

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080118

天外奇「機」Part II～再探紙飛機的秘密

學校名稱：屏東縣鹽埔鄉鹽埔國民小學

作者：	指導老師：
小六 鄭金玉	李采襄
小六 利貞頤	賴信甫
小六 王湘霖	
小六 陳品臻	
小六 凌晨熏	

關鍵詞：紙飛機、發射器

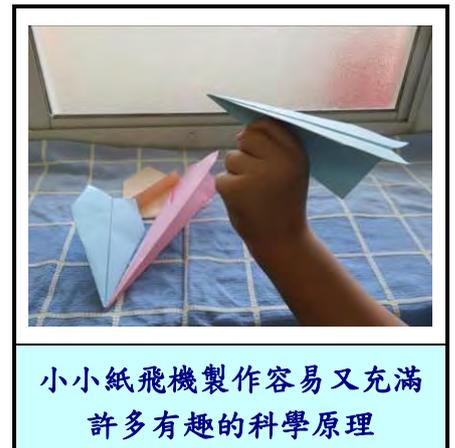
壹、研究摘要：

為找出如何讓紙飛機飛得又高又遠的秘密，我們從改良發射器開始，並以三種不同型式的紙飛機，研究「發射方式」、「機翼夾角角度」、「機翼尾端、兩側摺起」、「重心」等因素對飛行的影響。我們發現：想要紙飛機飛的遠，除了以 45 度角發射紙飛機外，紙飛機的機翼要略略上揚，讓機翼夾角從尾端看起來呈「Y」字形或是「微笑」型態，同時調整紙飛機機翼尾端及兩側上摺的寬度及角度，並注意紙飛機重心落在大約在「自機首算起機身全長的 1/3 到 1/2 之間」位置，經過調整後即使是最基本摺法的紙飛機飛行距離也會大大加長。

貳、研究動機：

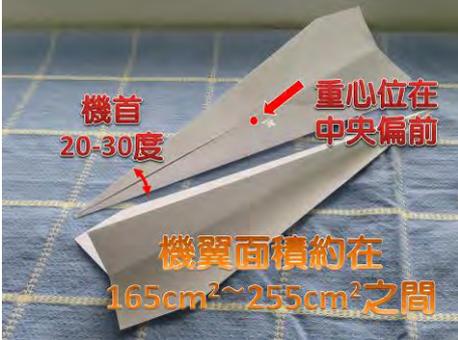
去年我們科研社，研究紙飛機飛行背後的科學原理。隔了一陣子，我們發現媒體報導「教你摺出世界上最強的紙飛機！」裡面提紙飛機的摺法，而且報導中所摺出的紙飛機其滯空時間及飛行距離都比起我們之前的研究長很多。

同時在去年進行的研究中，我們對於影響紙飛機飛行的因素仍有需多項目並未充分探討，因此今年我們決定再接再勵，針對如何讓紙飛機飛得更好的各項因素，再好好的探究一番。



參、研究回顧：

去年我們設計不同的發射器來發射紙飛機，並透過「基本型紙飛機」研究影響紙飛機的飛行，發現影響紙飛機飛行距離的主要有：「發射方式（發射的力度、角度、方向）」、「飛機材質」、「機翼面積」、「重心位置」等幾項因素，經歸納整理如下：

變因	研究結果
發射器	1.手擲：手持投擲紙飛機飛得最遠，但無法精準控制發射時的力度及角度。 
	2.吸管發射器：能以橡皮筋拉力控制發射力度，但無法精準控制發射時的角度及方向 
	3.第一代發射器：可以確定紙飛機發射方向，雖可控制發射力度但無法精準，橡皮筋直接接觸紙飛機，易在研究中損傷紙飛機造成誤差。 
	4.第二代發射器：以刻度標示可以確認每次的發射力度。以長尾夾改進發射，可減少紙飛機受損，但每次發射前必須反覆確認飛機是否平行軌道。 
	5.電動發射器： <ul style="list-style-type: none"> (1) 取材廢光碟，加上簡易馬達電池組，確實可發射紙飛機，但因為震動大，很難固定發射角 (2) 藉由光碟轉動的摩擦力發射飛機，需根據機身厚度調整光碟片間距，無法同時適用各種機型的紙飛機。 
發射方式	以第二代發射器，用角度 30 度，橡皮筋 25 公分拉力發射紙飛機飛行最佳。
紙飛機材質	1.材質輕（考卷紙）紙飛機飛行距離較短，材質較重紙飛機飛行距離較遠。 2.飛行距離依序為：圖畫紙 > 120P 影印紙 > 丹迪紙 > 西卡紙 > 70P 影印紙 > 考卷紙。 3.圖畫紙飛得好，但每次都需先裁成 A4 尺寸，製作不易，而較厚紙張做成的紙飛機形狀易不均衡，因此以 70P~85P 影印紙製作紙飛機較佳。
紙飛機機首角度、機翼面積	1.改變機首角度，機翼面積也隨之改變。 2.機翼面積大，飛行距離長；機翼面積小，飛行距離短，依序為： 40 度 > 30 度 > 20 度 > 10 度。 3.機翼面積小的紙飛機飛行路線較筆直，落地的位置也較集中於中心線附近。 4.機翼面積大的紙飛機飛行路線容易偏移，飛行中也較常出現滑翔狀態。 
紙飛機重心位置	1.改變重心位置，紙飛機除飛行距離改變，飛行軌跡也會改變。 2.若要紙飛機飛得較平穩，重心位置要落在「飛機全長的 1/2」附近；若要紙飛機飛得較直，重心位置要大致落在飛機前端，因此「飛機全長中間偏前」是最適當的紙飛機重心位置。 3.重心在後端的紙飛機常出現無法平衡的狀況，在空中翻轉 1~2 圈後墜地。

肆、研究目的：

我們希望藉由研究，探討影響紙飛機飛行的各項因素，因此訂定研究目的如下：

- 一、改進觀察飛行的紙飛機發射器。
- 二、決定研究用紙飛機型式。
- 三、紙飛機「發射方式」對飛行的影響。
- 四、紙飛機「機翼夾角角度」對飛行的影響。
- 五、紙飛機「機翼尾部摺起」對飛行的影響。
- 六、紙飛機「機翼側邊摺起」對飛行的影響。
- 七、紙飛機「重心位置」對飛行的影響。



伍、研究器材及設備：

一、研究器材：

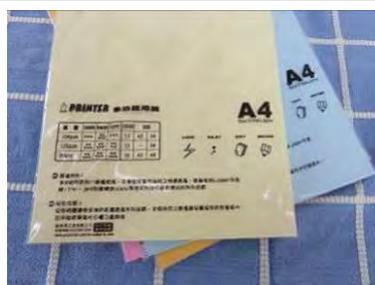
80P 影印紙、厚紙板、橡皮筋、長尾夾、迴紋針、量角器、裁紙器、尺、捲尺。

二、研究設備：

電子磅秤、電子拉力秤、數位相機、腳架。



本研究的設備、器材

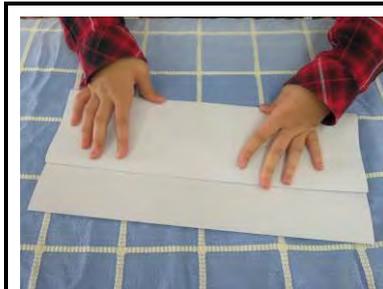


研究使用的紙張

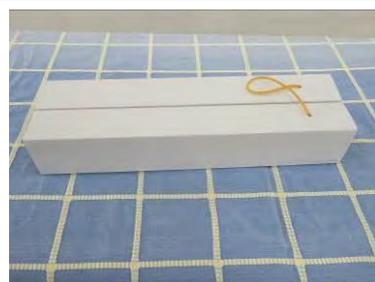


研究所使用的紙飛機

陸、研究流程與結果：



折疊厚紙板作發射器



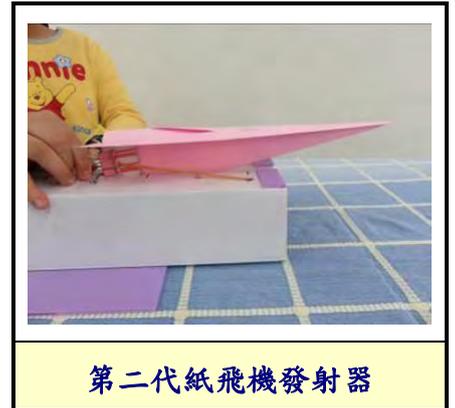
黏貼成基本發射器



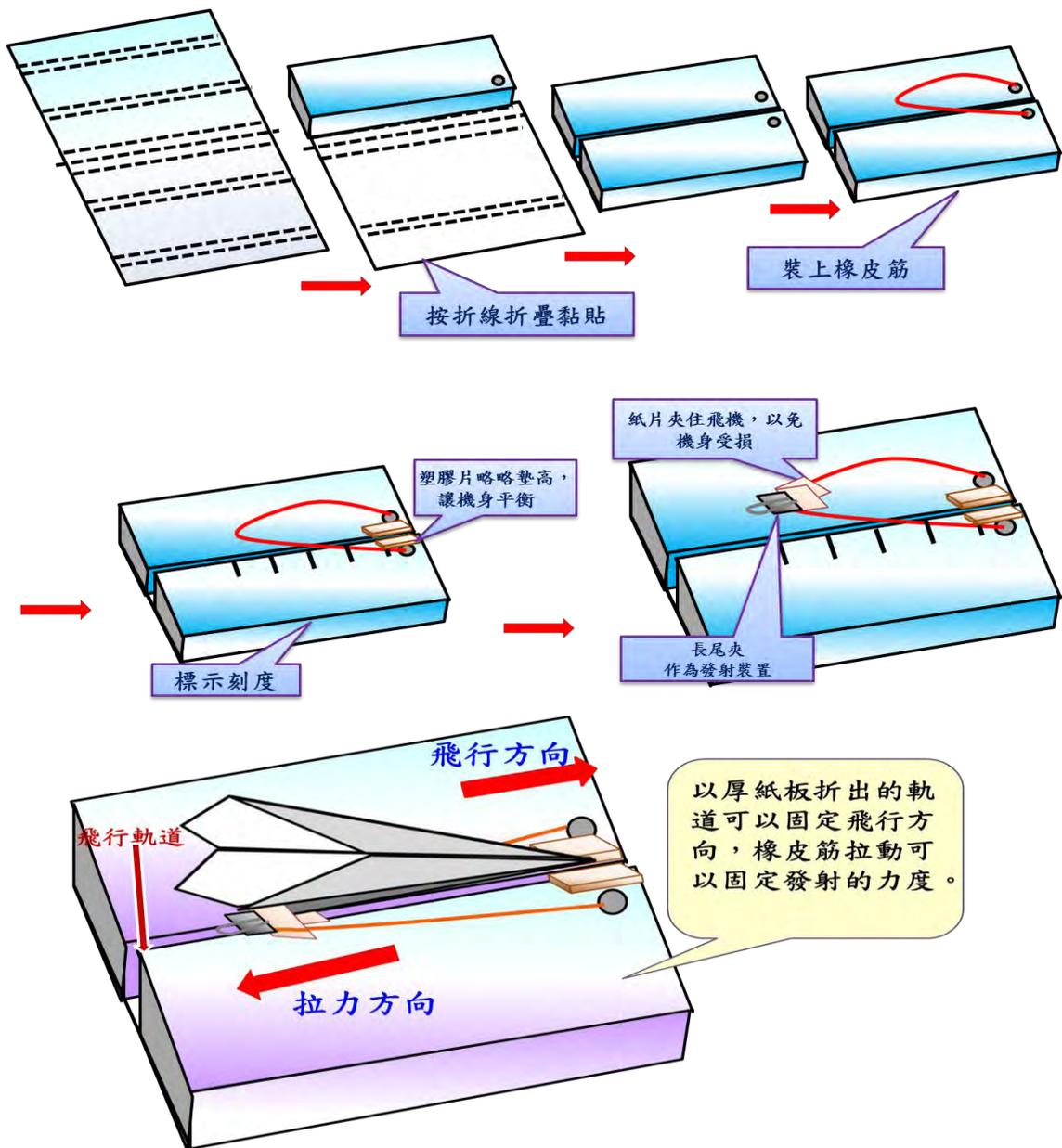
固定橡皮筋

研究一： 改進觀察飛行的紙飛機發射器

去年我們想到利用橡皮筋彈力發射紙飛機，可以確實掌握發射紙飛機時的力。但我們之前設計出第一代紙飛機發射器，但仍舊有一些缺點，尤其是發射時無法確認力度，同時也無法調整角度，因此我們改進後成為第二代發射器：



第二代紙飛機發射器設計圖

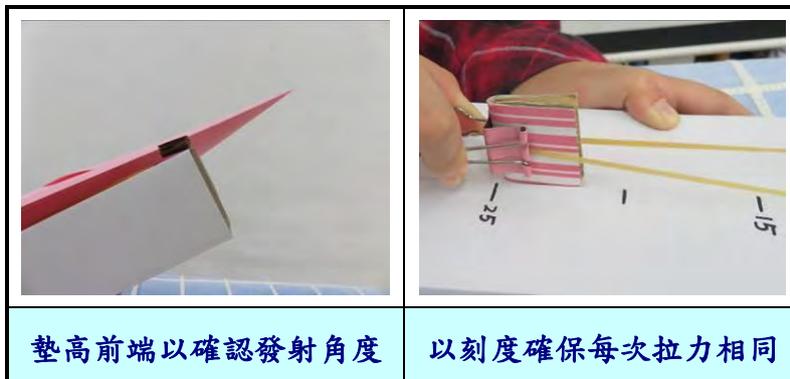


製作第二代紙飛機發射器



1. 將厚紙板折疊成立體紙盒，中間預留一段軌道寬度，紙盒前端鑽孔裝置橡皮筋。
2. 配合發射器長度，選用長橡皮筋裝設發射器。
3. 在紙飛機接觸橡皮筋的位置加裝瓦楞紙板。
4. 用長尾夾夾住紙飛機發射，以避免手拉所造成的誤差。
5. 發射器前端以塑膠板略微墊高，讓紙飛機在發射器上保持水平發射。
6. 發射器軌道以直尺標示刻度，確定每次橡皮筋的拉力位置。

實測：

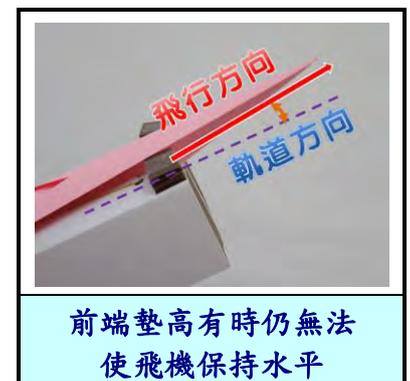


討論：

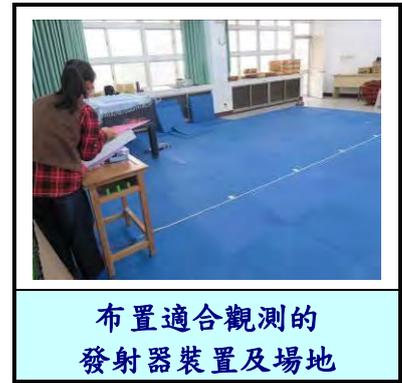
第二代發射器確實能讓紙飛機順利飛行，但在實測時我們發現有幾個需要調整的地方：

- 一、發射器如果隨意放置，那麼每一次發射的高度是否也會造成飛行距離的誤差？
- 二、軌道前方墊塑膠片雖可以讓紙飛機在發射時保持平衡，但是不同型式的紙飛機有時機身的寬度及機首樣式都不大相同，這樣的調整是否適合每一架紙飛機的發射？

經討論後，我們試著將發射器進行一些調整：

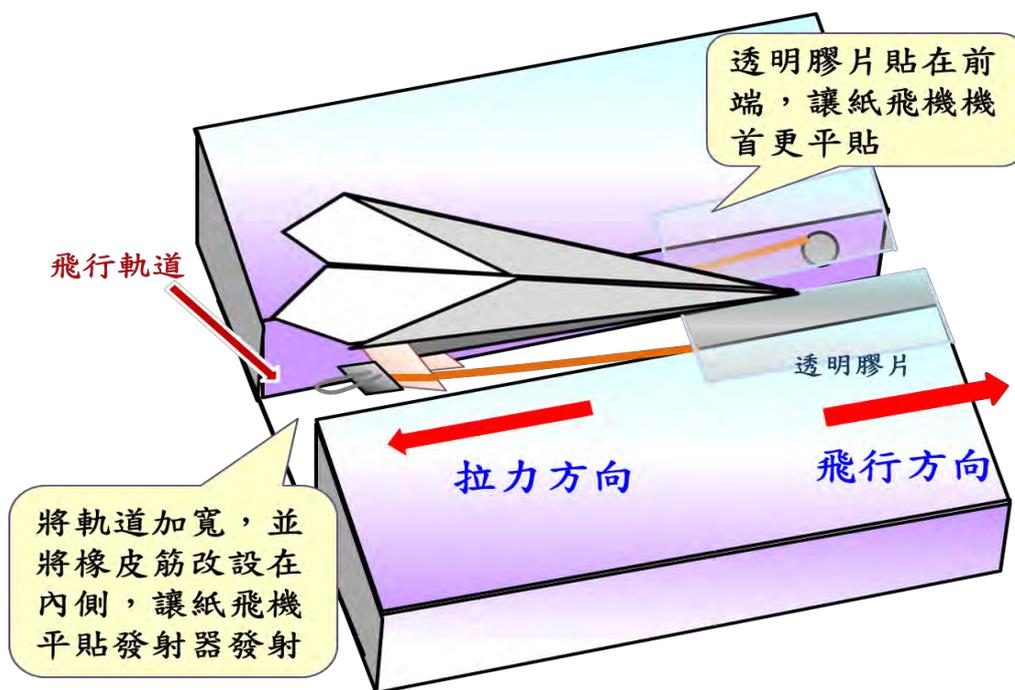


- 一、發射器固定於高度 65 公分的桌子上，並在桌上及地上標示並以捲尺拉出中心線，發射器軌道對準中心線，以固定發射的軌道及高度。
- 二、將軌道加寬，同時將橡皮筋移到軌道側面，直接由下方發射，讓紙飛機在發射時可以平貼軌道，這樣就可以更確定每次紙飛機都是平行軌道飛出。



布置適合觀測的發射器裝置及場地

第三代紙飛機發射器設計圖



製作第三代紙飛機發射器

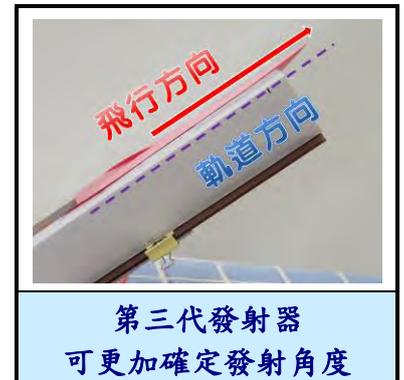


實測：



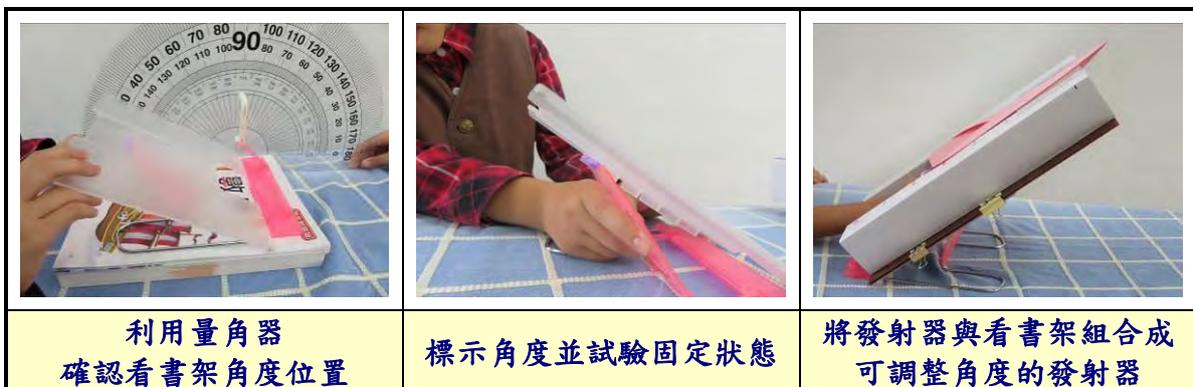
討論：

- 一、調整後的發射器，果然可以確認每次發射的高度、方向，以及紙飛機彈射出去時的力度，的確可以解決研究中兩種發射方式的缺失。
- 二、雖然改進發射器安裝的位置，可以固定每一次發射的方向以及高度，但是卻無法調整發射時角度，發射角度是否會影響紙飛機的飛行？



是否能將裝置再進一步調整，讓我們觀察到不同發射角度對紙飛機飛行的影響？我們想到如果可以利用「看書架」來做一個調整角度的裝置，將發射器固定在「看書架」上，那麼不就可以順利調整角度了嗎？因此再次將紙飛機發射器做了以下調整：

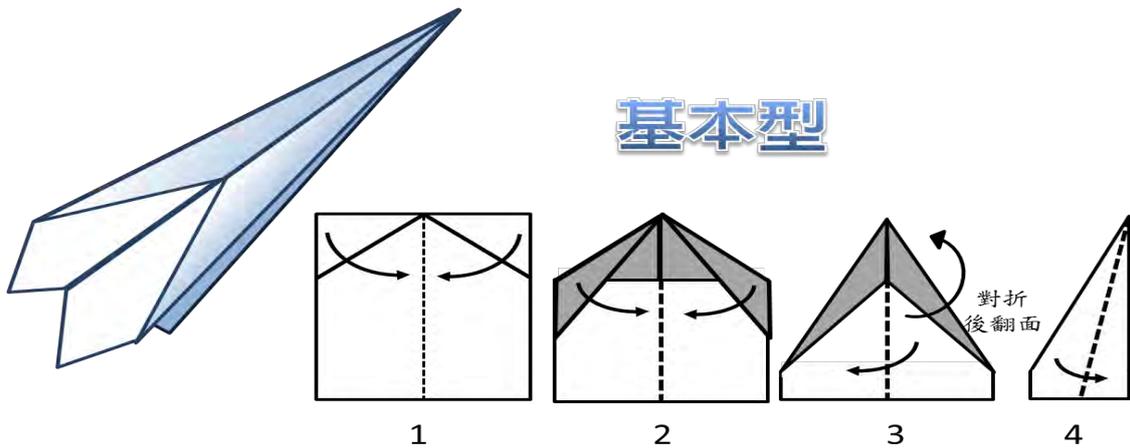
1. 利用量角器調整看書架的角度，並在後方以塑膠板固定，做為支架放置的位置。
2. 將紙飛機發射器固定在塑膠板上，再將整個裝置固定在「看書架」上，作為紙飛機發射裝置。
3. 利用看書架的支撐，來改變角度大小，藉以控制紙飛機的發射角度。



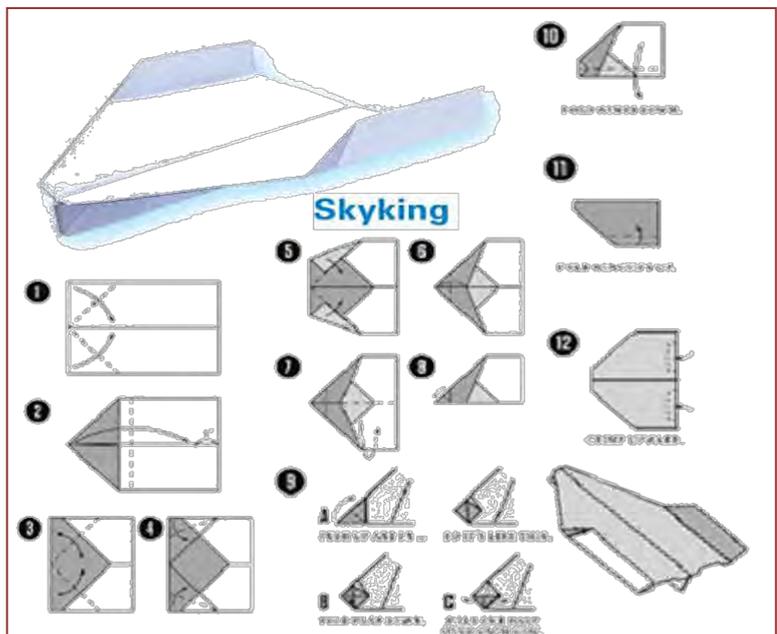
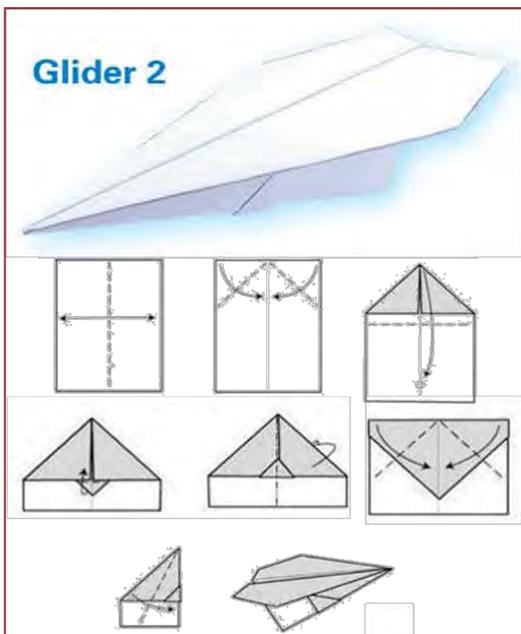
經過這樣的調整，我們的發射器便可以自由調整角度，這時我們想到：發射紙飛機時「發射的力度（橡皮筋拉力）」、「發射角度」都會影響紙飛機的飛行，因此在測試各種影響紙飛機飛行的變因前，我們應該要先找出最適合的紙飛機以及發射方式，以便後續的研究。

研究二： 決定研究用紙飛機型式

紙飛機百百款，隨便搜尋便能找出各種千變萬化的型式，究竟該研究哪一種紙飛機呢？去年我們經過一番思考，從各類型紙飛機中決定了最容易入手的「基本型紙飛機」，作為研究所用的紙飛機，摺法如下：



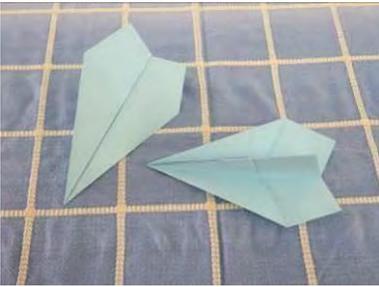
這款紙飛機優點是摺法簡單，容易入手，但也因為造型太簡單，機翼較狹窄，不容易在飛機的機翼尾部及機翼側邊加上變化來討論機翼對於紙飛機飛行的影響，因此經過討論，我們決定在網路搜尋符合以下列條件：「1.製作時不需裁切」、「2.與基本型同為單面機翼」、「3.機翼尾端及側邊可調整」、「4.容易製作」、「5.可以在發射器上發射」的紙飛機機型。經過篩選最後決定加上「Glider」及「Skyking」兩種紙飛機（資料來源：<http://en.origami-club.com/plane/index.html>），以這三種型式的紙飛機進行後續研究。



在去年研究中，我們嘗試過各種紙張（西卡紙、圖畫紙、丹迪紙……），總結：「取材方便性」、「摺紙容易」、「製成的飛機形狀完整」（較厚紙張飛得好，但較難製作複雜機型）、「便於在發射器發射」等數項條件後，找到最適合的紙飛機材質是 80P 的 A4 影印紙（重量 5.04g/張），因此這次我們便直接以 80P 影印紙作為所有研究的紙飛機材質。

		
<p>紙張包裝雖有標示，但重量仍經實測較為精確</p>	<p>以電子秤測紙張重量</p>	<p>80P 影印紙 最適合作為研究用紙</p>

為了方便逐步控制變因，經討論後我們決定將製作「Skyking」紙飛機的最後兩步驟（機翼尾端及側邊摺起）暫時省略，讓三種飛機機翼都是平面型態。

名稱	基本型	Glider	Skyking
基本資料			
	<p>機首角度：22.5 度 機翼面積：181.11cm² 機身長度的：31cm 機身寬度：19cm</p>	<p>機首角度：22.5 度 機翼面積：131.5cm² 機身長度的：19cm 機身寬度：11.5cm</p>	<p>機首角度：90 度 機翼面積：187.5cm² 機身長度的：14.5cm 機身寬度：16.5cm</p>

由於發射器重新改進，因此我們必須重新找出「最合適」的發射方法，以確定後續發射時的「力度」、「角度」。

這時我們要考慮怎樣統計資料，究竟要「一架紙飛機，飛很多次？」，還是要「很多架飛機，飛行次數不那麼多？」

在去年的研究中，我們發現大約飛行 3~5 次紙飛機尖端就會有些受損，為避免影響研究結果，因此經過討論，我們決定採「多架飛機」，每架飛機飛 3~5 次，去掉飛行中誤差較大者，再加以平均，以減少因為紙飛機製作或是飛行中紙飛機受損而產生的誤差。



利用數學附件及面積公式推算機翼大小

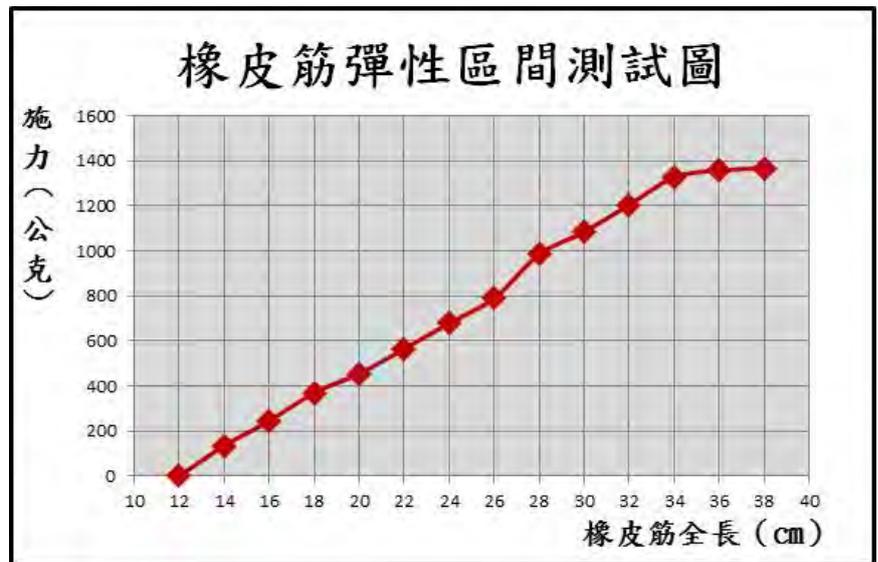
研究三：紙飛機「發射方式」對飛行的影響

以 80P 影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」各 3 架，並利用第三代發射器，測量並觀察下列情形下，紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄：

1. 利用拉力秤測試橡皮筋的彈性區間。
2. 發射器平放（0 度）時，拉力不同：15 公分、25 公分、35 公分。
3. 固定拉力，改變發射角度為：0 度、15 度、30 度、45 度。

結果：

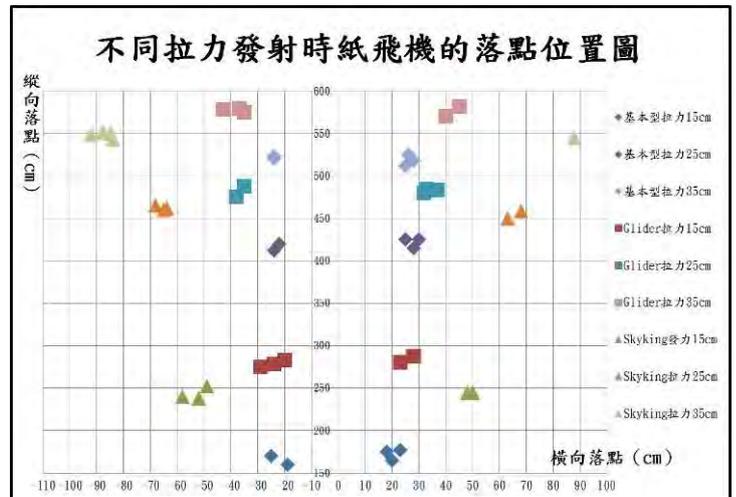
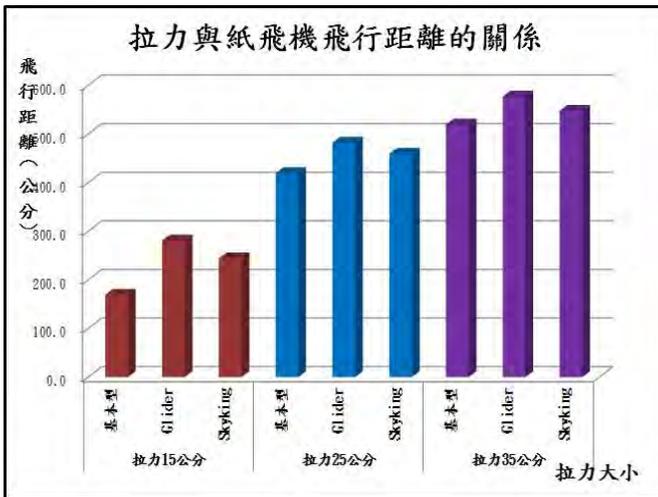
全長 (cm)	伸長量 (cm)	施力 (g)
12	0	0
14	2	135
16	4	245
18	6	370
20	8	455
22	10	565
24	12	680
26	14	790
28	16	985
30	18	1085
32	20	1205
34	22	1328
36	24	1358
38	26	1368



橡皮筋彈性區間測試	以長尾夾夾住瓦楞紙，避免直接用手碰觸紙飛機	長尾夾溝槽對刻度，較易確認拉力
將發射器架設在已經固定好角度的看書架	固定拉力	測量飛行距離

【拉力與紙飛機飛行的關係「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

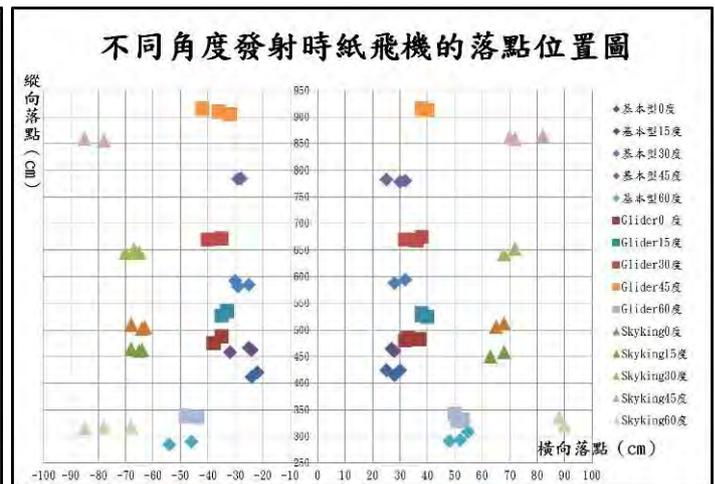
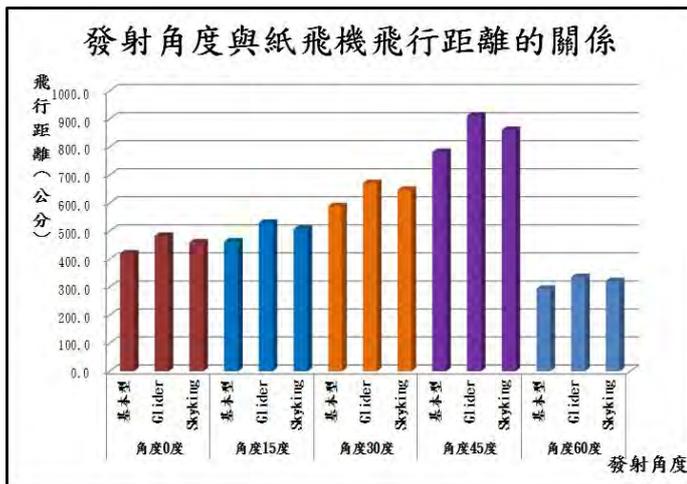
	拉力 15 公分			拉力 25 公分			拉力 35 公分		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	18,175	23,280	-58,240	-22,420	32,480	-95,460	-24,520	-35,575	-84,543
第二次	23,177	-24,278	48,245	25,425	-35,488	63,450	25,512	-37,580	88,545
第三次	-19,160	-20,283	-52,238	24,412	-38,475	-68,465	28,518	40,570	-85,550
第四次	20,165	28,288	-49,252	28,415	33,485	-64,462	-24,523	45,582	-88,552
第五次	-25,170	-29,275	501,245	30,425	37,483	68,458	26,525	-43,578	-92,548
平均距離 (cm)	21,169.40	24.8,280.8	51.4,244.0	25.8,419.4	35.0,482.2	65.6,459.0	25.4,519.6	40.0,577.0	87.4,547.6



【發射角度與紙飛機飛行的關係「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

	角度 0 度			角度 15 度					
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking			
第一次	-22,420	32,480	-95,460	-24,462	38,528	65,506			
第二次	25,425	-35,488	63,450	28,460	40,525	-68,510			
第三次	24,412	-38,475	-68,465	-25,467	38,531	-64,503			
第四次	28,415	33,485	-64,462	-32,458	-33,535	-63,505			
第五次	30,425	37,483	68,458	27,465	-35,527	68,512			
平均距離 (cm)	25.8,419.4	35.0,482.2	65.6,459.0	27.2,462.4	36.8,529.2	65.6,507.2			
	角度 30 度			角度 45 度			角度 60 度		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	28,588	-35,672	-70,644	32,780	40,912	72,858	-46,290×	51,328×	90,320×
第二次	-25,585	32,670	68,642	-28,785	-36,910	-85,860	-54,285×	-49,339×	-85,315×
第三次	-30,592	38,675	-65,645	30,778	38,915	70,862	52,294×	50,342×	88,336×
第四次	32,595	36,668	-67,650	-29,783	-32,905	-78,855	55,308×	-44,336×	-78,318×
第五次	-29,582	-40,670	72,653	25,782	-42,915	82,865	48,291×	53,332×	-68,318×
平均距離 (cm)	28.8,588.4	36.2,671.0	68.4,646.8	28.8,781.6	37.6,911.4	77.4,860.0	51.0,293.6	49.2,335.4	81.8,321.4

【×：撞倒天花板】



討論：

發射方式確實影響紙飛機的飛行：

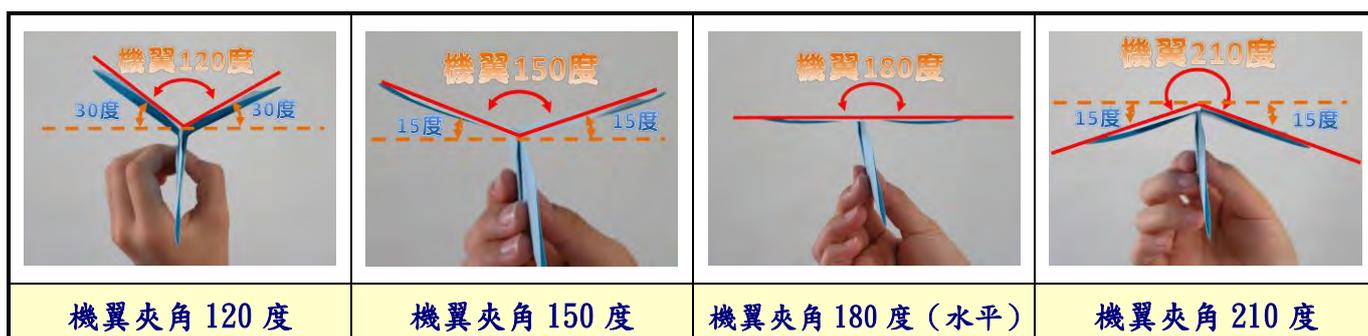
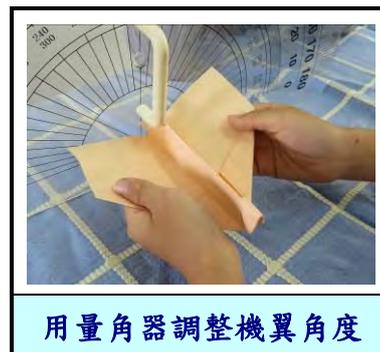
- 一、依據橡皮筋彈性區間測試，我們發現本研究所使用的橡皮筋彈性範圍大約落在伸長量 20 公分，也就是橡皮筋總長度在 32 公分以內的範圍。
- 二、橡皮筋固定點越長拉力越大，紙飛機飛行距離越長，依序排列為：拉力 35cm > 拉力 25cm > 拉力 15cm，但是因為拉力 35 公分時彈力已經超過橡皮筋的彈性區間，因此雖然可以觀察到拉力與飛行距離的關係，但並不十分準確。
- 三、發射角度也會影響紙飛機的飛行，發射角度越大，紙飛機飛行的距離越長，依序排列為：角度 45 度 > 角度 30 度 > 角度 15 度 > 角度 0 度。
- 四、發射角度 60 度時，幾乎只要一發射就撞到天花板，因此我們雖記錄數據，但並不列入統計。
- 五、發射角度變大，紙飛機飛行距離變長，我們同時也觀察到發射角度 30 度、45 度時紙飛機落地的位置較集中在中央線附近，顯示這兩個發射角度，在飛行的路線比較直。
- 六、從落點位置記錄中，我們也發現三種飛機的飛行距離「Glider」>「Skyking」>「基本型」，但是在飛行路線上則是「基本型」紙飛機比較直線，偏離中線的情形較少，而「Skyking」、「Glider」紙飛機則較會出現滑翔狀態，較易偏離中線，尤其「Skyking」偏離中線的較遠，同時飛行狀態也會出現滑翔的情形，可能是因為這款飛機的機翼最大，與我們去年研究結果面積越大的飛機越容易滑翔之結果相呼應。



考慮紙飛機整體飛行的穩定度及橡皮筋彈性範圍，因此我們決定以拉力 25 公分，發射角度 45 度方式發射紙飛機，進行後續研究。接著我們將探討：如果機翼夾角並非水平，而是兩側機翼均揚起一點角度的話，機翼夾角對於紙飛機的飛行會有怎樣的影響呢？

研究四：紙飛機「機翼夾角角度」對飛行的影響

1. 以 80P 影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」。
2. 調整各種紙飛機的機翼夾角角度為「120 度（上揚 30 度）」、「150 度（上揚 15 度）」、「180 度（水平）」、「210 度（下垂 15 度）」。
3. 用第三代發射器，固定拉力 25 公分，發射角度 45 度測量並觀察下列情形下列情形下，紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。

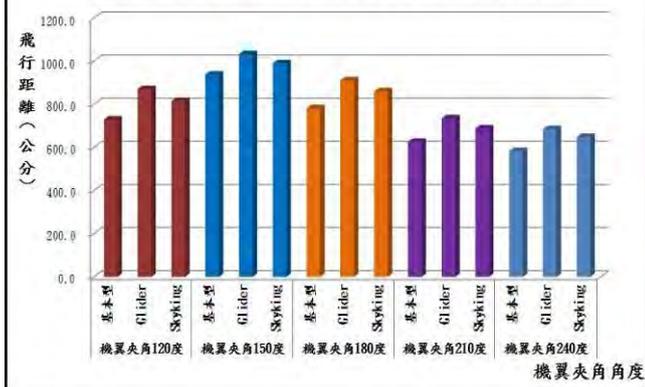


結果：

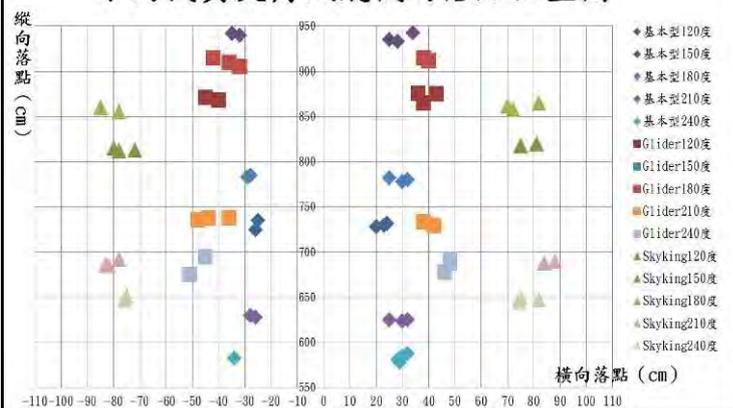
【機翼夾角角度與紙飛機飛行的關係「落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）」：】

	機翼夾角 120 度			機翼夾角 150 度					
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking			
第一次	20,728	-40,868	-80,815	25,935	49,1032	-90,985			
第二次	-25,735	-45,871	75,818	-32,940	-48,1033	92,990			
第三次	-26,725	43,875	-72,813	28,933	-55,1035	-88,995			
第四次	23,730	38,865	-78,812	-35,942	-58,1028	-85,986			
第五次	24,732	36,876	81,820	34,943	51,1038	-95,998			
平均距離 (cm)	23.6,729.3	40.4,871.3	77.2,815.3	30.8,938.6	52.2,1033.2	90,990.8			
	機翼夾角 180 度（水平）			機翼夾角 210 度			機翼夾角 240 度		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	32,780	40,912	72,858	30,624	42,730	-83,686	32,588	-45,695	-75,652
第二次	-28,785	-36,910	-85,860	-28,630	-44,738	84,688	-34,583	48,688	82,648
第三次	30,778	38,915	70,862	25,625	-48,736	88,690	28,581	-51,675	74,645
第四次	-29,783	-32,905	-78,855	-26,628	38,734	-82,685	30,585	46,678	75,650
第五次	25,782	-42,915	82,865	32,625	-36,738	-78,692	29,578	48,692	-76,647
平均距離 (cm)	28.8,781.6	37.6,911.4	77.4,860.0	28.2,626.4	41.6,735.2	83.0,688.2	30.6,583.0	4736,685.6	76.4,648.4

機翼夾角與紙飛機飛行距離的關係



不同機翼夾角紙飛機的落點位置圖



討論：

改變機翼夾角角度對飛行會產生影響：

一、兩側機翼上揚 (<180度) 時飛行距離較大，兩側機翼下垂 (>180度) 時，飛行距離較短，飛行距離依序為：機翼夾角 150度 > 機翼夾角 180度 > 機翼夾角 120度 > 機翼夾角 210度 > 機翼夾角 240度。

二、機翼夾角 150度 (上揚 15度) 飛行距離 > 機翼夾角 120度 (上揚 30度) 飛行距離。但機翼夾角 180度 (水平，T形) 時的紙飛機飛行距離 > 機翼夾角 120度 (上揚 30度) 飛行距離。因此，機翼上揚雖然可以加大飛行距離，但也不可以上揚太多。

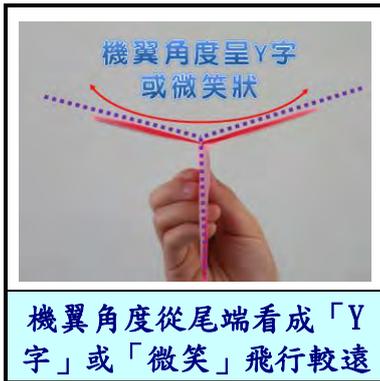
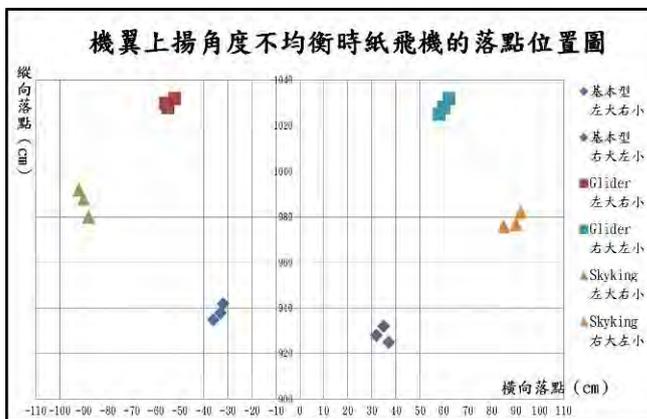
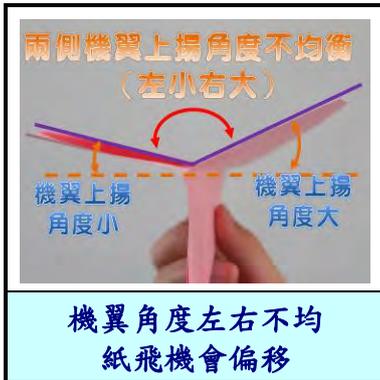
三、兩側機翼下垂 (夾角 210度、夾角 240度) 時，飛行距離則明顯較水平及上揚時短，顯示如果想讓紙飛機飛行較遠，必須注意機翼不可以下垂。

四、從落點位置紀錄中，我們也發現三種飛機的飛行距離「Skyking」>「Glider」>「基本型」，但飛行路線還是「基本型」較為直線，落點較接近中央線。

五、在研究中我們發現有幾次紙飛機飛行路徑偏離中心線很多，當我們將這些紙飛機抓回來重新檢視，發現他們兩側機翼的上揚角度不大均衡。我們將這幾次資料單獨整理，發現：這些紙飛機的飛行路線會朝向從尾端看過去上揚角度較大的一邊偏。也就是機翼角度不只影響飛行距離，也影響飛行的路徑，因此在試飛前必須仔細調整讓兩側機翼上揚角度均衡。

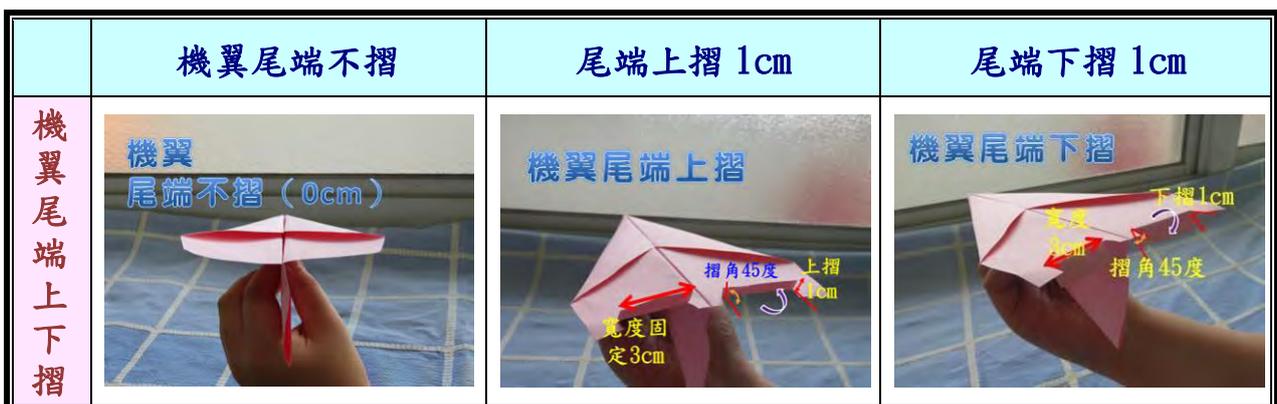
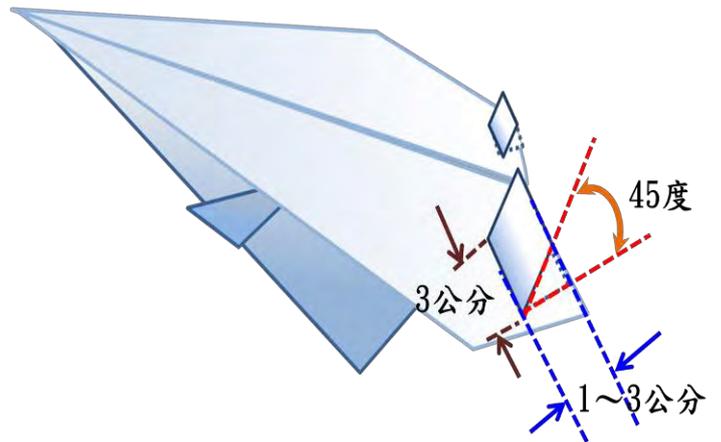
機翼夾角角度成「T」字形 (水平) 時，紙飛機可以飛得遠，但若讓兩側機翼略略上揚，機翼夾角從尾端看起來有點像「Y」字形或是「微笑」，可以讓紙飛機飛得更遠。

改變機翼夾角角度確實對飛行及產生了影響，但許多模式的紙飛機會在機翼尾端及側邊摺起，這對紙飛機的飛行會產生怎樣的變化？我們將在後續研究中接著加以探究。



研究五：紙飛機「機翼尾部摺起」對飛行的影響

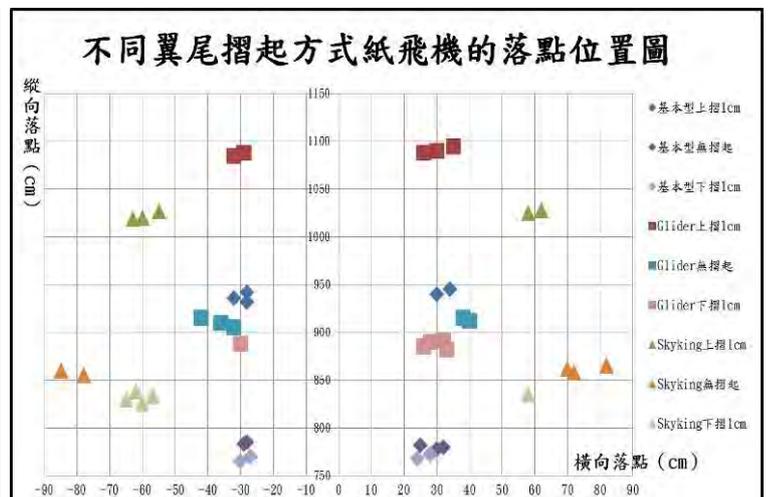
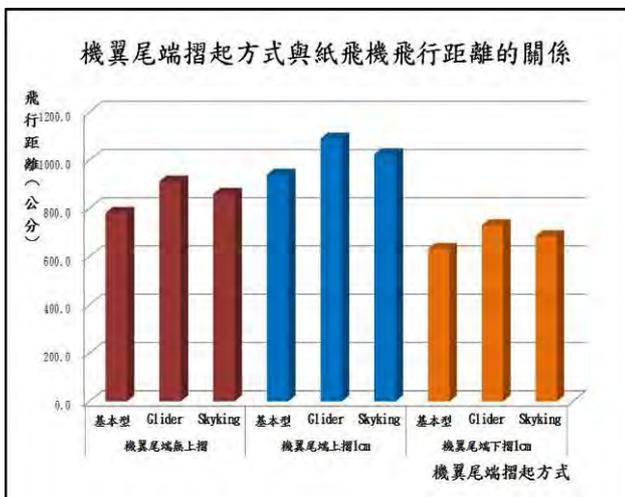
- 以 80P 影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」飛機各三架。
- 三種紙飛機均以下列方式將機翼摺起：
 - 將三款紙飛機的兩側機翼尾端分別上摺、下摺 1cm（考慮機翼最小的「基本型」所以長度均固定為 3 公分，摺角暫定 45 度）。
 - 將三種紙飛機兩側機翼尾端摺起 1cm（長度固定 3 公分），改變摺角角度。
 - 改變尾端摺起寬度為「1cm」、「2cm」、「3cm」（長度固定 3 公分）。
- 用第三代發射器，固定拉力 25 公分，發射角度 45 度測量並觀察下列情形下列情形下，紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。



結果：

【機翼尾端摺起方向與紙飛機飛行的關係「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

	尾端不摺起			尾端上摺 1 公分			尾端下摺 1 公分		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	32,780	40,912	72,858	30,940	-32,1085	-60,1020	-27,770	28,890	58,835
第二次	-28,785	-36,910	-85,860	-32,936	30,1090	58,1025	24,768	-30,888	-57,833
第三次	30,778	38,915	70,862	-28,942	-29,1088	62,1028	28,772	32,892	-62,838
第四次	-29,783	-32,905	-78,855	34,945	35,1095	-63,1019	-30,765	26,885	-65,830
第五次	25,782	-42,915	82,865	-28,932	26,1088	-55,1027	28,773	33,882	-60,825
平均距離 (cm)	28.8,781.6	37.6,911.4	77.4,860	30.4,939.0	30.4,1089.2	59.6,1023.8	27.4,769.6	29.8,887.4	60.4,832.2

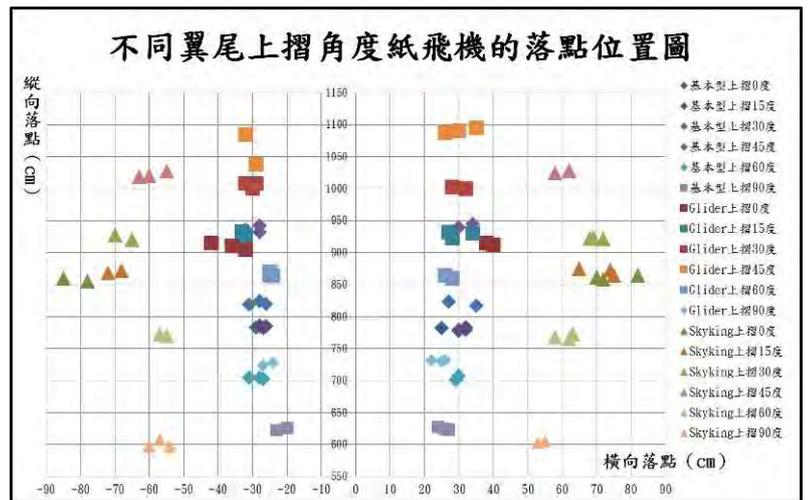
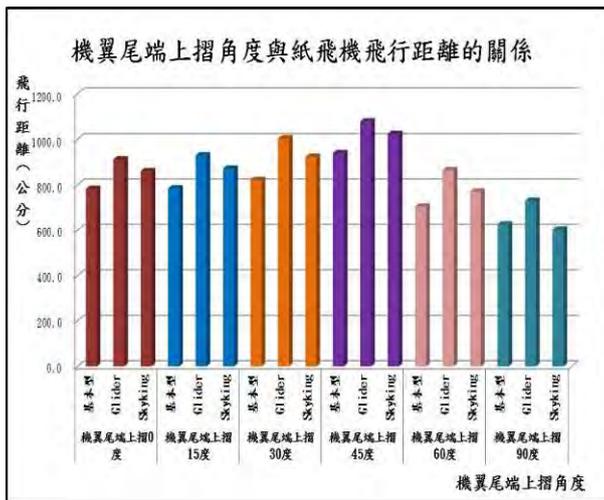


討論：

藉機翼尾端摺起會影響紙飛機的飛行，改變尾端摺起方向，我們觀察到：

- 一、當機翼尾端摺起方式與飛行距離的關係依序為：
尾端上摺 1 公分 > 尾端不摺起 > 尾端下摺 1 公分。
- 二、觀察紙飛機飛行情形，尾端上摺的紙飛機飛行更為穩定，落點位置也更接近中央，尤其是「Skyking」原本較容易偏離中線的飛行路線，及飛行時的滑翔狀態也改善很多。
- 三、尾端下摺的紙飛機，飛行路線明顯較短，同時較容易下墜，落點位置也較近，同時在飛行中也較少出現滑翔的狀態。
- 四、我們也注意到有幾次紙飛機路徑偏離很多，當我們檢查紙飛機，發現兩側尾端上摺的角度跑掉，變成一邊上摺較多，一邊較少，因此在發射前需注意尾端摺起角度均衡。

在試驗機翼尾端摺起方式時，我們暫將時摺角定為 45 度，但我們也想到如果摺角改變，紙飛機的飛行距離是否也隨之改變？因此我們進一步試驗將機翼尾端上摺，但改變機翼尾端的上摺角度以驗證尾端上摺角度與紙飛機飛行的關係。

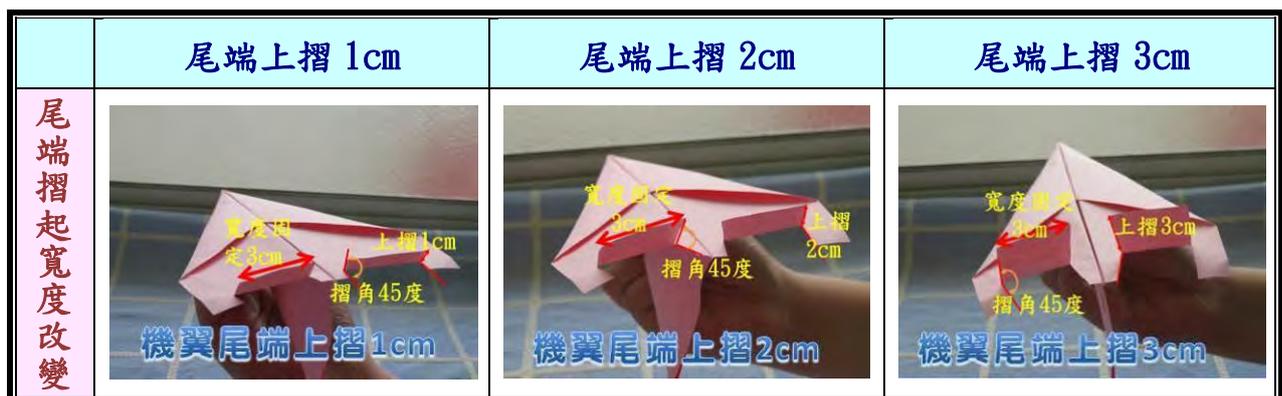


機翼尾端上摺角度改變，我們發現對於飛行距離稍稍有影響：

- 一、當尾端上摺 15 度~45 度時飛行距離增加，尤其是尾端上摺 30 度、上摺 45 度時飛行距離明顯增加。
- 二、當上摺角度超過 45 度（60 度、90 度）紙飛機的飛行距離反而變得比較短。因此機翼尾端上摺角度太大，反而無法讓紙飛機飛得更遠。
- 三、我們也發現當兩邊尾端上摺角度不均衡時，紙飛機的飛行路線也會產生偏移，因此在每次試飛前都必須注意調整。

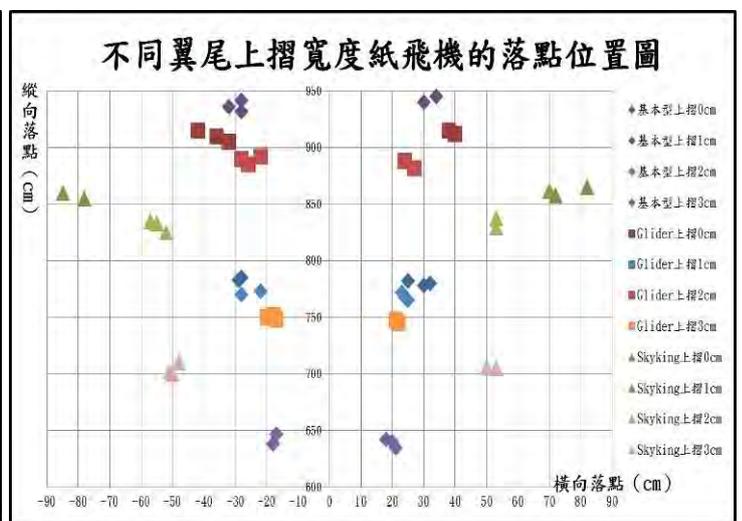
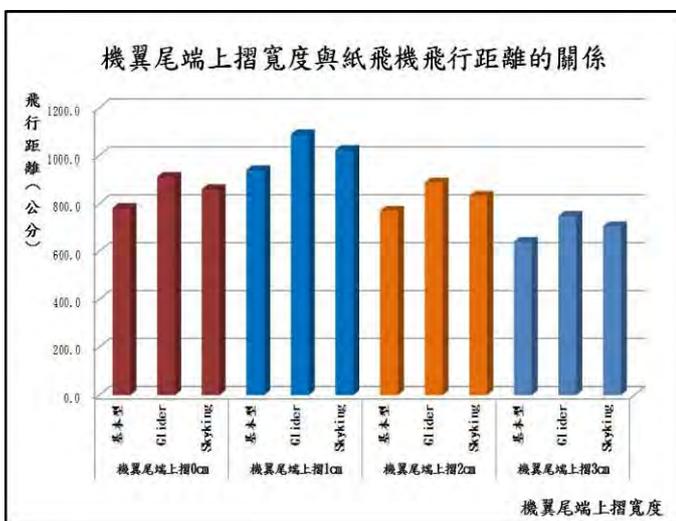


我們也想到如果尾端上摺更多，對於紙飛機的飛行又會有何影響？因此，我們進一步將摺起寬度依然固定為 3cm，摺角固定為 45 度，但試著改變上摺的寬度再加以試驗。



【機翼尾端摺起寬度與紙飛機飛行的關係「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

	尾部上摺 1 公分			尾部上摺 2 公分			尾部上摺 3 公分		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	32,780	-32,1085	72,858	-28,770	-28,890	-57,835	-18,638	-20,750	-50,700
第二次	-28,785	30,1090	-85,860	24,768	24,888	-55,833	20,640	-18,752	53,705
第三次	30,778	-29,1088	70,862	23,772	-22,892	53,838	21,635	22,745	-51,702
第四次	-29,783	35,1095	-78,855	25,765	-26,885	53,830	-17,647	21,748	-48,710
第五次	25,782	26,1088	82,865	-22,773	27,882	-52,825	18,642	-17,748	50,706
平均距離 (cm)	28.8,781.6	30.4,1089.2	77.4,860.0	24.4,769.6	25.4,887.4	54,832.2	18.8,640.4	19.6,748.6	50.4,704.6



討論：

改變尾端摺起的寬度，我們發現：尾端摺起越多，並不一定讓飛行距離加長。我們也觀察到：尾端上摺 1 公分 > 尾端上摺 0 公分 > 尾端上摺 2 公分 > 尾端上摺 3 公分。也就是雖然尾端上摺可以讓飛行距離增加，但上摺太多，就變成阻力，反而不見得能讓紙飛機飛得更遠，尤其是「基本型」紙飛機尾端上摺到 3 公分時，飛行距離明顯短很多。

但是尾端上摺寬度增加，卻改善了紙飛機的偏移及飛行的滑翔情形，由落點位置可觀察到紙飛機偏移減少，尤其是「Skyking」在上摺 3 公分時，很明顯的飛行路徑變得比較直線。

除了機翼尾端的上摺，我們也發現很多款紙飛機都會把兩側機翼尖端摺起，究竟機翼兩側的摺起對於紙飛機的飛行有何影響？我們將進一步探討。

研究六：紙飛機「機翼側邊摺起」對飛行的影響

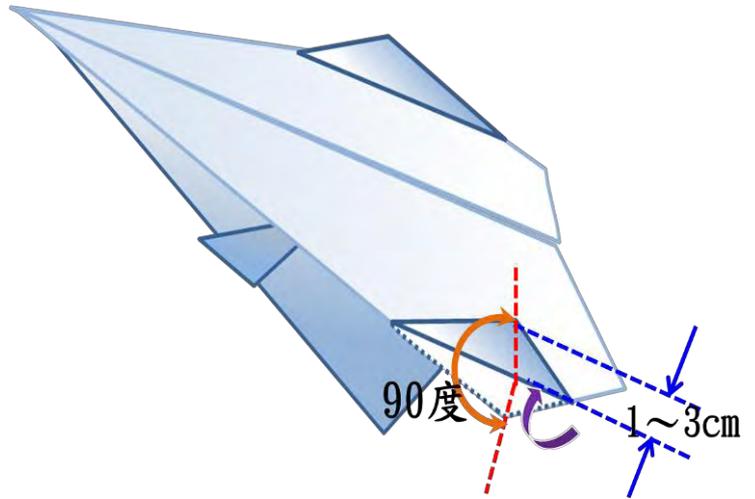
1. 以 80P 影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」飛機。
2. 以下列方式將機翼摺起：

(1) 將三種紙飛機的兩側機翼兩側分別上摺、下摺 1cm (從最尖端量測 1cm, 摺角暫定 90 度)

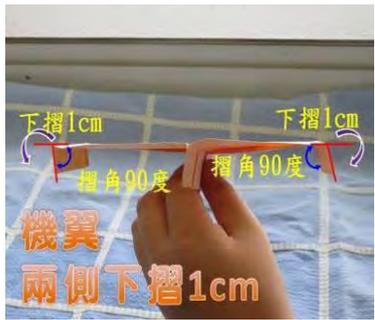
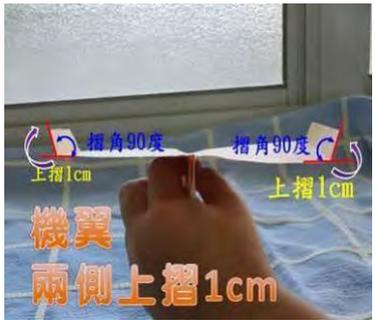
(2) 三種紙飛機的兩側機翼兩側邊摺 1cm, 改變至摺起角度。

(3) 改變機翼兩側邊摺起寬度為「1cm」、「2cm」、「3cm」(摺角固定)。

3. 用第三代發射器, 固定拉力 25 公分, 發射角度 45 度測量並觀察下列情形下, 紙飛機飛行的落點位置 (x: 橫向位置, y: 縱向位置) 以及飛行情形, 並加以記錄。

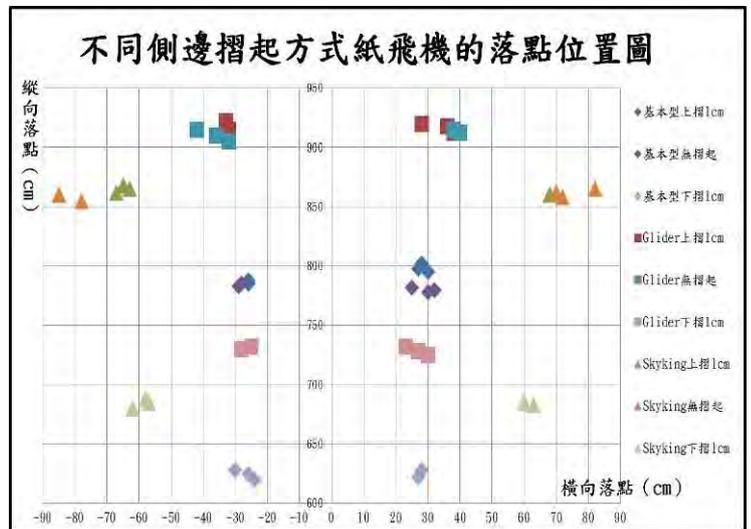
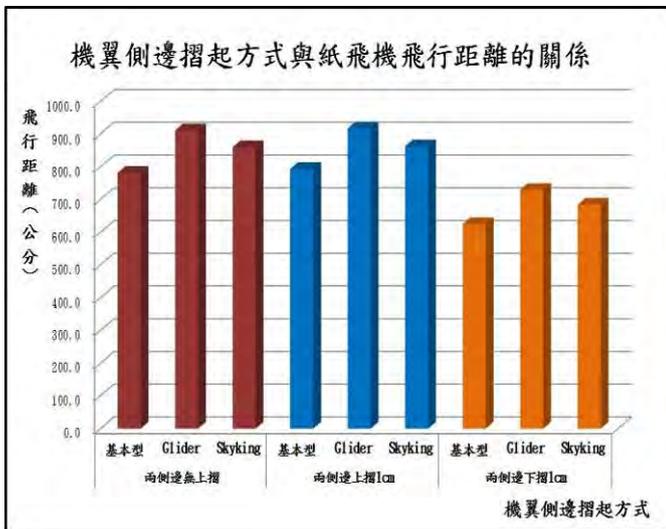


		
繪製機翼摺線	將兩側尾端摺起	檢查摺起角度是否相同

	側邊摺 0cm (不摺)	側邊上摺 1cm	側邊下摺 1cm
機翼側邊上下摺	 下摺 1cm 下摺 1cm 摺角 90度 摺角 90度 機翼 兩側下摺 1cm	 摺角 90度 摺角 90度 上摺 1cm 上摺 1cm 機翼 兩側上摺 1cm	 機翼 兩側不摺 (0cm)

【機翼兩側摺起方向與紙飛機飛行的關係「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

	兩側邊不摺			兩側邊上摺 1 公分			兩側邊下摺 1 公分		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	32,780	40,912	72,858	28,802	-32,915	68,860	-26,625	30,725	60,685
第二次	-28,785	-36,910	-85,860	30,795	28,920	-63,865	-24,620	-28,730	-58,688
第三次	30,778	38,915	70,862	-26,788	36,918	-65,868	28,628	27,728	62,680
第四次	-29,783	-32,905	-78,855	-26,785	38,912	-67,862	27,622	-25,732	-63,683
第五次	25,782	-42,915	82,865	27,798	-33,922	68,860	-30,628	23,732	57,685
平均距離 (cm)	28.8,781.6	37.6,911.4	77.4,860.0	27.4,793.6	33.4,917.4	66.2,863.0	27.0,624.6	26.6,729.4	-60,684.2

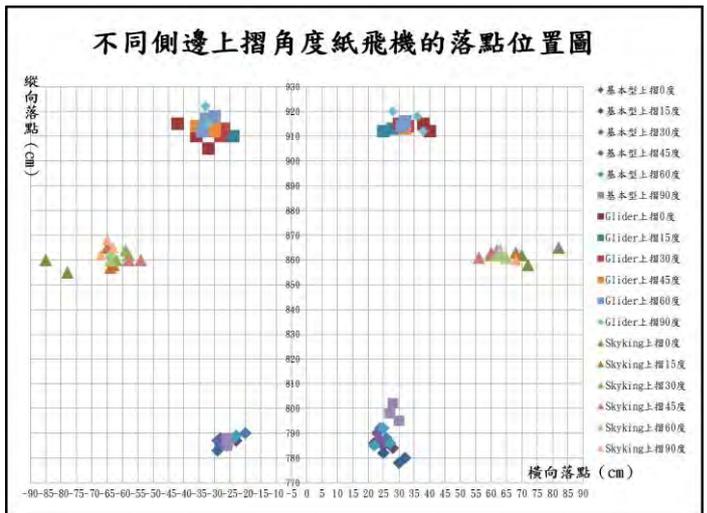
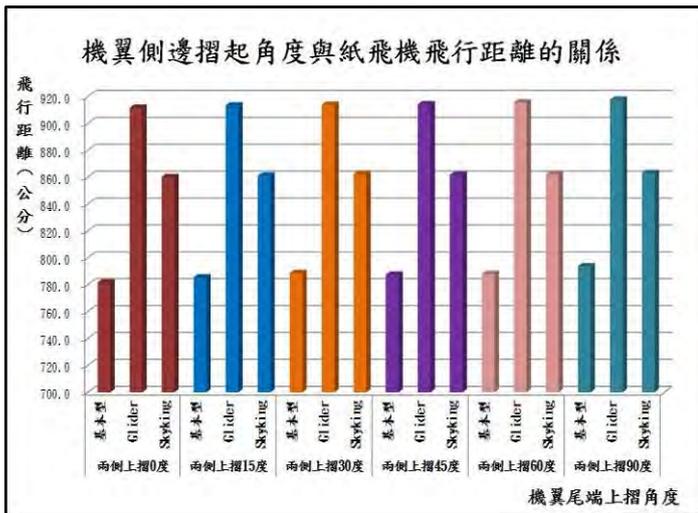


討論：

將機翼兩側摺起，我們觀察到飛行距離的改變並不是很明顯：

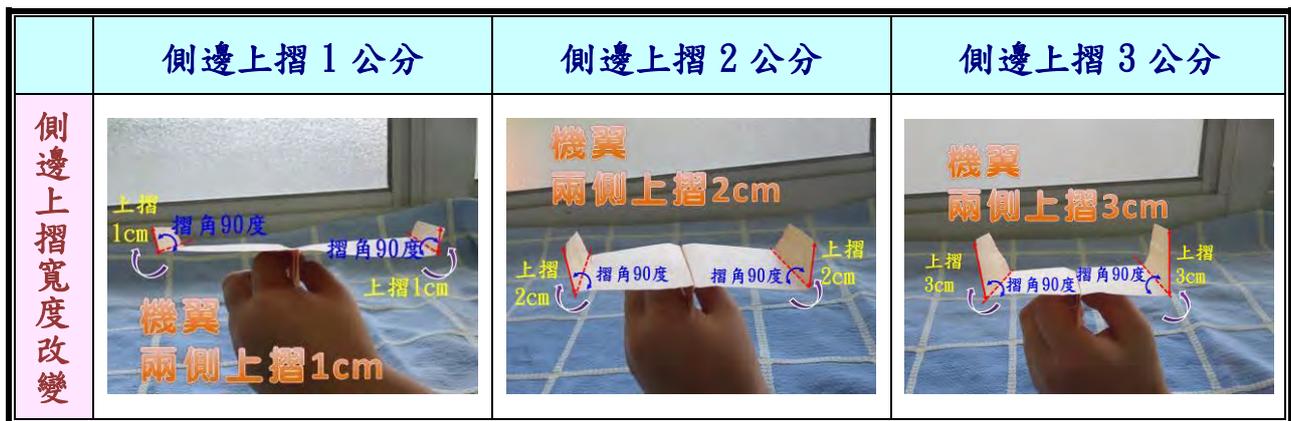
- 一、當兩側上摺 1cm 時，比起兩側機翼無上摺飛行距離稍稍增加，但增加並不明顯。
- 二、如果將機翼兩側改成下摺，那麼飛行距離就很明顯的減少，可見機翼側面上摺可能對於飛行仍有影響。
- 三、機翼兩側無論上下摺，三種飛機的飛行明顯比較穩定，飛行路線變得更加直線。從落點位置我們可以看到三種紙飛機的落點位置都更接近中心線。

在研究機翼兩側摺法與紙飛機飛行的飛行關係時，我們暫時將上下摺角度訂為 90 度，但如果摺角角度改變，對於紙飛機的飛行又會有怎樣的影響呢？於是我們接著改變上摺角度，結果如下。



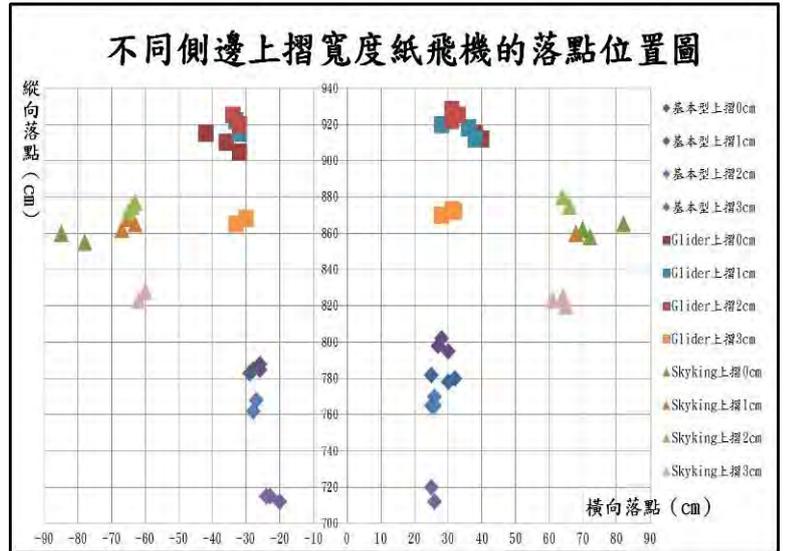
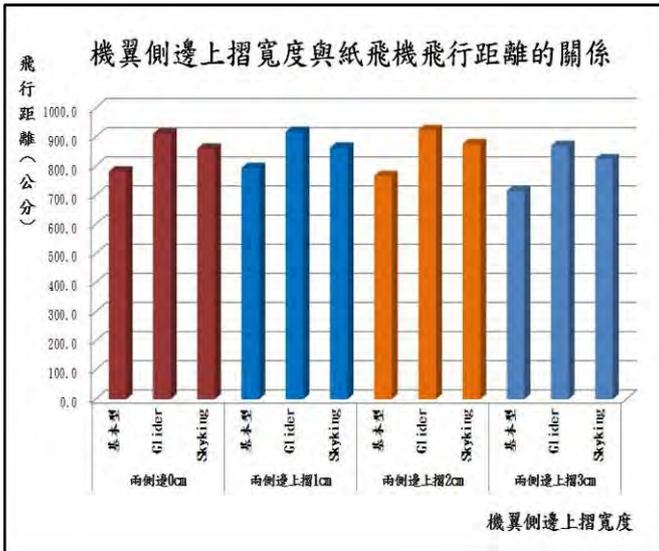
在嘗試不同摺角角度後，我們發現：機翼兩側上摺角度改變對於紙飛機的飛行距離的影響並不明顯，在紙飛機落點位置圖中更可以看出大多數的紙飛機都落在很接近的位置。

因此，我們在討論過後決定將機翼兩側上摺角度定為 90 度，接著我們想要瞭解，如果機翼兩側上摺的寬度改變，對於紙飛機的飛行有會有怎樣的影響呢？



【機翼側邊摺起寬度與紙飛機飛行的關係「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

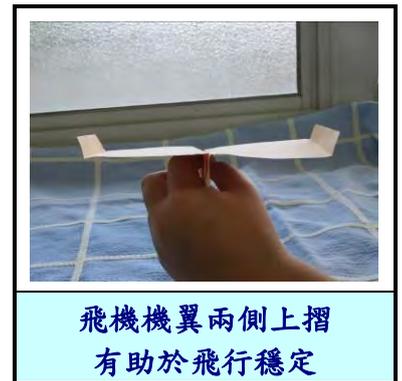
	兩側邊上摺 1 公分			兩側邊上摺 2 公分			兩側邊上摺 3 公分		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	28,802	-32,915	68,860	25,765	-32,920	-64,875	25,720	-30,868	65,820
第二次	30,795	28,920	-63,865	-27,768	-34,925	-63,877	-23,715	32,872	61,823
第三次	-26,788	36,918	-65,868	26,770	31,922	64,880	-20,712	28,870	-60,828
第四次	-26,785	38,912	-67,862	-28,762	31,928	-65,872	26,712	-33,865	64,825
第五次	27,798	-33,922	68,860	26,765	33,925	66,875	-24,715	31,873	-62,823
平均距離 (cm)	27.4,793.6	33.4,917.4	66.2,863.0	26.4,766.0	32.2,924.0	64.4,875.8	23.6,714.8	30.8,869.6	62.4,823.8

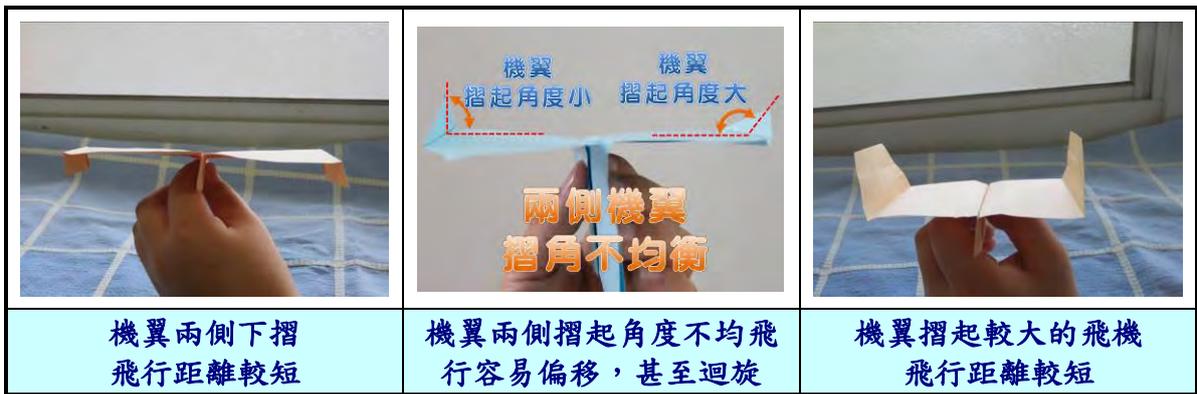


討論：

改變機翼側邊摺起寬度，我們發現機翼兩側上摺對於飛行距離的影響不大：

- 一、增加機翼兩側摺起寬度，對於「Glider」和「Skyking」紙飛機飛行距離依序為：
上摺 2 公分 > 上摺 1 公分 > 上摺 0 公分 > 上摺 3 公分，
但增加的距離不太多。
- 二、增加機翼兩側摺起寬度，對於「基本型」紙飛機飛行距離則為：上摺 1 公分 > 上摺 0 公分 > 上摺 2 公分 > 上摺 3 公分。
- 三、雖然機翼兩側上摺對於飛行距離的增加並不明顯，但是上摺太多（3 公分）時，卻讓飛行距離很明顯的變短。兩側上摺寬度越大，機翼面積也隨之變小，和我們去年研究發現的「機翼面積小的紙飛機，飛行距離較短」這項結果相呼應。
- 四、當機翼兩側摺起時，我們發現紙飛機飛行的路徑變得比較平穩，尤其「Glider」和「Skyking」兩款紙飛機偏移中線或滑翔的狀態減少許多。
- 五、我們發現，當機翼兩側上摺時，數次的飛行中有時紙飛機會出現向旁飛去甚至是迴轉，成為迴旋機，當我們檢查這些偏移很多的飛機，發現它們的兩側機翼摺起角度不均衡。





將紙飛機的機翼兩側摺起，雖然不能大幅增加紙飛機的飛行距離，但是對於紙飛機飛行的穩定卻有很大的貢獻。也因此許多款紙飛機都會設計兩側稍稍摺起。

紙飛機的飛行，除了機翼的調整之外，重心也是一項很重要的因素。去年我們研究「重心」對於紙飛機的飛行有何影響，我們先利用測量找到紙飛機的長度的 1/2 處（中央），並利用自製的重心測量器找出紙飛機的重心。發現大多數的紙飛機重心都落在紙飛機長度的 1/2 附近。

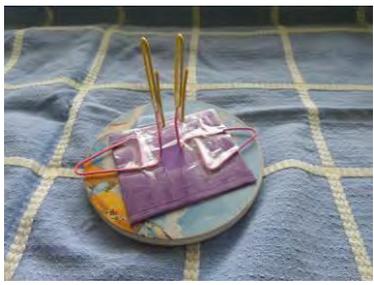
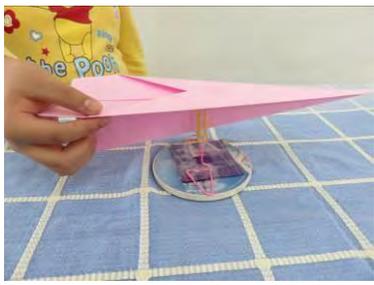
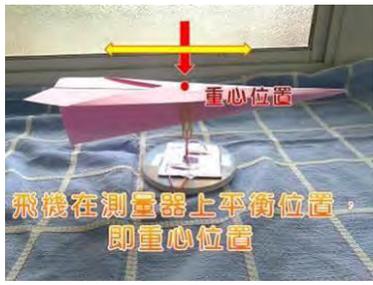
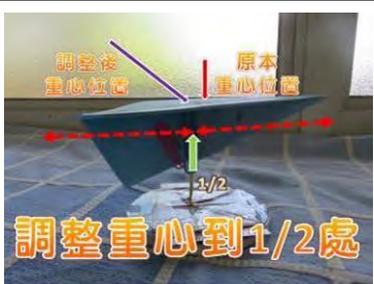
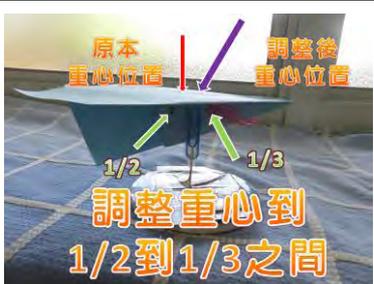
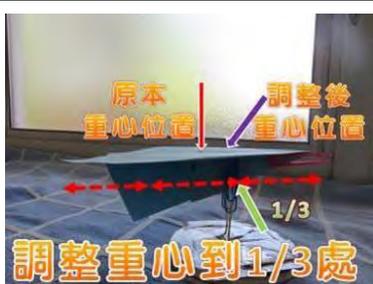
去年我們也利用迴紋針來改變紙飛機的重心位置，並觀察不同重心位置下，紙飛機飛行情形，結果發現：紙飛機重心位置對於飛行的路徑及距離有很大的影響。也發現：重心落在紙飛機機身前半部時，紙飛機飛行路線筆直，但飛行距離短。而落在 1/2（中央）時紙飛機飛得較平穩，飛行距離也較長，而當重心落在紙飛機機身後半部時，飛機會旋轉下墜。也因此，在去年我們發現要讓紙飛機飛的好，重心要在「機身長度的 1/2 略略偏前處」，但究竟要「中央略略偏前」到哪個位置，才是讓紙飛機飛的平穩又飛的遠的最佳重心位置？我們決定再好好的加以試驗。

研究七：紙飛機「重心位置」對飛行的影響

為了更清楚看到重心的位置的改變，我們利用迴紋針，製作簡易的重心測量器。將紙飛機放在重心測量器上如果紙飛機能保持平衡的位置，就是重心位置。經過測試，我們發現本研究中的三種紙飛機（基本型、Glider），重心都落在「機身長度的 1/2」附近，而「Skyking」的重心則在「機身長度的 1/2」接近「機身長度的 1/3」處。

因此我們想到以「Glider」紙飛機，利用迴紋針夾改變重心位置，並依下列步驟來加以測試。

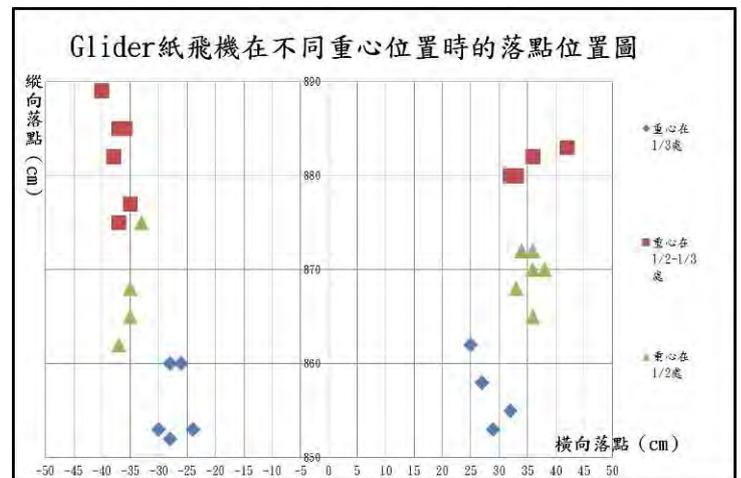
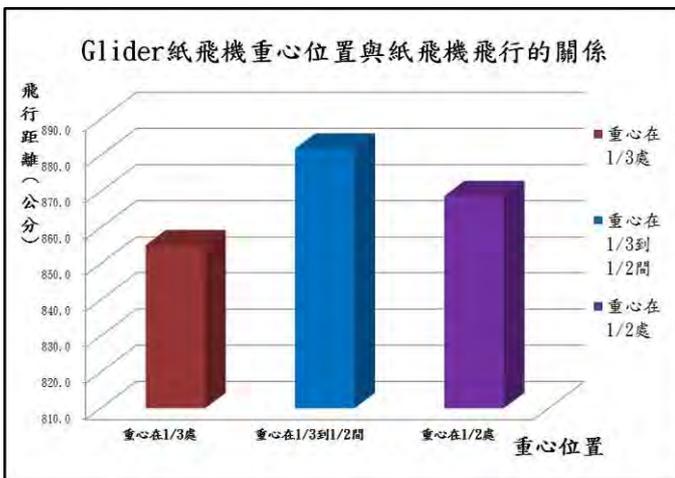
1. 標示機首算起機身長度的 1/2、1/3、1/4 位置。
2. 固定以兩枚迴紋針調整迴紋針改變重心位置，讓重心落在從機首算起機身長度「1/4」、「1/3」、「1/3 和 1/2 之間」、「1/2」的位置。
3. 將不同重心位置的紙飛機裝置在發射器，以拉力 25 公分，發射角度 45 度方式發射紙飛機，測量並觀察各種材質紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形。

		
利用迴紋針自製重心測量器	紙飛機放置在重心測量器	保持平衡的位置，就是重心位置
		
找出機身長度的 1/2、1/3 的位置	調整迴紋針以改變重心	迴紋針數固定為兩枚以控制變因
		
調整重心到 1/2 處	調整重心到 1/2 到 1/3 之間	調整重心到 1/3 處
重心在機身長度的 1/2 處	重心在機身長度的 1/2 到 1/3 間	重心在機身長度的 1/3 處

結果：

【重心位置與紙飛機飛行的關係「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

重心位置		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均距離 (cm)
1/3	落點位置	-28,852	25,854	-30,853	-24,853	-28,860	32,855	29,853	-26,860	25,862	27,858	27.4,855.1
	飛行描述	飛行路徑筆直，發射後飛機會直直的飛後快速墜地，落點比較接近中心線。										
1/2 到 1/3 間	落點位置	-35,877	32,880	36,882	-36,885	-37,875	33,880	-38,882	-40,889	42,883	-37,885	36.6,881.8
	飛行描述	飛行的路徑比較像拋物線，有幾次飛行會略微偏離中心線。										
1/2	落點位置	33,868	-35,865	-37,862	36,865	34,872	-35,868	-33,875	36,870	36,872	38,870	35.3,868.7
	飛行描述	飛行穩定，路徑比較像拋物線，落點位置較偏離中心線。										



討論：

在去年的研究中我們觀察到改變重心位置，紙飛機除飛行距離改變，飛行的軌跡也會改變，想要飛機飛得較遠必須讓重心落在中間偏前，但究竟要「偏前」到怎樣的位置呢？透過迴紋針改變重心位置，我們發現，紙飛機重心的位置確實影響飛行：

- 一、改變迴紋針位置，會使迴紋針發揮如同槓桿般的效果，讓紙飛機的重心位置也稍微移動。原本我們想要嘗試將重心調整到「機身長度的1/4」處，但考慮到不能加太多迴紋針以免影響飛行，當我們改變重心到「機身長度1/3」處時，迴紋針幾乎就

已經在紙飛機最前端了，因此我們決定改變作法研究重心位在「機身長度的 1/3」、「機身長度 1/3 和 1/2 之間」、「機身長度 1/2」處。

二、重心在「機身長度 1/3」位置的紙飛機，飛行路徑筆直，發射後飛機會直直的飛後快速墜地，飛行狀況穩定，落點比重心在其他位置的紙飛機接近中心線。

三、重心在「機身長度 1/3 和 1/2 之間」位置的紙飛機，飛行距離較長，在空中停留的時間較久，飛行的路徑比較像拋物線。

四、重心在「機身長度 1/2」位置的紙飛機，比重心在「機身長度 1/3 和 1/2 之間」的紙飛機稍短，但飛行較穩定，飛行的路徑比較像拋物線，落點位置較偏離中心線。

五、我們發現重心位置與飛行距離的關係為：

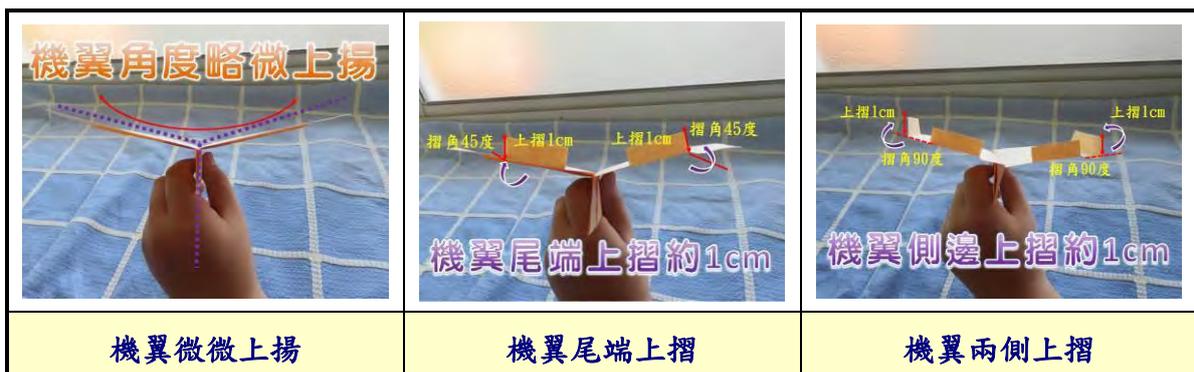
重心在「機身長度 1/3 和 1/2 之間」>重心在「機身長度 1/2」>重心在「機身長度 1/3」，這一點進一步印證我們去年研究所發現的：「重心在紙飛機的機身長度「中央偏前」紙飛機飛行較穩定，飛行距離也較長」這項結果。

六、與我們測試的紙飛機重心相對照，三種紙飛機重心雖然都在「機身長度 1/3 和 1/2 之間」的範圍中，但「基本型」、「Glider」這兩款紙飛機的重心都在較接近「機身長度 1/2」處，因此飛行距離較遠，而「Skyking」重心較接近「機身長度 1/3」處，所以飛行距離較短。



因此，重心位置也是影響紙飛機飛行的原因，如果要紙飛機飛得較遠，重心位置要落在紙飛機「機身長度 1/3 和 1/2 之間」。我們研究中的三種紙飛機的重心位置正好符合可以飛得較遠的機型之重心要求。

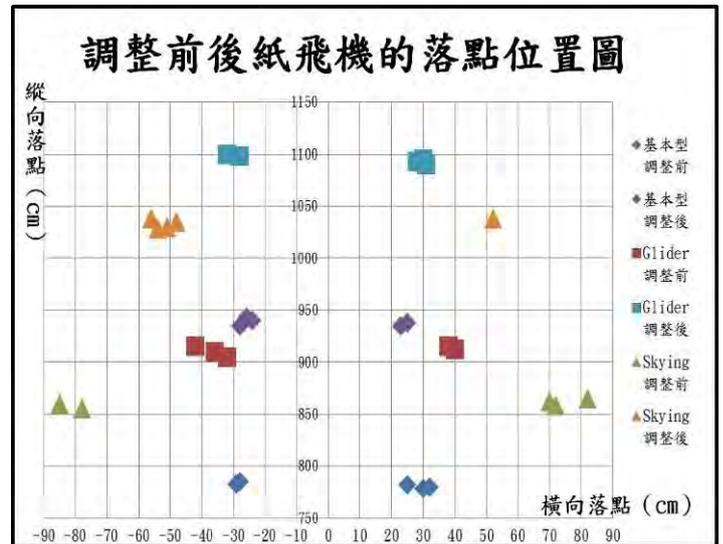
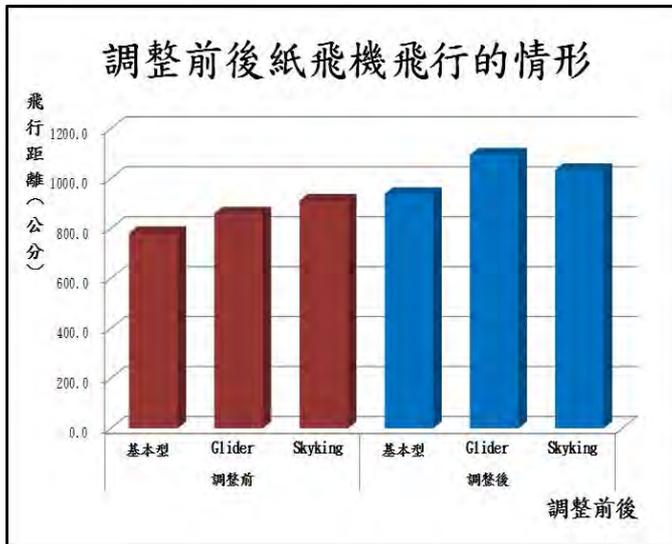
總結研究三到研究六，我們發現了「發射方式」、「機翼角度」、「機翼尾端摺起」、「機翼側邊摺起」以及「重心位置」都會影響紙飛機的飛行，於是我們試著將這些發現應用在研究中的三種紙飛機，比較看看「調整後」的紙飛機，是否可以飛得比原來更好。



實測：

【調整前後的紙飛機飛行距離】

	調整前			調整後		
	基本型	Glider	Skyking	基本型	Glider	Skyking
第一次	32,780	40,912	72,858	-24,940	28,1093	-51,1030
第二次	-28,785	-36,910	-85,860	23,935	-32,1100	-48,1035
第三次	30,778	38,915	70,862	-28,935	30,1095	52,1038
第四次	-29,783	-32,905	-78,855	-26,943	31,1090	-54,1028
第五次	25,782	-42,915	82,865	25,938	-28,1098	-56,1038
平均距離 (cm)	28,8,781.6	37.6,911.4	77.4,860.0	25.2,938.2	29.8,1095.2	52.2,1033.8



討論：

經過調整的三種紙飛機都比原本未調整的紙飛機飛行距離遠，尤其是「Glider」紙飛機幾乎可以輕輕鬆鬆飛過一間教室的距離，而最容易製作的「基本型」紙飛機飛行距離也差不多是一間教室距離。可見只要能掌握「機翼夾角角度 150 度（上揚 30 度）」、「機翼尾端上摺（寬度 1cm，摺角 15~45 度）」、「機翼兩側上摺（寬度 1cm，摺角 90 度）」、重心落在自機首算起「機身長度的 1/3 到 1/2 處」這些因素，即使是摺法簡單的紙飛機，飛行力都相當不錯。

柒、研究結論：

雖然紙飛機造型多變，摺法各有巧妙，但只要注意「發射方式」、「機翼夾角角度」、調整「機翼尾端摺起」、「側邊摺起」、並注意「重心位置」，即使摺法簡單的紙飛機一樣可以飛的又高又遠。

一、利用厚紙板摺成的發射器，再以「看書架」作為調整角度的裝置，固定發射器就可以自由調整角度，並以此裝置找出最適合的紙飛機發射方式。

二、發射方式會影響紙飛機的飛行：

1. 在彈性區間內，橡皮筋拉力越大，紙飛機飛行距離（縱向距離）越長，依序為：拉力 25cm > 拉力 15cm。拉力 35cm 因為已經超出彈性區間，因此雖然紙飛機的飛行距離 > 拉力 25cm 時，但無法列入討論。
2. 固定橡皮筋拉力 25cm 改變發射角度，會影響飛行距離（縱向距離）依序為：角度 45 度 > 角度 30 度 > 角度 15 度 > 角度 0 度。
3. 考慮紙飛機整體飛行穩定度，以拉力 25 公分，發射角度 45 度方式發射紙飛機，是進行本研究最適合的發射方式。

三、機翼夾角角度影響紙飛機的飛行：

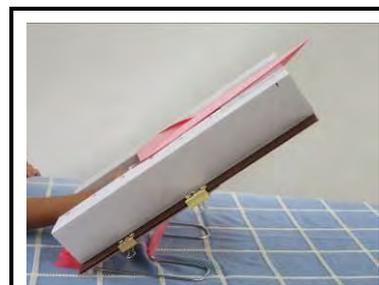
1. 無論選用哪一種紙飛機，當兩側機翼略略上揚都可以飛得比機翼夾角水平時遠，而當兩側機翼略略下垂時，紙飛機飛行距離明顯縮短。
2. 機翼夾角角度與飛行的關係為：機翼夾角 150 度 > 機翼夾角 120 度 > 機翼夾角 180 度 > 機翼夾角 210 度 > 機翼夾角 240 度，可見兩側機翼上揚雖然可以讓飛行距離變遠，但不可以上揚太多。
3. 三種紙飛機無論在「發射拉力」、「發射角度」及「機翼夾角角度」三項測試中，飛行距離均為「Glider」>「Skyking」>「基本型」，但飛行路線還是「基本型」較為直線，「Skyking」和「Glider」較容易偏離中心線。
4. 從紙飛機尾端看去，機翼夾角呈現「Y」字形，或是「微笑」狀態的紙飛機飛行距離較遠。
5. 在研究中我們也發現：如果機翼兩側上揚角度不均衡，紙飛機的飛行就會向從尾端看起來上揚角度較大的一邊偏移，進而使飛行距離（縱向距離）變短。

四、機翼尾端摺起的方式會影響紙飛機的飛行：

1. 機翼尾端上摺時飛行距離（縱向距離）增加，尾端下摺時飛行距離反而變短。



以看書架結合發射器觀察紙飛機飛行情形

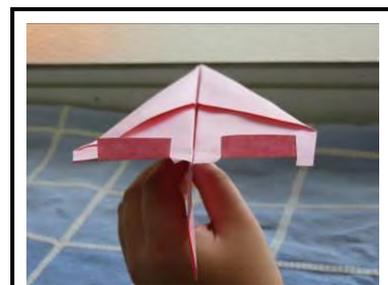


第三代發射器讓飛機更平貼，確保發射角



機翼角度成微笑狀飛行力佳

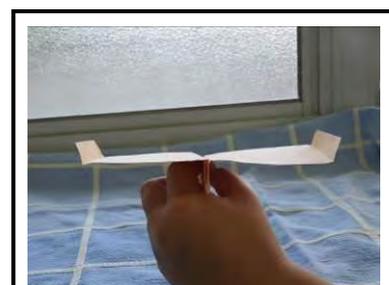
2. 機翼尾端摺起的角度大約在 15 度~45 度之間可以使紙飛機的飛行距離增加，但如果尾端摺起角度越大，並不一定讓飛行距離加長，尾端摺起角度 > 45 度紙飛機的飛行距離反而變短。
3. 改變尾端摺起的寬度，我們發現尾端摺起越多，飛行距離並不一定加長：尾端上摺 1 公分 > 尾端上摺 0 公分 > 尾端上摺 2 公分 > 尾端上摺 3 公分。
4. 雖然尾端上摺可以讓飛行距離增加，但上摺的角度太多、寬度太大，就變成阻力，反而影響飛行距離。



機翼尾端上摺
可以增加飛行力

五、紙飛機機翼兩側摺起與飛行的關係：

1. 機翼兩側上摺時飛行距離（縱向距離）稍稍增加，但不明顯。下摺時則明顯飛行距離變短。
2. 機翼兩側無論上下摺，三種紙飛機的飛行明顯比較穩定，飛行路線變得更加直線。
3. 改變紙飛機機翼兩側摺起的角度對於紙飛機的飛行距離（縱向距離）並沒有明顯的影響。
4. 改變紙飛機機翼兩側摺起寬度，對「Glider」和「Skyking」紙飛機飛行距離依序為：上摺 2 公分 > 上摺 1 公分 > 上摺 0 公分 > 上摺 3 公分，但增加距離不多。
5. 改變機翼兩側摺起寬度，對「基本型」紙飛機飛行距離（縱向距離）則為：上摺 1 公分 > 上摺 0 公分 > 上摺 2 公分 > 上摺 3 公分。
6. 摺太多（3 公分）時，很明顯的讓飛行距離（縱向距離）變短，和我們去年研究發現的「機翼面積小飛行距離短」的結果相呼應。
7. 將機翼兩側摺起，雖然不能大幅增加紙飛機的飛行距離（縱向距離），但對於紙飛機飛行的穩定有很大的貢獻。



機翼側邊上摺
可以使飛行路徑較穩定

六、重心位置會影響紙飛機的飛行：

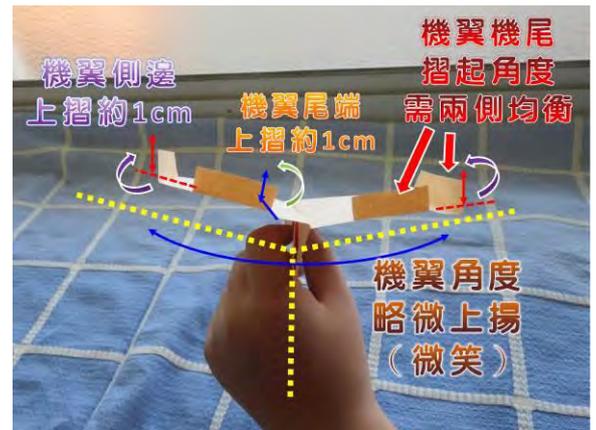
1. 利用迴紋針改變重心位置，紙飛機除飛行距離（縱向距離）改變，飛行軌跡也會改變，飛行距離依序為：重心在「機身長度的 1/3 和 1/2 之間」 > 重心在「機身長度 1/2」 > 重心在「機身長度 1/3」。
2. 「機身長度的 1/3 和 1/2 之間」位置的紙飛機，飛行距離較長，在空中停留的時間較久，飛行的路徑比較像拋物線。
3. 「基本型」、「Glider」紙飛機重心在較接近「機身長度 1/2」處，因此飛行距離較遠。「Skyking」重心較接近「機身長度 1/3」處，所以飛行距離較短。



重心在機身全長 1/2 與
1/3 間的紙飛機飛行較佳

七、總結我們關於紙飛機的研究，我們發現要使紙飛機飛得又高又遠，必須注意以下各項因素：

1. 發射方式：
 - (1) 以第三代發射器固定發射軌道和方向。
 - (2) 發射時橡皮筋拉力位置在 25 公分處。
 - (3) 發射角度 45 度時，飛行高度及距離最佳。
2. 紙飛機製作、調整：
 - (1) 材質：以稍有厚度紙張（至少 70P 影印紙），較容易摺。
 - (2) 摺紙：需注意對摺平整，使紙飛機機型能保持完整。
 - (3) 機翼夾角角度：讓機翼呈 150 度角或水平（Y 字形、微笑或是 T 字形）
 - (4) 機翼尾端：機翼尾端摺起大約上摺 1 公分，並保持兩側摺起角度平衡。
 - (5) 機翼兩側：機翼兩側向上摺起 1 公分，並保持兩側摺起角度平衡。
 - (6) 重心位置：在機身長度的 1/3 到 1/2 之間。



一張紙摺出千變萬化的紙飛機，雖然紙飛機百百款，但想要讓紙飛機飛得高、飛得遠、飛得穩，其實仍然有許多值得好好探究的地方。

透過研究，我們發現小小的紙飛機，隱含著許多飛行的大秘密。只要瞭解紙飛機的材質、機翼、重心對於飛行的影響，以最適合的方式進行調整，並以 45 度角度發射紙飛機，即使只是最基本摺法的紙飛機，飛行距離依然可以相當驚人。在動手玩飛機的同時，我們也學到了許多有趣的科學原理，真是收穫滿滿！

捌、參考書目：

1. 簡單機械（康軒版自然與生活科技，第八冊第一單元）。
2. 力與運動（康軒版自然與生活科技，第五冊第四單元）
3. 天外奇「機」～紙飛機的秘密（屏東縣第 56 屆科展說明書，國小組自然科）
4. 天鷹翱翔-紙飛機（第 47 屆全國科展說明書，國小組自然科）。
5. 國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室。
6. 紙飛機的摺法（<http://en.origami-club.com/plane/index.html>）。
7. 紙飛機工廠（卓志賢，聯經出版公司，2003 年 08 月 25 日）。
8. 教你摺出世界上最強的紙飛機！
（<http://hottopic.chinatimes.com/20150628002460-260804>）。

【評語】 080118

這個研究對於前人的實驗做了一些改進，因此可以得到較為穩定的起始條件。對於研究紙飛機的工作提供了一個良好的參考點。

作品海報

壹 研究摘要

為找出如何讓紙飛機飛得又高又遠的秘密，我們從改良發射器開始，並以三種不同型式的紙飛機，研究「發射方式」、「機翼夾角角度」、「機翼尾端、兩側摺起」、「重心」等因素對飛行的影響。我們發現：想要紙飛機飛的遠，除了以45度角發射紙飛機外，紙飛機的機翼要略略上揚，讓機翼夾角從尾端看起來呈「Y」字形或是「微笑」型態，同時調整紙飛機機翼尾端及兩側上摺的寬度及角度，並注意紙飛機重心落在大約在「自機首算起機身長長的1/3到1/2之間」位置，經過調整後即使是最基本摺法的紙飛機飛行距離也會大大加長。

貳 研究動機

去年我們科研社，研究紙飛機飛行背後的科學原理。隔了一陣子，我們發現媒體報導「教你摺出世界上最強的紙飛機！」裡面提紙飛機的摺法，而且報導中所摺出的紙飛機其滯空時間及飛行距離都比起我們之前的研究長很多。

同時在去年進行的研究中，我們對於影響紙飛機飛行的因素仍有需多項目並未充分探討，因此今年我們決定再接再勵，針對如何讓紙飛機飛得更好的各項因素，再好好的探究一番。



小小紙飛機製作容易又充滿許多有趣的科學原理

參 研究目的

我們希望藉由研究，探討影響紙飛機飛行的各項因素，因此訂定研究目的如下：

- 一、改進觀察飛行的紙飛機發射器。
- 二、決定研究用紙飛機型式。
- 三、紙飛機「發射方式」對飛行的影響。
- 四、紙飛機「機翼夾角角度」對飛行的影響。
- 五、紙飛機「機翼尾部摺起」對飛行的影響。
- 六、紙飛機「機翼側邊摺起」對飛行的影響。
- 七、紙飛機「重心位置」對飛行的影響。

肆 研究器材及設備

- 一、研究器材：80P影印紙、厚紙板、橡皮筋、長尾夾、迴紋針、量角器、裁紙器、尺、捲尺。
- 二、研究設備：電子磅秤、電子拉力秤、數位相機、腳架。



本研究的設備、器材



研究使用的紙張



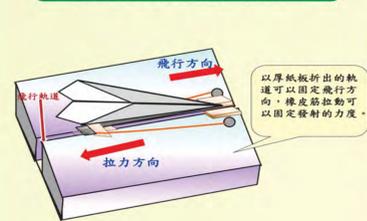
研究所使用的紙飛機

伍 研究流程與結果

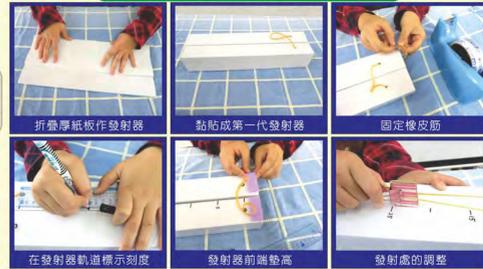
研究一：改進觀察飛行的紙飛機發射器

去年我們想到利用橡皮筋彈力發射紙飛機，可以確實掌握發射紙飛機時的力。但我們之前設計出第一代紙飛機發射器，但仍舊有一些缺點，尤其是發射時無法確認力度，同時也無法調整角度，因此我們改進後成為第二代發射器：

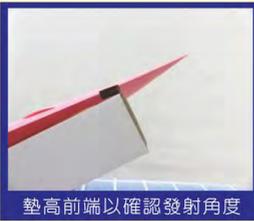
第二代紙飛機發射器設計圖



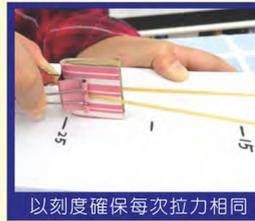
製作第二代紙飛機發射器



實測



墊高前端以確認發射角度



以刻度確保每次拉力相同

討論

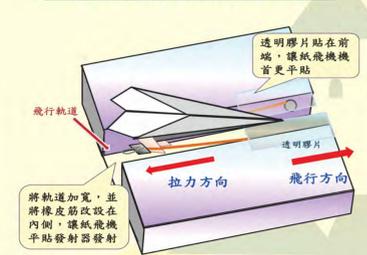
第二代發射器確實能讓紙飛機順利飛行，但有幾個需要調整的地方：

- 一、發射器如果隨意放置，那麼每一次發射的高度是否也會造成飛行距離的誤差？
- 二、軌道前方墊塑膠片雖可以讓紙飛機在發射時保持平衡，但是不同型式的紙飛機有時機身的寬度及機首樣式都不大相同，這樣的調整是否適合每一架紙飛機的發射？

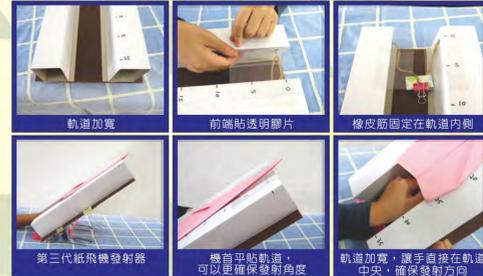
經討論後，我們將發射器進行調整：

- 一、發射器固定於高度65公分的桌子上，並在桌上及地上標示並以捲尺拉出中心線，發射器軌道對準中心線，以固定發射的軌道及高度。
- 二、軌道加寬，同時將橡皮筋移到軌道側面，直接由下方發射，讓紙飛機在發射時可以平貼軌道，這樣可以更確定每次紙飛機都是平行軌道飛出。

第三代紙飛機發射器設計圖



製作第三代紙飛機發射器

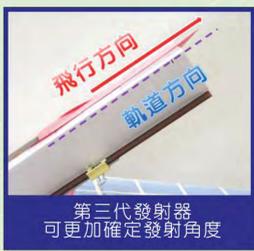


討論

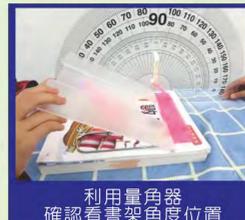
- 一、調整後的發射器，果然可以確認每次發射的高度、方向，及紙飛機彈射出去時的力度。
- 二、雖然改進發射器可以固定每一次發射的方向以及高度，但卻無法調整發射時角度，發射角度是否會影響紙飛機的飛行？

是否能再調整裝置，讓我們觀察到不同發射角度對紙飛機飛行的影響？我們想到利用「看書架」來做一個調整角度的裝置，因此將紙飛機發射器做以下調整：

1. 利用量角器調整看書架的角度，以塑膠板固定，將整個裝置固定在「看書架」上，作為紙飛機發射裝置。
2. 利用看書架的支撐，來改變角度大小，藉以控制紙飛機的發射角度。



第三代發射器可更加確定發射角度



利用量角器確認看書架角度位置



標示角度並試驗固定狀態

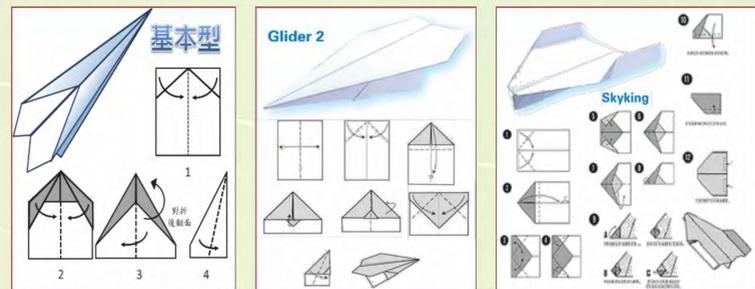


將發射器與看書架組合成可調整角度的發射器

經過調整，發射器便可以自由調整角度，我們想到：發射紙飛機時「發射的力度（橡皮筋拉力）」、「發射角度」都會影響紙飛機的飛行，因此在測試各種影響紙飛機飛行的變因前，我們應該要先找出最適合的紙飛機以及發射方式，以便後續的研究。

研究二：決定研究用紙飛機型式

紙飛機百百款，究竟該研究哪一種紙飛機呢？經過一番思考，我們在網路搜尋符合以下列條件：「1. 製作時不需裁切」、「2. 為單面機翼」、「3. 機翼尾端及側邊可調整」、「4. 容易製作」、「5. 可以在發射器上發射」的紙飛機機型。最後決定以「基本型」、「Glider」及「Skyking」（資料來源：<http://en.origami-club.com/plane/index.html>），這三種型式的紙飛機進行後續研究。為了方便逐步控制變因，我們將製作「Skyking」紙飛機的最後兩步驟（機翼尾端及側邊摺起）暫時省略，讓三種飛機機翼都是平面型態。



名稱	基本型	Glider	Skyking
機首角度	22.5度	22.5度	90度
機翼面積	181.11cm ²	131.5cm ²	187.5cm ²
機身長	31cm	19cm	14.5cm
機身寬	19cm	11.5cm	16.5cm

改進發射器並確定研究用的紙飛機型式後，我們必須先找出「最合適」的發射方法，以確定後續發射時的「力度」、「角度」。

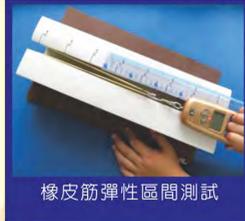
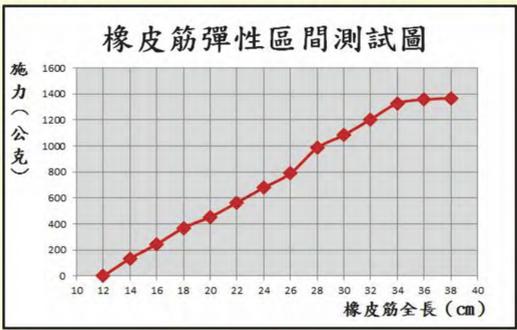
這時要考慮怎樣統計資料，究竟要「一架紙飛機，飛很多次？」，還是要「很多架飛機，飛行次數不那麼多？」在去年的研究中，我們發現大約飛行3~5次紙飛機尖端就會有些受損，為避免影響研究結果，我們決定採「多架飛機」，每架飛機飛3~5次，去掉飛行中誤差較大者，再加以平均，以減少因為紙飛機製作或是飛行中紙飛機受損而產生的誤差。

研究三：紙飛機「發射方式」對飛行的影響

80P影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」各3架，並利用第三代發射器，測量並觀察下列情形下，紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄：

1. 利用拉力秤測試橡皮筋的彈性區間。
2. 發射器平放（0度）時，拉力不同：15公分、25公分、35公分。
3. 固定拉力，改變發射角度為：0度、15度、30度、45度。

全長 (cm)	伸長量 (cm)	施力 (g)
12	0	0
14	2	135
16	4	245
18	6	370
20	8	455
22	10	565
24	12	680
26	14	790
28	16	985
30	18	1085
32	20	1205
34	22	1328
36	24	1358
38	26	1368



橡皮筋彈性區間測試



以長尾夾夾住瓦楞紙，避免直接用手碰觸紙飛機



長尾夾溝槽到刻度，較易確認拉力



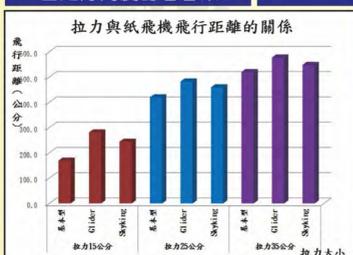
將發射器架設在已經固定好角度的看書架



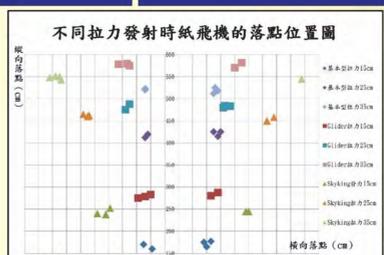
固定拉力



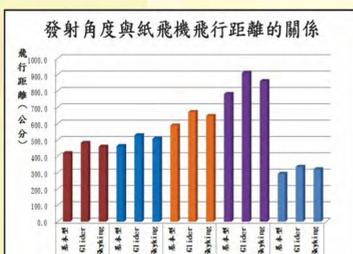
測量飛行距離



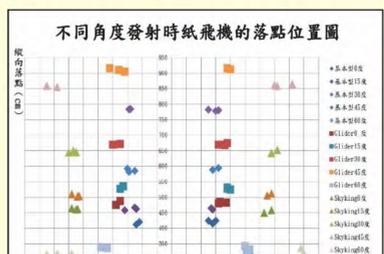
拉力與紙飛機飛行距離的關係



不同拉力發射時紙飛機的落點位置圖



發射角度與紙飛機飛行距離的關係



不同角度發射時紙飛機的落點位置圖

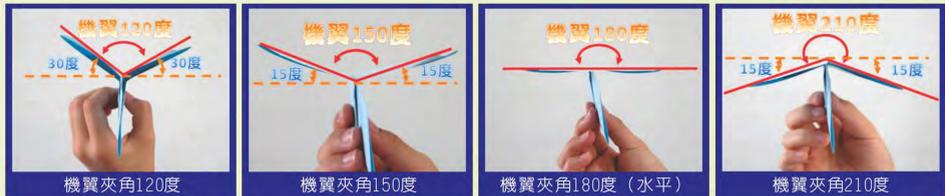
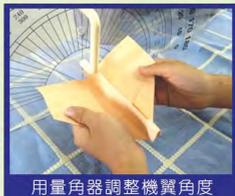
討論

發射方式影響紙飛機的飛行：

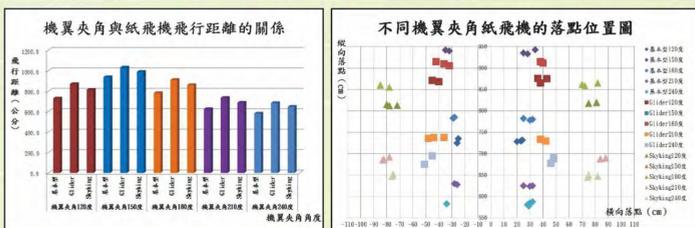
- 一、依據橡皮筋彈性區間測試，我們發現研究所使用的橡皮筋彈性範圍大約落在伸長量20公分，也就是橡皮筋總長度32公分以內的範圍。
 - 二、橡皮筋固定點越長拉力越大，紙飛機飛行距離越長，依序為：35cm>25cm>15cm，但拉力35公分時彈力已經超過橡皮筋的彈性區間，因此雖然可以觀察到拉力與飛行距離的關係，但並不十分準確。
 - 三、發射角度越大，紙飛機飛行的距離越長，依序排列為：45度>30度>15度>0度。發射角度60度時，幾乎只要一發射就撞到天花板，因此我們雖記錄數據，但並不列入統計。
 - 四、從落點位置記錄中，我們發現三種飛機的飛行距離「Glider」>「Skyking」>「基本型」，但是在飛行路線則是「基本型」紙飛機比較直線，偏離中線的情形較少，而「Skyking」、「Glider」紙飛機則較會出現滑翔狀態，較易偏離中線，尤其「Skyking」偏離中線的較遠，可能是因為這款飛機的機翼最大，與我們去年研究結果面積越大的飛機越容易滑翔的結果相呼應。
- 考慮整體飛行的穩定及橡皮筋彈性範圍，因此我們決定以拉力25公分，發射角度45度方式發射紙飛機，進行後續研究。

研究四：紙飛機「機翼夾角角度」對飛行的影響

- 1.以80P影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」。
- 2.調整各種紙飛機的機翼夾角角度為「120度（上揚30度）」、「150度（上揚15度）」、「180度（水平）」、「210度（下垂15度）」。
- 3.用第三代發射器，固定拉力25公分，發射角度45度測量並觀察下列情形下列情形下，紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。



結果



討論

改變機翼夾角角度對飛行會產生影響：

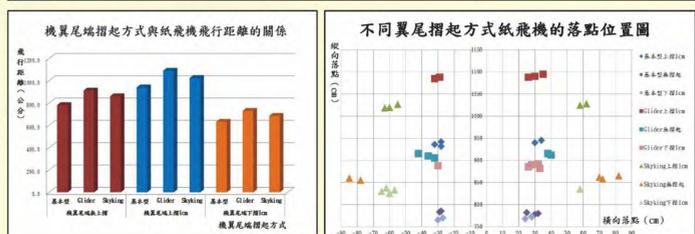
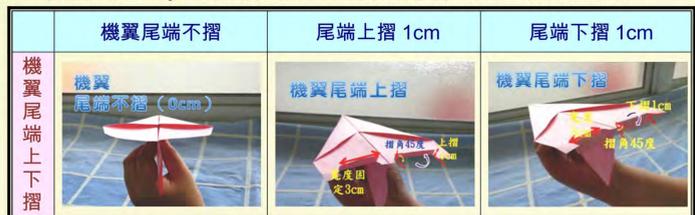
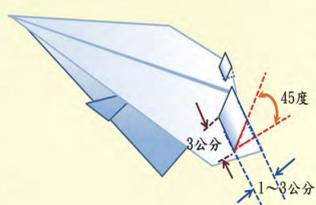
- 一、兩側機翼上揚（<180度）時飛行距離較大，兩側機翼下垂（>180度）時，飛行距離較短。
- 二、機翼夾角120度（上揚30度）飛行距離。反而比夾角150度（上揚15度）及夾角180度（水平，T形）小，顯示：機翼上揚雖然可以加大飛行距離，但也不可以上揚太多。
- 三、兩側機翼下垂（夾角210度、夾角240度）時，飛行距離則明顯較水平及上揚時短。
- 四、我們發現有幾次紙飛機飛行路徑偏離中心線很多，當我們將這些紙飛機抓回來重新檢視，發現他們兩側機翼的上揚角度不大均衡。
- 五、單獨整理這幾次資料，我們發現：這些紙飛機的飛行路線會朝向從尾端看過去上揚角度較大的一邊偏。



機翼夾角成「Y」字形（水平）時，紙飛機可以飛得遠，但若讓兩側機翼略略上揚，機翼夾角從尾端看起來有點像「Y」字形或是「微笑」，可以讓紙飛機飛得更遠。除了機翼夾角之外，許多型式的紙飛機會在機翼尾端及側邊摺起，這對紙飛機的飛行會產生怎樣的變化？我們將在後續研究中接著加以探究。

研究五：紙飛機「機翼尾部摺起」對飛行的影響

- 1.以80P影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」飛機各三架。
- 2.三種紙飛機均以下列方式將機翼摺起：
 - (1) 將三款紙飛機的兩側機翼尾端分別上摺、下摺1cm（考慮機翼最小的「基本型」所以長度均固定為3公分，摺角暫定45度）。
 - (2) 將三款紙飛機兩側機翼尾端摺起1cm（長度固定3公分），改變摺角角度。
 - (3) 改變尾端摺起寬度為「1cm」、「2cm」、「3cm」（長度固定3公分）。
- 3.用第三代發射器，固定拉力25公分，發射角度45度測量並觀察下列情形下列情形下，紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。

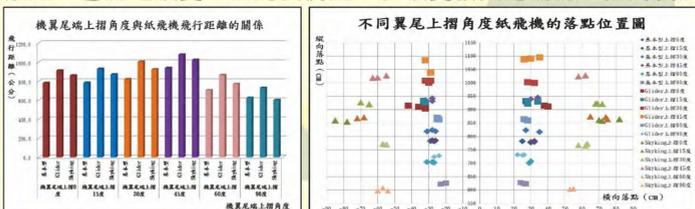


討論

藉機翼尾端摺起會影響紙飛機的飛行，改變尾端摺起方向，我們觀察到：

- 一、當機翼尾端摺起方式與飛行距離的關係依序為：上摺>不摺起>下摺。
- 二、尾端下摺的紙飛機，飛行路線明顯較短，同時較容易下墜，落點位置也較近，在飛行中也較少出現滑翔的狀態。
- 三、我們也注意到有幾次紙飛機路徑偏離很多，當我們檢查紙飛機，發現兩側尾端上摺的角度跑掉，變成一邊上摺較多，一邊較少，因此在發射前需注意尾端摺起角度均衡。

在試驗機翼尾端摺起方式時，我們暫時將摺角定為45度，但如果摺角改變，紙飛機的飛行距離是否也隨之改變？因此我們進一步改變機翼尾端的上摺角度加以驗證。



機翼尾端上摺角度改變，我們發現對於飛行距離稍稍有影響：

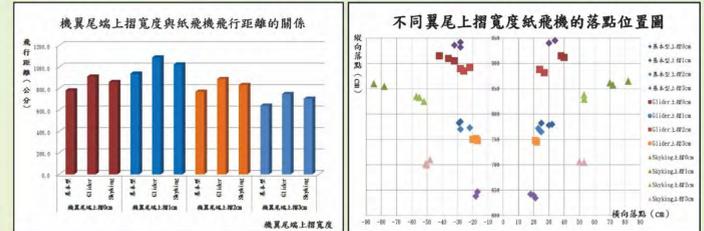
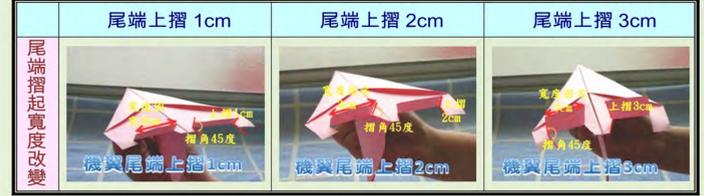
- 一、當尾端上摺15度~45度時飛行距離增加，尤其是尾端上摺30度、45度時飛行距離明顯增加。
- 二、當上摺角度超過45度（60度、90度）紙飛機的飛行距離反而變得比較短。機翼尾

端上摺角度太大，反而無法讓紙飛機飛得更遠。

三、當兩邊尾端上摺角度不均衡時，紙飛機的飛行路線也會產生偏移，因此在每次試飛前都必須注意調整。



我們也想到如果尾端上摺更多，對於紙飛機的飛行又會有何影響？因此，我們進一步將摺起寬度依然固定為3cm，摺角固定為45度，但試著改變上摺的寬度再加以試驗。

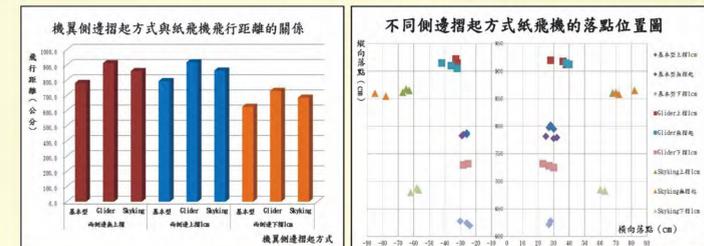
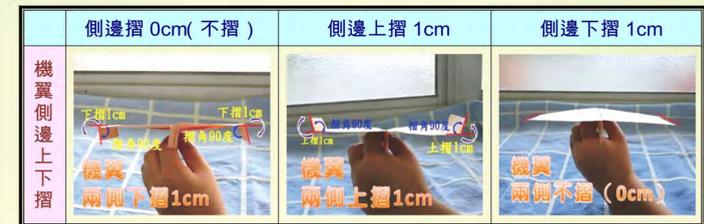
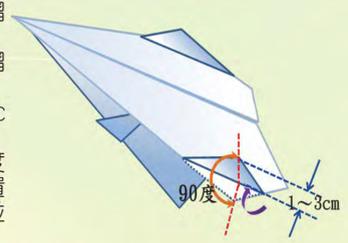


討論

- 一、改變尾端摺起的寬度，發現尾端摺起越多，並不一定讓飛行距離加長：上摺1公分>上摺0公分>上摺2公分>上摺3公分。也就是雖然尾端上摺可以讓飛行距離增加，但上摺太多，就變成阻力。
 - 二、尾端上摺寬度增加，改善了紙飛機的偏移及飛行的滑翔情形，由落點位置可觀察到紙飛機偏移減少，尤其是「Skyking」在上摺3公分時，很明顯的飛行路徑變得比較直線。
- 除了機翼尾端的上摺，我們也發現很多款紙飛機都會把兩側機翼尖端摺起，究竟機翼兩側的摺起對於紙飛機的飛行有何影響？我們將進一步探討。

研究六：紙飛機「機翼側邊摺起」對飛行的影響

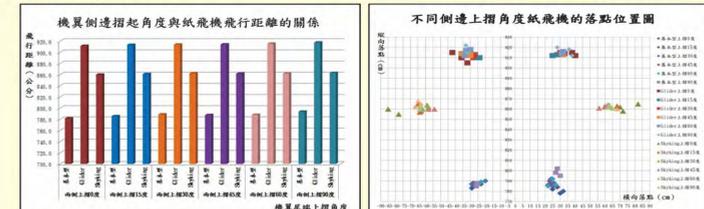
- 1.以80P影印紙製作「基本型」、「Glider」、「Skyking」飛機。
- 2.以下列方式將機翼摺起：
 - (1) 將三款紙飛機的兩側機翼兩側分別上摺、下摺1cm（從最尖端量測1cm，摺角暫定90度）
 - (2) 三種紙飛機的兩側機翼兩側邊摺1cm，改變至摺起角度。
 - (3) 改變機翼兩側邊摺起寬度為「1cm」、「2cm」、「3cm」（摺角固定）。
- 3.用第三代發射器，固定拉力25公分，發射角度45度測量並觀察下列情形下，紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。



討論

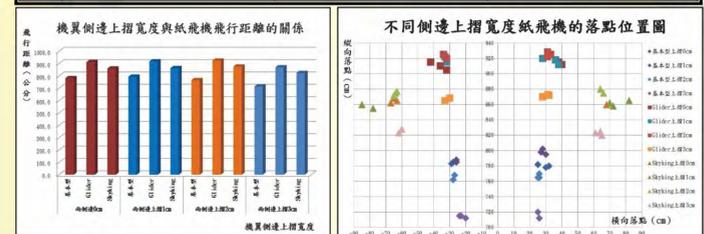
將機翼兩側摺起，我們觀察到飛行距離的改變並不是很明顯：

- 一、當兩側上摺1cm時，比起無上摺飛行距離稍稍增加，但增加並不明顯。
 - 二、如果改成下摺，飛行距離就很明顯的減少，可見機翼側面上摺對於飛行距離仍有影響。
 - 三、機翼兩側無論上下摺，三種飛機的飛行明顯比較穩定，飛行路線變得更加直線。從落點位置我們可以看到三種紙飛機的落點位置都更接近中心線。
- 在研究機翼兩側摺法與紙飛機飛行的飛行關係時，我們暫時將上下摺角度訂為90度，但如果摺角角度改變，對於紙飛機的飛行又會有怎樣的影響呢？於是我們接著改變上摺角度，結果如下。



在嘗試不同摺角角度後，我們發現：機翼兩側上摺角度改變對於紙飛機的飛行距離的影響並不明顯，在紙飛機落點位置圖中更可以看出大多數的紙飛機都落在很接近的位置。

因此，我們在討論過後決定將機翼兩側上摺角度定為90度，接著我們想要瞭解：如果機翼兩側上摺的寬度改變，對於紙飛機的飛行有會有怎樣的影響呢？



討論

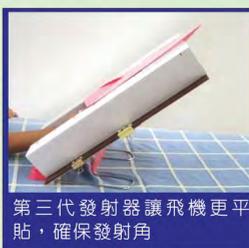
改變機翼側邊摺起寬度，我們發現機翼兩側上摺對於飛行距離的影響不大：

- 一、增加機翼兩側上摺寬度，對於「Glider」和「Skyking」紙飛機飛行距離依序為：2公分>1公分>0公分>3公分，但增加的距離不多。
- 二、增加機翼兩側上摺寬度，對於「基本型」紙飛機飛行距離則為：1公分>0公分>2公分>3公分。
- 三、雖然機翼兩側上摺對於飛行距離的增加並不明顯，但是上摺太多（3公分），卻

陸 研究結論

雖然紙飛機造型多變，摺法各有巧妙，但只要注意「發射方式」、「機翼夾角角度」、「調整機翼尾端摺起」、「側邊摺起」、並注意「重心位置」，即使摺法簡單的紙飛機一樣可以飛的又高又遠。

一、利用厚紙板摺成的發射器，再以「看書架」作為調整角度的裝置，固定發射器就可以自由調整角度，並以此裝置找出最適合的紙飛機發射方式。



第三代發射器讓飛機更平貼，確保發射角

二、發射方式會影響紙飛機的飛行：

1. 在彈性區間內，橡皮筋拉力越大，紙飛機飛行距離越長。
2. 固定橡皮筋拉力25cm改變發射角度，會影響飛行距離（縱向距離）依序為：角度45度 > 角度30度 > 角度15度 > 角度0度。

三、機翼夾角角度影響紙飛機的飛行：

1. 當兩側機翼略略上揚（夾角 < 180度）都可以飛得比機翼夾角水平時遠；當兩側機翼略略下垂（夾角 > 180度）時，紙飛機飛行距離明顯縮短。
2. 機翼夾角角度與飛行的關係為：夾角150度 > 夾角120度 > 夾角180度 > 夾角210度 > 夾角240度，可見兩側機翼上揚雖然可以讓飛行距離變遠，但不可以上揚太多。
3. 從紙飛機尾端看去，機翼夾角呈現「Y」字形，或是「微笑」狀態的紙飛機飛行距離較遠。
4. 如果機翼兩側上揚角度不均衡，紙飛機的飛行就會向從尾端看起來上揚角度較大的一邊偏移，使飛行距離變短。



機翼角度成微笑狀飛行力佳

四、機翼尾端摺起的方式會影響紙飛機的飛行：

1. 機翼尾端上摺時飛行距離增加，尾端下摺時飛行距離反而變短。
2. 機翼尾端摺起的角度大約在15度~45度之間可以使飛行距離增加，但如果尾端摺起角度越大，並不一定讓飛行距離加長，尾端摺起角度 > 45度紙飛機的飛行距離反而變短。
3. 改變尾端摺起的寬度，我們發現尾端摺起越多，飛行距離並不一定加長：尾端上摺1公分 > 尾端上摺0公分 > 尾端上摺2公分 > 尾端上摺3公分。
4. 雖然尾端上摺可以讓飛行距離增加，但上摺的角度太多、寬度太大，就變成阻力，反而影響飛行距離。



機翼尾端上摺可以增加飛行力

五、紙飛機機翼兩側摺起與飛行的關係：

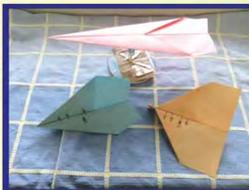
1. 機翼兩側上摺時飛行距離稍稍增加，但不明顯。下摺時則明顯飛行距離變短。
2. 改變紙飛機機翼兩側摺起的角度對於紙飛機的飛行距離並沒有明顯的影響。
3. 改變紙飛機機翼兩側摺起寬度，在上摺2公分以內飛行距離稍稍增加，但增加距離不多。但摺太多（3公分）時，飛行距離很明顯的變短，和我們去年研究發現的「機翼面積小飛行距離短」的結果相呼應。
4. 將機翼兩側摺起，雖然不能大幅增加紙飛機的飛行距離，但對於紙飛機飛行的穩定有很大的貢獻。



機翼側邊上摺可以使飛行路徑較穩定

六、重心位置會影響紙飛機的飛行：

1. 利用迴紋針改變重心位置，紙飛機除飛行距離改變，飛行軌跡也會改變，飛行距離依序為：重心在機身長度的「1/3和1/2之間」 > 重心在「1/2」 > 重心在「1/3」。
2. 重心在「機身長度1/3和1/2之間」位置的紙飛機，飛行距離較長，在空中停留的時間較久，飛行的路徑比較像拋物線。
3. 「基本型」、「Glider」紙飛機重心在較接近「機身長度1/2」處，因此飛行距離較短。「Skyking」重心較接近「機身長度1/3」處，所以飛行距離較短。



重心在機身長1/2與1/3間的紙飛機飛行較佳

七、總結我們關於紙飛機的研究，我們發現要使紙飛機飛得又高又遠，必須注意以下各項因素：

1. 發射方式：
 - (1) 以第三代發射器固定發射軌道和方向。
 - (2) 發射時橡皮筋拉力位置在25公分處。
 - (3) 發射角度45度時，飛行高度及距離最佳。
2. 紙飛機製作、調整：
 - (1) 材質：以稍有厚度紙張（至少70P影印紙），較容易摺。
 - (2) 摺紙：需注意對摺平整，使紙飛機機型能保持完整。
 - (3) 機翼夾角角度：讓機翼呈150度角或水平（Y字形、微笑或是T字形）
 - (4) 機翼尾端：機翼尾端摺起大約上摺1公分，並保持兩側摺起角度平衡。
 - (5) 機翼兩側：機翼兩側向上摺起1公分，並保持兩側摺起角度平衡。
 - (6) 重心位置：在機身長度的1/3到1/2之間。

讓飛行距離很明顯的變短。兩側上摺寬度越大，機翼面積也隨之變小，和去年研究發現的「機翼面積小的紙飛機，飛行距離較短」這項結果相呼應。

四、當機翼兩側摺起時，紙飛機飛行的路徑變得比較平穩，尤其「Glider」和「Skyking」兩款紙飛機偏移中線或滑翔的狀態減少許多。

五、當機翼兩側上摺時，有時紙飛機會出現向旁飛去甚至是迴轉，成為迴旋機，當我們檢查這些偏移很多的飛機，發現它們的兩側機翼摺起角度不均衡。



機翼兩側下摺飛行距離較短

機翼兩側摺起角度不均飛行容易偏移，甚至迴旋

機翼摺起較大的飛機飛行距離較短

將紙飛機的機翼兩側摺起，雖然不能大幅增加紙飛機的飛行距離，但是對於紙飛機飛行的穩定卻有很大的貢獻。也因此許多款紙飛機都會設計兩側稍稍摺起。

紙飛機的飛行，除了機翼的調整之外，重心也是一項很重要的因素。在去年我們發現要讓紙飛機飛的好，重心要在「機身長度的1/2略略偏前處」，但究竟要「中央略略偏前」到哪個位置，才是讓紙飛機飛的平穩又飛的遠的最佳重心位置？我們決定再好好的加以試驗。

研究七：紙飛機「重心位置」對飛行的影響

為了更清楚看到重心的位置的改變，我們利用迴紋針，製作簡易的重心測量器。經過測試，發現三種紙飛機（基本型、Glider），重心都落在「機身長度的1/2」附近，而「Skyking」的重心則在接近「機身長度的1/3」處。因此我們想到以「Glider」紙飛機，利用迴紋針來改變重心位置，並依下列步驟來測試。

1. 標示機首算起機身長度的1/2、1/3、1/4位置。
2. 固定以兩枚迴紋針調整迴紋針改變重心位置，讓重心落在從機首算起機身長度「1/4」、「1/3」、「1/3和1/2之間」、「1/2」的位置。
3. 將不同重心位置的紙飛機裝置在發射器，以拉力25公分，發射角度45度方式發射紙飛機，測量並觀察各種材質紙飛機飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形。



利用迴紋針自製重心測量器

紙飛機放置在重心測量器

保持平衡的位置，就是重心位置



找出機身長度的1/2、1/3的位置



調整迴紋針以改變重心



迴紋針數固定為兩枚以控制變因



調整重心到1/2處

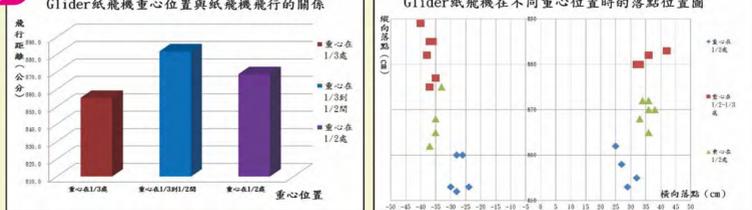


調整重心到1/2到1/3之間



調整重心到1/3處

結果



討論

改變重心位置確實影響飛行：

- 一、重心在機身長度「1/3」位置的紙飛機，飛行路徑筆直，發射後飛機會直直的飛後快速墜地，飛行狀況穩定，落點比重心在其他位置的紙飛機接近中心線。
- 二、重心在機身長度「1/3和1/2之間」位置的紙飛機，飛行距離較長，在空中停留的時間較久，飛行的路徑比較像拋物線。
- 三、重心在機身長度「1/2」位置的紙飛機，比重心在「機身長度1/3和1/2之間」的紙飛機稍短，但飛行較穩定，飛行的路徑比較像拋物線，落點位置較偏離中心線。
- 四、我們發現重心位置與飛行距離的關係為：重心在「機身長度1/3和1/2之間」 > 重心在「機身長度1/2」 > 重心在「機身長度1/3」，進一步印證去年研究所發現：「重心在紙飛機的機身長度『中央偏前』紙飛機飛行較穩定，飛行距離也較長」這項結果。
- 五、與我們測試的紙飛機重相對照，三種紙飛機重心雖然都在「機身長度1/3和1/2間」的範圍中，但「基本型」、「Glider」這兩款紙飛機的重心都在較接近「1/2」處，因此飛行距離較遠，而「Skyking」重心較接近「1/3」處，所以飛行距離較短。因此，重心位置也是影響紙飛機飛行的原因，如果要紙飛機飛得較遠，重心位置要落在紙飛機「機身長度1/3和1/2之間」。研究中的三種紙飛機的重心位置正好符合可以飛得較遠的機型之重心要求。

總結研究三到研究六，我們發現「發射方式」、「機翼夾角角度」、「機翼尾端摺起」、「機翼側邊摺起」以及「重心位置」都會影響紙飛機的飛行，於是我們試著將這些發現加以應用，比較看看「調整後」的紙飛機，是否可以飛得比原來更好。

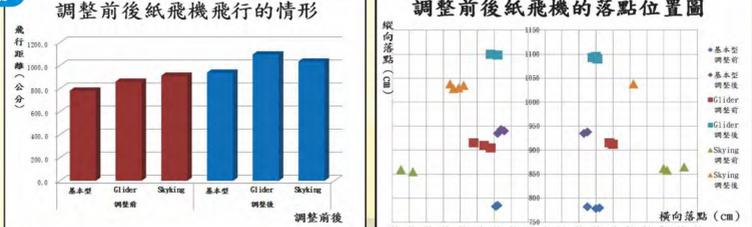


機翼微微上揚

機翼尾端上摺

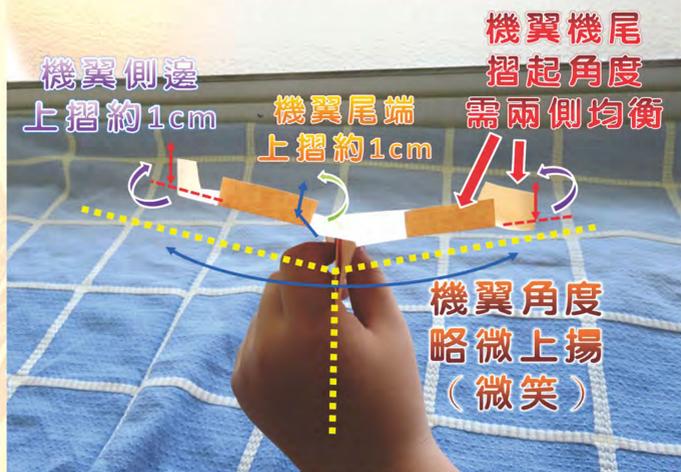
機翼兩側上摺

實測



討論

經過調整的三種紙飛機都比原本未調整的紙飛機飛行距離遠，尤其是「Glider」紙飛機幾乎可以輕輕鬆鬆飛過一間教室的距離，而最容易製作的「基本型」紙飛機飛行距離也差不多是一間教室距離。可見只要能掌握「機翼夾角角度150度（上揚15度）」、「機翼尾端上摺（寬度1cm，摺角15~45度）」、「機翼兩側上摺（寬度1cm，摺角90度）」、重心落在自機首算起「機身長度1/3到1/2處」這些因素，即使是摺法簡單的紙飛機，飛行力都相當不錯。



一張紙摺出千變萬化的紙飛機，雖然紙飛機百百款，但想要讓紙飛機飛得高、飛得遠、飛得穩，其實仍然有許多值得好好探究的地方。透過研究，我們發現小小的紙飛機，隱含著許多飛行的大秘密。只要瞭解紙飛機的材質、機翼、重心對於飛行的影響，以最適合的方式進行調整，並以45度角度發射紙飛機，即使只是最基本摺法的紙飛機，飛行距離依然可以相當驚人。在動手玩飛機的同時，我們也學到了許多有趣的科學原理，真是收穫滿滿！

柒 參考書目

1. 簡單機械（康軒版自然與生活科技，第八冊第一單元）。
2. 力與運動（康軒版自然與生活科技，第五冊第四單元）
3. 天外奇「機」~紙飛機的秘密（屏東縣第56屆科展說明書，國小組自然科）
4. 天鷹翱翔-紙飛機（第47屆全國科展說明書，國小組自然科）。
5. 國立台中教育大學NTCU科學教育與應用學系科學遊戲實驗室。
6. 紙飛機的摺法（<http://en.origami-club.com/plane/index.htm>）。
7. 紙飛機工廠（卓志賢，聯經出版公司，2003年08月25日）。
8. 教你摺出世界上最強的紙飛機！