

新北市 112 學年度埔墘國民小學一般智能資優生獨立研究

投稿類別：自然類

篇名：

兩翅弦音提不住 蘇珊已過萬重山

作者：

張丞甫。新北市埔墘國民小學。六年 10 班。

周文翊。新北市埔墘國民小學。六年 9 班。

林鈺曜。新北市埔墘國民小學。六年 9 班。

指導老師：

林伯軒老師

中華民國 112 年 12 月

摘要

我們的實驗主要為探討影響蘇珊紙飛機飛行距離的因素，因為四年級時上過紙迴力鏢的相關課程，並且對其原理感到好奇，發現它與紙飛機都有利用到伯努利定律及康達效應，所以就開始著手研究紙飛機，我們採用「展弦比」這個變因，展弦比分為翼緣剪剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm 及平行剪剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm，方便觀察滯空時間和飛行距離。為了使實驗有參考和研究的價值，我們需要在無風的地方發射紙飛機，並且為了避免人為發射造成實驗誤差，我們參考大坪國小的光碟發射器，用變速馬達及光碟，自製出了製能精準控制發射力道與發射角度的發射器。

壹、前言

一、研究動機

因為我們之前上過紙迴力鏢，好奇為什麼紙迴力鏢丟出去又會飛回來，因而上網查詢，追本溯源，發現其原理是伯努力定律及康達效應。同時我們發現紙飛機的飛行原理和伯努力定律及康達效應有關。我們發現這些原理在生活上都有許多的運用，像是投手的變化球和伸卡球都有伯努力定律的影子，飛機、火車也都會用到康達效應，接著我們去網上搜尋瀏覽關於紙飛機的資料，才了解機翼形狀的不同，對產生升力的大小也會不一樣，而且還有其他變因也影響飛機的飛行運動，例如：機型、材質和大小……等，所以我們開始研究紙飛機，希望能研發出飛最遠的紙飛機。

二、研究目的

- (一)比較各種不同紙飛機的飛行構造及飛行方式。
- (二)設計能精準控制力度來發射紙飛機的發射器。
- (三)了解並比較不同展弦比運用在飛機改良的實驗裡。
- (四)探討不同展弦比剪裁方式對飛行造成的影響。

貳、文獻探討

一、紙飛機發射機探索及討論

我們的實驗為了做出飛很遠的紙飛機，需要一個精準的發射器來觀察改變變因後的結果。網路上有很多紙飛機發射器的教學，其中有簡易發射器和橡皮筋發射器。橡皮筋發射器是利用橡皮筋把紙飛機發射出去，推進力足夠，且容易觀察變因；而簡易發射器是利用手動發射，較為不精準。在紙飛機發射器中十分要求固定發射這項控制變因，除了發射動力來源外，也包括控制的角度及高度，因此我們決定自己用智高和 SAMlabs 做出發射器，但發射器無法控制角度，所以在下面增加了底板和支架方便固定角度，每往前一格就會改變固定的角度。但 SAMlabs 裡的馬達推進力不足，所以我們又做用變速馬達加指尖陀螺的發射器，可是後來發現摩擦力不夠，

在多次的比較後如下表 1，我們決定改用變速馬達加光碟。

表 1 發射器優缺點比較表

	優點	缺點	評估和結論
簡易發射器	材料少可大量製造。	要把發射器放在手上，可能會導致誤差。	誤差較於其他三種太大，不採用此發射器。
橡皮筋發射器	飛的遠可方便觀察。	無法直線射出，會有誤差，而且還容易造成紙飛機壞。	紙飛機會往旁邊飛，觀測不方便，不採用此發射器。
SAMlabs 發射器	可固定角度和方向。	推進力不夠發射出後會垂直掉落。	垂直掉落導致無發觀測，不採用此發射器。
指尖陀螺發射器	可固定方向和角度。	摩擦力不足，無法飛行。	推進力不足，不採用此發射器。
光碟發射器	結構堅固，力道足夠。	無	推進力足夠，採用此發射器。

二、影響紙飛機飛行可能之因素

根據「我的紙飛機會轉彎。紙飛機迴旋飛行之探究～」實驗中是使用平頭紙飛機，在測試中觀察紙飛機與地面的哪種角度迴旋效果最好，且當飛機以垂直角度射出時，成功率會比斜角 20-45 度射出更高。這項變因給了我們靈感，我們想試試哪種角度射出的紙飛機能飛較遠，也更容易進行觀測。

根據「飛得高?飛得遠?」這篇研究內容，我們知道與本實驗影響最大的變因是機身材質，實驗中觀測到厚紙不容易受到風的影響，且可以較穩定的飛行，而過輕的紙飛機飛行方向極不穩定，造成飛行距離過短。我們參考後發現與本實驗使用紙飛機機型與之不同，再加上在實驗中他們是用手來做推進，可能較為不完整，因此我們決定把蘇珊紙飛機套用不同材質，在使用發射器飛行，進行比較並探討飛行距離和材質的關係。

參考「突「飛」猛「機」－蘇珊娜紙飛機的改造研究」實驗中因為想要得知改造後的蘇珊紙飛機是否有辦法飛的比為改造蘇珊紙飛機遠，所以對蘇珊紙飛機的重心位置、不同材質、不同發射器等……進行改造，但發現無法飛的比較遠。

「我的紙飛機會轉彎。紙飛機迴旋飛行之探究～」和「飛得高?飛得遠?」兩篇小論文的缺點是都沒有使用發射器讓實驗變精確，因此在本實驗增加了可以改變角度的發射器。

「突「飛」猛「機」－蘇珊娜紙飛機的改造研究」的缺點則是變因不夠，故將展弦比之改變加入此研究。將此三篇實驗的缺點予以修正及優化，讓本實驗更具有參考價值，整理如表 2 重點整理。

表 2 參考資料重點整理

	研究焦點	參考作品結論	討論	實驗具體應用
我的紙飛機會轉彎。紙飛機迴旋飛行之探究～	此研究主要探討投射時，改變其結構，對平頭飛機迴旋的影響。希望能從過程中瞭解這些因素對紙飛機迴旋飛行在迴旋半徑以及成功率的影響及關係。	使用平頭紙飛機，並測試紙飛機與地面的角度在哪種角度下的迴旋效果最好，而結論是當飛機以垂直角度射出時，成功率會比斜角 20-45 度射出較高。	從實驗中得到靈感，想測試哪一種角度射出的紙飛機能飛較遠。	製作可以控制角度的紙飛機發射器，測試蘇珊紙飛機在哪種角度飛最遠。
飛得高?飛得遠?	改變五種不同折法的紙飛機的紙材，並記錄紙飛機的飛行狀況。找出可以飛行得最遠與最久的紙飛機。	較厚的紙材不容易受到風的影響，可以較穩定的飛行，而太輕的紙飛機的飛行方向不穩定，因此不容易飛得遠。	本研究紙材較少，且與我們實驗中的紙飛機不相同，在實驗中使用手來做發射，會有誤差，因此我們決定把蘇珊紙飛機套用更多種紙質，並使用發射器發射，進行比較並探討飛行距離和紙質的關係。	把不同紙材的蘇珊紙飛機放在發射器進行發射，並測量距離。
突「飛」猛「機」－蘇珊娜紙飛機的改造研究	蒐集能讓紙飛機飛更遠的變因，並套用蘇珊紙飛機，看看是不是能讓蘇珊紙飛機飛得更遠。	綜合所有最好變因改造的蘇珊娜紙飛機，使用手擲平均飛行距離遠遠遜於完全無改造的蘇珊娜紙飛機，差異十分大，但使用機器發射時，平均飛行距離只比完全無改造的蘇珊紙飛機略遠，差異不大。	實驗中無加入改變展弦比的變因，且加入這些變因後可能導致實驗結論不同。	在實驗中加入有關機翼展弦比的變因測試加入後是否與此研究結果相同。

三、飛機飛行原理探索及討論

在許多與流體相關的現象與物理演示中，最常被使用來解釋的定理就是白努力定理；常見的實例包含：「乒乓球的漂浮」、「變化球」、「紙片相吸」、及「飛機飛行」（取自張慧貞 2016 白努力定理的誤解與錯誤應用－觀念物理），但此時我們發現了另一個原理－康達效應，經由原理上的比較，會發現飛機飛行的原理與伯努力原理較不相關，而與「附壁效應」關係最大，也就是康達效應整理分析如下表 3。

表 3 飛行原理比較

原理名稱	原理說明	例子
伯努力原理	當流體流速越大時，產生的壓力就越小；而流速越小時，產生的壓力就越大。(五分鐘了解白努力定律)	伸卡球、變化球
康達效應	流動中的物質，都會有依附接觸面的傾向，可用牛頓第三定律來解釋：因為接觸面改變接觸物質的方向（作用力），接觸面亦同時被拉向接觸物質（反作用力）。這種現象稱為康達效應（飛機飛行原理 2.3、牛頓第三運動定律與康達效應 Coanda Effect）。	短距起落飛機、飛機飛行

四、常見紙飛機種類、材質及飛行原理

為了了解哪種紙飛機哪個會飛的又直又遠，要從四種類型的飛機中找出最適合的蘇珊紙飛機、迴旋紙飛機、蝙蝠機、標準機如下表 4 統一整理。我們還比較了紙飛機構造、飛行方式和材質如下圖表 5 表 6，最後發現蘇珊紙飛機符合實驗需求，方便觀察變因，所以決定採用此紙飛機。

表 4 紙飛機飛行原理文獻比較

參考文獻	研究焦點
我的飛機會轉彎～紙飛機迴旋飛行之探究	本實驗主要採用迴旋紙飛機，探討投射時，改變其結構，對紙飛機迴旋的影響，希望能從過程中瞭解這些因素對紙飛機迴旋飛行在不同迴旋半徑對於成功率的影响。
突「飛」猛「機」－蘇珊娜紙飛機的改造研究	本實驗主要採用蘇珊紙飛機，探討紙飛機類型、重量、材質等 6 種不同的變因中，找出最佳實驗結果，套用在蘇珊紙飛機上，希望能做出比未改良蘇珊紙飛機，還飛的更遠的紙飛機。
發射吧！紙飛機！	本實驗主要採用標準機型，探討不同的飛機款式。進行直線飛行測試，希望能找出飛行得最穩定、最遠的紙飛機。然後再進行改良，找出不同的機型影響飛行的軌跡及距離的原因，並了解空氣流動及飛行距離之間的關係。

表 5 紙飛機構造及飛行方式

		迴旋紙飛機	蝙蝠紙飛機	蘇珊紙飛機	標準紙飛機
飛行方式	滑翔	✓	✓	✓	✓
	非滑翔				
飛行路徑	轉彎	✓	✓		
	直飛			✓	✓
飛行距離	長	✓		✓	
	短		✓		✓
機頭類型	平頭		✓		
	尖頭	✓		✓	✓
機翼擺動	擺動		✓		
	不動	✓		✓	✓
機翼大小	大			✓	✓
	小	✓	✓		
機翼摺法	摺	✓	✓		
	不摺			✓	✓
尾翼摺法	摺		✓		
	不摺	✓		✓	✓

表 6 紙飛機材質

	紙張		膠帶		機身大小	
	單張	複數張	貼	不貼	大	小
迴旋紙飛機	✓			✓	✓	
蝙蝠紙飛機	✓			✓	✓	
蘇珊紙飛機	✓		✓			✓
標準機	✓			✓		✓

在測試的過程中我們做了如下表 7，發現四架不同紙飛機在飛行上有著不同的表現，迴旋機會轉彎使它的飛行距離難以精準測量；蝙蝠機飛出去的飛行距離差隨著他的機翼拍動對距離影響難以控制；標準紙飛機在飛的時候，標準機在飛的時候，因機頭較小，導致氣流不穩定，使它飛行距離較短，再加上其他文獻使用標準紙飛機較頻繁，所以我們覺得用本機意義較不明顯；蘇珊紙飛機之前在金氏紀錄有 69.14 公尺，飛的時候又直又遠，所以挑選與本實驗的實驗目最符合的蘇珊紙飛機。

表 7 紙飛機機型及飛行原理

	特點
迴旋紙飛機	飛行時，機翼的升降舵會產生後仰的力量，使機頭過度上揚，因向心力而轉向飛回，且機身是傾斜的。
蝙蝠紙飛機	飛行時，翅翼會下擺動，形成渦旋，並利用氣流的反作用力產生上推的力量。
蘇珊紙飛機	飛行時，機身會先向斜上方飛行，接著向下滑行。機翼有一個特點，就是翼尾會微微上揚，使它產生升力，如果機身的頭部及中段部分黏有膠帶，能使其重心更加平穩。
標準紙飛機	機頭呈尖型，當空氣經由機頭的部分（空間小）流至機身（空間小）時氣流變得不穩定，機重量集中在機頭部分，飛行時會向下偏較快著地；機翼較窄，沒法增加向下的空氣阻力，同樣會造成較快著地。

五、光滑度定義及方法設計之探索及討論

根據「魔力！摩力的考驗-紙類摩擦力之探究」實驗中為了了解不同材質紙張在相同重量與斜坡下摩擦力的差異，將不同材質的紙黏貼在木塊下，測試從斜坡下的時間來判定哪種材質的紙摩擦力最大，而我們從這項變因中想出了測試光滑度的設計，利用和地面夾角 30 度角的斜坡，讓玩具車停在斜坡上面，看玩具車加重幾公克後，車的重力會大於紙的摩擦力，如果加重的公克愈重，就代表該紙摩擦力越大。綜合上述討論整理如下表 8 為設計比較。

表 8 光滑度設計比較

	光滑度設計比較
魔力！摩力的考驗-紙類摩擦力之探究	實驗中把不同材質的紙張黏貼在木塊底面至邊緣上。將木板角度調整好角度之後，把木塊放置在木板上方，讓它自動滑下，並測量木塊下滑到木板底部所需要的時間，反複測量十次，再算平均時間。
本實驗	實驗中我們要先用智高積木做出十五度角的斜坡，將紙黏貼在斜坡，把玩具車放上斜坡，看玩具車加重幾公克後，車子才會移動，就等於車和紙之間的摩擦力會大於最大靜摩擦力。

六、展弦比之探索與討論

經過瀏覽後，發現機翼的翼展平方與機翼翼面積的比值，叫做「展弦比」。圖一中的 AR 為展弦比，b 為翼展長度，S 為翼面積。如果將 S 固定，改變 b 的大小，展弦比的值也會改變。

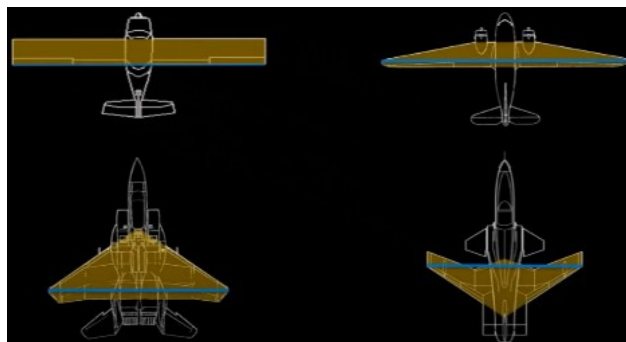
例如：將機翼長設為 10cm，寬設為 2cm，其展弦比是 5。若將機翼長設為 20cm，寬設為 1cm，展弦比是 20。比起展弦比是 5 的機翼，展弦比是 20 的屬於大展弦比；相反來說比起展弦比是 20 的機翼，展弦比是 5 屬於小展弦比。在實際運用上，小展弦比翅膀小，風阻小，較適合快速飛行，而大展弦比因機翅寬大能被風托起來，適合長時間滯空、滑行，所以我們要研究出到底哪種展弦比能飛較遠。

展弦比的設計也會關係到飛行器的性能，短而寬的機翼（小展弦比）誘導阻力較大，適合高速物體，像是戰機的機翼。長而窄的機翼（大展弦比）適合長時間高度滯空，像是信天翁的翅膀，如下圖二。

深入探討後，我們發現改變展弦比對飛行有很大的影響，因此我們想改變展弦比再加上其他變因，試著做出簡單上手且非很遠的紙飛機。

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

圖一展弦比之解釋與探討



圖二展弦比示意

參、研究設備與器材

一、研究器材與用途

表 9 研究其材與用途

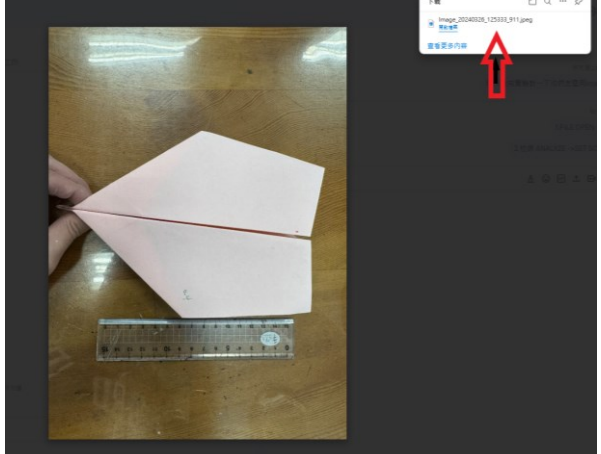
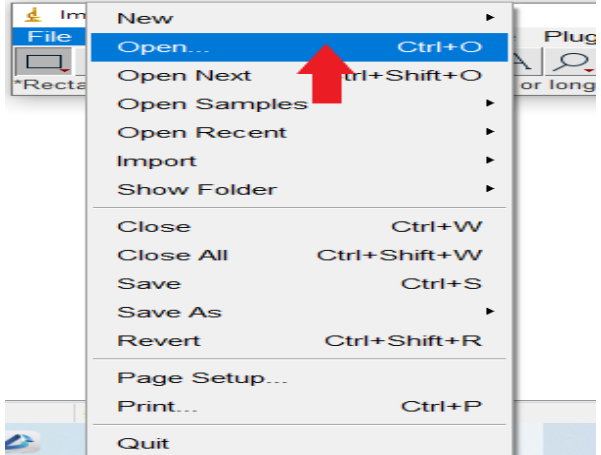
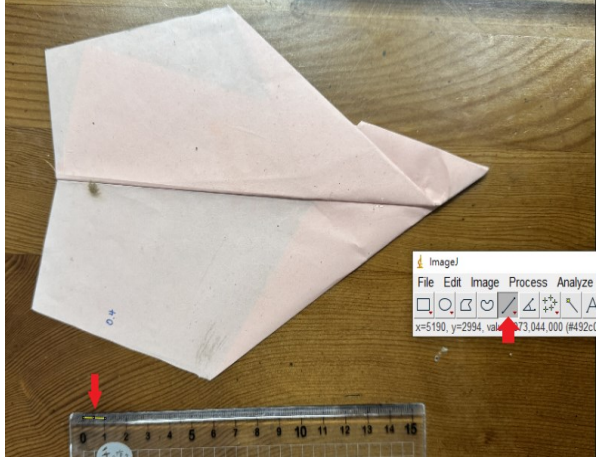
圖示				
名稱	冰棒棍	統計紀錄表	各類紙材	手機
用途	製作發射器骨架	統計實驗結果	得知哪種材質飛最遠	拍照記錄實驗

圖示				
名稱	變速馬達	光碟片	個人電腦	電池座
用途	給予指尖陀螺動力	受馬達帶動，將紙飛機發射出去	用來查詢文獻、製作書面及使用測量軟體	用來發動馬達

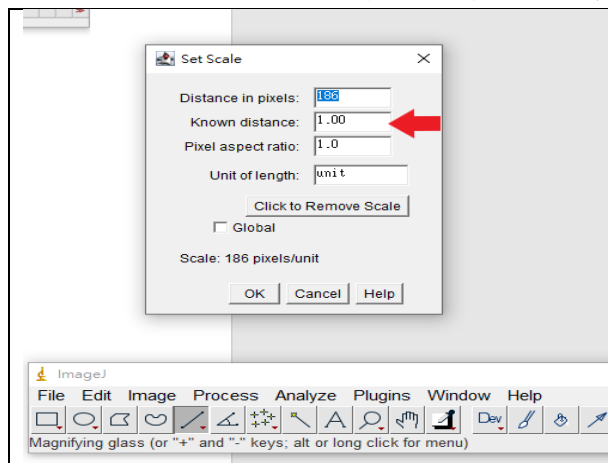
二、imageJ

我們為了讓計算上更加精準及客觀，並減少人為操縱紀錄上的誤差，我們先是使用了人為紀錄。發現了在計算展弦比上計算面積上過於困難且不精準，於是上網搜尋和查看文獻，發現 imageJ 這個軟體較常用於計算圖像中的各項訊息，如比例、長度及面積，最後在實際操作後發現與我們的需求相符，於是決定使用它並將操作紀錄餘下表中。

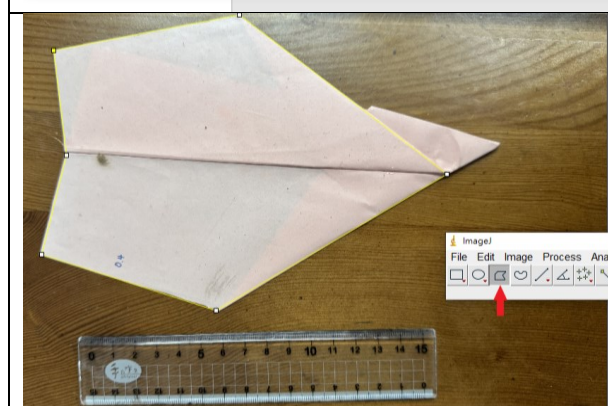
表 10 imageJ 使用方法

imageJ 使用步驟圖	使用方法與解釋
	先將需要的圖片下載下來。
	點擊 FileOpen 之後選擇要測量的圖片，且圖片中必須要有尺，以使用比例尺測量數據。
	點擊比例尺之後，把黃色線條移動到尺的刻度上，並打上正確公分數。

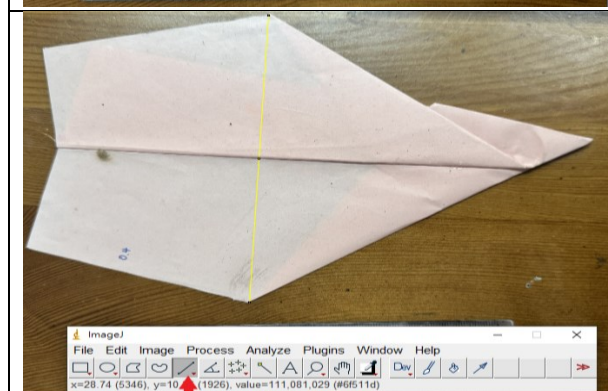
探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響



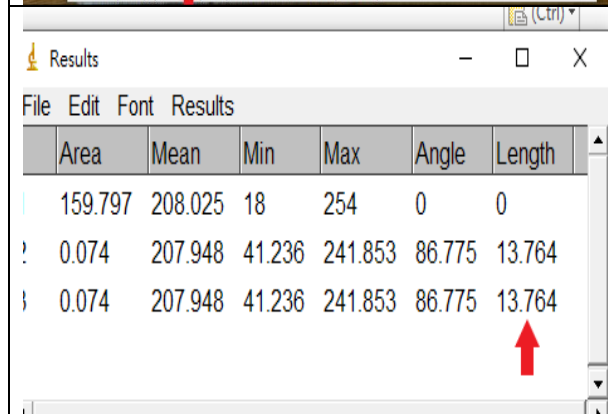
點擊 Analyze→Set Scale 調整，跑出對話框在第一格輸入長度。



點擊刮取面積範圍的功能，並刮取機翼面積
點擊 Analyze→Measure 得知面積大小。



點擊比例尺測量機翼間距。

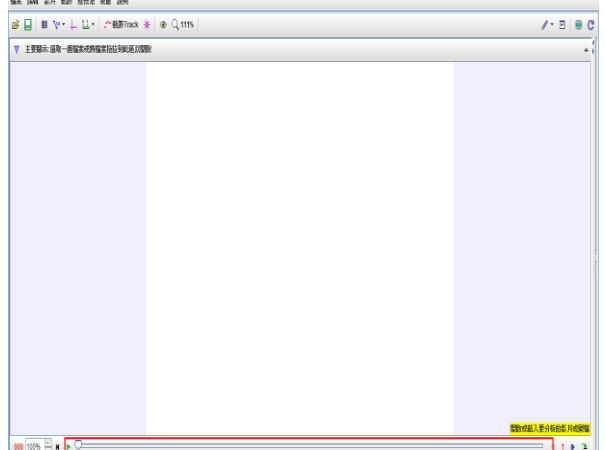
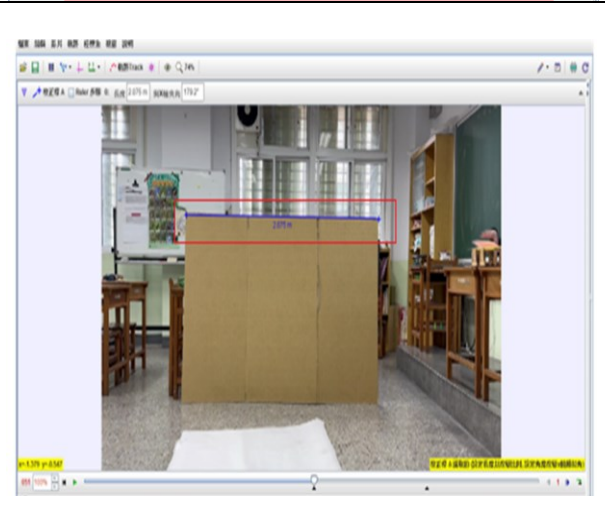
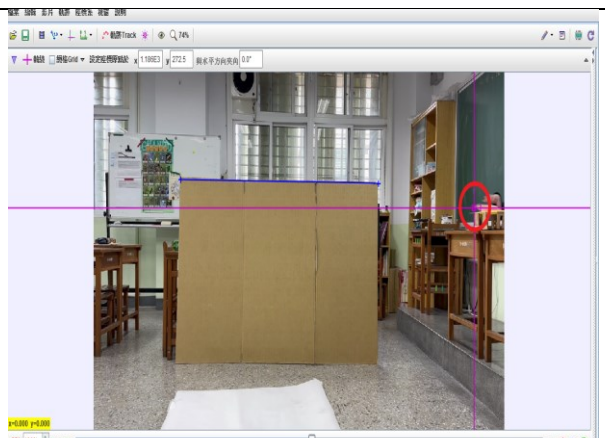


點擊 Analyze→Measure 得知面積，依據面積和機翼寬度得知展弦比。

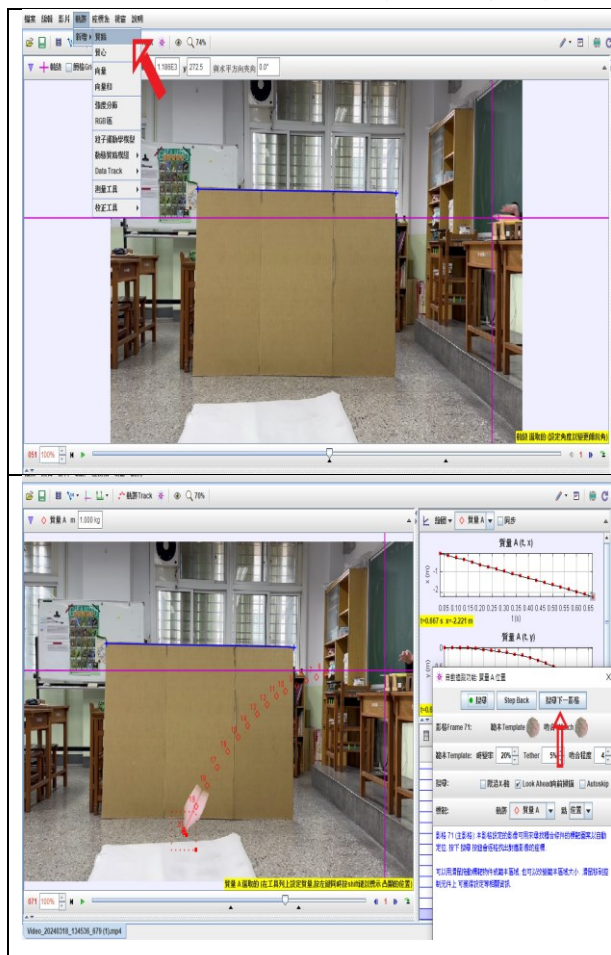
三、tracker

我們為了要了解紙飛機的飛行軌跡以及實驗結果所需要的滯空時間和飛行距離，於是上網查詢有甚麼方法可以記錄物體的移動軌跡。發現 tracker 這個軟體可以把影片中待測物的位置加以標示，然後利用程式做出位置、速度和時間的關係圖並加以分析中的各項訊息，最後在實際操作後發現與我們的需求相符，於是決定使用它並將操作紀錄餘下表中。

表 11 tracker 使用方法

圖片	使用方法與解釋
	先點擊左上角的影片按鈕後導入影片，並且拖動紅框內的時間軸調整要的片段。
	點擊左上角比例尺，再點擊校正桿後拖移在實物上後，打上真實的單位長度來當作程式判定的基準。
	點擊左上角座標軸，並且將中心點放在發射器的發射口，方便測量紙飛機高低。

探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響



點擊軌跡→新增→質點，再點擊質點 A→自動追蹤軌跡，長按 Ctrl+Shift 後點擊要測量的物體，用來偵測飛行軌跡。

點擊尋找下一個影格直到飛機落地後，就可以獲得統計圖了。

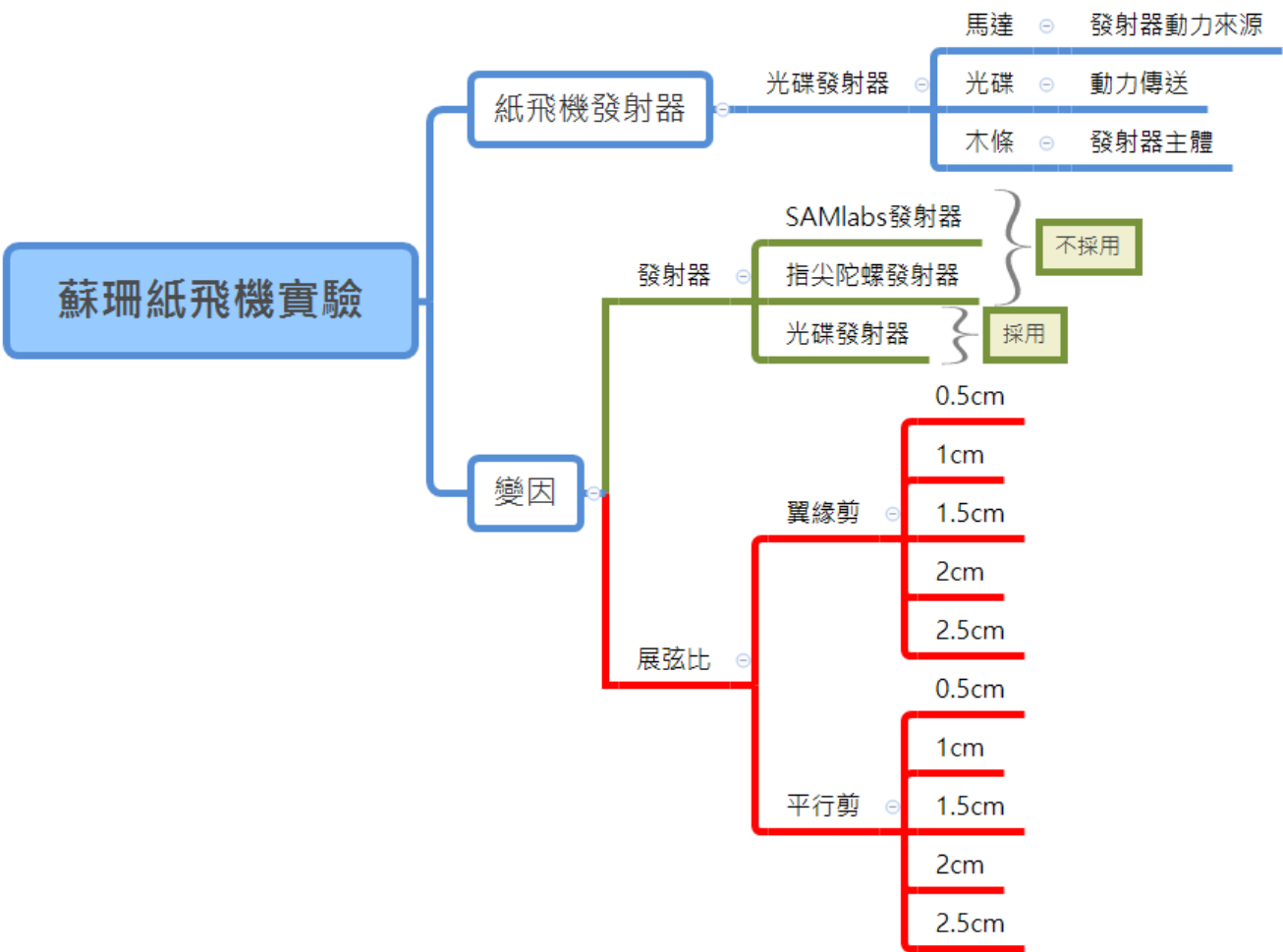
肆、研究流程

我們實驗的整個流程是先決定好主題後，收集各方資料，並且決定我們的研究目的。透過許多文獻的探索與討論後，發現了一個完整的實驗需要發射器、紙飛機，還知道紙飛機上面可以分成機翼、機身、機頭....等不同構造。為了完成我們研究目的，我們需要設計實驗及製作較精準的發射器。經過試飛後，我們發現網路上的各種發射器都有一些缺點，所以我們決定參考大坪國小的發射器，自製了一台光碟發射器，接著我們查詢了紙飛機的各項變因，有展弦比、紙質、重心等不同變因。為了定義紙的光滑度，我們設計出了一套測試方法，並且準備了各種材質的紙。然後我們開始將變因套用在紙飛機上，並試著飛行，再將過程記錄在統計紀錄表。



圖三研究步驟示意圖

伍、研究架構



圖四研究架構圖

陸、研究方法

一、實驗方法 1：探討各紙飛機發射器對紙飛機飛行之影響

- (一)做出 SAMlabs 發射器、指尖陀螺發射器和光碟發射器。
- (二)在無風的高處進行試飛。
- (三)得出各類紙飛機發射結果後，對發射器逕行比較如下表 12 並進行改良。
- (四)查看文獻後，自製不會讓紙飛機垂直掉落的光碟發射器。

表 12 發射器比較

	SAMlabs 發射器	指尖陀螺發射器	光碟發射器
控制變因	無風環境、高度、角度和動力來源(馬達)		
操作變因	樂高積木(輪胎)	指尖陀螺邊緣黏泡棉膠	光碟邊緣黏泡棉膠
應變變因	飛行距離短且飛出去時較容易垂直落下	發射時距離短且有時發射不出去	飛行距離遠、滯空時間長和飛行狀況穩定

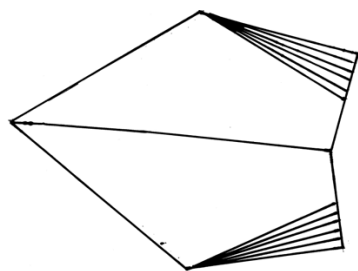
二、實驗方法 2：探討不同機翼展弦比對飛機飛行距離之影響

實驗方法 2-1：探討原版紙飛機展弦比對飛機飛行距離之影響

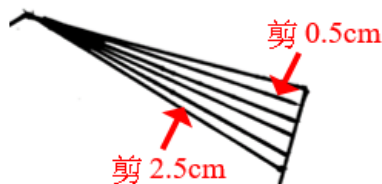
- (一)用 imagej 測量原版蘇珊紙飛機展弦比及翼展。
- (二)我們想測量原版紙飛機當對照組，比較不同大小展弦比對飛行距離的影響。發射五次紙飛機並用 tracker 分析結果。

實驗方法 2-2：探討翼緣剪(剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm)的展弦比對飛機飛行距離之影響

- (一)剪出五個不同紙飛機尾翼長，分別為剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm。
- (二)測量五次五種尾翼長的飛行距離和滯空時間，再算平均。
- (三)接著算出五種尾翼長的展弦比
- (四)探討五種尾翼長紙飛機的飛行距離和展弦比之間的關係。
- (五)我們的翼緣剪由機緣剪出三角形到機翼最寬處，使其機翼面積改變，但翼展不變。推測展弦比越大，對飛行距離和時間之間的關係，再做實驗討論。

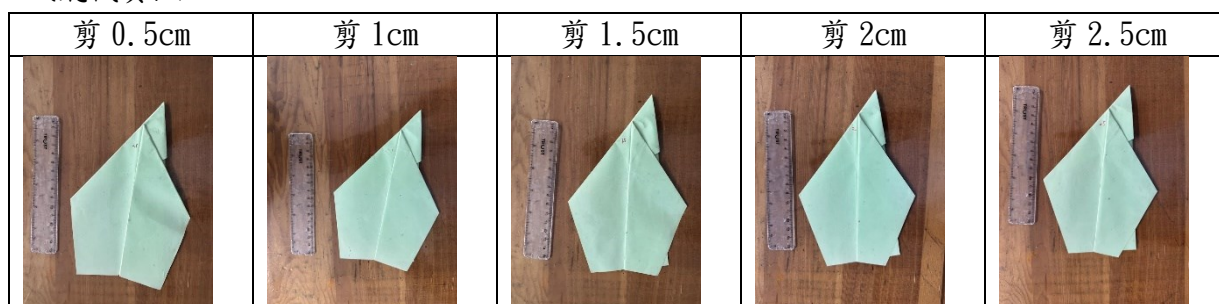


圖五翼緣剪



圖六翼緣剪局部放大

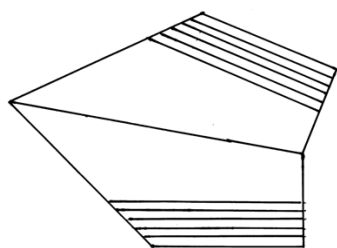
表 13 紙飛機實照



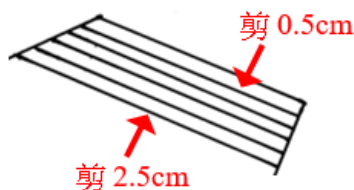
實驗方法 2-3：探討平行剪(剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm)的展弦比對飛機飛行距離之影響

- (一)剪出五個不同紙飛機尾翼長，分別為剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm。
- (二)測量五次五種尾翼長的飛行距離和滯空時間，再算平均。
- (三)接著算出五種不同紙飛機的展弦比
- (四)探討五種尾翼長紙飛機的飛行距離和展弦比之間的關係。
- (五)推測展弦比越大或越小，對飛行距離和時間之間的關係，再做實驗討論。

我們的平行剪是由機緣剪出梯形到機翼最寬處，使其機翼面積改變，但機翼形狀不變。

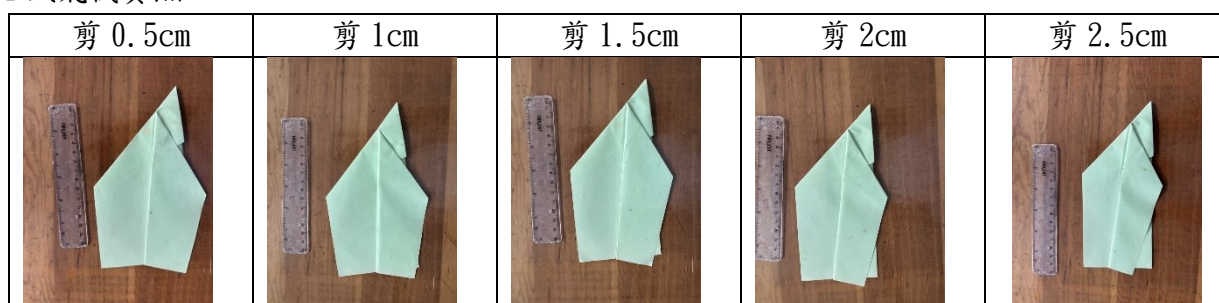


圖七平行剪



圖八平行剪局部放大

表 14 紙飛機實照



柒、研究分析與結果

一、實驗一：探討各紙飛機發射器對紙飛機飛行之影響

一開始，我們想要就近取材，所以拿了教室裡的 SAMlabs 積木做成 SAMlabs 發射器，我們發現雖然它可以控制角度，可是發射力道完全不夠。所以我們想要改用力道足夠的橡皮筋發射器，不過它無法精準控制方向，要花很多時間才能測量。

我們也有使用網上推薦指尖陀螺發射器，但摩擦力不夠導致空轉，所以我們把指尖陀螺改成光碟片，改善了前一版的缺點，也能有力道的飛行和發射誤差較小，所以我們決定使用此發射器。

二、實驗二：探討不同機翼展弦比對飛機飛行距離之影響

實驗方法二之一：探討原版紙飛機展弦比對飛機飛行距離和滯空時間之影響

表 15 飛行結果

	展弦比(機翼寬平方/機翼面積)	飛行距離(m)	滯空時間(s)
第一次	1.1852	*3.083m	*0.867s
第二次	1.1852	2.402m	0.633s
第三次	1.1852	2.349m	0.567s
第四次	1.1852	*1.807m	0.533s
第五次	1.1852	2.546m	*0.400s
第六次	1.1852	2.552m	0.666s
平均		2.4565m	0.6125s

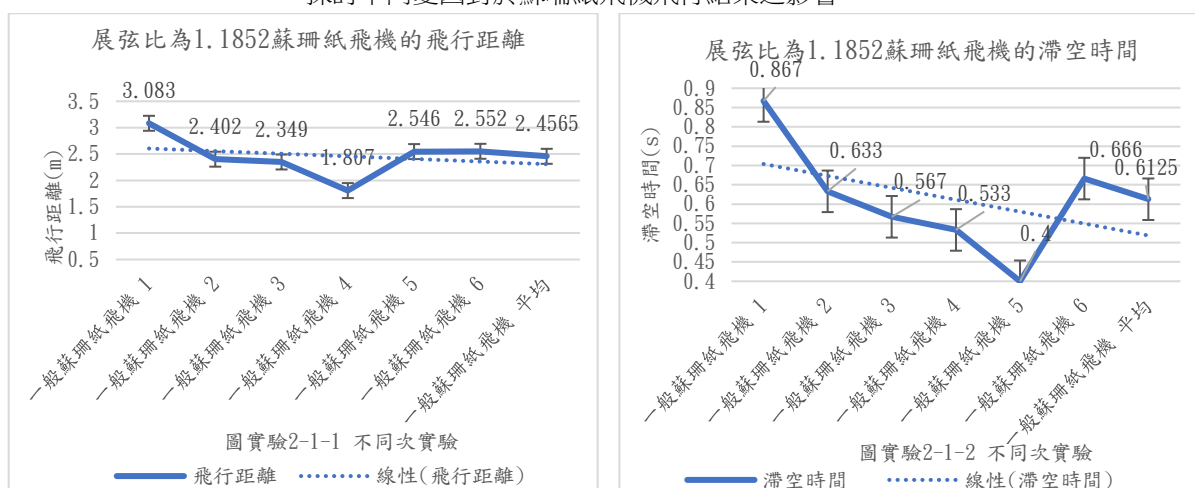
討論：

1、從圖實驗 2-1-1 可以知道，正常的蘇珊紙飛機飛行撇除離群值的數據，滯空時間大多於 0.6125s 上下，接下來的實驗著重改變展弦比於不同情況下，是不是可以增加或減少蘇珊紙飛機的滯空時間？成效又是如何，則需要進行實驗 2-2、2-3、2-4 來觀察。

2、我們主要使用 tracker 來進行數據上的分析，圖實驗 2-1-1 的 0.867s 及 0.4s，從影片中可以發現在發射時有操作上的誤差，因此在討論時將其忽略計算。實驗結果也顯示兩者的滯空時間與中間峰群差距過大。

3. 從圖實驗 2-1-2 中扣除 3.083m 和 1.807m 後會發現蘇珊紙飛機的距離穩定性很高，基本和平均距離的 2.4565m 差很少，改變展弦比後會不會使距離穩定性變低？也需要進行實驗 2-2、2-3、2-4 來觀察。

探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響



實驗二之二：探討翼緣剪(剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm)的展弦比對飛機飛行距離之影響

表 16 飛行結果(距離)

	剪 0.5cm	剪 1cm	剪 1.5cm	剪 2cm	剪 2.5cm
展弦比 (機翼寬平方/機翼面積)	1.1688m	1.2519mm	1.2587m	1.2654m	1.2827m
第一次 距離(m)	無	1.124m	1.598m	2.276m	2.239m
第二次 距離(m)	*1.526m	1.262m	*0.808m	*1.569m	2.638m
第三次 距離(m)	1.716m	*1.069m	1.883m	*1.95m	*2.855m
第四次 距離(m)	*1.862m	1.268m	*2.685m	2.303m	*1.997m
第五次 距離(m)	1.69m	*1.367m	1.904m	2.421m	2.702m
平均距離(m)	1.6985m	1.218m	1.7756m	2.1038m	2.4862m

討論：

1. 機緣剪 1.5cm 和 2cm 後較為不穩定，剪 2cm 飛行距離最短，而剪 0.5cm 和 1cm 能較穩定的飛行，因此我們判斷剪下過多的機緣會使飛行穩定度降低。
2. 沒剪的紙飛機不論是穩定度或距離都比有剪的好，可以推斷出剪機緣對飛行距離沒幫助。
3. 未剪紙飛機展弦比介於剪 0.5 和 1cm 之間但飛的最遠，因此也可以發現剪太多翼緣對飛行距離沒幫助。

探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響

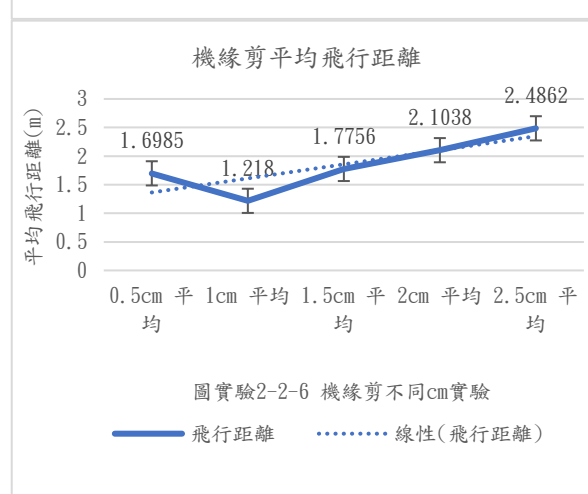
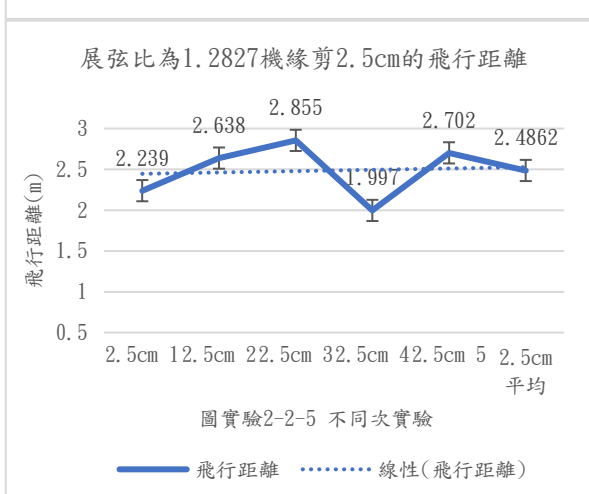
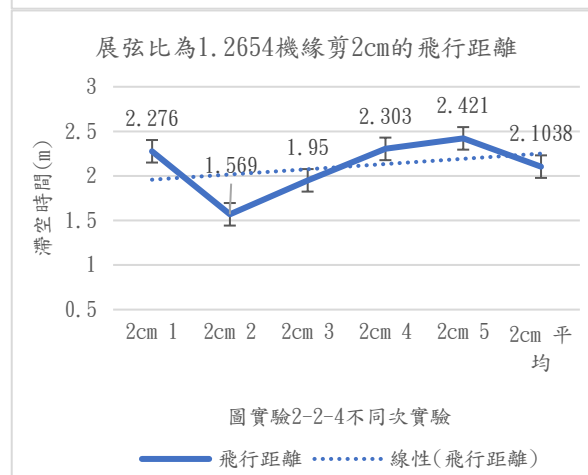
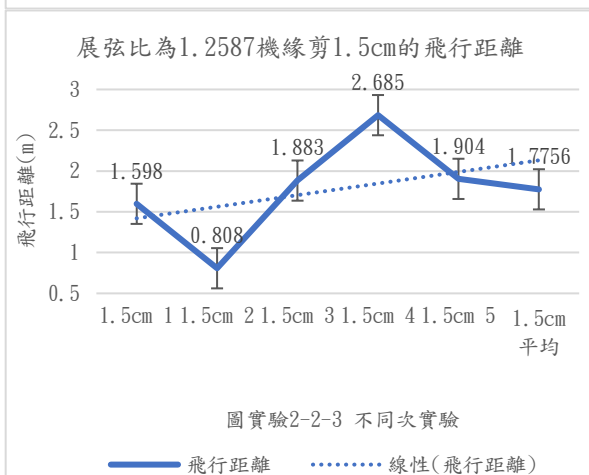
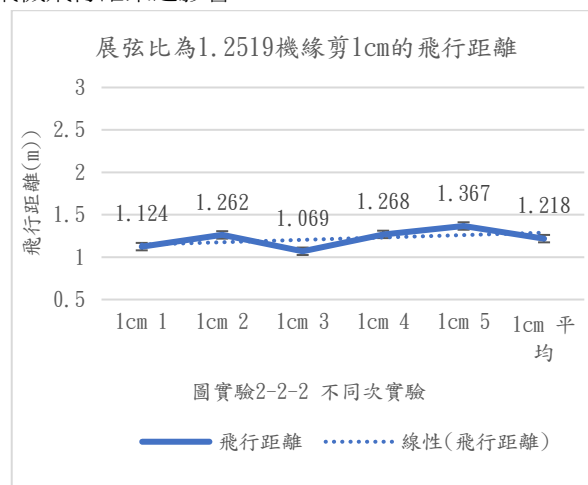
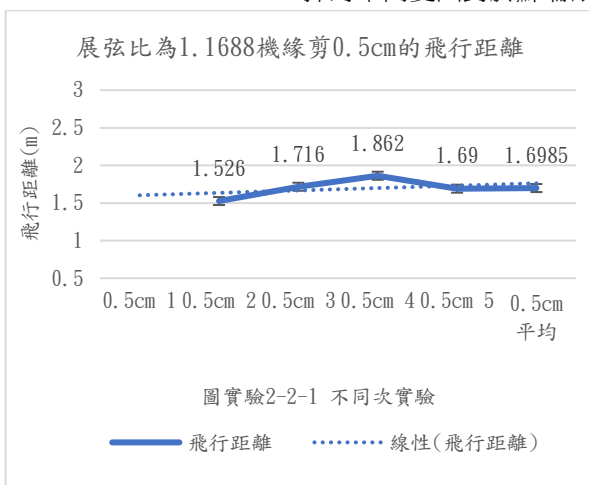
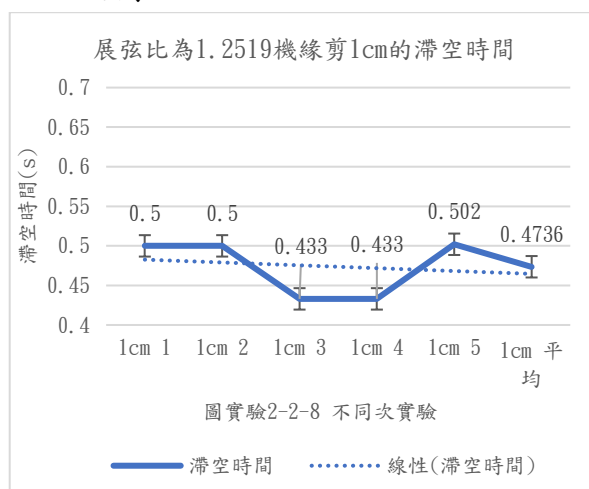
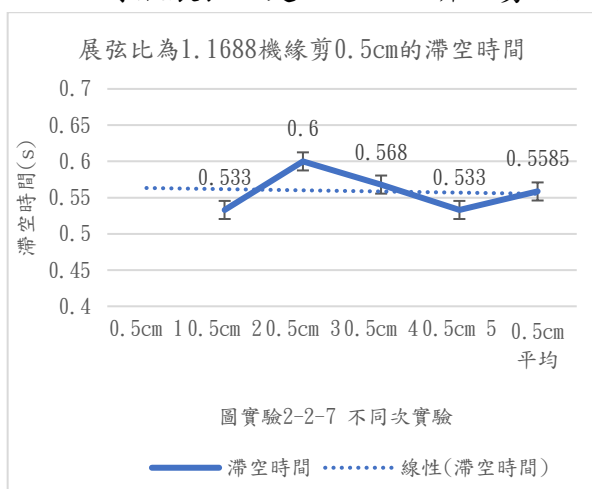


表 17 飛行結果(時間)

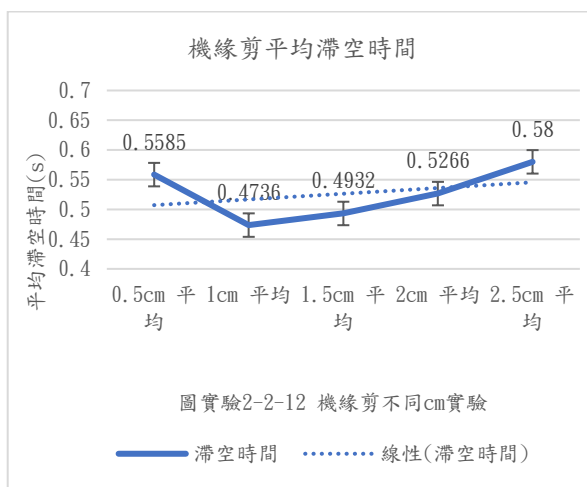
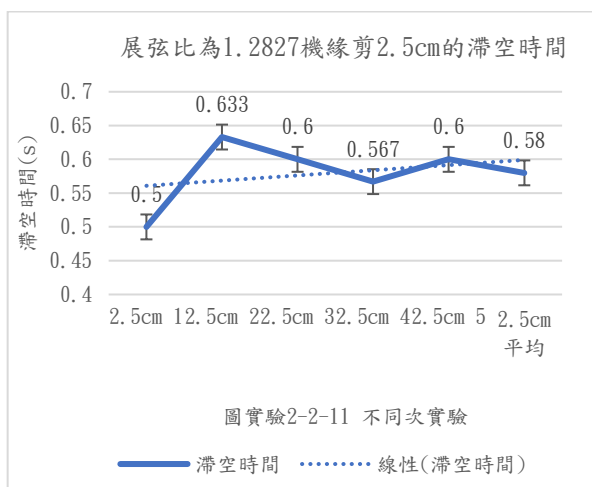
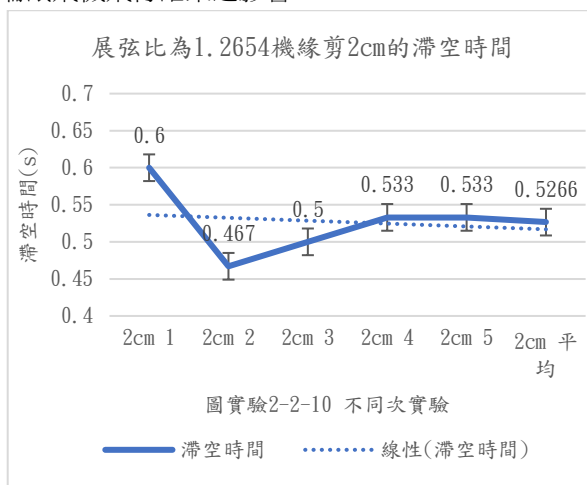
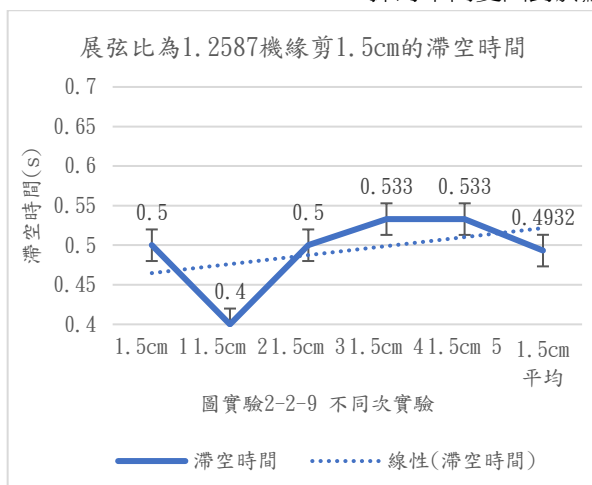
	剪 0.5cm	剪 1cm	剪 1.5cm	剪 2cm	剪 2.5cm
展弦比 (機翼寬平方/機翼面積)	1.1688	1.2519	1.2587	1.2654	1.2827
第一次時間(s)	無	0.5s	0.5s	*0.6s	0.5s
第二次時間(s)	0.533s	0.5s	*0.4s	*0.467s	0.633s
第三次時間(s)	*0.6s	0.433s	0.5s	0.5s	0.6s
第四次時間(s)	0.568s	0.433s	0.533s	0.533s	0.567s
第五次時間(s)	0.533s	*0.502s	0.533s	0.533s	0.6s
平均時間(s)	0.5585s	0.4736s	0.4932s	0.5266s	0.58s

討論：

1. *不剪機緣的紙飛機滯空時間較平均及穩定。
2. 扣除離群值後的不剪機緣的蘇珊紙飛機滯空時間最長，由此可證，展弦比的變化會影響其滯空時間。
3. 原版展弦比是 1.1852，介於剪 0.5 和 1cm 之間。



探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響



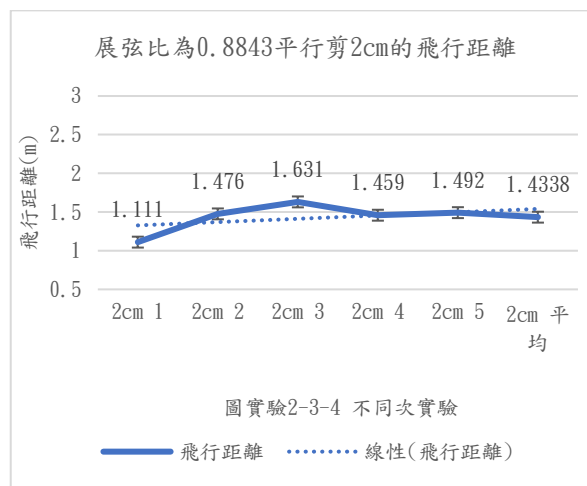
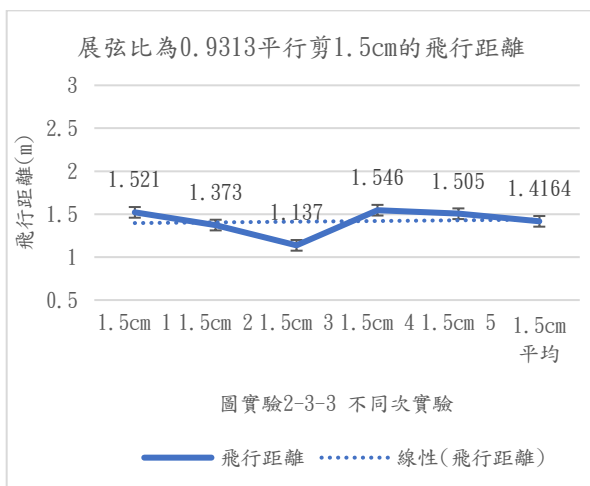
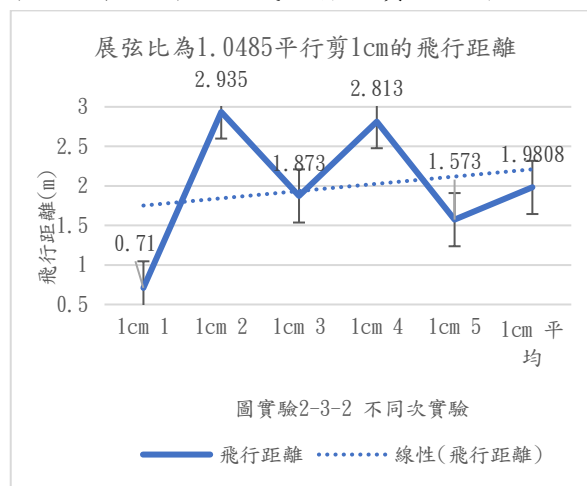
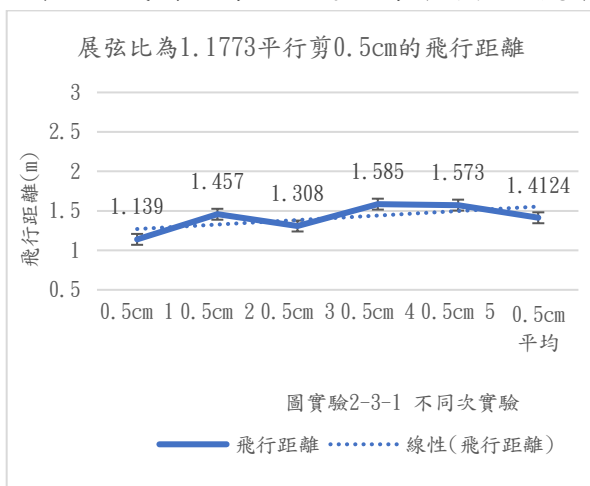
實驗二之三：探討平行剪(剪 0.5cm、剪 1cm、剪 1.5cm、剪 2cm、剪 2.5cm)的展弦比對飛機飛行距離之影響

表 18 飛行結果(距離)

	剪 0.5cm	剪 1cm	剪 1.5cm	剪 2cm	剪 2.5cm
展弦比 (機翼寬平方/機翼面積)	1.1773	1.0485	0.9313	0.8843	0.7839
第一次距離(m)	*1.139m	*0.71m	1.521m	*1.111m	2.551m
第二次距離(m)	1.457m	2.935m	1.373m	1.476m	1.793m
第三次距離(m)	1.308m	1.873m	*1.137m	1.631m	2.551m
第四次距離(m)	1.585m	2.813m	1.546m	1.459m	*1.238m
第五次距離(m)	1.573m	1.573m	1.505m	1.492m	2.152m
平均距離(m)	1.4124m	1.9808m	1.4164m	1.4338m	2.057m

討論：

1. 如圖實驗 2-3 全圖，會發現平行剪的 1cm 和 2.5cm 因為操作的原因，造成離群值的飛機架數較多，而其餘平行剪的飛機飛行時都較為穩定。接著我們將離群值撇除，再計算後，發現飛得最遠的還是平行剪 2.5cm，其次是平行剪 1cm。
2. 未剪過的蘇珊紙飛機相比平行剪的蘇珊紙飛機之下，飛行距離還是最遠的，但是平行剪的 1cm 和 2.5cm 也有追上未剪過的蘇珊紙飛機的趨勢。
3. 根據實驗結果得知平行剪的 1cm 和 2.5cm 相比平行剪其他 cm 較遠，但是與我們推測不符合，我們認為可能是因為外界無法觀察到的因素，所以造成這樣的實驗結果。



探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響

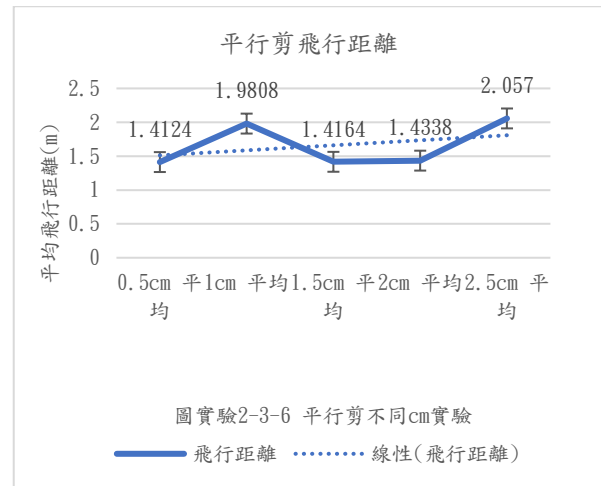
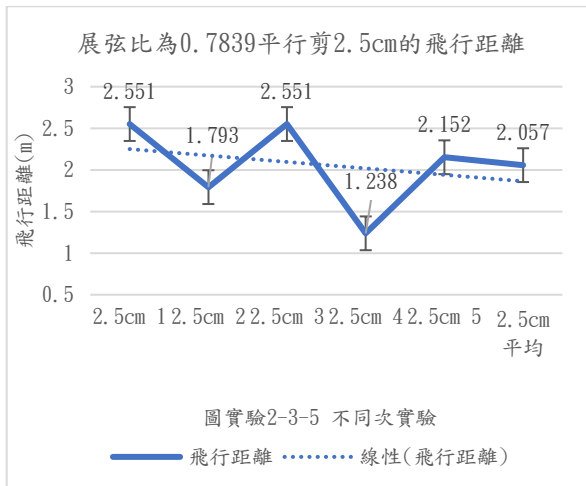


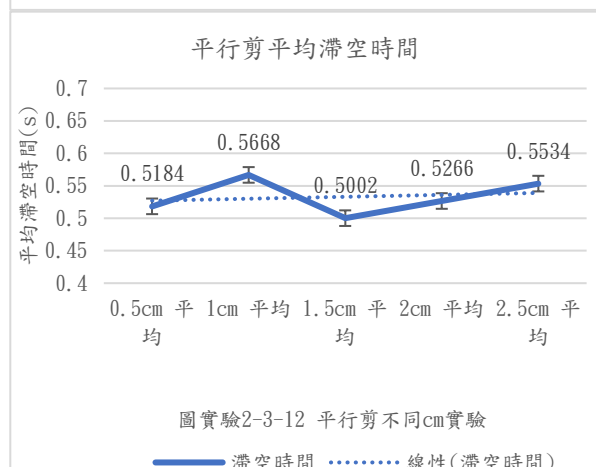
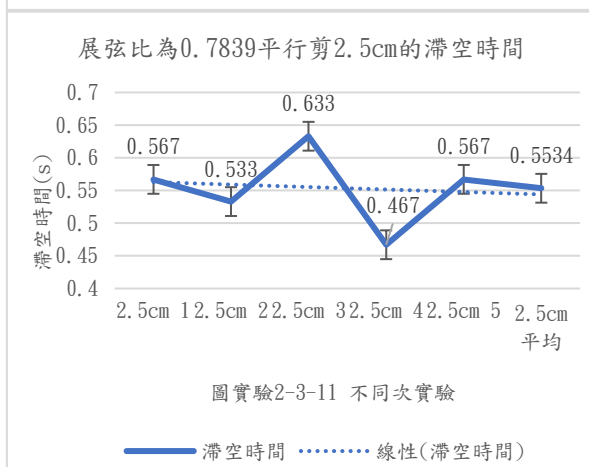
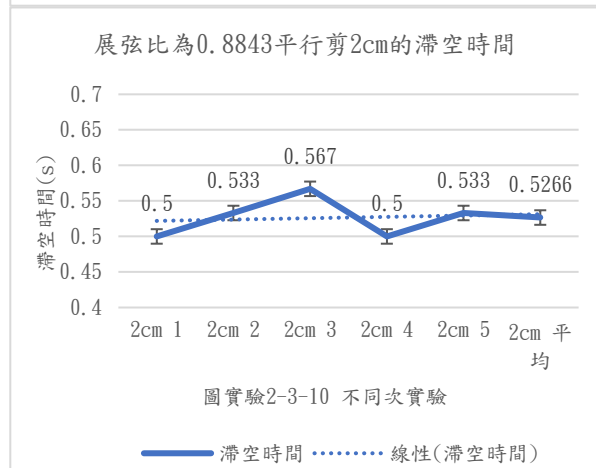
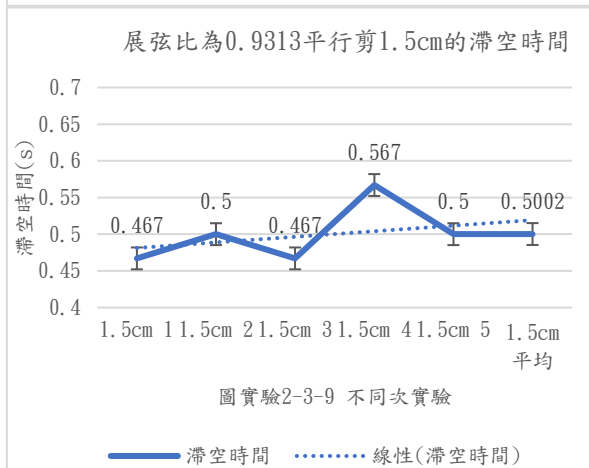
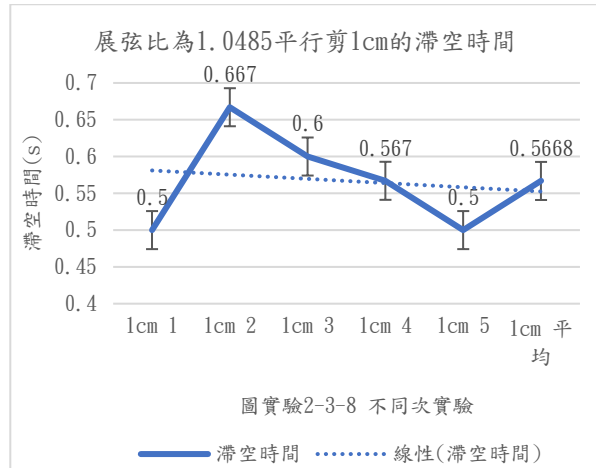
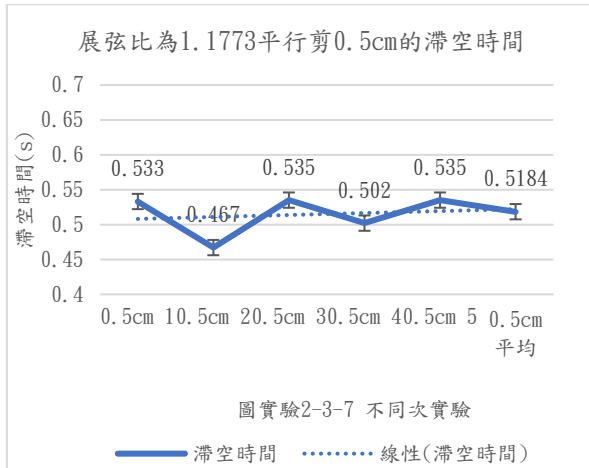
表 19 飛行結果(時間)

	剪 0.5cm	剪 1cm	剪 1.5cm	剪 2cm	剪 2.5cm
展弦比 (機翼寬平方/機翼面積)	1.1773	1.0485	0.9313	0.8843	0.7839
第一次時間(s)	0.533s	0.5s	0.467s	0.5s	0.567s
第二次時間(s)	*0.467s	0.667s	0.5s	0.533s	0.533s
第三次時間(s)	0.535s	0.6s	0.467s	0.567s	*0.633s
第四次時間(s)	0.502s	0.567s	0.567s	0.5s	0.467s
第五次時間(s)	0.535s	0.5s	0.5s	0.533s	0.567s
平均時間(s)	0.5184s	0.5668s	0.5002s	0.5266s	0.5534s

討論：

1. 如圖 2-3-2 全圖，會發現除了平行剪的 2cm，平行剪其他 cm 的離群值紙飛機較數較多，其中平行剪的 1cm 和 2.5cm 離群值較大。撇去離群值後，我們發現了平行剪的 1cm 和 2.5cm 依舊滯空時間較長。
2. 根據實驗結果得知平行剪的 1cm 和 2.5cm 相比平行剪其他 cm 較長，再結合平行剪的飛行距離後，我們認為平行剪剪在 1cm 和 2.5cm，可能是因為些因素使紙飛機飛得要遠。
3. 在相比未剪過的蘇珊紙飛機下，會發現雖然平行剪的 1cm 和 2.5cm 數據為最高，但是也一樣沒有比未剪過的蘇珊紙飛機的數據來的高。

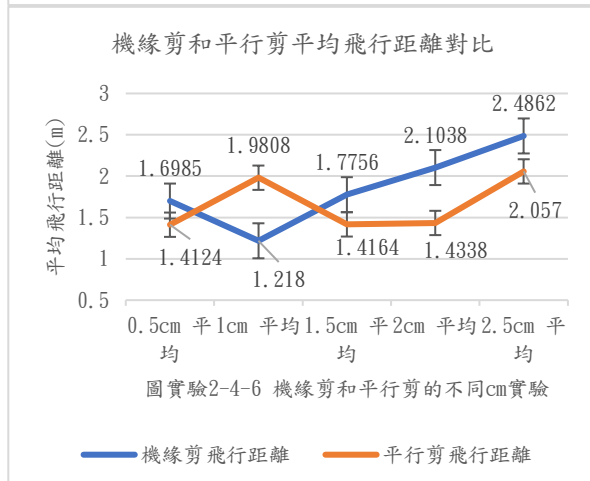
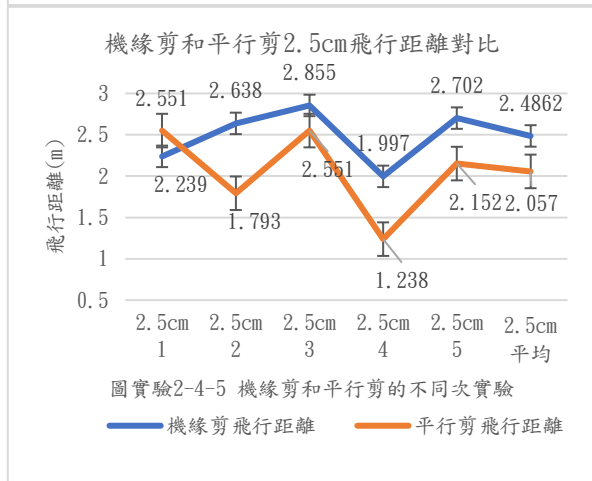
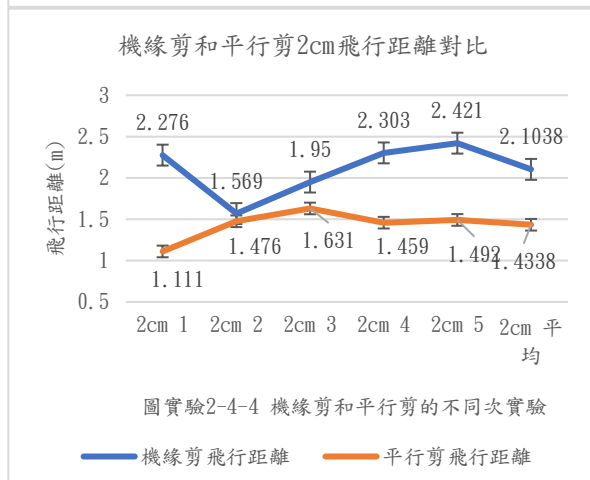
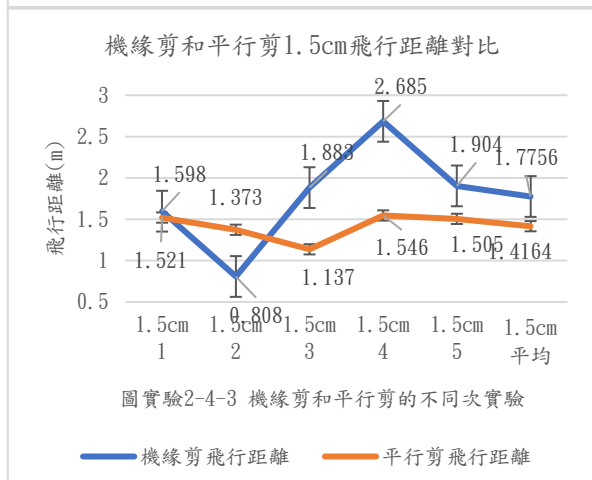
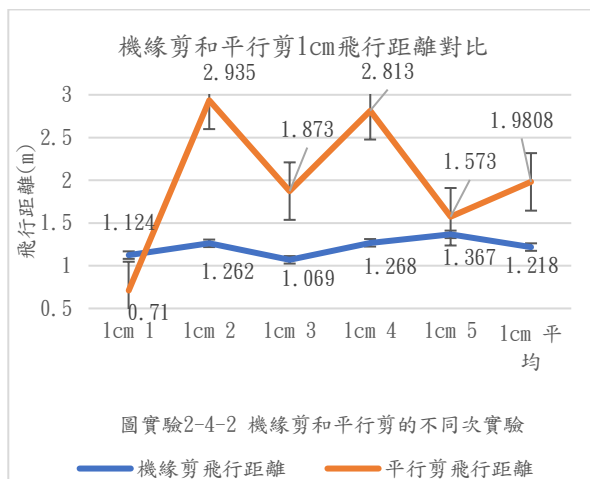
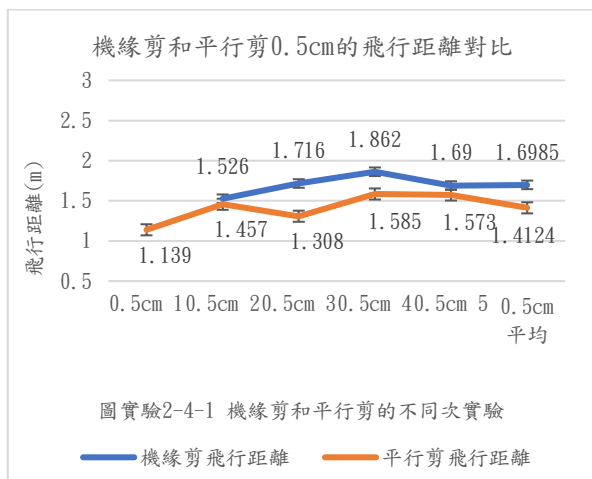
探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響



實驗二之四:比對機緣剪及平行剪的飛行距離和滯空時間

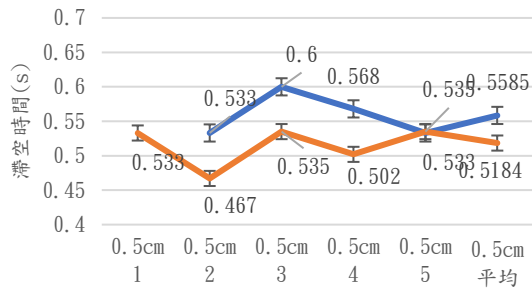
討論:

1. 從實驗中可以得知剪 0.5cm 時機緣剪及平行剪差異最小。剪 2 和 2.5cm 的飛行距離也較相近，因此我們推測可能是因為剪過多翼寬使空氣導流不穩定，讓紙飛機直接掉落，使結果十分相近。
2. 從滯空時間中，我們發現剪 0.5、1.5、2、2.5cm 時，機緣剪及平行剪的滯空時間都十分相近，效果不太顯著，因此我們希望在未來，可以嘗試透過增加翼寬來觀察展弦比變化對蘇珊紙飛機的引響。



探討不同變因對於蘇珊紙飛機飛行結果之影響

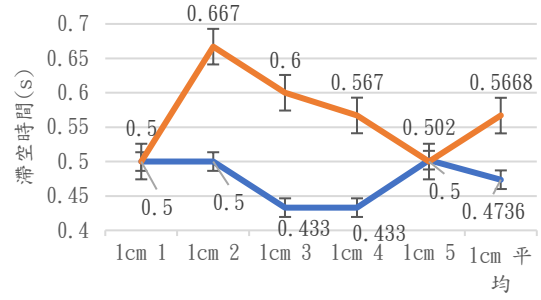
機緣剪和平行剪0.5cm的滯空時間對比



圖實驗2-4-7 機緣剪和平行剪的不同次實驗

— 機緣剪滯空時間 — 平行剪滯空時間

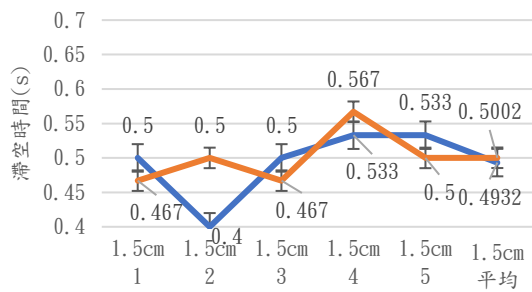
機緣剪和平行剪1cm的滯空時間對比



圖實驗2-4-8 機緣剪和平行剪的不同次實驗

— 機緣剪滯空時間 — 平行剪滯空時間

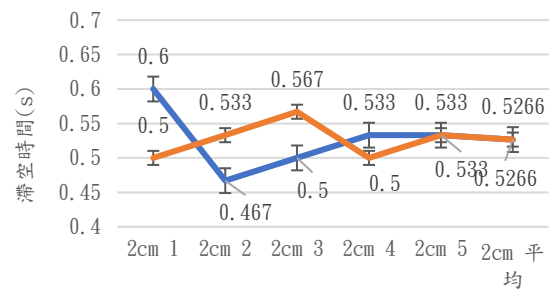
機緣剪和平行剪1.5cm滯空時間對比



圖實驗2-4-9 機緣剪和平行剪的不同次實驗

— 機緣剪滯空時間 — 平行剪滯空時間

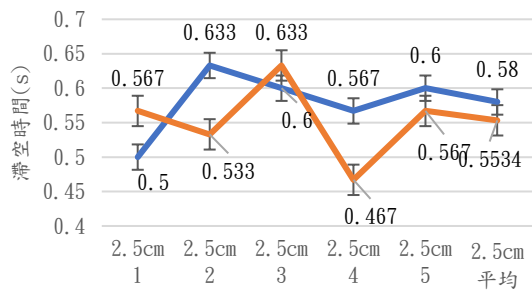
機緣剪和平行剪2cm滯空時間對比



圖實驗2-4-10 機緣剪和平行剪的不同次實驗

— 機緣剪滯空時間 — 平行剪滯空時間

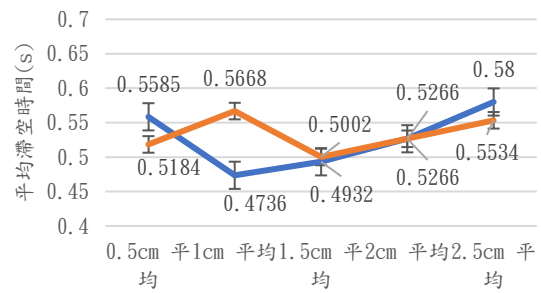
機緣剪和平行剪2.5cm滯空時間對比



圖實驗2-4-11 機緣剪和平行剪的不同次實驗

— 機緣剪滯空時間 — 平行剪滯空時間

機緣剪和平行剪平均滯空時間對比



圖實驗2-4-12 機緣剪和平行剪的不同cm實驗

— 機緣剪滯空時間 — 平行剪滯空時間

捌、研究結論與建議

結論

- 1、本研究成功做出光碟發射器,可使紙飛機飛行時更穩定和損毀率降低。
- 2、本實驗發現機緣剪 0.5 至 2.5cm 的飛行距離都優於平行剪,而 1cm 呈現的數值較為極端,我們認為是拍攝時沒有妥善整理照片,導致 1cm 的數據較為混亂,在數值顯示時出現了兩個極端的數值。
- 3、本實驗發現機緣剪及平行剪 0.5 至 2.5cm 的滯空時間較無太大差別。
- 4、本實驗發現機緣剪隨著裁剪的長度展弦比會越變越大;平行剪則是隨著裁剪的長度展弦比會越變越小。
- 5、從此紙飛機發射實驗中,發現機緣剪的展弦比較大,在飛行距離中比展弦比小的平行剪更具有優勢,也符合資料中展弦比越大越適合長時間滯空和滑行,而滯空時間較無太大差別,可能是因為場地高度、距離或馬達動力,甚至是裁剪幅度太小。

心得與建議

我們做完獨立研究後,獲益良多,我們除了體驗到一篇獨立研究有無到有的過程,也體會到了研究者的辛苦,同時我也知道了同伴們的重要性,如果有同伴一起做研究的話,可能發現以你的觀點發現不了的事,也希望在下次的實驗時可以學以致用,總之這次獨立研究讓我們成長了許多,受益匪淺。

關於實驗,我們有幾點建議給讀者,讓你們做類似實驗時可以參考看看:

1. 實驗時,我們發射器用時太長,因為馬達時常故障,所以我們推薦用購買的方式,如果沒有經費的話,我們推薦自製成功率較高的光碟發射器。
2. 做實驗時不要太衝動,要做類似題目的人,一定要先想好所有過程,不要沒想好就做,並確定自己的方向、風險,避免卡關,希望你們能吸取我們的教訓。
3. 本實驗中因為時間問題,未能在時限前實驗紙飛機配重位置不同,對紙飛機飛行距離及滯空時間的影響,希望要做類似題目的人,你們可以往這方面發展。

玖、參考文獻

- 一、陳昭熙、洪稚森、孫琮原、蘇柏愷、謝徐家(2017) 凌空飛翔的紙蟬。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。
取自網址: <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080114.pdf>
- 二、蘇品綸、宋唯品、張晉唯(2018) 錯身而過-錯車瞬間壓力變化之探討。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書。
取自網址: <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030110.pdf>
- 三、鄭明敦、李東駿、洪郁歲、林映恩、王歆渝、陳亦璿(2022) 御風而行的關鍵角度。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書。
取自網址: <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/62/pdf/NPHSF2022-080120.pdf?0.9854209152981639>
- 四、卓志賢(2003) 飛得高?飛得遠?
取自網址: https://science.cyc.edu.tw/upfile/science102/work_files/12549419359022.pdf
- 五、紙飛機最狂玩法! 挑戰射出最快最遠的紙飛機!(力與傳動)【LIS 實驗室】
https://www.youtube.com/watch?v=xrIug2hx5hE&ab_channel=LIS%E6%83%85%E5%A2%83%E7%A7%91%E5%AD%B8%E6%95%99%E6%9D%90
- 六、標準機:談珀欣、孫浩文、羅靜頤、黃俊熙(2016)發射吧! 紙飛機!
取自網址: <http://202.175.82.54/science/proj/pridiy1516/pdf/sch13.pdf>
- 七、蘇珊紙飛機: 作者不詳(2022) 突「飛」猛「機」—蘇珊娜紙飛機的改造研究
取自網址: <https://shorturl.at/eEFK7>
- 八、蝙蝠紙飛機: 駒勝的紙飛機在這裡
取自網址: [file:///C:/Users/USER/Downloads/work-A128%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/work-A128%20(1).pdf)
- 九、迴旋紙飛機: 陳柏諺、黃亮豪、陳連達、蘇齊扶、陳祐瑱、鍾婷軒(2012) 我的飛機會轉彎。紙飛機迴旋飛行之探究~中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明。
取自網址: <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/080804.pdf>
- 十、維基百科 自由維基百科(2022) 展弦比
取自網址: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%B1%95%E5%BC%A6%E6%AF%94>
- 十一、光滑度: 蔡宏杰、翁苡煊、沈歆媿、藍品涵、吳文瑜(2016) 魔力! 摩擦力的考驗-紙類摩擦力之探究。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會作品說明書
取自網址: <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080114.pdf>