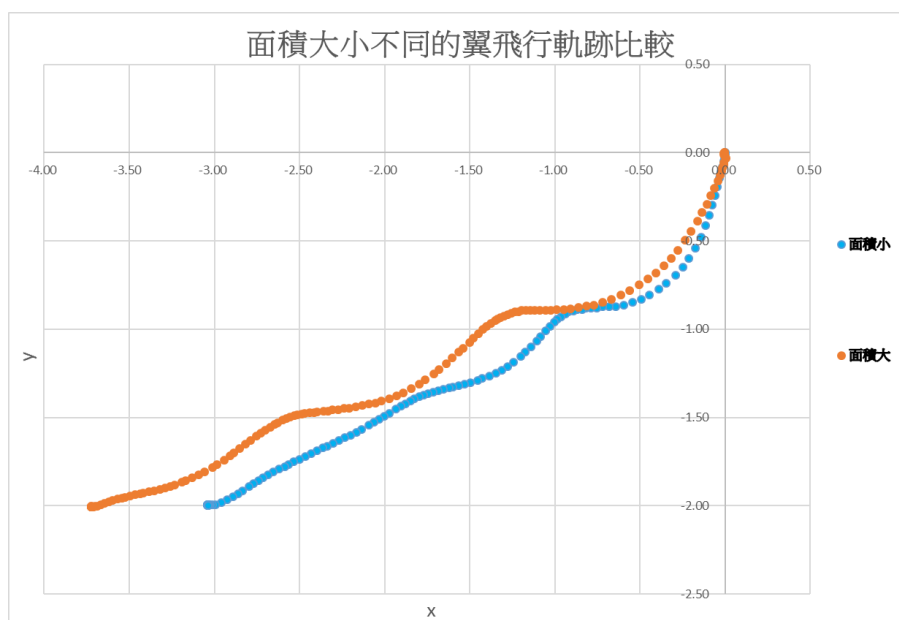
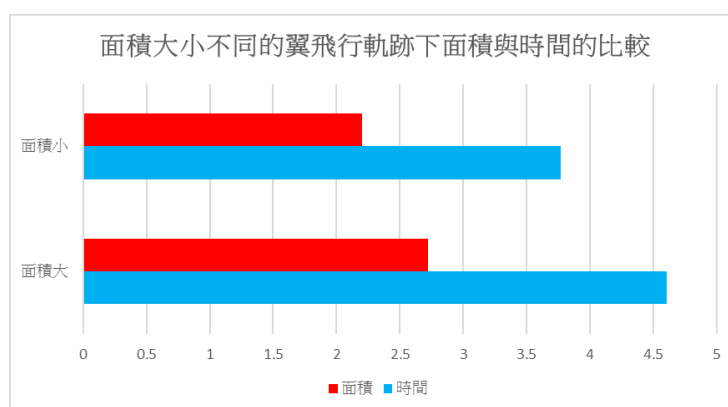


圖 37-1：12*6 平方公分，後掠角 40 度的翼與長度縮減 50%後的翼，飛行軌跡比較

翼面積	飛行時間(秒)	飛行軌跡下所覆蓋面積(平方公尺)
翼面積較小	3.770	2.201
翼面積較大	4.605	2.722



圖：37-2：飛行軌跡下所覆蓋面積與時間的比較

(二)發現

1. 加了垂直尾翼後，一開始的下墜幅度都會大一點，但也大幅改善偏航(圖 37-1)。
2. 面積較小的翼，一開始的下墜幅度比較大，應該是翼升力較小，承載的力量較小所致，所以使它滑翔的能力也較小於翼面積較大的飛機(圖 37-1)。
3. 翼面積較小的飛機比翼面積大的飛機更不穩定。
4. 翼面積越大，飛行軌跡下所覆蓋面積與時間都越大，表示越能飛得更高更遠(圖 37-2)。

陸、討論

- 一、鳥類與昆蟲會藉由拍翅來獲得高升力，但沒有穩定性良好的翼形與重量配置，它將需要額外力量來修正不穩定，因此具備良好的穩定性條件，動物才能省力又有效率地飛翔。
- 二、根據實驗三、四、五、八的實驗結果，飛行軌跡下所覆蓋面積大致與飛行時間成正比，例外是實驗三配重在中間的例子(圖 32-2、4、5)，發現機頭一再抬起，而抬起會讓攻角增加，進而增加升力，所以能延長滯空時間；而飛行距離較長的例子都沒有發生失速(圖 32-3、34-3)。因此我們推論：想要延長滯空時間，主要條件是必須能獲得高升力；而想要延長飛翔距離，主要條件是必須避免失速。
- 三、秋行軍蟲成蟲是否能從大陸飛到台灣的謎題，根據實驗八的結果發現，以其成蟲的大小(翼

展 3-4cm)來推論，單靠滑翔能力不足以飛越一百多公里，除非有持續的氣流吹襲，因此，我們設計了垂直風洞(圖 38-1~2)，將保麗龍切割成不同形狀實體，在不同風速的吹襲下，觀察測試體是否可停留在空中不下墜。實驗結果顯示，在風的吹襲下，近似圓球體、正方體的實體較易停留在空中，而扁狀物容易翻滾而有下切的風險。又根據實驗六，進一步發現錐體，姿態可維持上反角，重心保持在下半部，可持續穩定的停留在空中，不易翻滾(圖 38-2)。模擬實驗發現，秋行軍蟲成蟲模型的翅膀如能呈現上反角，加上下半部的身體，構成接近錐體的形態，就可在風吹時較穩定的停留在空中(圖 38-3~5)。



圖 38-1:在風洞測試實體可否停留在空中



圖 38-2:錐體穩定、不易翻滾



圖 38-3:以 1:1 大小製作秋行軍蟲模型

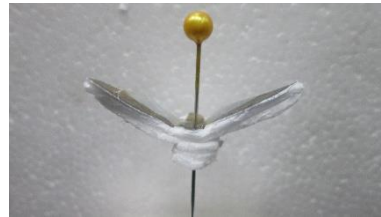


圖 38-4:秋行軍蟲模型整體可構成接近錐體，



圖 38-5:整體構成接近錐體可停留在空中

- 四、利用 Tracker 軟體來追蹤軌跡，如果從距離較遠的地方拍攝，追蹤出來的距離會比實際的小，飛翔距離太遠也沒有辦法完全入鏡，是要再克服的困難。
- 五、了解翼必須配重在翼的前緣，及適當的重量，才能維持穩定的姿態，獲得較大的升力，避免失速，因而能延長滯空時間及滑翔的距離。我們試著製作較大型的飛機，隨著提高初始的下降高度，更能延長滑翔的距離，例如從 3 公尺高度落下，能飛行十幾公尺，也能適用在戶外飛翔(圖 39-1~2)。



圖 39-1:模仿動物造型

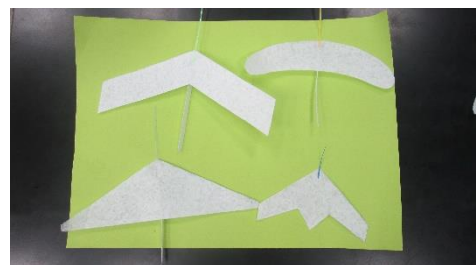


圖 39-2:加大翼的尺寸

柒、結論

一、翼面積與展弦比的影響

- (一) 翼面積越大或展弦比越小，飛行姿態越趨向滑翔；面積越小或展弦比越大，飛行姿態越趨向翻滾。
- (二) 水平的滑翔或高頻率的翻滾都會延長滯空時間，下切容易導致翼面很快掉落。

(三) 不是翼面積越大滯留在空中的時間就比較久，翼面必須配重，才能穩定的滑翔。

二、後掠角的影響

(一) 後掠角較大的翼較不容易發生翻滾現象，穩定性較高。

(二) 後掠翼前緣距離重心較長，能以較輕的重量達到較好的配重效果，避免失速，配重較容易。

三、配重的影響

(一) 翼需要適當配重才能穩定滑翔。

(二) 良好的配重產生下壓翼前緣的效果，避免翼前緣抬起過高而攻角太大，產生失速現象。

(三) 配重位置越靠近重心，下壓翼前緣的效果越小，易失速，不易滑翔遠距離；配重距離不足易導致飛機重複的升起、下墜的循環；配重在靠近翼前緣部分，距離越遠離重心，越能以較輕的重量產生較好的下壓效果，避免失速。

(四) 配重重量太重，下壓翼前緣效果太強，下滑的角度過大，滑翔距離不長；太輕又會翼前緣抬起產生失速現象；只有重量剛好才能穩定滑翔長距離。

(五) 只在翼面配重，翼的飛行軌跡變化較大，不易配重。利用延伸出翼面的配重方式，可將重量分散延伸到較遠離重心的位置，能以較輕的重量，發揮更好的下壓翼前緣效果，不易失速，配重更容易，穩定性更高，也能改善一開始下墜幅度過大的問題。

四、上反角的影響

(一) 翼、圓錐形以下反角的姿態下落，都會自動轉成上反角，所以上反角可使飛機穩定；反之，下反角是不穩定的狀態。

(二) 接近錐狀的物體，在風的吹襲時，可持續穩定停留在空中，不易翻滾。推論秋行軍蟲成蟲的翅膀與身體如果能構成接近錐體的形態，可在風吹時較穩定的停留在空中。

五、垂直尾翼的影響

(一) 加垂直尾翼，可大幅改善了原本偏航、轉彎的缺點。

六、翼面積的影響

(一) 面積較小的翼，升力較小，所以使它滑翔的能力也小於翼面積大的飛機。

(二) 翼面積較小的飛機比翼面積大的飛機更不穩定。

(三) 有了良好的翼面形狀、適當的配重、上反角及垂直尾翼，飛機才能穩定飛翔，大翼面積才能發揮作用，讓飛機能飛的又高又遠。

七、總結

(一) 要延長滯空時間，主要必須能獲得高升力；而延長飛翔距離，則必須避免失速。

捌、參考資料

一、趙先寧(民78)。飛機設計基本原理。徐氏基金會。

二、陳又君等(民100)。滑翔的舞姬-解析大白斑蝶驚艷飛行。中華民國第51屆科學展覽會國中組生物科。

【評語】 080104

本作品主題為從穩定性探討物體飛翔的秘密，探究影響物體穩定飛翔的因素、物體能穩定飛翔的方式以及製作穩定飛翔的飛機針，對眾多的變因最優化物體飛行的穩定度。

此類的科展題目已經相當的多，並不算是非常有原創性的作品，很多的控制變因的結果都是可預期的。

雖然本作品添加了秋行軍蟲成蟲模型的元素，在風洞中驗證其實驗結果，但是並沒有確定的結論。

摘要

穩定飛翔的飛機必須強調適當翼面積大小、展弦比、後掠翼，以及配重重量與位置必須適當，配重位置靠近翼前緣效果較好，甚至利用延伸出翼面的方式，能以較輕的重量達到下壓的效果，避免失速；還發現垂直尾翼可有效改善偏航現象。本研究還觀察出翼的上反角有助於防止滾轉，進而設計風洞實驗，發現錐體能不翻滾；推論秋行軍蟲如能形成近似錐體，就能在氣流吹襲下，穩定停留在空中，進而飛越千里來台。

壹、研究動機

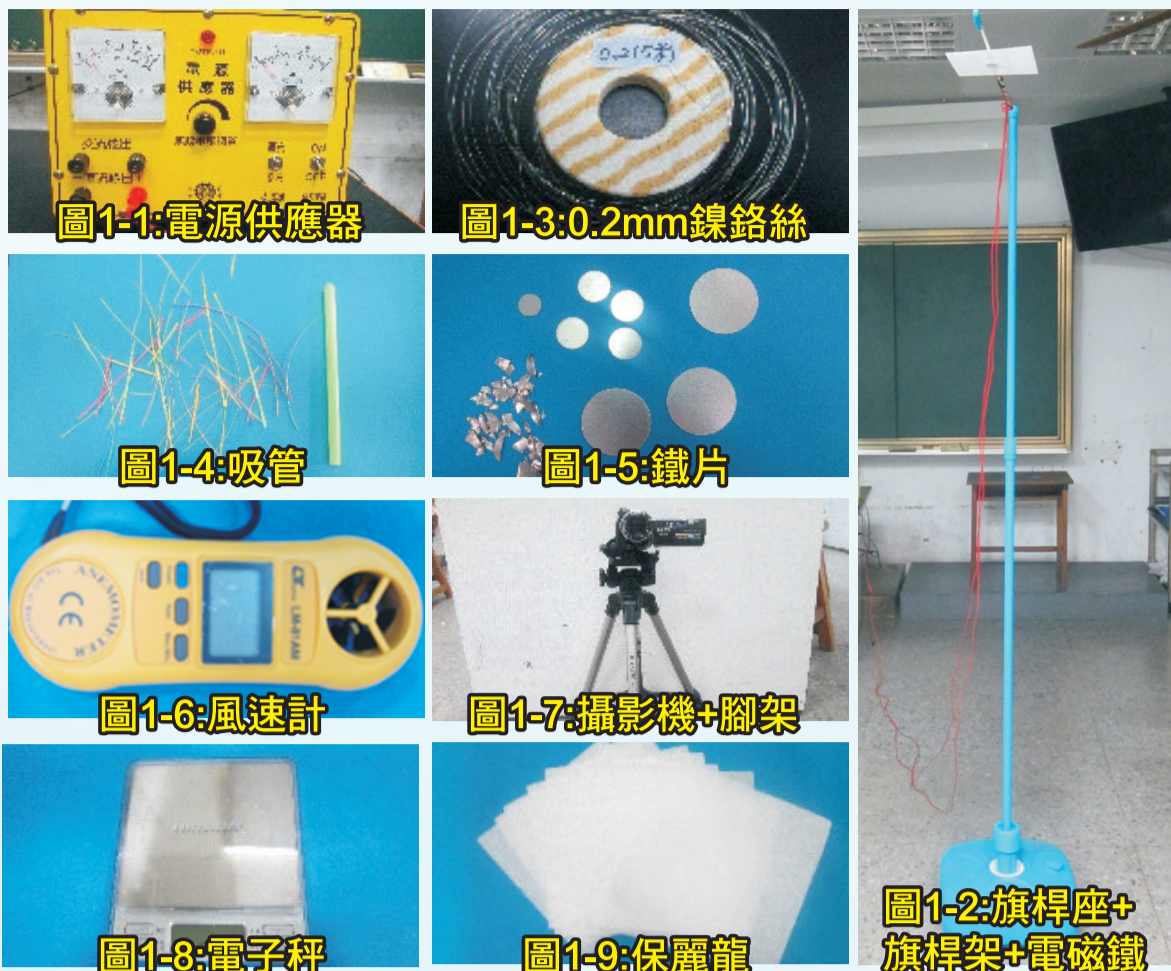
為什麼鳥可以穩定的在空中飛呢？我們做的紙飛機卻做不到！秋行軍蟲已經從大陸傳播到台灣，這些飛行體為什麼都可以穩定的飛翔呢？這引起我們很大的好奇。

貳、研究目的

- 一、探究影響物體穩定飛翔的因素。
- 二、探究物體能穩定飛翔的方式。
- 三、製作穩定飛翔的飛機。

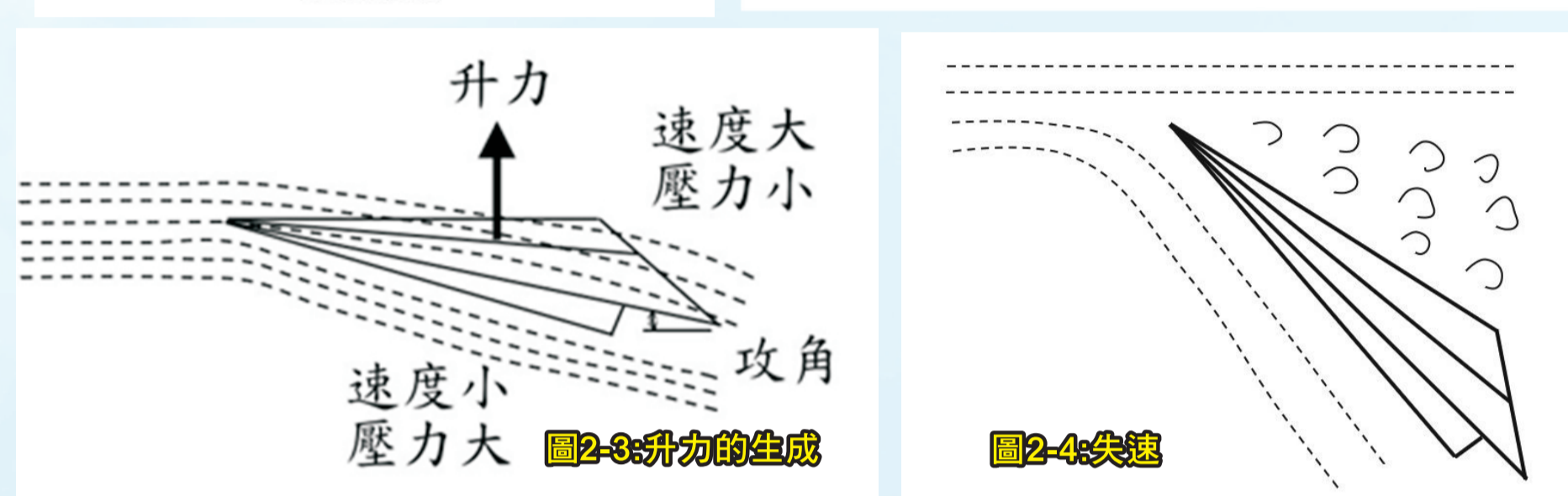
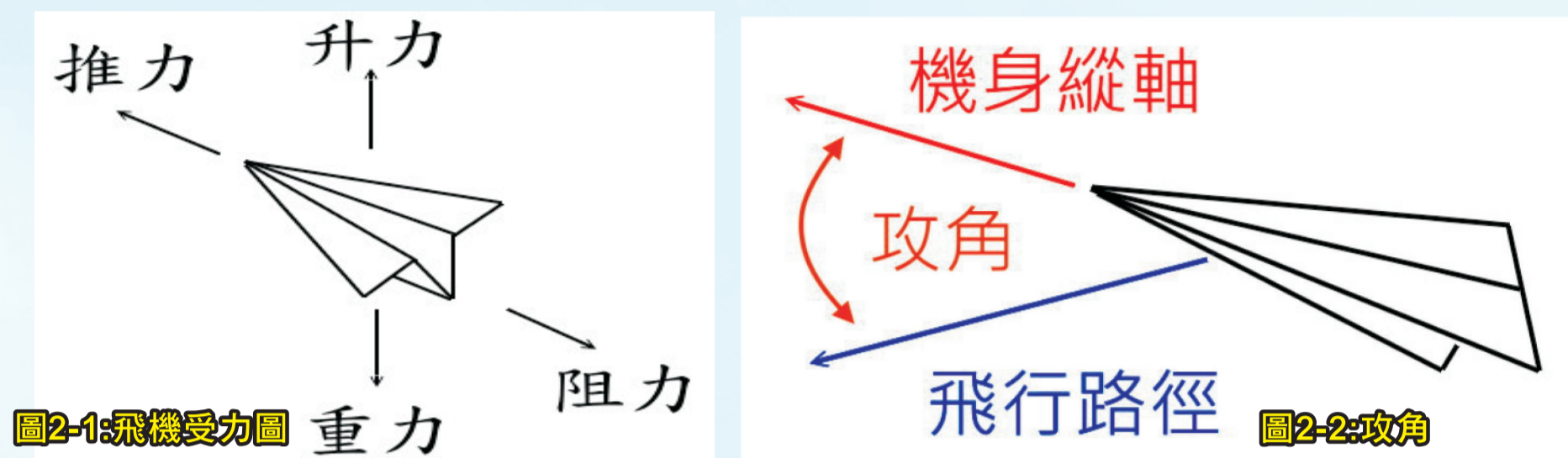
參、研究設備及器材

肆、研究過程或方法



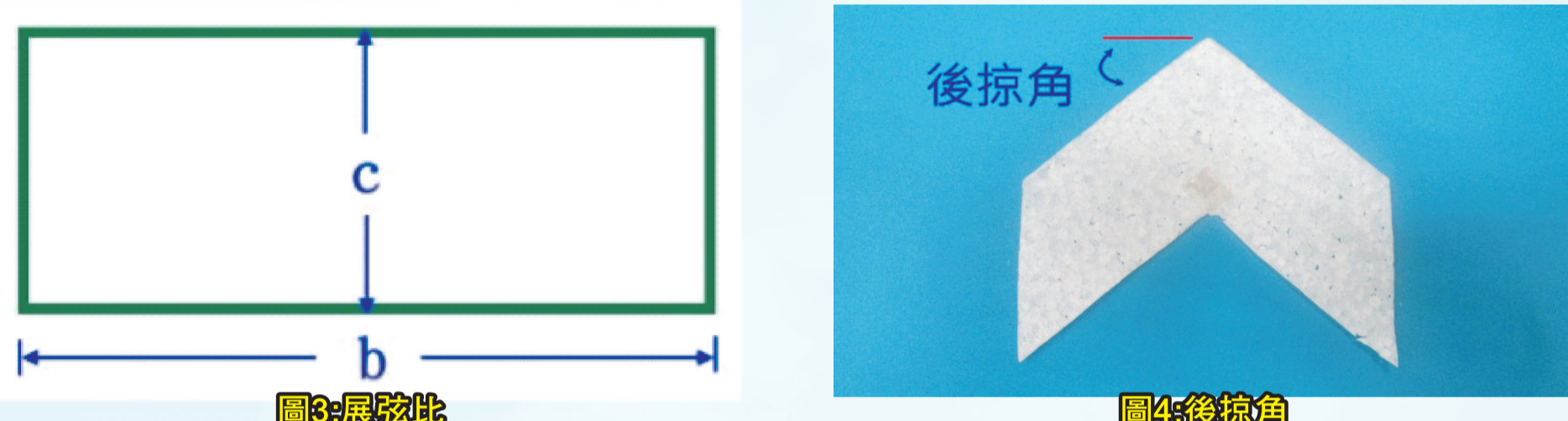
一、名詞解釋

- (一)物體在空氣中的受力
- (二)攻角、失速

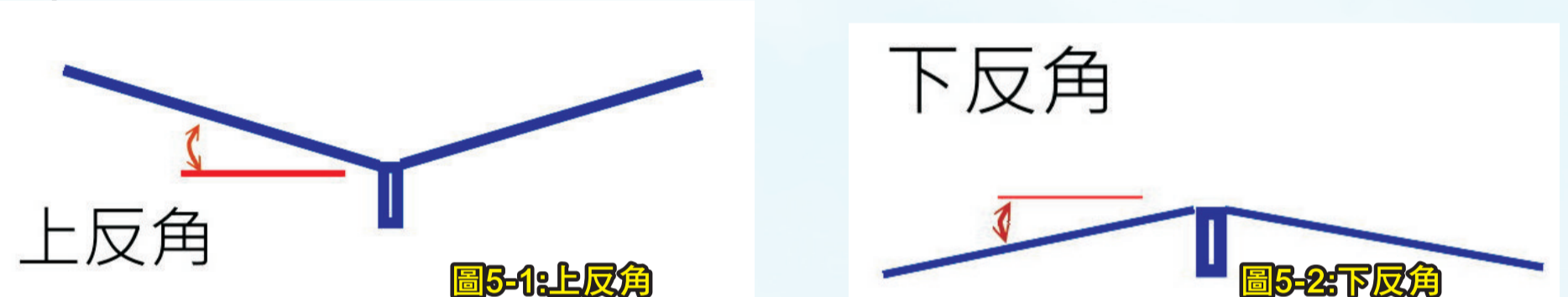


(三)展弦比
$$\frac{b}{c} = \frac{b \times b}{c \times b} = \frac{b^2}{A}$$

(四)後掠角(SA)

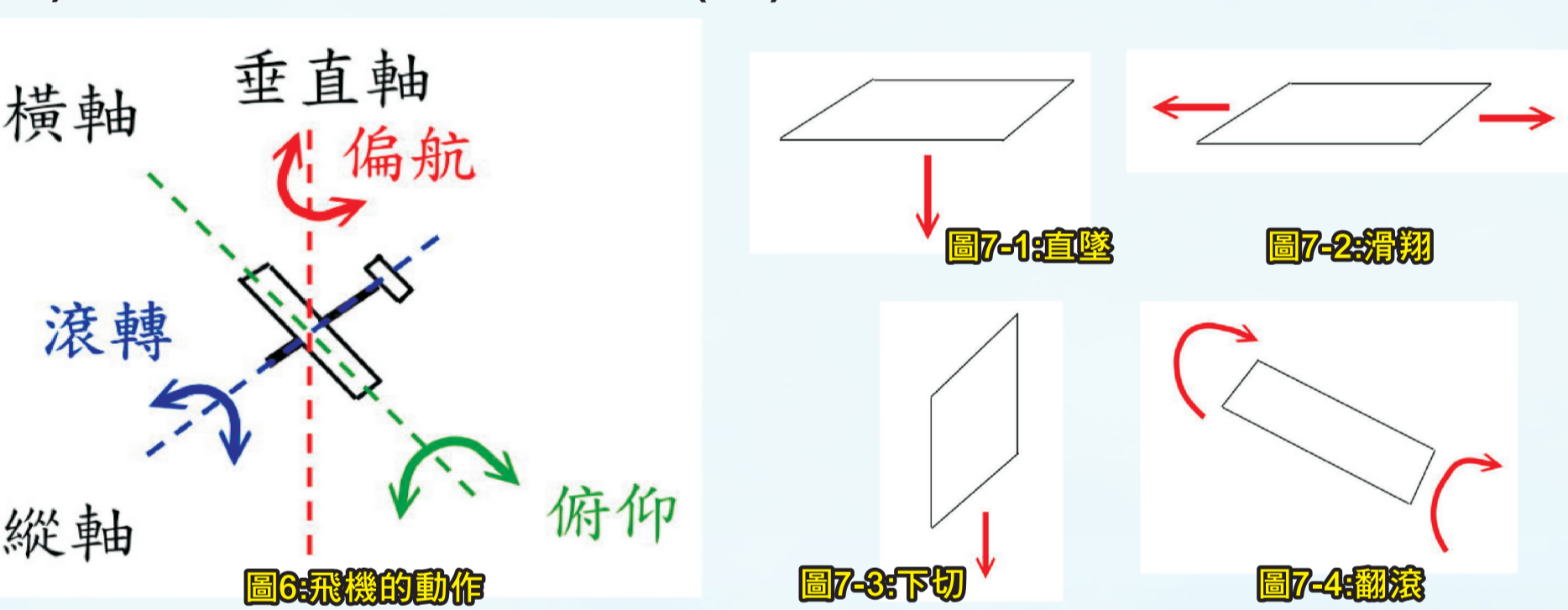


(五)上反角

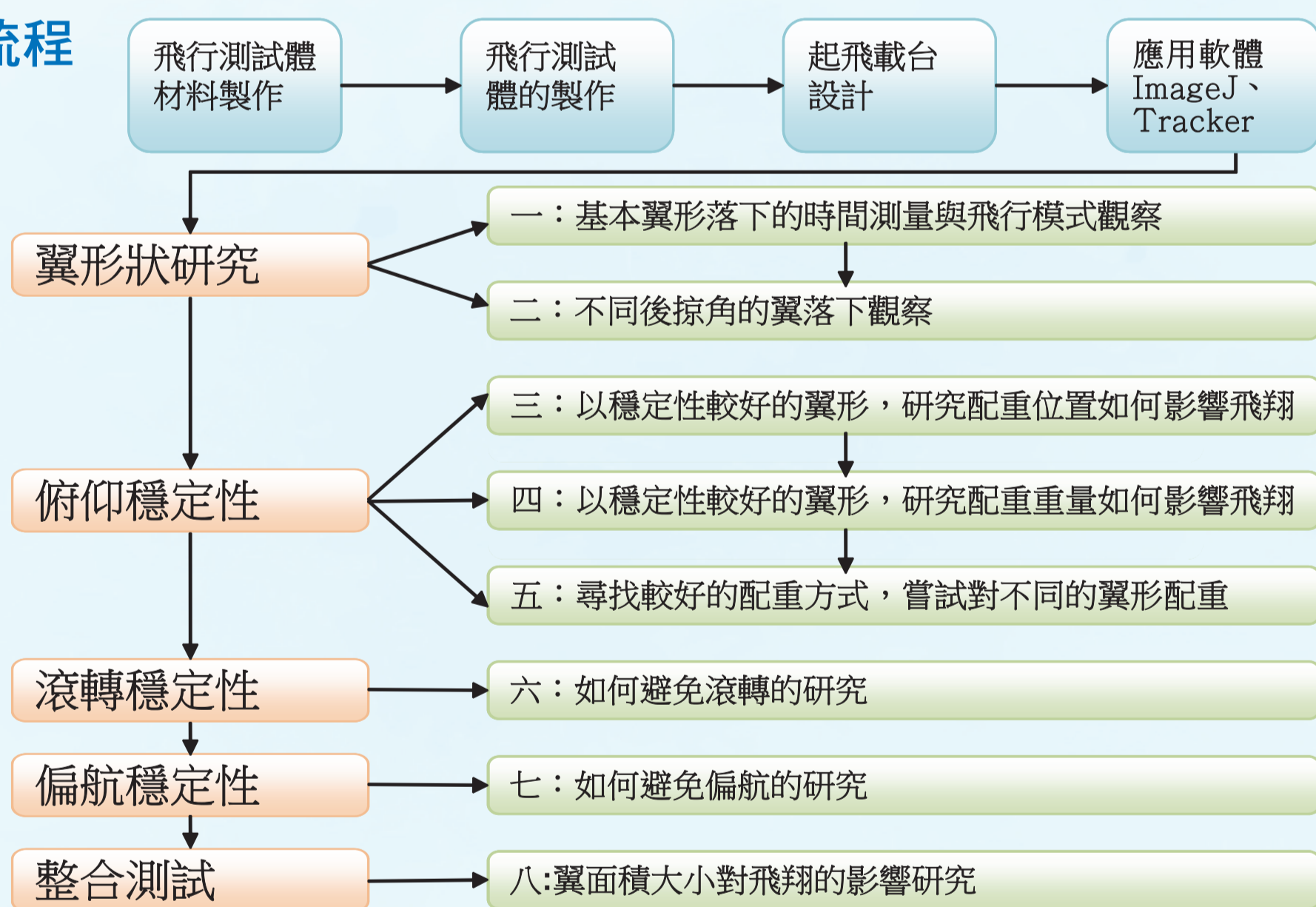


(六)穩定性

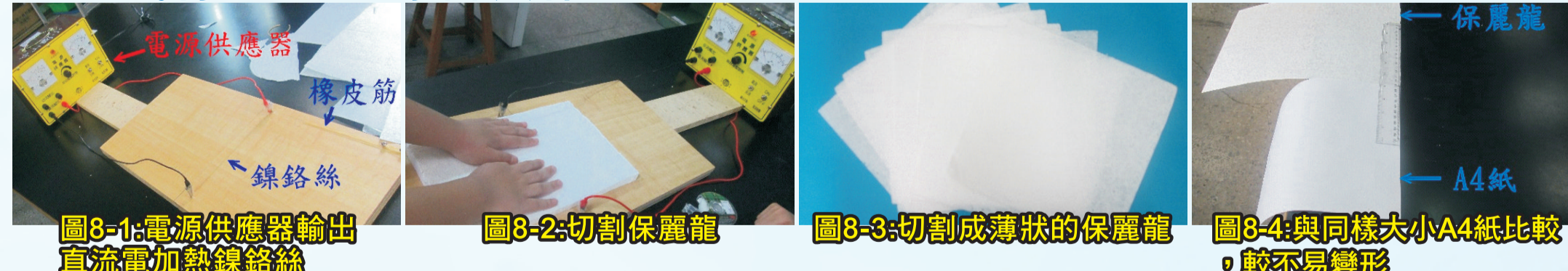
(七)翼的飛行動作解析



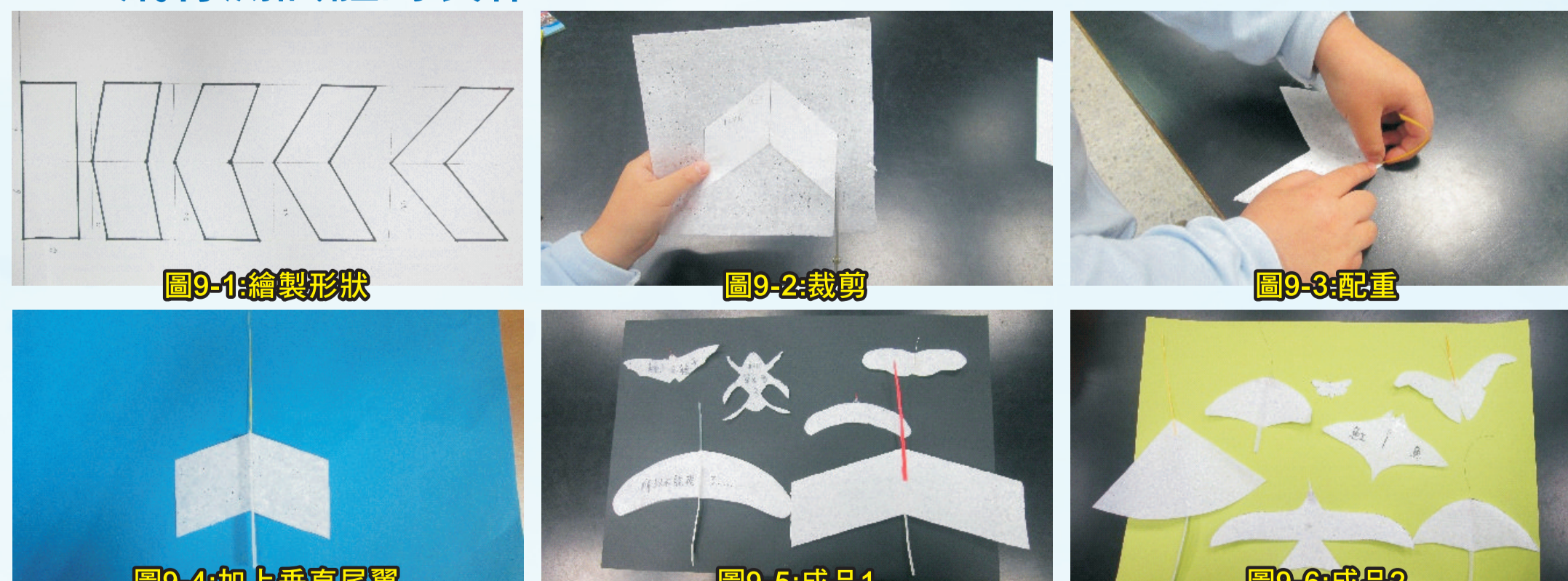
二、研究流程



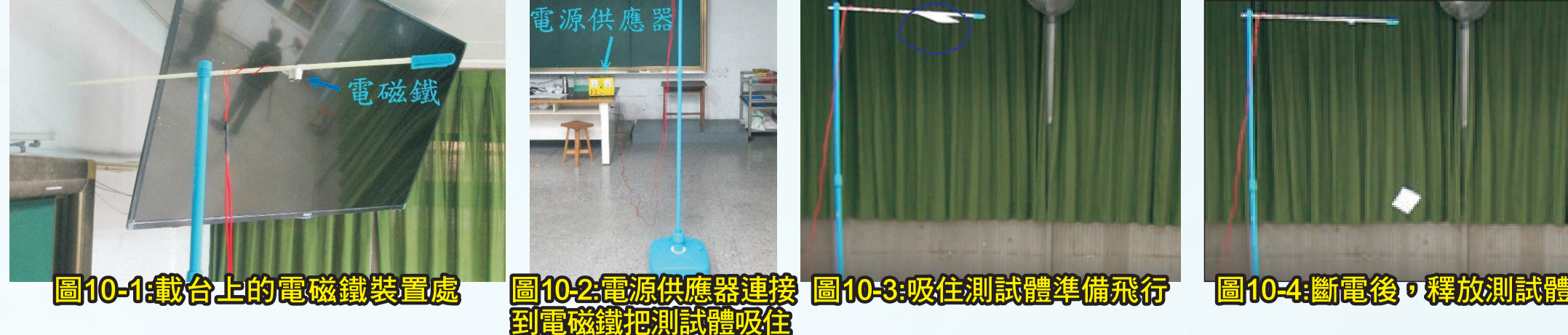
三、飛行測試體材料製作



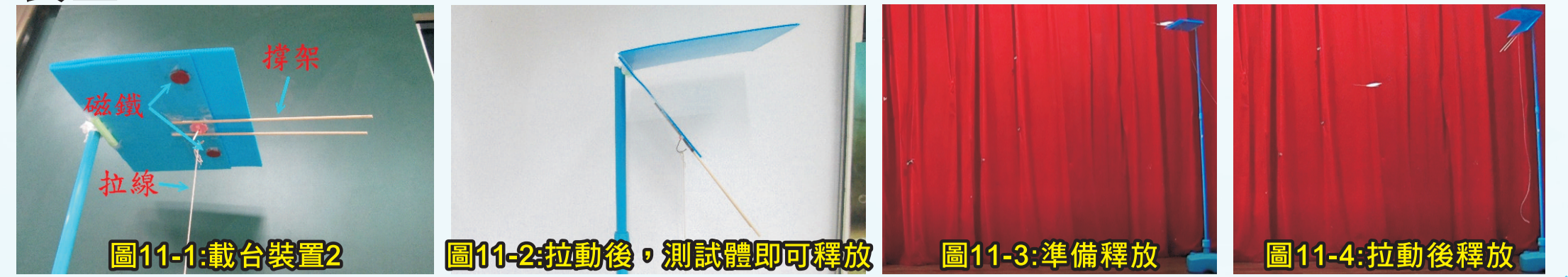
四、飛行測試體的製作



五、起飛載台設計

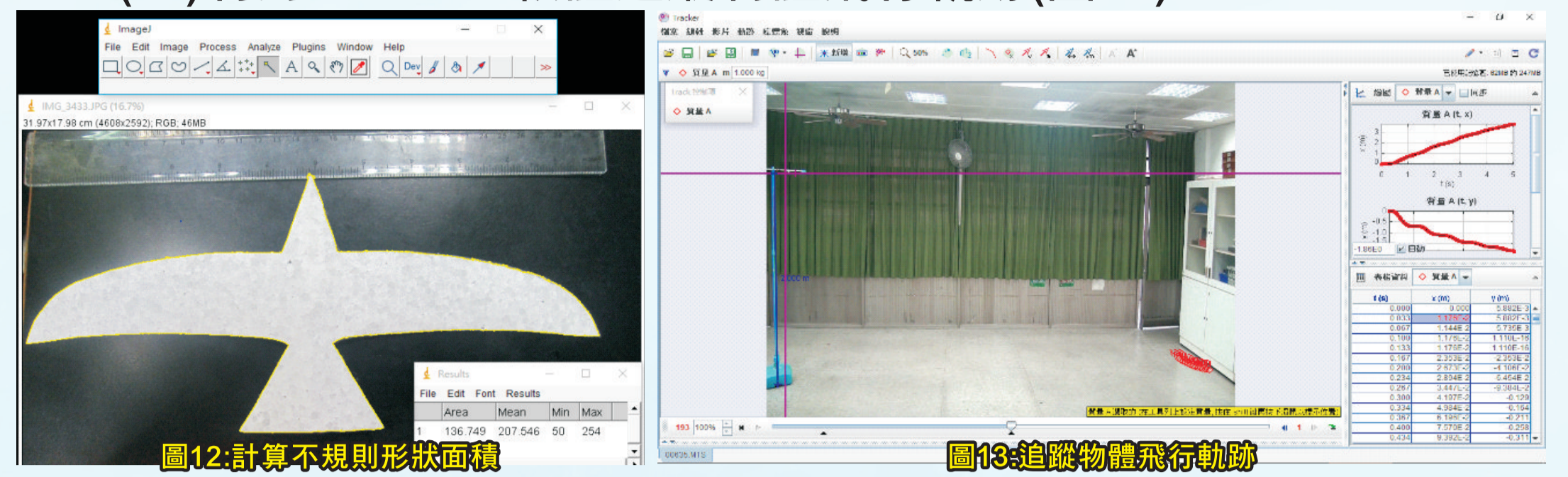


裝置2:



六、應用軟體

- (一)利用 ImageJ 軟體計算不規則形狀面積(圖12)
- (二)利用 Tracker 軟體追蹤物體飛行軌跡(圖13)



七、實驗一:

表1: 不同的面積與不同展弦比的翼尺寸

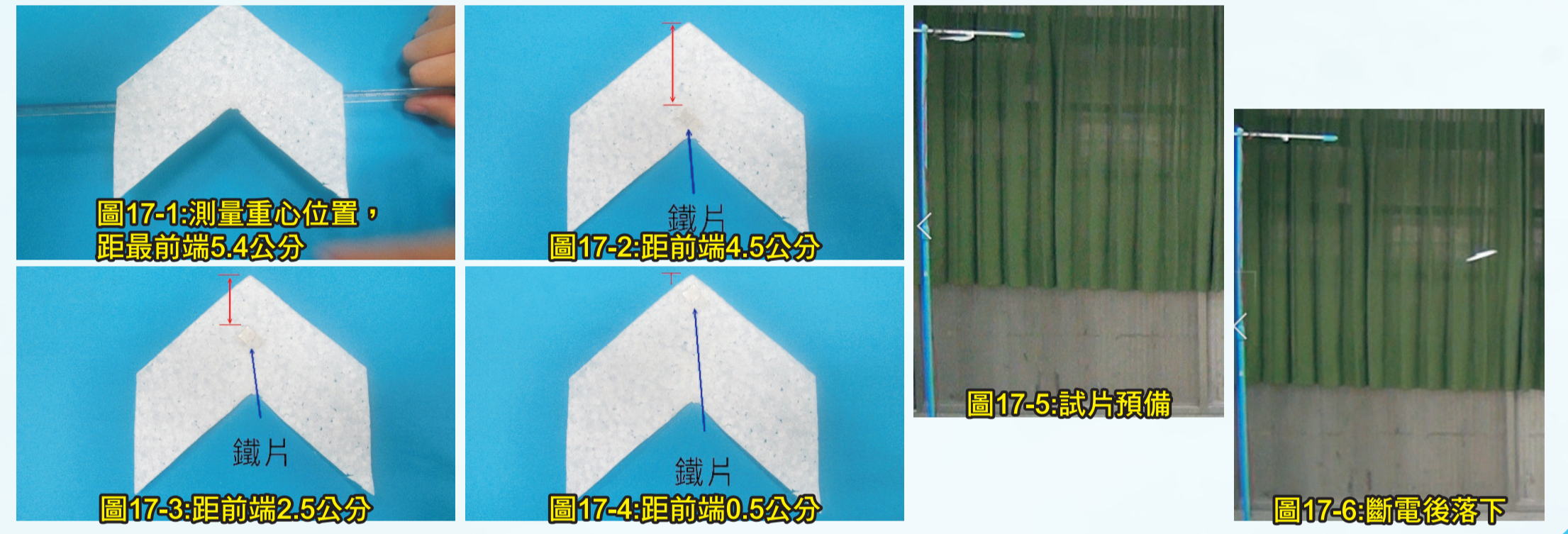
面積 (平方公分)	展弦比 =1	展弦比 =1.78	展弦比 =2.78	展弦比 =4	展弦比 =5.47	鐵片配重後重量 (克)
	長*寬 (公分)	長*寬 (公分)	長*寬 (公分)	長*寬 (公分)	長*寬 (公分)	
225.00	15.00*15.00	20.00*11.25	25.00*9.00	30.00*7.50	35.00*6.40	0.55
156.25	12.50*12.50	16.68*9.37	20.84*7.50	25.00*6.25	29.24*5.34	0.47
100.00	10.00*10.00	13.34*7.50	16.67*6.00	20.00*5.00	23.39*4.28	0.23
56.25	7.50*7.50	10.01*5.62	12.50*4.50	15.00*3.45	17.54*3.21	0.14
25.00	5.00*5.00	6.67*3.75	8.34*3.00	10.00*2.50	11.69*2.14	0.07



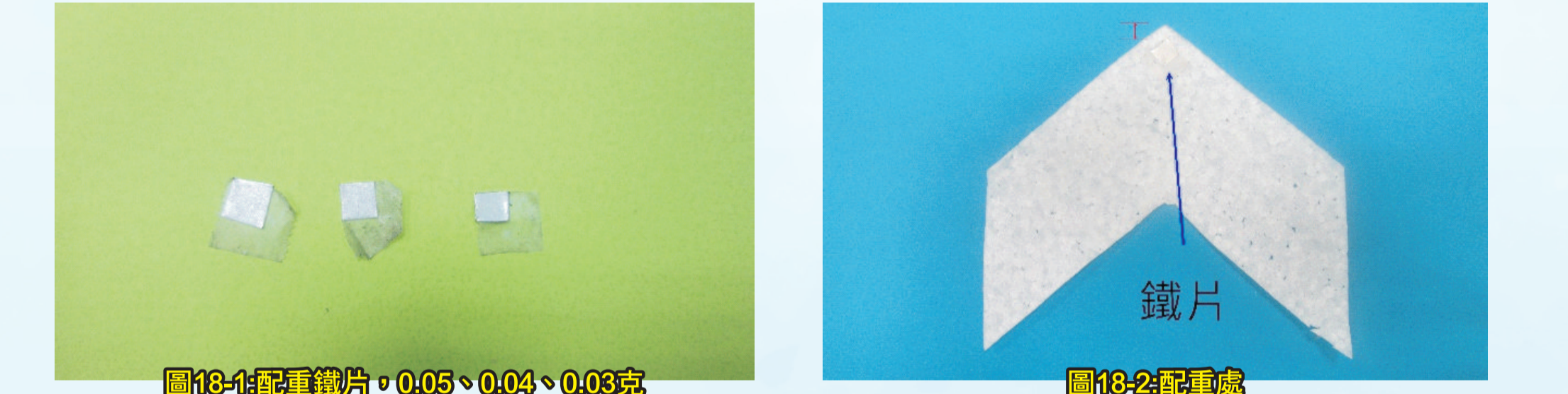
八、實驗二: 不同後掠角的翼落下觀察



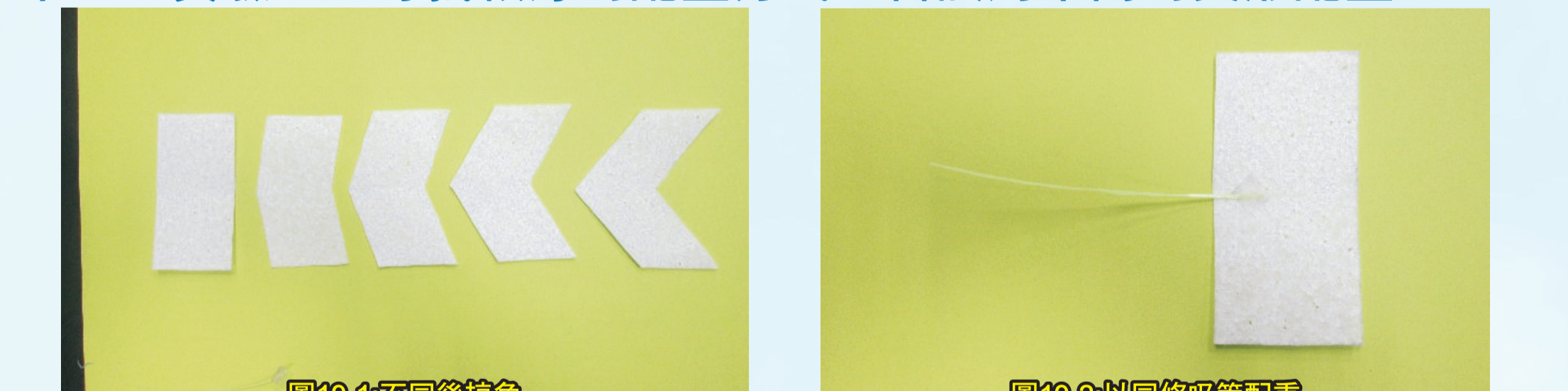
九、實驗三: 以穩定性較好的翼形, 研究配重位置如何影響飛翔



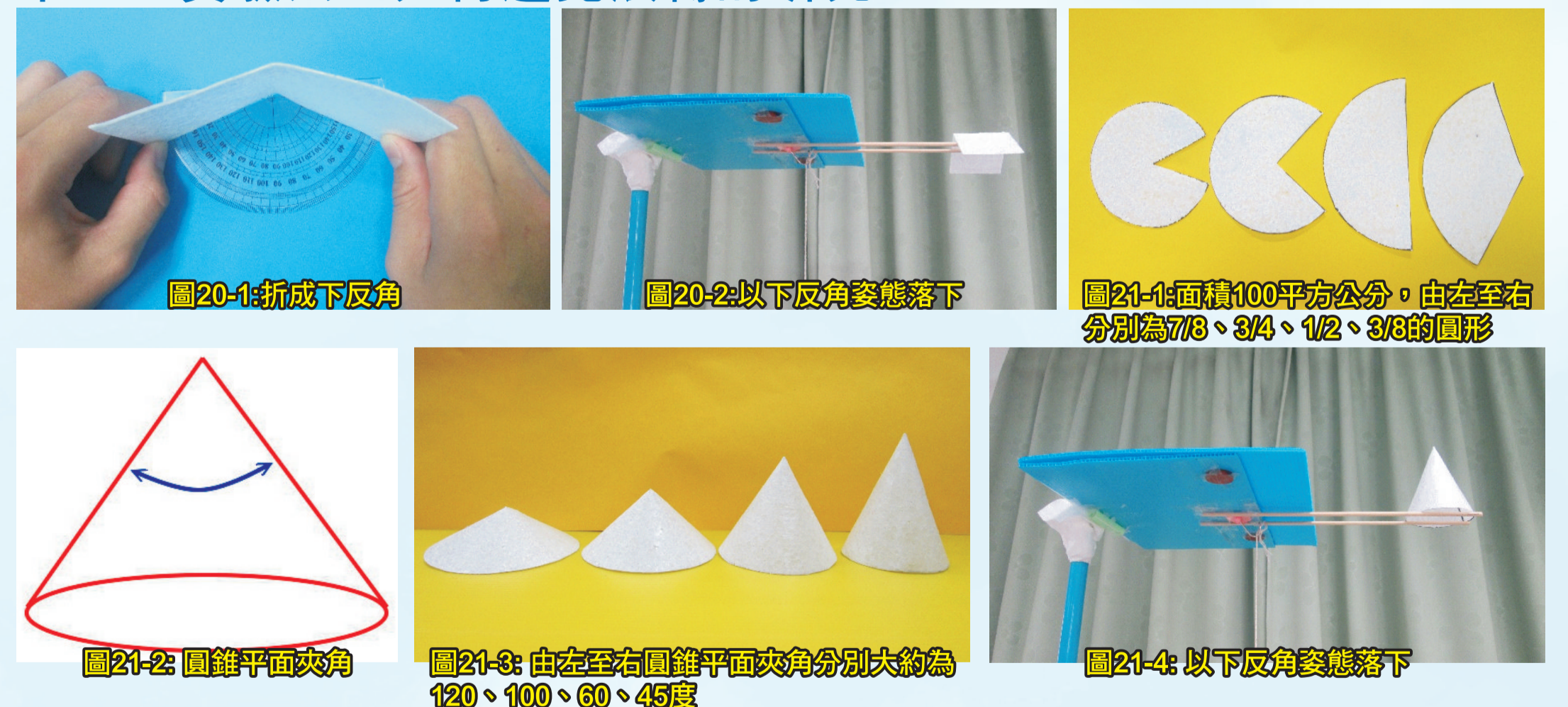
十、實驗四: 以穩定性較好的翼形, 研究配重重量如何影響飛翔



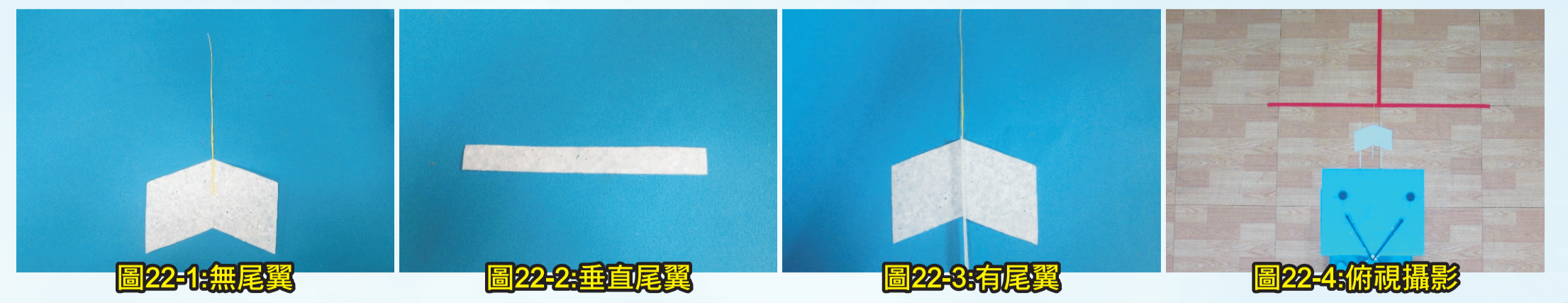
十一、實驗五: 尋找較好的配重方式, 嘗試對不同的翼形配重



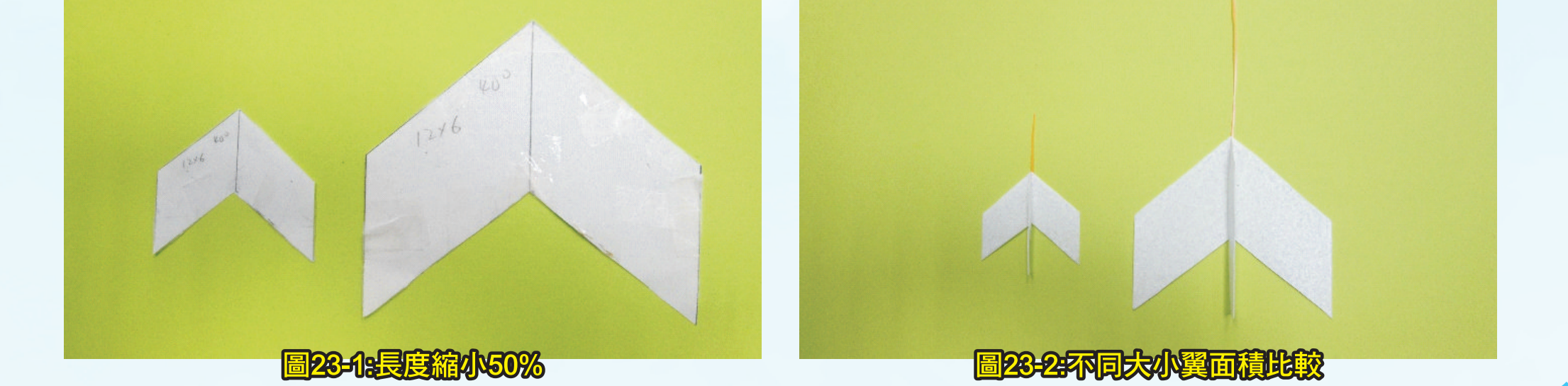
十二、實驗六: 如何避免滾轉的研究



十三、實驗七: 如何避免偏航的研究

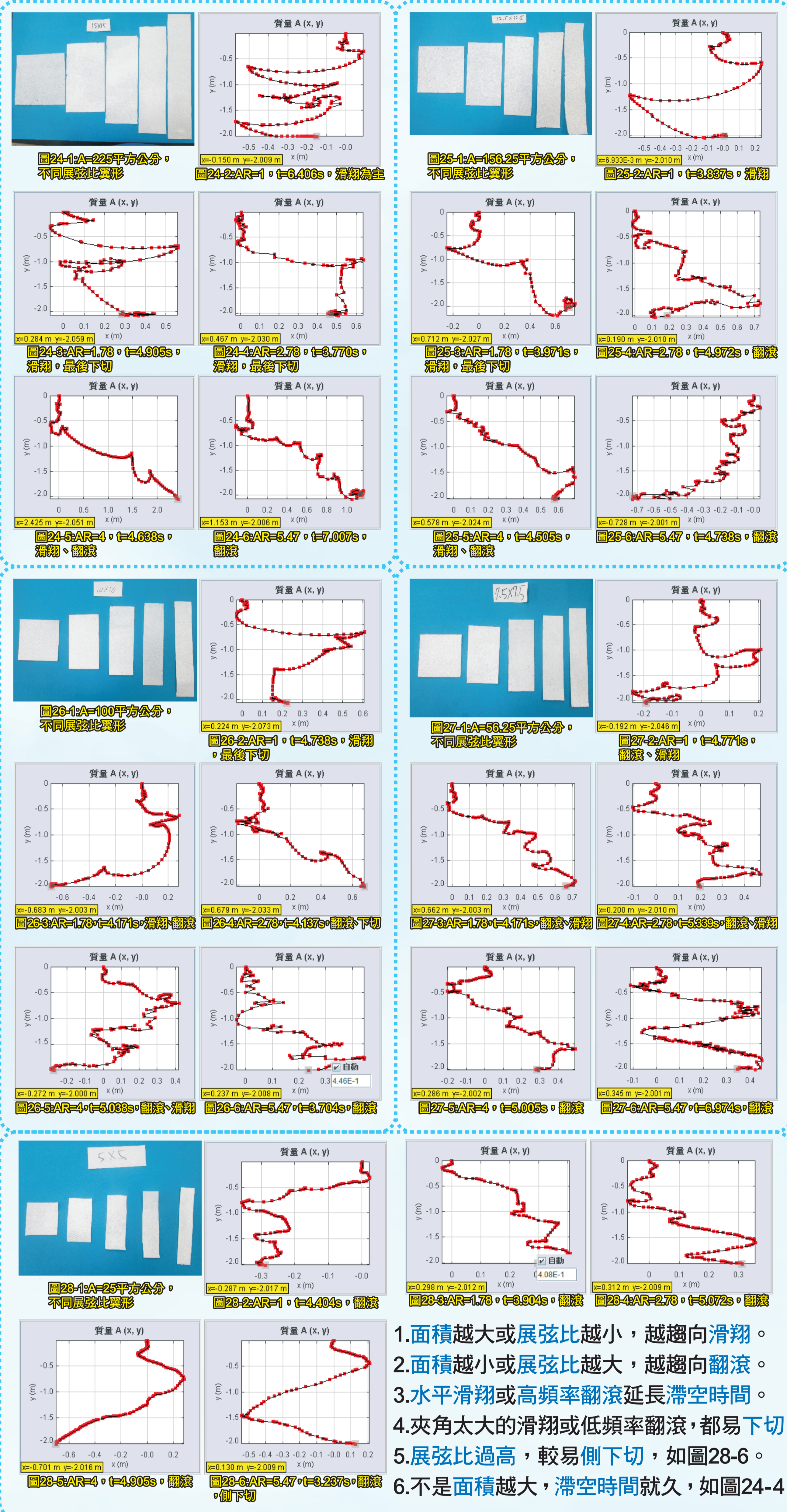


十四、實驗八: 翼面積大小對飛翔的影響研究

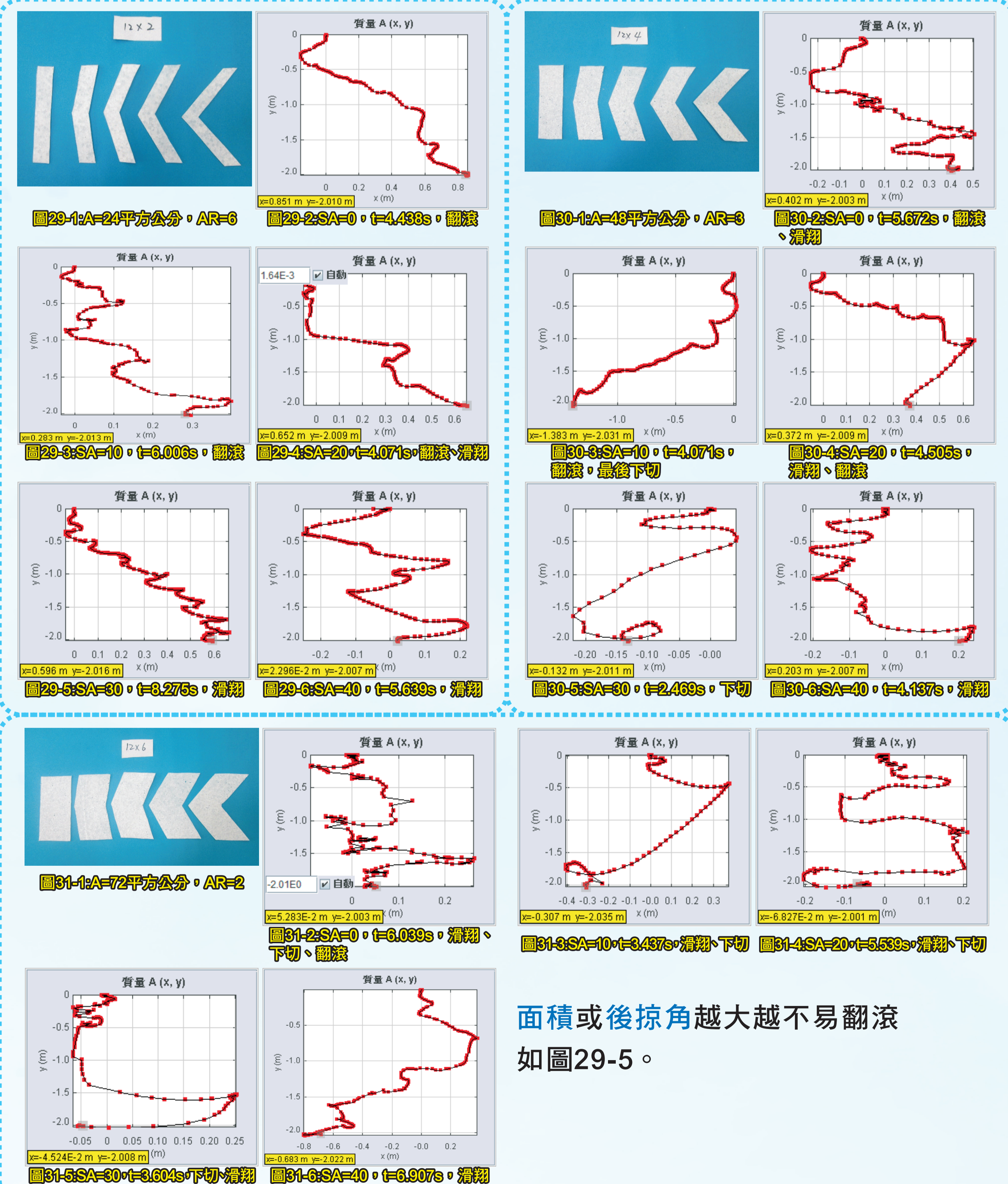


伍、研究結果

一、實驗一：基本翼形落下的時間測量與飛行模式觀察



二、實驗二：不同後掠角的翼落下觀察



三、實驗三：以穩定性較好的翼形，研究配重位置如何影響飛行

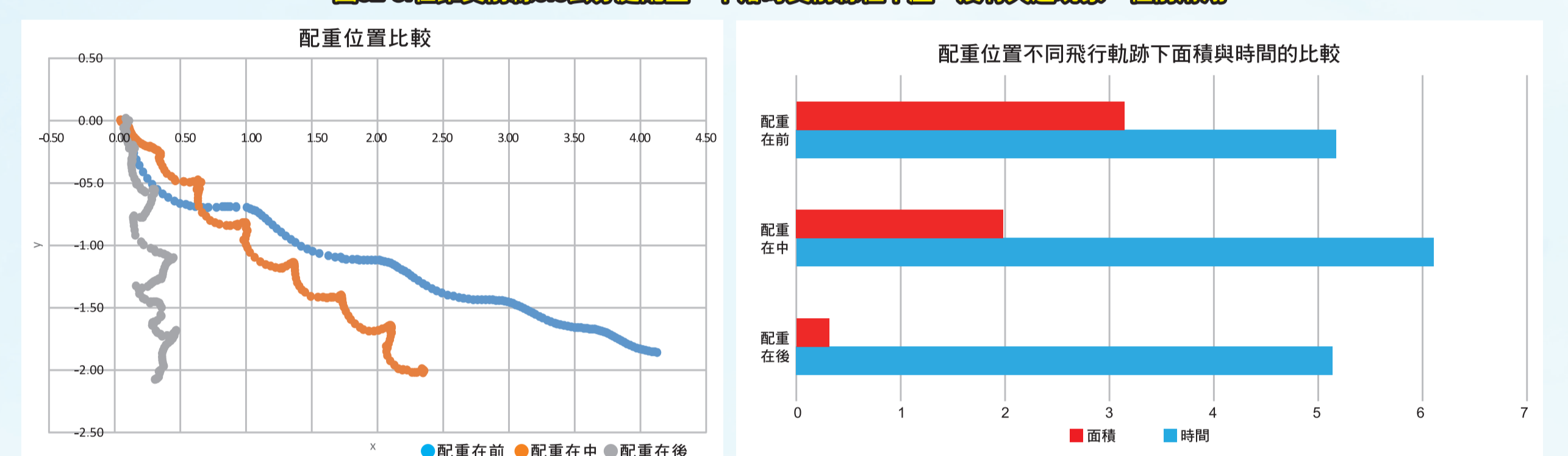


圖32-412°6平方公分, 40度角後掠翼, 以0.04克分別在距前緣0.5、2.5、4.5公分處配重
圖32-5飛行軌跡下所覆蓋面積與時間的比較

1. 後掠翼不易翻滾, 但還需要配重才能穩定滑翔。
2. 配重越靠近重心, 下壓效果小, 易失速, 不易滑翔(圖32-1)。
3. 配重在中間, 下壓效果稍好, 但仍導致重複的升起、下墜的循環(圖32-2)。
4. 配重在靠近前緣, 下壓的效果最好, 沒有失速, 一直向前滑翔(圖32-3)。
5. 配重越遠離重心, 越能以較輕的重量產生較好的下壓效果, 避免失速。
6. 飛行軌跡下所覆蓋面積越大, 表示飛機飛得越高越遠。
7. 配重在前緣, 面積最大; 配重在中間, 一再抬起, 而延長時間(圖32-4、5)

四、實驗四：以穩定性較好的翼形，研究配重重量如何影響飛行

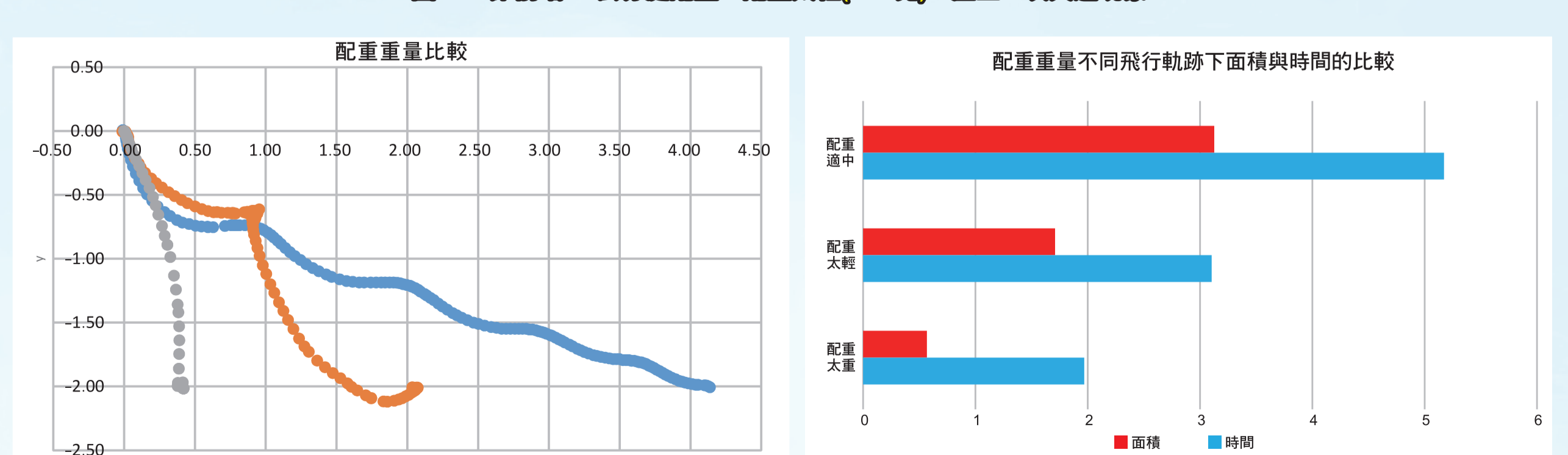


圖33-412°6平方公分, 40度角後掠翼, 在距前緣0.5公分處配重, 分別以0.03克(太輕)、0.04克(適中)、0.05克(太重)的重量配重
圖33-4飛行軌跡下所覆蓋面積與時間的比較

1. 配重大重, 導致翼前緣下壓角度太大, 滑翔不長(圖33-1)。
2. 配重大輕又會翼前緣抬起產生失速(圖33-2)。
3. 只在翼面上配重, 稍輕、稍重, 變化很大, 配重不易(圖33-3)。
4. 配重適中, 所覆蓋的面積與飛行時間都較大(圖33-4)。

五、實驗五：尋找較好的配重方式，嘗試對不同的翼形配重



圖34-1: 面積12乘6平方公分、後掠角0-40度的翼，用相同的細長條吸管配重



圖34-2: 後掠角0度，翼前緣易抬起失速



圖34-3: 後掠角40度，起飛時下墜幅度不大，飛行平穩，飛行長距離

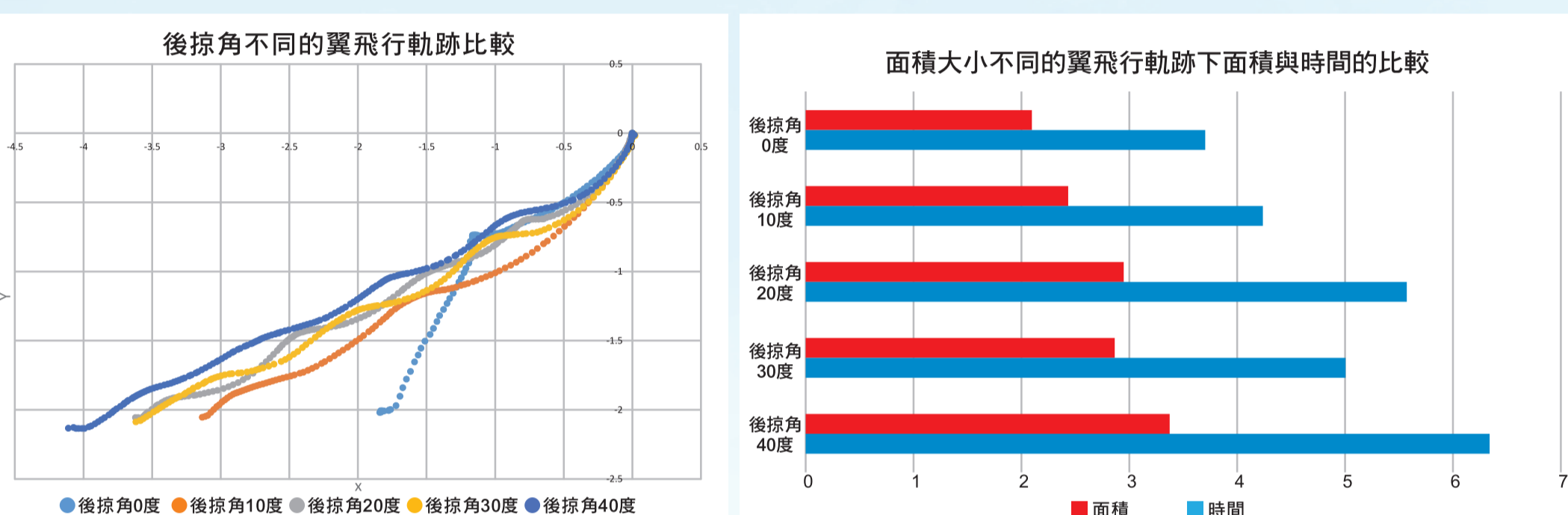


圖34-4: 面積12乘6平方公分，後掠角不同的翼，相同的延長配重方式，飛行軌跡的比較

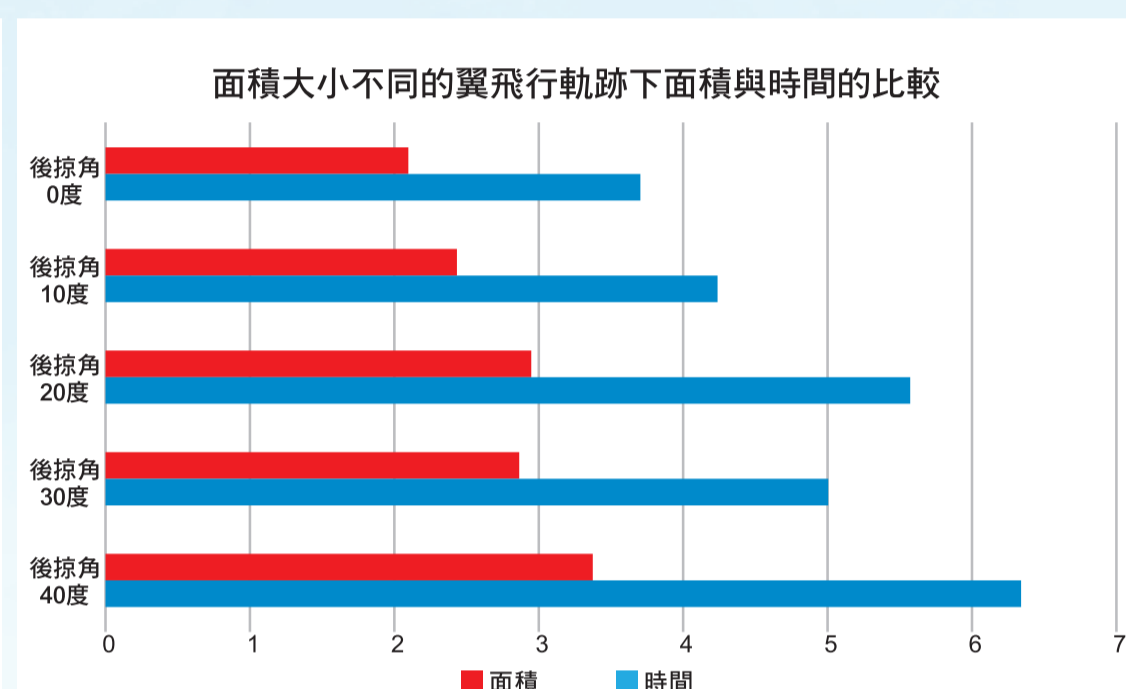


圖34-5: 面積大小不同的翼飛行軌跡下面積與時間的比較

1. 將重量分布延伸較遠離重心，使飛機不易失速，配重容易。
2. 配重延伸到較遠離重心，避免一開始下墜幅度過大(圖34-4)。
3. 後掠角越高，飛機較易配重(圖34-3)；無後掠角，配重不易(圖34-2)。
4. 後掠角越高的翼，穩定性高，所覆蓋面積與時間都較大(圖34-5)。

六、實驗六：如何避免滾轉的研究

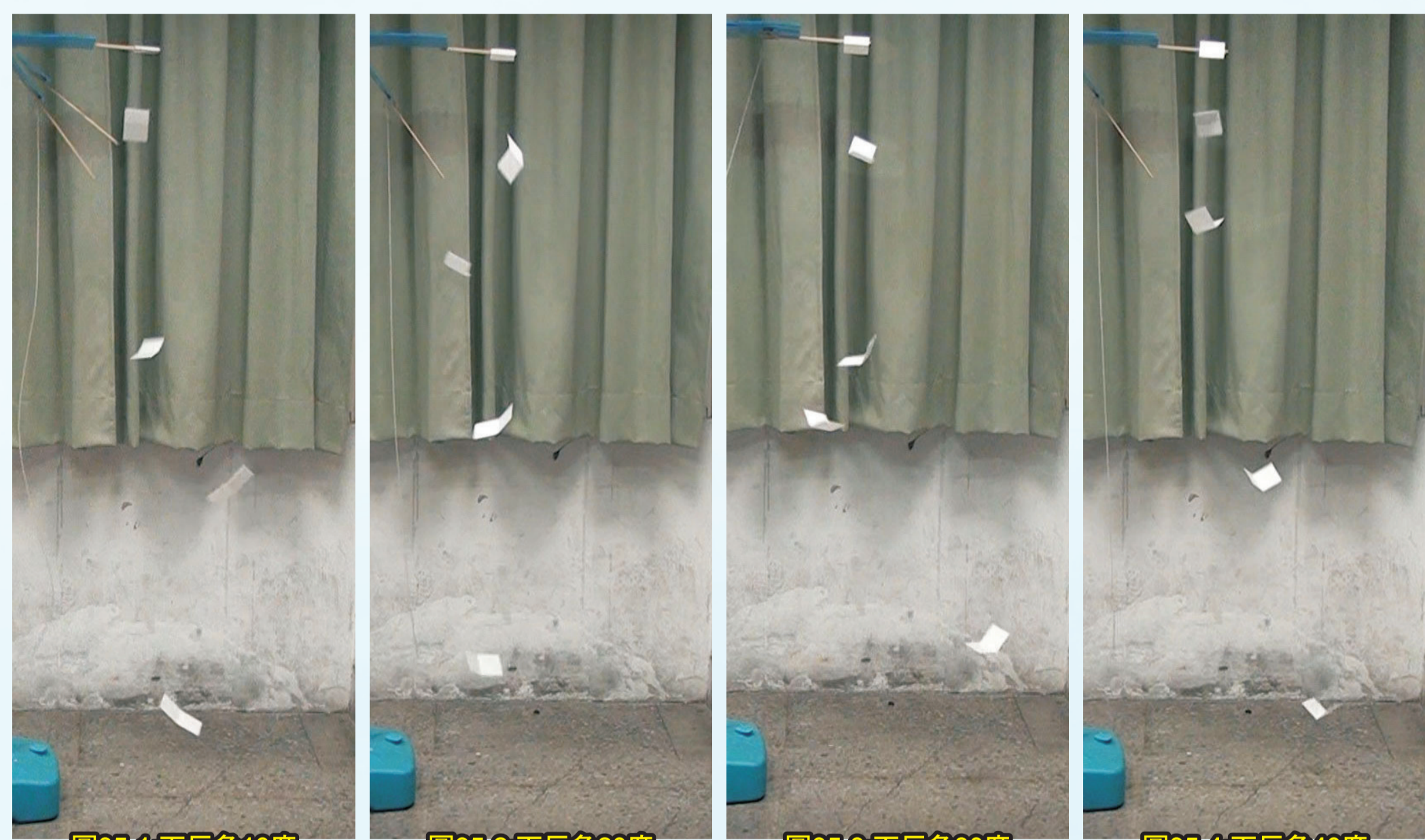


圖35-1: 下反角10度

圖35-2: 下反角20度

圖35-3: 下反角30度

圖35-4: 下反角40度

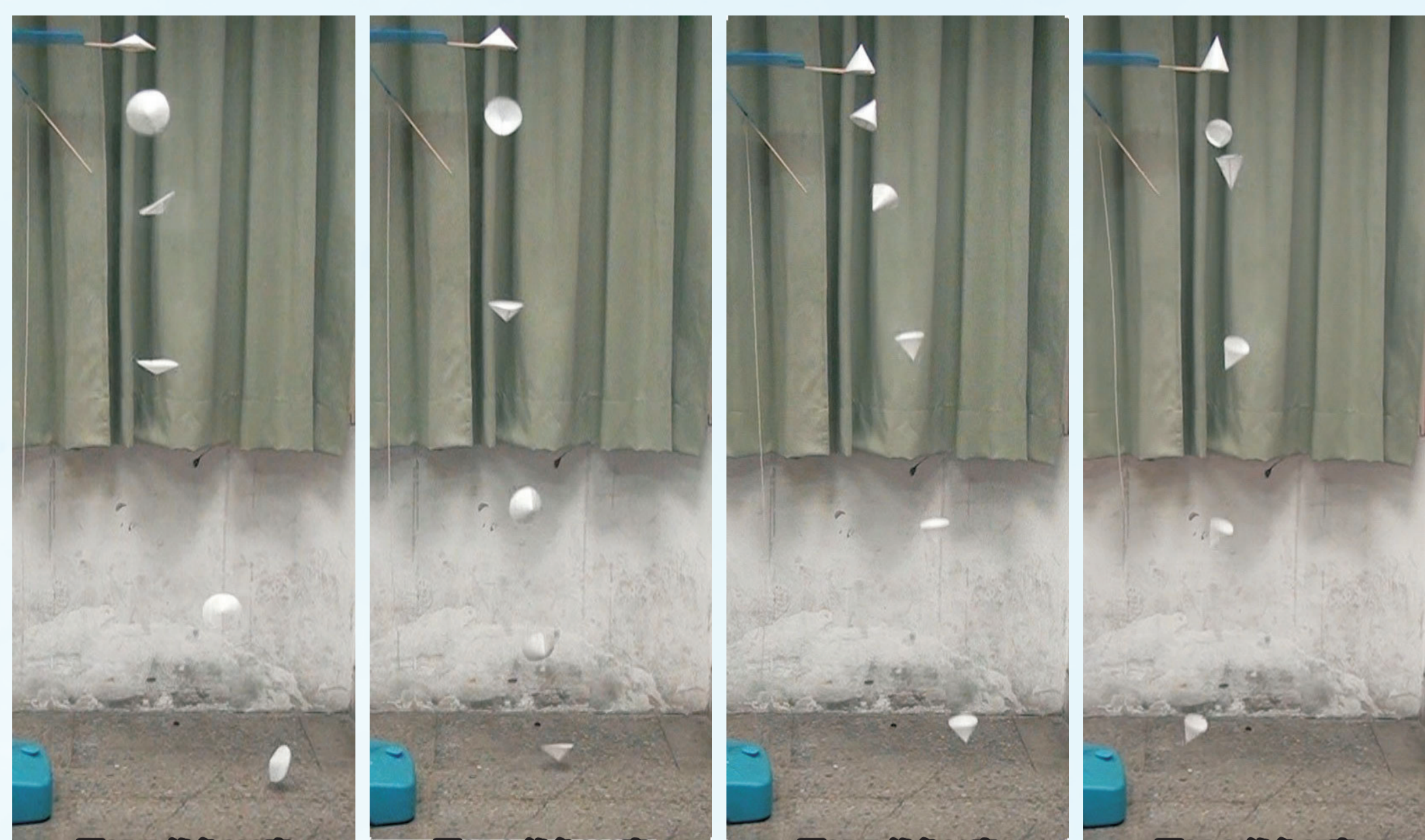


圖35-5: 錐角120度

圖35-6: 錐角100度

圖35-7: 錐角60度

圖35-8: 錐角45度

所有下反角的翼及圓錐形，下落都會自動轉成上反角。所以上反角可使飛機穩定；反之，下反角是不穩定的狀態(圖35-1~8)。

七、實驗七：如何避免偏航的研究

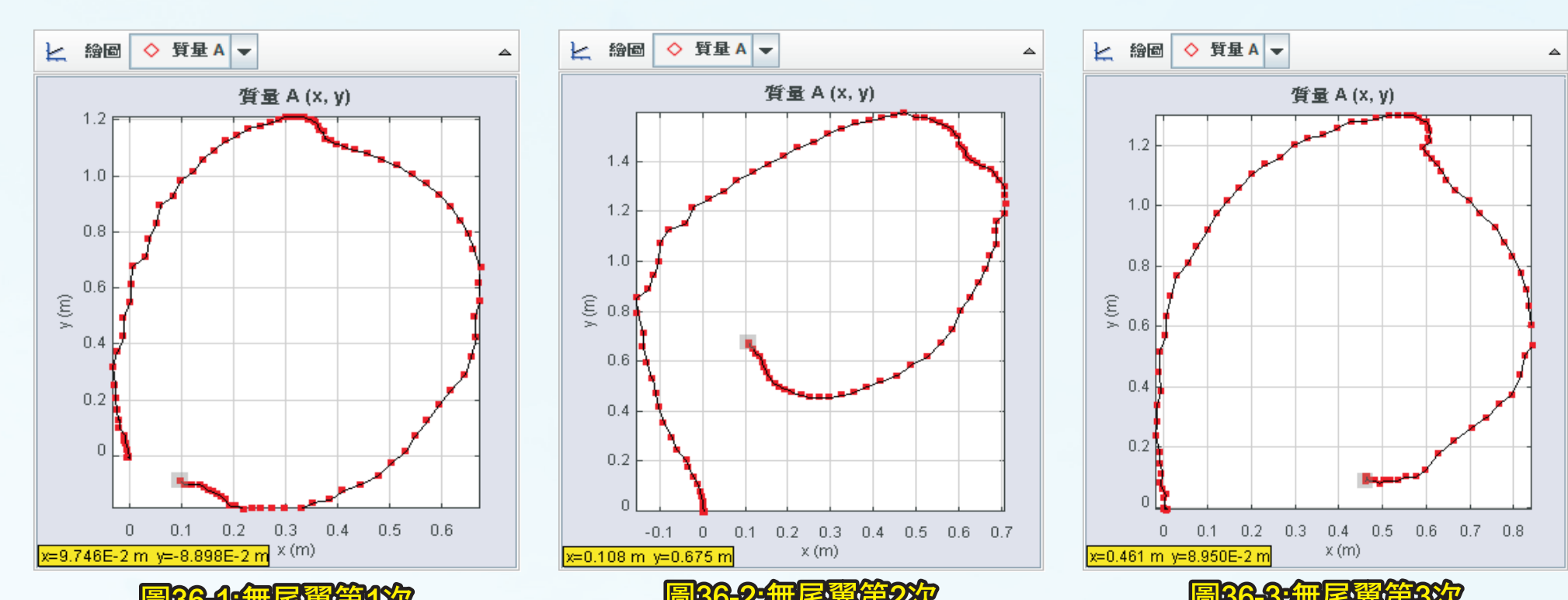


圖36-1: 無尾翼第1次

圖36-2: 無尾翼第2次

圖36-3: 無尾翼第3次

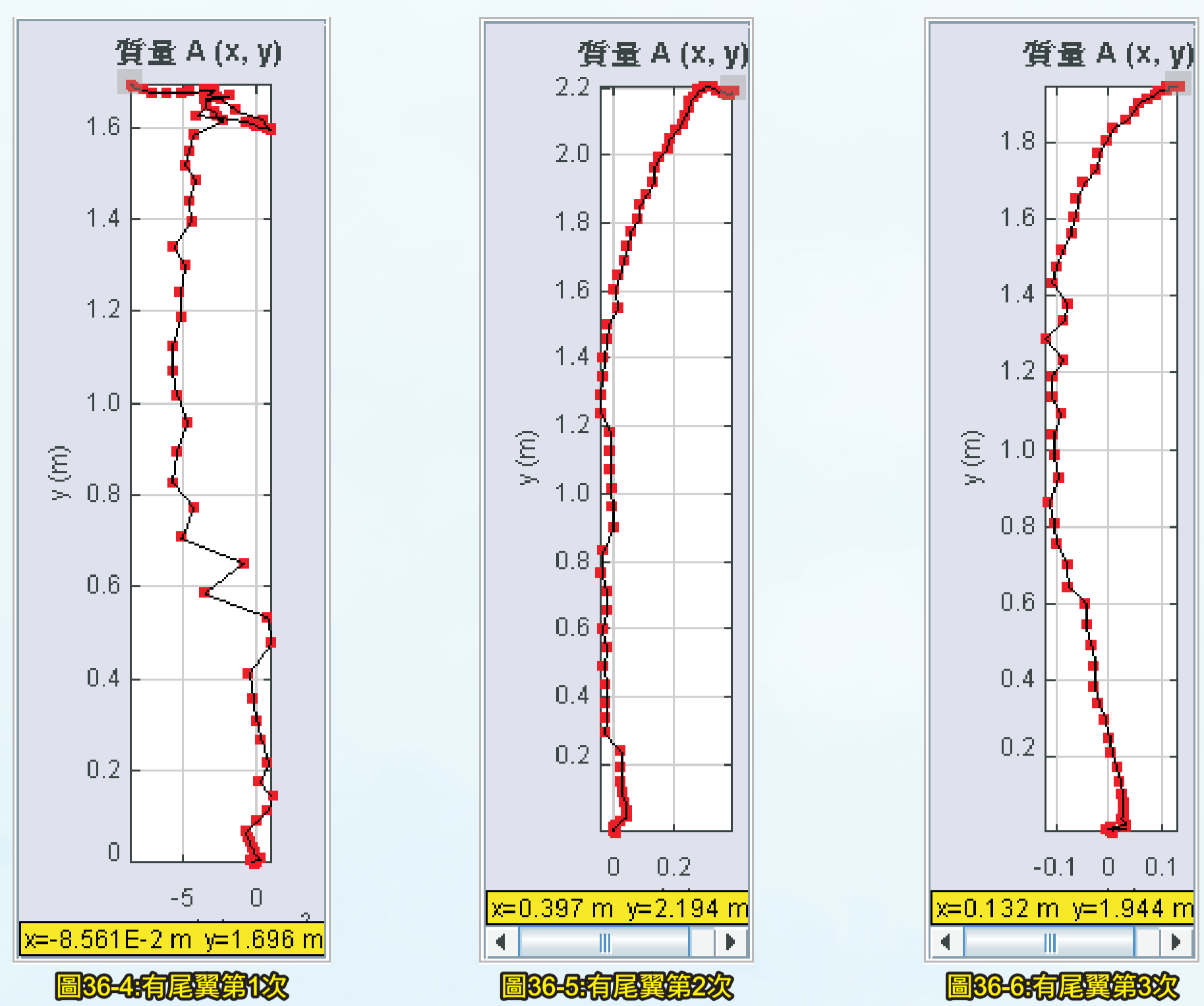


圖36-4: 有尾翼第1次

圖36-5: 有尾翼第2次

圖36-6: 有尾翼第3次

加了垂直尾翼，大幅改善了原本偏航、轉彎的缺點(圖36-1~6)。

八、實驗八：翼面積大小對飛翔的影響研究

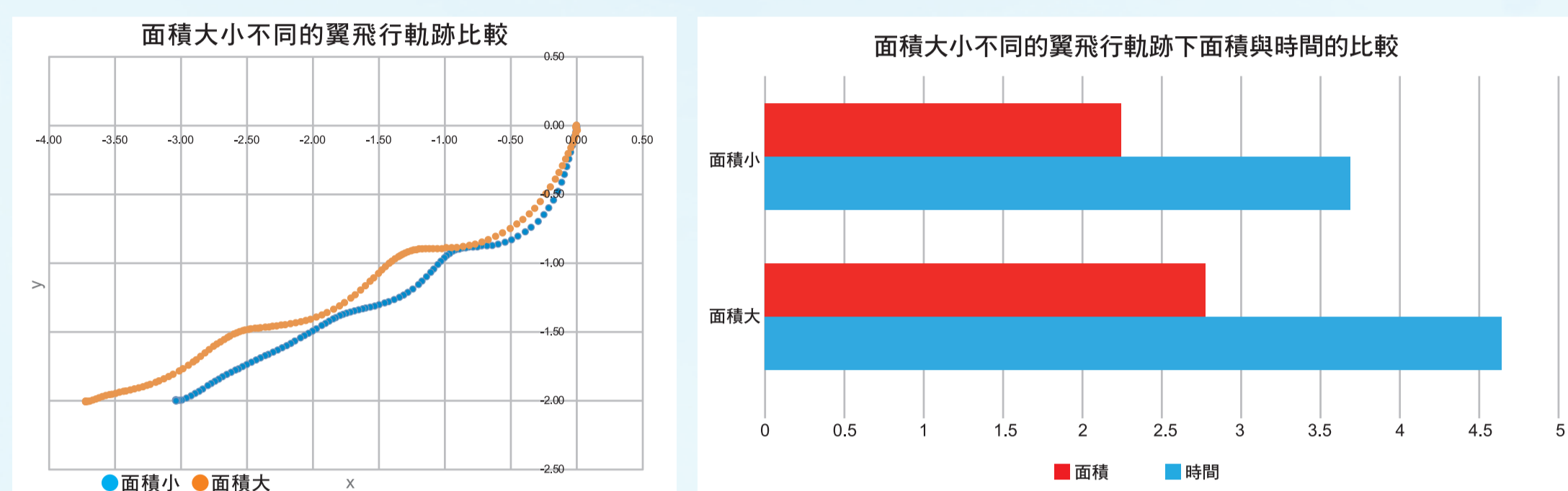


圖37-1: 面積12乘6平方公分，後掠角40度的翼與長度縮減50%後的翼，飛行軌跡比較

圖37-2: 飛行軌跡下面積與時間的比較

1. 加垂直尾翼，一開始下墜幅度都大一點，但大幅改善偏航(圖37-1)。
2. 面積較小的翼，升力較小，滑翔的能力也較小(圖37-1)。
3. 翼面積較小的飛機比翼面大的更不穩定。
4. 翼面積越大，所覆蓋面積與時間都越大(圖37-2)。

陸、討論

- 一、動物藉拍翅獲高升力，但沒有好翼形與配重，將需額外力量修正
- 二、實驗三、四、五、八結果推論：延長滯空時間，必須獲得高升力；而延長飛翔距離，必須避免失速。
- 三、實驗八結果，以秋行軍蟲大小，靠滑翔不足以飛越一百多公里。近似圓球體、正方體較易停留在空中，扁狀物易翻滾而有下切的風險。根據實驗六，發現錐體，可持續停留在空中，秋行軍蟲模型，如能接近錐體，可在風吹時較穩定的停留在空中。



圖38-1: 在風扇，測試物體可否停留在空中

圖38-2: 錐形體受風吹可穩定停留在空中

圖38-3: 以1:1大小製作秋行軍蟲模型

圖38-4: 秋行軍蟲模型整體可構成接近錐體

圖38-5: 錐體構成接近錐體，錐體可停留在空中

- 四、Tracker追蹤軌跡，如較遠拍攝，追蹤出來的距離會比實際小。
- 五、製作較大型的飛機，隨著提高下降高度，更能延長滑翔距離。

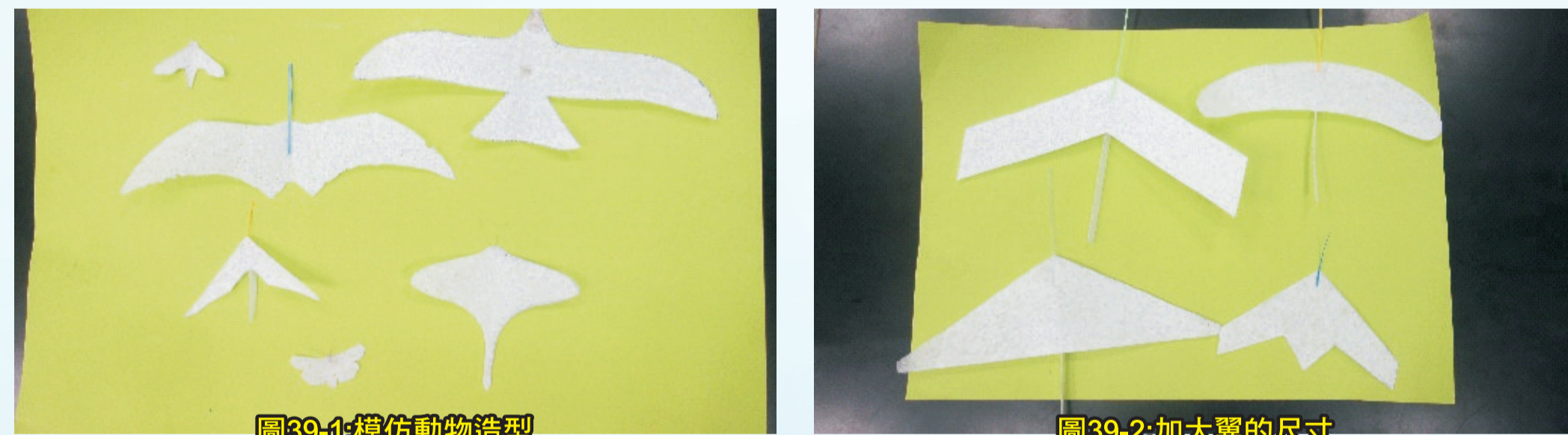


圖39-1: 模仿動物造型

圖39-2: 加大翼的尺寸

柒、結論

一、翼面積與展弦比的影響

- (一) 面積越大或展弦比越小，飛行越趨向滑翔；反之，越趨向翻滾。
- (二) 水平滑翔或高頻率翻滾都延長滯空時間，下切易導致翼很快掉落。
- (三) 不是面積越大滯空時間就比較久，翼必須配重，才能穩定滑翔。

二、後掠角的影響

- (一) 後掠角較大的翼較不易發生翻滾，穩定性較高。
- (二) 後掠翼前緣距離重心較長，能以較輕的重量達到較好的配重效果。

三、配重的影響

- (一) 翼需要適當配重才能穩定滑翔。
- (二) 好的配重產生下壓的效果，避免抬起過高而攻角太大，產生失速。
- (三) 配重靠近重心，不易滑翔；距離不足易導致重複升起、下墜的循環；配重靠近前緣，越能以較輕的重量產生較好的下壓效果。
- (四) 配重太重，下滑角度過大；太輕會翼前緣抬起產生失速。
- (五) 延伸出翼面的配重，將重量分布較遠離重心，發揮更好的下壓效果

四、上反角的影響

- (一) 上反角可使飛機穩定；反之，下反角是不穩定的。
- (二) 推論秋行軍蟲如能構成接近錐體，可在風吹時較穩定的停留在空中。

五、垂直尾翼的影響

- (一) 加垂直尾翼，大幅改善原本偏航、轉彎的缺點。

六、翼面積的影響

- (一) 面積較小的翼，升力較小，所以滑翔能力也較小於翼面大的飛機。
- (二) 翼面積較小的飛機比較大的更不穩定。
- (三) 有好翼形、適當配重、上反角及垂直尾翼，大面積才能發揮作用。

七、總結

- (一) 延長滯空時間，必須獲得高升力；延長飛翔距離，必須避免失速。

捌、參考資料

- 一、趙先寧(民78)。飛機設計基本原理。徐氏基金會。
- 二、陳又君等(民100)。滑翔的舞姬解析大白斑蝶驚艷飛行。中華民國第51屆科學展覽會國中組生物科。