

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080116

「失」出有名、「速」手就擒 —— 探討飛機失速倒轉之條件

學校名稱：嘉義市東區崇文國民小學

作者： 小四 黃冠綸 小四 洪維翎 小五 黃昱霖	指導老師： 葉姝瑜 董盈君
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：飛機、失速、倒轉

摘要

為了做出失速倒轉返回的特技飛機，發現發射力量與角度和機身結構都有所互相關係。依據失速最大高度、失速水平距離、返回水平距離，發射角度0度時，可選擇87型；發射角度10度時，則可選擇86型；而設定其他飛行目的則可以發射角越大，倒轉返回百分距比與失速高度越大作為操作參考。重心調整上，13mm 長尾夾（1.20g）夾在機頭最前端最為合適。

風洞試驗方面，88型達最大仰角時間最短，翼刀與翼尖小翼不同傾斜角度形狀，最大仰角約在30度左右，推測飛機形態是受風產生升力的主要影響因素。失速倒轉返回飛行修正方面，86流線型可以提高發射角度與水平高度進行。而87與88寬廣型以水平高度，延長升力達最大值的時間為原則。

壹、前言

一、研究動機：

暑假中看到空軍嘉年華戰機們的飛行表演，讓我驚呼連連，感覺飛官十分帥氣，就像電影裡的捍衛戰士。由於我還無法駕駛飛機，就想著是否也能自製出一架有特技飛行的飛機呢？便在網路上搜尋，查到遠哲科學趣味競賽有分享失速倒轉飛機的做法，但要如何讓飛機飛得遠，且能失速倒轉再飛回來的細節，則要自己去摸索，所以便開啓了我們這次的科展實驗。

◎作品與教材應用的相關性：

1. 康軒版自然科學 第一冊 第二單元 生活中的力
2. 康軒版自然科學 第一冊 第四單元 奇妙的空氣
3. 康軒版自然科學 第六冊 第一單元 力與運動

二、研究目的

研究一、探究不同發射力量對飛機失速倒轉的影響

研究二、探究不同發射角度對飛機失速倒轉的影響

研究三、探究不同重心對飛機失速倒轉的影響

研究四、探究不同氣流對飛機飛行的影響

研究五、探究不同飛機翼刀對飛機飛行的影響

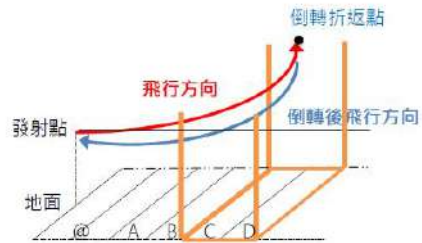
研究六、探究不同飛機翼尖小翼對飛機飛行的影響

三、文獻回顧

我們收集相關的研究資料中發現在「第29屆遠哲科學趣味競賽-Top Gun」有相關的內容，如下：一般紙飛機的穩定飛行主要考慮康達效應的影響。當機首受到的升力較大時，紙飛機飛行的攻角會變大，但攻角過大時，康達效應會消失，這就會發生「失速」(Stall) 下墜 的情況。若機翼、翼刀、翼尖小

翼與重心設計恰當，則可在下墜後攻角變小重新平穩飛行，甚至可以倒轉飛回手中。比賽規定為飛機須在飛行過程中以「失速倒轉」而非「迴旋、迴轉」形式飛回參賽者手中。

失速倒轉的過程飛行軌跡是有個點(倒轉折返點)的循環



指定得分框 (EX: 飛機主結構至少要落入 C 區)

成功失速倒轉示意圖

【本圖引自遠哲科學基金會「Top Gun 競賽辦法」】

貳、研究設備及器材

影印紙 (70磅、80磅)、粉彩紙、珍珠板(0.3mm)、工藝黏膠、智高積木、錄影機、腳架、切割墊、美工刀、直尺、量角器、砝碼(10g)、橡皮筋(#18)、彈弓橡皮筋、長尾夾(13mm、19mm)、電子秤(500×0.01g)、測量軟體 (Tracker)、數位拉力計(MET-DFG50)。

參、研究過程或方法

一、研究架構

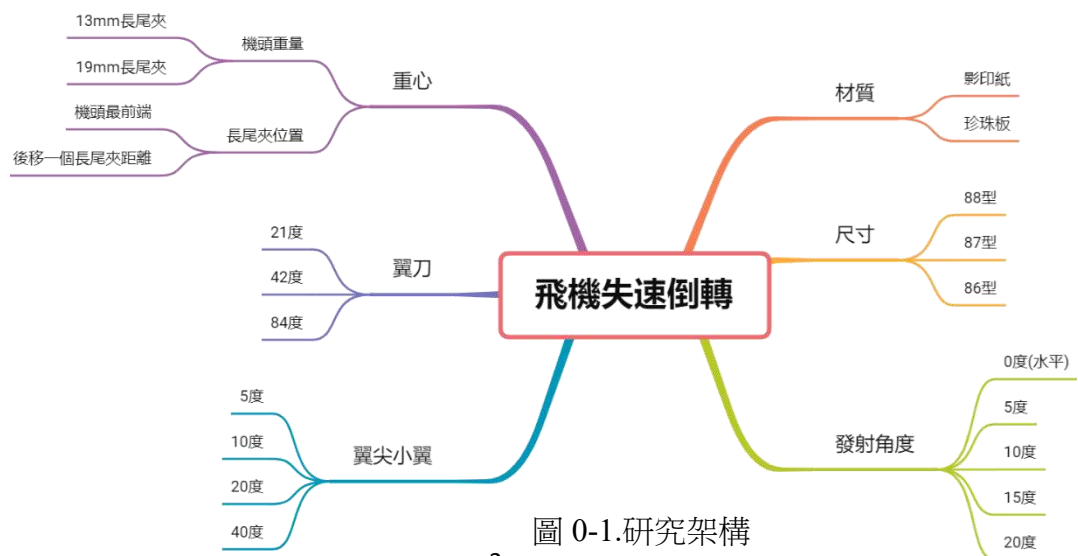
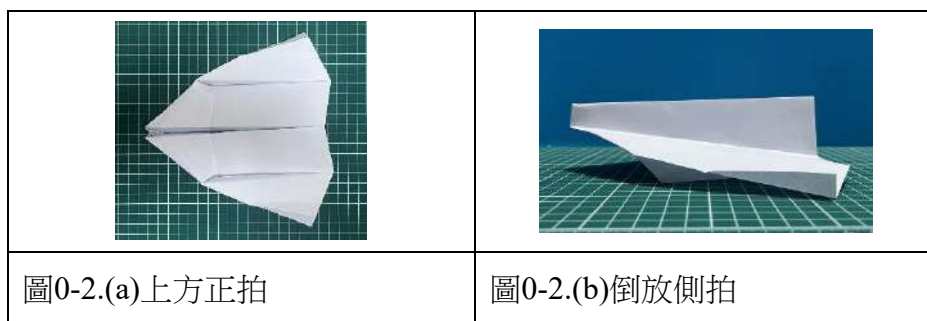


圖 0-1.研究架構

二、飛機製作

(一) 第一代紙飛機

1. 作法：參照2023 第29屆遠哲科學趣味競賽-Top Gun 摺法



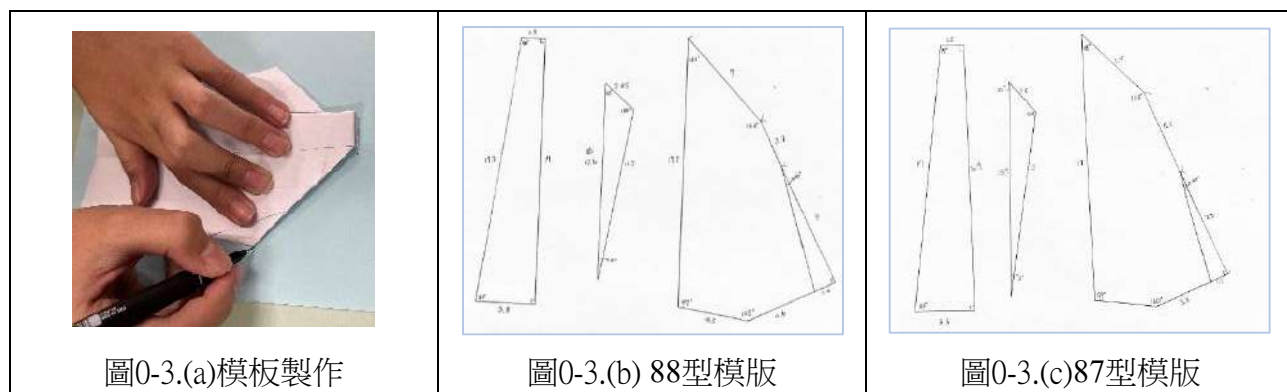
【照片由作者拍攝】

- (1) 規格定義：
 - ①88型—使用整張 a4紙(210mm×297mm)。
 - ②87型—使用八分之七張的 a4紙(210mm×260mm)。
 - ③86型—使用八分之六張的 a4紙(210mm×223mm)。
2. 缺點：紙張易形變，且角度不易固定，飛機前端多次摺疊時易破。

(二) 第二代珍珠板飛機

1. 作法：

- (1) 模板製作：將摺好的88型、87型、86型紙飛機放在紙上，利用筆把飛機各部份區塊以描點方式找出外框。
- (2) 將紙模板上的飛機各部位割除、鏤空。
- (3) 把紙模板放在珍珠板上，點描出飛機各部件的區塊。
- (4) 用工藝黏膠將飛機各部件組合，即完成。



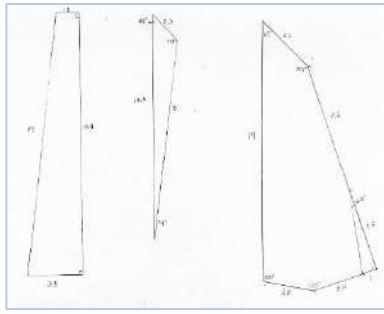


圖0-3.(d)86型模版

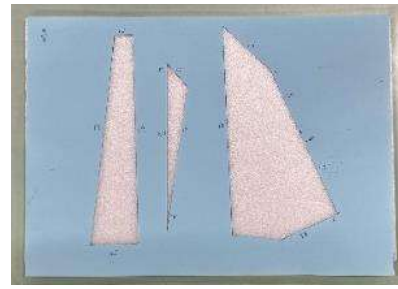


圖0-3.(e)模版部件割除，放在珍珠板上，用筆描框，再割下。

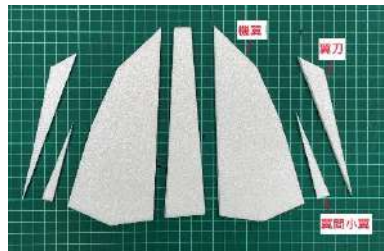


圖0-3.(f)割下後各部件。



圖0-3.(g)用工藝黏膠組裝



圖0-3.(h)機型。

【照片及圖片由作者拍攝與製作】

三、發射器製作

(一) 第一代：粉彩紙發射器

1. 作法：

- (1) 將張粉彩紙沿長邊對折後向外翻折，並對齊下緣，再往反方向折與對齊上緣。
- (2) 反面相同折法。
- (3) 橡皮筋拿釘書機釘於最內層中線上，讓它變身彈弓。接著按折線折起來，橡皮筋朝自己，橡皮筋往後再往上往前套，即完成。



圖0-4.(a)從上方



圖0-4.(b)發射方式

【照片由作者拍攝】

2. 缺點：紙張易變型，不耐使用。

(二) 第二代：竹筷發射器

1. 作法：

- (1) 把橡皮筋剪斷，利用膠帶將橡皮筋二端各別固定到二支竹筷的末端。



圖0-5.(a)完成圖



圖0-5.(b)準備發射圖

【照片由作者拍攝】

(2) 再利用膠帶將夾子其中一個按壓處同時固定到二支竹筷的末端。

(3) 橡皮筋往後拉用夾子夾住，即完成。

2. 缺點：發射力量無法調整。

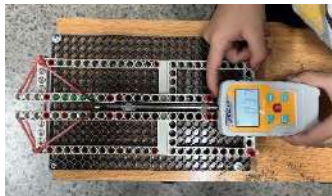
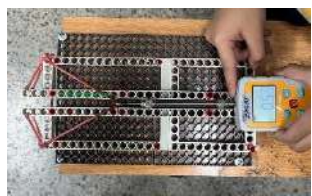
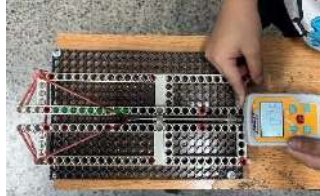
(三) 第三代：積木發射器

作法：

		
<p>圖0-6.(a)利用智高積木組成發射軌道，在前端固定彈弓橡皮筋。</p>	<p>圖0-6.(b)將發射軌道鎖在木板上，木板則固定腳架上。</p>	<p>圖0-6.(c)在木板外側貼上量角器，量角器固定一個鉛垂線，以便調整發射角度。</p>

【照片與圖片由作者拍攝與製作】

四、發射力量說明

		
<p>圖0-7.(a)橡皮筋拉至第5洞口，彈力0.37kg。</p>	<p>圖0-7.(b)橡皮筋拉至第7洞口，彈力0.53kg。</p>	<p>圖0-7.(c)橡皮筋拉至第9洞口，彈力0.76kg。</p>
<p>每組拉測5次後求其平均值。</p>		

【照片由作者拍攝】

五、失速倒轉定義



圖0-8.(a)準備發射



圖0-8.(b)飛行升空



圖0-8.(c)升到最大高度，機頭朝上。

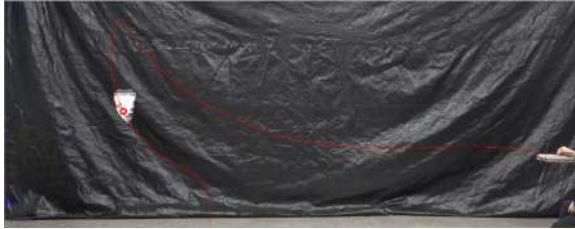


圖0-8.(d)失速倒轉(非迴旋)，機頭朝下。



圖0-8.(e)反方向飛回

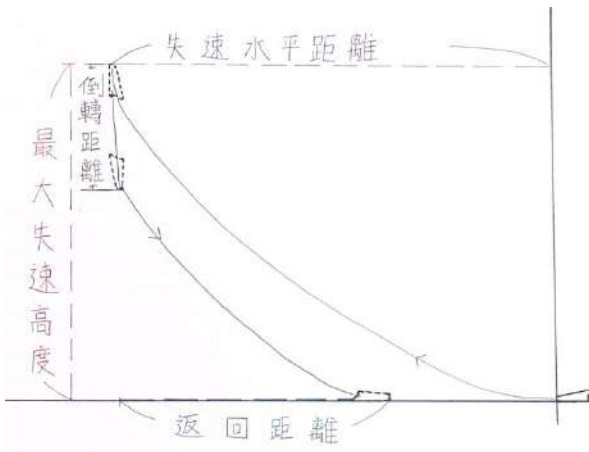


圖0-8.(f)失速倒轉返回示意圖

【照片及圖片由作者拍攝與製作】

六、名詞定義

1. 失速最大高度：飛機向上飛行，機頭朝上，機身呈現失速狀態時的最大垂直高度。
2. 失速水平距離：飛機機身呈失速狀態的最大垂直高度時，與出發點的水平距離。
3. 返回距離：飛機機身呈現失速狀態的最大垂直高度時，與飛機落地時的水平距離。
4. 倒轉距離：飛機向上飛行到最高處，機頭朝上與翻轉後機頭朝下（機身呈現接近垂直狀態）之間的距離。（圖0-8.(c)和圖0-8.(d)的距離）

七、實驗操作標準流程

1. 飛機機頭最前端夾上長尾夾增加重量。積木發射器調整軌道實驗角度。

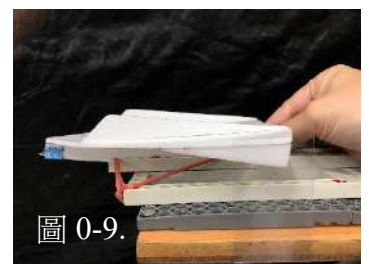


圖 0-9.

【照片由作者拍攝】

2. 將飛機放在中間軌道上，和橡皮筋一起往後拉實驗指定洞口。
3. 調高機頭的角度，機翼對齊透明片水平上方線，確保飛機與軌道平行後，發射。
4. 每個實驗重複10次。

八、軟體分析 Tracker 使用方法

1. Tracker開啓影片。
2. 設定起始與影格位置。
3. 點「軌跡」→「新增」→「校正工具」→「校正桿」，選圖片中參考物品，修改數據為實際長度以改變比例。
4. 點「軌跡」→「新增」→「校正工具」→「原點設定」，將座標原點移置飛機上。
5. 點「軌跡」→「新增」→「質點」，一起按ctrl+shift鍵，點到飛機機頭的位置。再點搜尋search就會開始追蹤飛機飛行路線，可設定自動追蹤或手動追蹤。
6. 點「結束」→「眼睛圖片」→「新增」→「Paths」，可看到飛行路徑，如下圖。

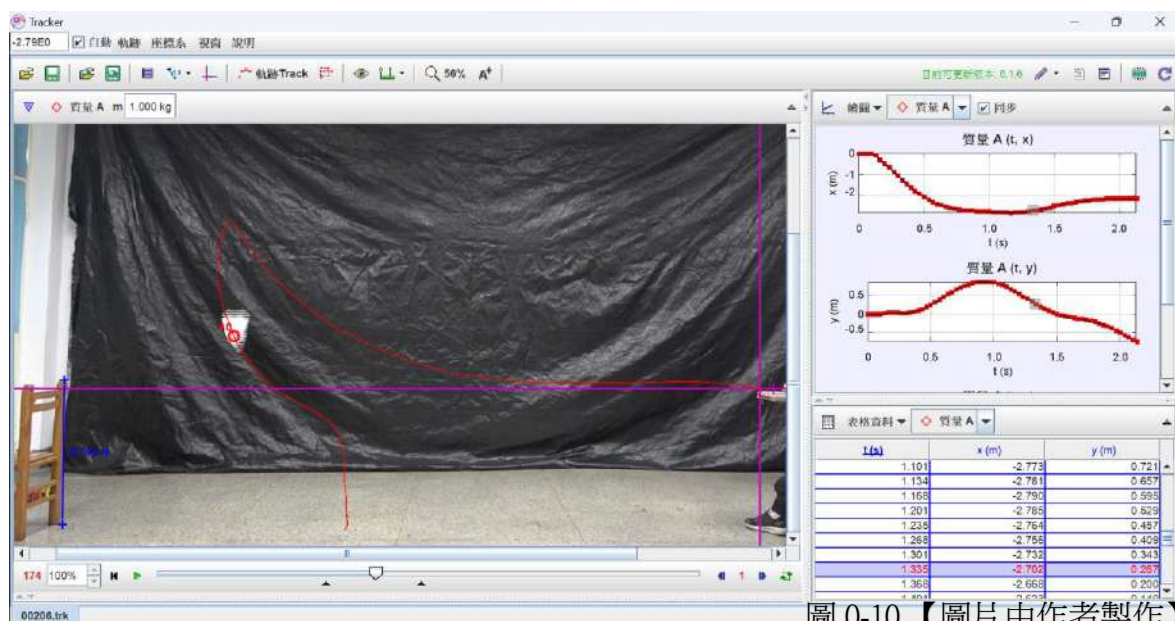


圖 0-10.【圖片由作者製作】

九、研究內容

研究一、探究不同發射力量對飛機失速倒轉的影響

(一)實驗設計

操縱變因：a.發射力量(0.37kg、0.53kg、0.76kg) b. 飛機機型(88型、87型、86型)

控制變因：發射角度(水平)、發射台高度(67cm)、重心位置

應變變因：飛機失速倒轉的機率

(二)實驗步驟：依實驗操作流程，每個實驗重複10次。

(三)實驗結果

1. 橡皮筋拉到第5洞的發射力量不能使88型、87型、86型飛機產生飛行失速倒轉的情形，成功率為0%。
2. 橡皮筋拉到第7洞的發射力量皆能使88型、87型、86型飛機產生飛行失速倒轉的情形，成功率為100%。
3. 橡皮筋拉到第9洞的發射力量，88型飛機的失速倒轉成功率為0%，87型飛機為100%，86型飛機為20%。

表1. 不同發射力量對飛機失速倒轉的機率

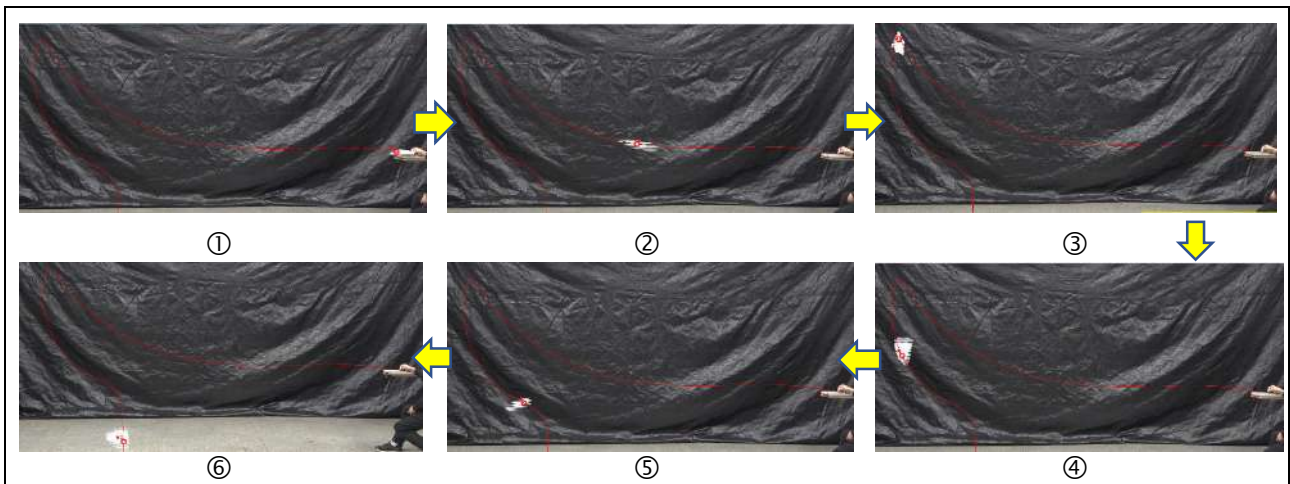
	拉到第5洞 (0.37kg)			拉到第7洞 (0.53kg)			拉到第9洞 (0.76kg)		
	88型	87型	86型	88型	87型	86型	88型	87型	86型
1	×	×	×	○	○	○	×	○	×
2	×	×	×	○	○	○	×	○	○
3	×	×	×	○	○	○	×	○	×
4	×	×	×	○	○	○	×	○	×
5	×	×	×	○	○	○	×	○	○
6	×	×	×	○	○	○	×	○	×
7	×	×	×	○	○	○	×	○	×
8	×	×	×	○	○	○	×	○	×
9	×	×	×	○	○	○	×	○	×
10	×	×	×	○	○	○	×	○	×
機率	0%	0%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	20%

符號說明：×沒有做到失速倒轉 ○有做到失速倒轉

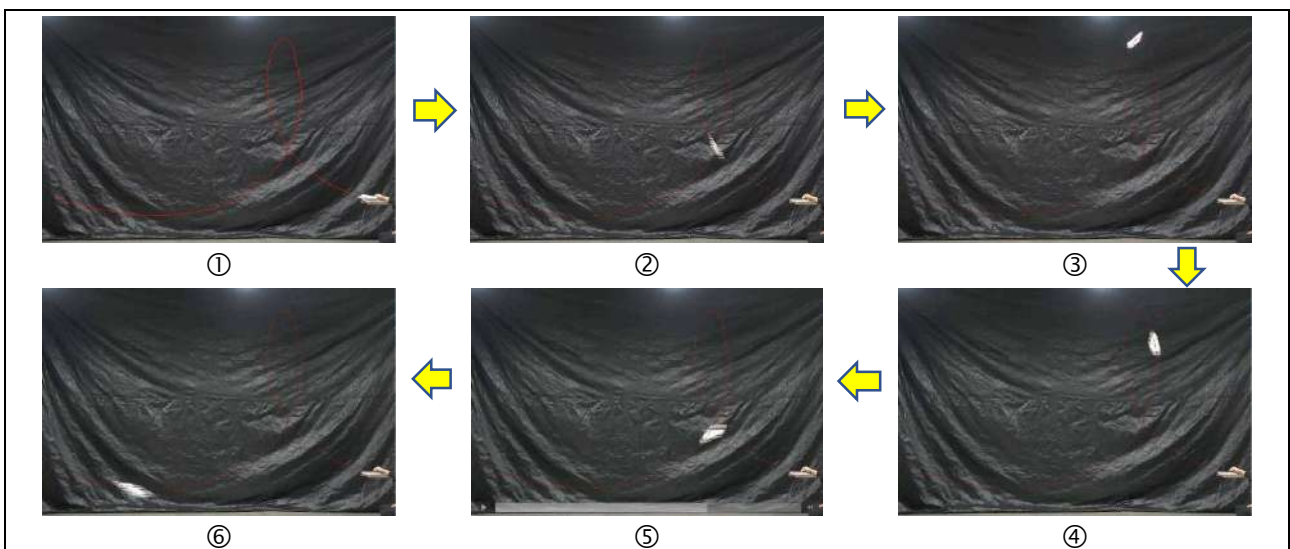
(四)實驗討論

觀察實驗影片發現

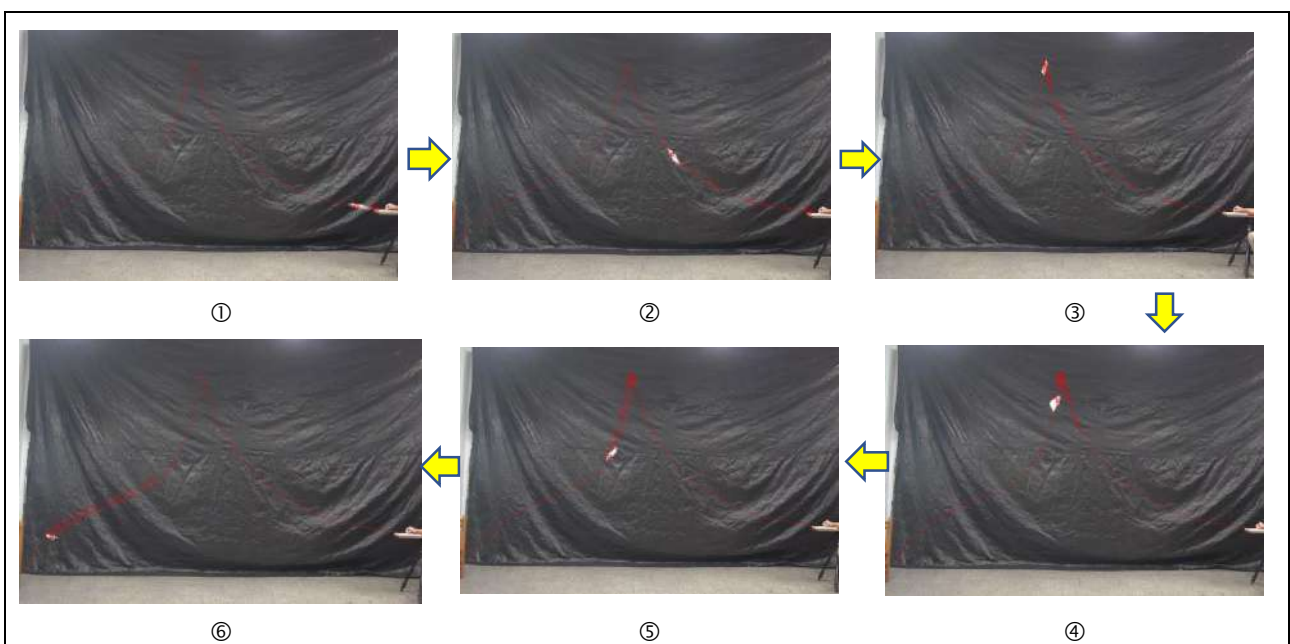
1. 橡皮筋拉到第5洞 (0.53kg) 的發射力量，會使88型、87型、86型飛機皆水平飛行後落下。
2. 88型、87型的飛機使用拉到第7洞 (0.53kg) 的發射力量，在空中失速倒轉後，還能反方向飛回 (如圖1-1)。
3. 橡皮筋拉到第9洞 (0.76kg) 的發射力量會使88型飛機往上飛升，在空中在空中繞圈翻轉後往前飛落 (如圖1-2)，86型飛機則是失速高度比第7洞高，但也是往前飛去，(如圖1-3)。



圖(1-1). 88 型拉到第 7 洞 (0.53kg) 發射，在空中失速倒轉後，能反向飛回。
【圖片由作者製作】



圖(1-2). 88 型以拉到第 9 洞 (0.76kg) 力量發射，在空中繞圈翻轉後，再向前飛行。
【圖片由作者製作】



圖(1-3). 86 型拉到第 9 洞 (0.76kg) 力量發射，是往前飛去的情形。
【圖片由作者製作】

研究二、探究不同發射角度對飛機飛行的影響

發現橡皮筋拉到第7洞（0.53kg）的發射力量皆能使三種機型的飛機失速倒轉，而88型、87型的飛機還能返回。如果改變發射角度，是否能使三種機型在失速倒轉後，還能返回？

子題一：不同發射角度的成功率

(一)實驗設計

操縱變因：a.發射角度(0°、5°、10°、15°、20°、25°、30°) b.不同機型(88型、87型、86型)

控制變因：發射力量(0.53kg)、發射台高度(67cm)、重心位置

應變變因：飛機失速倒轉反向飛回情形

(二)實驗步驟：依實驗操作流程，每個實驗重複10次。

(三)實驗結果

1. 發射角0度，88型、87型飛機能產生飛行失速倒轉再反向飛行，成功率為100%；86型飛機由0度發射，飛行失速倒轉的成功率為100%，但返回的成功率只有30%。
2. 發射角10度，88型產生飛行失速成功率有100%，但倒轉成功率30%，返回成功率也只有30%；87型產生失速成功率有100%，但倒轉和返回成功率只有50%；86型失速倒轉返回的成功率都為100%。
3. 發射角20度，88型失速成功率為100%，倒轉及返回成功率為0%；87型產失速成功率100%，倒轉成功率為10%，返回成功率為10%；86型失速倒轉再返回的成功率都為100%。
4. 另外將各種機型飛行情形統計如圖2-1-1、2-1-2、2-1-3。

表2-1-1. 發射角0度對飛機飛行的情形

	88型			87型			86型		
	失速	倒轉	返回	失速	倒轉	返回	失速	倒轉	返回
1	○	○	○	○	○	○	○	○	×
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○	×
4	○	○	○	○	○	○	○	○	×
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	×
7	○	○	○	○	○	○	○	○	×
8	○	○	○	○	○	○	○	○	×
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	×
機率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	30%

符號說明：×沒有做到 ○有做到

表2-1-2. 發射角10度對飛機飛行情形

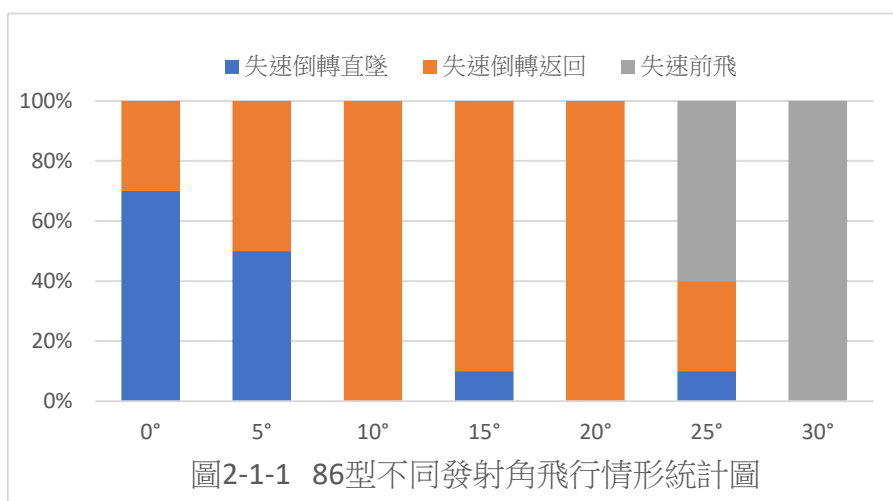
	88型			87型			86型		
	失速	倒轉	返回	失速	倒轉	返回	失速	倒轉	返回
1	○	×	×	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	×	×	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	○	×	×	○	×	×	○	○	○
5	○	×	×	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	×	×	○	○	○
7	○	×	×	○	○	○	○	○	○
8	○	×	×	○	×	×	○	○	○
9	○	×	×	○	○	○	○	○	○
10	○	×	×	○	×	×	○	○	○
機率	100%	30%	30%	100%	50%	50%	100%	100%	100%

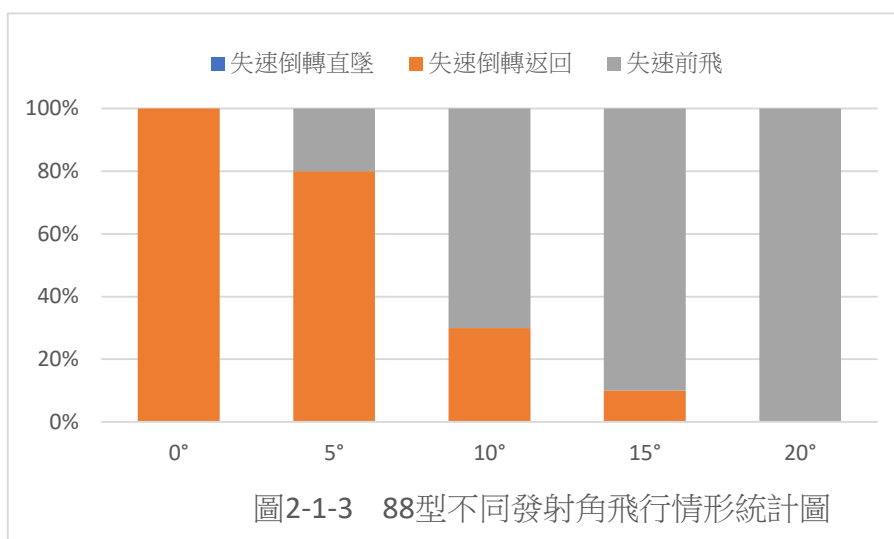
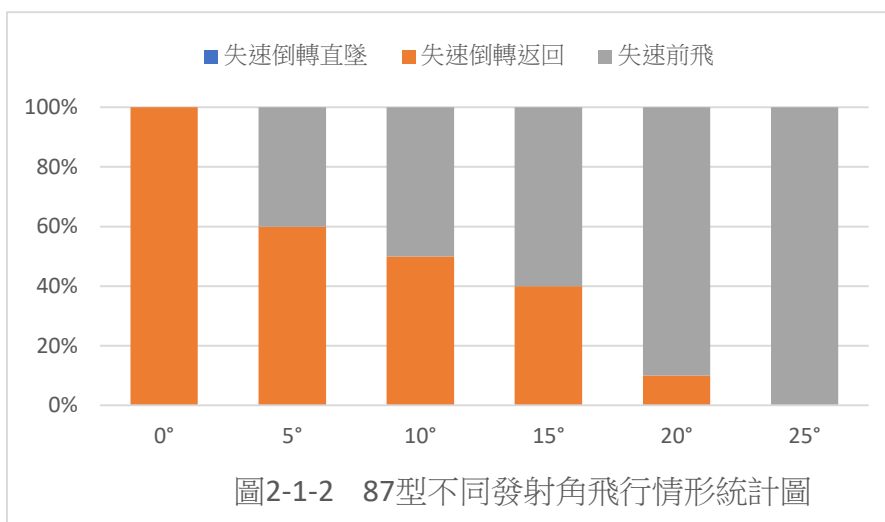
符號說明：×沒有做到 ○有做到

表2-1-3. 發射角20度對飛機飛行情形

	88型			87型			86型		
	失速	倒轉	返回	失速	倒轉	返回	失速	倒轉	返回
1	○	×	×	○	×	×	○	○	○
2	○	×	×	○	×	×	○	○	○
3	○	×	×	○	×	×	○	○	○
4	○	×	×	○	×	×	○	○	○
5	○	×	×	○	×	×	○	○	○
6	○	×	×	○	×	×	○	○	○
7	○	×	×	○	○	○	○	○	○
8	○	×	×	○	×	×	○	○	○
9	○	×	×	○	×	×	○	○	○
10	○	×	×	○	×	×	○	○	○
機率	100%	0%	0%	100%	10%	10%	100%	100%	100%

符號說明：×沒有做到 ○有做到





(四)實驗討論

1. 86型在水平0度時的飛行情形常是失速後倒轉直接墜地，推測是發射器水平高度太低，沒有足夠的高度讓86型能夠返回，如圖2-1-4。
2. 發射角度調高為10度時，86型便可以成功完成失速倒轉返回的飛行，如圖2-1-5。
3. 各種機型有著不同的失速倒轉返回飛行的成功發射角度，86型(流線型)可成功失速倒轉返回的發射角度較大，約在10°~20°之間，而87型(中寬廣型)與88型(寬廣型)，則約在0°~5°之間，我們認為87型與88型在相同發射力量下容易產生較大的升力(於研究四中利用風洞實驗觀察)，因此不需太大的發射角度便能夠向上提升飛行進而失速倒轉返回。
4. 另外我們發現86型在發射角0度時都可失速倒轉，但卻常常直接墜地，我們認為86型在7格的發射力量下產生的飛行升力較小，因此上升高度可能僅能夠產生失速倒轉，而倒轉

後因高度不足無法返回飛行，我們除了之前將發射角提高(改為 10°)外，也試著將發射台的水平位置進行調高發射高度來進行試飛，發現86型飛機也可以倒轉返回成功(如圖2-1-6)，因此我們接著將86型的發射水平高度位置設定為變項進行探討。

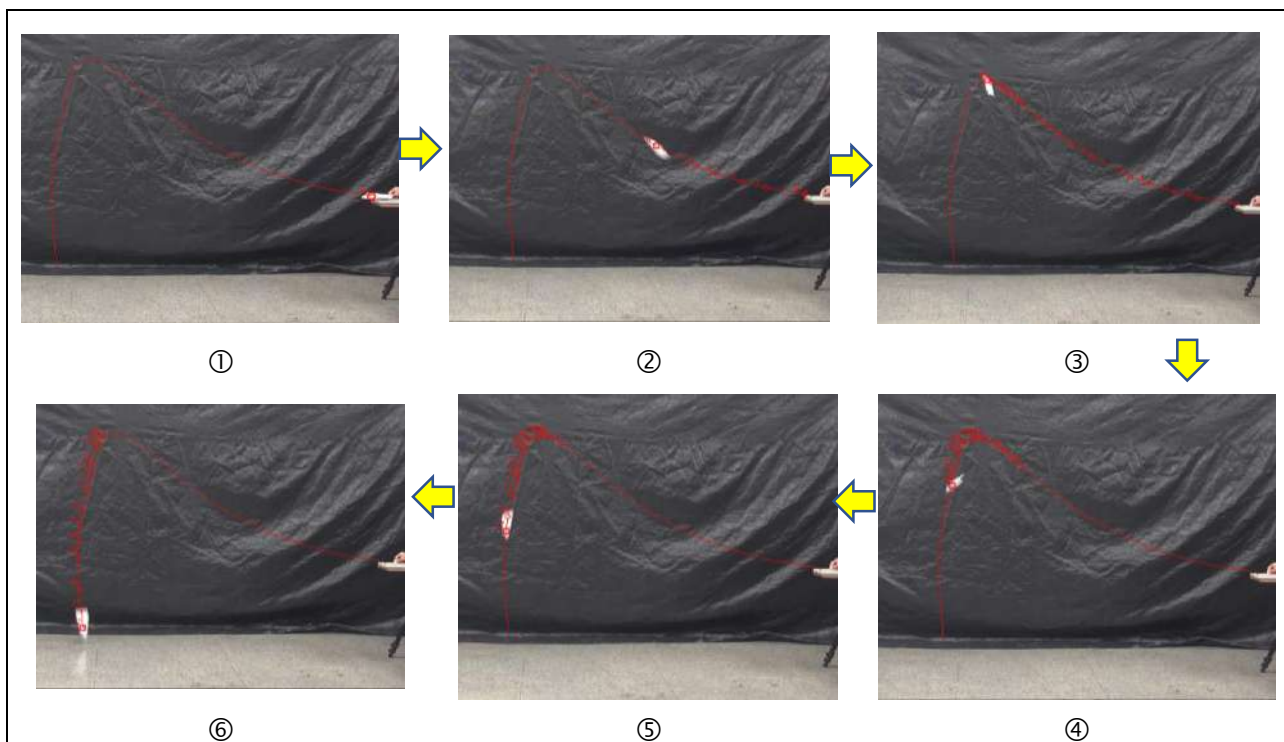


圖 2-1-4. 86 型在發射角 0 度時是失速後倒轉直接墜地，未反向飛回。【圖片由作者製作】

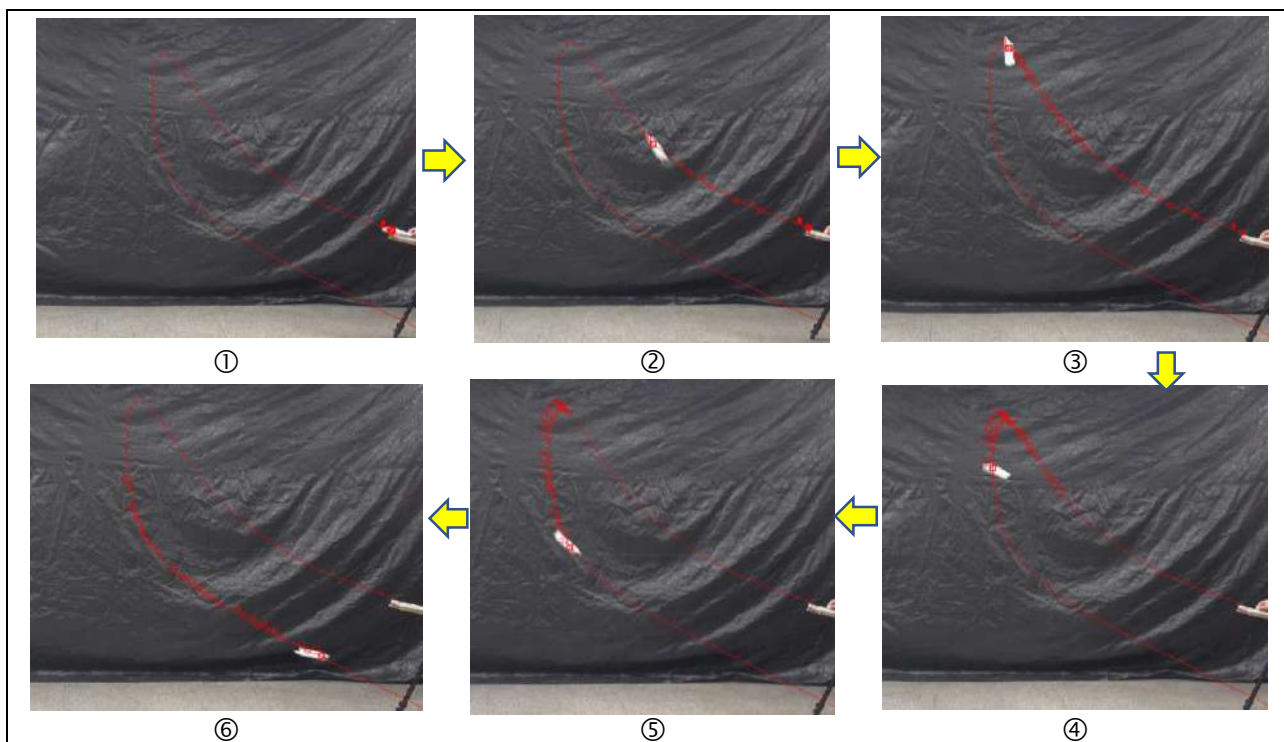


圖 2-1-5. 86 型在發射角 10 度是失速後倒轉後反向飛回。【圖片由作者製作】

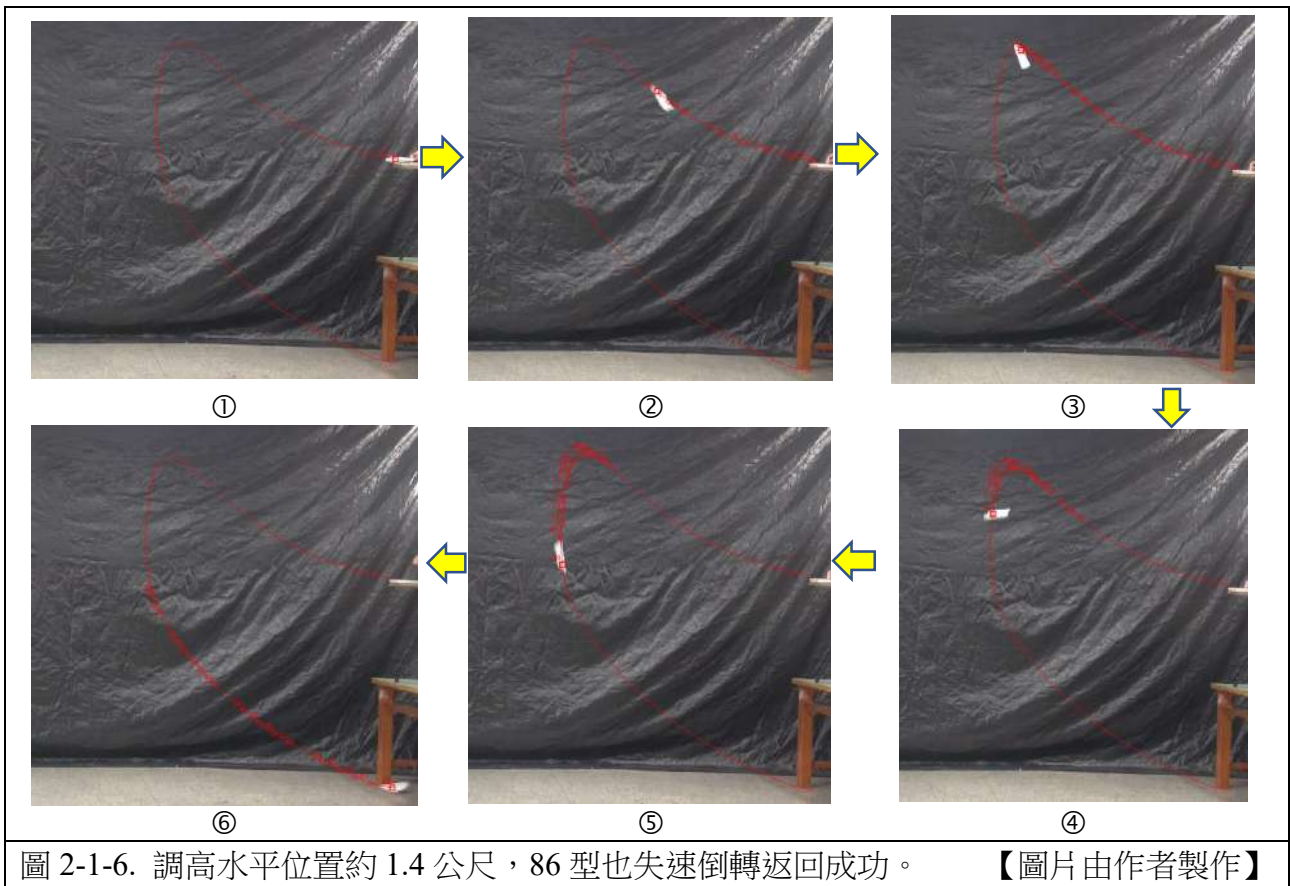


圖 2-1-6. 調高水平位置約 1.4 公尺，86 型也失速倒轉返回成功。 【圖片由作者製作】

【發射水平高度位置不同對飛行的影響】

(一)實驗設計

操縱變因：發射水平高度提高(0cm、20cm、40cm、60cm)

控制變因：發射力量(0.53kg)、發射角度(0 度)、重心位置、飛機機型(86 型)

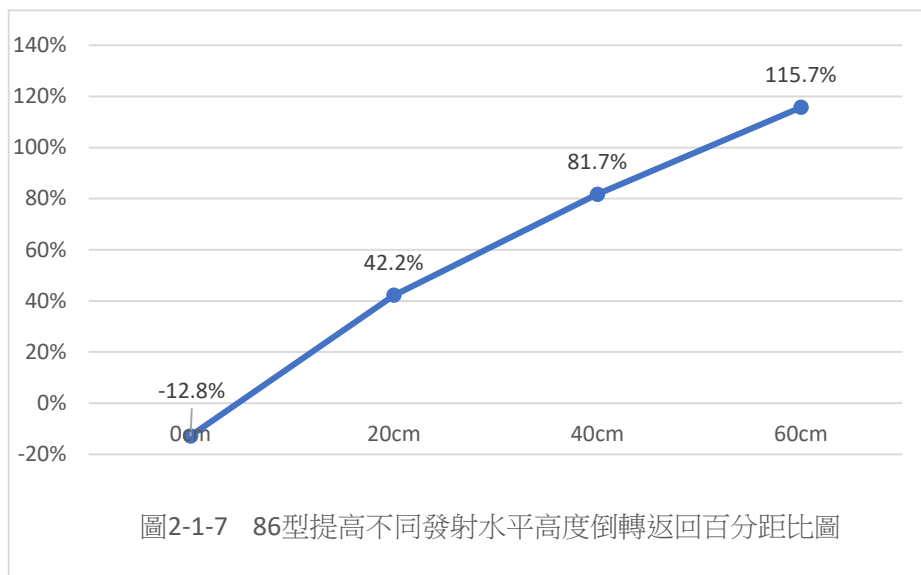
應變變因：倒轉返回百分距比

【定義】：倒轉返回百分距比 = $\frac{\text{返回距離}}{\text{失速水平距離}} \times 100\%$ 。倒轉返回百分距比越大代表越容易

返回至原發射位置。

(二)實驗步驟：依實驗操作流程。

(三)實驗結果：隨著發射水平高度提升越高，失速倒轉返回百分距比就越大。



(四)實驗討論

發現當我們將發射角度提升約20cm時，飛機大都能失速倒轉並**返回**成功，但返回的距離並沒有太長，於是我們繼續提升高度，結果返回的距離便逐漸增加，甚至可以超過發射位置。因此我們認為若飛機在飛行的過程中如果出現失速倒轉但卻直接下墜撞地時，適時的提高發射水平高度也能成功完成返回的目的且高度越高越容易返回到發射位置(可能達到「速」手就擒的飛行路線)。而這可能與飛機倒轉後落下的距離有關，我們認為倒轉後的距離須達到足以讓飛機產生倒轉飛行升力的速度，也就是失速倒轉最大高度的位能轉換成具有足夠速度的動能時飛機才能出現返回飛行。

子題二：探討能成功失速、倒轉、返回的距離

如果要進行飛機失速倒轉返回的競賽，我們想知道三種機型能飛行的最大高度、最長距離、反向飛回的距離是多少？所以我們透過 tracker 軟體來測量出88型、87型飛機在水平0度時及86型機型在10度的飛行距離。

(一)實驗結果：

1. 88 型機型在 0 度時的飛行距離時，向上飛行最大平均高度(即失速最大高度)為 0.873m，向前飛行最遠(即失速水平距離)平均為 2.053m，返回的水平距離平均為 0.745 m，倒轉距離平均為 0.676 m。
2. 87 型機型在 0 度時的飛行距離時，向上飛行最大平均高度(即失速最大高度)為 1.084 m，向前飛行最遠(即失速水平距離)平均為 2.109m，返回的水平距離平均為 1.287 m。

m，倒轉距離平均為 0.653 m。如圖 2-2-1。

3. 86 型機型在 10 度時的飛行距離時，向上飛行最大平均高度(即失速最大高度)為 1.186 m，向前飛行最遠(即失速水平距離)平均為 1.811m，返回的水平距離平均為 1.234m，倒轉距離平均為 0.632 m。
4. 86 型機型在 20 度時的飛行距離時，向上飛行最大平均高度(即失速最大高度)為 1.188 m，向前飛行最遠(即失速水平距離)平均為 1.487m，返回的水平距離平均為 0.803 m，倒轉距離平均為 0.547m。

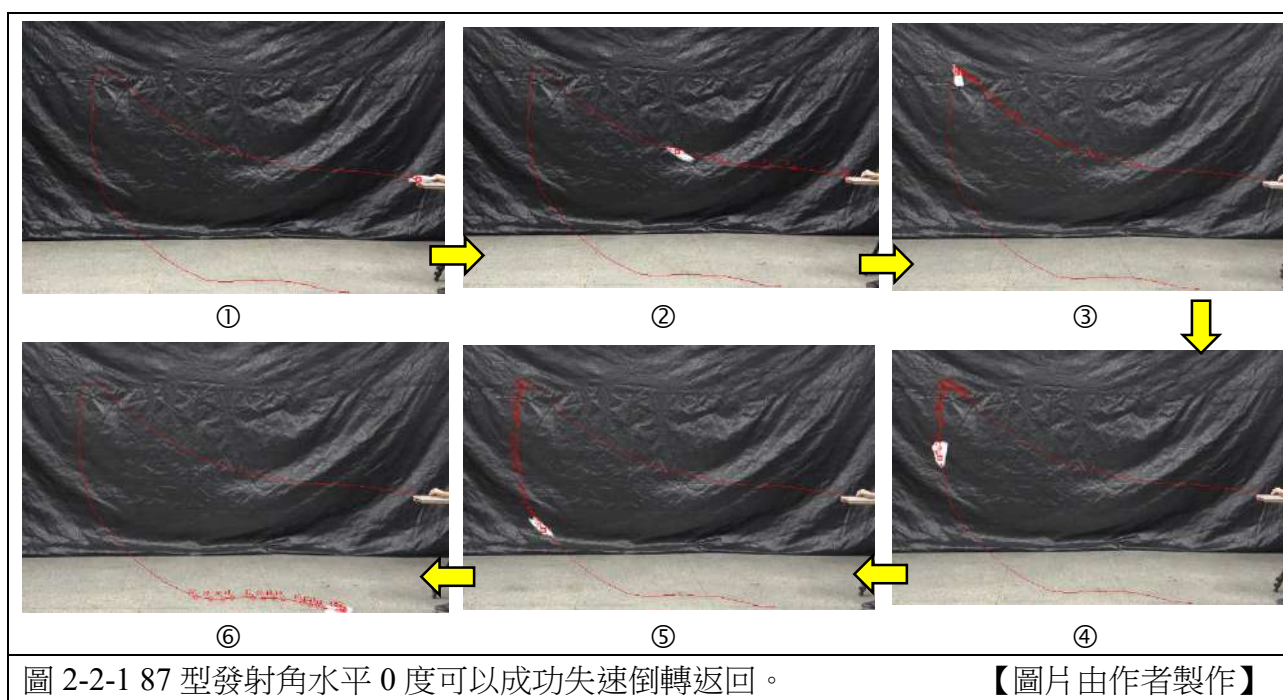


表 2-2-1. 88 型機型在 0 度時的飛行距離

	失速最大高度(m)	失速水平距離(m)	返回水平距離(m)	倒轉距離(m)
平均	0.823	2.053	0.745	0.676
最大值	1.051	2.393	0.852	0.842
最小值	0.689	1.761	0.608	0.585
全距	0.362	0.632	0.244	0.257
標準差	0.122	0.231	0.084	0.086

表 2-2-2. 87 型機型在 0 度時的飛行距離

	失速最大高度(m)	失速水平距離(m)	返回水平距離(m)	倒轉距離(m)
平均	1.084	2.109	1.287	0.653
最大值	1.219	2.365	1.454	0.731
最小值	0.902	1.916	1.155	0.540
全距	0.317	0.449	0.299	0.191
標準差	0.078	0.139	0.119	0.063

表2-2-3. 86型機型在10度時的飛行距離

	失速最大高度(m)	失速水平距離(m)	返回水平距離(m)	倒轉距離(m)
平均	1.186	1.811	1.234	0.632
最大值	1.327	2.393	2.422	0.711
最小值	0.984	1.518	0.207	0.496
全距	2.311	3.911	2.629	1.207
標準差	0.100	0.254	0.772	0.066

表2-2-3. 86型機型在20度時的飛行距離

	失速最大高度(m)	失速水平距離(m)	返回水平距離(m)	倒轉距離(m)
平均	1.188	1.487	0.803	0.547
最大值	1.324	2.018	1.328	0.890
最小值	1.083	1.501	0.894	0.491
全距	0.241	0.517	0.434	0.381
標準差	0.075	0.359	0.762	0.150

(二)實驗討論

1. 在發射角度為0度時，飛機失速最大平均高度、向前飛行平均距離(即失速水平距離)、飛機返回的水平平均距離都是87型>88型；向前飛行的穩定度也是87型>88型。
2. 86型飛機向前飛行平均距離(即失速水平距離)以發射角10度>20度；飛機返回的水平平均距離也是發射角10度>20度，向前飛行的穩定度也是10度>20度。而飛機失速最大平均高度，發射角20度與10度間的差距不大。
3. 如果進行飛機競賽時，在不限制發射角度情況下，飛機向前飛行平均距離(即失速水平距離)以87型>88型>86型；飛機返回的水平平均距離以87型>86型>88型。
4. 因此如果進行飛機競賽時，可選擇87型飛機，發射角度選擇水平發射，如此能達到失速倒轉返回的良好的成效。

子題三：不同發射角對飛機飛行路線的影響

【想法】 在子題一與子題二中我們統計了失速倒轉返回飛行的成功率與不同機型在不同發射角的飛行情形，過程中卻發現在不同發射角度時似乎有著不太一樣的飛行路線、距離、角度等，因此我們以從0度可以倒轉返回的**87型**來找出飛行路線規律。

(一)實驗設計

操縱變因：不同發射角度(0°、5°、10°、15°、20°)

控制變因：發射力量(0.53kg)、發射角度(0度)、重心位置、飛機機型(87型)

應變變因：失速最大高度、失速水平距離、返回距離、倒轉返回百分距比、失速角度

【定義】：失速角度：飛機達失速最大高度時，機身水平方向與水平線的夾角

(二)實驗步驟：依實驗操作流程。

(三)實驗結果：

1. 「失速最大高度」隨著發射角度變大，越來越高。而「失速角度」則越來越大
2. 發射角度越大時「失速水平距離」呈現越來越短的，但「返回距離」則有加長的趨勢。而「倒轉返回百分距比」越來越大。如圖 2-3-1
3. 利用實驗數據製作 87 型飛行路線圖，如圖 2-3-2：

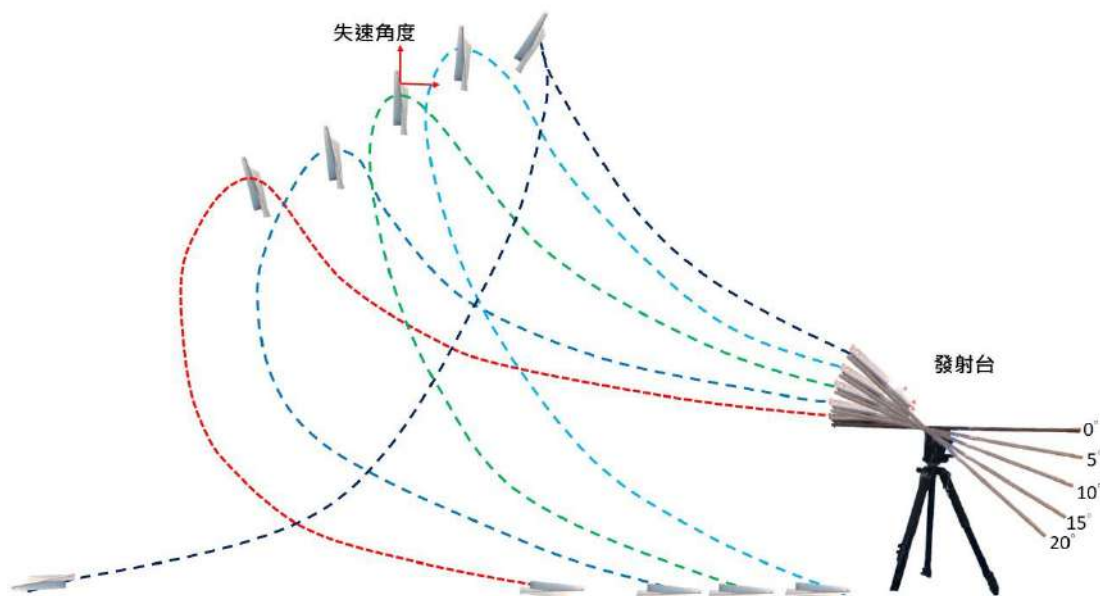
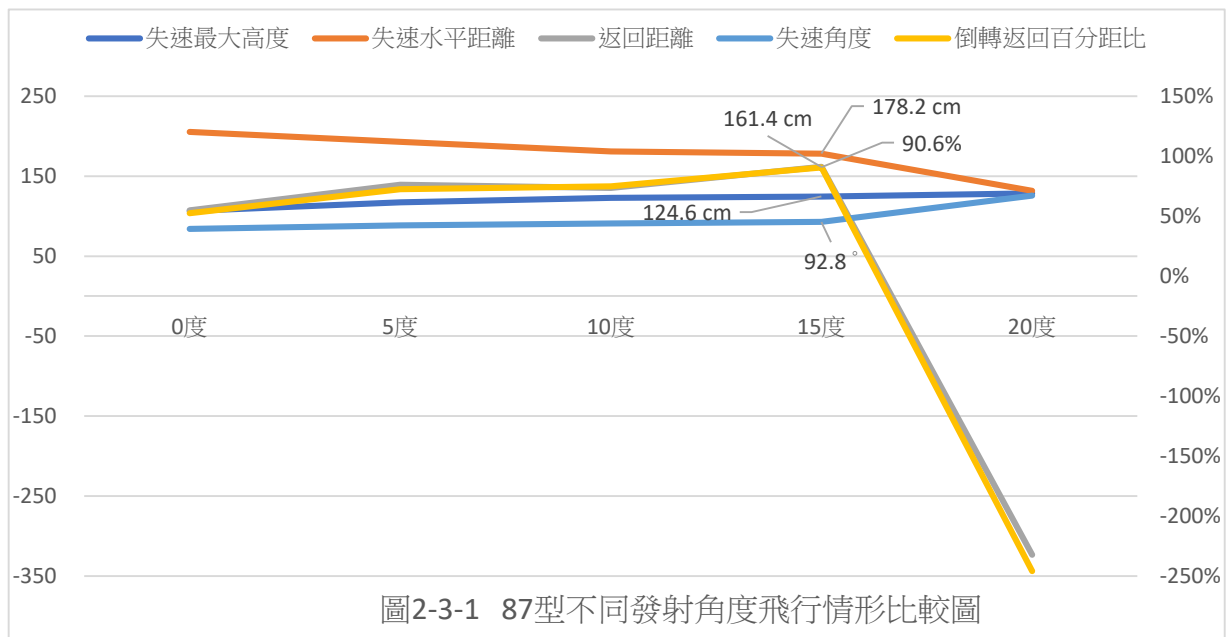
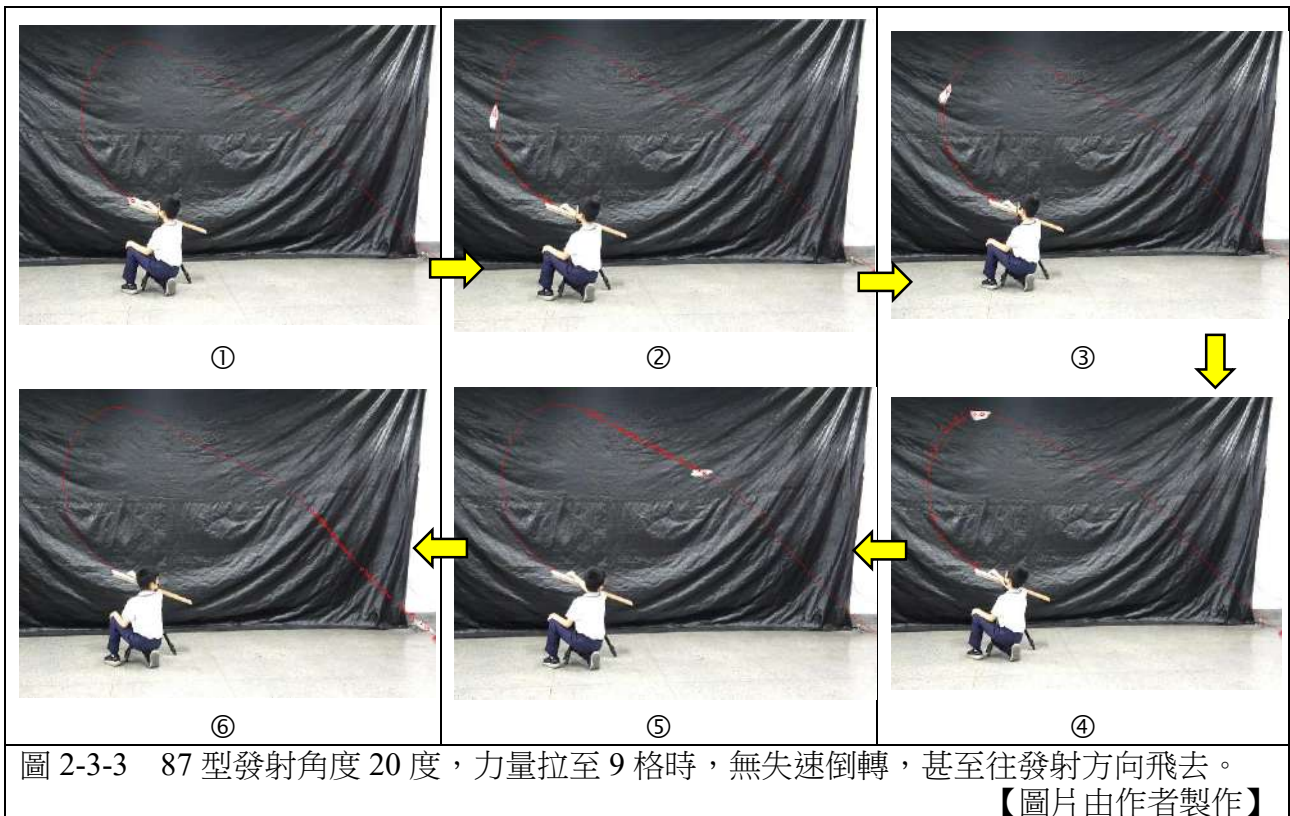


圖 2-3-2 87 型不同發射角飛行路線圖

(四)實驗討論

1. 發現隨著發射角度的變大「失速最大高度」、「失速角度」、「返回距離」與「倒轉返回百分距比」變大，而「失速水平距離」則有相對縮短趨勢。
2. 失速角度在接近 90° 左右時(發射角在 0° - 15°)飛機能夠出現倒轉返回的飛行路線，且當發射角於 15° 時倒轉返回百分距比已達 90% 以上(發射者有機會接住飛回飛機)，但當發射角度達 20° 時，失速角度過大時(平約 125.6°)則無法返回而是向前飛(倒轉返回百分距比呈現負值)，且此時數據也大都出現較大轉折(僅失速最大高度變化不大)。因此我們認為 87 型飛機的發射角度應控制在 0° - 15° 。綜合子題一、二結論，若想讓飛機成功倒轉返回時，越流線(86 型)發射角度可比寬廣型(87 型、88 型)大，即失速倒轉返回成功最低發射角度須大於寬廣型。
3. 失速角度也可做為倒轉返回的指標，失速角度 90° 附近容易出現倒轉返回。大於 90° 時可能是發射角度過大，此時飛機則容易掉落後向前飛行，接著我們嚐試將發射角持續增大，發現發射角達 35 度時仍維持著類似發射角 20 度時的飛行模式。於是改以較大力量(拉至 9 格位置)測試，發現飛機無失速狀態且直接往發射方向後方飛行(如圖 2-3-3)，可知發射力量過大可能容易造成飛機無法失速倒轉而出現向後方飛行的狀況。這也與研究四中當風力增強至某種程度時，飛機將無法維持固定的最大迎風仰角，最後整個飛走的結果有所對應。
4. 透過子題一、二、三探討，我們對於飛機的操控更加了解了，我們可以透過調整不同的飛行發射角、飛行力量、失速角度等來達到飛行不同路線的要求與目的。以 87 型飛機來說，若想達到「失」出有名，「速」手就擒目的，發射角接近 15 度或發射水平高度調升將容易成功達到。也可以透過不同的操控組合來達到不同飛行高度、落地地點等目的。



研究三、探究不同重心對飛機飛行的影響

由於在飛機機頭有加重量，可以增加飛行距離及飛行的穩定度。若是改變機頭重量(重心位置)，是否也能提高飛行失速倒轉的機率呢？我們在機頭最前端夾上不同規格的長尾夾，選擇在發射角度10度時，飛行失速倒轉成功率差的88型、87型飛機來進行實驗。

子題一：不同機頭重量對飛機失速倒轉的情形

(一)實驗設計

操縱變因：a.機頭加重(無長尾夾-0 g、13mm 長尾夾-1.20g、19mm 長尾夾-2.87g)

b.不同機型(88型、87型)

控制變因：發射角度(10度)、發射力量(0.53kg)、發射台高度(67cm)

應變變因：飛機失速倒轉情形

(二)實驗步驟：依實驗操作流程，每個實驗重複10次。

(三)實驗結果

1. 88型、87型飛機的機頭沒有加重，飛機都無法失速倒轉，只是短距離向上飛，在空中迴旋後落下，如圖3-1-1。

2. 88型、87型飛機的機頭由原本13mm 長尾夾(1.20g)改夾19mm 長尾夾(2.87g)，增加機頭的重量，二種機型也都無法失速倒轉，在空中呈現拋物線飛行後落下，如圖3-1-2。

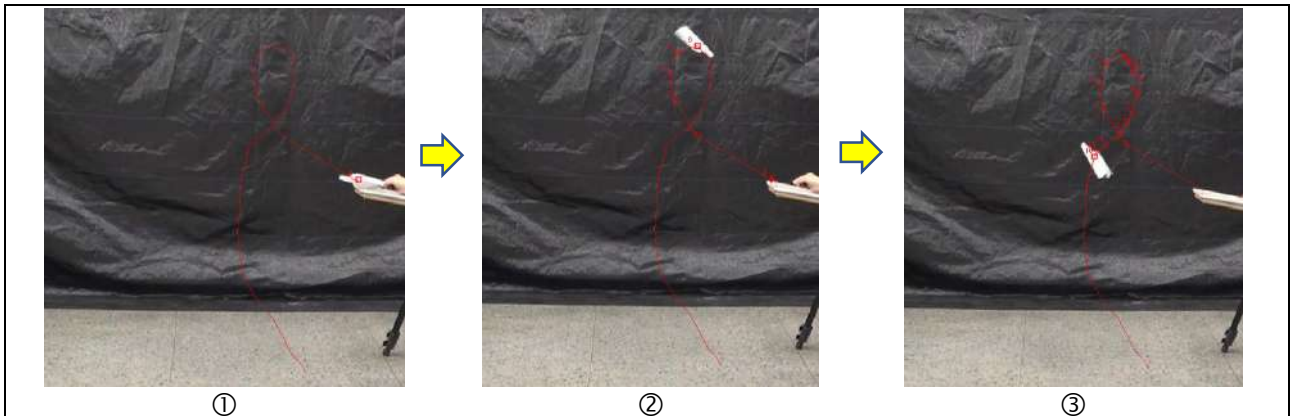


圖 3-1-1 機頭沒有加重的飛行情形。

【圖片由作者製作】

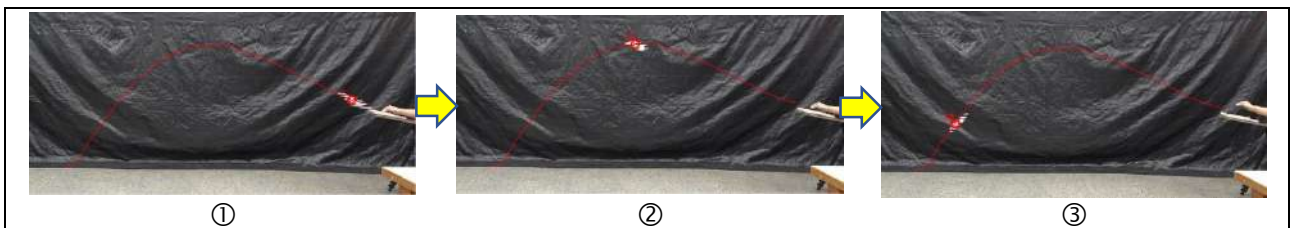


圖 3-1-2 機頭夾 19mm 長尾夾(2.87g)的飛行情形。

【圖片由作者製作】

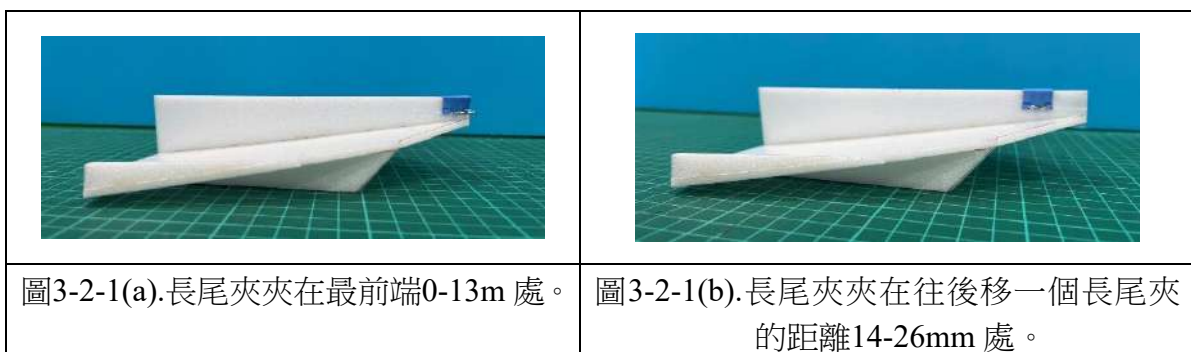
(四)實驗討論

經實驗結果發現，我們認為是因珍珠板飛機機身太輕，所以機頭再加重，會使得飛機無法持續向上升空，沒有足夠的上升距離與動力，飛機只能以拋物線模式落下。那麼我們思考，若是移動長尾夾位置，是否能增加成功機率呢？

子題二：移動機頭重物位置對飛機失速倒轉的情形

(一)實驗設計

操縱變因：a.長尾夾位置(圖3-2-1) b.不同機型(88型、87型)



【照片由作者拍攝】

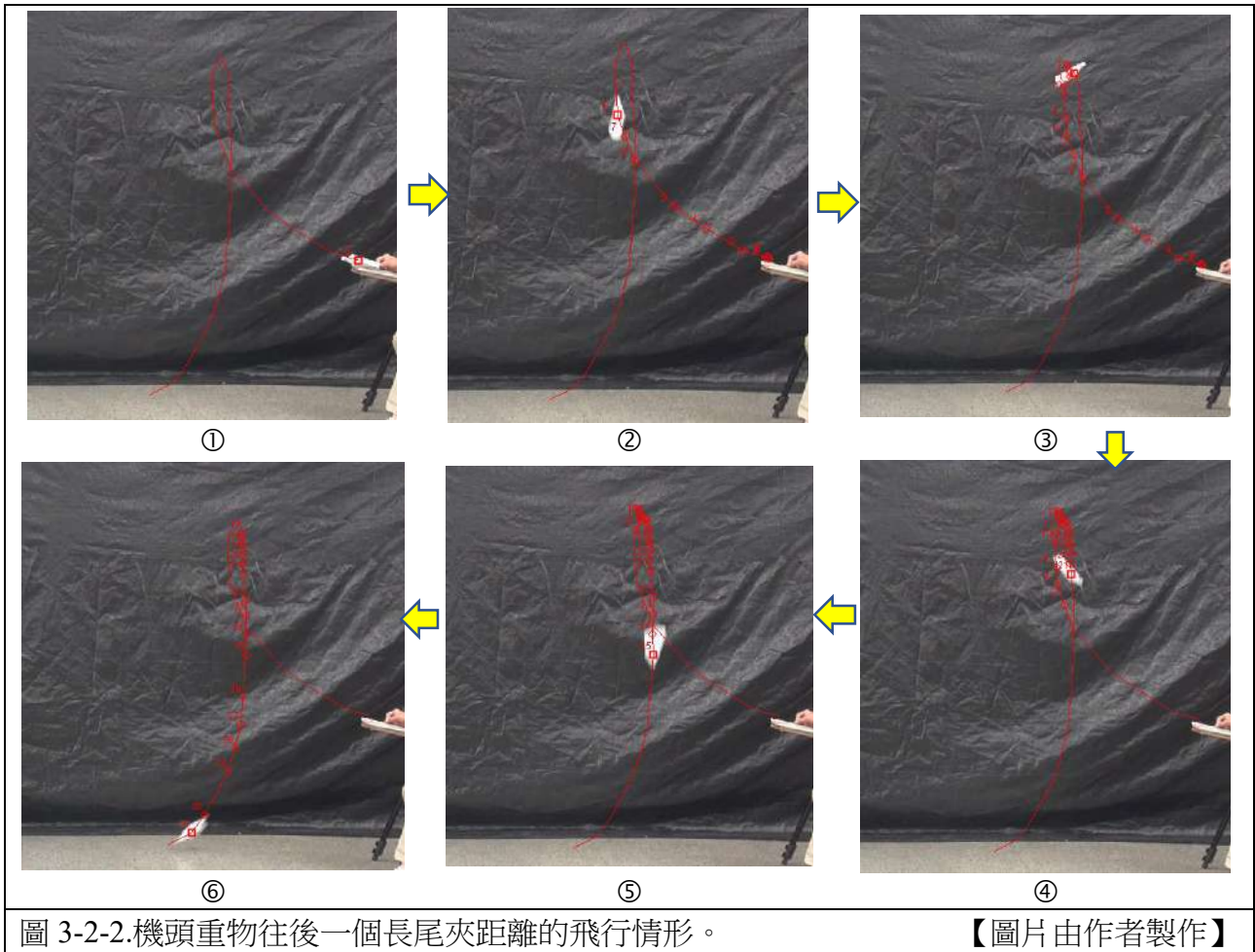
控制變因：13mm 長尾夾、發射角度(10度)、發射力量(0.53kg)、發射台高度(67cm)

應變變因：飛機失速倒轉情形

(二)實驗步驟：依實驗操作流程，每個實驗重複10次。

(三)實驗結果

1. 當機頭長尾夾改夾在往後移一個長尾夾的位置時，飛機往上飛升在空中迴轉（不是倒轉）後再往前飛落，如圖3-2-2。



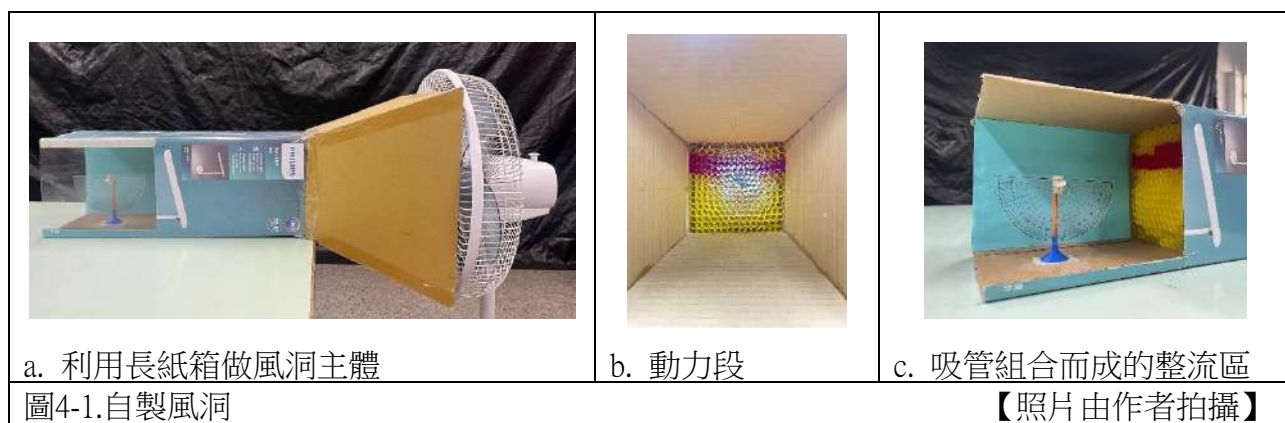
(四)實驗討論

1. 以珍珠板材質的88型、87型、86飛機，機頭加重位置只能在最前端，才能有失速倒轉再返回的情形。
2. 雖有設計發射台來發射飛機，但在飛行時不易發現飛機細微的變化，所以我們想更精準知道飛機上結構（機翼寬度、翼刀、翼尖小翼）對飛行產生失速倒轉再返回是否有影響？於是我們上網查詢資料來自製風洞，做進一步實驗與驗證。

研究四、探究不同氣流對飛機飛行的影響

(一)實驗設計

1. 參考相關文獻資料自製風洞，以風扇從風洞的動力段吹入，再經由整流區(吸管組合而成)吹出。
2. 在試驗區適當距離放置角度測試器，並放置珍珠板飛機，調整飛機重心置水平位置進行測試。紀錄飛機仰角度變化實驗裝置，如圖4-1。

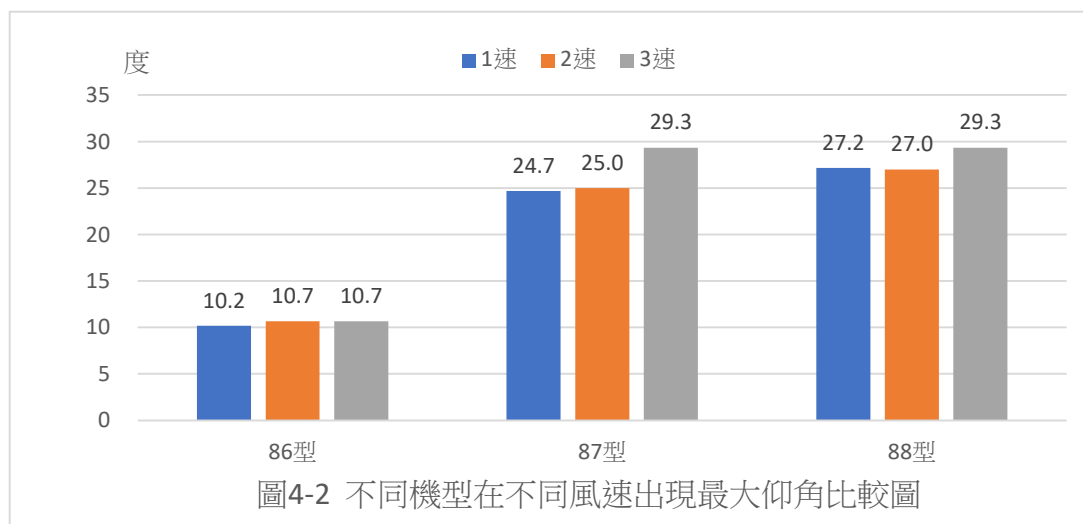


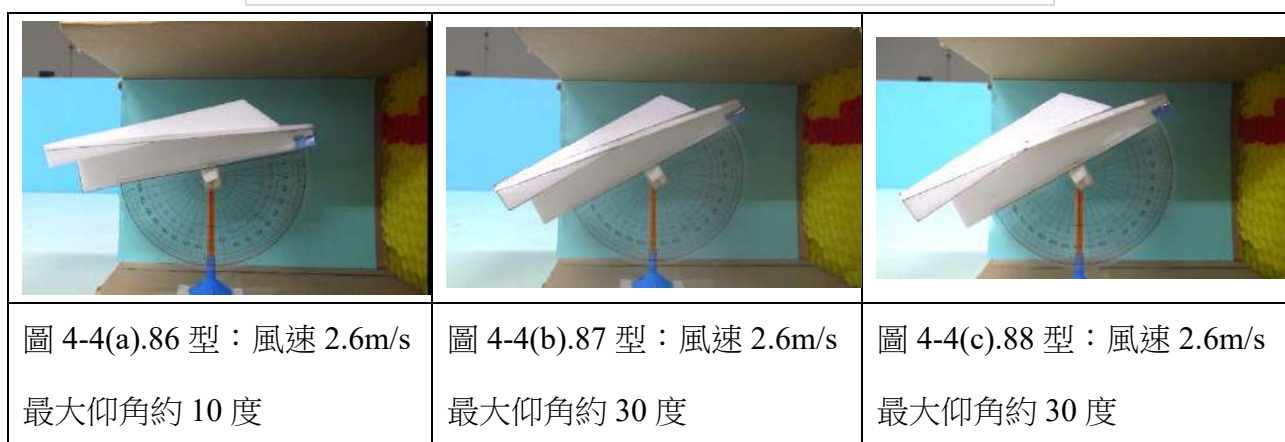
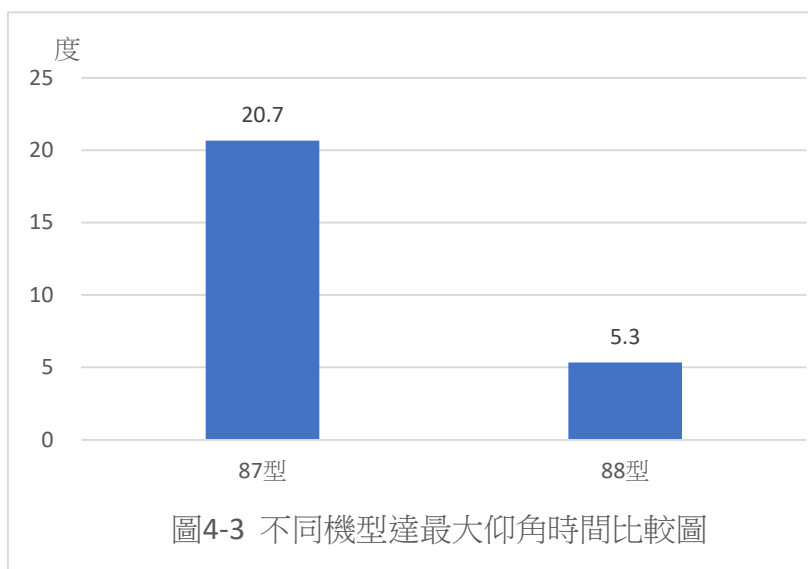
(二)實驗步驟

1. 分別將 86 型、87 型與 88 型珍珠板飛機水平放置於角度測試器上。
2. 以風扇風力段數(風速約為 2.2m/s、2.4m/s、2.6m/s)吹入進行測試，
3. 記錄各機型在角度測試器上仰角的變化。實驗各重複 3 次。

(三)實驗結果

86型最大仰角約11度，87型與88型可達29度。87型達最大仰角時間約20.7秒，而88型僅需5.3秒。



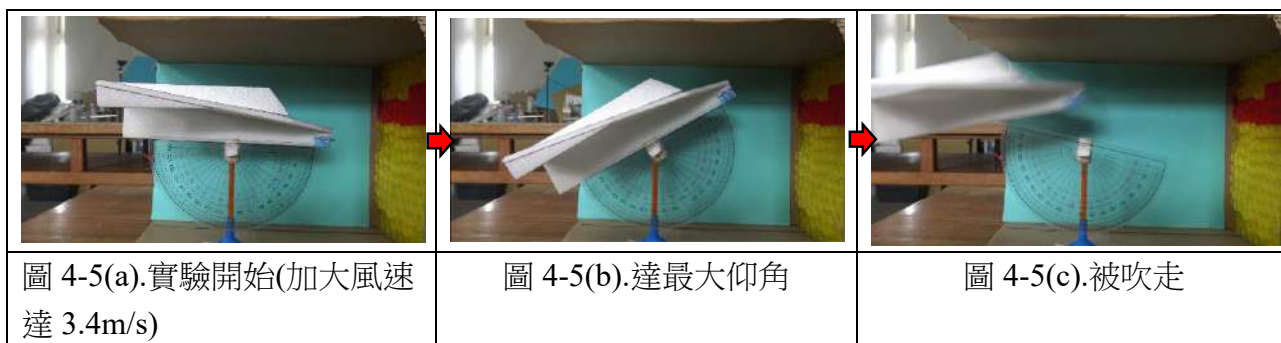


【圖片由作者製作】

(四)實驗討論

1. 發現三種風速下，各機型最大仰角沒有太大差異，出現較大差異點為機型的不同。
2. 我們認為 86 型可能因造型較為流線(不夠寬大)，因此在我們實驗風速下未能達到如 87 型與 88 型的仰角。
3. 88 型雖然與 87 型最大仰角相近，但發現兩機型達最大仰角時間有明顯的差異，再測兩型達最大仰角時間，發現 88 型達最大仰角時間需 5.3 秒，較 87 型短。因此推測機型寬大型可能較容易獲得較大的升力而較容易往上抬升。可能因如此 88 型與 87 型可成功失速倒轉飛行的發射角度都比 86 型來的小，且 87 型比 88 型可能因需較長時間才能達到最大仰角，因此出現較遠的失速水平距離。
4. 過程中我們產了疑問，是不是在任何風速下珍珠板飛機都一直有著相同的最大仰角呢？於是我們以 87 型進行較大風速(風速達 3.4m/s)測試(共測試 6 次)。結果發現飛

機在達最大仰角附近時會持續一段時間，最後可能整個被吹走，機率約 66.7%。因此我們認為飛機可能在風力升力的作用下，因機型不同有著最大的上揚角度(在其他機翼或尾翼未改變情形下)，一但超過某個臨界角度(如風速太大導致)將使得飛機失控，如本實驗中的飛走狀況，如圖 4-5。也可說明【研究二-3】在發射角力量拉至 9 格時，飛機會出現無法失速倒轉返回的飛行情形。



【圖片由作者製作】

研究五、探究不同飛機翼刀對飛機飛行的影響

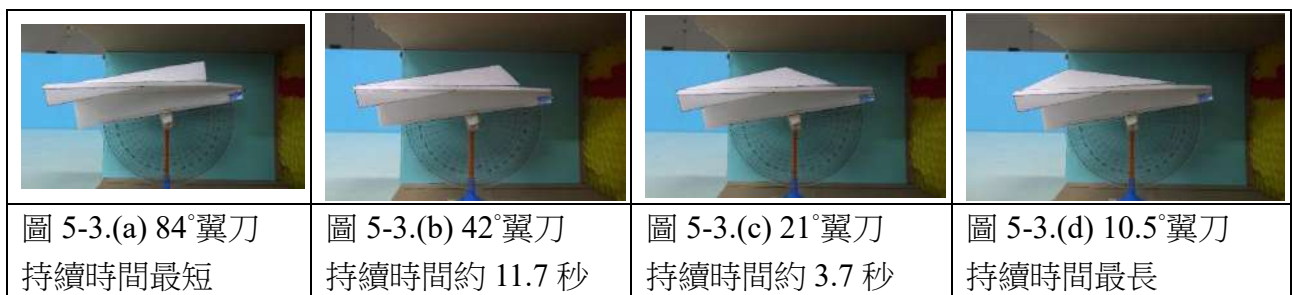
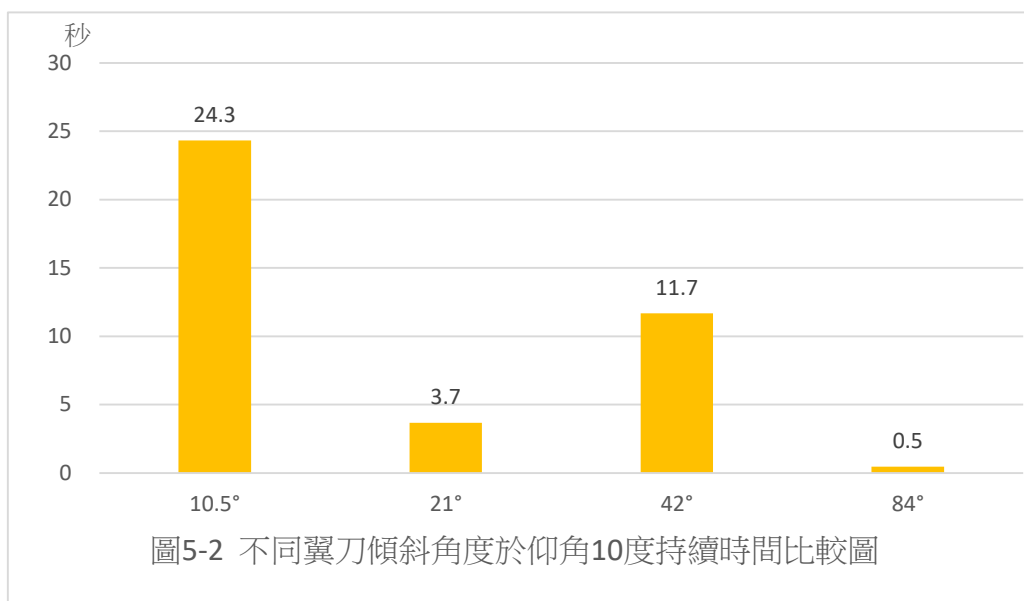
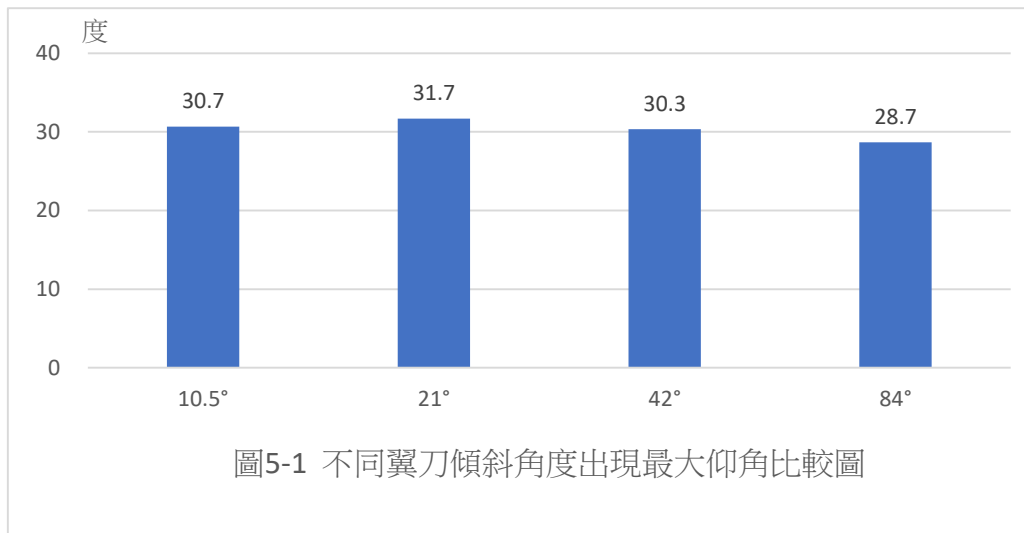
由於考慮翼刀形狀與重量，因此我們固定翼刀面積，並調整翼刀機前傾斜角度，設計不同的翼刀形狀進行測試。

(一)實驗設計：

1. 分別設計出不同翼刀形狀，機前傾斜角度分別為 84° 、 42° (原機型角度)、 21° 、 10.5° ，如圖 5-3。
2. 以風扇風力段數 3 吹入進行測試。
3. 以電腦格放方式記錄翼刀傾斜角度在角度測試器上仰角的變化。實驗各重複 3 次。

(二)實驗結果：

1. 發現不論翼刀傾斜角大小，飛機出現最大仰角大約都在 30 度附近，傾斜 21 度翼刀仰角最大，而傾斜 84 度翼刀仰角最小。
2. 飛機在仰角 10 度附近持續時間，傾斜 10.5 度翼刀持續時間最久約 24.3 秒，傾斜 84 度翼刀最短約 0.5 秒。



【圖片由作者製作】

(三)實驗討論：

1. 我們發現不論哪種傾斜角度翼刀，飛機最大仰角差異不大，大都在 30 度附近，其中 84 度最小與其他三種傾斜角度差異較大，我們認為如【風洞實驗一】推測，飛機受風因升力的出現的最大仰角應與機身形態有很重要的關係，而機翼(如翼刀)可能須在較不具流體造型(如 84 度翼刀)時會出現較大的改變。

2. 我們在過程中發現除了傾斜 84 度翼刀外，其餘翼刀角度都大約在 8-10 度仰角附近持續一段時間後才快速到達最大仰角。其中以傾斜 10.5 度翼刀持續時間最久。我們認為空氣流體因傾斜 10.5 度翼刀形狀產生的升力較小，因此使得飛機會在仰角 8-10 度附近持續較長的時間。而傾斜 21 度與 42 度則明顯較短，可能也是因空氣流體在不同翼刀角度產生的升力不同所致。

研究六、探究不同翼尖小翼對飛機飛行的影響

發現翼刀對於飛機升力有所影響，也聯想到翼尖小翼是否也有影響？又有什麼影響呢？如翼刀考量我們固定翼尖小翼面積並調整翼尖小翼傾斜角度設計不同的翼刀形狀進行測試。

(一)實驗設計

操縱變因：翼尖小翼傾斜角度分別為 5° 、 10° (原機型角度)、 20° 、 40°

控制變因：風速3、87型飛機

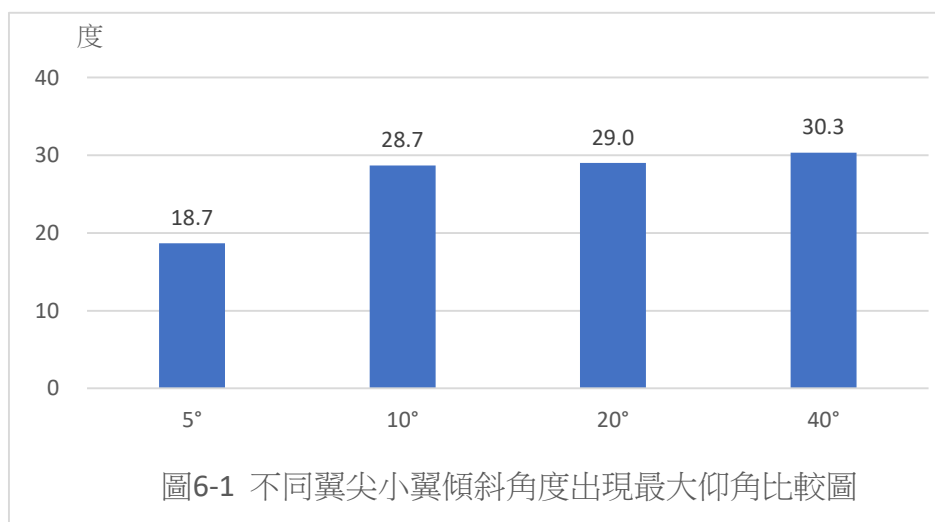
應變變因：飛機迎風仰角變化

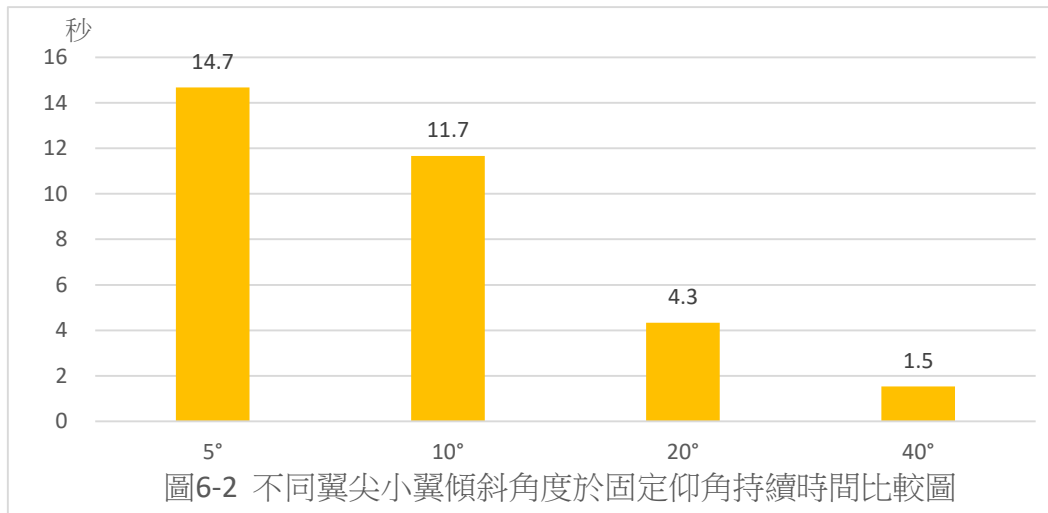
(二)實驗步驟：

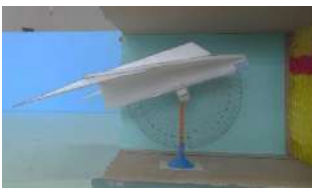



1. 以風扇風力段數3吹入進行測試。
2. 以電腦格放方式記錄翼尖小翼傾斜角度在角度測試器上仰角的變化。實驗重複3次。

(三)實驗結果

1. 傾斜 5° 翼尖小翼最大仰角最小約 18.7° ，傾斜 40° 翼尖小翼最大約 30.3° 。
2. 固定仰角方面，傾斜 5° 、 20° 、 40° 翼尖小翼持續仰角約 20° 附近，而傾斜 10° 翼尖小翼則是在仰角約 10° 附近。





			
圖 6-3.(a) 5°翼尖小翼持續時間最久，持續仰角約 20 度。	圖 6-3.(b) 10°翼尖小翼持續仰角為約 10 度。	圖 6-3.(c) 20°翼尖小翼逐漸隨角度增大持續時間變長，持續仰角約 20 度。	圖 6-3.(d) 40°翼尖小翼持續時間最短持續仰角約 20 度。

【圖片由作者製作】

(四)實驗討論

1. 發現只有傾斜5度翼尖小翼最大仰角明顯較小不同，推測機型仍是影響受風升力產生的仰角的主要因素，當翼尖小翼角度與形狀變化較大時才會出現明顯不同的最大仰角。
2. 傾斜10度翼尖小翼持續的固定仰角8-10度，其他則為20-22度。翼尖小翼傾斜角度可能對於機身在受風力影響下對於升力產生角度維持在某固定角度有較大的影響，而傾斜角度越大對於機身持續固定仰角時間則會縮短。綜合研究五與研究六，在不同翼刀與翼尖小翼形狀在影響失速倒轉飛行方面，我們認為當產生的最大仰角越大時，其發射角度應該會越小，而到達最大仰角前的持續時間則可能影響失速水平距離的長短。

肆、研究結論

一、空中失速倒轉實驗：

1. 橡皮筋拉到第7洞(0.53kg)的發射力量皆能使88型、87型、86型飛機產生飛行失速倒轉

的情形，成功率為100%。

2. 在發射角度為0度時，飛機失速最大平均高度、向前飛行平均距離(即失速水平距離)、飛機返回的水平平均距離都是87型>88型。
3. 86型飛機向前飛行平均距離(即失速水平距離)以發射角10度>20度；飛機返回的水平平均距離也是發射角10度>20度。
4. 如果進行飛機競賽時，在不限發射角度情況下，飛機向前飛行平均距離(即失速水平距離)以87型>88型>86型；飛機返回的水平平均距離以87型>86型>88型。
5. 進行飛機競賽(失速水平距離、返回水平距離)時，以選擇87型、發射角0度，或是86型、發射角10度的飛機為佳。
6. 飛機型態(如流線型與寬廣型)影響失速倒轉返回飛行的最大發射角，且發射角越大，失速最大高度、失速角度、倒轉返回百分距比有加大趨勢，而失速水平距離則會縮短。可做為飛機不同飛行目的的操作參考依據。
7. 機頭加重以13mm 長尾夾（1.20g）夾在機頭最前面為最佳。

二、自製風洞輔助證明：

1. 88型達最大仰角時間卻僅需5.3秒，明顯較87型短。因此我們推測機型寬大型可能較容易獲得較大的飛機升力而相對較容易往上抬升。
2. 86型機型在10度角發射，可產生飛機失速倒轉返回的情形；88型在30度角發射時，容易向後飛走，不會有失速倒轉返回的情形。
3. 不同翼刀形狀，機前傾斜角度分別為84°、42°、21°、10.5°，飛機出現最大仰角大約都在30度左右。因此推測飛機受風因升力的出現的最大仰角與機身型態比較有相關。
4. 翼尖小翼傾斜10°、20°、40°的最大仰角也大約都在30度附近，推測飛機機型仍是影響受風升力產生的仰角的主要因素。
5. 當機身流線型(如86型)時可以提高發射角度與發射的水平位置高度來做為飛行的修正方向。而寬廣型(如87型或88型)則以水平高度，延長升力最大值達到時間為主。

伍、未來研究

未來可以繼續探討飛機翼刀和翼尖小翼分別與機身之間的角度，對於飛機失速倒轉並反向飛回的影響。希望這樣的研究能為三年級的學弟妹們在製作空氣創意玩具時提供更多選擇，讓他們不再因教室空間小而需要轉換場地，製作出的飛機也不僅僅是為了比賽飛遠。

陸、參考文獻資料

- 一、國小自然科學(2023)。第一冊。第二單元 生活中的力。臺北：康軒出版社。
- 二、國小自然科學(2023)。第一冊。第四單元 奇妙的空氣。臺北：康軒出版社。
- 三、國小自然科學(2023)。第六冊。第一單元 力與運動。臺北：康軒出版社。
- 四、第 29 屆遠哲科學趣味競賽-Top Gun (校內初賽參考影片)。2023 年 9 月 13 日取自
<https://www.youtube.com/watch?v=Psgsfk111-k>
- 五、遠哲科學基金會 Top Gun 競賽辦法。2023 年 9 月 13 日取
<https://www.ytlee.org.tw/ScienceContestFiles.aspx>
- 六、蟲蟲老師帶你玩飛機-簡易紙飛機發射器。2023 年 9 月 19 日取自
<https://www.youtube.com/watch?v=RAngEurH9Ug>
- 七、紙飛機發射器。2023 年 9 月 20 日取自
<https://www.tamiya.com/japan/newsttopics/2020/05/20robot/017.html>
- 八、【Daoche】Origami - Paper Airplane // 紙飛機也能彈射起步？教你做最簡單的紙飛機發射器 2023 年 9 月 19 日取自 <https://www.youtube.com/watch?v=GRfrd1GiadY>
- 九、迴旋奇機~解開珍珠板飛機迴旋的終極密碼(2010)。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會國小組物理科作品說明書。

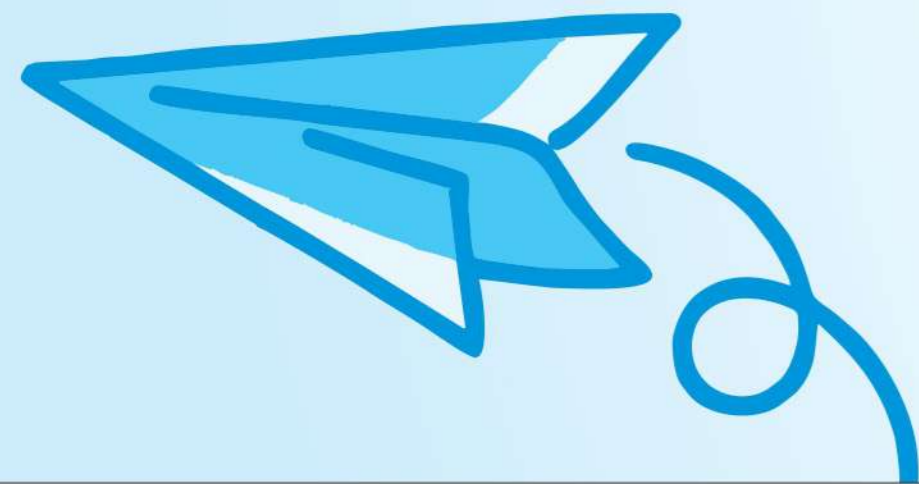
【評語】 080116

本作品探討紙飛機失速倒轉返回飛行形成的條件。其中詳實地說明紙飛機的製作過程，各種發射器製作，並述說其優缺點。本研究提供了可重複性的失速倒轉返回飛行條件，特別是發射角及發射力量對失速倒轉返回詳實的記錄及分析。然而飛行動力學及流體力學變因與結果間相關性複雜，不容易從歸納法得到解釋的原因。整體工作算是有條理地整理和陳述觀察到的現象。以學童擁有的資源和知識來說，算是達到最初設定的目標。

作品簡報

「失」出有名，「速」手就擒！

探究飛機失速倒轉之條件



摘要

為了做出失速倒轉返回的特技飛機，發現發射力量與角度和機身結構都有所互相關係。依據失速最大高度、失速水平距離、返回水平距離，發射角度0度時，可選擇87型；發射角度10度時，則可選擇86型；而設定其他飛行目的則可以發射角越大，倒轉返回百分比與失速高度越大作為操作參考。重心調整上，13mm長尾夾（1.20g）夾在機頭最前端最為合適。

風洞試驗方面，88型達最大仰角時間最短，翼刀與翼尖小翼不同傾斜角度形狀，最大仰角約在30度左右，推測飛機形態是受風產生升力的主要影響因素。失速倒轉返回飛行修正方面，86流線型可以提高發射角度與水平高度進行。而87與88寬廣型以水平高度，延長升力達最大值的時間為原則。

前言

一、研究動機

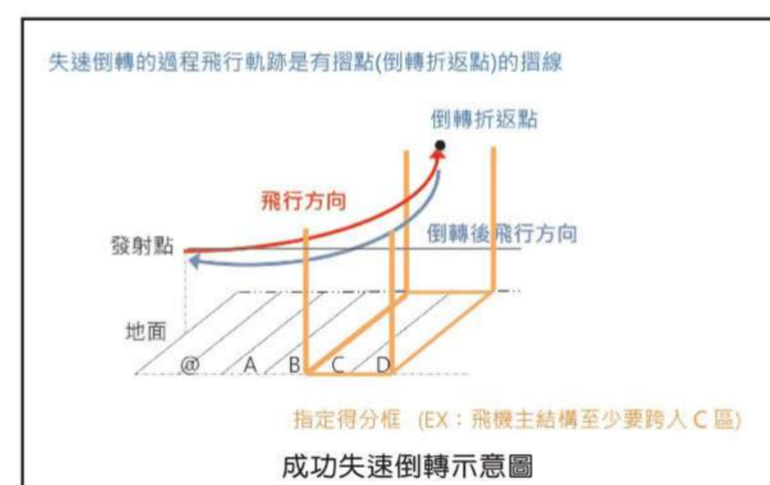
暑假中看到空軍嘉年華戰機們的飛行表演，讓我驚呼連連，感覺飛官十分帥氣，就像電影裡的捍衛戰士。由於我還無法駕駛飛機，就想著是否也能自製出一架有特技飛行的飛機呢？便在網路上搜尋，查到遠哲科學趣味競賽有分享失速倒轉飛機的做法，但要如何讓飛機飛得遠，且能失速倒轉再飛回來的細節，則要自己去摸索，所以便開啟了我們這次的科展實驗。

二、研究目的

- 研究一、探究不同發射力量對飛機失速倒轉的影響
- 研究二、探究不同發射角度對飛機失速倒轉的影響
- 研究三、探究不同重心對飛機失速倒轉的影響
- 研究四、探究不同氣流對飛機飛行的影響
- 研究五、探究飛機翼刀對飛機飛行的影響
- 研究六、探究飛機翼尖小翼對飛機飛行的影響

三、文獻回顧

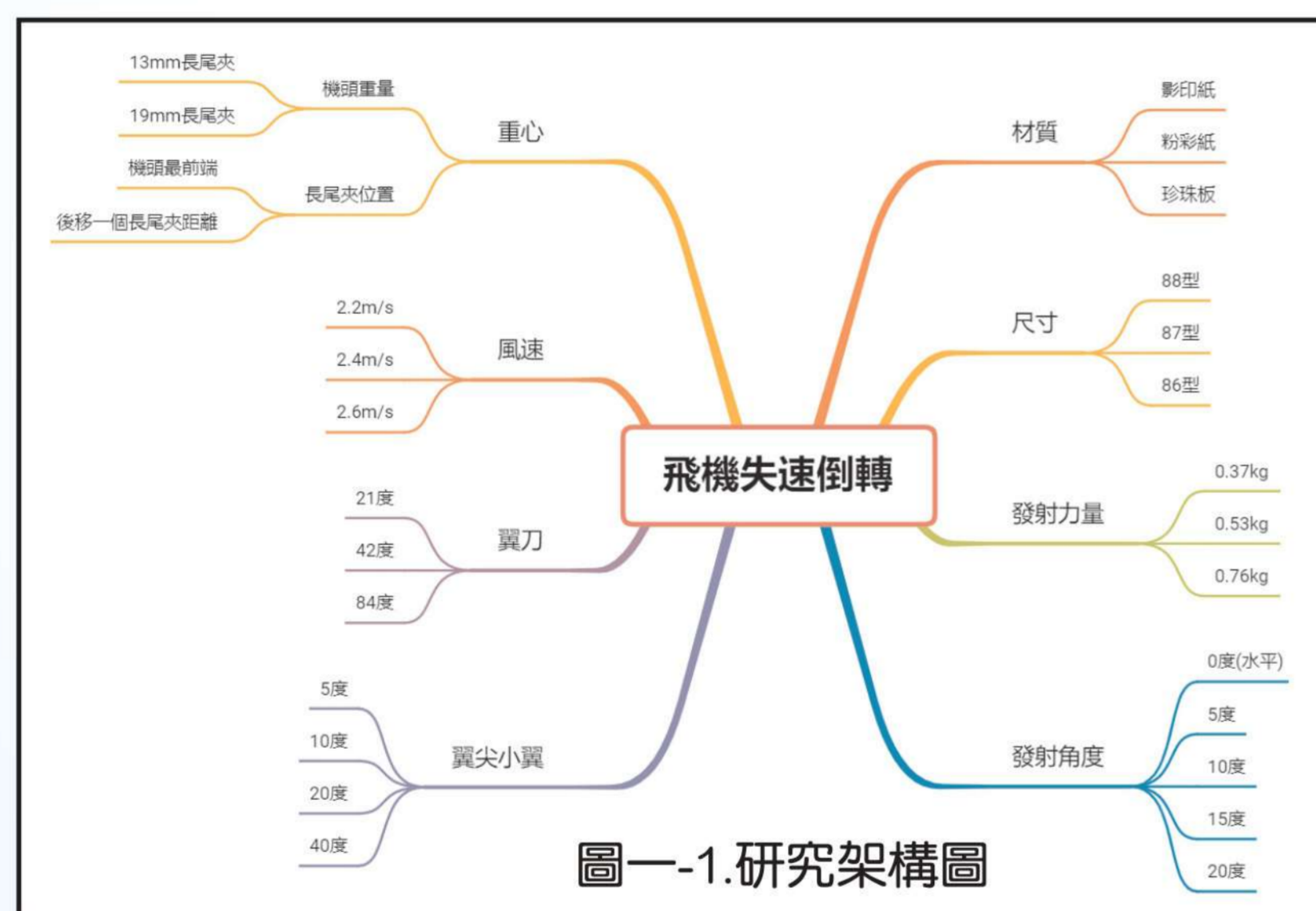
蒐集文獻資料定義本研究飛機須在飛行過程中以「失速倒轉」而非「迴旋、迴轉」形式飛回發射位置。



貳、研究設備及器材(略)

參、研究過程

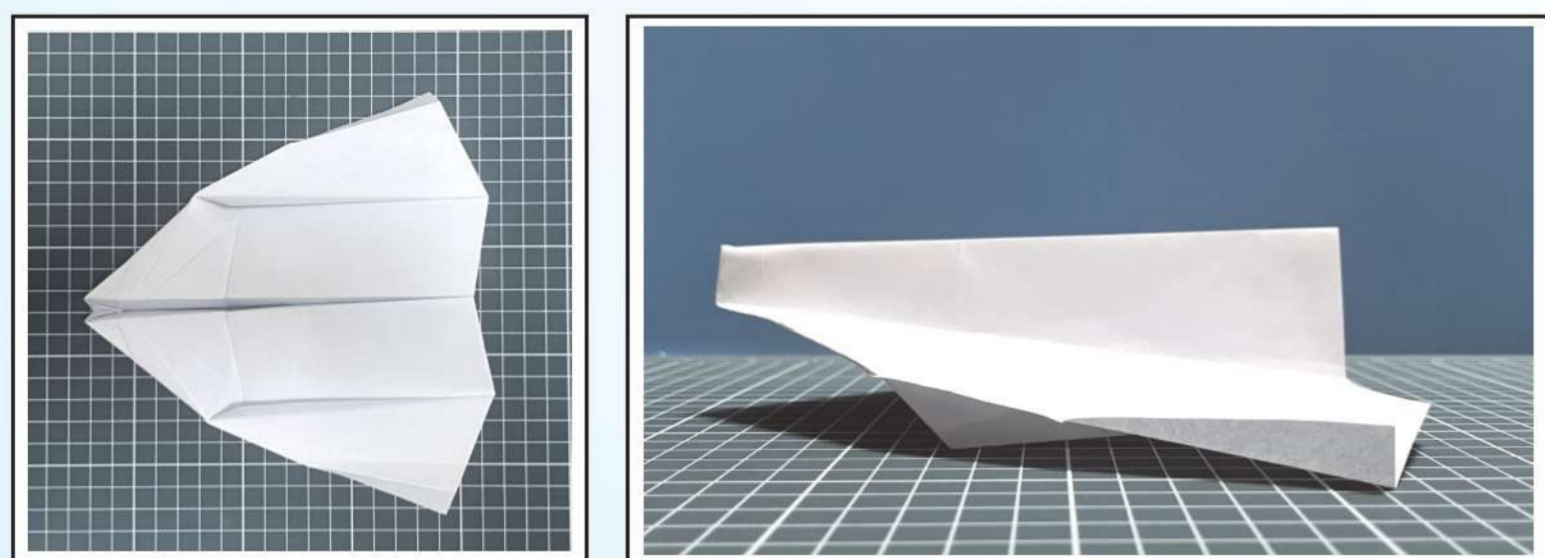
一、研究架構



二、飛機製作

(一) 第一代紙飛機

- 作法：參照2023 第29屆遠哲科學趣味競賽-Top Gun摺法

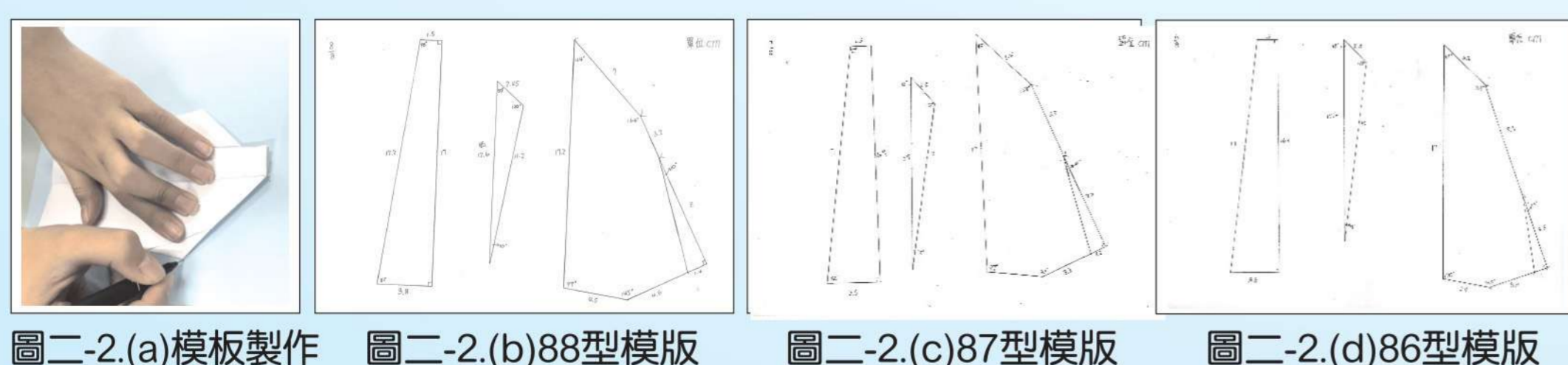


圖二-1.(a)上方正拍完成圖 圖二-1.(b)倒放側拍

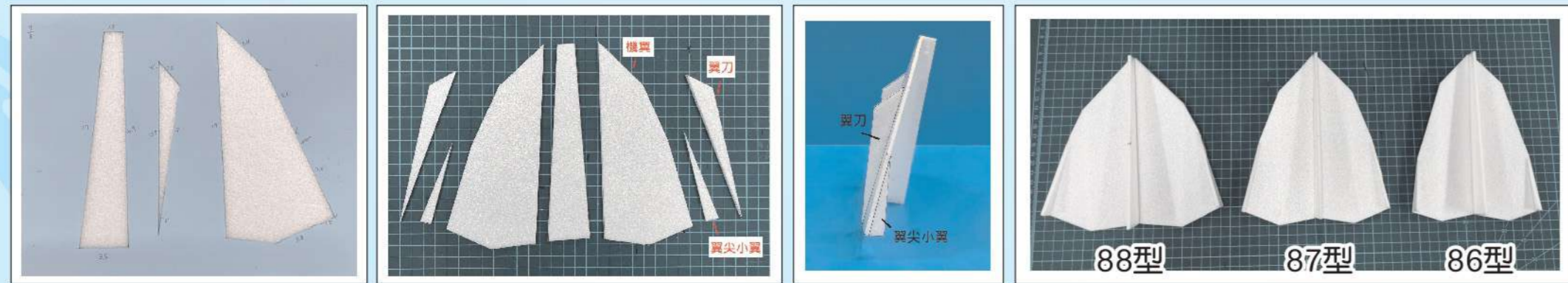
- 規格定義：
 - ① 88型—一整張A4紙。
 - ② 87型—7/8張A4紙。
 - ③ 86型—6/8張A4紙。

(二) 第二代紙飛機

- 作法：



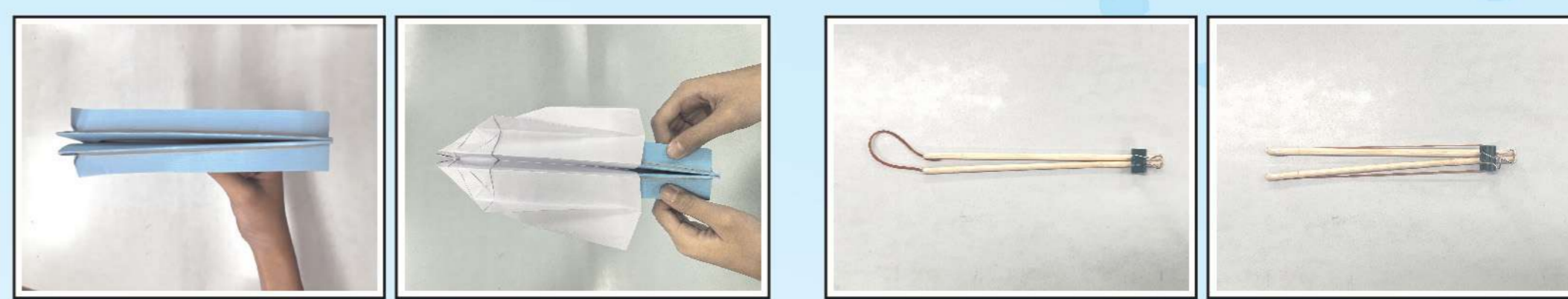
圖二-2.(a)模板製作 圖二-2.(b)88型模板 圖二-2.(c)87型模板 圖二-2.(d)86型模板



圖二-2.(e)模板部件割除，放在珍珠板上，用筆描框，再割下 圖二-2.(f)割下後各部件 圖二-2.(g)用工藝黏膠組裝 圖二-2.(h)機型

三、發射器製作：

- (一) 第一代：粉彩紙發射器
- (二) 第二代：竹筷發射器



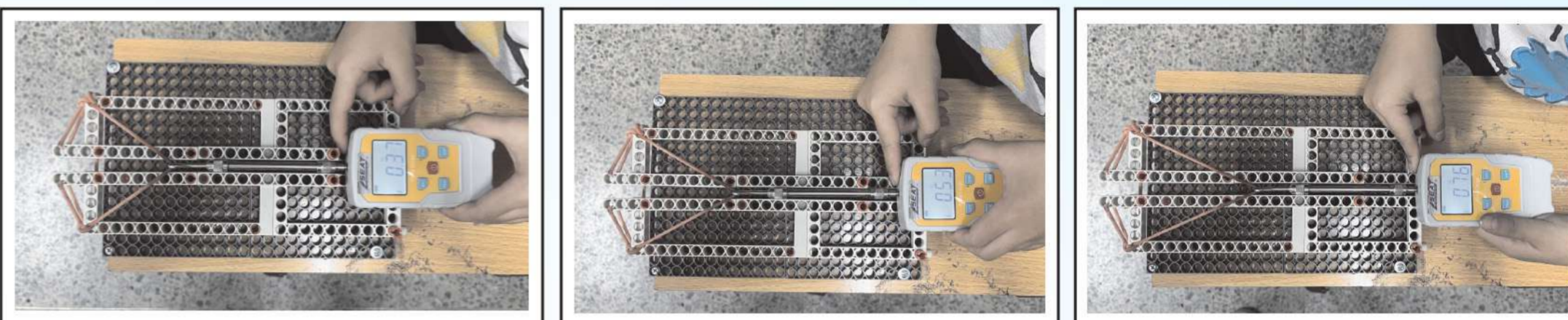
圖三-1.(a)上方正拍 圖三-1.(b)發射方式完成圖 圖三-2.(a)完成圖 圖三-2.(b)準備發射圖

(三) 第三代：積木發射器



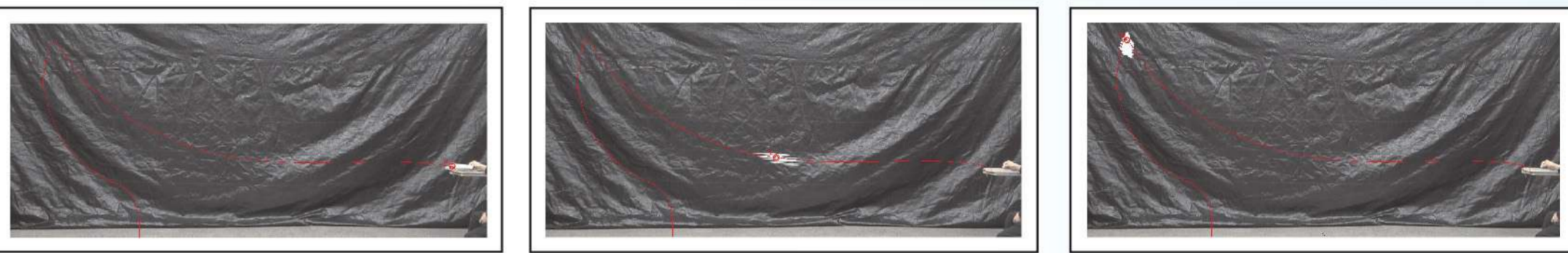
圖三-3.(a)利用智高積木組成發射軌道，在前端固定彈弓橡皮筋。 圖三-3.(b)將發射軌道鎖在木板上，木板則固定腳架上。 圖三-3.(c)在木板外側貼上量角器，量角器固定一個鉛垂線，以便調整發射角度。

四、發射力量說明：

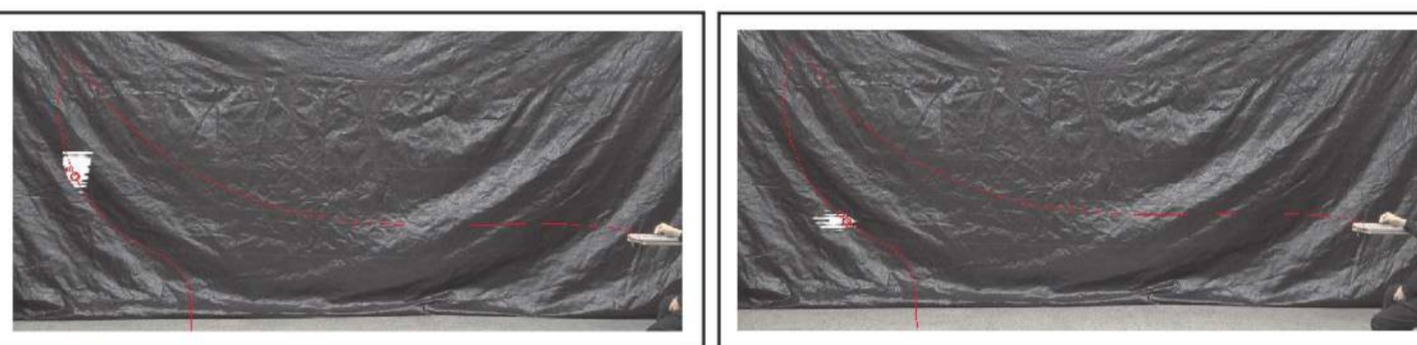


圖四.(a)橡皮筋拉至第5洞口，彈力0.37kg 圖四.(b)橡皮筋拉至第7洞口，彈力0.53kg 圖四.(c)橡皮筋拉至第9洞口，彈力0.76kg

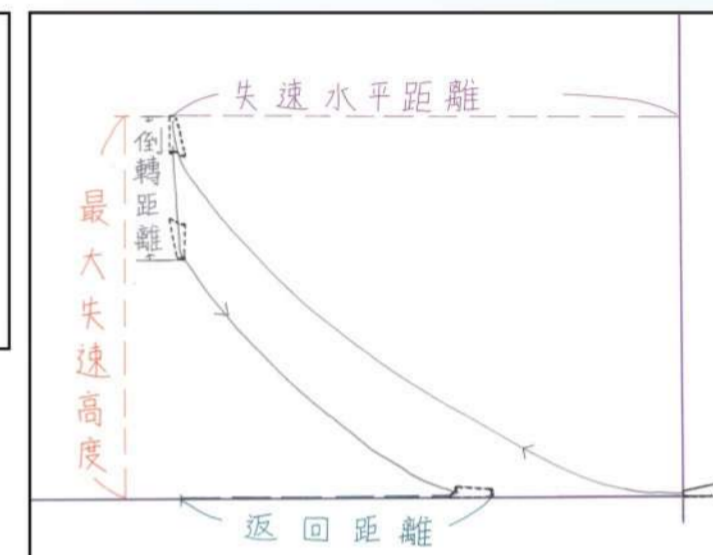
五、失速倒轉定義：



圖五.(a)準備發射 圖五.(b)飛行升空 圖五.(c)升到最大高度，機頭朝上。



圖五.(d)失速倒轉(非迴旋)，機頭朝下。 圖五.(e)反方向飛行，機頭朝下。



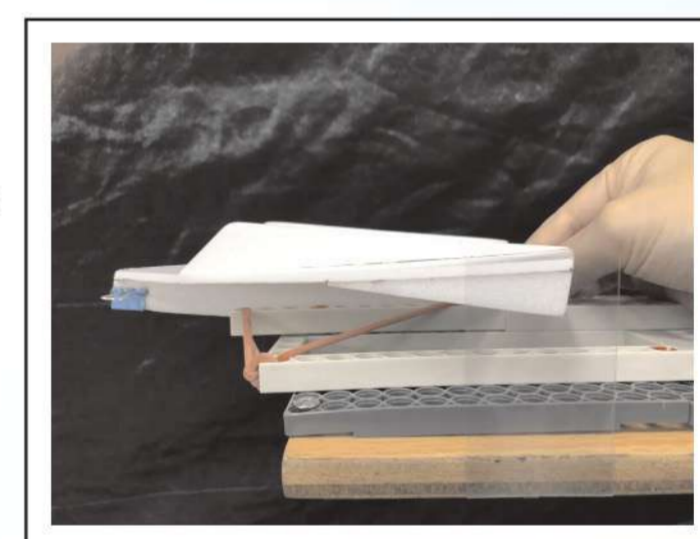
圖五.(f)失速倒轉返回示意圖

六、名詞定義

- 失速最大高度：飛機向上飛行，機頭朝上，機身呈現失速狀態時的最大垂直高度。
- 失速水平距離：飛機機身呈失速狀態的最大垂直高度時，與出發點的水平距離。
- 返回距離：飛機機身呈失速狀態的最大垂直高度時，與飛機落地時的水平距離。
- 倒轉距離：飛機向上飛行到最高處，機頭朝上與翻轉後機頭朝下（機身狀態）之間的距離。（圖五.(c)和圖五.(d)的距離）

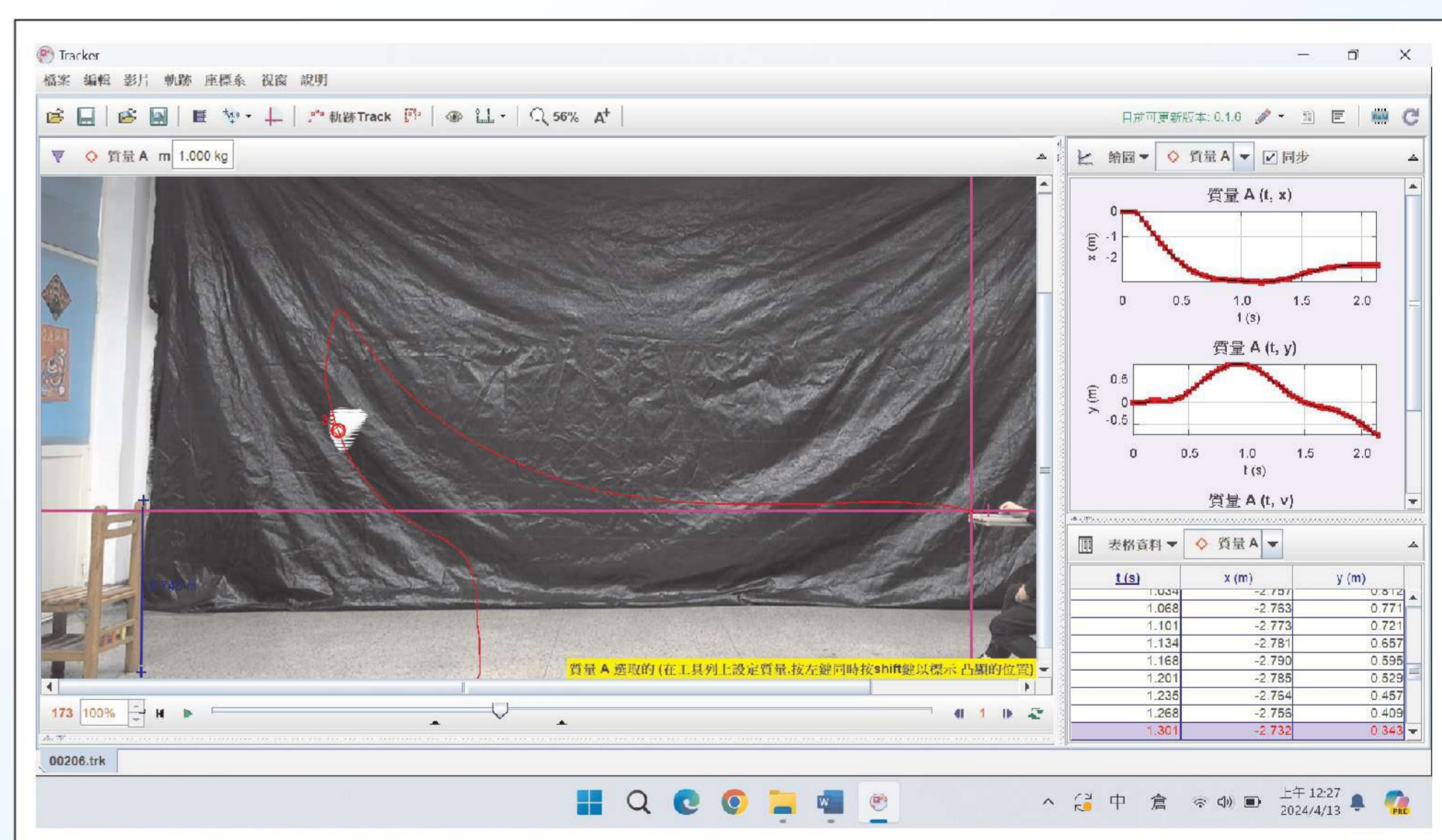
七、實驗操作標準流程

- 機頭最前端夾上長尾夾增加重量。發射器調整軌道實驗角度。
- 在中間軌道上，和橡皮筋一起往後拉至實驗指定洞口。
- 調高機頭的角度，機翼對齊透明片水平上方線，確保飛機與軌道平行後，發射。
- 每個實驗重複10次。



圖七.

八、軟體分析Tracker



九、研究內容

研究一、探究不同發射力量對飛機失速倒轉的影響

(一)實驗結果：

表1. 不同發射力量對飛機失速倒轉的機率

	拉到第5洞 (0.37kg)			拉到第7洞 (0.53kg)			拉到第9洞 (0.76kg)		
	88型	87型	86型	88型	87型	86型	88型	87型	86型
1	x	x	x	o	o	o	x	o	x
2	x	x	x	o	o	o	x	o	o
3	x	x	x	o	o	o	x	o	x
4	x	x	x	o	o	o	x	o	x
5	x	x	x	o	o	o	x	o	o
6	x	x	x	o	o	o	x	o	x
7	x	x	x	o	o	o	x	o	x
8	x	x	x	o	o	o	x	o	x
9	x	x	x	o	o	o	x	o	x
10	x	x	x	o	o	o	x	o	x
機率	0%	0%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	20%

符號說明：X 沒有做到失速倒轉 O 有做到失速倒轉

(二) 實驗討論：

88型、87型拉到第7洞 (0.53kg) 的發射力量，可成功失速倒轉返回 (如圖1-1)。其餘如圖1-2、1-3。

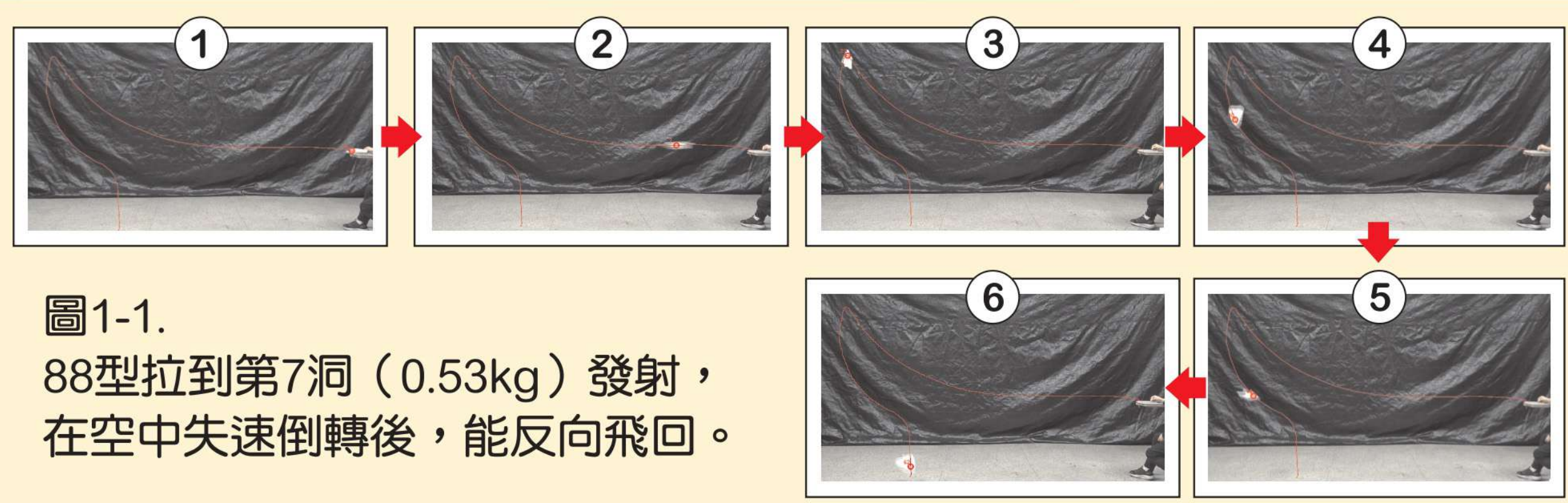


圖1-1. 88型拉到第7洞 (0.53kg) 發射，在空中失速倒轉後，能反向飛回。

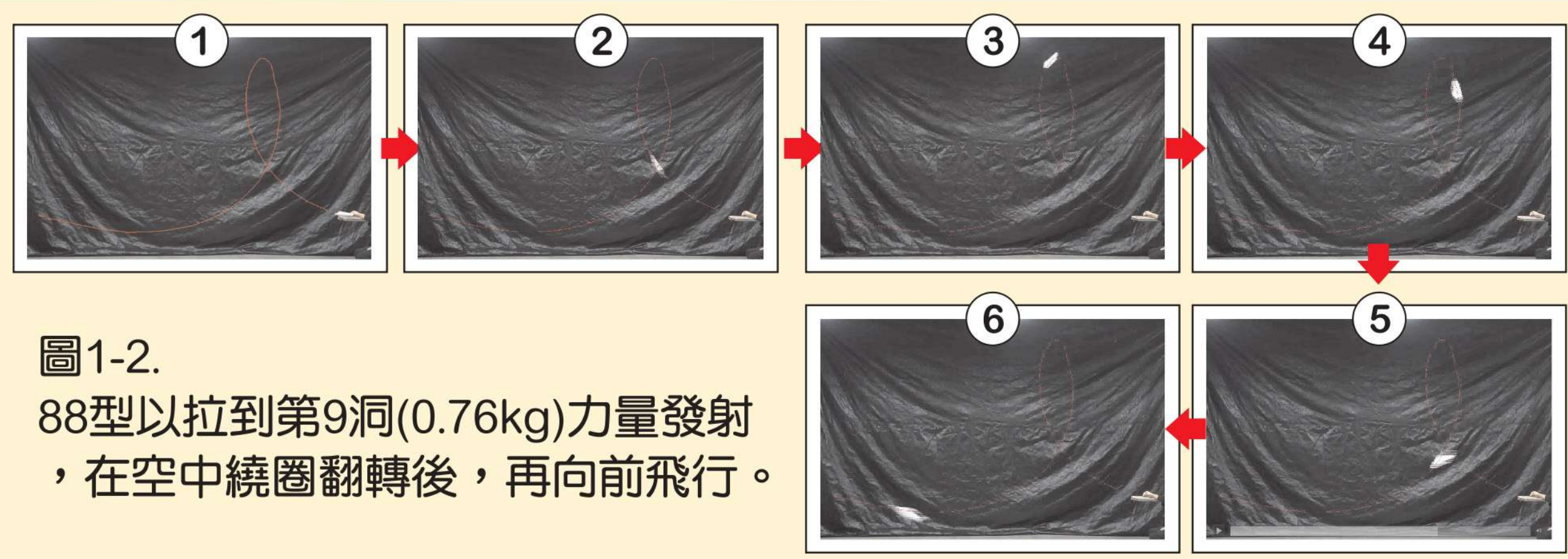


圖1-2. 88型以拉到第9洞(0.76kg)力量發射，在空中繞圈翻轉後，再向前飛行。

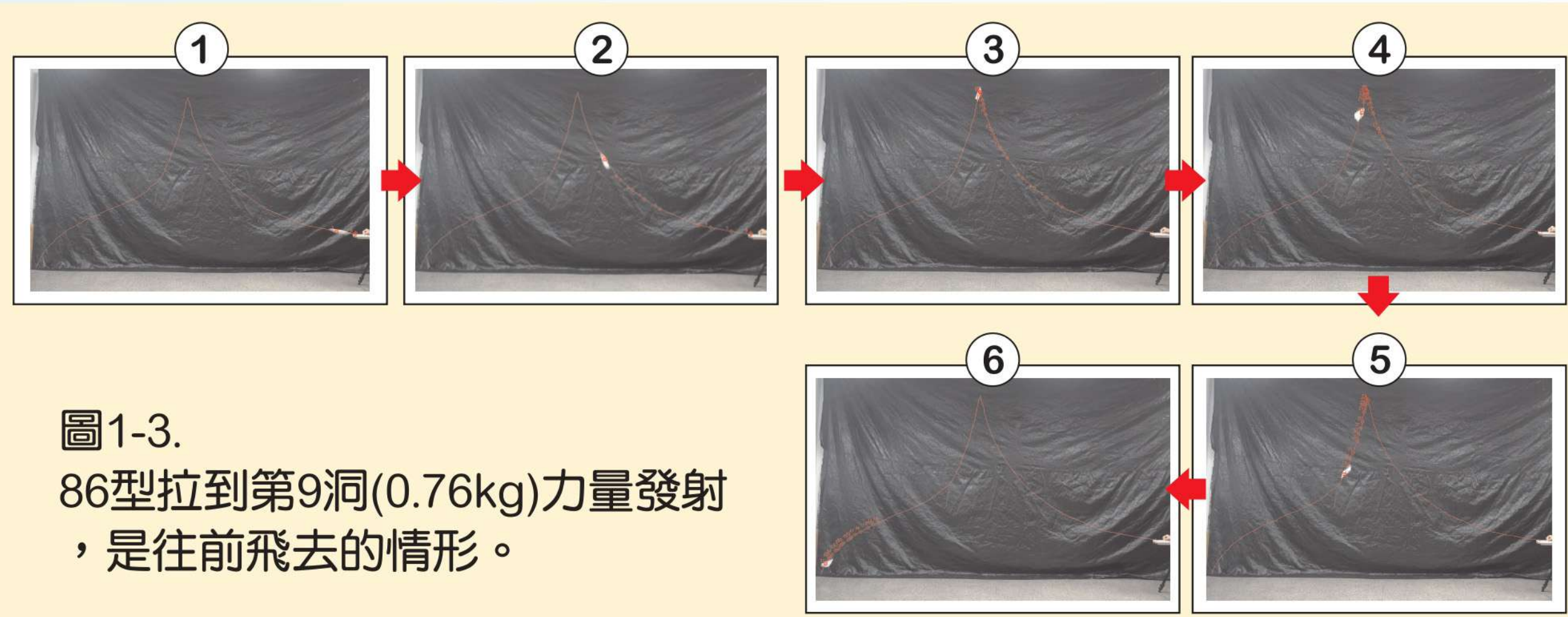


圖1-3. 86型拉到第9洞(0.76kg)力量發射，是往前飛去的情形。

研究二、探究不同發射角度對飛機飛行的影響

子題一：不同發射角度的成功率

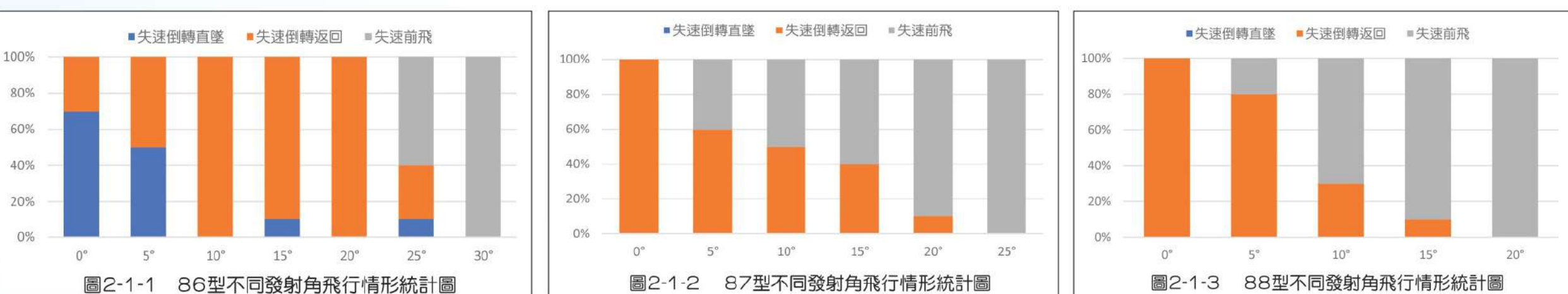
(一) 實驗結果：

符號說明

X 沒有做到失速倒轉
O 有做到失速倒轉

表2-1-1. 發射角0度對飛機飛行情形 表2-1-2. 發射角10度對飛機飛行情形 表2-1-3. 發射角20度對飛機飛行情形

試次	88型				87型				86型				
	失速	倒轉	返回	穩定	失速	倒轉	返回	穩定	失速	倒轉	返回	穩定	
1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
3	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
4	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
5	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
6	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
7	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
8	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
9	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
10	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
觀率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	30%



(二) 實驗討論：

- 86型在水平0°時的飛行情形常是失速後倒轉直接墜地，如圖2-1-4。
- 發射角度調高為10°時，86型便可以成功，如圖2-1-5。
- 86型發射角度約在10°~20°之間；87型與88型，約在0°~5°之間，可成功失速倒轉返回。
- 除了之前將發射角提高(改為10°)外，也將發射台的水平位置調高來進行試飛，發現86型飛機也可以倒轉返回成功(如圖2-1-6)。接著以86型的發射水平高度位置為變項進行探討。

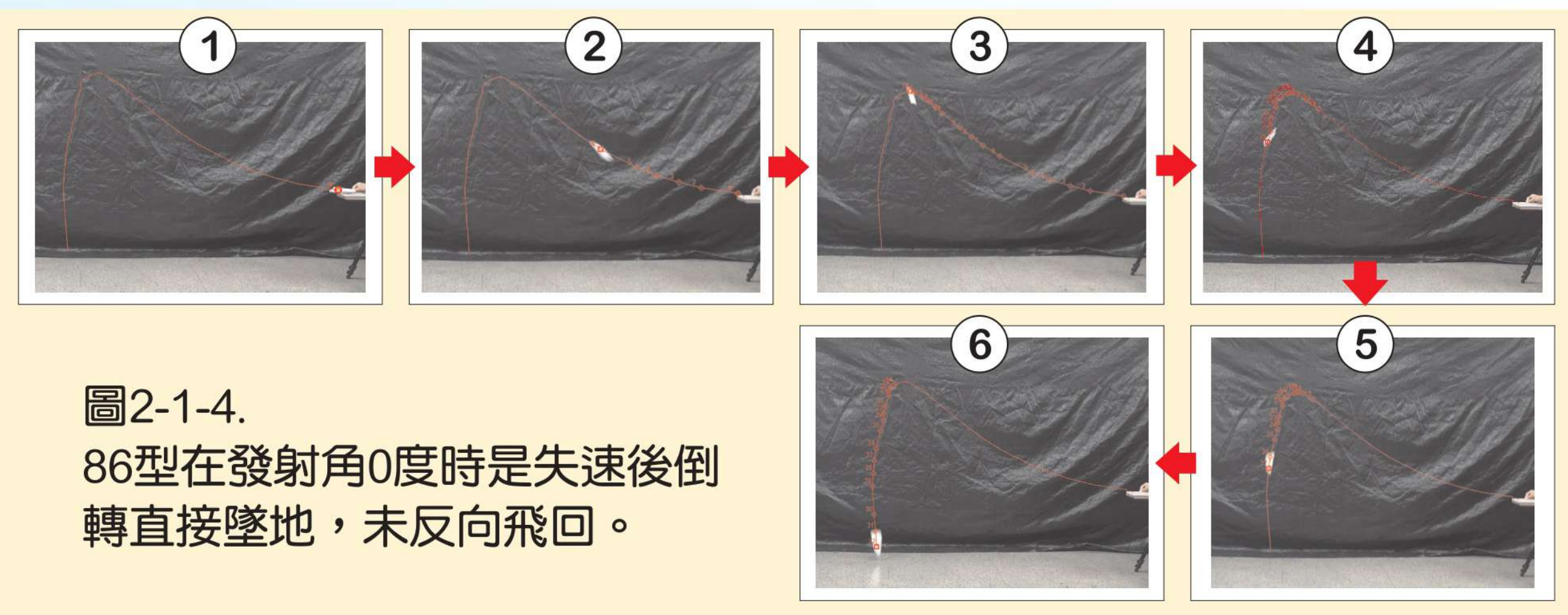


圖2-1-4. 86型在發射角0度時是失速後倒轉直接墜地，未反向飛回。

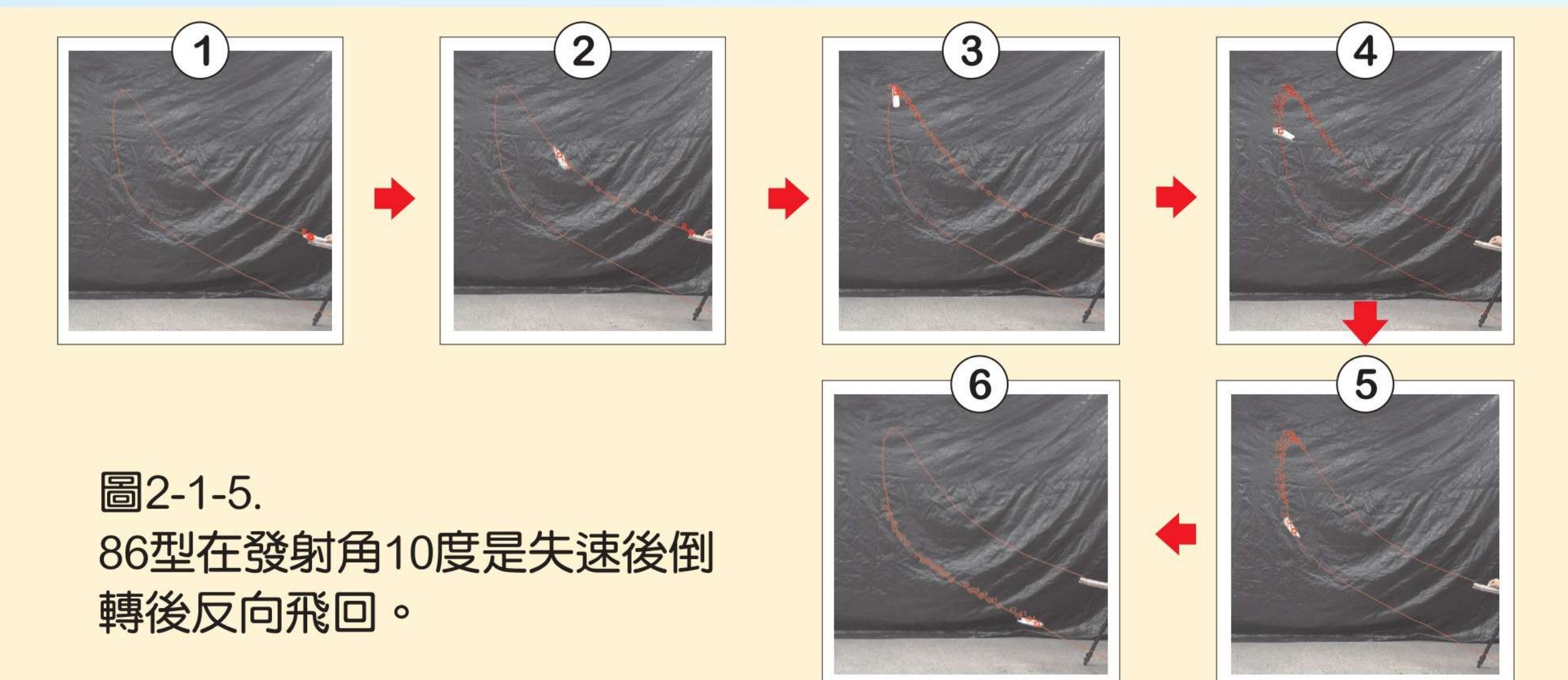


圖2-1-5. 86型在發射角10度是失速後倒轉後反向飛回。

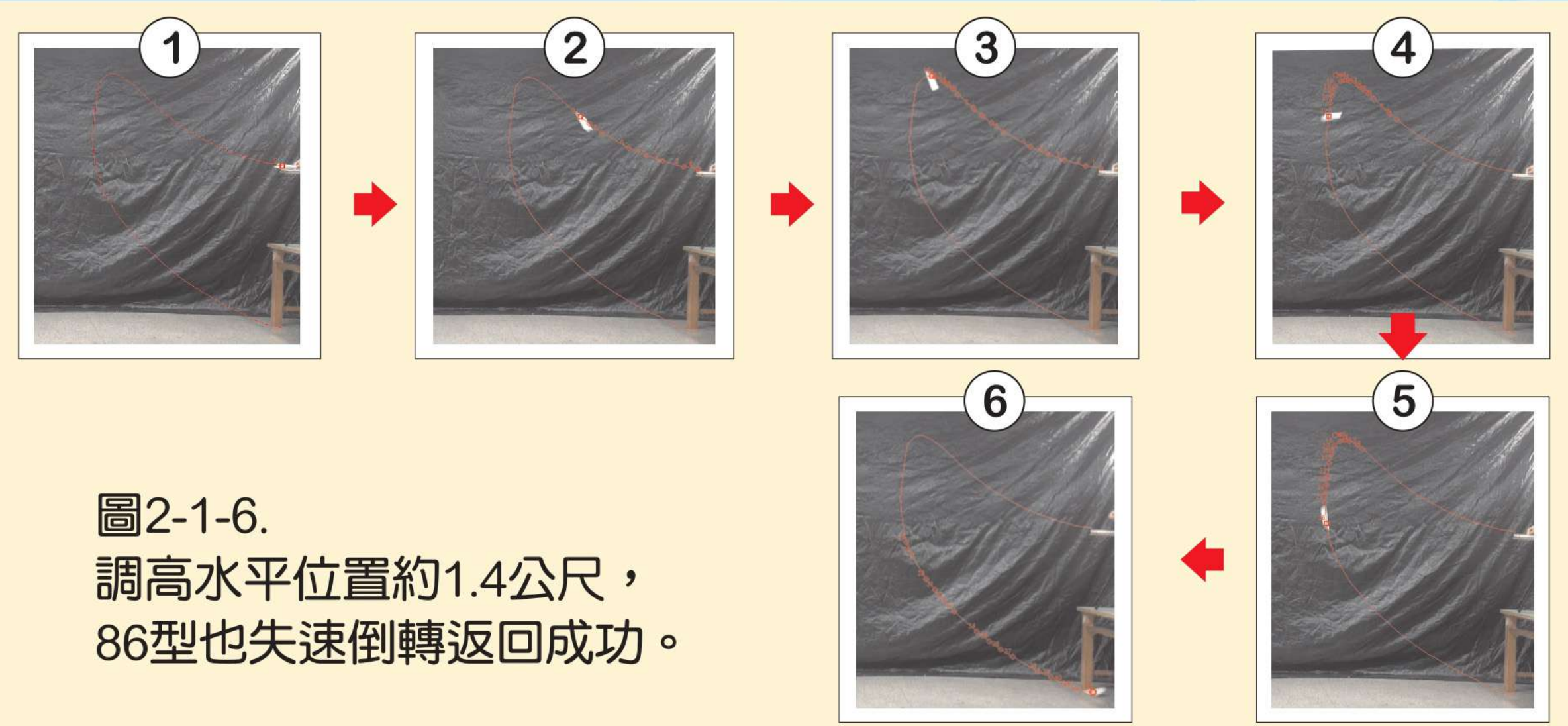


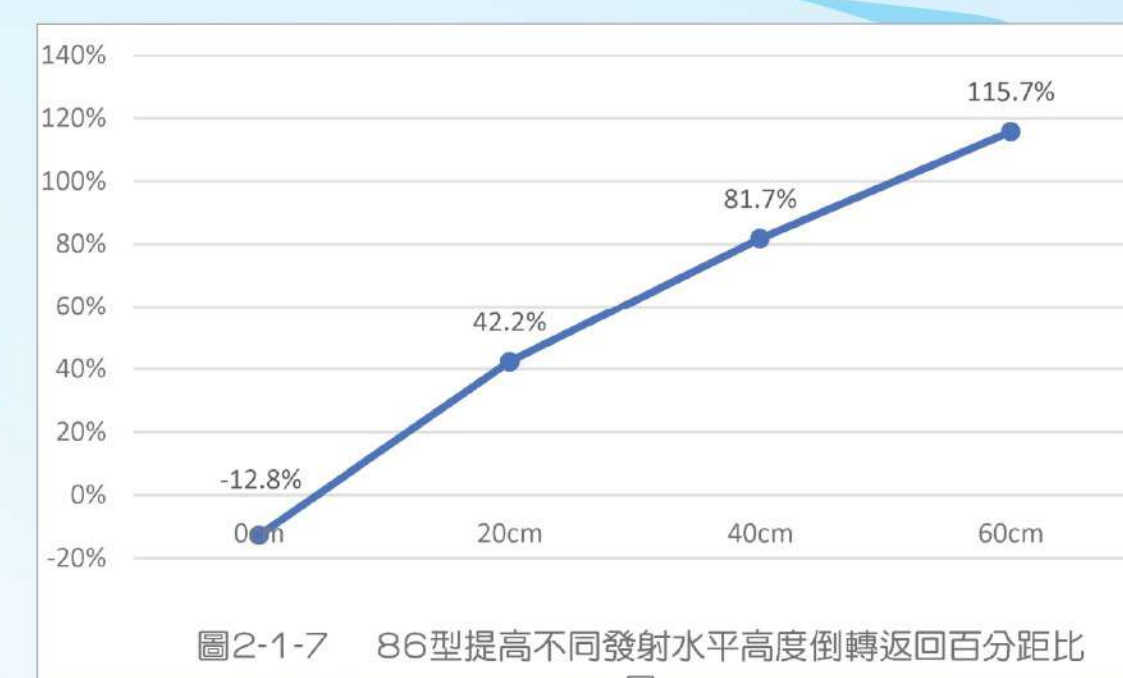
圖2-1-6. 調高水平位置約1.4公尺，86型也失速倒轉返回成功。

【發射水平高度位置不同對飛行的影響】

(一) 實驗結果：

隨著發射水平高度提升越高，失速倒轉返回百分距比就越大。

【定義】：倒轉返回百分距比 = $\frac{\text{返回距離}}{\text{失速水平距離}} \times 100\%$



(二) 實驗討論：發射位置高度提升越高失速倒轉返回距比越大大，返回的距離逐漸增加，甚至可以超過發射位置。失速倒轉最大高度的位能可能須轉換成具有足夠速度的動能才能出現返回飛行。

子題二：探討能成功失速、倒轉、返回的距離

(一) 實驗結果：

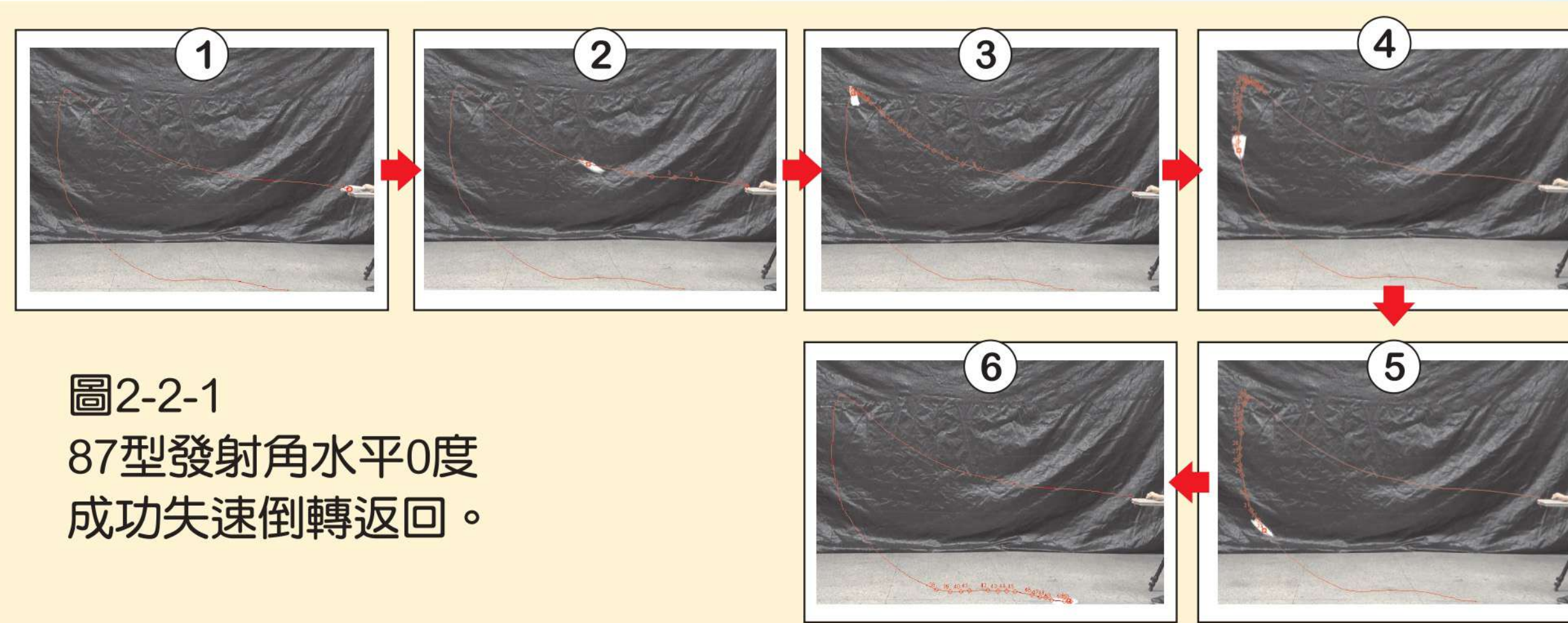


圖2-2-1 87型發射角水平0度成功失速倒轉返回。

表2-2-1. 88型機型在0度時的飛行距離

	失速最大高度 (m)	失速水平距離 (m)	返回水平距離 (m)	倒轉距離 (m)
平均	0.823	2.053	0.745	0.676
最大值	1.051	2.393	0.852	0.842
最小值	0.689	1.761	0.608	0.585
全距	0.362	0.632	0.244	0.257
標準差	0.122	0.231	0.084	0.086

表2-2-2. 87型機型在0度時的飛行距離

	失速最大高度 (m)	失速水平距離 (m)	返回水平距離 (m)	倒轉距離 (m)
平均	1.084	2.109	1.287	0.653
最大值	1.219	2.365	1.454	0.731
最小值	0.902	1.916	1.155	0.540
全距	0.317	0.449	0.299	0.191
標準差	0.078	0.139	0.119	0.063

表2-2-3. 86型機型在10度時的飛行距離

	失速最大高度 (m)	失速水平距離 (m)	返回水平距離 (m)	倒轉距離 (m)
平均	1.186	1.811	1.234	0.632
最大值	1.327	2.393	2.422	0.711
最小值	0.984	1.518	0.207	0.496
全距	2.311	3.911	2.629	1.207
標準差	0.100	0.254	0.772	0.066

表2-2-4. 86型機型在20度時的飛行距離

	失速最大高度 (m)	失速水平距離 (m)	返回水平距離 (m)	倒轉距離 (m)
平均	1.188	1.487	0.803	0.547
最大值	1.324	2.018	1.328	0.890
最小值	1.083	1.501	0.894	0.491
全距	0.241	0.517	0.434	0.381
標準差	0.075	0.359	0.762	0.150

(二) 實驗討論：

- 發射角度為0度時，失速最大高度、失速水平距離、返回的水平距離與穩定度都是87型>88型。
- 86型失速水平距離、返回的水平距離與穩定度，發射角10度>20度。
- 如以競賽考量，在不限制發射角度時，失速水平距離以87型>88型>86型；返回水平距離以87型>86型>88型。
- 競賽考量時，選擇87型發射角0度，可達良好的成效。

子題三：不同發射角對飛機飛行路線的影響

(一) 實驗結果：

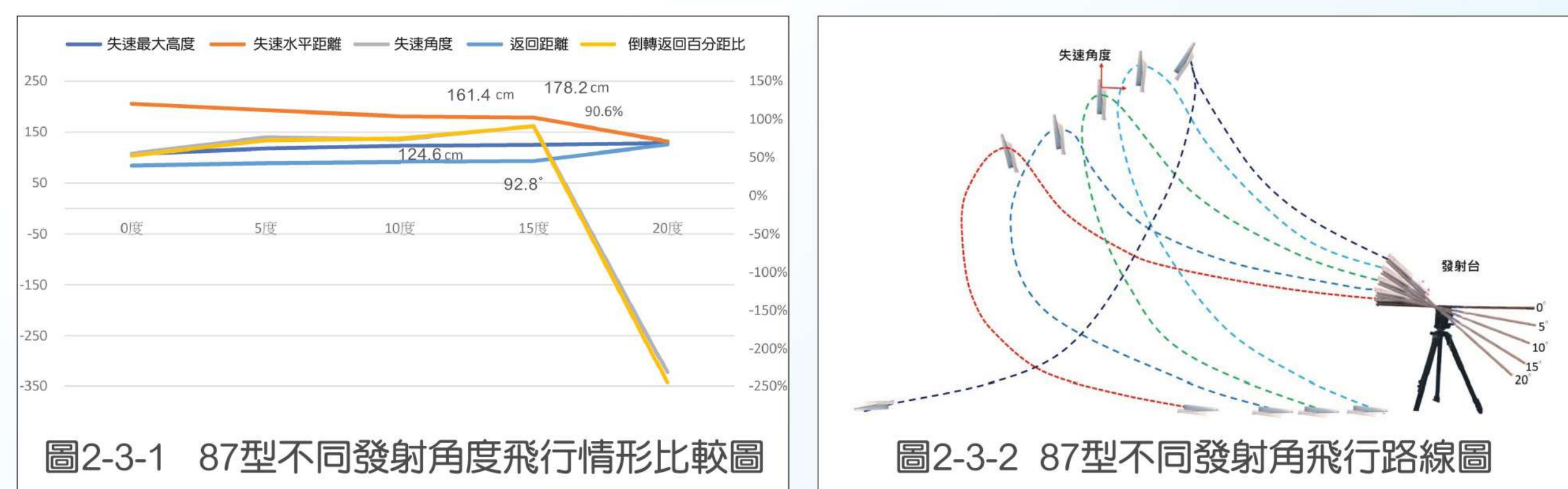


圖2-3-1 87型不同發射角度飛行情形比較圖

圖2-3-2 87型不同發射角飛行路線圖

【定義】：失速角度：飛機達失速最大高度時，機身水平方向與水平線的夾角

(二) 實驗討論：

- 發射角度的越大，有相對縮短趨勢，其餘則是增加。
- 失速角度在接近90°時能夠出現倒轉返回。綜合子題一、二，若想成功倒轉返回時，機型越流線的發射角度應該比寬廣型大。
- 為成功倒轉返回的指標之一。失速角度與發射力量過大可能容易造成飛機出現向後方飛行的狀況。與有所對應。
- 綜合來說，可以透過調整不同的飛行發射角、飛行力量、失速角度等來達到飛行不同路線的要求與目的。

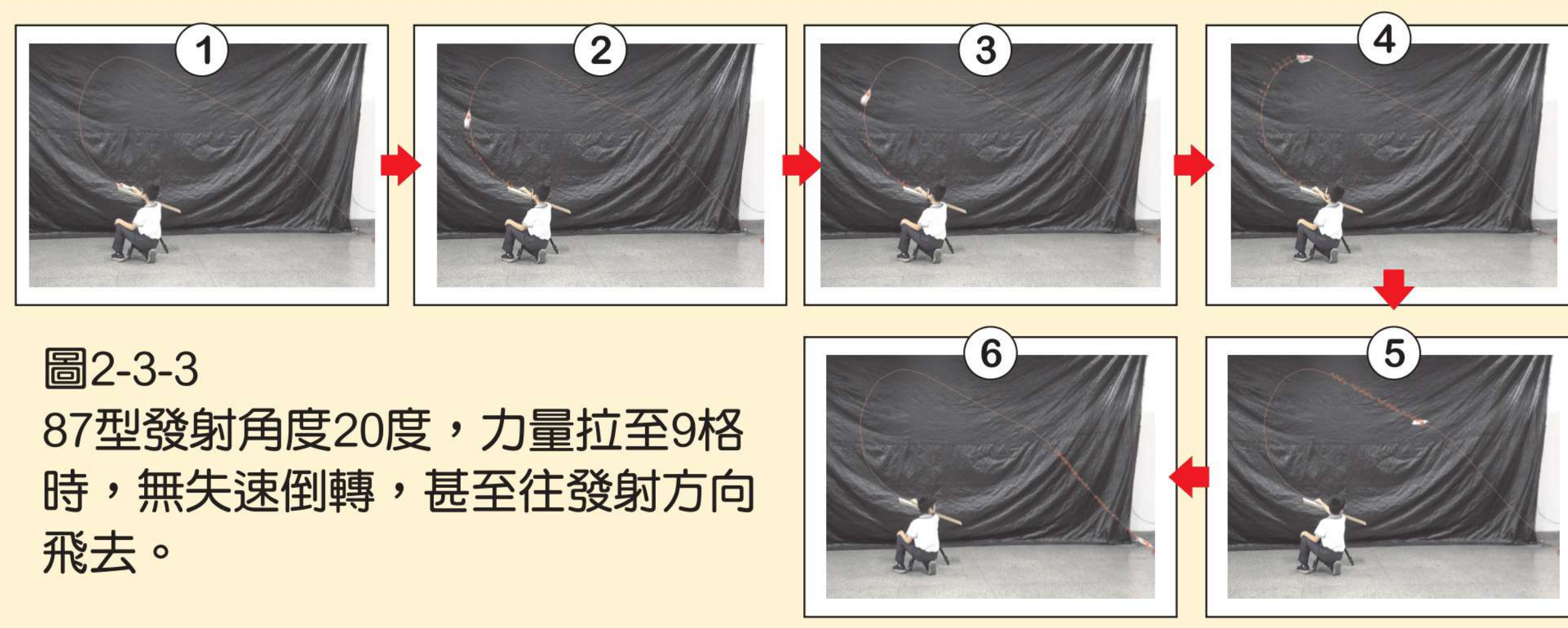


圖2-3-3 87型發射角度20度，力量拉至9格時，無失速倒轉，甚至往發射方向飛去。

研究三、探究不同重心對飛機失速倒轉的影響

子題一：不同機頭重量對飛機失速倒轉的情形

(一)實驗結果

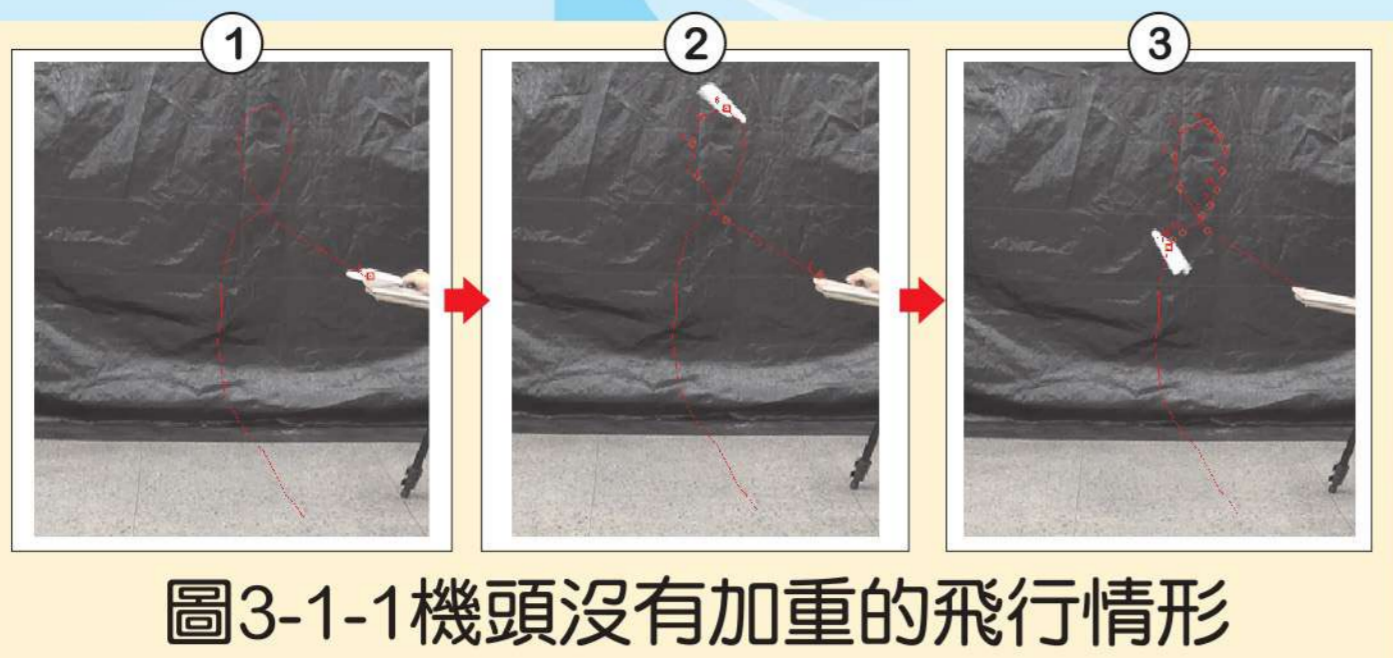


圖3-1-1機頭沒有加重的飛行情形

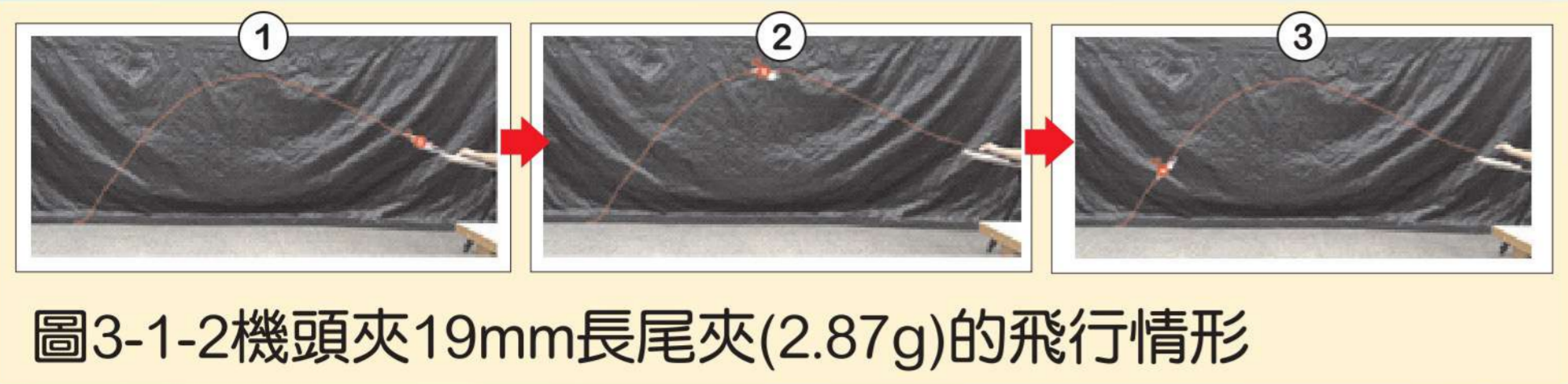


圖3-1-2機頭夾19mm長尾夾(2.87g)的飛行情形

(二)實驗討論

機頭再加重，使得飛機無法持續上升，沒有足夠的上升距離與動力，飛機只能以拋物線模式落下。我們思考，若是移動長尾夾位置，是否能增加成功機率呢？

子題二：移動機頭重物位置對飛機失速倒轉的情形

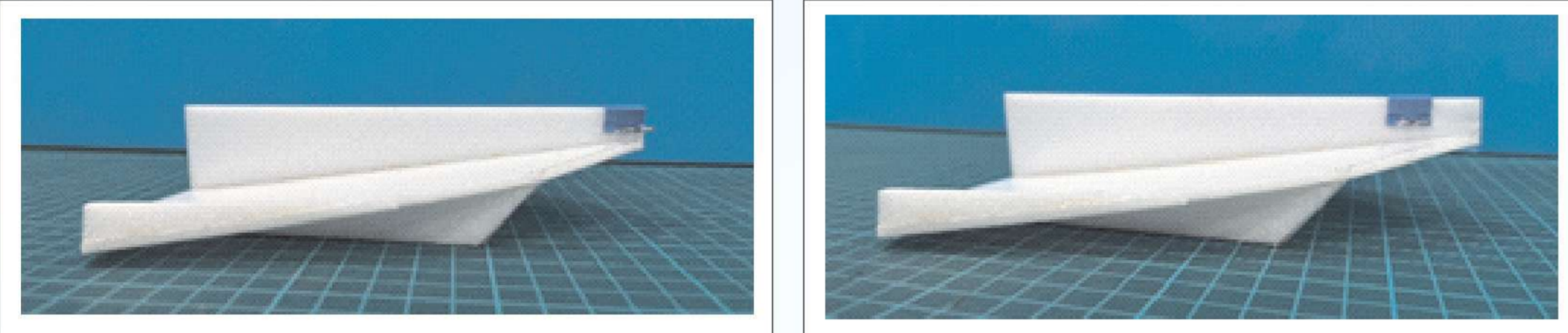


圖3-2-1(a).長尾夾夾在最前端0-13mm處。



圖3-2-1(b).長尾夾夾在往後移一個長尾夾的距離14-26mm處。

(一)實驗結果

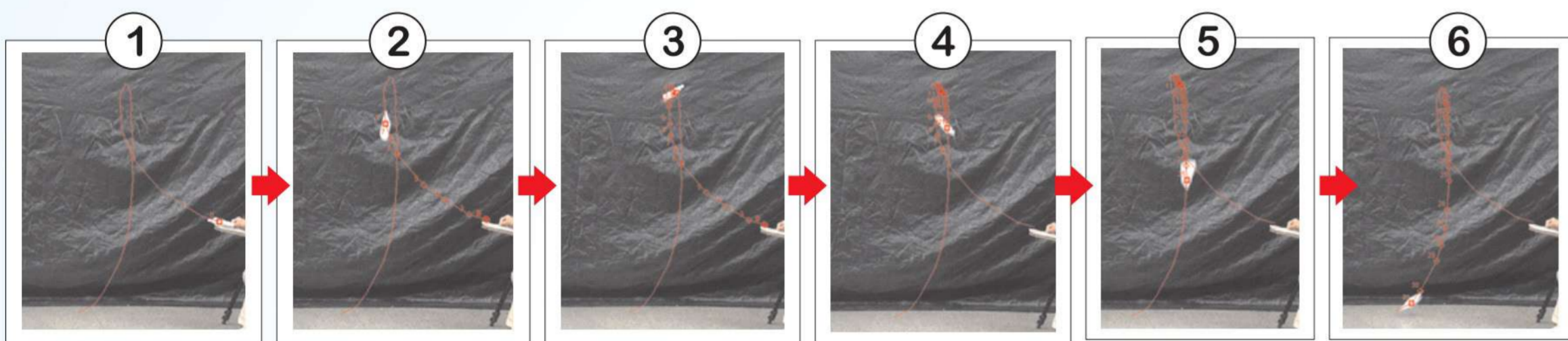
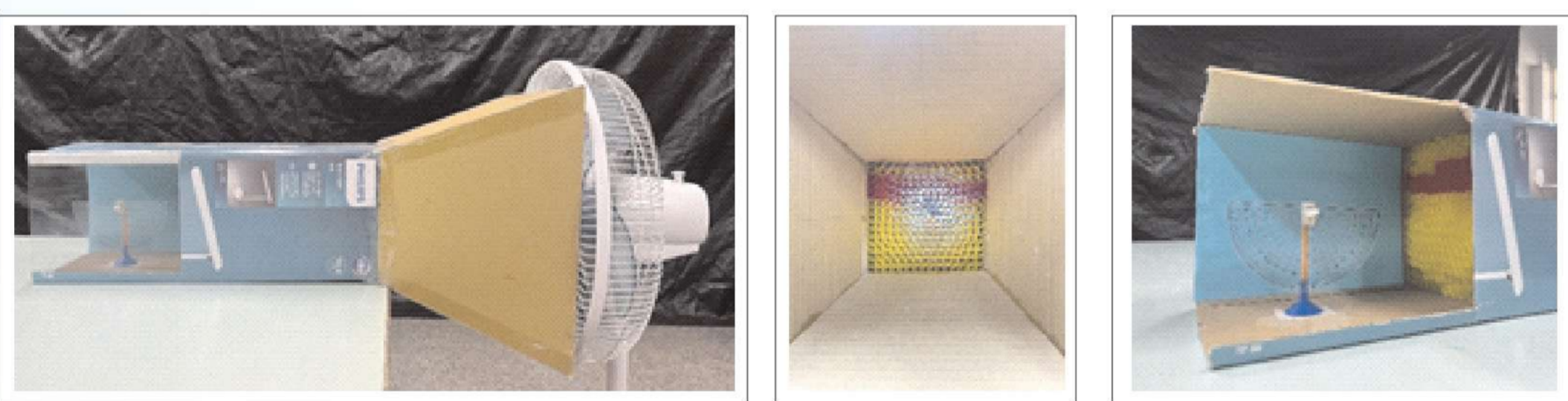


圖3-2-2.機頭往後一個長尾夾距離的飛行情形

(二)實驗討論：

1. 機頭加重位置只能在最前端，才能有失速倒轉再返回的情形。
2. 飛行時飛機的細微的變化不觀察，我們想更精準知道飛機上結構（機翼寬度、翼刀、翼尖小翼）對飛行產生失速倒轉再返回是否有影響？於是自製風洞，做進一步實驗與驗證。

研究四、探究不同氣流對飛行的影響



a. 利用長紙箱做風洞主體 b. 動力段 c. 吸管組合而成的整流區

圖4-1.自製風洞

(一)實驗結果

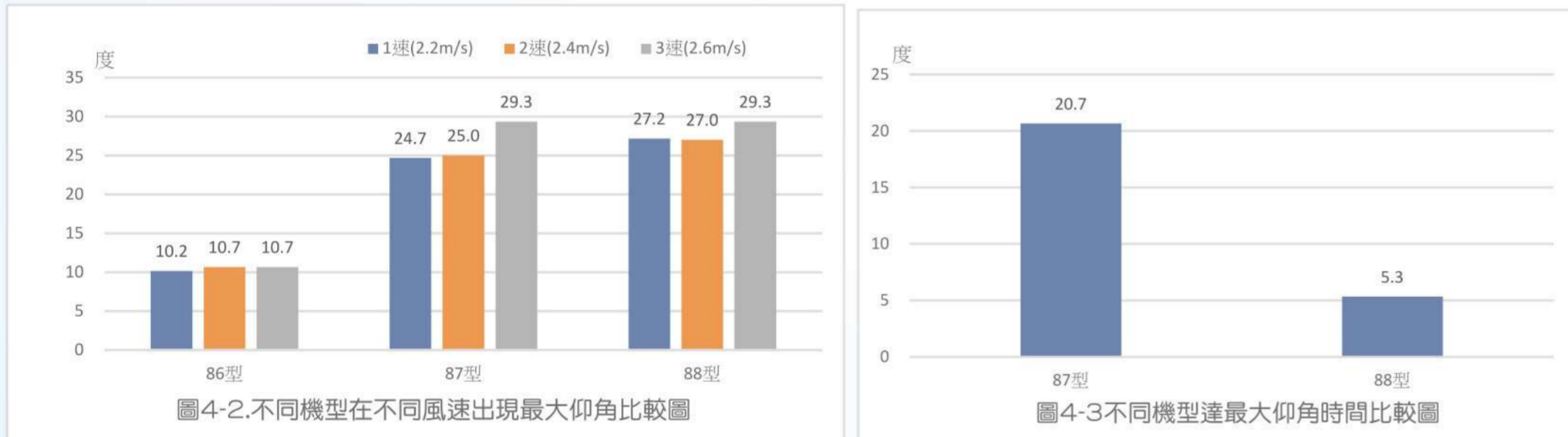


圖4-4(a).86型：風速2.6m/s 最大仰角約10度
圖4-4(b).87型：風速2.6m/s 最大仰角約30度
圖4-4(c).88型：風速2.6m/s 最大仰角約30度

(二)實驗討論

1. 各機型的最大仰角與機型的不同有關。較為流線的86型最大仰角較小。
2. 88型與87型升力較足可達最大仰角較大因此可成功失速倒轉飛行的發射角度都比86型來的小，且87型比88型可能因需較長時間才能達到最大仰角，因此出現較遠的失速水平距離。
3. 以較大風速(風速達3.4m/s)測試。最後可能整個被吹走，機率約66.7%。我們認為機型不同有著最大的上揚角度，但超過某個臨界角度將使得飛機失控，如圖4-5。也可說明【研究二-3】的飛行情形。



圖4-5(a).實驗開始(加大風速達3.4m/s)
圖4-5(b).達最大仰角
圖4-5(c).被吹走

研究五、探究飛機翼刀對飛行的影響

(一)實驗結果：

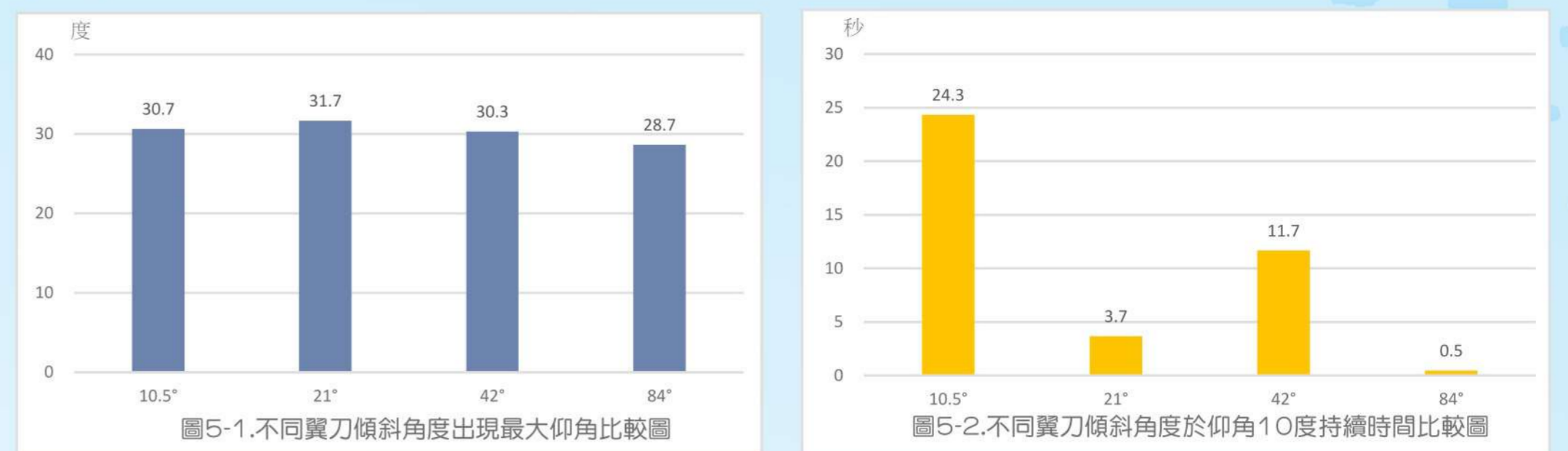


圖5-3.(a) 84° 翼刀持續時間最短
圖5-3.(b) 42° 翼刀持續時間約11.7秒
圖5-3.(c) 21° 翼刀持續時間約3.7秒
圖5-3.(d) 10.5° 翼刀持續時間最長

(二)實驗討論：

1. 飛機最大仰角差異不大，最大仰角的大小主要應與機身形態有關。
2. 傾斜10.5度翼刀在8-10度附近持續時間最久。可能因傾斜10.5度翼刀形狀產生的升力較小，使得出現較長的持續時間。

研究六、探究翼尖小翼對飛行的影響

(一)實驗結果

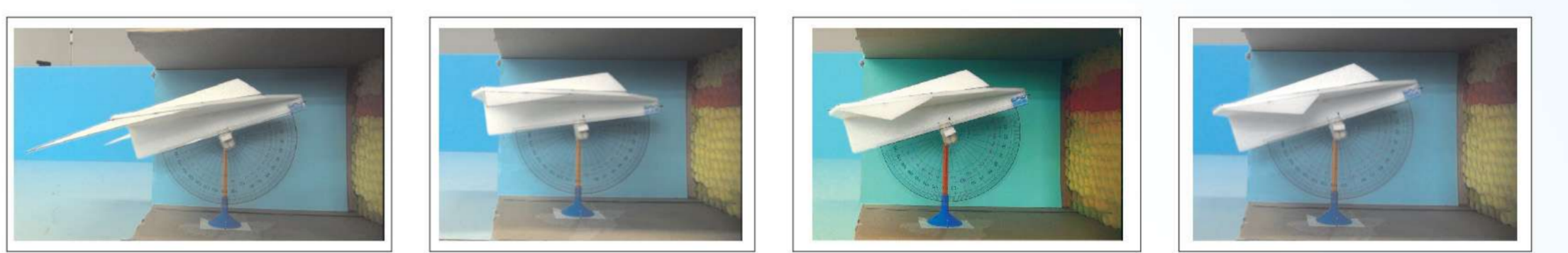
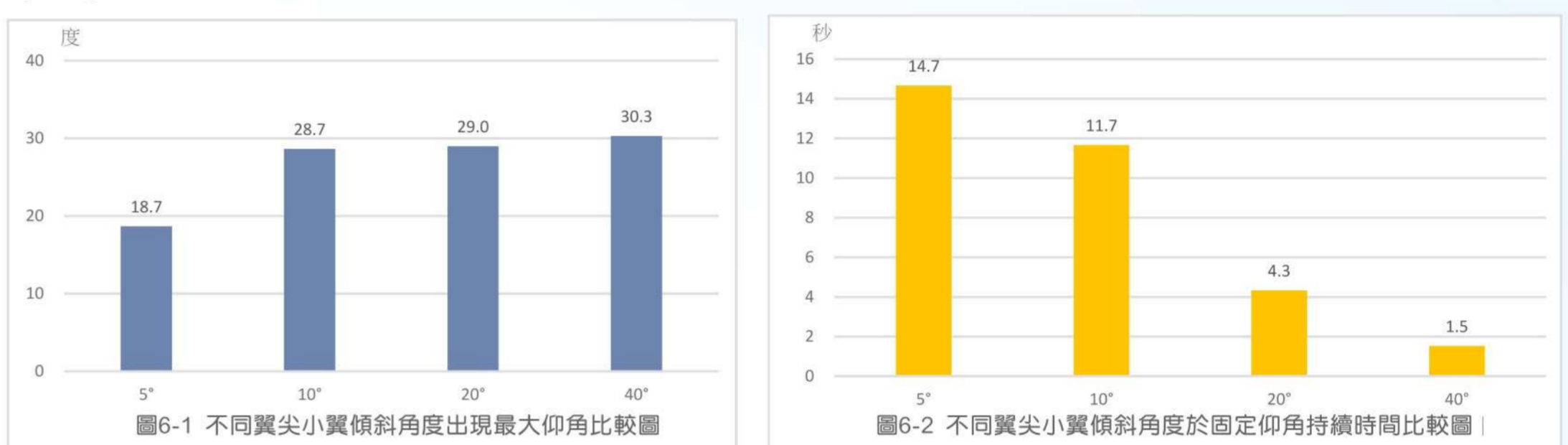


圖6-3.(a) 5° 翼尖小翼持續時間最久，持續角度約20度
圖6-3.(b) 10° 翼尖小翼持續角度為約10度
圖6-3.(c) 20° 翼尖小翼逐漸隨角度增大持續時間變短，持續角度約20度
圖6-3.(d) 40° 翼尖小翼持續時間最短，持續角度約20度

(二)實驗討論

1. 當翼尖小翼角度與形狀變化較大時才會出現明顯不同的最大仰角，推測機型仍是影響仰角大小的主要因素。
2. 傾斜角度越大的翼尖小翼對於機身持續固定仰角時間會縮短。綜合「研究五」與「研究六」，在失速倒轉返回飛行時，當產生的最大仰角越大時，其發射角度應該會越小，而到達最大仰角前的持續時間則可能影響失速水平距離的長短。

肆、研究結論

一、空中失速倒轉實驗：

1. 發射力量0.53kg(第7洞)使88型、87型、86型產生飛行失速倒轉的機率為100%。
2. 在發射角度為0度時，失速最大高度、失速水平距離、返回的水平距離都是87型>88型。
3. 86型失速水平距離以發射角10度>20度；返回水平距離也是發射角10度>20度。
4. 飛機競賽時，在不限發射角度情況下，失速水平距離以87型>88型>86型；返回水平距離以87型>86型>88型。
5. 飛機競賽時，以選擇87型、發射角0度，或是86型、發射角10度的飛機為佳。
6. 機型影響失速倒轉返回成功的最大發射角，且發射角越大，失速最大高度、失速角度、倒轉返回百分比有加大趨勢，而失速水平距離則會縮短。可做為不同飛行目的的操作參考依據。
7. 機頭加重以13mm長尾夾(1.20g)夾在機頭最前面為最佳。

二、自製風洞輔助證明：

1. 88型達最大仰角時間明顯較87型短。機型寬大型可能較容易獲得較大的升力而較快上升。
2. 86型在10度角發射，失速倒轉返回容易成功；88型在30度角發射時，容易向後飛走，不會有失速倒轉返回的情形。
3. 不同翼刀形狀，出現最大仰角大約都在30度左右。推測飛機受風因升力的出現的最大仰角與機身型態比較有相關。
4. 翼尖小翼傾斜10°、20°、40°的最大仰角也都約在30度附近，推測機型仍是影響受風升力產生的仰角的主要因素。
5. 當機身流線型時可以提高發射角度與發射的水平位置高度來做為飛行的修正方向。而寬廣型則以水平位置高度，延長升力最大值達到時間為主。

伍、未來研究(請參閱報告書)

陸、參考資料(請參閱報告書)