



逢甲大學學生報告 ePaper

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

作者：蔡杰宏、洪俊豪、冷玉琦、林牧民

系級：航太與系統工程學系

學號：D9153329、D9270427、D9270324、D9229672

開課老師：鄭仙志 老師

課程名稱：電腦輔助工程分析-Nastran

開課系所：航太與系統工程學系

開課學年：九十四學年度 第一學期



目錄

摘要.....	1
圖目錄.....	2
表目錄.....	3
前言.....	4
Chapter 1. MSC.Nastran 簡介.....	5
Chapter 2. 設計及分析.....	7
2-1 設計需求.....	7
2-2 操作流程.....	7
2-3 軟體設定及操作.....	8
Chapter 3. 分析結果及討論.....	12
Chapter 4. 心得感想及小組討論.....	15
4-1 心得感想.....	15
4-2 小組討論過程.....	17
參考資料.....	18

圖目錄

Fig 2-1 UAV 機翼.....	6
Fig2-2 操作流程.....	6
Fig 2-3 airfoil 幾何圖.....	7
Fig 2-4 airfoil-2D 截面.....	7
Fig 2-5 Mash seed.....	8
Fig 2-6 Mash.....	8
Fig 2-7 airfoil-3D 實體.....	8
Fig 2-8 Verify 實體.....	9
Fig 2-9 Optimize.....	9
Fig 2-10 壓力分.....	9
Fig 2-11 固定.....	9
Fig 2-12 鋁 6061 合金相關屬性.....	10
Fig 2-13 airfoil 減重除料.....	10
Fig 2-14 airfoil 減重除料前.....	10
Fig 2-15 airfoil 減重除料後.....	10
Fig 3-1 最大應力及面積比較圖.....	12
Fig 3-2 CASE08.....	13

表目錄

Table 3-1 各種 case 之應力分佈.....12

Table 3-2 各種 case 之面積及最大應力數據資料.....13



摘要

在老師宣布要做期末報告後，小組討論了幾次，由 UAV、機翼減重及之前 PRO-E 畫出來的 F-16 中，挑選了機翼減重作為這次的報告內容，原因是為了減少繪圖上造成的失誤，而我們也比較清楚做出來的結果之正確性。

做機翼減重分析的目的是在於能讓機翼具有足夠的強度，卻不需要用到太多的材料，也減少負重，能使整架飛機具有餘力能夠負載裝備，或是乘載旅客，而如何減重以能達到最佳效果，是我們這次報告的分析重點。

關鍵字：最佳化，機翼，airfoil，減重

After the professor announces that a final report should be handed in, we set about and had several panel discussion. Among the three topics (UAV, aerofoil weight reduction, F-16 drawn by PRO-E), we chose aerofoil weight reduction as the theme of our project. This way we can decrease the possible errors made in drawing, thus get a better understanding of the correctness of the result.

The main goal of our aerofoil weight reduction analysis is to strengthen the aerofoil without using too much material, thus reducing its weight and enabling the airplane to accomodate more equipment or passengers. And how do we reduce the aerofoil weight in order to reach our goals? It's exactly the theme of our project analysis.

Chapter 1. MSC.Nastran 簡介

MSC.Nastran 為目前全球功能最強及最被廣泛使用的有限元素分析程式，世界各地的工程師及設計人員每天都使用 MSC.Nastran 來計算結構及機械組件的應力、振動和熱傳特性。由於採用最先進的數值分析方法及有效利用最現代的電腦硬體架構，MSC.Nastran 解決超大模型問題的效率和能力聞名全球，已成功之實例小至隱形眼鏡，大至美國太空梭。

另一方面，航太工業的品管標準遠比其他產業為嚴苛，MSC.Nastran 以其嚴謹的程式開發流程與廣泛的應用實績，為美國 FAA 飛安標準唯一認可用以取代實驗的有限元素分析軟體。

全世界超過三千家公司、機構或研發單位皆採用 MSC.Nastran 為其長久合作夥伴；MSC.Nastran 擁有超過 45 個國家，全球超過 50,000 名使用者，並在各國大學中被用於教授有限元素分析課程。

MSC 有限元素分析軟體功能說明：

(1) MSC.Nastran 基本模組 》 Linear Statics (線性靜力分析)

用以求解結構及機械元件之應力，應變及位移工程問題，可要求之結果為有限元素模型上格點之位移、受力、拘限或反力、元素內力，應力及應變能等。同時可解慣性釋放問題(自由體結構)。

Normal Mode (模態分析)

用以求解結構之自然頻率及振動模態。

Buckling (挫屈分析)

用以求解造成結構挫屈時所需之分佈力大小及結果造成之挫屈模態。

(2)動態分析模組 》用以求解結構及機械之振動問題，包括時域及頻域之分析 G 暫態反應分析 (Transient Response Analysis) 分析產品在隨時間變化之負荷情況下之暫態位移、速度、加速度、應力等關鍵資料。

頻率反應分析 (Frequency Response Analysis)

分析產品在隨週期性往覆之負荷情況下之尖峰位移、速度、加速度、應力等關鍵資料，另外亦提供隨機振動 PSD 分析、頻譜分析之功能。

聲學分析 (Acoustics Analysis)

提供完整的流體與結構耦合分析功能，提供音場中的 db 值計算，可應用於噪音控制、音響設計等領域。

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

(3) **非線性分析模組** 》可提供靜態與動態之非線性分析：

幾何非線性

考慮大變形、大旋轉、預載剛化、與跟隨力 (follower stiffness)等效應。

材料非線性

考慮彈塑性、非線性彈性、超彈性(大應變) 、潛變(creep)等材料行爲。

邊界非線性

考慮接觸(contact)與拘限條件變動等行爲。

(4) **熱傳分析模組**

用以求解線性及非線性穩態，暫態熱傳問題 (同時包括傳導、對流及輻射)。

(5) **最佳化分析模組**

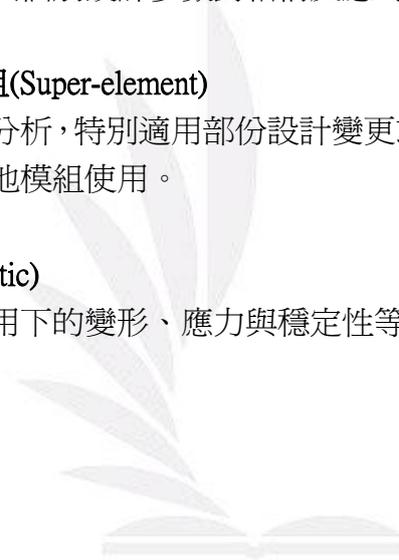
提供對機械元件尺寸與外型之最佳化分析，例如求元件之重量最佳化，同時亦提供對設計敏感度分析，提供個別設計參數對結構反應的影響度指標。

(6) **超元素次結構分析模組(Super-element)**

針對超大尺度或大自由度分析，特別適用部份設計變更或非線性與線性結構之間整合分離問題，可搭配其他模組使用。

(7) **氣彈分析模組(Aeroelastic)**

考慮結構在氣流與慣性作用下的變形、應力與穩定性等行爲。



Chapter 2. 設計及分析

2-1 設計需求

在 airfoil 的設計需求上，我們要求使用的材料越少越好，同時也要能夠負荷在飛行時所產生的應力，使其結構不會損壞，這樣才能達到減重及安全飛行的目的。



Fig 2-1 UAV 機翼

2-2 操作流程

使用 MSC.Nastran 做這次的 airfoil 減重分析，所制定的流程如下圖：

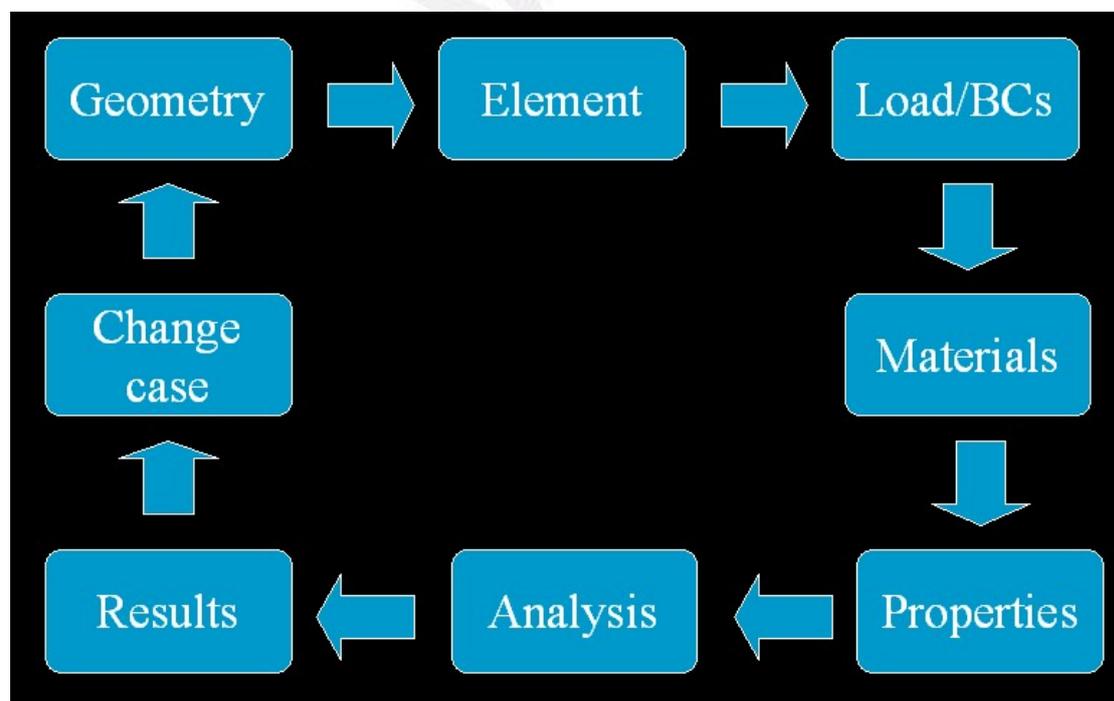


Fig2-2 操作流程

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

在這次分析中我們選用八種不同樣式的 airfoil 來做分析比較，所制定的控制變因及自變項如下：

控制變因：Load/BCs、Materials、Properties

自變項：Geometry、Element、Case

2-3 軟體設定及操作

1. CATIA 裡面將所需之 3D 幾何建立好。

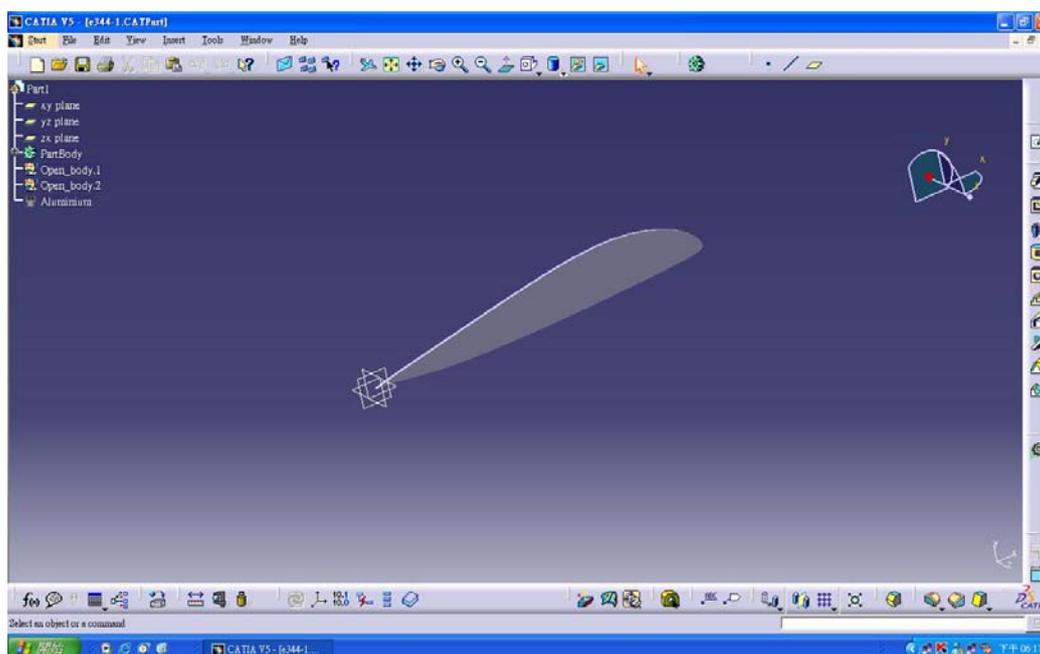


Fig 2-3 airfoil 幾何圖

2. 在 Nastran 中由匯入的 3D 實體後，留下所需的 2D 截面。

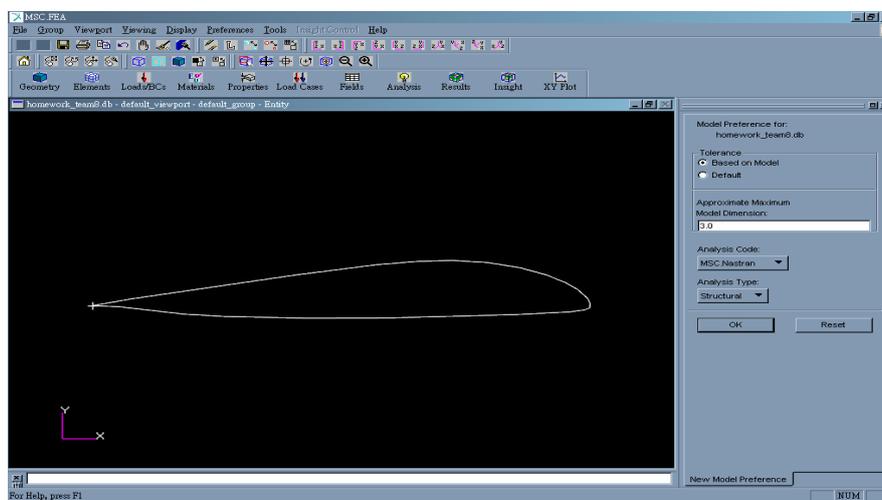


Fig 2-4 airfoil-2D 截面

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

3. 在 2D 之輪廓上建立 500 個 Mash Seed，並且建立 Mash。

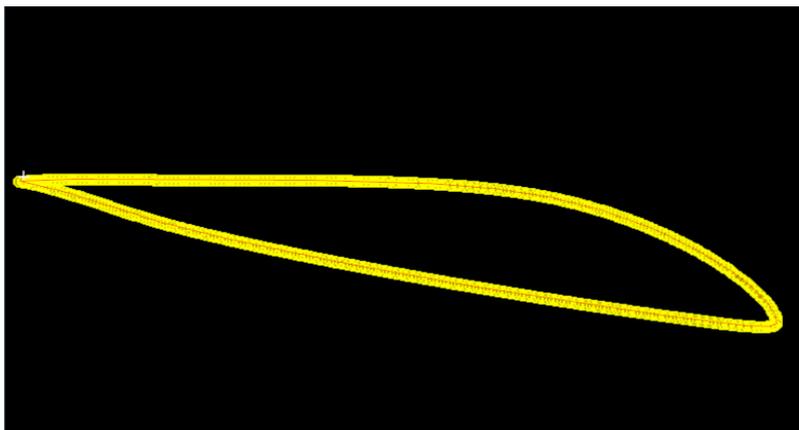


Fig 2-5 Mash seed

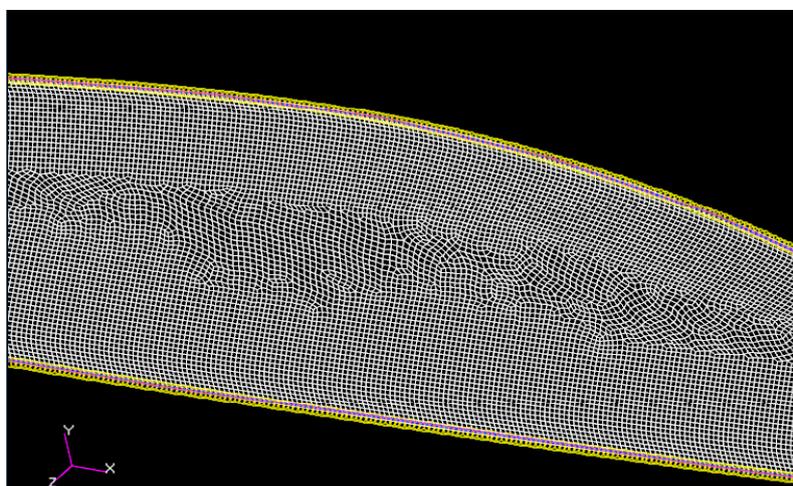


Fig 2-6 Mash

4. Sweep 一個單位長之實體出來。

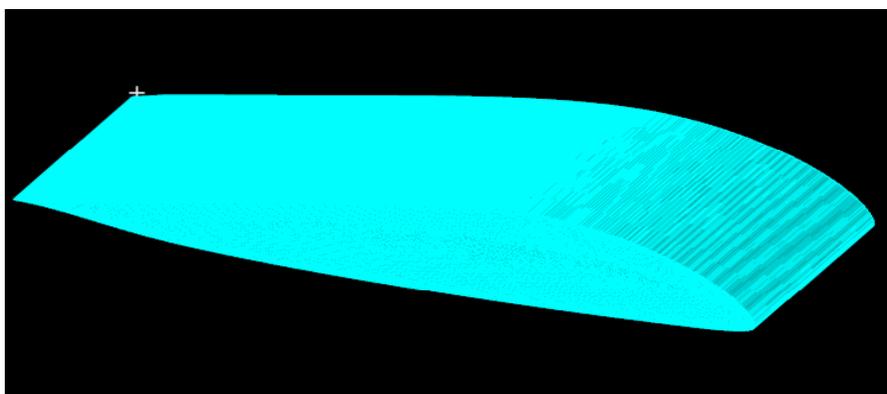


Fig 2-7 airfoil-3D 實體

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

5. 使用 Verify 確定 mash 沒有不連續現象並且使用 Optimize 減少 bandwidth，來減少計算時間

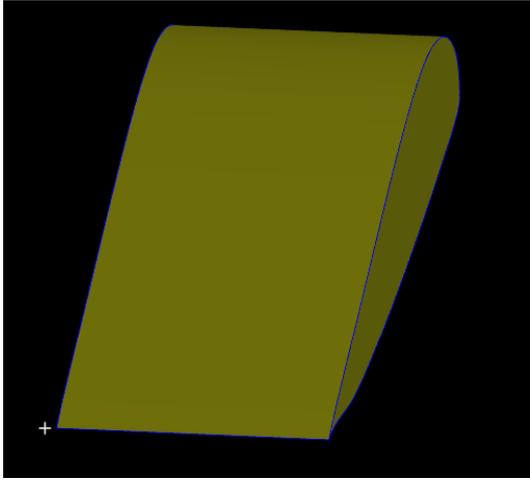


Fig 2-8 Verify 實體

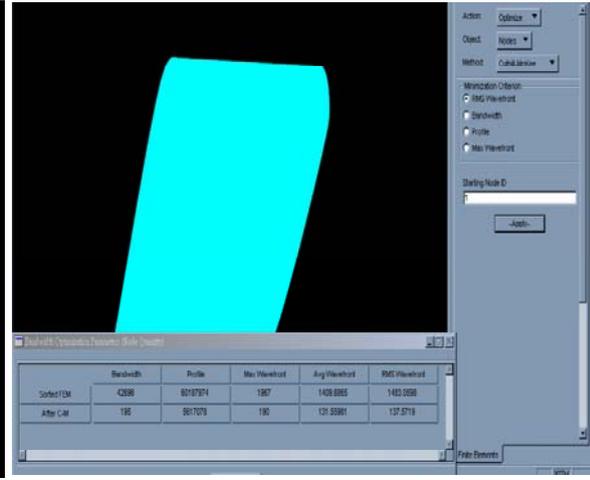


Fig 2-9 Optimize

6. 設定 Load/BCs

給定上翼面之壓力為 1000N/m^2 下翼面之壓力為 2000N/m^2 。

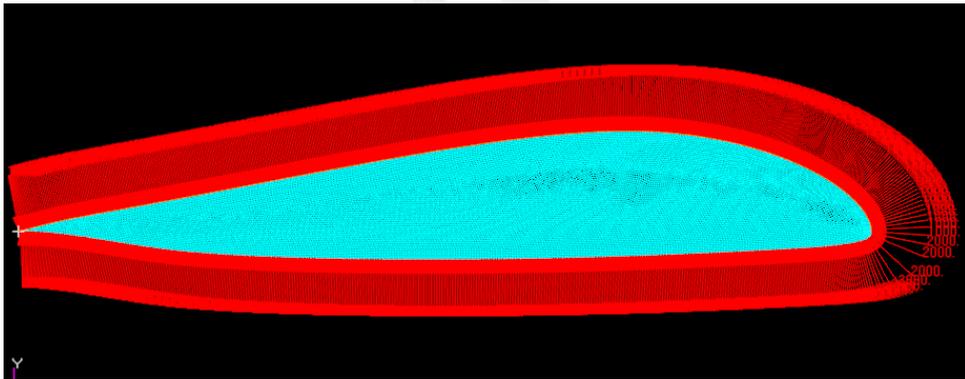


Fig 2-10 壓力分佈

將連接骨架之四個點 fixed 住

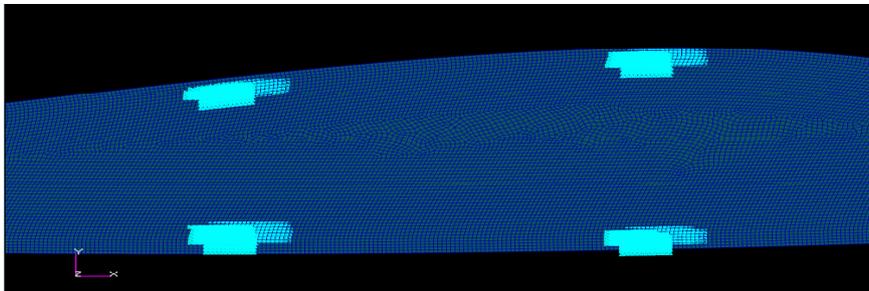


Fig 2-11 固定點

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

7. 材料

我們選用的是飛機上常用的鋁 6061 合金，其數據是參考 solidwork 裡面內建的材料資料庫

值	屬性	名稱
69000 N/mm ²	彈性模數	EX
0.33	Poissons 比	NUXY
26000 N/mm ²	剪力模數	GXY
2.4e-005	熱膨脹係數	ALPX
0.0027 g/mm ³	密度	DENS
170 W/m K	熱傳導率	KX
1300 J/kg K	比熱	C
124.084 N/mm ²	抗拉強度	SIGXT
55.1485 N/mm ²	降伏強度	SIGYLD

Fig 2-12 鋁 6061 合金相關屬性

8. 設定 Properties 及 Analysis 進行分析

9. Result 讀取結果，觀察最大應力發生位置及數值

10. Change case，進行減材

- 再次匯入由 CATIA 所建立之實體，將兩個物體沒有交集的地方挖掉，已達到減重之目的。

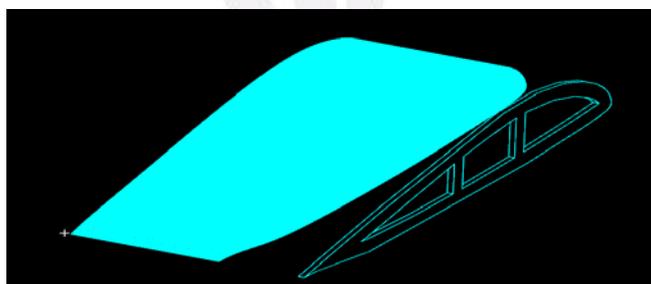


Fig 2-13 airfoil 減重除料

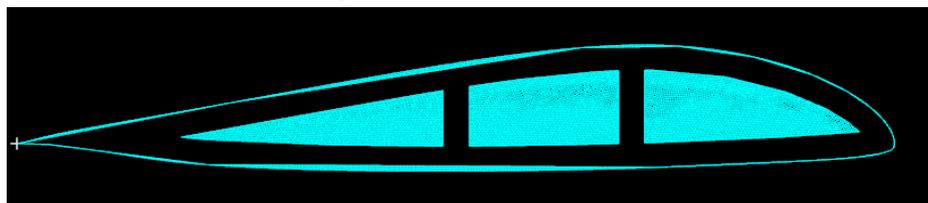


Fig 2-14 airfoil 減重除料前

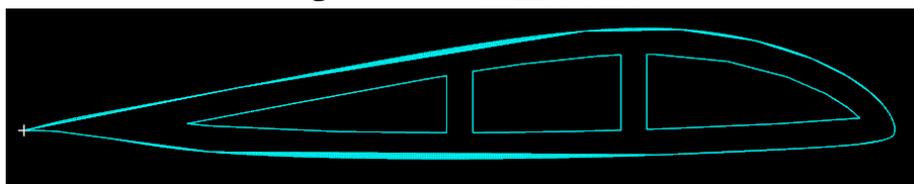


Fig 2-15 airfoil 減重除料後

- 依照上敘步驟將其餘七個 case 依序分析完畢，在對其結果比較分析求得最佳之機翼構型。

Chapter 3. 分析結果及討論

各種 case 分析結果如下表

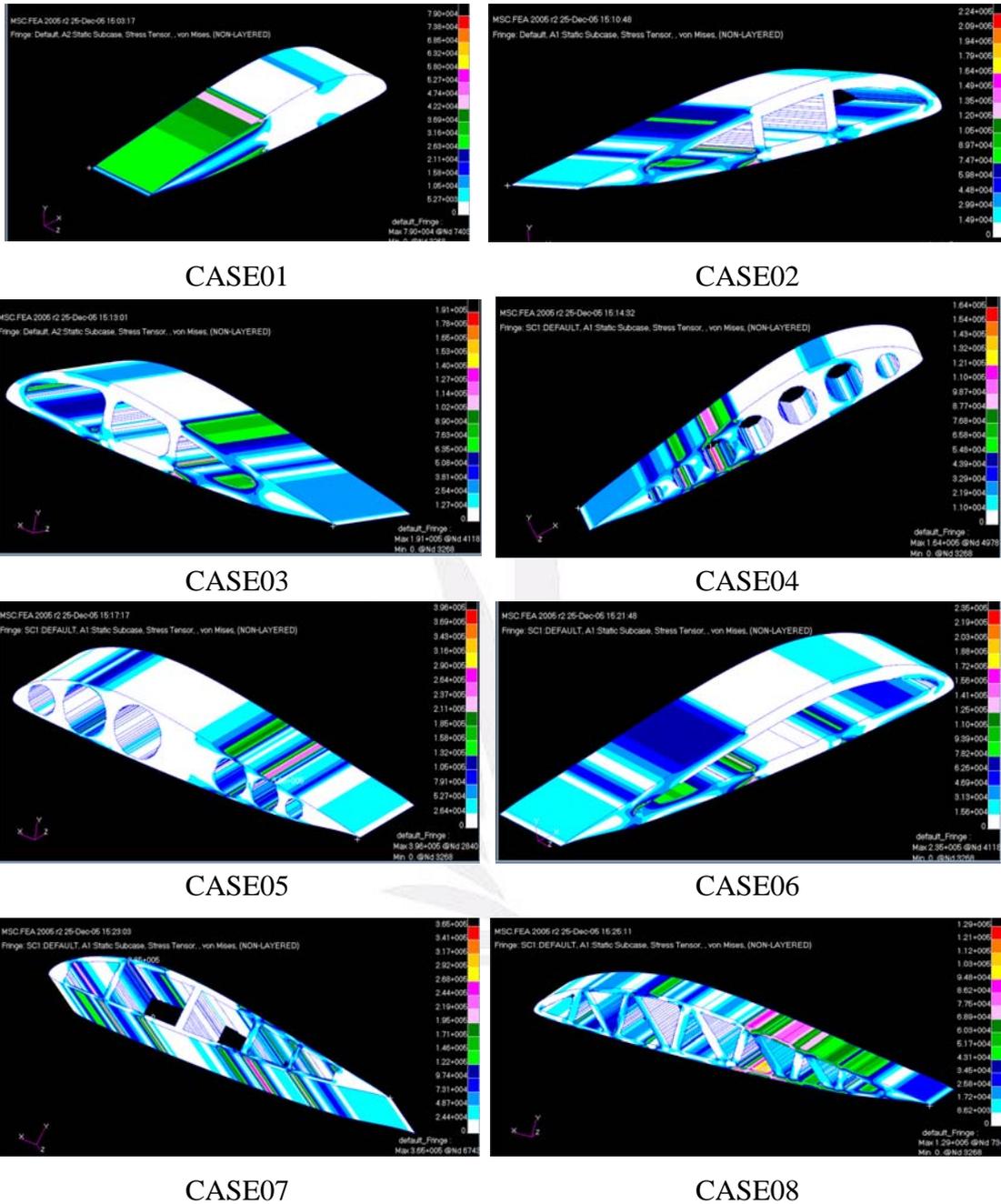


Table 3-1 各種 case 之應力分佈

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

	截面積(m ²)	最大應力(N/m ²)
CASE01	9.843E-004	0.79E+05
CASE02	5.914E-004	2.24 E+05
CASE03	6.132E-004	1.91 E+05
CASE04	6.271E-004	1.64 E+05
CASE05	4.561E-004	3.96 E+05
CASE06	5.445E-004	2.35 E+05
CASE07	3.689E-004	3.65 E+05
CASE08	4.947E-004	1.29 E+05

Table 3-2 各種 case 之面積及最大應力數據資料

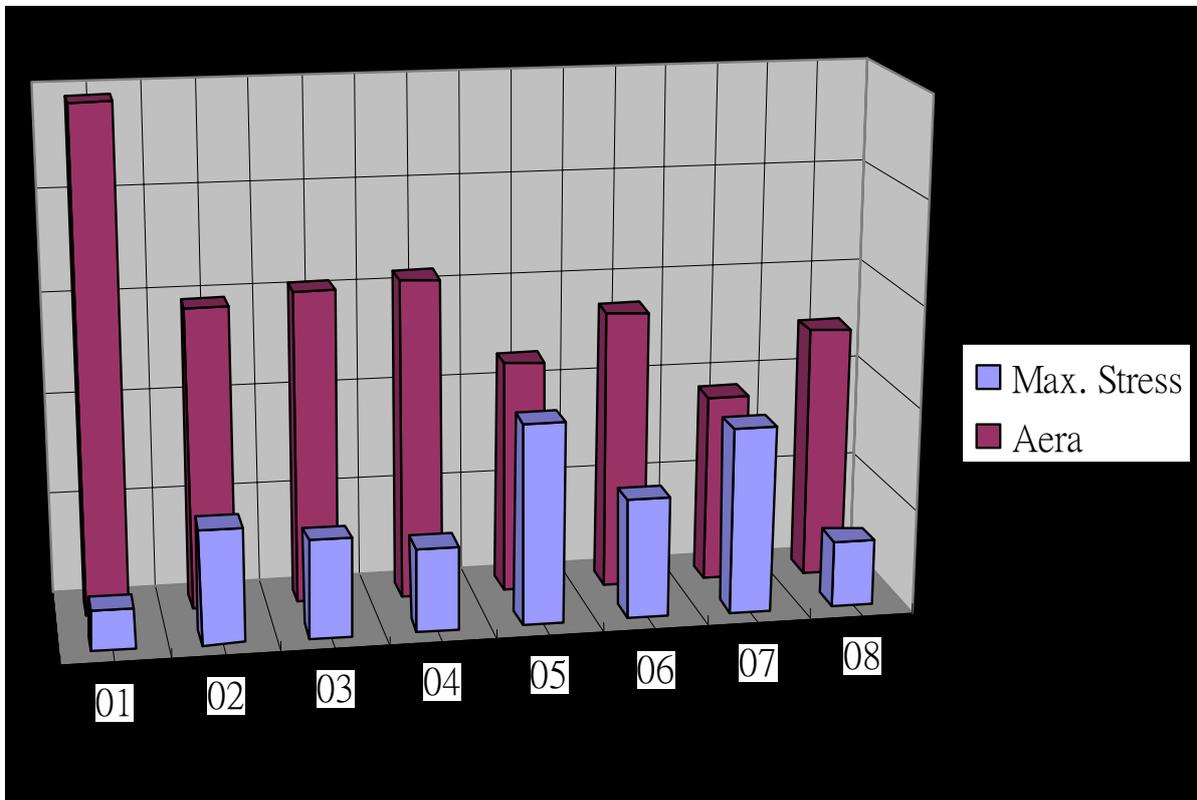


Fig 3-1 最大應力及面積比較圖

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

針對上面各種 case 的分析結果及數據，我們可得知下列幾項結果

1. 針對 CASE01 我們可以發現雖然它的應力值很小，但相同的它的截面積也是最大的，其重量與材料的消耗也是最大的。依需求有大幅減重修改的空間。
2. 我們也可以發現應力的大小並不和機翼的面積成反比。以 CASE05 跟 CASE07 來比較，CASE05 的截面積較 CASE07 大，而產生的最大應力卻是 CASE05 較大。

對此，我們的結論是最大應力不完全只是跟面積有關係，應該跟固定端及除料的位置有關

最後我們可以明顯的發現，CASE08 的機翼結構何其他型號的，其面積是第三小的，其最大應力值第二小，非常符合我們的設計需求。因此在明年的 UAV 比賽當中，我們將會建議飛具團隊採用此型的機翼。

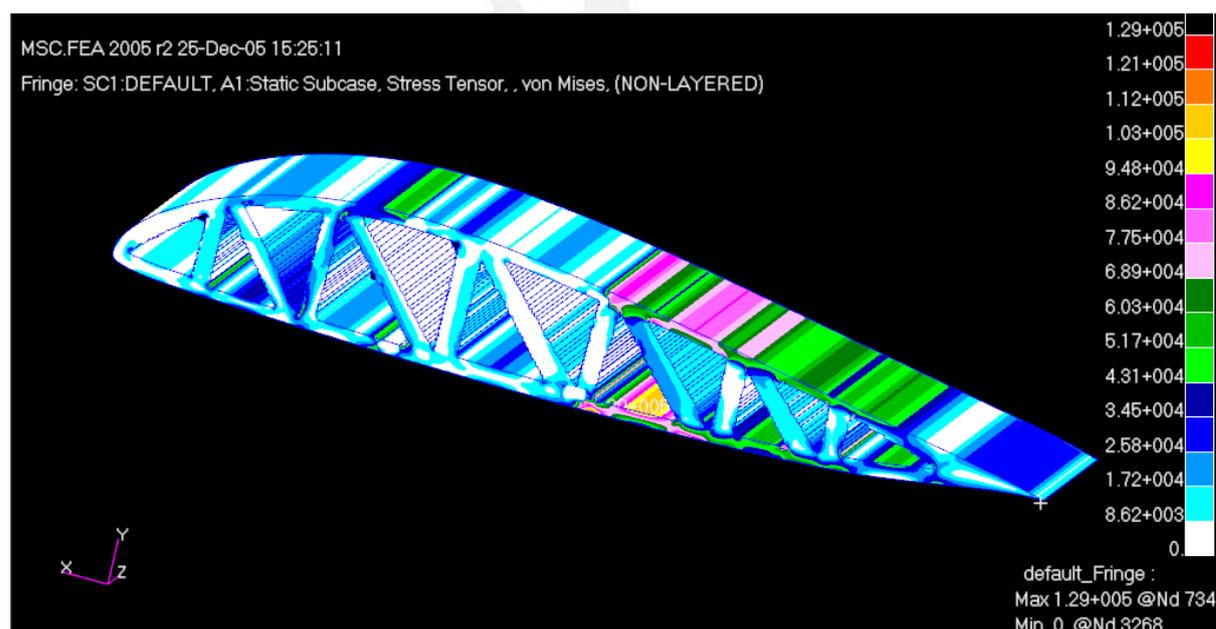


Fig 3-2 CASE08

Chapter 4. 心得感想及小組討論

4-1 心得感想

俊豪

在這次的報告中，終於能體會電腦輔助分析軟體強大之處，許多手解不出來的工程問題，在 NASTRAN 這套電腦輔助分析軟體上可以輕易的解決。

製造一台飛機，需要的是多方考量，結構強度固然重要，減重與材料的選用也是我們需要考量到的地方。這種問題如果沒有 NASTRAN，我們只能透過實驗與經驗法則得知，而若是利用 NASTRAN，我們可以輕易的求出整體的最佳值來。

這次的報告雖然花了大家非常多的時間，不過也頗有成就感，和組員之間的互動、討論等，都讓我認知到大家對這份報告的期待及堅持做到最好的心，或許所分析枝結論離實際用還有一段差距，但是畢竟是我們花時間與心血共同打造的，它會是我人生值得驕傲的一事。

牧民

上了一個學期的 Nastran，將在期末作業中展現學習成果，在這份期末 Project 中，我們這組選擇 UAV 無人飛行載具的結構分析作為主題，以 uav 之主翼為主要分析部件，經由 Nastran 分析後再對其結構與材料加以修改，以期在所需求之安全係數內，達到最輕、最省材料之兩大目標。這次期末作業中，大家相互討論，善盡其職，尤其在蔡杰宏組長這位逢甲 UAV 飛具團隊首席工程師的帶領之下，許多困難的問題一下就可解決。而冷玉琦同學更是有限分析軟體之高手，有他在很多大問題一下就可以輕易的解決，當然還有我們這組的靈魂人物-洪俊豪，許多設計與分析方式都是在他精關的眼光下所決定的。

有這麼堅強的組員陣容，加上耗時近一個月的籌備與規劃，相信我們的報告縱使不能做到盡善盡美的地步，但在我的心目中已經是個無價的回憶了。

玉琦

經過這次做報告的機會，我才知道原來有這麼多的軟體都是可以互通的，像是把 CATIA 的圖或是 PRO-E 的圖拿到 NASTRAN 上面來也可以做分析，真的令我很訝異。在製作報告中常碰到許多麻煩，像是在挖洞時始終無法挖出令人滿意的形狀，或是在給 Pressure 時大家意見不一，以及機翼固定點的選擇上有所遲疑，最後也是靠洪俊豪及林牧民兩位同學出的好主意而過關，也才有了這份報告的誕生。而做報告的過程中也讓我學習到不少團體討論的經驗，雖然過程中有些爭執，也許大家各執一詞，但最後終能各退一步，將整個報告做到大家都還算滿意

UAV 結構之 Airfoil 減重最佳化分析

的程度，真是個令人難忘的經驗。

杰宏

因為去年有修 PRO/E 感覺電腦輔助工程分析這科目還蠻有趣的.這次 NASTRAN 感覺與 PRO/E 蠻像的,剛開始學都覺得困難萬分,但是慢慢的熟悉以後,就慢慢的漸入佳境,在學會以 NASTRAN 建模以後,有嚐試以 CAD 繪圖.還好以前有學到 PRO/E.讓我能在建模的速度上更勝別人一籌.只可惜熟悉 NASTRAN 花了不少時間,不然應該可以做出更細的作品,電腦輔助工程在我的主觀認為當一個工程師,學習 PRO/E 與 NASTRAN 是非常必要的.因為電腦能省去很多運算的麻煩.只要邊界條件設的夠嚴謹,就不會產生過多的非必要資訊.因此常常聽別人說電腦分析是很不準的東西.但是我接觸過這類的東西以後.就再也不這麼認為...相反的是.電腦運算在於模型各種係數與條件的建立.但是相對的...電腦也要有相當強大的運算能力.因此我認為未來的工程師要與電腦相輔相成.工程師利用電腦輔助分析所節省下來的時間.可以做更多的錯誤修正或是創新研發.這正是為什麼我現在想要來修 NASTRAN 的理由。



4-2 小組討論過程

第一次討論:

時間:12/03 下午三點

地點:科航 305 航模社社辦

下午三點除了組長蔡杰宏回台北投票不回來，其他三人約在科航 305 航模社社辦做初步的題目討論，起初我們是想將冷玉琦的 PRO-E 期末報告 F-16 拿來分析。但林牧民這時提出了一個更好的方案。那就是將 UAV 團隊 2006 年最新機種之機翼作減重最佳化分析。這是個一石二鳥的做法，因為不但 NSATRAN 期末報告可以順利交出，在明年的 UAV 比賽中更能列入報告書中為逢甲爭光。

第二次討論:

時間:12/11 下午三點

地點:科航 305 航模社社辦

這次很難得的所有組員全數到齊了，在輕鬆打屁了半小時後終於開始進入正題。因為發現在 Nastran 裡面建 3D 裡面非常的不容易的一件事。所以我們決定在 CATIA 裡面先將幾何建好然後在 Import 到 nastran 裡面分析。除此之外當天還將工作分配完畢。蔡杰宏組長負責在 CATIA 裡面建幾何。其他人負責分析的工作

第三次討論:

時間:12/11 下午五點

地點:科航 310 研究室

這次是最後一次的討論，但與其說是討論到不如是說資料統整，在別人都在狂歡的聖誕夜。三個組員很心酸的在科航館打報告。但天不負苦心人。終於在凌晨兩點多將所有結果統整出來，POWERPOINT、WORD 報告書也陸續出爐。

參考資料

1. MSC.Patran 中文範例手冊，美商麥格尼軒股份有限公司台灣分公司
2. MSC.FEA 中文基礎教材，美商麥格尼軒股份有限公司台灣分公司
3. Airfoil Database，<http://www.nasg.com/afdb/index-e.phtml>
4. MSC.Software，<http://www.mscsoftware.com.tw/index.htm>

