

OAC-110-001 (研究報告)

## 海洋獵污行動

(正式報告)

海洋委員會補助研究

中華民國 110年 10月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

OAC-110-001 (研究報告)

## 海洋獵污行動

(正式報告)

學校：逢甲大學

指導教授：陳啟川

學生：蔡正杰

研究期程：中華民國110年4月至110年11月

研究經費：新臺幣捌萬元

海洋委員會補助研究

中華民國 110年 10月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

# 目次

目次.....	i
表次.....	ii
圖次.....	iii
摘要.....	1
第一章、前言.....	2
第一節、研究緣起.....	2
第二節、問題背景.....	2
第三節、現況分析.....	3
第四節、研究目的.....	4
第五節、研究重點.....	5
第六節、預期目標.....	5
第二章、研究方法與過程.....	7
第一節、無人機初步設計.....	7
第二節、無人機外型規格.....	13
第三章、結果與討論.....	16
第一節、飛行結果分析.....	16
第二節、水域分析結果.....	18
第三節、無人機結構設計.....	22
第四節、無人機結構應力分析及製作規劃.....	25
第五節、回收裝置設計.....	32
第六節、無人機前艙門設計.....	46
第七節、無人機製作過程.....	52
第四章、結論.....	62
參考資料.....	63
附錄一.....	65
附錄二.....	65

## 表次

表 1 東太平洋垃圾帶之塑膠垃圾統計 <sup>[3]</sup> .....	2
表 2 無人機尺寸表 .....	13
表 3 整合性能分析結果 .....	18
表 4 吃水深度推估表 .....	19
表 5 水域分析速度及吃水深度條件 .....	20
表 6 水域分析阻力計算結果 .....	20
表 7 回收裝置尺寸 .....	35
表 8 前艙門搖臂伸長量比較表 .....	50

## 圖次

圖 1 海洋漂浮垃圾 <sup>[1]</sup> .....	2
圖 2 海洋塑膠垃圾組成統計 <sup>[4]</sup> .....	2
圖 3 The Ocean Cleanup <sup>[5]</sup> .....	3
圖 4 (左)無人機氣動力外型(右)無人機內部結構 .....	3
圖 5 總裂式回收裝置 .....	3
圖 6 翼地效應；氣墊效應 <sup>[6]</sup> .....	4
圖 7 預計完成進度甘特圖 .....	5
圖 8 翼尖渦流受地面阻礙，減少誘導阻力 <sup>[7]</sup> .....	8
圖 9 翼地應機外型 <sup>[8]</sup> .....	8
圖 10 John Schuster 介紹倒三角翼翼地效應機 <sup>[9]</sup> .....	9
圖 11 自製倒三角翼翼地效應機模型 .....	9
圖 12 模型上視圖 .....	10
圖 13 模型於翼地效應下的飛行姿態與高度 .....	10
圖 14 模型受陣風影響，使飛行高度提升 .....	11
圖 15 由於俯仰不穩定，出現向後翻覆的現象 .....	11
圖 16 無人機向後翻覆 .....	11
圖 17 Airfish 8 水上航行 <sup>[11]</sup> .....	12
圖 18 Airfish 8 <sup>[10]</sup> .....	12
圖 19 自製概念模型 .....	13
圖 20 模型分為上、下機身 .....	13
圖 21 上機身(前)為主結構及電裝，下機身(後)為可拆卸的回收艙 .....	13
圖 22 無人機工程三視圖 .....	14
圖 23 放大工程三視圖中前視圖水平尾翼上反角 .....	15
圖 24 翼翹及浮筒安裝方式 .....	15
圖 25 為工程三視圖左視圖放大，說明水舵安裝位置，位於後機身下方 .....	15
圖 26 升力係數與阻力係數曲線圖 .....	16
圖 27 升力係數與攻角曲線圖 .....	16
圖 28 力矩係數與攻角曲線圖 .....	17
圖 29 升阻比與攻角曲線圖 .....	17
圖 30 水域航行阻力曲線圖 .....	20
圖 31 水域及空氣域流線左視圖 .....	21
圖 32 水域及空氣域流線上視圖 .....	21
圖 33 水域壓力分佈圖 .....	22
圖 34 上機身內部結構 .....	23
圖 35 回收裝置 .....	23

圖 36	主翼內部結構.....	23
圖 37	水平尾翼內部結構.....	23
圖 38	垂直尾翼內部結構.....	23
圖 39	翼翹內部結構.....	23
圖 40	馬達座內部結構.....	23
圖 41	左前艙門內部結構，右前艙門為相同.....	23
圖 42	浮筒.....	24
圖 43	水舵.....	24
圖 44	內部結構前視圖.....	24
圖 45	內部結構左視圖.....	24
圖 46	內部結構上視圖.....	24
圖 47	內部結構等角視圖.....	24
圖 48	零件之間以碳管連接，圖為主翼連接上機身.....	24
圖 49	內部結構爆炸視圖.....	25
圖 50	主翼；應力分布圖.....	26
圖 51	主翼；位移量圖.....	26
圖 52	主翼；安全係數圖.....	26
圖 53	水平尾翼；應力分布圖.....	27
圖 54	水平尾翼；位移量圖.....	28
圖 55	水平尾翼；安全係數圖.....	28
圖 56	垂直尾翼；應力分布圖.....	29
圖 57	垂直尾翼；位移量圖.....	29
圖 58	垂直尾翼；安全係數圖.....	30
圖 59	無人機尾翼梯形結構.....	30
圖 60	翼翹；應力分布圖.....	31
圖 61	翼翹；位移量圖.....	31
圖 62	翼翹；安全係數圖.....	32
圖 63	開啟艙門灑網蒐集海上漂浮垃圾.....	33
圖 64	以馬達收網，藉由滾筒擠壓多餘水分.....	33
圖 65	藉由後艙門下方排水孔進行排水.....	33
圖 66	無人機於飛行時，前艙門關閉(紅色圓圈處).....	34
圖 67	進行水上作業，前艙門向上開啟，使水流和垃圾進入回收艙體進行收集 和過濾.....	34
圖 68	前艙門向上開啟.....	34
圖 69	概念模型 內部結構結合濾網.....	35
圖 70	回收裝置後段與機身連接桿和艙門開口.....	36
圖 71	排水口艙門開啟.....	36
圖 72	排水口艙門關閉.....	36

圖 73	濾食型海洋生物-姥鯊 <sup>[15]</sup> .....	37
圖 74	鰓裂式回收裝置.....	37
圖 75	回收裝置入口前視圖.....	37
圖 76	由五片鰓葉組成，不使用艙門.....	38
圖 77	過濾器剖面圖，以鰓葉結構過濾水流，並留下垃圾排出多餘海水.....	38
圖 78	過濾網回收裝置簡易模型.....	38
圖 79	鰓裂式回收裝置縮小模型.....	39
圖 80	水流方向由左向右，觀察紅色標記之垃圾.....	39
圖 81	垃圾在進入回收艙區域後，受渦流影響向外推移(黃色路徑).....	40
圖 82	最終自進水口流出回收艙.....	40
圖 83	其餘未標記垃圾也表現相同結果.....	40
圖 84	水流方向由左向右，觀察紅色標記垃圾.....	41
圖 85	垃圾順流進入回收艙內.....	41
圖 86	垃圾向後推移.....	41
圖 87	最終堆積於過濾器前.....	42
圖 88	執行蒐集垃圾持續約 1 分 45 秒後蒐集結果.....	42
圖 89	以木塊、珍珠板碎片模擬不同大小漂浮垃圾.....	42
圖 90	手持回收裝置向前移動，黃色箭頭為前進方向.....	43
圖 91	垃圾堆積於第一層濾網，而無法順利通過或過濾.....	43
圖 92	垃圾向前推進無法過濾.....	43
圖 93	蒐集結果.....	44
圖 94	手持回收裝置向前移動，黃色箭頭為前進方向.....	44
圖 95	垃圾順利進入回收艙內.....	45
圖 96	並向後堆積，將回收裝置提起.....	45
圖 97	蒐集結果.....	45
圖 98	縮小模型；前艙門關閉時漂浮姿態.....	47
圖 99	縮小模型；前艙門開啟時漂浮姿態.....	47
圖 100	縮小模型；前艙門半開啟.....	48
圖 101	縮小模型；前艙門半開啟水上姿態.....	48
圖 102	前艙門開啟角度與進水寬度.....	49
圖 103	前艙門開啟各角度浮力比較.....	49
圖 104	伸長前後浮力比較圖.....	50
圖 105	左前艙門結構；(左)未伸長結構(右)伸長後結構.....	51
圖 106	前艙門工作模式；(左)完全關閉(中)水上作業模式(右)前艙門全開啟....	51
圖 107	上機身 SOLIDWORKS 結構圖.....	52
圖 108	上機身結構.....	52
圖 109	上機身：前半部結構.....	53
圖 110	上機身：後半部蒙皮外觀.....	53

圖 111	主翼結構；(左)內部結構及碳管(右)主翼上蒙皮外觀 .....	53
圖 112	主翼結構扭轉角：(上)SOLIDWORKS 結構示意圖(下)主翼實機模型 ...	53
圖 113	翼翹結構；(左)翼翹上蒙皮外觀(右)翼翹內部結構 .....	54
圖 114	翼翹結構：(上)SOLIDWORKS 示意圖(下)實機模型外觀 .....	54
圖 115	翼翹舵面安裝 .....	54
圖 116	副翼舵面作動測試 .....	55
圖 117	副翼舵面作動測試 .....	55
圖 118	水平尾翼內部結構 .....	55
圖 119	水平尾翼結構等角視圖：(上)SOLIDWORKS 示意圖(下)實機模型結構 .....	55
圖 120	水平尾翼外觀上視圖；圖中直尺為 100 cm .....	56
圖 121	垂直尾翼外觀：圖中直尺長度為 100cm .....	56
圖 122	前艙門內側：此處將填充發泡材料 .....	56
圖 123	前艙門外觀：黃色部分為發泡劑填縫造成 .....	56
圖 124	回收裝置回收艙主結構 .....	57
圖 125	回收裝置回收艙主結構 .....	57
圖 126	回收裝置過濾器結構 .....	57
圖 127	回收裝置過濾器結構 .....	58
圖 128	回收裝置 SOLIDWORKS 示意圖 .....	58
圖 129	回收裝置實體模型 .....	58
圖 130	回收裝置前視圖 .....	58
圖 131	回收裝置過濾網葉 .....	59
圖 132	各零件組裝前置準備 .....	59
圖 133	無人機當前進度組裝測試 .....	60
圖 134	無人機前艙門開啟測試 .....	60
圖 135	無人機尺寸比例對照(圖中本人身高約 170 cm) .....	60

## 摘要

無人飛行載具於空投、偵查、搜救及滅火等任務之中被廣泛應用，卻似乎逃離不了天際線的框架。本文內容介紹「海洋獵污行動」；如何利用一種名為「翼地效應」的氣動力現象，所設計之無人飛行載具，透過其掛載之仿生過濾回收艙執行海洋垃圾蒐集的任務，並討論其未來預期達成之目標。

本文內容除了探討計畫由來和背景以外，以訂定任務目的開始，由概念設計、初步設計以及規格訂定，呈現本計畫無人機外型；再利用電腦輔助設計軟體進行模擬分析，預測未來無人機受氣流與水流之影響，並根據分析結果改善；除了流場分析以外，同樣以電腦軟體進行無人機內部結構分析，模擬未來可能遭遇之結構負載，並探討所使用之材料可否承受。

完成電腦輔助設計之後，本計畫又以縮小模型等方式實驗，以實驗觀察目前設計可能的潛在疑慮。再來介紹實際無人機製作過程，以及各零件的實體化呈現；最後，安排未來實機完成後之測試流程，以及測試地點。並探討可能遭遇的困難，以及在未來能如何防範。期望藉由過程中的錯誤，尋求改良的空間，使這項計畫邁向更遠大的發展。

**關鍵詞：**翼地效應、海洋垃圾、仿生過濾、無人機設計

# 第一章、前言

## 第一節、研究緣起

海洋環境的汙染為全球各國及人民持續重視的議題，聯合國也將海洋環境的維護列入永續發展目標。但人們往往會隨時間淡忘這項議題的重要性，卻又在目睹沙灘上成堆的垃圾、外海輪船油污洩漏、新聞媒體報導太平洋垃圾島和海鳥解剖後滿肚塑膠垃圾的時候，感慨現在的世界已不如以往。

擁有航太專業知識的我，希望將航太專業能力結合海洋垃圾議題。於是本計畫帶入一項具備快速、節能、高載重能力的效應—翼地效應，融合現今無人機技術，打造一架水上無人機進行海上垃圾蒐集的作業。並於無人機下方安裝具備蒐集、排水及過濾等功能的回收裝置。除此之外，回收裝置也具備可拆卸的能力，使垃圾的回收更方便，執行任務的次數更能增加，達到電池效能最佳化的效果。

在綜合了各領域的知識與意見，如何使無人飛行載具同時具備在空中翱翔的能力，又能在水上自在的穿行，成為此次計畫的最大課題。因此本次報告內容，以各種不同電腦分析軟體，解構無人機飛行的秘密，並透過實驗和簡易模型，來介紹完成水上任務所需具備的能力。

## 第二節、問題背景



圖 1 海洋漂浮垃圾<sup>[1]</sup>

隨著經濟成長及消費能力的提升，塑膠製品生產量已遠超過目前的處理能力，許多國家因缺乏完善之廢棄物處理規劃及設施而造成大量汙染未妥善處理便流入自然環境中。

根據統計，每年全球約有 480 萬~1270 萬噸漂浮垃圾流入大海，到了 2050

年，全球海洋中的塑膠重量將比魚多。而著名的太平洋垃圾帶更是海洋漂浮垃圾的著名議題之一，該垃圾帶的面積近 160 萬平方公里，垃圾帶當中的塑膠垃圾估計更高達 8 萬噸<sup>[2]</sup>

根據 2018 年的統計，東太平洋垃圾帶的垃圾數目估計高達 1.8 兆。當中主要包括不同大小和質量的塑膠。根據資料（表 1），9 成以上的垃圾屬於微膠粒（長度少於 5 毫米），然而只佔垃圾總質量的 8%。相反，多於四分之三的總垃圾總質量屬於超於 5 厘米的廢棄物，當中約一半（46%）是漁網，其餘超於 5 厘米的廢物還包括食物容器、水瓶、繩索等。<sup>[3]</sup>

表 1 東太平洋垃圾帶之塑膠垃圾統計<sup>[3]</sup>

	數量	質量
微膠粒 (Microplastics) (<5mm)	1.7兆件	6400 噸
中型塑膠 (Mesoplastics) (5mm-50mm)	560億件	10000噸
大型塑膠 (Macroplastics) (50mm-500mm)	8.21億件	20000噸
巨型塑膠 (Megaplastics) (>500mm)	320萬件	42000噸

而這些垃圾其中有 50% 可能被風浪打上岸，其他則繼續漂浮，經過日曬、風浪拍打，不斷風化、分解、碎成塑膠微粒，甚至變奈米級大小，而這些塑膠微粒一旦被生物攝入，透過食物鏈傳遞，不僅對整個生態造成危害，最終也將可能回到人類身上。

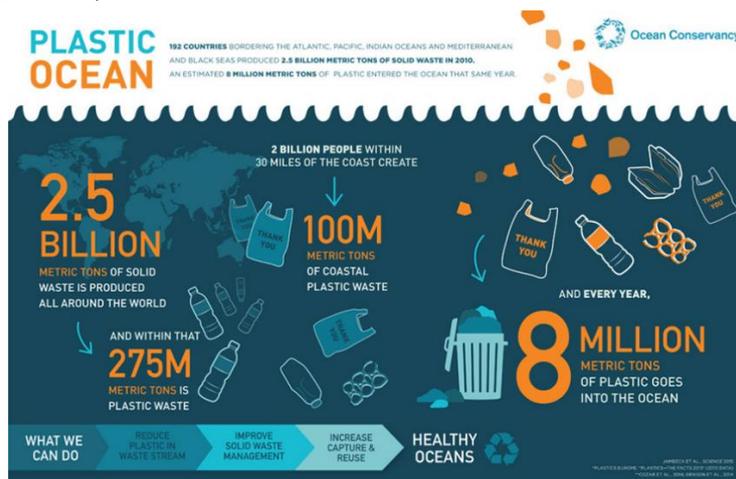


圖 2 海洋塑膠垃圾組成統計<sup>[4]</sup>

對此，目前已有許多相關計畫關於清理這些泛布甚廣之海漂垃圾，其中之一為著名的「海洋吸塵器 The Ocean Cleanup 計畫」



圖 3 The Ocean Cleanup<sup>[5]</sup>

該計畫為同為航太相關出身的柏楊·史萊特（Boyan Slat）主導，利用洋流將垃圾收集至浮動柵欄並進行打撈。

而本計畫也參考此計畫理念，以海洋清潔為目的，並且結合無人機領域，設計能回收海漂垃圾之裝置並搭載於無人載具中，並規劃將來能搭載更多回收模組以應對各類型的污染處理。

### 第三節、現況分析

截至目前為止，本計畫無人機已完成氣動力外型設計以及模擬，並針對模擬結果分析修改無人機外型，訂下此外型規格尺寸，以及各式外型特徵。再來進行內部結構設計；全機結構設計已完成，其中結構細節設計又以「總裂式回收裝置」為主要設計重點，對此進行實驗探討其可行性。

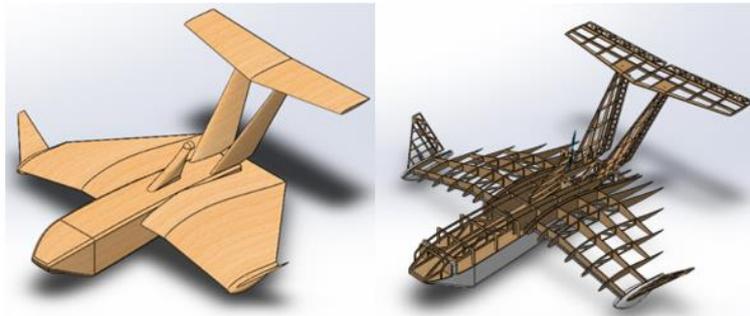


圖 4(左)無人機氣動力外型(右)無人機內部結構

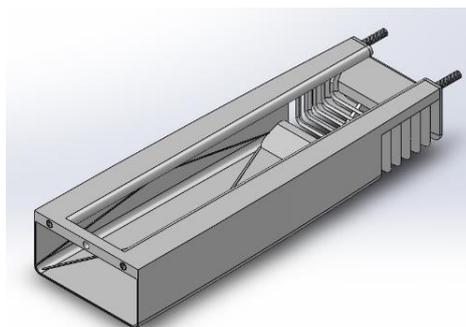


圖 5 總裂式回收裝置

完成上述內容，現階段使用電腦輔助設計軟體 SOLIDWORKS 進行整體零件結構強度分析。並針對過去未探討之問題尋找解決方案。並於完成最終設計修正後，已開始執行實機製作。

#### 第四節、研究目的

由於此計劃主要是針對海漂垃圾進行收集與回收，載具將長時間於水面作業，評估之下將初步之設計改為利用翼地效應於海面低空飛行的方式。此為主要考量將可容納之回收垃圾重量最大化之最有效益之方式，同時利用翼地效應貼近水面飛行也具有相較船隻來的更高速的機動性。

翼地效應（Wing-in-ground-effect, WIG）或稱地面效應機（Ground-effect vehicle），是一種利用與地面之間的氣墊（Air-cushion）效應為主要升力的飛行載具。當飛行中的載具貼近地面或水面飛行時，氣流會沿翼後緣往下方流動，並於地面或水面產生一股反作用力，使得飛機得到額外升力。翼地效應並可在翼尖渦流減少的情況下使飛行器誘導阻力減小，同時能獲得比在一般空中飛行時更高的升阻比，理論上能達到更高效率的飛行。

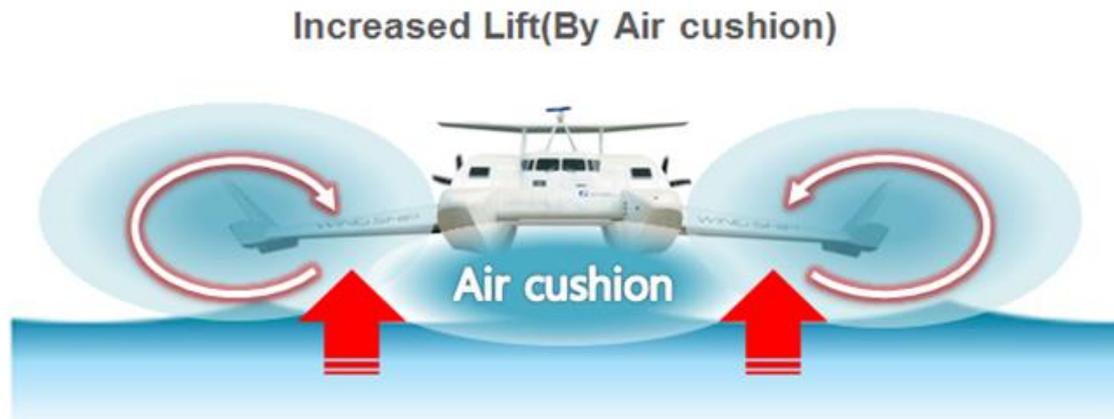


圖 6 翼地效應；氣墊效應<sup>[6]</sup>

翼地效應機結合了普通飛機與氣墊船兩者的特性。此類飛行器的特性主要貼近地面或是水面飛行，通常飛行在離地 10 公尺以內的高度飛行，在飛行高度受限制的情況下，與期望中能夠貼近海面的任務需求相符，使得此設計成為設計無人機的不二選擇。

因此，針對長期以來海洋垃圾的議題，結合翼地效應機所帶來之優點，研究目的在於探討翼地效應機的高效率，以及高乘載能力，於海洋垃圾清除的可行性與效果，能否為海洋污染防治帶來新氣象。

## 第五節、研究重點

本計畫研究重點藉由海洋漂浮垃圾議題發起，以研究翼地效應無人機於水上飛行、航行性能表現，針對所訂定之任務目的「使用無人飛行載具打撈海洋漂浮垃圾」，以及符合以下任務需求：

- 載具需具備水上航行、作業能力，在任何航行速度下皆要可控制其航向
- 無人機需搭載容量大、可過濾海水且快速排水，並可以拆裝的回收艙。以便蒐集垃圾後方便取出處理。
- 由於在水面上執行任務，為求便利及更高效的飛行性能，無人機的氣動力外型需專門為適應「翼地效應」設計。
- 蒐集之水上垃圾可能夾帶殘留的水，以及重量不固定。故無人機需具備高載重的能力；此需求則可透過「翼地效應」達成。

並且探討根據上述任務需求第二點所設計之仿生回收裝置，其掛載於翼地效應無人載具上執行任務之效果；透過電腦軟體模擬飛行以及航行性能，最終則以實驗驗證其實際可行性。

## 第六節、預期目標

由下方甘特圖所示，所有外型設計與結構設計已完成；現階段以無人機實體製作為主；預計將於 11 月中旬完成製作，並著手進行各項測試。由於測試以及任務執行時有場域限制，在選定測試水域時，需考量其水面是否寬廣，如先於各大學校園之人工湖、游泳池等測試無人機之水上航行性能，而後於廣大水域進行飛行性能實測及最後之完整任務實施。目前計畫申請日月潭水域使用權，待通過後進行實機測試。

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
概念設計	模型實驗	█											
	模型設計		█										
初步設計	外型設計		█										
	空氣域流場分析		█										
	混合域流場分析			█									
	穩定度分析		█										
細部設計	結構設計				█								
	應力分析				█								
	回收裝置設計					█							
	爆炸圖繪製						█						
施工	上機身									█			
	回收裝置									█			
	各翼面製作									█			
	防水塗層與外觀										█		
測試與修正	水上性能測試											█	
	飛行測試											█	
	整合任務測試											█	

圖 7 預計完成進度甘特圖

## 實機測試流程：

本次無人機之飛行任務史無前例，故依實驗危險性分類為：水上性能測試、飛行性能測試以及綜合性能測試。各項測試內容如下：

### 水上性能測試 (校內游泳池測試)

- 無人機是否可漂浮於水面上並透過馬達推力滑行。
- 機身下方水舵能否控制無人機水上之航行方向。
- 前艙門透過線性馬達致動是否能順利如設計之方式作動。
- 航行時機身後段之仿生鰓過濾器能否將水排出使前方水流無逆流情況。

### 飛行性能測試 (日月潭測試)

- 無人機是否能在馬達及電裝設備達到負荷前，克服水流阻力，加速至所需速度順利起飛。
- 飛行姿態是否穩定並進入巡航狀態。
- 各舵面控制無人機運動之成效。

### 綜合性能測試

此項測試為執行一次完整任務，流程內容如下：

1. 於岸上將拆卸狀態之無人機組合完畢。
2. 於空機狀態下由水面上起飛。
3. 巡航至預定蒐集垃圾目的地降落。
4. 於水上航行並開啟前艙門以蒐集廢棄物。
5. 完成垃圾蒐集關閉回收艙艙門並重新起飛。
6. 返回原出發點降落並停靠岸邊。
7. 拆卸回收裝置並清理所蒐集之漂浮垃圾，完成一次完整任務執行。

預期目標以完成上述實驗內容為主，然而實驗進行前仍有幾項疑慮尚未確定，關於實驗進行前之問題將於以下內容探討，期望在測試完成後得以改善，成為未來發展的道路之一。

## 第二章、研究方法與過程

### 電腦分析軟體

利用課程所學和實驗室資源來分析無人機的性能測試，例如：Xflr5 測試飛機的穩定性以及初步的配重；SOLIDWORKS 主要用來繪製飛機的外型與結構，進行應力分析；ANSYS Fluent/CFX 分析在空氣域與水域的流場變化、不同航行條件下升阻力的變化，並從中得到巡航速度、飛行高度以及判斷馬達供給的推力是否足夠等性能。

### 第一節、無人機初步設計

根據本次任務目的「使用無人飛行載具蒐集海上漂浮垃圾」，列出無人機需求如下：

- 載具需具備水上航行、作業能力，在任何航行速度下皆要可控制其航向
- 無人機需搭載容量大、可過濾海水且快速排水，並可以拆裝的回收艙。以便蒐集垃圾後方便取出處理。
- 由於在水面上執行任務，為求便利及更高效的飛行性能，無人機的氣動力外型需專門為適應「翼地效應」設計。
- 蒐集之水上垃圾可能夾帶殘留的水，以及重量不固定。故無人機需具備高載重的能力；此需求則可透過「翼地效應」達成。

什麼是「翼地效應」？<sup>[7][8][9]</sup>

一般飛機透過氣流通過翼型造成的壓力差，進而產生浮力；然而翼地效應則是當飛機貼近地面時，翼面下方與地面之間的空氣受到壓縮，並困住空氣，產生額外的反作用力，進而提供額外的升力。這個現象稱為「氣墊現象」，翼地效應機正是利用這個效果作為升力來源。

除了高升力的特性以外，由於飛機貼近地面，於翼尖產生的翼尖渦流，理論上，會受地面限制而被減弱，並向飛機的兩側遠方推去，進而使飛機的誘導阻力降低，達到更高效率的航行。

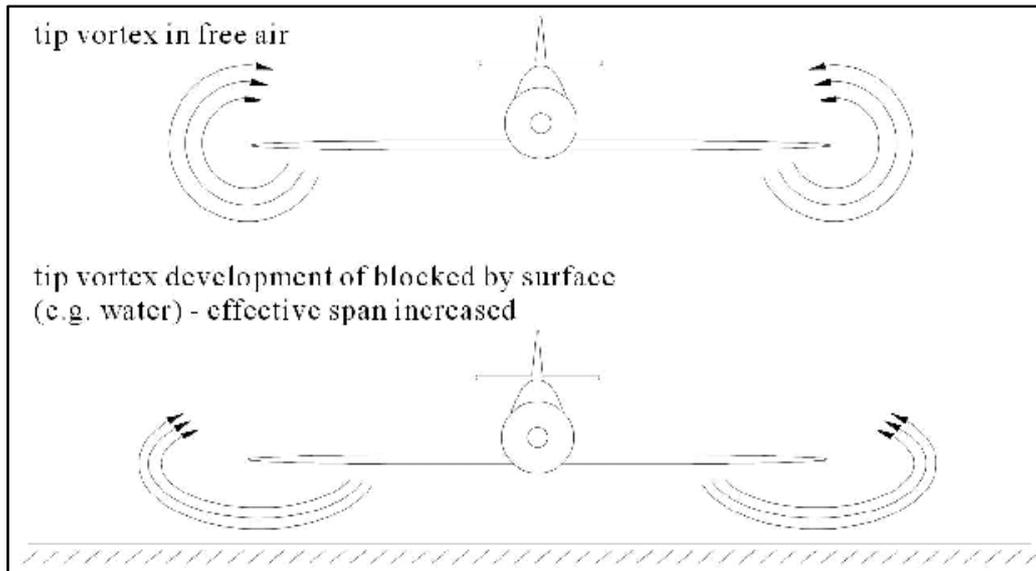


圖 8 翼尖渦流受地面阻礙，減少誘導阻力<sup>[7]</sup>

### 倒三角翼翼地效應機：

常見的翼地效應機外型通常分為三種：

1. 主翼為平直翼外型，且裝配後略、帶有上反角之水平尾翼。
2. 主翼為倒三角翼外型，且裝配後略、帶有上反角之水平尾翼。
3. 主翼及水平尾翼皆為平直翼，且水平尾翼翼面積幾乎等於主翼面積。

三種外型之翼地效應機都有的共通點包含：較大的主翼面積，用於困住空氣，以及上置的水平尾翼。

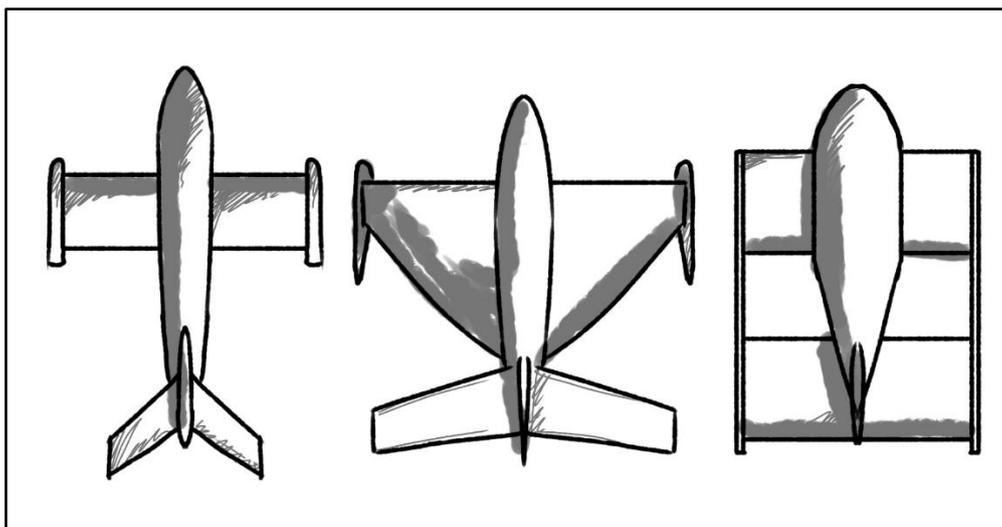


圖 9 翼地應機外型<sup>[8]</sup>

參考著名的航太工程師 John Schuster 介紹倒三角翼的翼地效應無人機，內容提及：「較大的翼面積能困住較多空氣產生更大的升力，但在困住空氣的同時，也要使空氣向後排出才能在提高升力的同時也減少阻力；而倒三角翼則能最有效率的困住空氣並排出。」<sup>[9]</sup>

基於此參考內容，本計畫選用倒三角翼的翼地效應機，製作簡易模型實驗，並進行初步設計。



圖 10 John Schuster 介紹倒三角翼翼地效應機<sup>[9]</sup>

#### 自製簡易模型實驗：

根據 John Schuster 說明關於倒三角翼翼地效應機的內容後，為了瞭解其真正飛行方式與情況，我們使用瓦楞紙等回收材料，製作一架倒三角翼的模型機進行測試。測試內容包含：

- 觀察倒三角翼翼地效應機實際飛行狀況
- 重心位置對於翼地效應機的影響



圖 11 自製倒三角翼翼地效應機模型

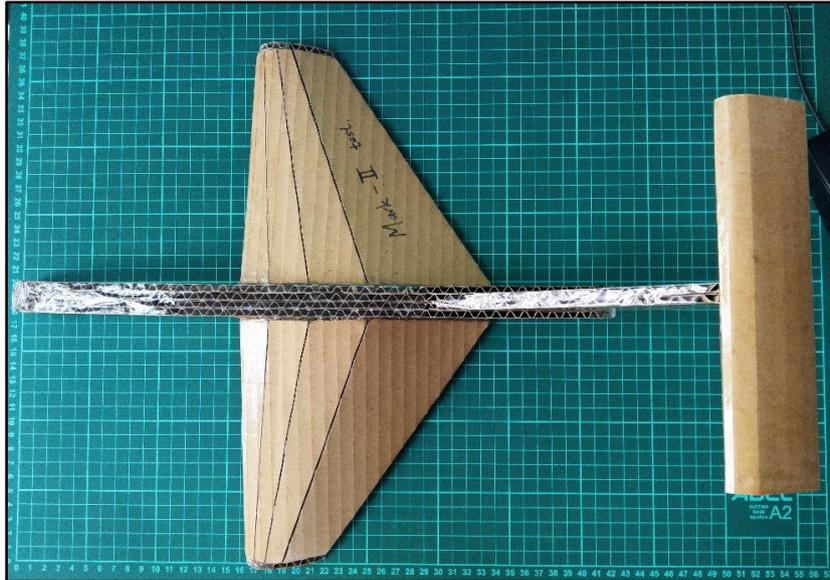


圖 12 模型上視圖

#### 測試結果：

1. 由於模型本身重量較輕，加上翼地效應的高升力效果，使模型在用手推動前進時不需費太大的力氣，便可達到足以支撐其重量的升力，並達到漂浮。

在實驗中也觀察到，翼地效應機在沒有控制系統的情況下，受外界干擾的影響較大；在室外測試時，不同於室內沒有陣風的干擾，當出現陣風擾動時，升力提升之變化相當明顯，會使飛行高度快速上升，並使模型失去翼地效應，也因為空速不足而墜落。



圖 13 模型於翼地效應下的飛行姿態與高度



圖 14 模型受陣風影響，使飛行高度提升

2. 製作完成的模型第一次進行測試時並未配重，在各零件配置完成後，其重心偏後，並觀察到由於翼地效應機的升力較大，在俯仰不穩定的重心位置下，會造成快速的向後翻覆。若是此情況發生於水面，對無人機結構及航行安全都會有相當嚴重的影響。此情況在配重過後，並加上有正攻角的水平尾翼後便改善。預計未來會利用移動電池位置調整無人機重心。



圖 15 由於俯仰不穩定，出現向後翻覆的現象

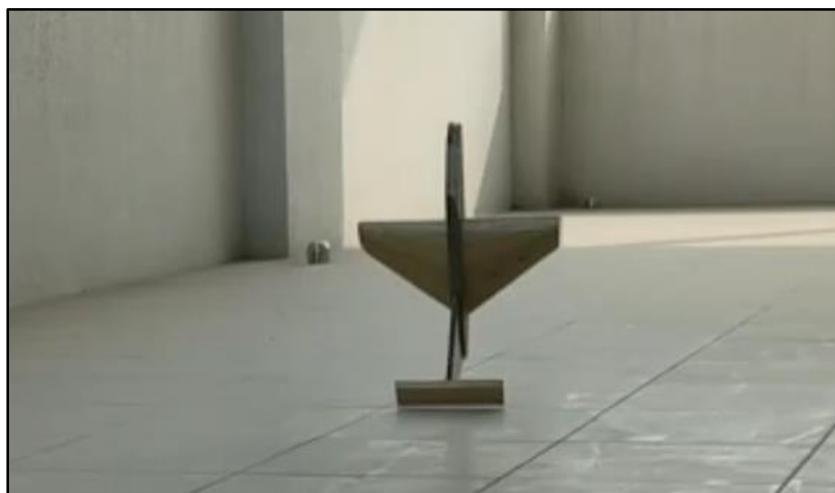


圖 16 無人機向後翻覆

在經過實驗測試及結果觀察後，得出以下結論；倒三角翼翼地效應機由於其較高且向後延伸的水平尾翼，導致製作完成後其重心本身偏後，需使用電池或是配重塊調整重心，以達到俯仰穩定的條件。由於主翼為了符合翼地效應的效果，採用下反角的設計以困住氣流提高升力，但這也犧牲了無人機的橫向穩定性，所以需要透過較大面積的水平尾翼，或是裝配有上反角的水平尾翼來輔助橫向穩定，至於水平尾翼是否有裝配攻角的情況，需視模型流場分析或實測結果而定。

### 參考機型：

根據實驗模型以及水上任務的需求，我們參考了一架同樣為水上翼地效應機的載人飛行器 - WIGETWORK AIRFISH 8。

由新加坡 Wigetworks 公司在 2007 年開始進行 Airfish 8 (AF8-001) wing-in-ground effect (WIG)翼地效應船原型機測試作業，並在 2010 年 8 月生產首架 Airfish 8 (AF8)，座艙可容下 8~10 個人，其中駕駛 2 名，能搭載 6~8 名乘客，成為島嶼之間穿縮的高速渡輪。<sup>[10]</sup>



圖 17 Airfish 8 水上航行<sup>[11]</sup>



圖 18 Airfish 8<sup>[10]</sup>

### 概念模型製作：

根據前面所設定的任務需求，實驗後得出的結果，以及參考 Airfish 8 外型後。將所有內容整合後，並以瓦楞紙製作出此概念模型：

- 模型分為上下機身，上半部模型為載具部分，為全機主結構以及電裝分部位置；下半部整體則為可拆裝的回收艙。
- 主翼採倒三角翼且有下反角，並裝配一正攻角
- 水平尾翼為非對稱翼或是有裝配正攻角的對稱翼，並有一上反角。



圖 19 自製概念模型



圖 20 模型分為上、下機身



圖 21 上機身(前)為主結構及電裝，  
下機身(後)為可拆卸的回收艙

## 第二節、無人機外型規格

結合任務需求、實驗結果、參考機型及最後製作的概念模型，使用 SOLIDWORKS 將無人機外型繪製出 3D 模型，準備進行分析以及細部設計。無人機尺寸如下表所示：

表 2 無人機尺寸表

無人機尺寸表	
主翼弦長	116.8 cm
翼展	200 cm
水平尾翼弦長	40 cm

水平尾翼翼展	150 cm
機身長	182 cm
全機高度	76 cm
全機重量	4.4 kg

無人機外觀三視圖：

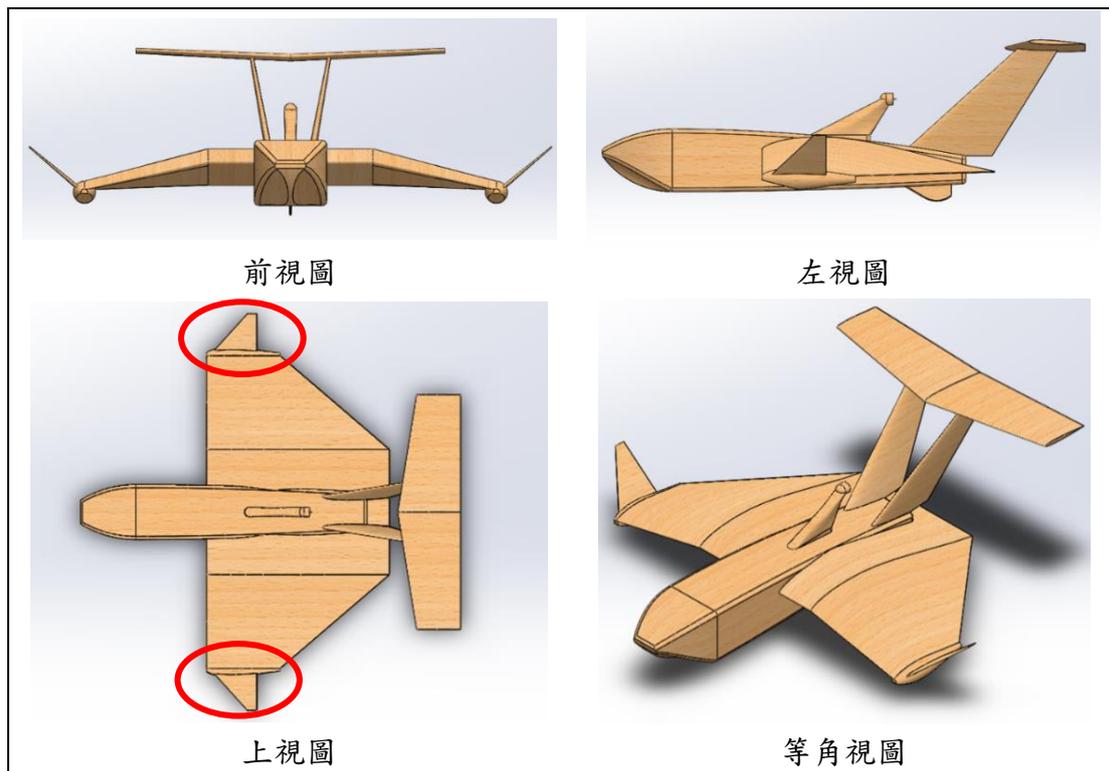


圖 22 無人機工程三視圖

根據圖 22 上視圖顯視，較大的主翼翼面積可以抓住更多氣流，提高升力，根據翼地效應機製作經驗參考資料顯示，水平尾翼翼面積約為主翼翼面積 25% 至 30% 最佳<sup>[12]</sup>，而目前水平尾翼翼面積經過計算約為主翼翼面積的 28%，並裝配有 2 度的上反角提供橫向穩定(圖 23 紅色標記線)。

由圖 22 上視圖中紅色圓圈處顯示翼翹的安裝位置，在這裡也是為了加強橫向穩定性以及副翼舵面的位置；位於翼尖兩側裝有浮筒，除了加強水上航行的穩定性，也作為連接主翼結構和翼翹結構的橋樑(見圖 24 翼翹及浮筒安裝)。而水舵的安裝(見圖 25 水舵安裝位置)，則是為了使無人機在水上航行，由於速度較慢，氣動力的舵面不足以控制航行方向時，也可以在水面上控制航向。

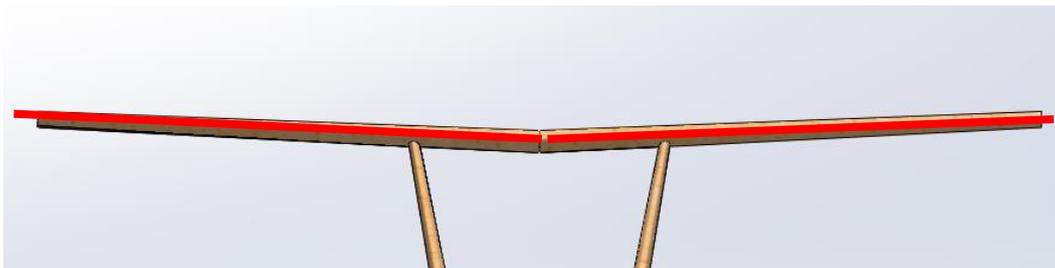


圖 23 放大工程三視圖中前視圖水平尾翼上反角

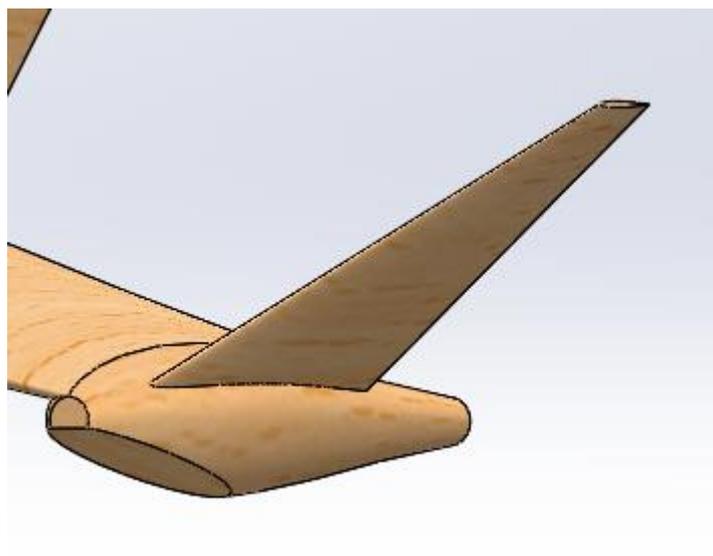


圖 24 翼翹及浮筒安裝方式

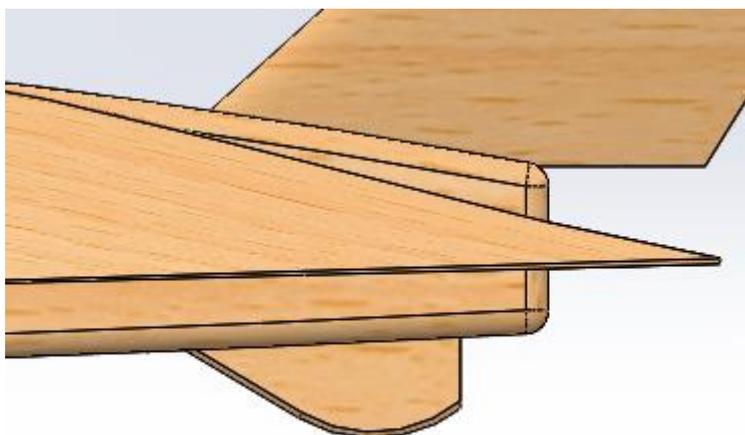


圖 25 為工程三視圖左視圖放大，說明水舵安裝位置，位於後機身下方

### 第三章、結果與討論

使用先前所提及的各類電腦分析軟體，匯入 SOLIDWORKS 3D 模型進行無人機性能分析；測試結果包含飛行性能分析結果、水域航行分析結果、無人機結構設計。回收裝置設計內容較為複雜，除了使用 SOLIDWORKS 繪製模型之外，主要利用簡易模型進行實驗與改良。

#### 第一節、飛行結果分析

在此使用 ANSYS CFX 進行飛行性能分析，根據氣動力性能參數如升力係數( $C_L$ )、阻力係數( $C_D$ )、升阻比( $C_L/C_D$ )、力矩係數( $C_m$ )以及無人機攻角( $\alpha$ )，進行性能分析以及曲線圖製作，以下將分析資料結果整合為四個曲線圖展示： $C_L/C_D$  曲線圖、 $C_L/\alpha$  曲線圖、 $C_m/\alpha$  曲線圖、 $C_L/C_D-\alpha$  曲線圖。

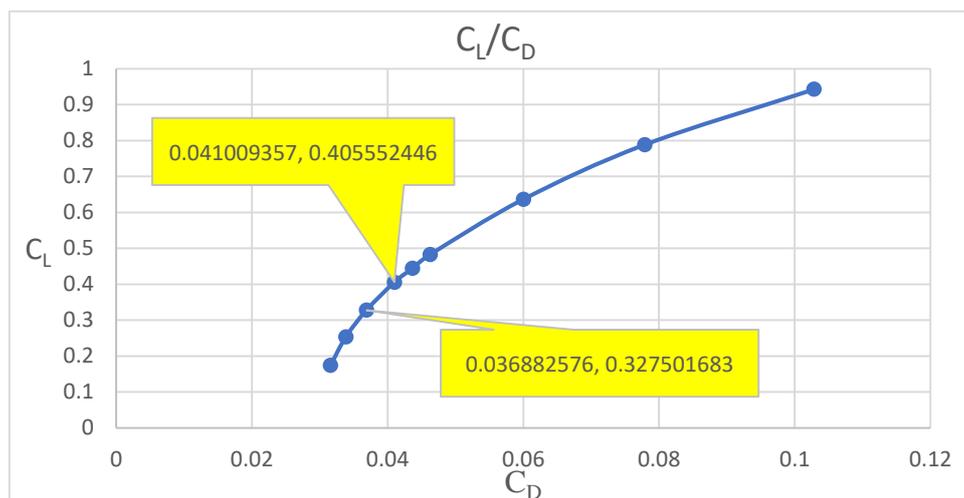


圖 26 升力係數與阻力係數曲線圖

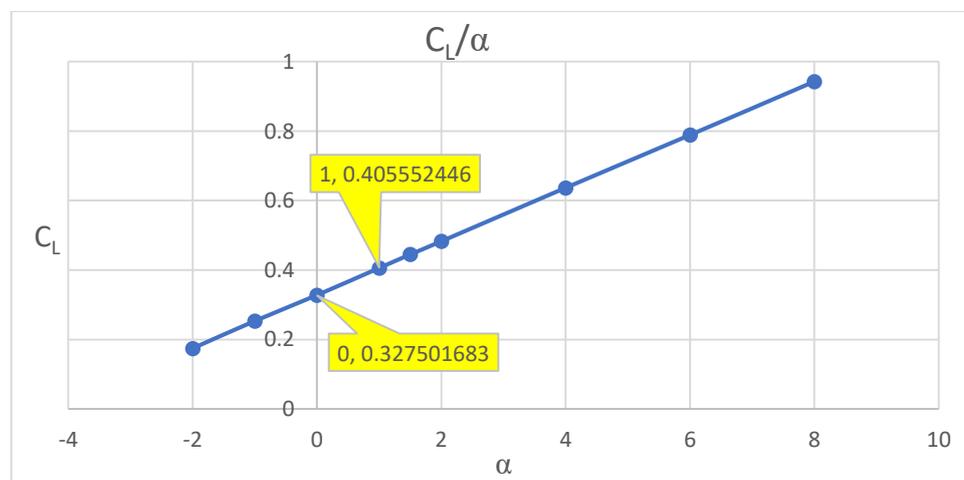


圖 27 升力係數與攻角曲線圖

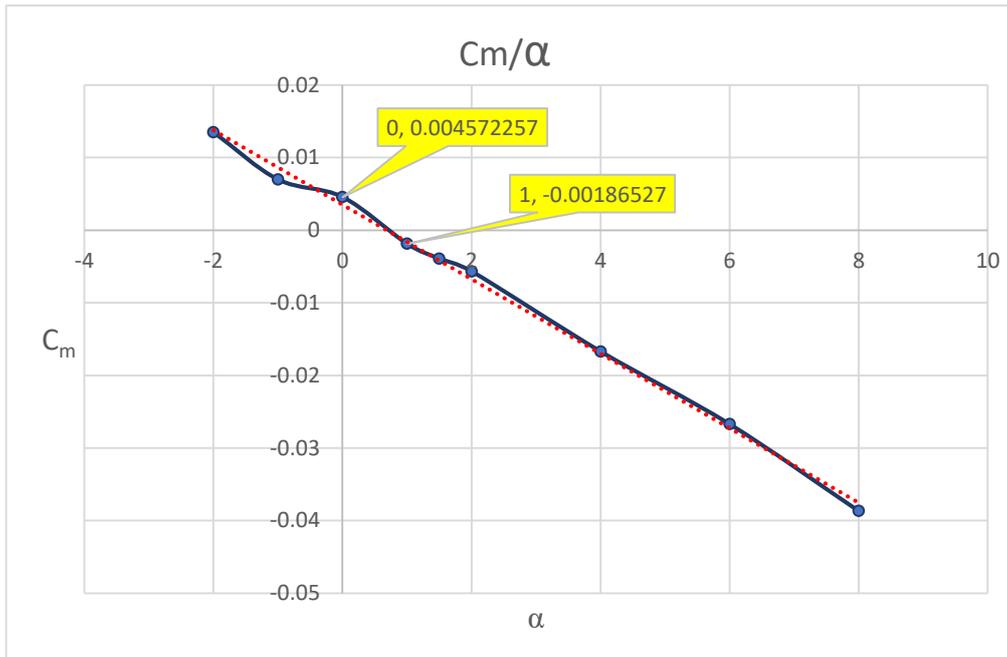


圖 28 力矩係數與攻角曲線圖

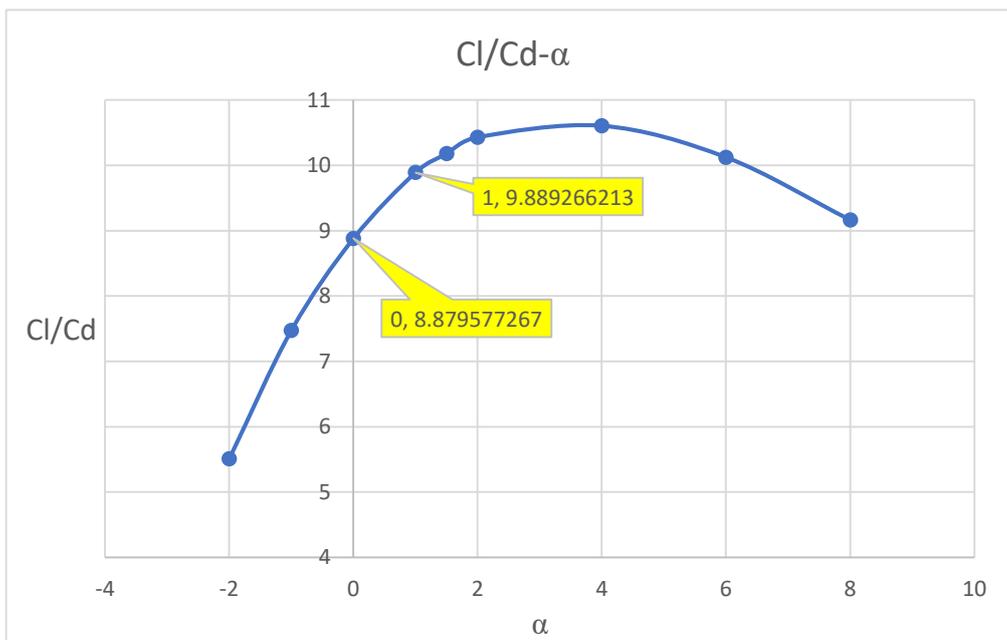


圖 29 升阻比與攻角曲線圖

根據以上四個結果得出；以  $C_m/\alpha$  曲線圖說明無人機巡航飛行姿態大致位在攻角 0 度至 1 度之間，即為圖 28 中黃色資料標記點，顯示  $C_m$  等於 0 位置介於此區間；並根據此曲線圖中紅色趨勢線表示此曲線斜率為負，根據飛行力學中飛機俯仰穩定之條件包含，當攻角為 0 度時， $C_m$  需大於 0， $C_m$  等於 0 時，則攻角需大於 0 度，並且力矩係數與攻角曲線之斜率須為負值<sup>[13]</sup>。再參見圖 28 內容可得知，此無人機為俯仰穩定。

根據  $C_m/\alpha$  曲線圖判斷出無人機巡航飛行下攻角界區間為 0 度至 1 度之間，便由此標記出圖 26、27、29 攻角 0 度及 1 度下黃色資料標記點，將上述資料標記點數值經過計算轉換為較常使用之單位，並整合結果如表 3。

其中由圖 29 顯示無人機最大升阻比攻角位置落在 2 度至 4 度之間，若使用此攻角巡航飛行則可以達到無人機最佳效率；但基於結構設計需減少回收裝置與無人機結構之間的干涉，以達到容易拆裝的效果，並能夠順利執行任務，而選擇捨棄部分效率，不使用最大升阻比攻角，來達成最終任務的順利執行。

其餘曲線圖資訊經過計算整合如下表，以無人機巡航飛行狀態下分析結果：

表 3 整合性能分析結果

WIG Craft Data Table	
機翼負載(Wing Loading)	2.667 kg/m <sup>2</sup>
最大飛行速度(Maximum Airspeed)	17.2 m/s
最大推力(Maximum Thrust)	3.41 kg
巡航推力(Cruising Thrust)	2.096 kg
巡航所需推力(Cruising Thrust Requirement)	0.562 kg
巡航速度 (Cruising Airspeed)	11.23 m/s
巡航阻力(Cruising Drag)	6.4136 N
推重比(Thrust to Weight Ratio)	0.483
巡航升力(Cruising Lift)	63.4256 N
巡航升阻比(Cruising Lift to Drag Ratio)	9.89
電裝重量(Electronics Weight)	1.2 kg
飛機無電裝酬載重量(Aircraft Weight w/o Electronics and Load)	4.36 kg

## 第二節、水域分析結果

由於是水上作業的翼地效應機，因此在起降階段需特別留意其與一般陸上飛機之差異，例如在加速過程中，相同速度下，水中的阻力會比空氣大上不少，而機身的吃水高度，會隨著空速越快、升力提升使飛機上浮而減少，另外

是否有風速也將會影響飛機在起飛時於水上滑行的距離及時間，由於我們的電池容量有限，馬達也無法在全輸出的情況下連續運轉太久，透過水域分析，我們能得知在何種速度時，空氣與水中的阻力為何值，並推測是否能在馬達運轉達到負荷前，使飛機達到起飛速度並順利起飛。

### 水域分析前置作業：

在水域分析條件的設定上，與空氣域分析時相比複雜許多，我們先於空氣域中，利用預計於水上航行之 $2^\circ$ 攻角，將浮筒底部貼近水面(高度為0)，分析在不同速度下之升力，再估算出每個不同速度下機身的吃水高度及排水量，在進行水域分析時，再使用相對應的數據。此外，我們也將風速考慮進我們的分析環境內，透過港灣環境資訊網<sup>[14]</sup>的資料，我們找出風速、風向與水流速、流向之關係，綜合許多因素並透過簡單計算後，利用這些條件進行水域分析，希望模擬結果能愈接近真實情況。

下列式子為我們換算不同速度下，機身吃水深度所用之公式：

$$\frac{(\text{全機質量(kg)} - \text{升力(kg)}) \times 1000^3}{\text{平均吃水截面積(mm}^2) \times \rho_{\text{water}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \text{當前速度吃水深度(mm)} \quad (2.1)$$

- $\rho_{\text{water}} = 997 \text{ kg/m}^3$  (溫度  $25^\circ\text{C}$ )
- 平均吃水截面積： $193422.3302 \text{ mm}^2$

表 4 吃水深度推估表

空速(m/s)	扣除升力後重量(kg)	推估吃水深度(mm)	推估排水量(m <sup>3</sup> )
1.15	5.5118	28.58217556	0.005528431
3.15	4.7680	24.72491662	0.004782351
5.15	3.2211	16.70331030	0.003230793
7.15	0.8546	4.431697614	0.000857189
9.15	-2.3411	起飛	無

### 分析條件：

- 空速：如下表所示
- 水流速：如下表所示
- 吃水深度：如下表所示
- 攻角： $2^\circ$
- 空氣密度： $1.18387 \text{ kg/m}^3$  (海拔高度 330 mm、溫度  $25^\circ\text{C}$ )
- 水密度： $997 \text{ kg/m}^3$  (溫度  $25^\circ\text{C}$ )

➤ 重心位置(由翼前緣算起)：(X, Y, Z) = (-275.774 mm, 0mm, -88.123mm)

表 5 水域分析速度及吃水深度條件

空速(m/s)	Water Speed(m/s)	扣除升力後重量(kg)	推估吃水深度(mm)
3.15	1.42	4.7680	24.72491662
5.15	3.42	3.2211	16.70331030
7.15	5.42	0.8546	4.431697614

由於空速 1.15 m/s 時的氣動力效果，以及轉換的水流速度幾乎靜止，故在此忽略不列入水域分析資料，以節省軟體計算時間；而空速 9.15 m/s 時，無人機已起飛，不受水域阻力影響。

下表列出使用 ANSYS CFX 分析水域綜合空氣域，於不同速度下之阻力數據：

表 6 水域分析阻力計算結果

Air speed(m/s)	Water Speed(m/s)	Drag Air (N)	Drag Water (N)	Drag Total (N)
3.15	1.42	0.99450	3.42059	4.41586
<b>5.15</b>	<b>3.42</b>	<b>2.13278</b>	<b>11.76770</b>	<b>13.90048</b>
7.15	5.42	3.45037	6.06784	9.51821

以下為將上表資料整理過後，以 Excel 繪製之曲線圖：

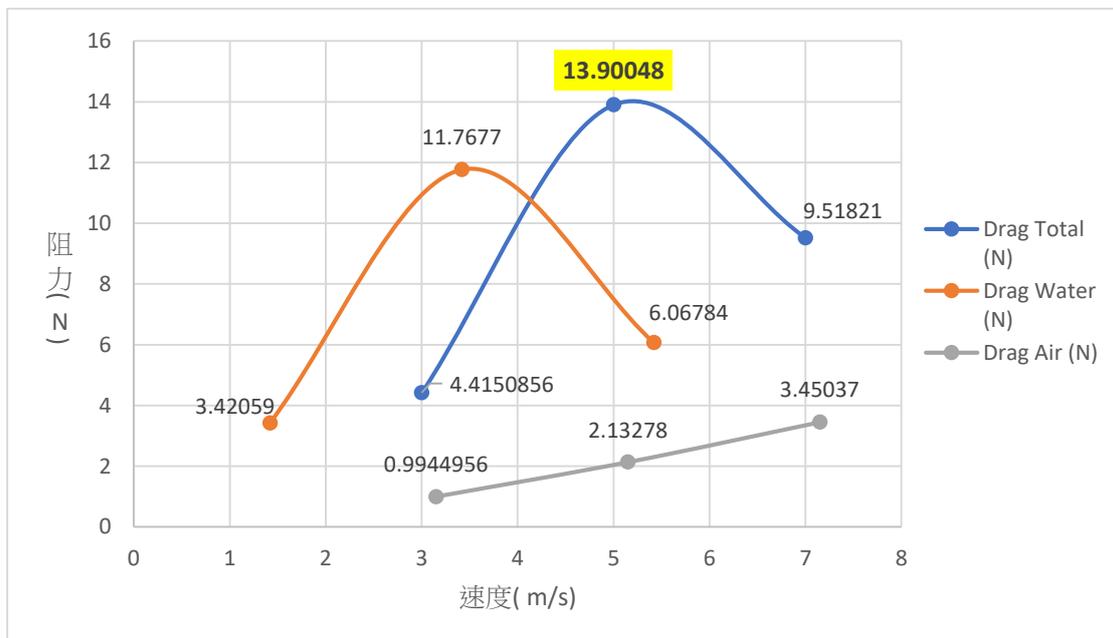


圖 30 水域航行阻力曲線圖

根據表 6 粗體字標記處，以及圖 30 黃色資料標記顯示，經由水域分析過後發現在空速為 5.13 m/s，水流速為 3.42 m/s 時總阻力最大，推估是因為當下空

速仍不足以讓機身吃水深度，透過氣動力所產生之升力提升而大幅減少。可參考圖 30 水域航行曲線圖中，水造成之阻力曲線，搭配表 5 內容所顯示三個速度下的排水量看出。水域航行的阻力來源除了與航行時的速度有關，由於氣動力的效果不同，造成排水量的不同，進而成為影響水域阻力的因素。而空氣阻力僅和速度成正比關係，因此航行時總阻力曲線變化，會隨無人機於不同速度下排水量而變化。（此外，透過比較這次分析結果及動力裝置系統後，目前的馬達及螺旋槳配置將能夠提供足夠起飛推力，詳見表 3 最大推力。）

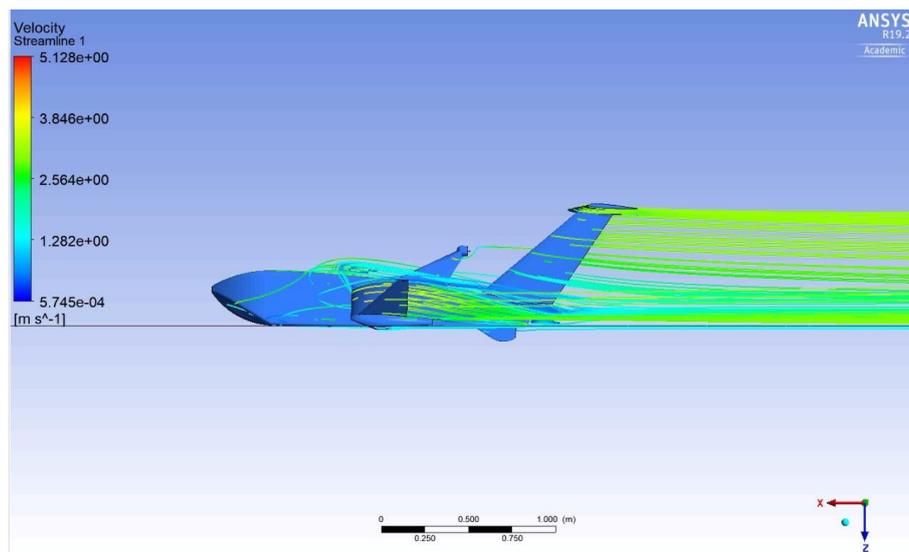


圖 31 水域及空氣域流線左視圖

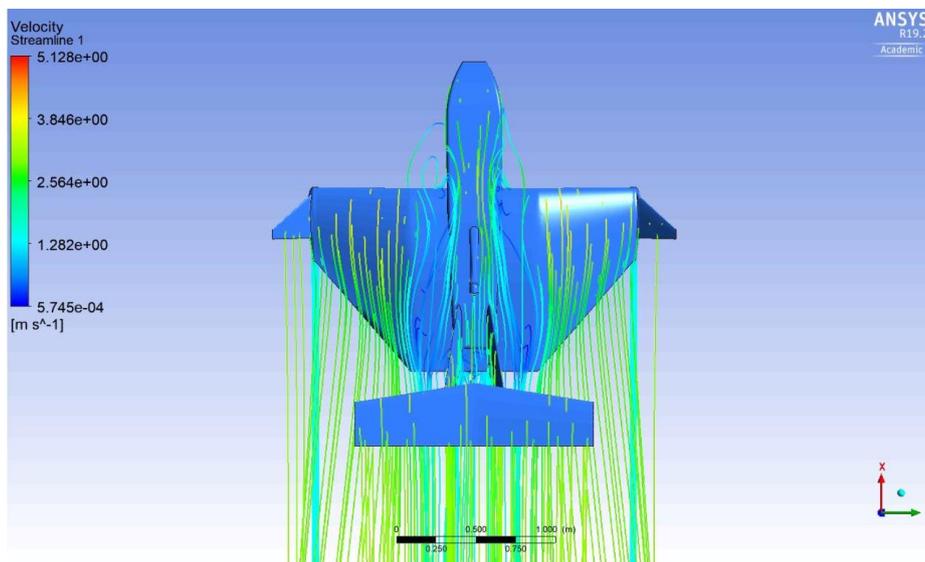


圖 32 水域及空氣域流線上視圖

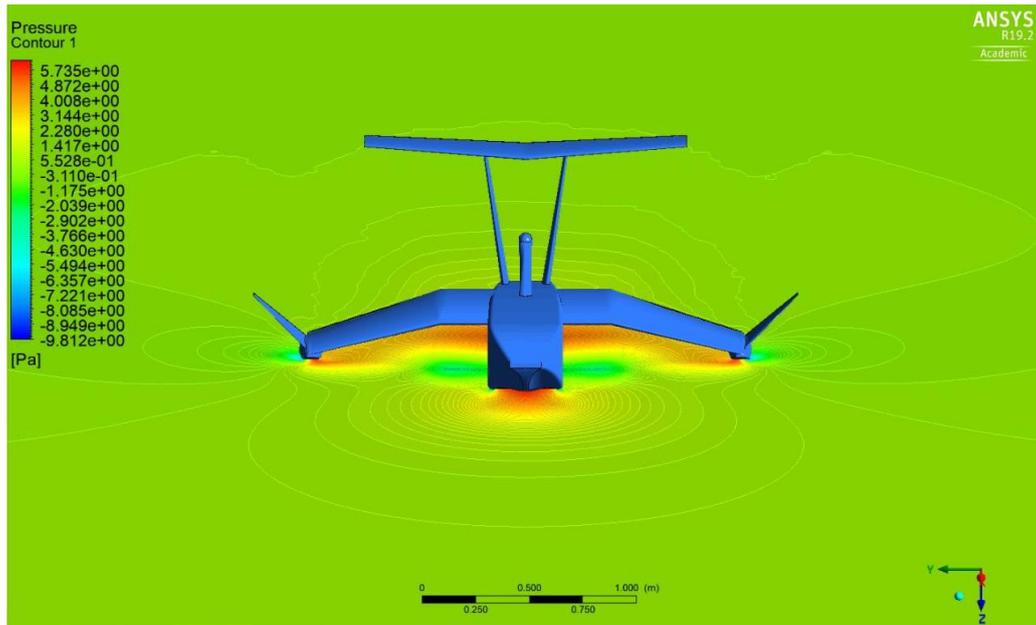


圖 33 水域壓力分佈圖

根據速度流線圖顯示，在水上航行時，由於主翼翼後緣服貼於水面，當無人機前進時，空氣進入翼面下方之後，氣流無法如正常飛行狀況下，順利通過翼後緣，造成氣流在翼面下產生紊流，再由翼根及機身周圍向前排出，可從圖 31、圖 32 觀測。因此便可以推測空氣域阻力來自於此現象。

水域壓力分佈圖則顯示模型與水面接觸的區域，圖 33 中紅色區域壓力較大，主要分布於翼面下方、機身和浮筒兩側、以及機身前方引導水流之結構，判斷以上區域為水上航行主要阻力來源。

### 第三節、無人機結構設計

根據無人機氣動力外型設計內部結構；內部結構主要分為以下幾組零件由圖 34 至圖 43 依序為：上機身、回收裝置、主翼、水平尾翼、垂直尾翼、翼翹、馬達座、前艙門、浮筒以及水舵。

圖 44 至圖 47 以及圖 49 將以上各零件組合呈現，各零件之間由碳纖維管連接(參見圖 48)，以螺絲固定，主翼、翼翹、水平尾翼和回收裝置為可拆裝，其餘零件為固定。目前結構重量約為 4.4 kg，製作時會再加入蒙皮、各式黏著劑、電裝重量等，整體重量大約是 5.6kg。

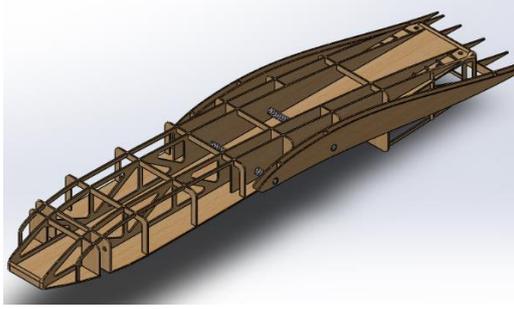


圖 34 上機身內部結構

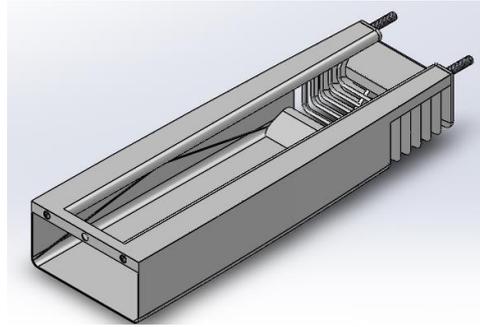


圖 35 回收裝置

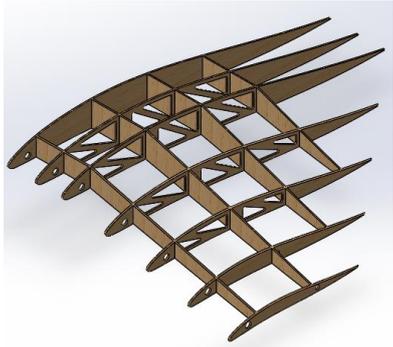


圖 36 主翼內部結構

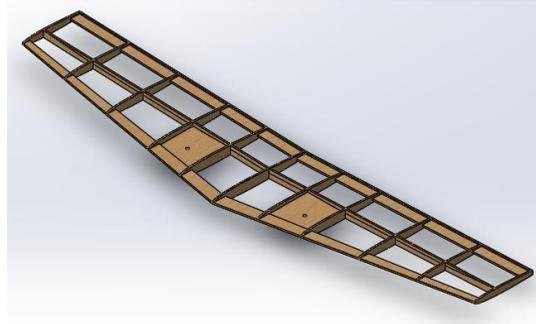


圖 37 水平尾翼內部結構

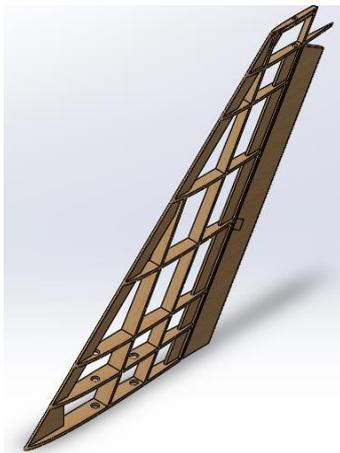


圖 38 垂直尾翼內部結構

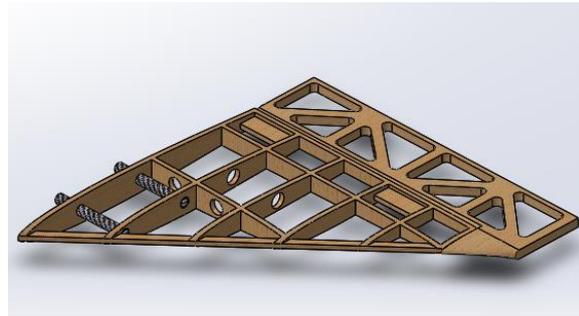


圖 39 翼翹內部結構



圖 40 馬達座內部結構

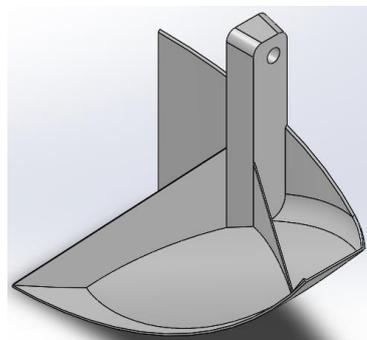


圖 41 左前艙門內部結構，右前艙門為相同

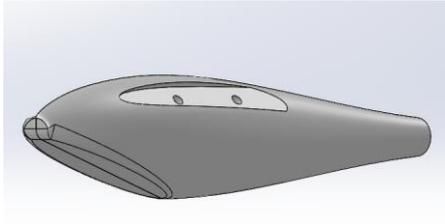


圖 42 浮筒

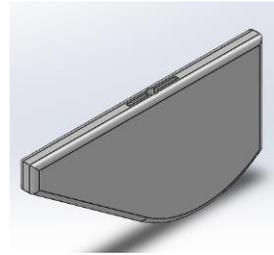


圖 43 水舵

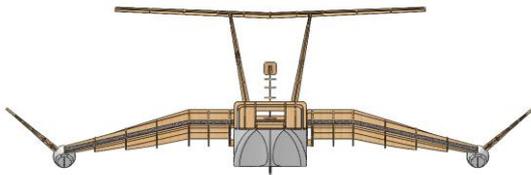


圖 44 內部結構前視圖

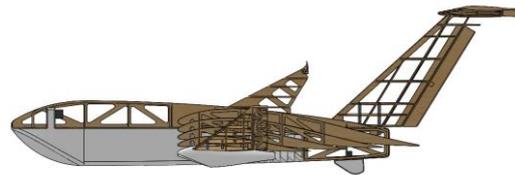


圖 45 內部結構左視圖

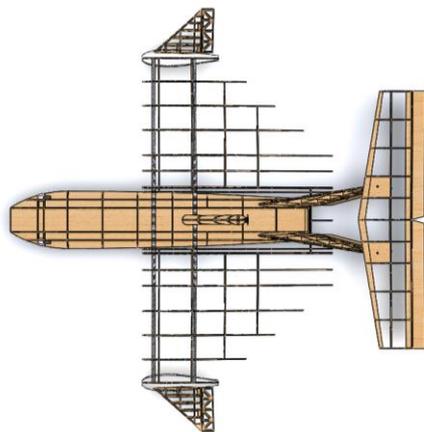


圖 46 內部結構上視圖

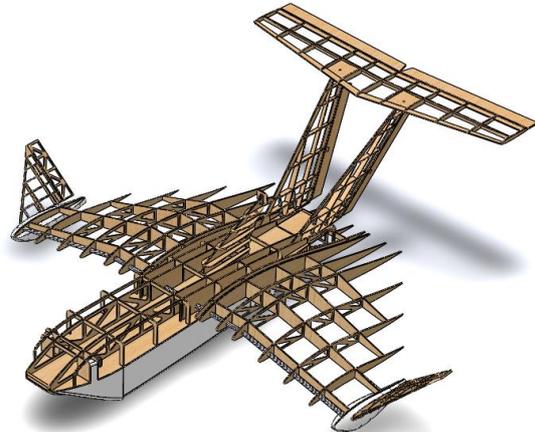


圖 47 內部結構等角視圖

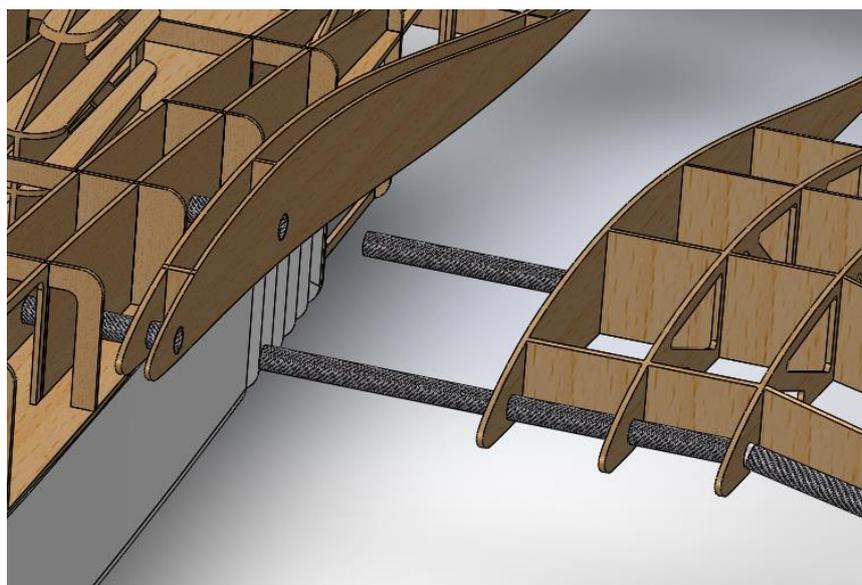


圖 48 零件之間以碳管連接，圖為主翼連接上機身

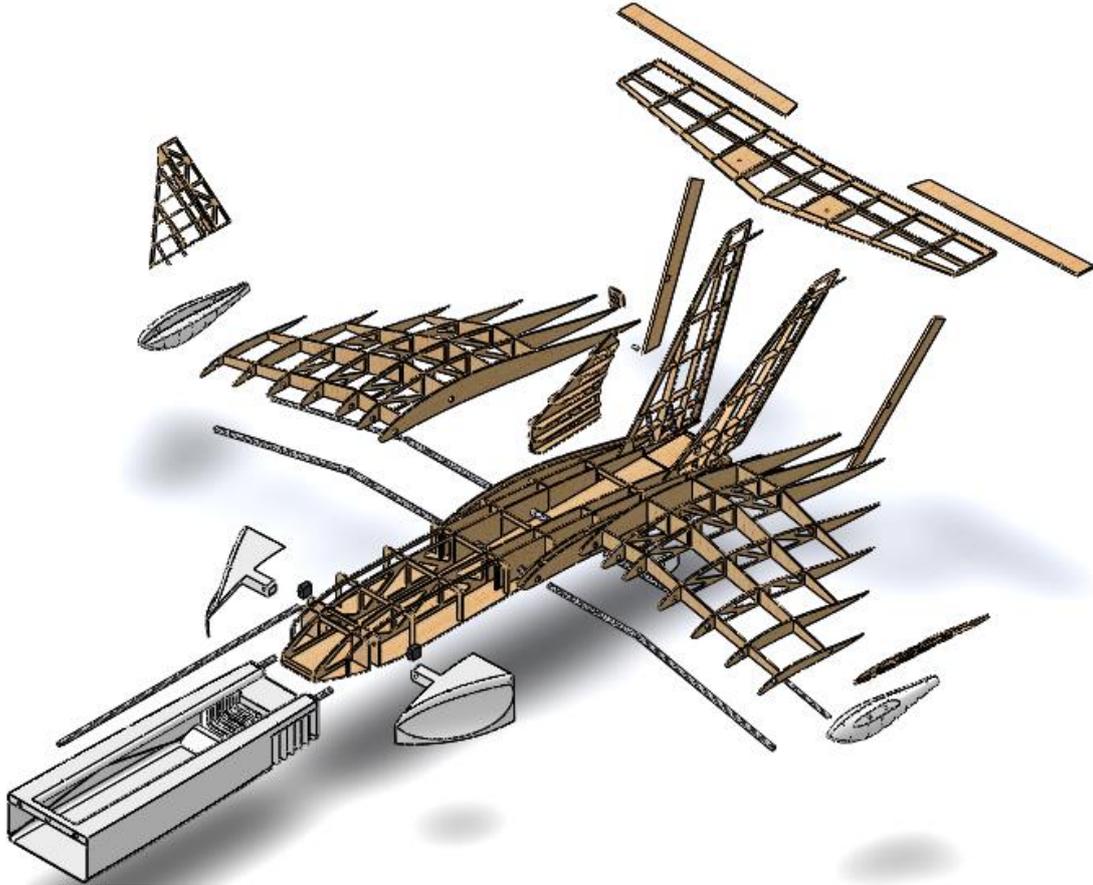


圖 49 內部結構爆炸視圖

#### 第四節、無人機結構應力分析及製作規劃

結構強度分析使用軟體 SOLIDWORKS Simulation 靜態分析，模擬以下四種零件受負載後的應力分佈圖、位移量、安全係數分佈圖。並透過應力分布結果和安全係數圖進行未來製作上的加強與修正。

##### (一)主翼：

由於主翼除了需承受氣動力外型產生的升力負載之外，還要作為連接機身主結構以及翼尖浮筒、翼翹的角色。將水上航行時，來自浮筒所受的力、扭矩傳遞到機身分散。故分析條件的負載設定至 800 N，為測試後出現會造成斷裂的最大應力。以下為分析條件：

- 套用材料：巴爾莎木
- 固定位置：碳纖維管插銷處、與上機身連接之平面
- 負載：800 N（如圖中紫色箭頭所示）

根據應力分佈圖顯示，最大應力位置發生在靠近翼前緣前兩片樑和翼根肋片連接位置（圖 50 中紅色圓圈圈選處），最大應力值  $2.928 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ，而材料降伏強度為  $2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ，其最大應力值大於材料降伏強度可能有斷裂的風險。結構最大位移量約為 66.3 mm，發生位置位於(圖 51)的翼尖前端。透過安全係數分佈圖來看，圖中最大安全係數上限為 3，大多數區域有足夠的安全係數，而如同應力分佈圖所示，在和最大應力發生位置重疊處，安全係數僅有 0.6831，表示此處結構強度有待改善。

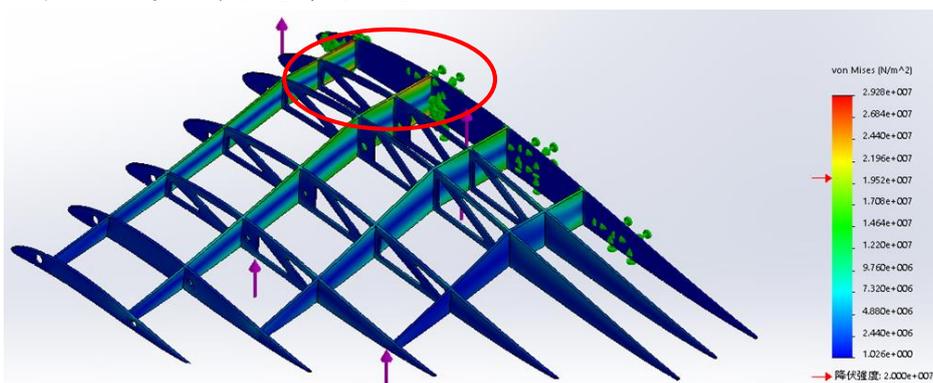


圖 50 主翼；應力分布圖

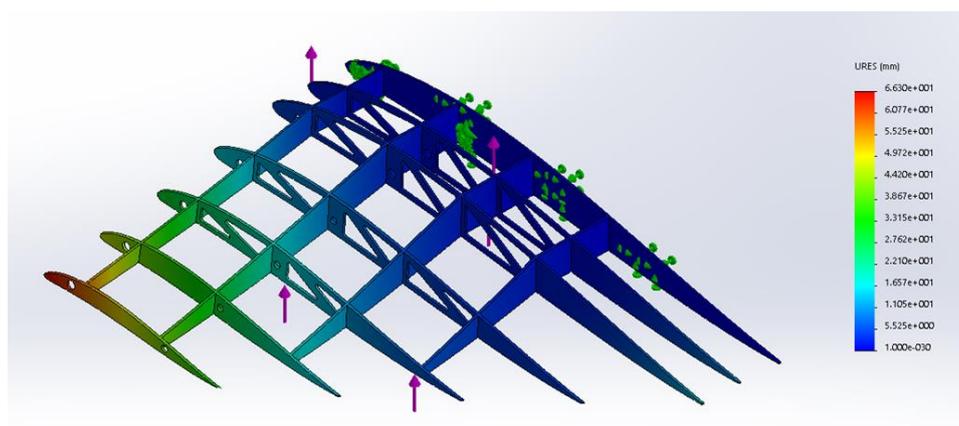


圖 51 主翼；位移量圖

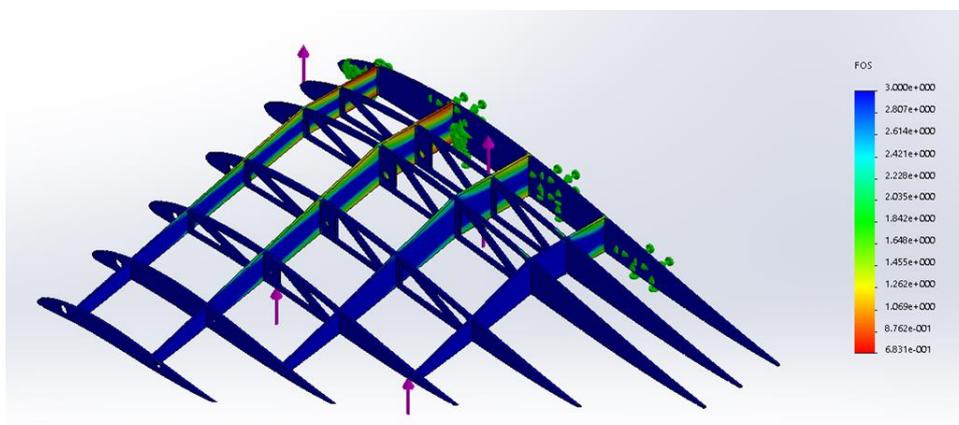


圖 52 主翼；安全係數圖

根據上述應力分布圖、位移量圖以及安全係數圖所顯示的結構強度不足處，會以碳纖維管做補強，以傳導應力至其餘結構。並使用三角木條補強最大應力位置，以及結構下反角轉折處。

## (二)水平尾翼：

負載大小根據全機重量設定，預期目標為各零件結構最低限度要能承受全機重量，而目前全機重量約為 5.5 kg，即是大約 55 N，開始向上提高負載。以下為分析條件：

- 套用材料：巴爾莎木
- 固定位置：碳纖維管插銷處、與垂直尾翼連接之平面
- 負載：55 N（如圖中紫色箭頭所示）

根據應力分佈圖顯示，最大應力位置發生在連接垂直尾翼平面與橫樑接合處（如圖 53 顯示），最大應力值  $3.291 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ，而材料降伏強度為  $2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ，出現最大應力值大於降伏強度可能有斷裂的風險。由於比起主翼而言，水平尾翼結構較為扁而細長；因此即便只有 55 N 的負載，造成的最大位移也能來到約為 66.11 mm，發生位置位於翼尖後段。再根據安全係數分佈圖顯示，圖中最大安全係數上限為 3，多數結構安全係數皆大於 1，或是已達圖中安全係數上限。如同應力分佈圖所示，安全係數圖中和最大應力發生位置重疊處，安全係數僅有 0.6078，表示此處結構強度有待改善。

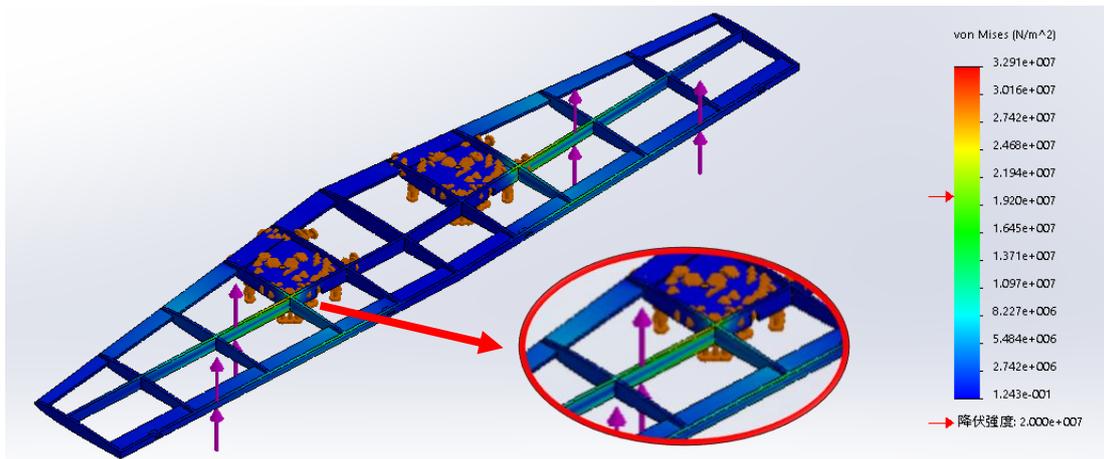


圖 53 水平尾翼；應力分布圖

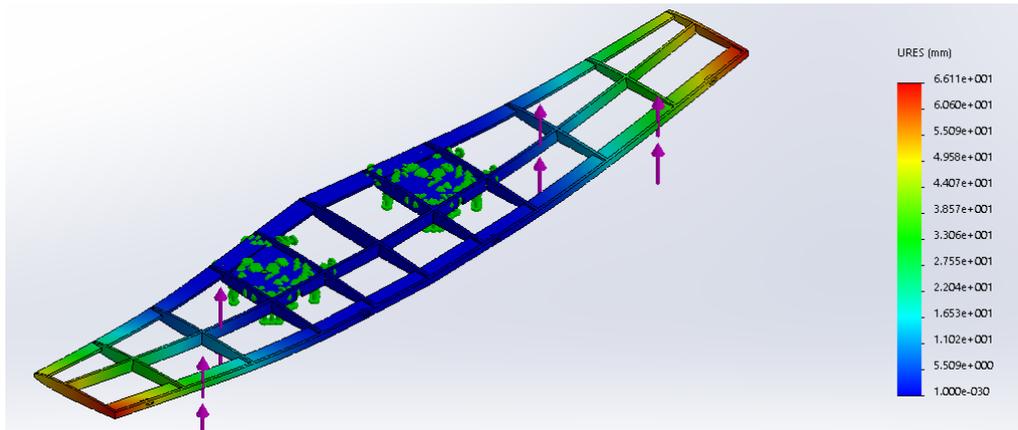


圖 54 水平尾翼；位移量圖

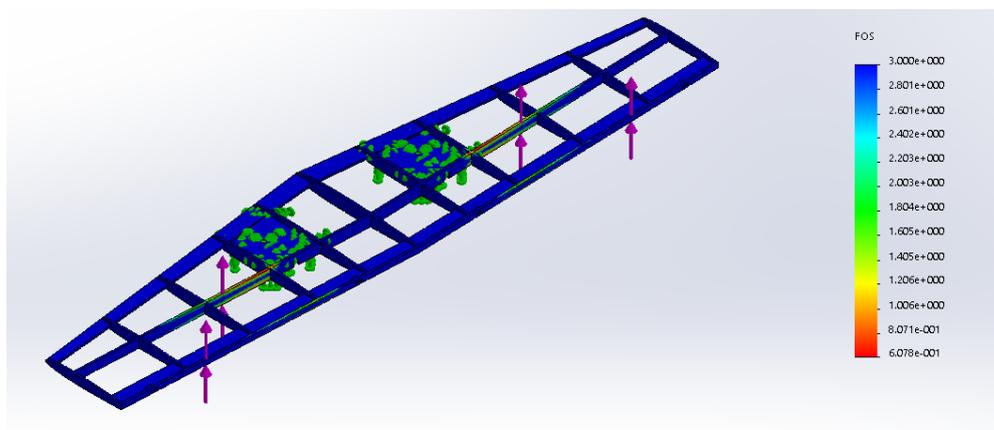


圖 55 水平尾翼；安全係數圖

藉由上述分析結果顯示之結構強度不足處，會以三角木條補強直角處結構，再使用航空合板以及玻璃纖維做整體橫樑的結構加強。詳細實作細節會於下一章節的「無人機製作過程」加以描述。

### (三)垂直尾翼：

負載大小為根據全機重量設定，我們希望各零件結構最低限度要能承受全機重量，而目前全機重量大約為 5.5 kg，即是大約 55 N，開始向上提高負載。以下為分析條件：

- 套用材料：巴爾莎木
- 固定位置：碳纖維管插銷處、與上機身連接之平面
- 負載：55 N 水平合力方向（如圖中橘色箭頭所示）

根據應力分佈圖顯示，最大應力出現位置位於翼根與上機身連接之平面，和垂直肋片連接處約  $1.277 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ，小於材料降伏應力。位移量圖則顯示最大位移量約為 44.53 mm，位置發生在翼尖後段。而安全係數分佈圖最大上限為 3，大多數結構都已達安全係數最大上限，未達最大上限的區域和應力分佈圖中

最大應力分佈位置相同。雖安全係數未達最大上限 3，但仍大於 1，最小安全係數也達到 1.566。

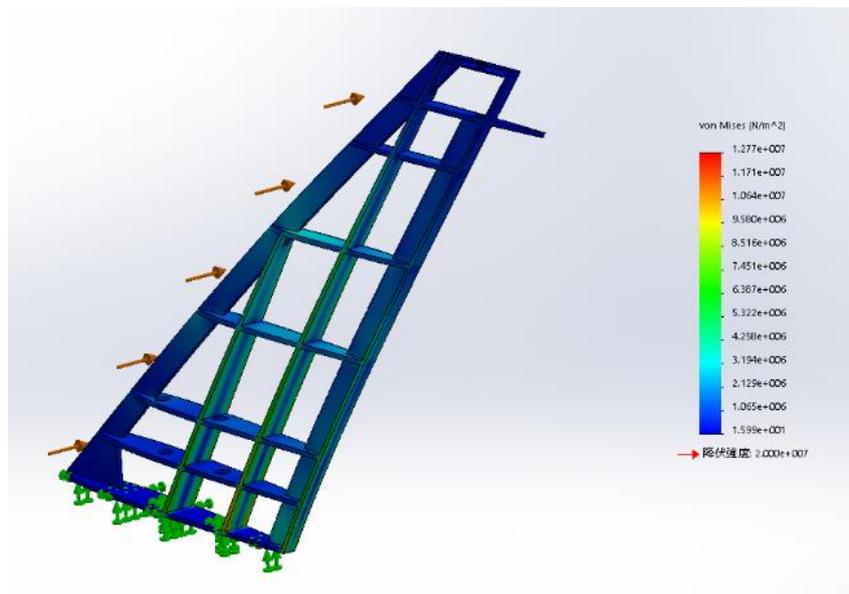


圖 56 垂直尾翼；應力分布圖

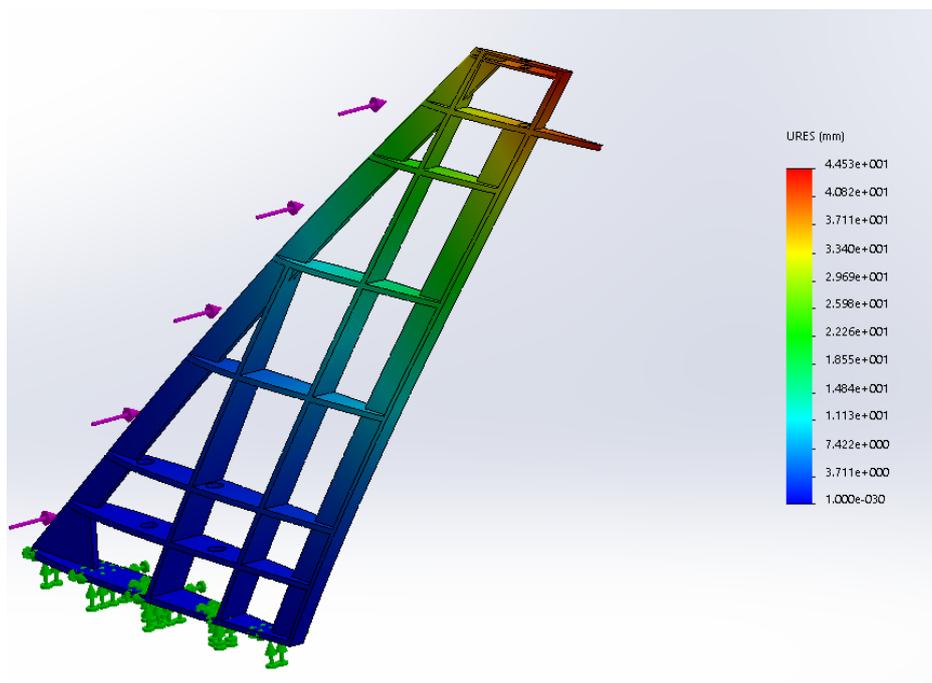


圖 57 垂直尾翼；位移量圖

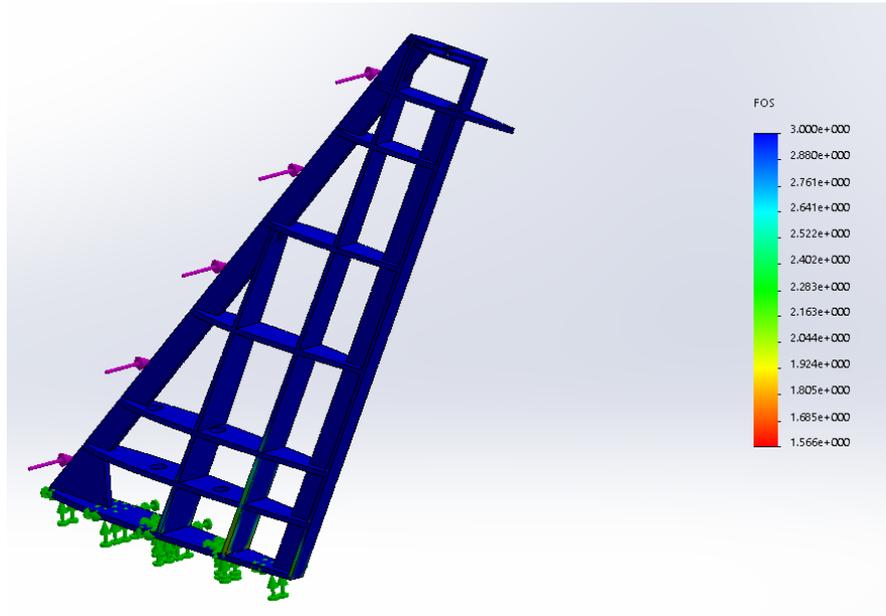


圖 58 垂直尾翼；安全係數圖

同樣出現應力集中處的垂直尾翼結構之所以不需像其他翼面額外做結構補強的原因，除了最大應力未超過降伏強度外，其組合方式與上機身和水平尾翼搭成類似梯形結構（如圖 59 所示），此構型可使尾翼整體結構強度提升。

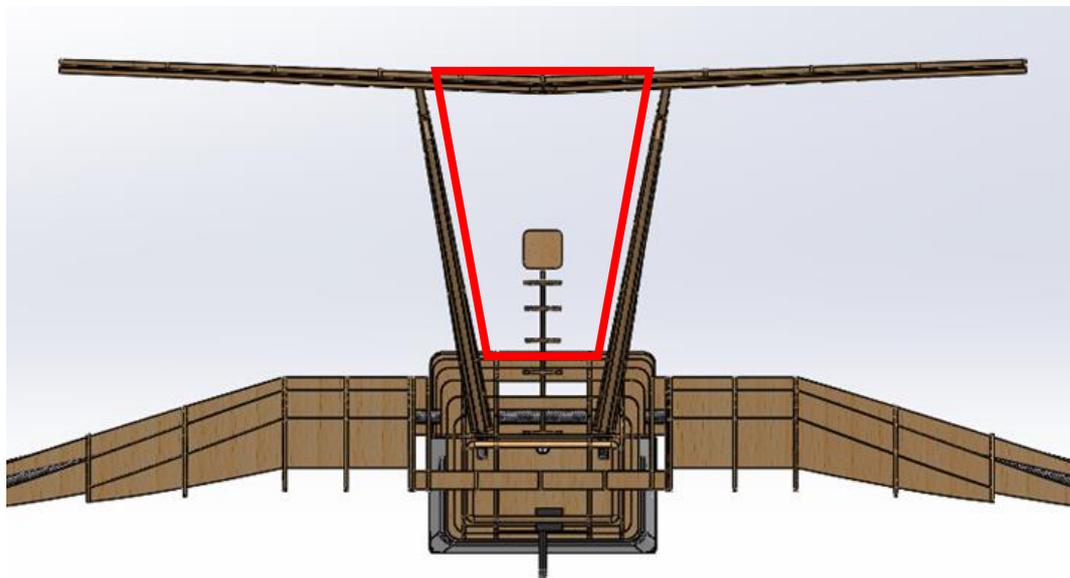


圖 59 無人機尾翼梯形結構

#### (四)翼翹：

負載大小為根據全機重量設定，我們希望各零件結構最低限度要能承受全機重量，而目前全機重量大約為 5.5 kg，即是大約 55 N，開始向上提高負載。以下為分析條件：

- 套用材料：巴爾莎木
- 固定位置：碳纖維管插銷處、與浮筒連接之平面
- 負載：55 N 合力方向（如圖中紫色箭頭所示）

根據應力分佈圖顯示，最大應力出現位置位於翼根與浮筒連接之平面連接處約  $1.637 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ，小於材料降伏強度。位移分佈圖則顯示最大位移量約為 11.99 mm，位置發生在翼尖後段。

而安全係數分佈圖最大上限為 3，多數結構都已達安全係數最大上限，未達最大上限的區域和應力分佈圖中最大應力分佈位置相同。雖安全係數未達最大上限 3，但仍大於 1，最小安全係數也達到 1.222。

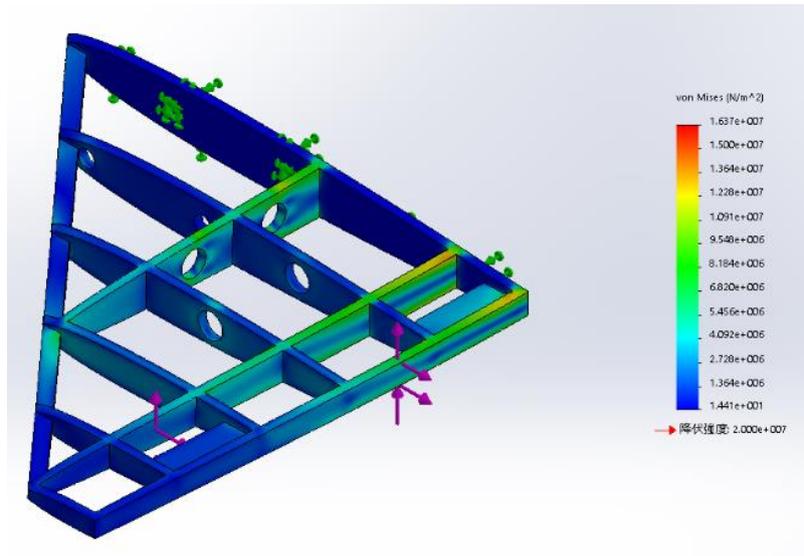


圖 60 翼翹；應力分布圖

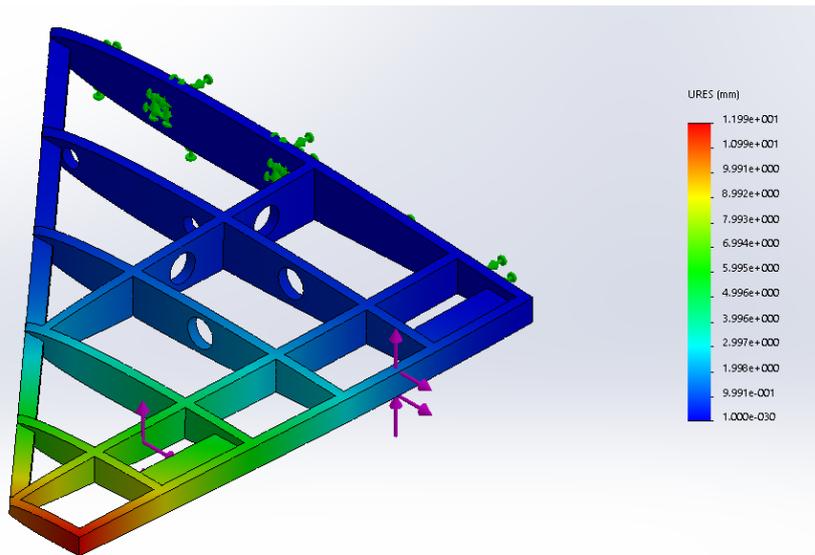


圖 61 翼翹；位移量圖

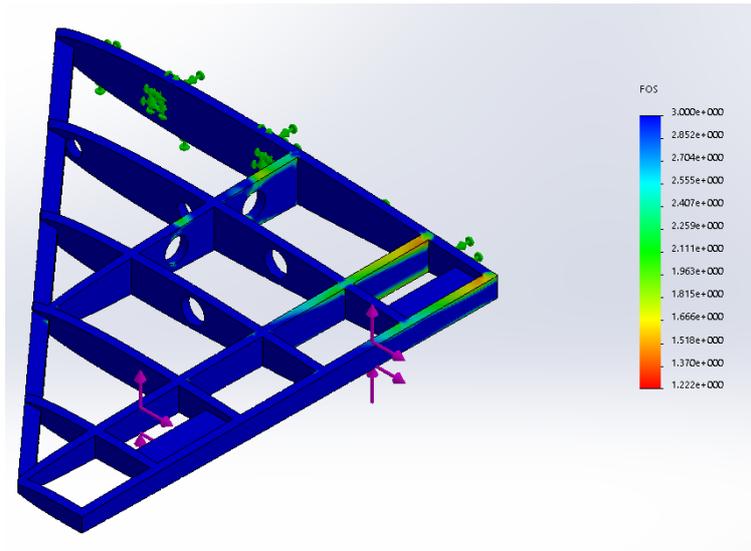


圖 62 翼翹；安全係數圖

上述內容針對主翼、水平尾翼、垂直尾翼以及翼翹等四個主要承受流體負載的結構應力分析；經過模擬計算結果，分析出各零件的結構強度不足處，並加以補強。四種零件皆以航空合板以及巴爾莎木為主結構，碳纖維管則作為結構強度輔助；在根據應力分析判斷如何做結構補強的過程中，除了判斷應力集中處之外，仍需根據其結構外型尋求最佳的補強方式，也要推估使用的補強方式是否增加過多的重量，這樣反覆的判斷過程為應力分析的主要難題。

## 第五節、回收裝置設計

為符合水上任務需求，使無人機俱備可儲存蒐集之垃圾、排水、過濾海水，以及方便拆裝等功能之回收裝置。本節內容透過製作簡易模型或縮小模型，進行實驗模擬水上作業時可能遭遇的問題，並針對不同回收裝置特性，進行設計修改及改良，最終得出最適合本次任務目的之回收裝置作為酬載艙。以下根據水上作業方式、回收裝置類型、回收裝置實驗、實驗結果比較以及結論進行介紹。

### 水上作業方式：

為了最有效的運用翼地效應帶來的優勢，根據初步設計內容提及的需求，修改原先計畫書內容的無人機外型；因此由於外型修改，原先於計畫書提及的水上作業方式便不採納。

根據前一無人機設計所制定的水上作業方式如下：

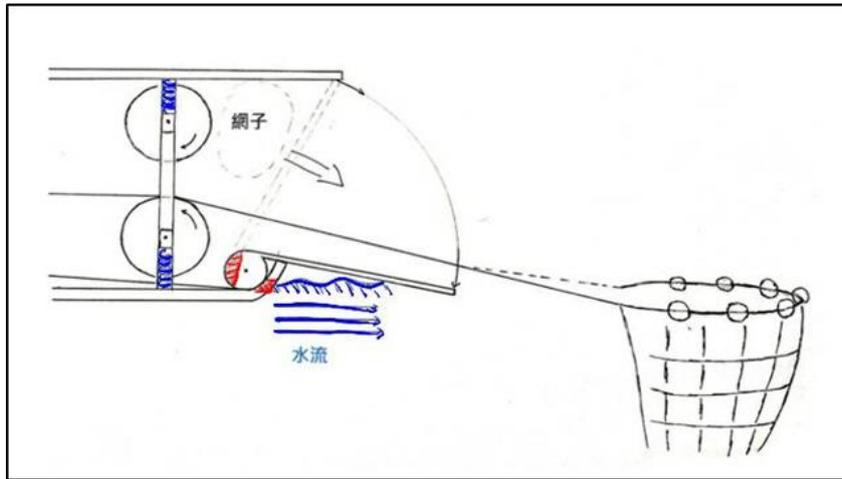


圖 63 開啟艙門灑網蒐集海上漂浮垃圾

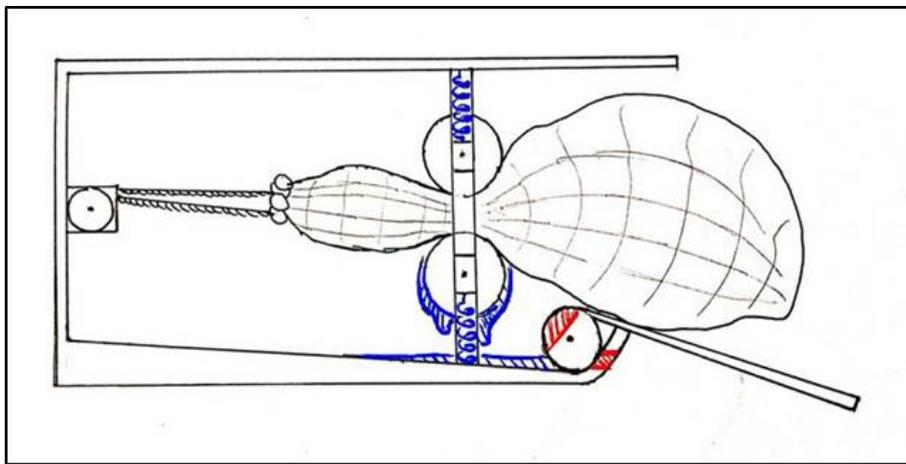


圖 64 以馬達收網，藉由滾筒擠壓多餘水分

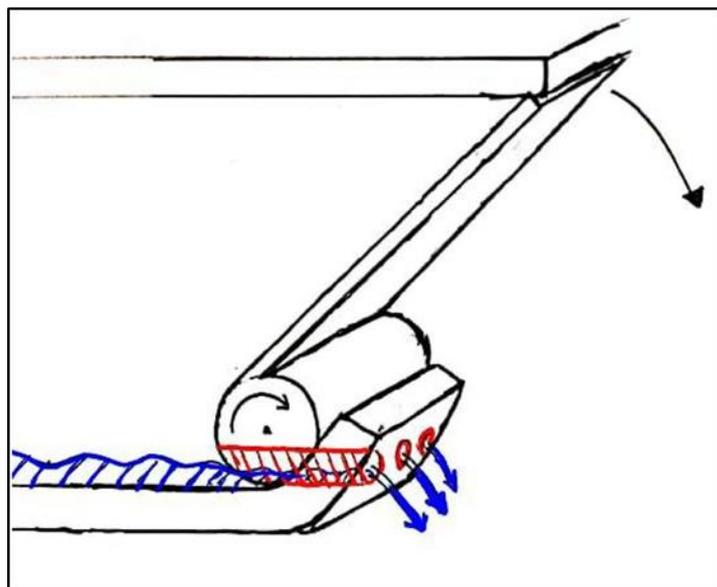


圖 65 藉由後艙門下方排水孔進行排水

單純考慮水上作業方式以及此回收艙排水系統而言，原先的設計包含太多複雜的機械結構問題，這些結構不論在製作難度和重量都對無人機設計帶來大量的問題；也由於內部機械結構較多，壓縮原先可以做為蒐集垃圾的空間；過濾網的使用也會成為潛在問題，例如網子的修補，或是收網不順，而與回收艙內結構互相干涉，都會成為未來運作時的隱憂；因此不再使用此回收方式。

取而代之的是根據目前的無人機外型，而設計的水上作業方式，以及回收裝置。在此以無人機左視圖呈現水上作業方式：

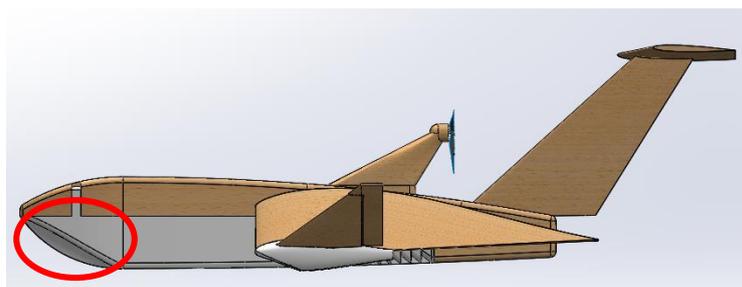


圖 66 無人機於飛行時，前艙門關閉(紅色圓圈處)

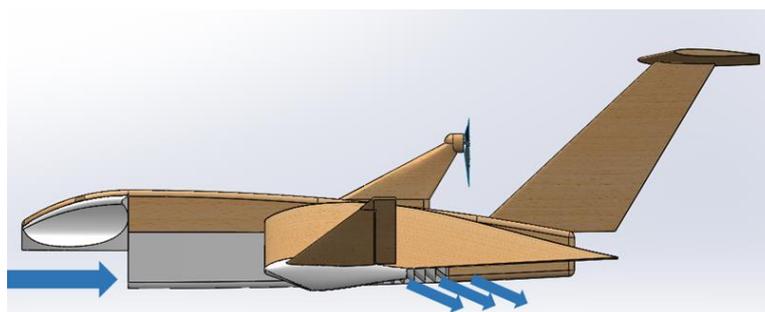


圖 67 進行水上作業，前艙門向上開啟，使水流和垃圾進入回收艙體進行收集和過濾

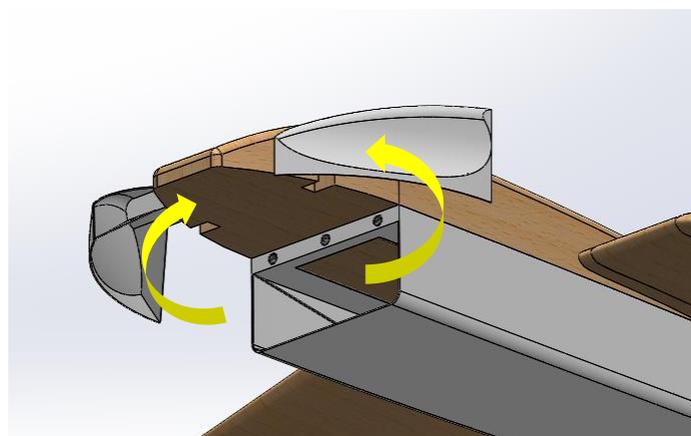


圖 68 前艙門向上開啟

最後艙門關閉之後即可準備起飛返航。透過如同濾食型海洋生物進食方式執行垃圾過濾工作，如此一來，可以省去過濾網造成的內部結構問題，以及複雜的機械結構，使未來故障的機率降低。接下來則會進行，回收裝置的詳細介紹。

## 回收裝置類型

由於無人機飛行穩定性取決於重心位置，在無人機上有一段可容許載重的重心範圍限制；這個範圍即是設計回收裝置的尺寸規範。根據這段範圍，得出以下回收裝置尺寸限制：

表 7 回收裝置尺寸

回收裝置尺寸	
長	105.5 cm
寬	35.1 cm
高	18 cm

在這個尺寸下的長方體裡需要包含回收艙、過濾系統、排水系統以及與上機身載具組裝的功能，並且方便清除回收裝置內所蒐集的垃圾。

以下兩種回收裝置設計結合上述需求，並將兩者進行比較：

### (一) 過濾網回收裝置：

此回收裝置的設計概念源自於整合回收裝置內部結構，以及過濾系統，使濾網作為內部結構的一部份，並在最後進行排水。濾網會根據不同層數，使濾網孔徑大小不同，達到分層過濾不同大小的垃圾。

而排水系統則需與上機身做協調；排水系統是位在回收裝置最後的排水孔，回收裝置最後段左右兩側各有兩個開口，是為了使上機身後段由線性馬達控制的艙門通過，使排水系統在不需排水時，例如靜止於水上，不需作業時，則不會由後艙門進水。



圖 69 概念模型 內部結構結合濾網

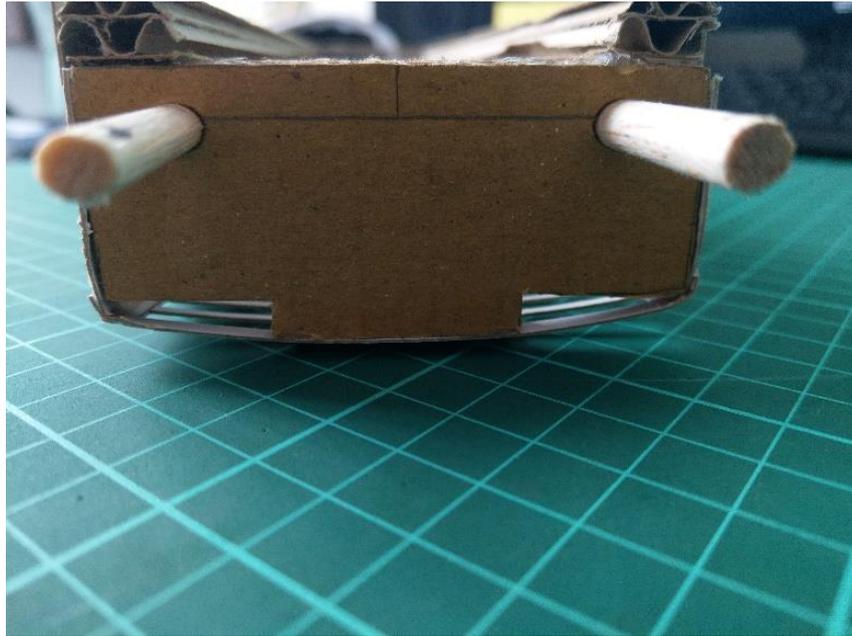


圖 70 回收裝置後段與機身連接桿和艙門開口

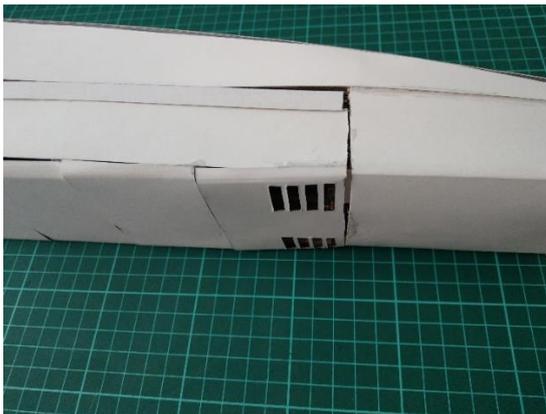


圖 71 排水口艙門開啟



圖 72 排水口艙門關閉

## (二) 鰓裂式回收裝置

此回收裝置的設計概念於自濾食型海洋生物－姥鯊，其口腔內部的幾何結構，使牠在進食過程中排出口中的水量，和進入口中的水量幾乎一樣多，因此不會造成排水量不足而導致的口腔內壓力過大，無法順利過濾海水。

結合了排水與過濾系統為一體，前半段為垃圾蒐集艙，後段則為過濾器，也是此回收裝置的特點；利用不同間距、大小之鰓葉組裝，使水流和垃圾在特定方向容易流動，同時過濾器的設計，使無人機即便在靜止狀態下，也必須沉入一定高度，才有可能造成大量進水，因此透過此過濾器的設計，則可以不使用後艙門系統，進而減輕重量。



圖 73 濾食型海洋生物-姥鯊<sup>[15]</sup>

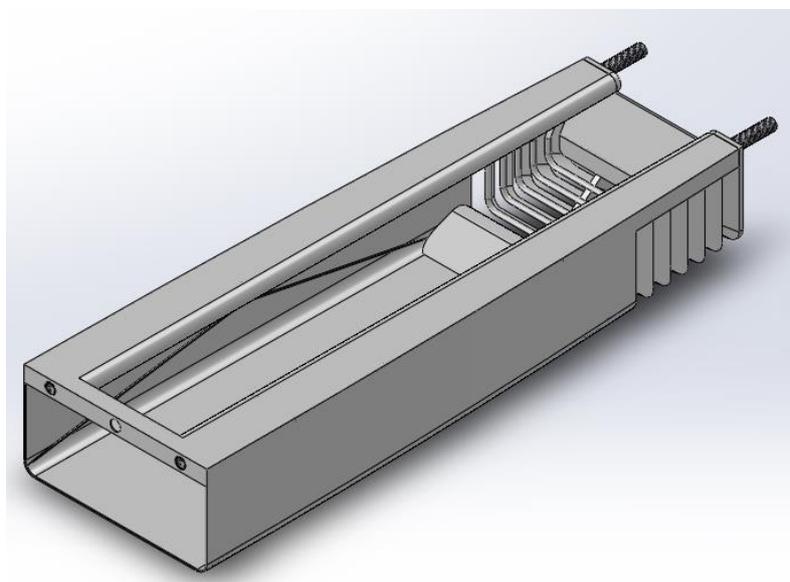


圖 74 鰓裂式回收裝置

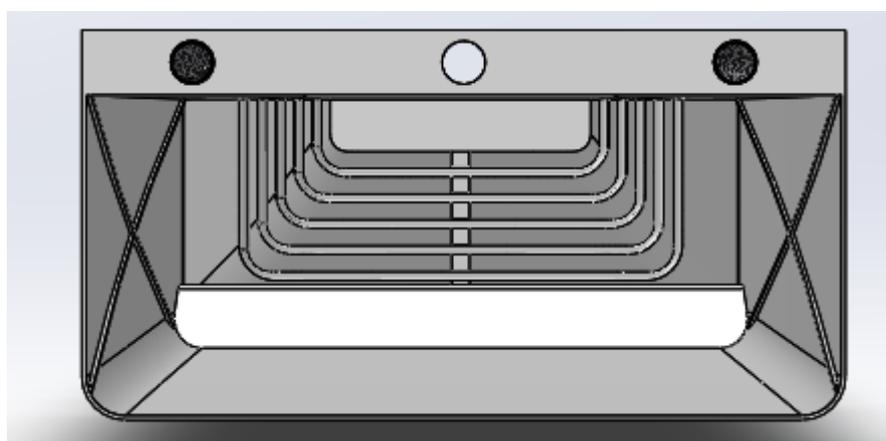


圖 75 回收裝置入口前視圖

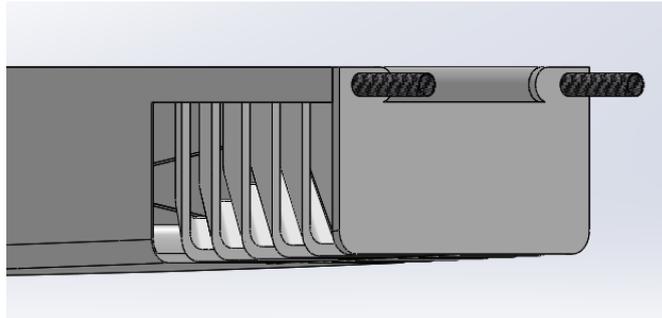


圖 76 由五片鰓葉組成，不使用艙門

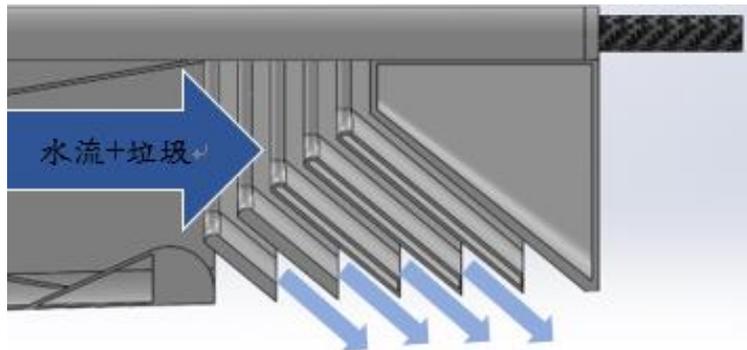


圖 77 過濾器剖面圖，以鰓葉結構過濾水流，並留下垃圾排出多餘海水

### 回收裝置實驗

根據上述兩種回收裝置類型，製作以下簡易模型及縮小模型進行垃圾回收實驗。實驗內容包括：

- 測試回收裝置於靜止時水流及漂浮垃圾於艙內流動情形
- 測試回收裝置以手動打撈靜止水面上的漂浮垃圾，模擬任務執行情況。

(一) 過濾網回收裝置簡易模型：由壓克力板、珍珠板製作，分為三層不同孔徑過濾網，使垃圾依大小進行分類。



圖 78 過濾網回收裝置簡易模型

(二) 鯰裂式回收裝置縮小模型：使用 PLA 3D 列印製作組裝。

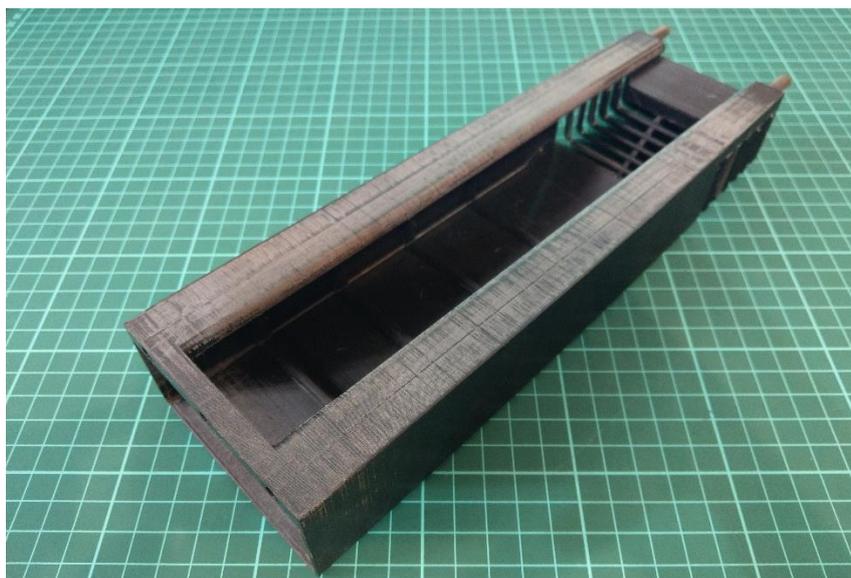


圖 79 鯰裂式回收裝置縮小模型

### 實驗結果比較

#### 靜態測試結果：

此處固定回收裝置於流動水道中，並將漂浮垃圾釋放於水流中，使其順流而下，觀察此回收裝置面對水流擾動時本身的特性，以及是否能正常執行過濾、排水工作。

#### (一) 過濾網回收裝置：

過濾網回收裝置在靜止於水中對於水流擾動展現以下幾種特性；放置水中之後在進水口位置明顯出現渦流產生，並出現船內水流向前流出之情形；原先設計要讓垃圾按照不同大小分類的過濾網，過濾效果不如預期，垃圾無法通過第一層濾網，甚至在遇到第一層濾網後，遭回收船內水流向前排出。



圖 80 水流方向由左向右，觀察紅色標記之垃圾



圖 81 垃圾在進入回收艙區域後，受渦流影響向外推移(黃色路徑)



圖 82 最終自進水口流出回收艙

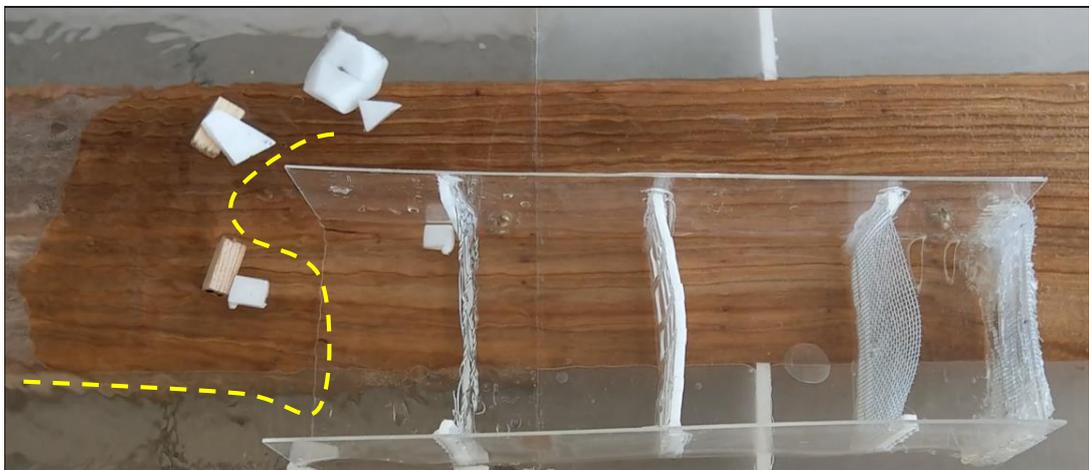


圖 83 其餘未標記垃圾也表現相同結果

根據靜態模型實驗結果推測，由於排水量遠小於進水量，造成艙內壓力大於外界壓力，導致流速下降；因此出現垃圾進入艙內卻又自行流出之現象，進而使濾網無法發揮作用。導致流速下降的另一原因，是由於濾網本身為了固定於回收艙內，結合肋條結構作為邊框固定，使原先伏貼於艙內壁面的水流受阻產生紊流，導致進水口除了艙內壓力造成的迴流現象之外，還有來自第一層濾網肋條產生的紊流阻擋。

(二) 鯨裂式回收裝置：

不同於過濾網回收裝置，此回收裝置固定於水道中受水流擾動下；雖然在入口也有產生較小的渦流，但此渦流來自於進水口外框將水分流至艙內和艙外產生，前一回收裝置也有出現此情形，但不影響垃圾進入回收裝置內部，最終所有垃圾皆堆積於尾端過濾器之前，而未發現過濾器堵塞，或是因堆積垃圾造成的排水不順情形。



圖 84 水流方向由左向右，觀察紅色標記垃圾



圖 85 垃圾順流進入回收艙內



圖 86 垃圾向後推移

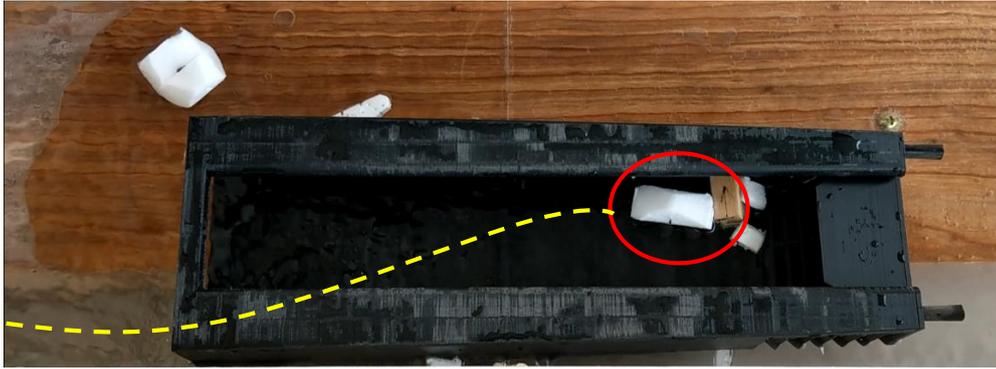


圖 87 最終堆積於過濾器前



圖 88 執行蒐集垃圾持續約 1 分 45 秒後蒐集結果

根據靜態測試結果觀察得出，總裂式回收裝置雖無法根據垃圾大小過濾並分類垃圾，但解決了來自排水量不足所造成的迴流問題，因此得以順利蒐集垃圾；也因為過濾器的幾何結構設計，讓回收裝置在過濾垃圾的同時，又不易堵塞，排水系統才得以時刻正常運作。

#### 動態測試結果：

完成靜態測試之後，為了模擬實際水上作業時，是在靜止或是低流速水面進行，接下來為動態測試結果；簡單來說，便是利用手控制回收裝置，使其在工作水面高度，於靜止水面主動打撈漂浮垃圾，觀察其特性。



圖 89 以木塊、珍珠板碎片模擬不同大小漂浮垃圾

(一) 過濾網回收裝置：

即便是以主動打撈的方式進行測試，此回收裝置的主因：排水量不足，仍是造成無法順利主動打撈的原因。由於艙內壓力大於外部，導致回收艙推著垃圾前進，而無法過濾。

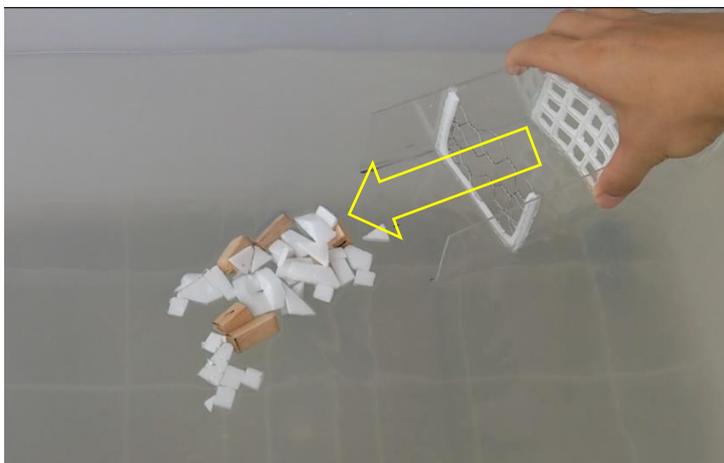


圖 90 手持回收裝置向前移動，黃色箭頭為前進方向

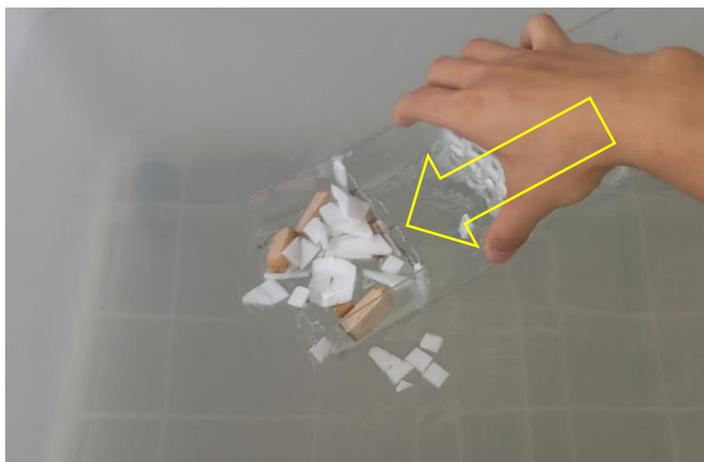


圖 91 垃圾堆積於第一層濾網，而無法順利通過或過濾



圖 92 垃圾向前推進無法過濾

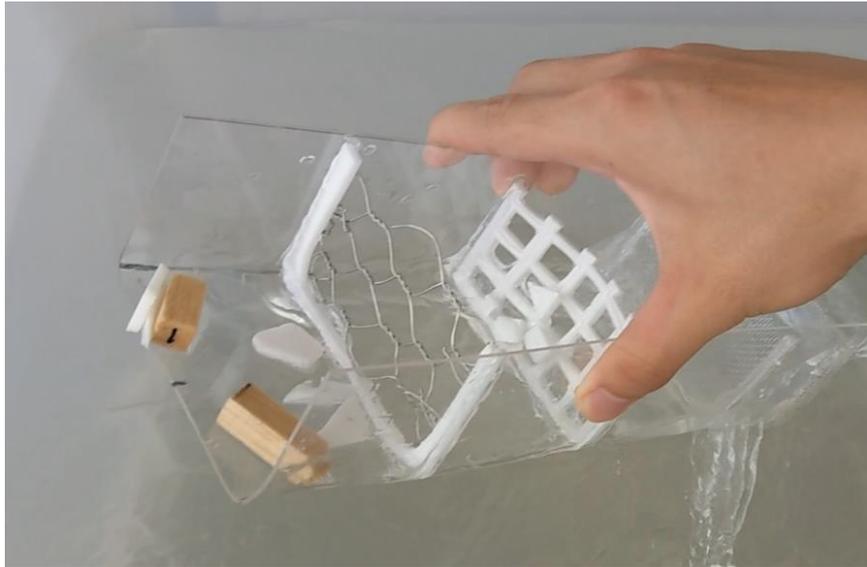


圖 93 蒐集結果

(二) 鰓裂式回收裝置：

透過主動打撈方式蒐集，效果明顯改善很多；在回收裝置前進時，水流順利通過濾器排出，漂浮垃圾幾乎靜止於水面沒有受到推移，直接進入回收裝置內部。



圖 94 手持回收裝置向前移動，黃色箭頭為前進方向



圖 95 垃圾順利進入回收艙內



圖 96 並向後堆積，將回收裝置提起



圖 97 蒐集結果

## 結論：

根據回收裝置實驗比較兩種回收艙的優缺點，比較後決定最終使用的版本。

過濾網回收裝置原先的概念設計良好，能夠將結構與多層過濾網結合，達到自行分類垃圾，為垃圾蒐集的後處理先做一次加工。有艙門關閉排水系統，使在水上航行若不需要排水系統時，能對無人機浮力多一層保障。然而兩者雖是它的優點，卻也同時成為它的缺點；濾網的結構在艙體內形成紊流影響流速，而排水系統的部分，由於排水孔大小會受後艙門線性馬達的行程限制，因此排水口的大小受限，導致排水量不足，成為過濾網回收裝置的敗筆。

比起過濾網回收裝置，鰓裂式回收裝置則展現了超出預期的過濾效果，透過幾何結構過濾垃圾，使排水量問題解決，內部結構簡單，以 3D 列印方式容易製作；由於沒有後艙門的系統，減少上機身的電裝重量；缺點則是過濾器需佔據回收艙尾端的部分體積，進而壓縮部份收納空間，但能夠有效執行任務，這樣的犧牲僅是完成任務的必要之惡。

最終採用「鰓裂式回收裝置」作為任務酬載艙使用，並在未來過濾最小直徑 1.5 cm，最大直徑 15 cm 的漂浮垃圾進行實機測試；對於此回收裝置的未來發展，若是未來有更多機會得以繼續研究，這項過濾器可再設計成可替換模組，再進階設計成能夠過濾海洋微塑料、油污染等。將海洋污染防治做更全面的保護。

## 第六節、無人機前艙門設計

根據期中報告所提出「執行中遭遇之問題與困難」，內容提及問題為「回收艙進水後浮力影響」將在本節做出回應，並提供目前解決方案。

### 無人機水上浮力實驗：

根據 SOLIDWORKS 所繪製之無人機外型與結構，製作 1/4 縮小模型機並掛載「鰓裂式回收裝置」進行水上航行模擬，並觀察前艙門開啟後無人機水上姿態。



圖 98 縮小模型；前艙門關閉時漂浮姿態



圖 99 縮小模型；前艙門開啟時漂浮姿態

由上圖內容顯示，當前艙門關閉時，全機浮力與姿態穩定，並未出現傾斜現象；欲在未來實驗成果達到一樣效果，則需在前艙門薄殼內部以保麗龍填充，使其作為機身前半部浮力來源，也增加下機身密合程度。

然而當前艙門開啟後，無人機姿態呈現向前傾斜的現象，主翼也呈現負攻角。若於水上航行作業時呈現此現象將造成無人機無法向前航行；即便艙門開啟執行水上作業，回收裝置也無法正常發揮效用；根據沒入水中之吃水線位置，有極大機率發生水流由上機身進入機身內部，造成內部電裝損壞，無人機結構受潮進而減弱強度。

#### 解決方案：

根據上述浮力實驗探討出前艙門開啟後可能引發的浮力問題，並提出以下方案：

#### 前艙門半開啟方式

使用縮小模型測試無人機前艙門半開啟時，是否仍能夠產生足夠之浮力以支撐機身？根據此假設進行以下測試。

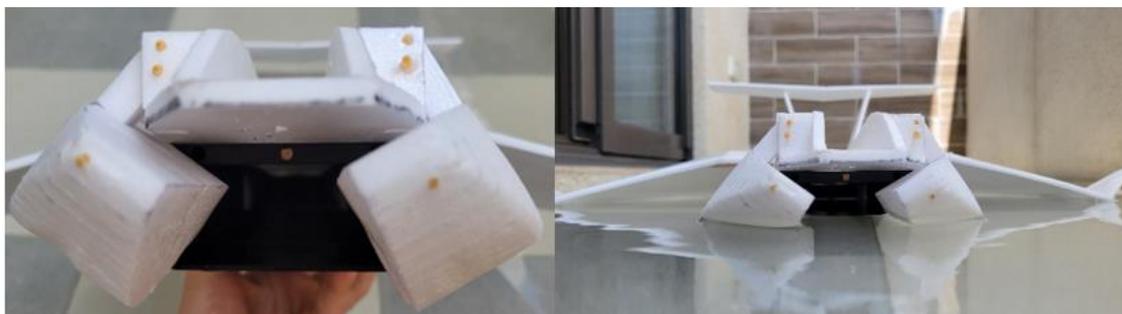


圖 100 縮小模型；前艙門半開啟



圖 101 縮小模型；前艙門半開啟水上姿態

由上圖結果得知，當前艙門未完全開啟時，無人機靜止於水面上即可達到漂浮效果，不會出現機身傾斜等現象；除此之外，由於前艙門本身外型設計，使其即便未完全關閉也可以進行航行。而左上圖艙門開啟角度，經工具量測結果顯示約為 32 度；根據此角度以及以上觀察現象，再進行前艙門結構改良。

### 前艙門設計改良

前艙門半開啟方式在漂浮能力以及航行測試下可行，也因為無需改變外型，則不需重新進行空氣域流場分析。然而此方法仍產生以下弊端；首先，前艙門半開啟狀態表示，原先回收裝置開口寬度受限，使過濾垃圾的進水量下降，甚至可能阻礙垃圾進入艙內過濾。再來，由於原先設計前艙門，是使用伺服馬達的轉動動力，將艙門轉動開啟離開水面，因此前艙門結構以及馬達本身不需承受來自水流的負載。但由於使用前艙門半開啟方式，則需另尋其他作動方式，以達到高結構強度、方便活動性等能力的結合。

## 前艙門最佳開啟角度計算

透過 SOLIDWORKS 軟體以無人機重量 5.6 kg 之吃水線計算，回收裝置開口最大寬度為 351 mm，即為水上作業時最大進水寬度。根據此寬度，測試前艙門開啟至何角度時，能達到最大進水寬度。根據下圖顯示，在測試艙門開啟角度 15 度至 47 度中可得知，當艙門開啟角度超過 46 度後，即達到最大進水寬度。

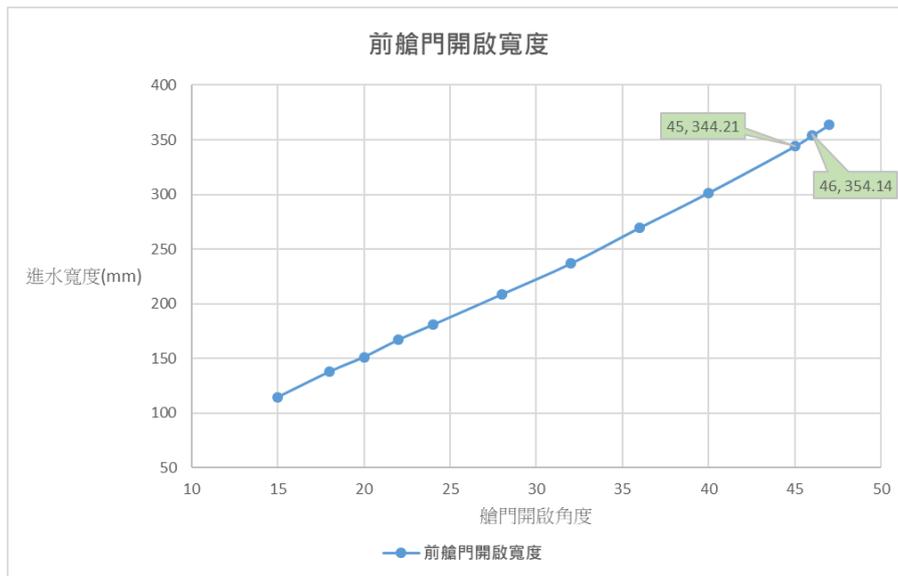


圖 102 前艙門開啟角度與進水寬度

再來，根據最大進水寬度的前艙門開啟角度，計算各角度下，由前艙門浮筒所產生之浮力，並將最大進水寬度的艙門開啟角度與能夠產生最大浮力之艙門開啟角度結合，以達到提供最大浮力以及最大進水量的效果。其中產生最大浮力之艙門開啟角度如下圖所示。

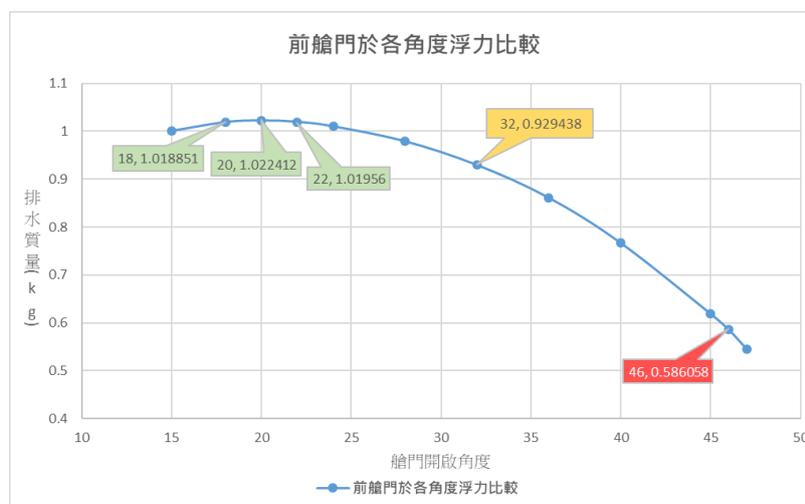


圖 103 前艙門開啟各角度浮力比較

由上圖內容所示，提供最大排水質量的前艙門開啟角度，大約落在 18 至 22 度之間(圖中綠色資料標籤)，而圖中黃色資料標籤處為縮小模型測試時，所使用的艙門開啟角度，紅色資料標籤處則為最大進水寬度的艙門開啟角度，而此角度則是此次測試範圍中，排開水質量最少的角度之一。

為了使前艙門開啟角度達到提供最大浮力以及最大進水量的效果，在此使用伸長前艙門搖臂等方式，以增加排水體積，伸長量以 15 mm 和 18 mm 測試，比較結果如下：

表 8 前艙門搖臂伸長量比較表

未伸長前艙門浮力			伸長量 15 mm 浮力			伸長量 18 mm 浮力		
角度	排水質量	單位	角度	排水質量	單位	角度	排水質量	單位
15	1.000528	kg	15	1.583409	kg	15	1.718019	kg
18	1.018851	kg	18	1.593737	kg	18	1.725245	kg
20	1.022412	kg	20	1.587981	kg	20	1.717498	kg
22	1.01956	kg	22	1.571827	kg	22	1.696515	kg
24	1.010089	kg	24	1.546121	kg	24	1.671119	kg
28	0.978952	kg	28	1.477051	kg	28	1.587446	kg
32	0.929438	kg	32	1.383824	kg	32	1.47785	kg
36	0.860993	kg	36	1.270026	kg	36	1.357035	kg
40	0.766661	kg	40	1.134186	kg	40	1.21009	kg
45	0.618765	kg	45	0.934371	kg	45	1.016082	kg
46	0.586058	kg	46	0.882361	kg	46	0.967826	kg
47	0.545681	kg	47	0.827	kg	47	0.916468	kg

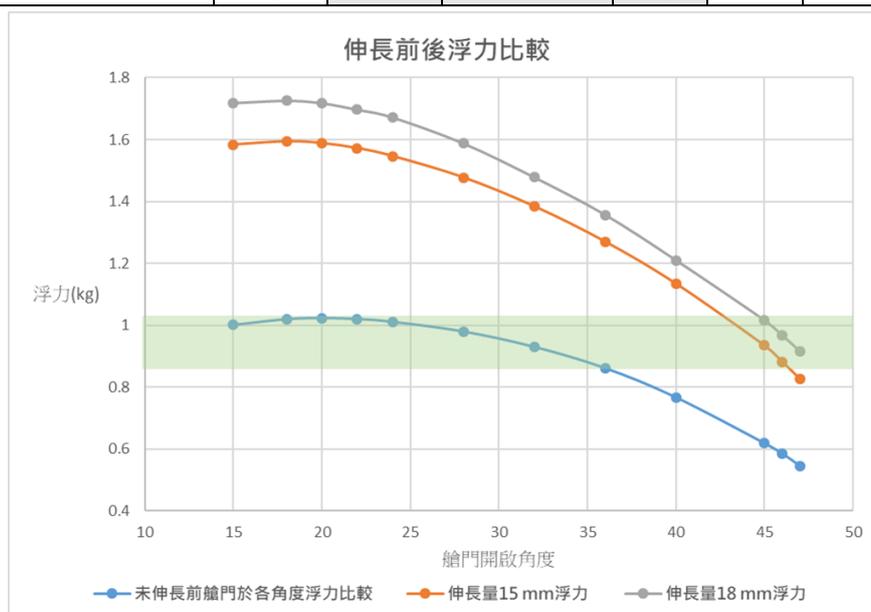


圖 104 伸長前後浮力比較圖

根據上圖及表格得知，將前艙門搖臂伸長後，排水質量增加，其曲線為整體提升。而伸長量 18 mm 可使艙門開啟角度 45 度和 46 度時的排水量，達到未伸長搖臂前的最大排水質量區間。而由於考量時程問題，並未繼續進行最佳伸長量的測試，目前直接以伸長量 18 mm 進行艙門結構設計。

### 前艙門伸縮結構設計與工作模式

前艙門的搖臂伸長雖有助於水上航行，但伸長過的前艙門會導致無人機氣動力外型的改變，因此設計出此前艙門搖臂結構，並搭配線性馬達致動。

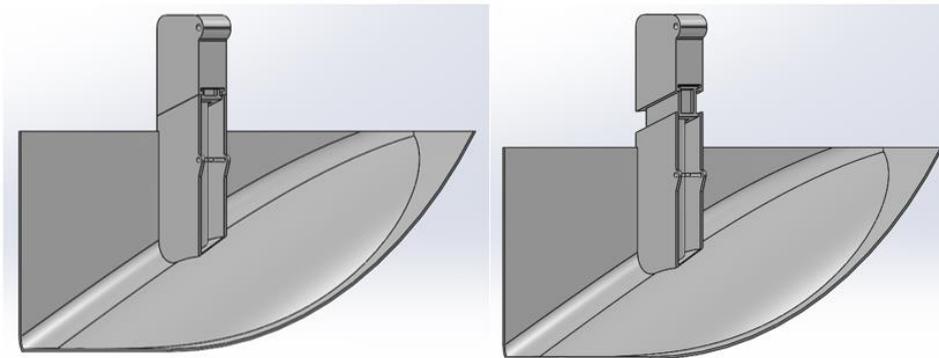


圖 105 左前艙門結構；(左)未伸長結構(右)伸長後結構

上圖中以左前艙門為例，艙門結構分為上下半部，上半部設計一斜面滑軌，與下半部接合形成一內外管伸縮結構，上半部圓孔直接與上機身連接，並以轉軸鑲嵌於此孔洞，使其可以旋轉；下半部則與線性馬達結合，並透過線性馬達連接上機身結構，當線性馬達伸長時，則會帶動前艙門伸長與轉動。其作動模式如下：

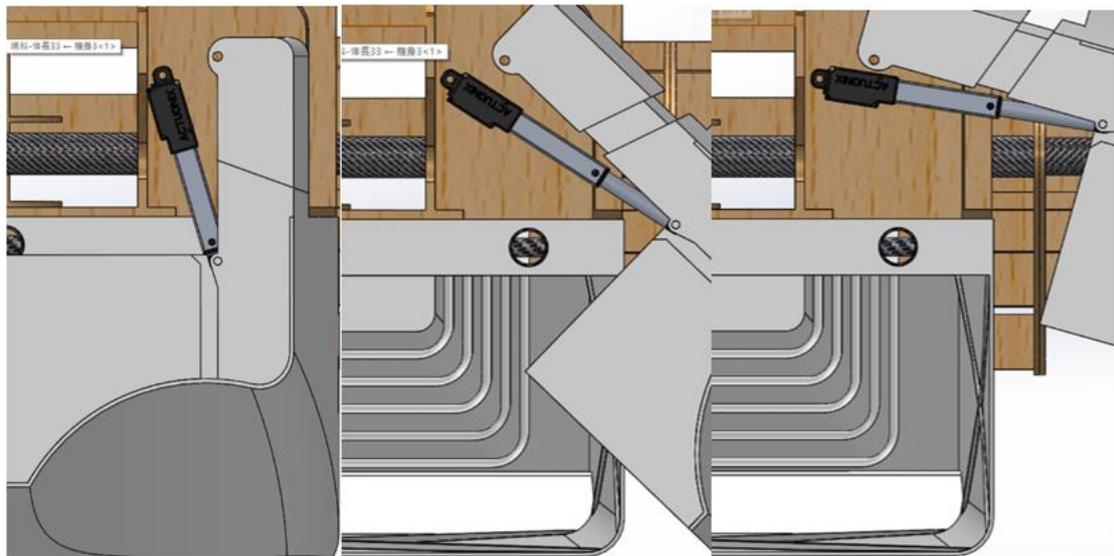


圖 106 前艙門工作模式；(左)完全關閉(中)水上作業模式(右)前艙門全開啟

根據上圖內容由左至右分別為；飛行模式，前艙門完全關閉並縮短；再來是水上作業模式，前艙門完全伸長至 18 mm，然而線性馬達伸長量約為 40.35 mm，此時的前艙門開啟角度正好為 46 度，符合先前所計算之預期結果；最後則是前艙門全開啟，前艙門與線性馬達皆伸長至最大伸長量，使前艙門完全開啟，以便卸下回收裝置。

以上內容針對期中報告所提出之問題進行回應，並加以改善設計上的疑慮。透過實驗以及軟體計算出前艙門在浮力的提供，以及改善原先的作動方式，使結構強度提升，並能夠以最佳艙門開啟角度進行水上作業。未來將會以 3D 列印的方式製作此前艙門機構，並透過實機測試驗收此項設計之成效。

## 第七節、無人機製作過程

綜合上述所有設計結果及討論，以實體製作無人機模型測試；各零件以雷射切割以及 3D 列印做前置處理，以下內容會說明各零件目前的製作進度及製作方法，並探討製作過程所遭遇之困難。

### 機身

主要由航空合板與巴爾莎木板所製，機身材質占比以航空合板為主。機身是以各木板卡榫相嵌的方式製成，並以快乾、木粉、樹脂及 AB 膠加固。並使用方形木條以及三角木條加固樑與樑之間的強度；機身後半部使用保麗龍填充內部防止機身進水；完成結構製作後，則再使用 1.5 mm 巴爾莎木蒙皮外部。

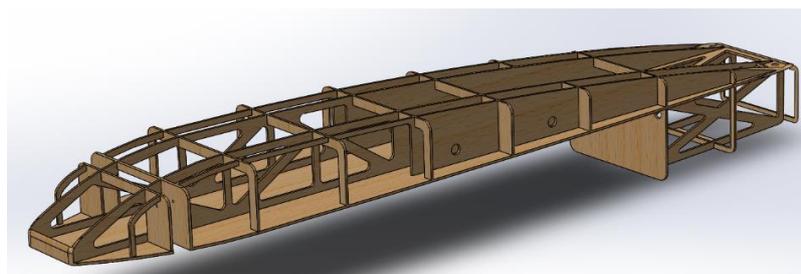


圖 107 上機身 SOLIDWORKS 結構圖



圖 108 上機身結構

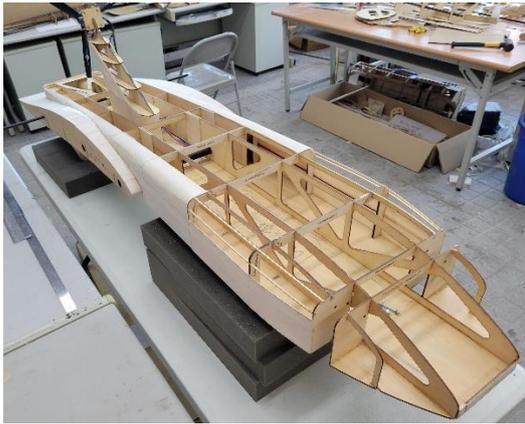


圖 109 上機身：前半部結構

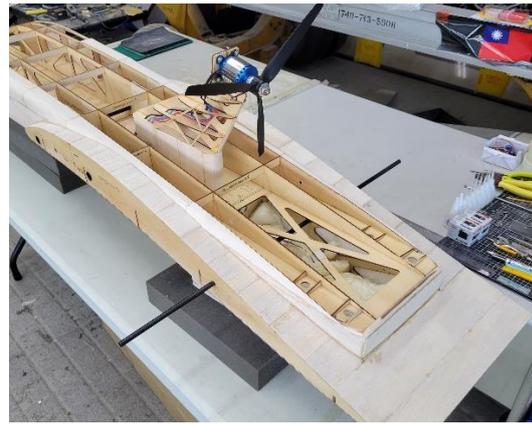


圖 110 上機身：後半部蒙皮外觀

## 主翼

主翼為左右各一，機翼之橫樑及肋片皆為航空合板，機翼蒙皮為巴爾莎木，製作上是將木板卡榫鑲嵌，並使用快乾膠、木粉、AB 膠固定，完成固定後再加入碳纖維棒加強結構，肋片與樑之間則以三角木條加強結構，而後 1.5mm 巴爾莎木蒙皮貼至機身並以砂紙打磨至翼面平滑即可。



圖 111 主翼結構；(左)內部結構及碳管(右)主翼上蒙皮外觀



圖 112 主翼結構扭轉角：(上)SOLIDWORKS 結構示意圖(下)主翼實機模型

## 翼翹

翼翹主要裝置於浮筒上方。製作方式同以主翼，結構相嵌黏著後，裝置碳纖維管後，並貼上蒙皮打磨。目前已將翼翹兩側蒙皮完成並加上伺服馬達控制其舵面變化。

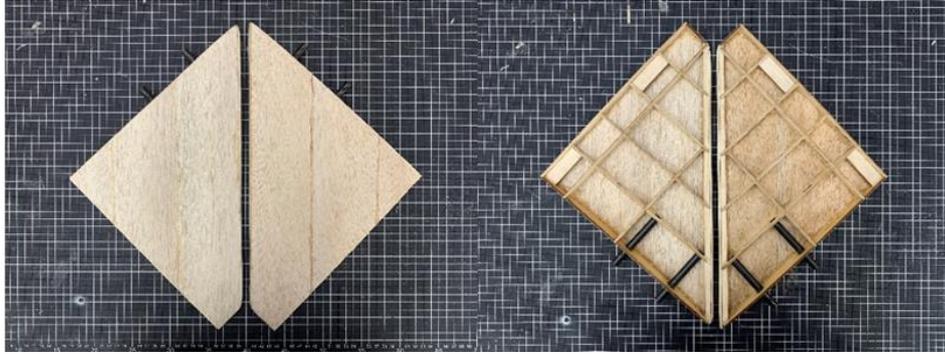


圖 113 翼翹結構；(左)翼翹上蒙皮外觀(右)翼翹內部結構

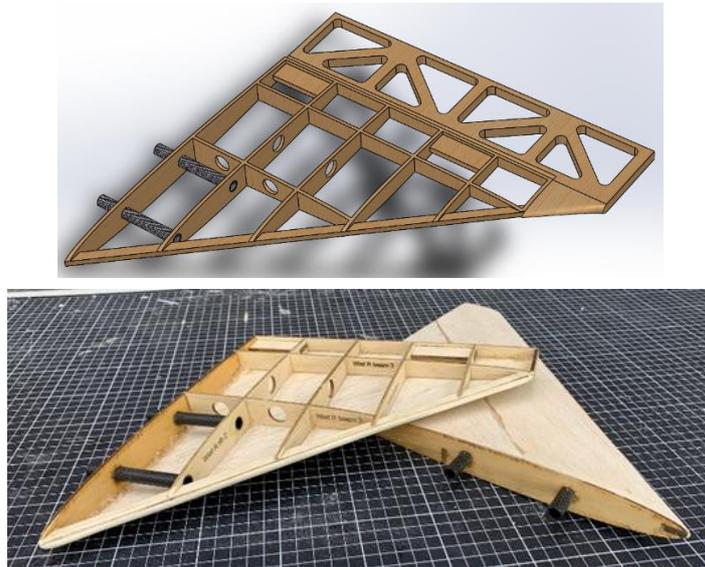


圖 114 翼翹結構：(上)SOLIDWORKS 示意圖(下)實機模型外觀



圖 115 翼翹舵面安裝

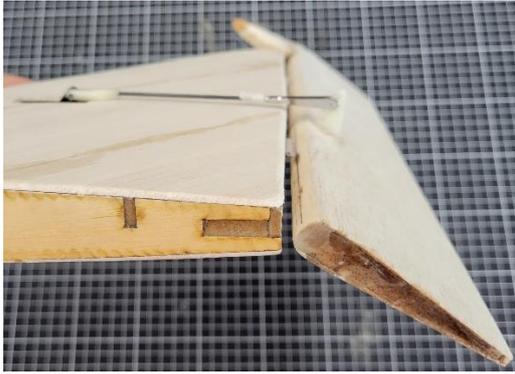


圖 116 副翼舵面作動測試



圖 117 副翼舵面作動測試

### 水平尾翼

水平尾翼的材質上，主要是以巴爾莎木為主航空合板為輔，製作上與主翼和翼翹，較為不同的是，因主結構之材質較軟，因此使用砂紙打磨時需格外注意，以免磨損樑及肋片。蒙皮製作上會於上翼面製作回修孔，以安置電裝及固定用螺絲，與下方垂直尾翼連接。



圖 118 水平尾翼內部結構

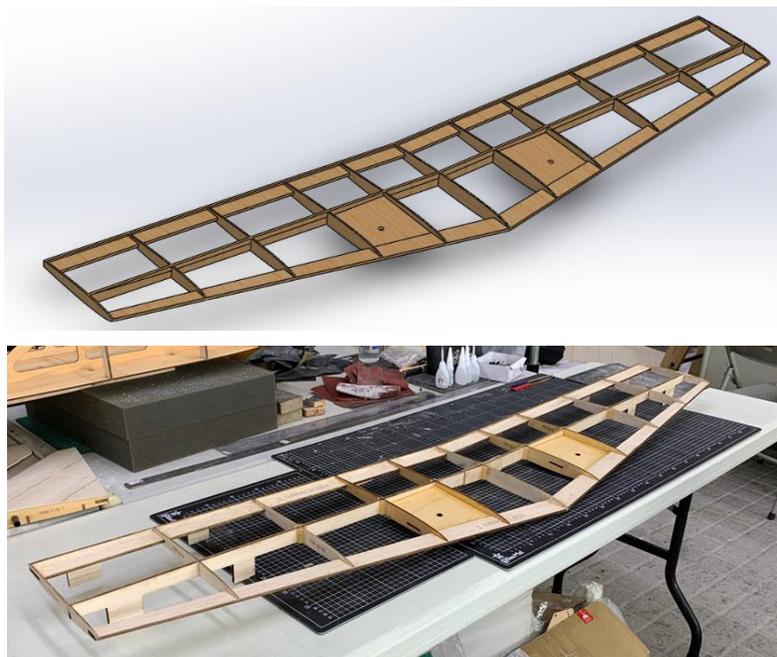


圖 119 水平尾翼結構等角視圖：(上)SOLIDWORKS 示意圖(下)實機模型結構

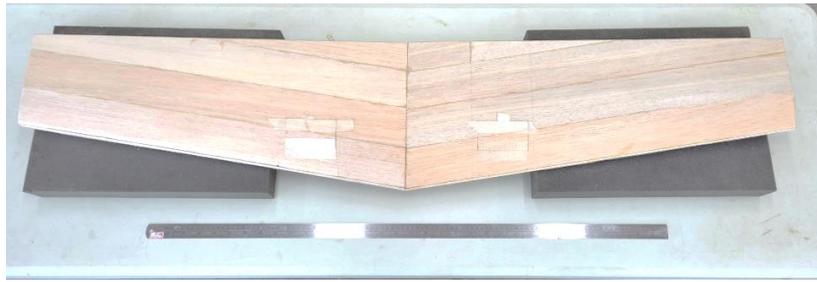


圖 120 水平尾翼外觀上視圖；圖中直尺為 100 cm

### 垂直尾翼

垂直尾翼製作方式與水平尾翼雷同，結構以巴爾莎木為主，使用快乾、AB 膠黏合結構後，再貼上 1.5 mm 巴爾莎木蒙皮，並於一間最上方填入螺母，供組裝水平尾翼使用。目前已完成結構、蒙皮以及伺服馬達安裝，未來將固定於機身。



圖 121 垂直尾翼外觀：圖中直尺長度為 100cm

### 前艙門

前艙門以 3D 列印製成，零件需再另外使用 3D 列印筆，以及 PLA 材料進行焊接修補以及修正製作誤差。未來將於前艙門內側空間填充發泡材料作為浮筒使用。



圖 122 前艙門內側：此處將填充發泡材料



圖 123 前艙門外觀：黃色部分為發泡劑填縫造成

## 回收裝置主結構

回收裝置主結構皆採用 PLA 材質以 3D 列印方式製作，並結合碳纖維管加強結構。由於 3D 列印零件過大，並非一體成形，故艙殼之間需以加熱 PLA 線材等方法使其相融固定，並配合 3D 列印筆做漏洞修補工作。



圖 124 回收裝置回收艙主結構

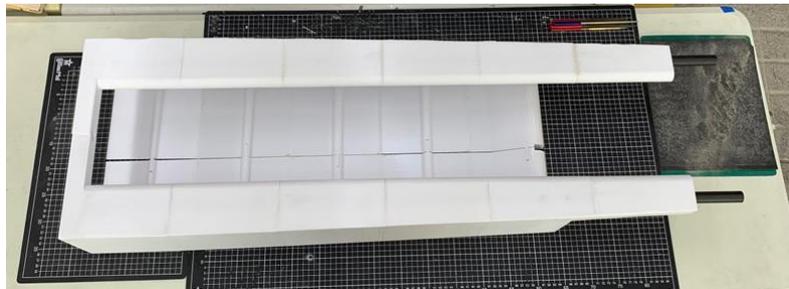


圖 125 回收裝置回收艙主結構

## 回收裝置過濾器

過濾器與回收裝置主結構相連並一同安裝於機身下方。整體採用 PLA 材質以 3D 列印方式製作，其中以底座為主結構，並使用 AB 膠固定各個過濾鱗片。

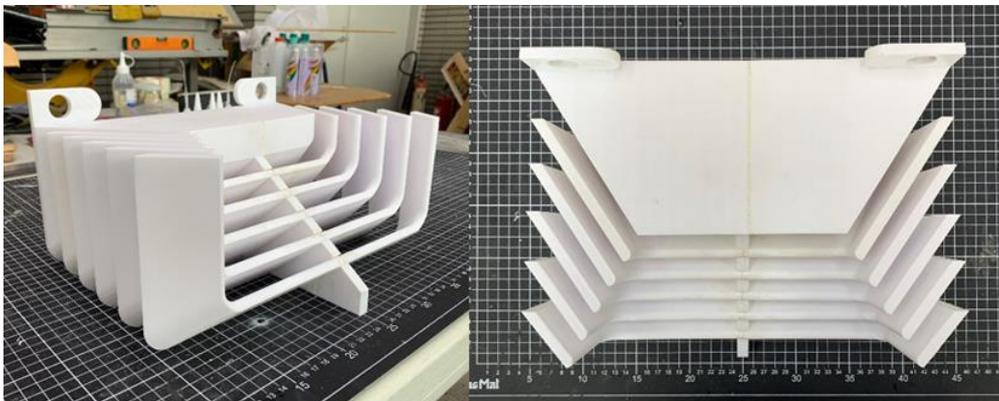


圖 126 回收裝置過濾器結構

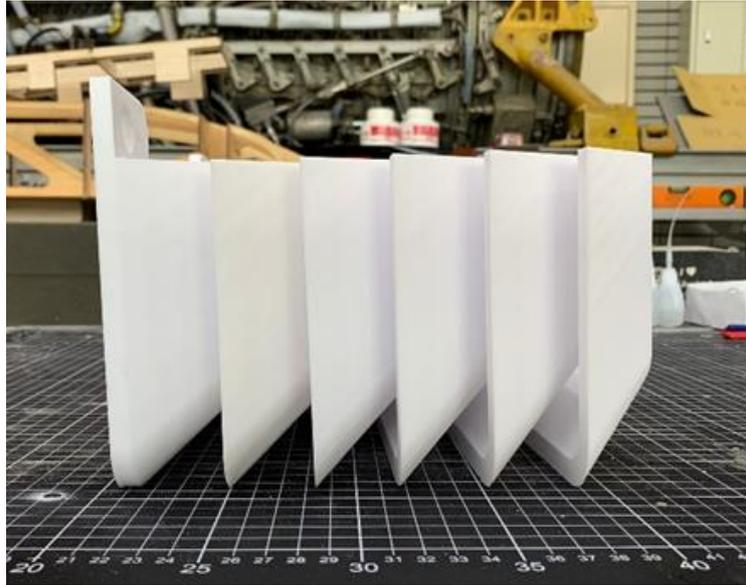


圖 127 回收裝置過濾器結構

### 回收裝置組合

將上述回收艙主結構與回收裝置過濾器結合，以 AB 膠合 PLA 線材焊接製成如下

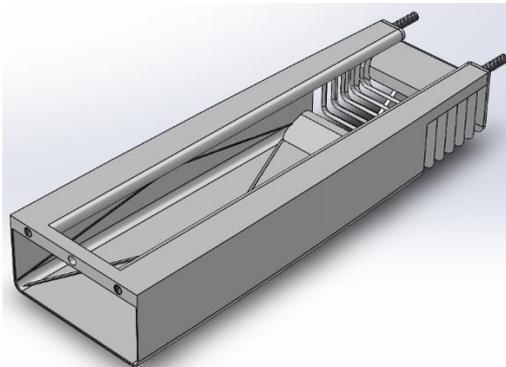


圖 128 回收裝置 SOLIDWORKS 示意圖



圖 129 回收裝置實體模型



圖 130 回收裝置前視圖

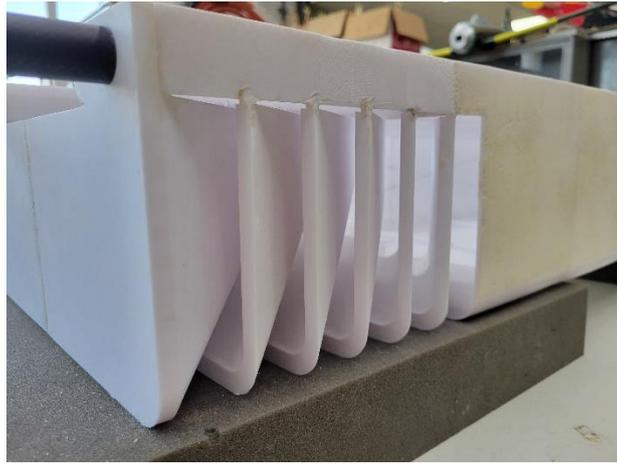


圖 131 回收裝置過濾鰓葉

**各零件結構組裝測試：**

使用上述已製作出結構之零件進行組裝測試，安裝零件包含上機身結構、主翼、回收裝置、兩側浮筒、馬達座、翼翹、左垂直尾翼結構以及水平尾翼。



圖 132 各零件組裝前置準備



圖 133 無人機當前進度組裝測試



圖 134 無人機前艙門開啟測試



圖 135 無人機尺寸比例對照(圖中本人身高約 170 cm)

## 無人機進度說明及製作過程之困難

無人機製作過程進度尚可，但仍在進行製作，目前多數零件已接近完成並進入最終收尾階段；各翼面也已安裝馬達等電裝設備並進行下一步蒙皮製作。預計於 11 月中旬完成全機製作與防水塗裝，並計畫於完成防水塗裝後進行第一次水上測試，計畫將於本校校內游泳池測試。在製作過程中所遭遇之困難較少，多數一律皆在設計階段消除，僅有部分製作困難的零件，需臨機應變，視當下情形做補救或是補強。

未來製作將面臨的疑慮有兩大重點；第一是製作後增加的重量，於設計階段時，軟體所計算的 3D 列印件重量與實際印製完成後的重量不同，原因是由於繪圖方式本身與印製方式不同，因此產生重量誤差；除此之外，木製結構等零件，雖已經過軟體計算重量，但由於製作過程所添加的膠合重量、補強夾板與木條等重量不定，也使無人機製作的重量增加。第二則是未來製作完成後需對機體進行防水加工，除了防水塗料增加的重量之外，木製無人機蒙皮本身的空隙是否能完全由防水塗料完全填密，並完全阻絕內部結構以及電子元件受潮仍無法妄下定論。兩者疑慮目前尚未有確切解決方案，確切結果需待實機測試後並記錄其影響。

## 第四章、結論

本計畫於6月底完成外型設計以及大部分結構設計，過程中參考過去前人設計翼地效應機等經驗，並結合現代環保意識而迸發出此項計畫。然而在製作開始前，以能否完整執行水上作業為重點，重新審視細部結構設計並探討出一些問題；在各項問題中，以回收裝置設計和前艙門機構設計最為棘手。

飛具設計等發展已經歷過長期歲月的磨練，多數飛具設計方法雷同；但由於本計畫結合新觀點，使傳統的飛具設計必須經過改良以符合本計畫需求；而本計畫所設計之回收裝置過濾器，正是傳統與新觀念迸發之創意。回收裝置設計過程繁複，由最初的拖曳網，再演變至過濾網結構，最終以仿生結構呈現；這項裝置目前僅適用於本計畫需求，但仍有大量的進步空間；未來可使用電腦軟體分析結構，並做到過濾效果的最佳化設計，待工業技術發達能製作奈微米等級之濾片，此過濾裝置也可成為未來海洋微塑料的淨化者。

在設計上針對浮力問題設計前艙門機構也是本計畫難題之一；預期以不改變氣動力外型為主要目的，前艙門作為水上作業所需之浮力來源，也必須在非工作狀態下符合氣動力外型；正是這樣的條件使機構設計面臨一大挑戰。所幸最終決定之設計，在模擬上及實驗中都達成可行的結果；但即便如此仍有極大的進步空間，例如：如何再輕量化艙門結構，但又不失其強度？是否目前的伸長量即是最佳解？或是前艙門的伸長方式僅僅是解決浮力問題的方法之一，還有其他尚未被發掘的方法。以上皆是未來可再進一步改良此無人機的方向之一。

再來是以製作過程中所遭遇之已解決或是未解決的問題。在本次製作過程中，以3D列印件最為困擾；無人機的設計以最輕的重量，達到最大的強度，屬於飛行載具結構設計的重點。但由於3D列印材料以及3D列印技術仍無法滿足本次計畫的需求；在設計上與3D列印廠商詳細討論關於這項製程的特點與細節，重複修改許多設計才勉強在結構強度與製程方面達成妥協，但是仍然無法在輕量化的層面得到解答；因此重量疑慮成為製作過程中，最令人惋惜之處。

本計畫亦將研究成果投稿於AASRC2021航太學會學術研討會，分別以「應用翼地效應無人機於蒐集海洋漂浮垃圾之實現」以及「翼地效應無人機於混合域流場之分析」兩篇主題投稿，並且兩篇內容均通過初稿審查，詳細內容請見附錄一、附錄二。目前無人機製作仍在進行，計畫於11月中旬執行第一次水上航行測試，若測試防水性能通過，將會接著於日月潭執行一次完整的任務；現階段已開始申請日月潭水域申請相關作業。

## 參考資料

- [1]. 《減塑生活》：2050 年，海洋裡的塑膠總重會比生存在裡頭的魚群還重。  
(2019, October 6) . Retrieved from <https://www.thenewslens.com/article/125351>
- [2]. 魯皓平 . (2018, December 18) . 大海正在窒息！全球海漂塑膠垃圾 80% 來自亞洲. Retrieved from <https://www.gvm.com.tw/article/55332>
- [3]. 世上最大垃圾帶：相當於 1446 個香港. (2019, February 6) . Retrieved from <https://greensense.org.hk/世上最大垃圾帶：相當於 1446 個香港/>
- [4]. CLEANING UP THE PLASTIC BEACH. (n.d.) . Retrieved from <https://3o9d0y1wloj7e90sc37nviar-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/DLP-Plastic-Beach.pdf>
- [5]. Jessica harris. (2021, January 14) . The Ocean Cleanup Partnership with AP Moller-Maersk Has Been Extended. Retrieved from <https://jessicaharrisbooks.com/the-ocean-cleanup-partnership-with-ap-moller-maersk-has-been-extended/>
- [6]. Wing ship technology (Ed.). (n.d.). Technology. Retrieved 2013, from [http://www.wingship.com/?page\\_id=424&ckattempt=1](http://www.wingship.com/?page_id=424&ckattempt=1)
- [7]. Abramowski, T. (2007). Numerical Investigation of Airfoil in Ground Proximity. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 425–436.
- [8]. HOW GROUND EFFECT VEHICLES WORK. (2018, December 3). Retrieved from <https://www.flitetest.com/articles/ground-effect>
- [9]. Schuster , J. (n.d.). Ground Effects Vehicles. Retrieved June 27, 2009, from <https://www.youtube.com/watch?v=i9sHtVzdW8Q>
- [10]. 新加坡公司打造超酷的飛翼船 Airfish 8 ，可以載客低空飛行在海上。  
(2018, September 5). Retrieved from <https://3c.yipee.cc/131913>
- [11]. AirFish 8 (AF8) - Product Video | Wing-in-Ground Effect (WIG) Craft | Flying Boat | Wigetworks. (2018, June 9). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=GqQTfflBjnc>
- [12]. Hameed, H. (2019). The Design of a Four-Seat Reverse Delta WIG Craft. *The Maldives National Journal of Research*, 7(1), 7–28.
- [13]. Cook, M. V. (2013). *Flight Dynamics Principles* (3rd ed.). Amsterdam ; Boston: Butterworth-Heinemann.
- [14]. 港灣環境資訊網. (n.d.). Retrieved from <https://isohe.ihmt.gov.tw>
- [15]. Davenport, M. J. (2016). New Jersey Endangered and Threatened Species Field Guide. Retrieved from <http://www.conservewildlifenj.org/species/fieldguide/view/Cetorhinus%20maxi>

[mus/](#)

- [16]. 蔡杰宏, 洪俊豪, 冷玉琦, & 林牧民. (2007). UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化. 逢甲大學學生報告 ePaper.
- [17]. 詹詠超, 蕭樂群, & 林清一. (2017). 高展弦比翼地效應機驗證與穩定性分析. 國立成功大學航空太空工程學系碩士論文, 39 - 82.
- [18]. Seth, A., & Liem, R. P. (2018). Takeoff Analysis of Amphibious Aircraft with Implementation of a Hydrofoil. *The 2018 Structures Congress (Structures18)*.
- [19]. Gudmundsson, S. (2014). *General Aviation Aircraft Design Applied Methods and Procedures* (978th-0-12th-397308th-5th ed.). Butterworth-Heinemann.  
doi:<https://doi.org/10.1016/C2011-0-06824-2>

## 附錄一

為「應用翼地效應無人機於蒐集海洋漂浮垃圾之實現」初稿審核通過之證明電子郵件。詳細初稿內容請見附件，檔名：應用翼地效應無人機於蒐集海洋漂浮垃圾之實現\_初稿.pdf

From: 國立虎尾科技大學航太年會 [mailto:[aasrc2021@gmail.com](mailto:aasrc2021@gmail.com)]  
Sent: Wednesday, September 29, 2021 2:42 PM  
To: 陳啟川 <[chicchen@fcu.edu.tw](mailto:chicchen@fcu.edu.tw)>  
Subject: AASRC2021航太學會學術研討會初稿錄取通知

論文編號：**12-04(定稿編號)**

原Paper ID：1066

論文名稱：應用翼地效應無人機於蒐集海洋漂浮垃圾之實現

作者：蔡正杰、吳晉宇、劉育熏、張兆軒、許嘉文、張育銜、陳啟川

通訊作者：陳啟川

您好：

目前 AASRC2021 航太學會學術研討會審查完畢，發此信件通知您審查通過。

## 附錄二

為「翼地效應無人機於混合域流場之分析」初稿審核通過之證明電子郵件。詳細初稿內容請見附件，檔名：翼地效應無人機於混合域流場之分析\_初稿.pdf

From: 國立虎尾科技大學航太年會 [mailto:[aasrc2021@gmail.com](mailto:aasrc2021@gmail.com)]  
Sent: Wednesday, September 29, 2021 2:43 PM  
To: 陳啟川 <[chicchen@fcu.edu.tw](mailto:chicchen@fcu.edu.tw)>  
Subject: AASRC2021航太學會學術研討會初稿錄取通知

論文編號：**12-05(定稿編號)**

原Paper ID：1080

論文名稱：翼地效應無人機於混合域流場之分析

作者：曹皓維、黃鏗寧、蔡正杰、楊峻誠、洪曆、陳啟川

通訊作者：陳啟川

您好：

目前 AASRC2021 航太學會學術研討會審查完畢，發此信件通知您審查通過。