

第二場 『仿生與航太科技』(2006 年12 月03 日)

國立高雄應用科技大學機械工程系 陳盈儒 紀錄整理

主持人：大林火力發電廠 林純義 廠長



各位來賓大家好，今天早上很榮幸有機會來到這裡擔任蕭教授這場專題演講的主持人，我本身也是屬於工程界的，目前我在台電大林電廠服務，今天能夠跟學術界相對之間有個互動我本人感到非常高興，今天由蕭教授來為我們做一個專題的演講，他所講的題目是仿生與航太科技，我在這裡先簡單的介紹一下蕭教授的學經歷以及他在學術上的成就。

蕭教授在1976年自清華大學動力機械系畢業以後到美國南加州大學就讀，於1985年獲得航太工程博士學位，獲得博士之後他就學成歸國了，回國之後獲聘為成大航太系副教授，在1990年以後升任成大航太所的教授，1997年擔任國科會航空太空學門的代言人，也擔任國科會工程科技推展中心主委，1999年後擔任成大工學院院長並兼任國科會南區微系統中心主任與成大微奈米中心負責人，以及微機電系統工程研究所所長，於2004年擔任成大航太所的特聘教授直到現在。可見蕭教授的學經歷是相當的豐富，相當有成就。

蕭教授的研究領域專長第一是在飛機系統，第二是衛星系統，第三是流體力學，第四是在空氣力學、動力學控制系統以及微奈米繼電器等。蕭教授也有兩項專利：第一項是微流量流速感測系統，第二項是雷射輔助熱壓印系統，都是申請國家專利的。蕭教授本身所獲得的榮譽太多了，我只是簡要的把幾項跟大家介紹一下：第一項是民國77年獲成功大學頒贈77年度最佳指導教授獎，第二項是1990年獲得美國電機電子工程學會(IEEE)最佳論文獎，第三項是於1997年獲頒中國工程師學會傑出工程教授獎，這三項是最主要的。而蕭教授指導的學生也都獲得很多的獎項。以上就簡單介紹幾項跟各位介紹一下，我想現在就



請大家熱烈歡迎蕭教授來為我們進行今天的主題演講，謝謝。

主講人：國立成功大學航太工程系特聘教授 蕭飛賓 教授



謝謝林廠長的介紹，我覺得很不好意思，我個人從事研究工作的時間已經超過二十年了。事實上，高雄這個地方我本人也是非常的熟悉，感謝郭教務長、李教授以及在場的各位貴賓先生女士們。我今天要講的這個題目，各位或許會覺得很好奇，為什麼我所鑽研的航太科技跟仿生有什麼關係？事實上仿生學是一門很新的學問，但說它是一門學問，卻又跟我們的生活息息相關，事實上，很多事情就發生在我們週遭。其實仿生學的範圍涵蓋的非常廣，我沒有辦法在很短的時間內向各位詳細地報告什麼是仿生，但是我會提出幾個應用在航太領域中比較重要的例子來向各位介紹。

關於仿生學的部份，我會提出一些動物或者生物的例子，解釋我們人類該如何跟這些動物學習，並且提到航太這個領域的歷史，然後再談談仿生有哪些概念或新的科技能用應用在航太科技中，最後再做一些簡單的結語。各位都問我什麼是仿生？仿生可以說是「Bionics」，或者是「Biomimetics」，很明顯的仿生就是直接從英文翻譯過來的。在英文裡面，大家都知道 Biology，如果你是念生物系的人就是唸 Biology，那「ology」就是所謂的技術或哲學的意思。「Bio」在希臘文中是代表生命的意思，「nics」是擁有的意思，很多英文單字的字尾都是 nic，而「mimetics」的意思就是模仿，所以很明顯的，Biomimetics 就是我們今天所講的主題－仿生，或者稱仿生學，簡單的說就是模仿生物的一門學問。而如何研究模仿生物系統的方式，或已具有生物系統特徵的方式，甚至於類似於生物系統工作的系統，以上這些都是所謂的仿生學。所以可以看的出來，當我們要去研究仿生的時候，可能對生物或者生命所存在的哪些系統以及哪些特徵，甚至於如何工作要所有了解。生物的工作對我們來講可能是一種休閒，但是要如何把生物的工作變成人類所需要的東西則是一門有系統的科學。可說是具連慣性、相異性、系統化的一門學問。

要了解生物的過人之處是很重要的，當然我們不可能會了解的很

多，所以我們提出我們對動物以及生物的了解是否足夠，如果了解不夠，那我們能做仿生嗎？這是一個很重要的問題，但也不一定要唸生物系、生物科學等等；我們都知道人是「萬物之靈」，我們知道很多事情。但事實上，我們連自己都不知道，又該怎麼去知道其他的動物與生物呢？甚至於了解我們的週遭。因此可能會有一個問題，就是說，人是一定勝天的，我們什麼都會，當你去研究仿生學的時候會發現到，在我們的週遭，甚至是你自己都存在著很多問號的語言。我們可能無法戰勝天，我們也可能什麼都不會，但是我們可以透過仿生來學新的東西。

許多動物都有高超的本領，而這些本領是人類所不會的。所謂的萬物之靈、人定勝天，這是一種鼓勵、激勵我們要努力的意思，並不是代表我們什麼都會了，都不用學習了，這也是我在開場白中要與各位分享的。事實上，我們有很多的不知道需要我們再去努力學習的地方。我以扁蝠為例，大家都知道，蝙蝠是人類的朋友，大家也知道蝙蝠是一種會飛的鳥，是一種哺乳類動物。但是蝙蝠在黑暗中要怎麼覓食，這是一個我們在唸生物的時候，常常會覺得很好奇的地方。當蝙蝠張開嘴巴時，透過牠的聲帶可以發出聲音，聲音一般是從嘴巴出來的，事實上往往也會從鼻子出來，而蝙蝠利用耳朵來聽聲音，這是大家都知道的。事實上，當蝙蝠看到昆蟲的時候會發出一種聲音，而這種聲音我們卻聽不到，這種聲音只針對昆蟲，當聲音碰到昆蟲以後會反射訊號回到蝙蝠身上，就是蝙蝠的音波發射出去之後，撞到物體反射回來，蝙蝠就是這樣聽到的。蝙蝠聽到以後，就會立刻判斷出昆蟲在哪個位置，哪個地方，這些大家都很清楚。所以呢，蝙蝠就會立刻向昆蟲靠近，可是在靠近昆蟲的同時，蝙蝠仍在連續地發射類似電波的訊號，嘴巴一直發出聲音，耳朵一直接收，在飛的過程中，蝙蝠就會慢慢地了解昆蟲在哪個地方，接著緩緩地靠近昆蟲，把牠吃掉。這些動作是相當快的，絕對是快到人們都感覺不到，可是對蝙蝠來講，牠為了要求生，就像我剛剛提到的，為了要工作，所以蝙蝠具有這種超能力。那麼，我們人類有這種能力嗎？這是個很大的問題。



我再講另外一個例子—壁虎。各位都覺得壁虎很討厭，有人說跨過濁水溪，北部的壁虎和南部的壁虎好像不太一樣，北部的壁虎好像不會叫，南部的壁虎才會叫。其實我原來都不知道，一直到民國 74

年我回台灣教書，我碰到一個大陸人跟我說它住在台北，他跟我說北部的壁虎好像都不會叫，南部的壁虎就很會叫。有人才告訴我說跨過濁水溪壁虎就會叫了。這個我就不太知道了。可是壁虎有一種超能力，牠為什麼不會從天花板上掉下來？壁虎會什麼可以在天花板、在牆壁上行走？這就是所謂的壁虎功，大家在電影上都看過的，牠可以抓在牆壁上不會掉下來。如果你詳細去看，壁虎的爪子上就像毛氈或毛毯一樣，能夠緊緊的貼住。你可能會覺得在壁虎的爪子上一定有膠帶，可是膠帶一貼上去可能就拿不起來了，所以壁虎本身一定有特殊的能力，既能抓，也能黏，當牠抓的時候就會黏住，一縮的時候就能移動，可是壁虎跑的很快，牠要黏又要放，都是在一瞬間。這種能力，人類沒有，或許在功夫片裡面能看的到，但是一般人並沒有這種壁虎功的能力。



第三個例子是螞蟻，螞蟻會跑的很遠，可能是一隻或兩隻，數量都不多。可是螞蟻卻有特別的能力，當牠發現食物的時候，牠會立刻去通知牠的同伴來幫忙扛食物回去。但是，螞蟻怎麼回家的？難道螞蟻的眼力這麼好嗎？螞蟻一定也有特殊的能力，而且也是人類沒有的。當然，我相信螞蟻也是會迷路的，就像我的小孩也是會，就連大人都會迷路一樣，可是我們常常看到螞蟻都是群居在一起的，有時候看到一兩隻在一起，慢慢地就變成很多隻在一起，因為牠發現了食物，牠會叫牠的朋友、同伴來幫忙搬，所以螞蟻的這種超能力在茫茫的陸地上，是否具有導航，甚至於通訊的本能，我在這裡指的是「本能」，不是學習的能力，牠本來就會有的。這也是很奧妙的，事實上人類已經具備有導航與通訊的能力，但是我們沒有本能，這是很困難的。如果今天把你丟到一個叢林裏面往往都會迷路，不會迷路的話就不用很多的救難隊的來救你了。事實上，人類還沒有很好的導航與通訊的設備。鴿子也是另外一種例子，大家都覺得鴿子要訓練，買個鴿籠養很多隻。雖然機場附近是不能養鴿子的，但臺灣人偏偏就特別喜歡養鴿子，就是你越是禁止他越要養，如果大家都養鴿子的話就不想養了，就像以前在養十姐妹一樣。鴿子確實是有些能力，可是鴿子也有分聰明的鴿子和笨的鴿子，笨的鴿子叫做菜鴿，拿來被人吃的，而聰明的鴿子可以訓練的非常好。可是候鳥是沒有經過訓練的，應該說，候鳥經過父母的教導之後就會了！在候鳥的身上一一定有某種特殊的本能。這張圖是南部的黑面琵鷺，牠算是種候鳥，一飛就要飛個 5000 公里到 10000 公里，現在已經慢慢進入冬天了，很多的黑面琵鷺已經聚集在七股一帶，歡迎各位可以去欣賞。黑面琵鷺就是有這種能力，可以從西伯利

亞飛到台灣，到明年3、4月春天轉夏天的時候又飛回去了。難道牠不會迷路嗎？不會亂飛飛到美國去，當然也會有一兩隻飛錯地方的，這是必定會有的，但是基本上牠們這種超能力是很厲害的。這是一張卡通圖，我們會想說，像這種鳥是不是帶手機或是PDA這種GPS全球定位系統作為牠導航的工具？這是個很奧妙的事情，不管是鴿子，還是很小的螞蟻，還有我剛剛提到的壁虎等等，這些動物中都具有超能力，這就是我們要學習的，而仿生學就是在這樣的背景下產生的。



所以我們可以知道，仿生的研究範圍是很廣泛的，小可以小到微世界的分子仿生，這些我就不提了，因為我有看到其他場次的一些學者會針對奈米生物的仿生做更詳細的介紹，所以在這裡我就先不提；大可以大到宇宙的仿生等等，都與仿生相關，我只會提一些例子，重點的部份我會以航太的仿生做介紹。其他在電子、機械、控制、醫學等等各方面之外，還有很多很多的仿生，都有賴我們要繼續作研究、開發，這些都是值得我們去探討的。電子的仿生是非常多的，在電機系、電子系、通訊系等等都作的非常多，我們要如何去模仿動物的腦以及動物的神經系統、感官系統，細胞內與細胞外的通訊還有動物間的通訊等等；現在在學校裡面很多在做類神經網路的研究，過去類神經網路都是電機、航太才在用的，現在已經把類神經應用到股票投資上了，可以用在經濟行為、工業工程等很多領域上。這種類神經的技術就是一種人類的神經系統，視覺神經也是一種，甚至於人工神經元的電子模擬、進階的智能機器人、電子蛙眼、鷹眼雷達以及模仿蒼蠅的嗅覺等等，用在小型的氣體分析上等等。這些都是透過電子分析系統加上感測系統，嘗試去學習動物所具有的能力，將這些能力應用在人類所需的事物上，在這方面可以講很多的例子。

在控制方面，在動物體內的有穩態控制系統、肢體運控控制系統以及方向和導航等等；另外，蝙蝠就是個很好的例子，還有幾個例子像是海豚還有鯨魚，這種也是一樣，牠們也一樣利用音波定位系統，還有蜜蜂本身有一個「天然羅盤」，還有鳥類以及海龜的星象導航、地磁導航還有重力導航等等。這是非常奧妙的，有人嘗試要去研究蜜蜂是如何群居的？如何跟隨蜂王飛到另一個地方去築巢？也有人研究過海龜，將海龜帶著GPS，觀察牠回流的情形，像綠蠵龜，牠們從澎湖游了一兩年的時間到達美國加州西岸的海邊產卵之後還能夠回來，在大海中游那麼長的距離還不會迷路。有人猜測，海龜是不是會

看星象?牠會把頭抬出海面上看看天上找北極星在哪裡，或者能感覺磁場以及重力場，這三項當然都是人類自己猜測的。除此之外，我們很難想像，綠蠵龜是不是真的有帶著地圖或者其他的設備能夠一邊游一邊看，判斷應該是左轉還是右轉，是繼續往前游或往其他方向等等，這是個很奧妙的事情，所以我們可以知道，牠本身一定具有某種超能力，才能夠終年累月地游都不會迷路。

在機械的仿生，目前是做的最多的，模仿動物的走、跑、飛、游等等，透過機械的架構與力學的原理，在這方面的研究非常的多。另外一個是跟我的研究領域比較相近的，譬如說汽車、船艦、飛行器等等，事實上多少都是在學習生物，等一下我會講一些相關的東西。由以上可以看的出來，我們講的一些學問，都跟我們的生活息息相關。

化學的仿生也很多，像光合作用、生物合成、生物發電甚至於發光等等，尤其發光是現在非常熱門的，像很多學校都有的光電所，這些太多了。甚至於在醫學也有，包括人工心臟的研製、生物醫學圖像判別以及醫學訊號的分析等等，這些可以說是多的一蹋糊塗！完全要靠我們的智慧、創造力，去想一想我們可以從哪些生物上去學習。建築的仿生、農業的仿生也是件很奧妙的事情，尤其是建築，我們有沒有可能嘗試像蜜蜂、螞蟻這種群居式的生活，事實上人類本來就像是螞蟻這樣群居式的生活。不管怎麼樣，仿生真的是太多了。



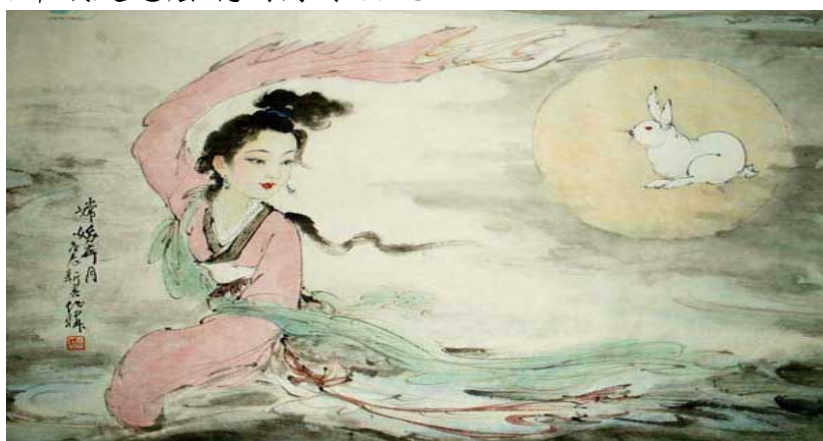
我們舉幾個已經存在的例子，像魔鬼粘，這種東西非常奧妙，目前有很多的背包都應用了魔鬼粘的概念；另一個例子是鯊魚的衣服，這個用的又更多了，尤其是在游泳比賽，這是澳大利亞發明出來的，他們發現穿這種衣服可以游的很快，圖片上這位是打破世界紀錄的人，他就是穿表面刻有鯊魚皮紋路的特製衣服，讓他在游泳的時候能夠有效地減少阻力，能夠游的更快，這是一個很有名的仿生的例子。我們把鯊魚的皮膚放大

觀察可以發現，在鯊魚的皮膚有像這樣一粒一粒的東西規則排列，這樣的排列用流體力學來解釋就是有降低阻力的功能，事實上鯊魚還有鯨魚的皮膚都很類似，而現在的潛水艇也是利用這種技術，在表面 Coating 這種特殊結構。另一個例子是機器人，日本是機器人做最好的國家，他們可以做出任何動作，像可以吹樂器、騎腳踏車，而且還能夠穩定地爬坡。騎腳踏車對我們來說不難，但是像日本做出這麼好的機器人的確不容易。這段影片應該是去年或前年發表的，這是一個

機器人在騎著一部腳踏車，控制系統就在機器人背後的包包裡，他靠著自己的穩定性爬坡，我想人類要騎腳踏車的話並不是很困難的，當然比快的時候就容易多了，要是比慢的話就很難講了。當一個機器人能夠像我們人類一樣騎腳踏車的時候，我們真的是要佩服機器人了，當然更要佩服設計的人。假面超人是一部很有名的卡通，事實上我還不知道這是什麼東西，還是我的學生告訴我的。假面超人的靈感是來自蜻蜓還有昆蟲，假面超人有像是蒼蠅的眼睛，就是複眼，還有蒼蠅的感官系統，這些都是從昆蟲身上學來的，雖然我們都很討厭蒼蠅，可是蒼蠅的技術像複眼這種能力我們人類都不可能會有的，我等一下會提到要如何應用在航太裡面。



我接著就講我們的主題—航太的仿生，我花一些時間講一下航太科技的起源，我會從過去的神話、風箏、熱氣球、撲翼機、定翼機一直到現代的飛機，這是很有意思的。最古早的應該就是嫦娥奔月的神話，我也不知道我的學生是從哪裡去抄來這段話：人類之所以有想飛的念頭，主要是受到鳥類及蝙蝠的影響，事實上在神話中已經流傳了三千多年了，像嫦娥是怎麼飛上去的？當然，有沒有嫦娥都是個大問號，說不定嫦娥已經搬家搬到火星去了，因為月球已經被登陸了所以他跑了。基本上，嫦娥奔月這個神話告訴我們—人類是會飛行的，不然嫦娥是怎麼飛到月球去呢？



人類真正的飛行是在古代的中國所發明的風箏，所以風箏在航空史上被公認是最早的飛行器，不管是稱作紙鳶、紙鶴或其他名詞，都會做的像鳥一樣，這是早期的風箏，當然現在的風箏也有做的像鳥一樣的形狀，也有各種祥狀的都有。但根據文獻上記載，西元前一千多年前，中國出現風箏據說是漢朝的韓信將風箏用在戰場上，這也是件

很奧妙的事情，當然是真是假我們還不確定，不過古書上確實有這樣的記載，韓信當時為了要打敗敵軍，就是利用像風箏的東西。現在也還有許多人在放風箏，但是風箏的技術在中國確實已經有幾千年的歷史了。從力學來講放風箏有三種力的作用：重力、空氣動力以及線張力三種，這三種力量構成了一個完整的力的系統，由於這三種力的平衡，風箏才能很穩定地飛在天空上。而利用繩子控制風箏，可以讓風箏忽高忽低，但是有一點最重要的，要是沒有氣流、沒有風的話，風箏就飛不起來了，這使大家都知道的道理。可是如果風箏受到力的影響變的很弱，要是沒有風怎麼辦？如果你都不動的話，重力場就會把風箏給拉下來，風箏就會掉到地上，所以這時候小孩子就會把風箏的線拉著往前跑，故意製造出「相對速率」，讓風箏又感受到有風了，所以風箏又會飛上去了，這就是利用相對氣流的關係，讓風箏又飛上去了，這是個非常簡單的力學原理，我想大家都很清楚。

然而，中國人一直都停留在神話、放風箏的時代。其實在中國歷史中，中國人對於飛行是非常害怕的，所以一直都不敢嘗試去飛行。反觀歐洲，在十五世紀、十六世紀的時候，這些歐洲國家反而有更多的飛行歷史記載。這是一張古代的圖畫，圖上是一個歐洲人他站在一座高塔上，他身上穿著一套像是蝙蝠的衣服，他就從塔上面往下跳！這個人他們稱作“跳塔飛行家”，他可能就是鳥人飛行的始祖。臺北縣從兩年前也開始有舉行鳥人飛行比賽，事實上鳥人飛行比賽在歐洲以經有很久的歷史了，日本從二十多年前開始也在舉辦，我們台灣也從兩年前開始舉辦類似的比賽。今年的九月底到十月初的時候，在台北淡水河邊就有舉辦鳥人飛行比賽。所以人類之所以想到要飛上天是從歐洲人開始的，也是歐洲人實際上去做實驗的，這也是航太史上最早的仿生案例。

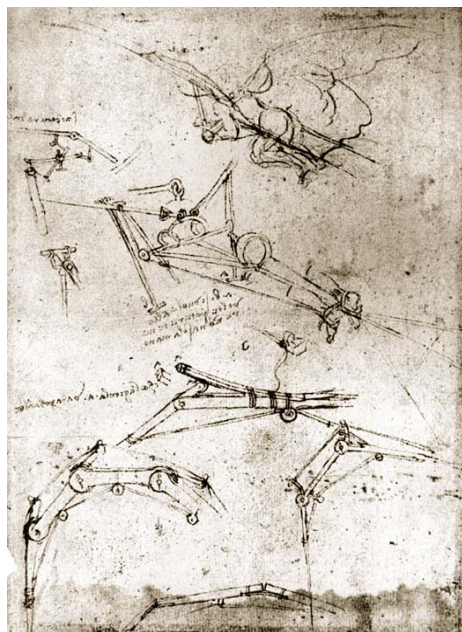


大家都知道達文西，其實達文西他研究了很多的東西，我在這裡只提出鳥類跟蝙蝠。達文西他觀察鳥類跟蝙蝠翅膀的結構，並且觀察牠們的飛行。達文西發現，鳥在不同的時間，翅膀會有不同的動作以及飛行行為，他看的非常的仔細。達文西把他想到的都畫下來，設計一個像是以風箏為主的飛行器，這邊可以看到有一個主結構，還有肋骨，這些肋骨到尾端很明顯看的出來就像是蝙蝠的翅膀。我們都覺得

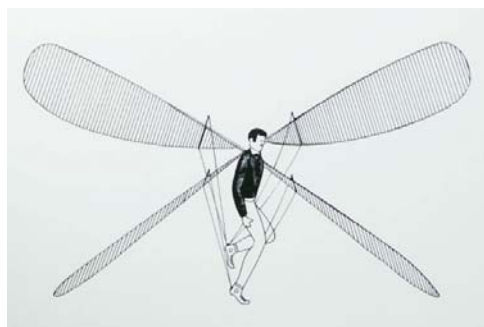


達文西是個很殘忍的人，他可以把死人一刀一刀地解剖，看死人的頭、心臟、內臟等等，但是他卻又是個美術家，當然我們一般都稱他是畫家，他能把它所見的一切都畫下來，這點對於中國人來說是較差的，中國人看到可能都是錄音錄下來，但是在以前還沒有錄音機，但是也懶得寫，於是就跟徒弟講說這是什麼東西，都是現場教學，一直到現在我們的學生在做實驗都還懶得去紀錄。達文西這種特殊

的才能，就是因為他本身對於什麼都很好奇，再加上他又有繪畫的天份，所以他覺得這種東西能夠飛，他就把這些一五一十地畫下來，這些文獻現在都還存在。事實上，達文西的許多構想都不實際，不過以現在來講，他很有創造力，有部分可能有用，但大部分都是沒用的。可是我們還是要佩服達文西，因為他的思想真的很奧妙。達文西最讓人稱讚的就是他畫出了人類如何去學習蝴蝶的飛行，他自己也設計了很複雜的機構來傳動四片翅膀的運動行為，這是距離現在大約五百年前他就已經在做的。我們可以看到，他利用了很多陷在機械系的學生都要學習的機構學，凸輪、齒輪等機構的運動行為來帶動。他甚至也想到設計翅膀，把它落實在飛行器上說不定就可以飛行了。當然，當時他並沒有很大的財力來支持他的計畫，因此他很多的構想都還停留在設計圖上的階段並沒有落實。



這張圖就是當時達文西的構想，不過後來的人又幫他修飾了一下。在這個人身上裝了四個翅膀，利用腳和手來拉動翅膀擺動，這樣就能夠像昆蟲一樣的飛行了，這就是所謂的「撲翼」或者「拍翼」的機構圖。當然，這種飛行的構想在現代來說是很複雜的，



然而歐洲很多的鳥人飛行比賽就是利用這種原始的方式來做飛行，絕對不會做像現代的飛機這樣去參加比賽。所以，鳥人的飛行有一個很重要的觀念，就是你要如何利用很原始的方法並且是靠人力來做飛行。這個構想在現代來講可以說是非常創新的，不過嚴格地說，人類

確實無法像昆蟲一樣的飛行。

人類到最後能夠飛上天，靠的是熱汽球。1783 年，在十八世紀工業革命之後，歐洲從文藝復興時期到工業革命時期，蒸氣機的出現，以及人類開始利用瓦斯氣的燃燒，讓整個人類的文明有很大的進步。

法國人是第一個設計出熱汽球的，當然，當時的熱氣球不像各位在圖上所看到的這樣，圖上這是現代的熱氣球，當時的熱氣球也是類似像圓的形狀，不過當時用的材料不是現在所用的塑膠，而是用皮革做出來的。熱氣球的概念是在氣球底下燒瓦斯，瓦斯會把空氣加熱，灌滿整個熱氣球，空氣加熱之後密度會降低，密度降低之後就會把比較重的空氣排出來，使得在熱汽球裡面的空氣都是密度較低的，低密度的



空氣會跟外面的空氣產生浮力，這時候福利就會把氣球帶上天空去，所以熱汽球的概念在現在是非常簡單的，但是在當時能夠做出熱汽球是相當大的創舉！而熱汽球的飛行構想比飛行飛機早了將近 120 年，這 120 年是從萊特兄弟那時候算起，不是從現在，萊特兄弟距離我們差不多 100 年左右，是在 1902 年。熱汽球是靠球體內充入的熱空氣產生浮力而升空飛行，在當時是用燒熱空氣的方法，慢慢大家有一個想法：可以讓空氣更輕嗎？過去有幾次是灌入氫氣，灌入氫氣的構想一直到氫氣發現了之後就開始應用了。後來，在 20 世紀初發生了一件很不幸的事件——興登堡事件，興登堡號是全世界最大的飛船，因為一次意外整艘都毀滅掉了。因為氫氣有爆炸的危險，所以後來都不用氫氣而改用氦氣。熱氣球的缺點就是無法自行改變方向，必須完全依靠氣流才能改變方向。

在十八世紀的時候，各位看到的這位就是飛機的發明者。在場有很多的老師，我在這裡要特別強調一下，飛機絕對不是萊特兄弟發明的，飛機的發明者是這位——英國的凱立，George Cayley，在 1773 年至 1857 年發明的。當時他在一個很有名的機械期刊雜誌投稿，以現在來講，以學術界來講應該不會上 SCI 的，



可是 Mechanic Magazine 在當時是非常有名的雜誌。他就畫了一張圖，各位看到的有上視圖還有側視圖，我們從上視圖可以看的出來他設計的飛行器很像風箏的形狀，可是這個飛行器並沒有撲翼，也沒有振動，沒有像蜜蜂和蝴蝶這樣拍動翅膀的樣子。事實上凱立當時他已經做了一些實驗，他認為這種機翼是固定翼型的，以現在的專有名詞叫做固定翼，翅膀不會動的。它有機身、機翼還有尾翼。這個尾翼還會擺動，有綁著線在控制尾翼，飛行員坐在籃子裏面，底下有三個輪子。這是凱立先生第一個將他的構想畫出來的圖。在我們航空界中，凱立才是真正的飛機的發明者。在這裡我一定要講，要不然大家都認為萊特兄弟才是飛機的發明者。

凱立的構想到 1804 年就落實了，距離現在正好 200 年，他是定翼機概念設計的開端，這是我特地要講的事情。萊特兄弟的飛行是在 1902 年，這個是 1804 年，兩個人差了幾乎 100 年的時間。很可惜的是，凱立並不是美國人，萊特兄弟是美國人，美國人很會宣傳飛機是他們發明的，這是完全錯誤的概念。以現在的飛機來講，當然機翼已經改變了，尾翼也是不太一樣的，可是概念是完全一樣的。

萊特兄弟是「動力飛機的發明者」，在飛機前面要加上”動力”。凱立提出的飛機，當時的引擎(蒸汽機)還不是很發達，雖然當時瓦特已經發明了蒸汽機出來，但是仍不普及。萊特兄弟在早期試驗飛機的時候，事實上也都是 follow 凱立的許多概念來進行，後來他們心血來潮，才把蒸汽機放到飛機上去，所以萊特兄弟是第一架動力飛機的發明者，所以要記得萊特兄弟並不是飛機的發明者。萊特兄弟的哥哥壽命比較短，弟弟小哥哥四歲，但卻活的很長，一直到 1948 年二次世界大戰結束以後。哥哥和弟弟兩個人的職業都是在修理腳踏車的，就是現在所謂的「黑手」。不過其實他們是很有學問的，他們的父親是位牧師，母親是小學老師，所以他們的父母教導他們很多的知識。萊特兄弟是哥哥和弟弟兩個人一起進行實驗的，可以看的出來，1902 年的時候哥哥都還在世，飛機普及之後享受榮富貴的反而是弟弟，因為哥哥很不幸地，早早就去世了。

他們再經過一系列的飛行與驗證後，在 1903 年 12 月 17 日，這張照片是他們在進行其中一個試驗時拍的，我們可以看到飛機已經飛起來了，他們最遠飛了 852 英呎，大約是 300 公尺，300 公尺在當時來講已經是很遠了，飛行時間 59 秒。這個記錄是當天飛行三次中最長的一次，最短的記錄根據文獻上的記載好像是 13 秒，不過我還沒有查出來，所以我不敢確定。但是在 1903 年 12 月 17 日這個記錄確

實是正確的，現在已經快要到紀念日了。2003 年的時候，美國就大肆慶祝萊特兄弟飛行 100 周年。那一年本來我要帶一個台灣的代表團到萊特兄弟當年飛行的地點去，這個地方在俄亥俄州，結果想不到在那一年發生 SARS 事件，被美國方面禁止入境，結果我們那個代表團就去不成了，所以每次我看到這張圖，就想到當年的 SARS 事件。這是一個劃時代的進步，人類把一架飛機從設計圖到飛上天空。當然這還不是我們現在再座的飛機，完全是不同的。圖中這架飛機裝上了引擎，圖上看到在駕駛的是 Orville，這位是弟弟。據說，當時哥哥和弟弟為了誰要做第一次試飛，他們兩個還丟銅板決定，第一次是哥哥先來，哥哥上去只有 13 秒就下來了，哥哥下來之後就告訴弟弟哪裡有問題該怎麼解決，所以換弟弟飛行的時候就很成功了。



從今以後，飛機的形狀就改變了，當時的飛機除了雙翼機之外也有三翼機，萊特兄弟飛的是雙翼的，理論上可以有多重翼的飛機。不過定翼的飛機就像我們目前所坐的這種單翼機，而且速度會越來越快，跟萊特兄弟的飛機是完全不一樣的，不管是材料、控制、舒適度、安全度等等，與過去的飛機是完全不一樣的。在這之中也利用到很多仿生的東西。

我特地挑了這張圖，這張是 747 與太空梭的結合，747 和太空梭是航空中非常重要的工具，這張圖是在 1982 年所拍攝的，當然這架 747 是經過改裝的，跟我們現在搭載的 747 不太一樣，很明顯



可以看到後面左右兩個翼是改過的。航太科技的進步可以從這張圖清楚的看出來，太空梭是搭載在這架 747 的上面，它的接觸點只有 3 點，我們沒有看到很多的繩子綁在太空梭上面，我們在高速公路上常常看

到很多貨櫃車上面載的東西都用繩子綁好幾圈，因為怕它會掉下來，當然在高速公路上開車的速度都挺快的，但是飛機的速度比起高速公路上汽車的速度快了好幾倍，可是它只用了三個接觸點就能夠把太空梭放在 747 上面，以材料和結構來說，是非常進步的。

飛機常常會碰到”亂流”這個問題，亂流就是飛機在飛行的時候，後面所產生的尾流，就像圖上看到的這樣子，這是很典型的尾流。這些尾流就會造成很多飛安的問題。可是鳥類在飛行時飛成”人”字狀，就是在尋找尾流，雖然人類把它叫做亂流，這些尾流對於鳥來講可以幫助牠們飛的更穩定，所以我們常常可以看到候鳥要飛很遠的時候，牠們都會一字排開，鳥爸爸和鳥媽媽都會飛在最前面，小孩就會飛在後面，小孩的鳥具有某種特殊的功能會追著渦流跑，人類目前還不知道原因，我們知道尾流的存在，但是我們都會避開，因為尾流會造成飛安的問題。鳥類會利用尾流，而人類會避開尾流，這個原因人類一直都還沒有答案。飛機也碰到另外的問題，就是所謂的震波和噪音，當飛機飛太快的時候，飛到超音速的時候就會產生震波，目前我們都還沒有看過昆蟲或是鳥類可以飛到那麼快的。當然，我們還不知道有什麼生物會像飛機飛的那麼快一樣，是不是也有震波和噪音的問題，這個問題我們都還不知道。



我剛剛所提到的是一些飛機的問題，現在我們來談一下航空中應用到的仿生。各位都已經了解鳥類的飛行，如果我問各位，模仿鳥類的飛行是不是很困難？當然也許各位會覺得很簡單，因為我們現在都是一天到晚都在坐飛機，但是如果說要學習蜂鳥的飛行，困難嗎？，大家都認為蜂鳥不是飛的很慢嗎？飛機都飛的很快，這是沒有錯的，要飛的快的話就不要去學蜂鳥了。可是，當你要去學一些特別的技巧的時候就很難了。蜂鳥的飛行對航太來說是最難學習的，蜂鳥翅膀的拍動可以有 360° 的改變，包括牠的尾翼。蜂鳥再吃東西的時候也會有很多不同的動作。蜂鳥的行為事實上就是現在的直昇機希望可以

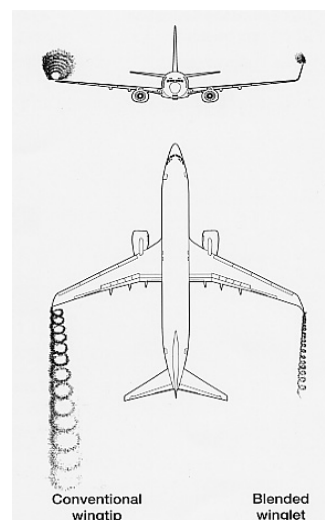
到的，目前的直昇機可能學的是蜻蜓，但是直升機的飛行技術要學的是蜂鳥，因為直升機飛的速度並不快，而且直升機可以在原地旋轉，因為直升機大部分都是用在救援還有一些特殊的功能上，蜂鳥就是有這種特別的技術，目前這種技術對人類來說真的是很難學習的。有關蜂鳥的研究目前還陸續在進行中，可能就需要一些唸動物學的人來幫忙了。



另外，如果說要飛的比較遠，問題就是在機翼的設計要如何學鳥類的翅膀？講到這個我就要介紹一個例子了，不管是信天翁還是燕子，牠們的尾端都有特別的功能，這是過去我們人類完全不知道的，這些功能是可以減少阻力的，這種減少阻力的功能可以幫助牠們做長途的飛行，尤其是針對像信天翁這種較大的鳥類，對鳥類來說，減少阻力就是減少牠們體力的消耗，因為牠們不可能只飛幾十公里就停下來覓食，牠們一飛就是飛幾百公里，說不定可以飛到幾千公里才會休息。

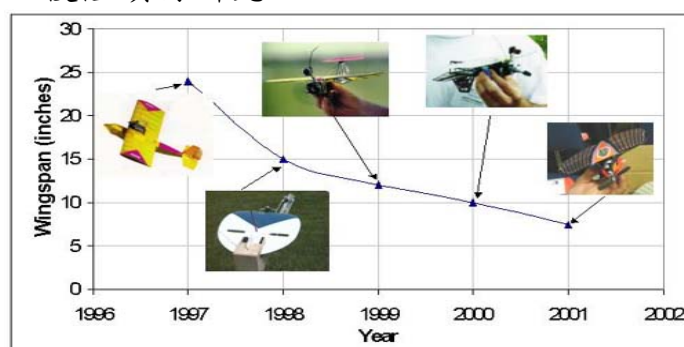
在飛機中都會加裝翼端小翼，英文叫做 Winglet，這種翼端小翼的構想就是從鳥類來的，這張圖是我昨天特別去找了一張華航飛機的圖，各位注意看看機翼的尾端，這個尾端就是所謂的翼端小翼。這種裝置在過去的飛機是沒有的，這種翼端的構想是經過了過去三十年的研究並且經過實驗的驗證才發展出來的。圖中這架是 737 的飛機，事實上從 737、747 一直到空中巴士等這些新型的飛機都會安裝，雖然空中巴士的形狀和波音飛機的形狀不太相同，要是一樣的話就變成仿冒了。不過，雖然形狀不太一樣，但是翼端小翼是一樣的。另一張圖是美國西南航空的飛機，這種翼端帆或是翼端小翼跟信天翁或是老鷹是一樣的，當老鷹在天空翱翔的時候，牠的尾端都是張開的，因為這樣具備有減少阻力的功能。

這張圖是風洞實驗的介紹，我們看到上面這架飛機右邊的機翼有加上翼端小翼，左邊的機翼沒有，從下圖可以看到放出來的尾流一個比較小，另一個比較大，而大跟小就是代表阻力的減少，右邊這種比較好，左邊這樣就比較不好了，



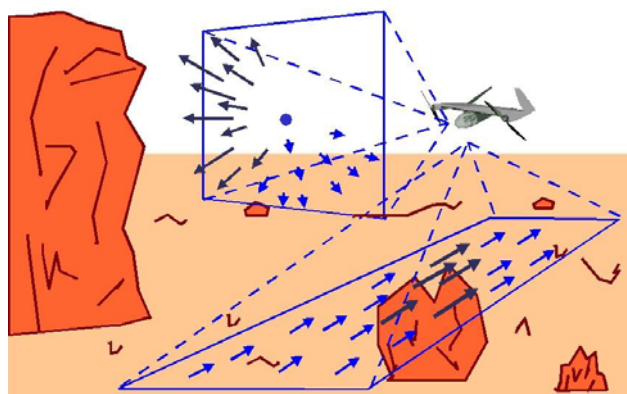
這種概念就是從鳥類過來的。現在我們看到的這些翼端的示意圖都是從風洞實驗出來的。

我現在要講的另外一個主題是我們學術界目前在做的一微型飛機。微型飛機是慢慢從固定翼轉變成振翅翼的飛行，也就是在探討小尺寸的飛機依據空氣動力學原理有沒有比較好的效果。微型飛機的構想大約是十年前美國空軍與海軍陸戰隊所提出的，他們希望當一名士兵發現一個不明目標物時，卻又不敢輕易靠近，因為大家都很怕死。如果用一架很小型的飛機飛到目標物的上空，利用 CCD 鏡頭，將圖像傳回到士兵手上的 PDA，這是當時海軍陸戰隊與空軍所提出的構想。這個構想在學術界也是在進行的，美國人為了要推動微型飛機，就舉辦了一個設計比賽，規定飛機要越做越小，從這張圖可以看見尺寸越來越小，現在設計的微型飛機大概只有手掌的寬度，約 20 公分左右。各位不要想把這種飛機拿來座，而是要用在偵察的用途。這兩種是美國很有名的兩種微型飛機，一種叫做”黑寡婦”，其實我也不知道為什麼叫做黑寡婦？黑寡婦的寬度大概是 30 公分，這邊可以看到馬達還有螺旋槳，如果你眼力比較好的話可以看到 GPS，它也有通訊系統，這是目前世界上都有再做的。MicroBat 是利用拍翅的，與黑寡婦的固定翼形式不一樣，這個我們稱作微小蝙蝠，我放個錄影帶給各位看。這隻蝙蝠是加州理工學院和一家公司合作的，這是 Discovery 頻道的節目，基本上他們設計的這架飛機是透過風洞實驗的，我們看到的這隻是真的蜜蜂，這隻蜜蜂也很可憐，被抓來做實驗，我想美國人也挺殘忍的。透過研究昆蟲的行為來改良並且設計出新的機構，翅膀是利用微機電的技術做的。如何能夠得到很好的渦流，讓翅膀像昆蟲一樣爬升，這是目前人還學不會的。這片是真的蝴蝶翅膀，一樣利用微機電的技術改裝做出來，李教授就是這方面的專家了。我們可以看到他們利用 Lithography 的技術把形狀給做出來，現在看到的這個就是 Mask。我們看到，做出來之後，裝上馬達就可以飛了，當然飛的還不算很好，目前這方面的技術最高紀錄大約是飛行 50 秒左右，還需要之後陸續再研究。



另一個是歐洲人做的，他們要學習 fly(蒼蠅)，這是荷蘭一所很有名的大學做的，重量只有 17 克，而且還有避障能力。因為時間的關係我就秀一段影片就好。就像影片上看到的這樣，可以這樣飛行，你也許會覺得像是學生在玩玩具一樣，不過這是一所很有名的大學在做s的研究。這裡面的機構包含了馬達還有電池，當然現在鋰電池的技術做的很好，就像各位的手機能夠待機很長一段時間。在室外他們也做了一個驗證，這段影片是室外的飛行。其實，這些技術都還停留在設計的概念上，真正要落實還有一段時間。

我再講另外一個是人類如何學習昆蟲避障的問題。昆蟲是利用複眼，所以會有視覺流，視覺流基本上是利用感官系統，像在飛行時在看遠物還有近物，就像遠物看起來會跟我們一起移動，比較近的物體會往後移動，這是蒼蠅複眼的功能。昆蟲



透過牠的左眼和右眼的移動行為來判斷物體所在的位置。這張投影片是我們目前正在做的，利用 CCD 的攝影鏡頭來判斷物體的位置，我放一部影片給各位欣賞。這是我們實驗室目前正在做的，如果一部照相機要追著直升機跑，在右邊這裡我們可以看到有亮點，這個亮點就是直升機所在的位置，這就像是昆蟲在判斷目標物位置的方法。看近和看遠的方法是不同的，這是一個很重要的概念。

再來我們來看一下撲翼機，這是一位加拿大的教授所做的，他為了要學習鳥的飛行，就做了一架很小像鳥的飛行一樣的飛行機，時間是在 1999 年的暑假，飛行時間大概有十分鐘左右。如果把這種飛機作成大型可載人的，那又不一樣了。利用特殊的機構使翅膀會上下拍動，就像鳥一樣。這架飛機的概念與真的飛機完全一樣，除了翅膀會動以外。我剛剛說的是固定翼，可是這架飛機設計的像是鳥的飛行一樣。從小尺寸進到可載人的尺寸時，飛的起來嗎？飛機在飛行時一定要加速，不過翅膀在拍動時要加速並不容易，大約滑行一公里的時候，我們可以看到翅膀拍動的比較大，不過只能跳動幾秒鐘的時間。這是個很有趣的實驗，做小型的比較容易，做大型的就飛不起來了，這是一個還無法成功的實驗。撲翼機的英文叫做 Ornithopter，這個概念也是從達文西的構想來的。

可是人類卻又一直想要挑戰飛行的極限，我們先看左邊這段影片，講的是遙控飛機，這是今年二月在法國舉行的一場遙控飛機的比賽，比賽在進行時還同時在放古典樂，飛機會隨著音樂的節奏做各種不同的飛行，這種飛機能夠在很小的空間中做出各種高難度的動作。不禁讓人覺得，人類做的飛機真是出神入化。我們來看另一段影片，這是蘇愷 35 戰鬥機，蘇愷 35 戰鬥機是目前世界上最好的戰鬥機，蘇愷 35 並不是遙控的無人飛機，蘇愷 35 的特色在於它可以在很短的距離起降，可以做很快速的旋轉以及翻滾等動作，比起美國的 F-22 戰鬥機毫不遜色，大家可以看到，它可以極速下降、轉彎都沒有問題，急速攀升都沒問題，甚至於可以做像響尾蛇的動作，動作非常靈活，美軍的戰鬥機都還不如它。飛機要在這麼快的速度下做這種高難度的動作，其結構與材料是兩個需要克服的主要因素，蘇愷 35 在飛行力學來說是很不可思議的。過去二十年美國投入了很多的資源不過沒有得到太大的成果，俄國是唯一一個取得成果的國家。

最後結語的部份，我給各位看一下亞里斯多德說過的話：如果以優劣來論法則，那麼自然勢必是得勝的一方。達文西也說：自然界所發生的事都有科學根據的，人類才智雖然能創造多種發明，但比較成果的精美與功能，有誰能夠超越大自然？孔子也說：子不語，怪力亂神。戰國時代的荀況說：萬物為道一偏，一物為萬物一偏，愚者為萬物一偏，而自以為知道，無知也。自然才是最厲害的，任何一件事情都會偏向萬物，而自以為什麼都知道的人，其實他什麼都不知道。大自然的奧妙，人類所知何其有限，仿生學是一項新的領域，卻是一門大學問。渺小的人類才智，怎不謙虛呢？我想我就講到這裡，各位如果有什麼問題，歡迎提出來一起討論，謝謝。

我還要跟各位提一下，英文很重要，我也常常跟學生講，我放一段影片給各位看，這是一段德國的影片，其實德國人講英文是很菜的，影片中這個人叫他好好做事吧，呼叫，有人聽到嗎？對方說我們正在下沉(We are sinking)，這個人就回他：這是德國 XX 漁業電台，你在想什麼(What are you thinking about)？這個人的英文很差，Sink 是沉沒的意思，他把 Sink 聽成 Think，有時候聽錯話會害了很多人啊！提出這個笑話給各位看看，提醒各位英文的重要，謝謝。

Q & A：

Q1：請問拍翅翼是應用在什麼情況？

A1：目前美國在拍翅翼的技術已經做到像蒼蠅或是蚊子的大小，最終是希望能夠做到像灰塵一樣，這種運動行為還不

是我們的邏輯能夠想到的，或許會有另外的力學行為，能夠應用的地方很多，不過較常見的都是拿來用在軍事用途，用來偵察。在美國有一些”幻想家”想到了很多，也有像是灰塵大小的構想，飄到你身邊你都不知道，不過礙於技術上的限制，還有很多能應用的地方我們還不知道。

Q2：較早期的飛機都是雙翼機的形式，但是雙翼機和單翼機一樣都是屬於定翼的類型，雙翼機有什麼特殊的功能？

A2：較早期的飛機除了雙翼機之外還有三翼機，當時的人認為三翼機還不是最好的，就理論上來說無窮翼的飛機是最好的，但是後來的人發現多重翼的飛機在結構上有較多的問題。在空氣動力學來說，機翼越多越好，但是從力學與結構的觀點來說，機翼越多越不好，到最後發現，單翼是最好的，我們可以看到第一次世界大戰時的飛機都是雙翼機還有三翼機，可是到二次世界大戰的時候，全部都是單翼機了。除了機翼數量的改變，機翼的形狀也在改變，隨著理論的發展以及速度、結構、材料等各方面的進步，發現現在這種形狀的飛機才是最好的，所以現在做飛機設計的人已經都快沒飯吃了，因為飛機的形狀已經都固定了。

Q3：要分析渦流的影像是否需要特定的軟體或方法？

A3：要做窩流實驗，放煙是一個很重要的工具，要研究煙的運動行為也是一門學問，如果要得到比較好的效果可能就要利用風洞實驗。要分析渦流現象的話，”顆粒影像”(PIV)，是一個好辦法，或者是用雷射干涉儀，這些是比較昂貴的設備。簡單的說，影像處理比較沒問題，要如何得到這些影像反而比較困難。