

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

研發一部太陽能車參加 2005 年世界太陽能挑戰賽

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2218-E-002-141-

執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：鄭榮和

計畫參與人員：張智凱、林逸祥、林家緯、李喬婷、黃奕超

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

研發一部太陽能車參加 2005 年世界太陽能挑戰賽

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2218-E-002-141-

執行期間：2004 年 8 月 1 日 至 2005 年 7 月 31 日

計畫主持人：鄭榮和

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：

中 華 民 國 94 年 10 月 31 日

計畫中文摘要

於本計畫開始之初，我們經常思考：在經歷了兩輛太陽能車的開發工作及 2003 年的 World Solar Challenge 後，再重新設計製作第三代車 (FORMOSUN 3) 的意義究竟為何？經過深入的檢討後，我們覺得：產出一部世界級的 solar car 同時訓練出一個世界一流的車隊將會是我們念茲在茲的目標。此外，第三代車的開發也將為未來邁向實用化的新能源車種奠下一個穩固的基礎。在本計畫中完成第三代車的全車設計與製作，並於九月赴澳洲參加第八屆世界太陽能車挑戰賽。

相較於二代車，在全車架構上：外型空氣動力更佳，阻力係數減為一半。結構上材料的應用更加有效率，全車車重只有 175kg 減低了 45 kg。輪胎方面改用自行開發的輪圈並使用滾動阻力低的輻射胎。而太陽能板也改用效率高的砷化鎵晶片，並為此開發全新的封裝技術。在策略、控制方面：將天氣、車況以及路況寫入 solar car 的中控電腦，使全車自行分析狀況決定行車策略，並能自動定速駕駛。

製作方面，上車殼、車體、懸吊、煞車及轉向等硬體，大量使用 CNC 電腦輔助加工提升經密度及速度；電力系統、中控電腦軟硬體開發完成。另外開發出大型量測定位之方法，也使模具或大型工件的精確度大幅提昇。另外，系統化的時程安排，也使我們的效率，團隊合作關係遠優於第二代車。

關鍵詞：太陽能，電動車，能量管理，複合材料

NTU Solar Cars Generations



計畫英文摘要

After the two generations of solar cars developed and WSC2003 (7th World SolarChallenge),we have thought about the meaning of re-design and building of FORMOSUN 3.We concludedthat it's a great goal for us to build a world-class solar car and to train a first-class racing team. Besides, the development of 3rd generation car would contribute a lot to new-energy cars in the future. This year, we have completed the design and start building the whole car .We would also participate the 8th WSC in Australia.

Comparing with the 2nd car, we improved the aerodynamic drag coefficient of the shape to the half ; we reduced 20% weight of the car by using more effective materials and structures; we used our self-made wheel and low-resistance tires; we used high-efficiency GaAs solar cells and developed novel encapsulation technology; we programmed the on-board computer with weather, route information and strategy which leads the automatic speed control and strategy decision.

In the scope of manufacture , we extensively use CNC on machining body molds,suspension,etc. to improve accuracy and shorten work time ; we completed the electric system and on-board computers ;we developed big-size measuring methods to improve the accuracy of molds and parts. Besides, systematically schedule arrangement lead to better team cooperation and efficiency than 2nd car.

Keywords : Solar , Electric Vehicle , Energy Management , Composite

目錄

前言	4
研究方法	6
結果與討論	7
參考文獻	79

一、 前言

本研究最早是由「財團法人宗倬章先生教育基金會」補助每年 62 萬經費，從民國八十九年開始執行，原規劃為五年之計劃，最終目標是製作一部太陽能車赴澳洲參加 2003 年的 World Solar Challenge 比賽。此目標已於 2003 年(第四年)達成，本應終止此計畫，惟若僅參加一屆比賽，所獲得之經驗將無以為繼，殊為可惜；因此，在徹底檢討我們過去所設計與製造的兩部車之優缺點以及參賽過程中之經驗，決定重新設計並製作第三代車，參加 2005 年的比賽。



圖 2、第二代車抵達終點--Adelaide

本研究之工作重點在於針對前兩代車設計、製作、道路測試以及比賽所發現之問題，包括改善太陽能板封裝、降低反光塗層、改進溫升造成效率降低的影響、減低風阻、降低重量、節省電力消耗與能量管理方面，進行研究與最佳化分析。

World Solar Challenge 是丹麥出生的澳洲人 Hans Tholstrup 所提倡的一個比賽，主要的宗旨是因應日益減少的石油能源以及日趨嚴重的環境污染問題，希望透過太陽能車的設計、製作與比賽喚起世人對上述兩個問題的覺醒以及提供解決之道。Tholstrup 瞭解這個世界需要一個比賽來整合頂尖的工程師在一起工作以獲得更好的設計。太陽能車提供最大的挑戰以及想像的空間。World Solar Challenge 是舉世皆知的一個國際性大賽，第一屆是在 1987 年舉行，由澳洲北部的達爾文(Darwin)出發向南到阿得蕾德(Adelaide)，全程共 3010 公里。目前已經舉辦過七屆，分別是 1987，1990，1993，1996，1999 2001 以及 2003 年，第 8 屆將在 2005 年舉行。

本計畫除了將重新設計與製作第三代車之外，另將與德國 Siegen 大學的自動控制工程研究所(Institut für Regelungs- & Steuerungstechnik Universität Siegen, 網址:

<http://www.rst.et-inf.uni-siegen.de/>)合作。這是該研究所所長Dr. Hubert Roth透過一位張四維博士與我們聯絡，希望能與我們合作研發太陽能車。該所的專長主要為感應器與自動化系統，正好是我們最弱的部分。我們各自向各國的國科會申請補助計畫，透過國科會的國際合作處，達成正式合作關係。希望藉由這個合作研究的關係，第三代車的電機部分，如太陽能板、蓄電池、馬達、控制、與能量管理，都能有突破性的進展。



圖 3、德國 Siegen 大學 logo

二、 研究方法

依據太陽能電池驅動電動車（以下簡稱太陽能車）之基本架構，將設計研發工作分為外型、結構、機構、動力控制及能量策略組。前三組負責全車主要製作，後二組則偏向電力系統、行車策略和軟體撰寫的部分。

在全車的設計製造上，主要是用法國達梭公司與 IBM 合作開發之電腦輔助設計軟體 CATIA 來繪製全車結構以及基本 model，接著在外型使用 Gambit 建構 mesh，並提至 Fluent 作空氣動力分析，最後以 Tekplot 作結果後處理。結構則使用 ABAQUS 計算出應力分佈，並配合自行研發之軟體 abaQuest 2.0 自動進行演化結構最佳化方法。而機構組則是利用 ABAQUS 求出應力後，再將結果帶入 ADAMS 作動態模擬分析。而電力方面便作大量的試驗和量測，求取最佳的組裝方式。最後於策略能量控管上就利用 C++、Matlab 來撰寫程式，最後利用燒錄器將程式寫入晶片。另外，在模具和精密金屬件上，我們使用大量的 CNC 加工，故 MasterCam 也是我們經常使用的軟體之一。

由於第三代車在設計和製造上複雜程度上都遠遠超過第二代車，為了使設計、開發技術以及車輛的實際製造等方面皆可有效的進行，整個團隊的運作方式實需要有重大的變革，才能讓我們於有限時間內達成目的。

首先，將繁雜的工作項目，依其相關性分為大組，設立組織的層級來掌握細密的分工；團隊中的每個人除負責自身的部分外，各組組長需對其小組做好監督及統合的工作，向上負責，而總工程師則要領導全隊方向，監測各大組的工作進度和成果。

我們在正式的設計與製造前，進行相當重要的前置作業—「流程圖」和「時間干梯圖」的排定。首先架構一個全車隊的基礎流程，定義出要達到目標的種種階段，使整個團隊清楚瞭解各階段的相對關係、先後順序以及強調的重點。接著將各階段作時間上的安排，成為時間干梯圖。以呈現出時限上的資訊。在初始流程建立後，各組長便依照其工作項目排出負責部分的細部流程和干梯圖。最後透過開會討論各組工作的需要配合的部分，相互調整妥協後排定出全車隊的詳細流程圖（附錄一）時間干梯圖（附錄二）。

有了這些圖表，可使每個成員清楚瞭解目前車隊進行到何階段，自己現在最重要的工作為何，不至在忙亂中失去方向。另外，也是一個檢查階段性任務達成與否的重要依據。而藉由時時檢查才可及時的對延遲的問題做出檢討和修正，不至於最後一刻措手不及。

而在製造方面，我們在製作前會先詳細擬定細部的製作方式、並依此估計各階段所需人員數量，最後配合上全車流程、時間圖。整理後貼於工廠。如此一來我們可以於是先做好人員配置、調度的安排。另外也可在製作時再次 check 先前的計畫，以防埋頭苦幹時出現的失誤、遺漏。

為了使整個團隊更為緊密、相互配合度高。我們每週皆訂立一個半天的會議時間，除了成果報告外，更是一個互相檢驗設計合理性、規劃可行性的重要時段。而其中最重要的莫過於相互提供所需的設計資訊給相關組別、針對相互干涉的地方做出討論，並妥協出雙方可接受的解決方式，最後合理的更動設計。

三、 成果及進度報告

第一部份 — FORMOSUN 3 車隊源起

在完成 2003 年 World Solar Challenge 的賽事後，FORMOSUN 2 車隊的成員將在澳洲所記錄的車輛資料（車速對能量的消耗關係、一天內 solar cell 吸收的能量數、操作性能、乘坐舒適感以及拆裝上殼的時間）、外在因子（在澳洲的一日日照量、所遭遇的風向、風速）、遭遇問題（各支援車輛間通訊不佳、data-taker 及無線傳輸模組故障、solar cell 破裂）作了確實的整理並重新計算檢討。在其中我們發現了許多 FORMOSUN 2 本身硬體上的設計缺失及先前未曾注意到的設計考量，另外於軟體上的車隊運作、調度、行車策略、路程規劃，皆是我們所疏忽的。

在多次檢討會議後，大家獲得不少經驗和新的設計理念，並一致認為若在此便一拍兩散實為可惜，故有了 FORMOSUN 3 團隊的誕生。

由於注意到許多必須投注心力重新研究設計的部分，使得我們不得不將工作分配的更仔細，因此於外型組，結構與機構組，動力控制組，以及管理組之下又細分出許多小組，各自主導其負責的部分，並對上和全團隊負責。（圖 4）

為了提高工作效率，每組皆訂立了其負責部分之時間表。經過數次的討論調整，使得各組間的時程得以緊密配合，完成了全車隊設計時間表。另外，每週二下午安排一討論時間，除了各組進度的報告外，更可以針對組間彼此影響的部分相互協調溝通，使得所有成員皆可掌握最新的設計情況，並對其設計作適當的修正。

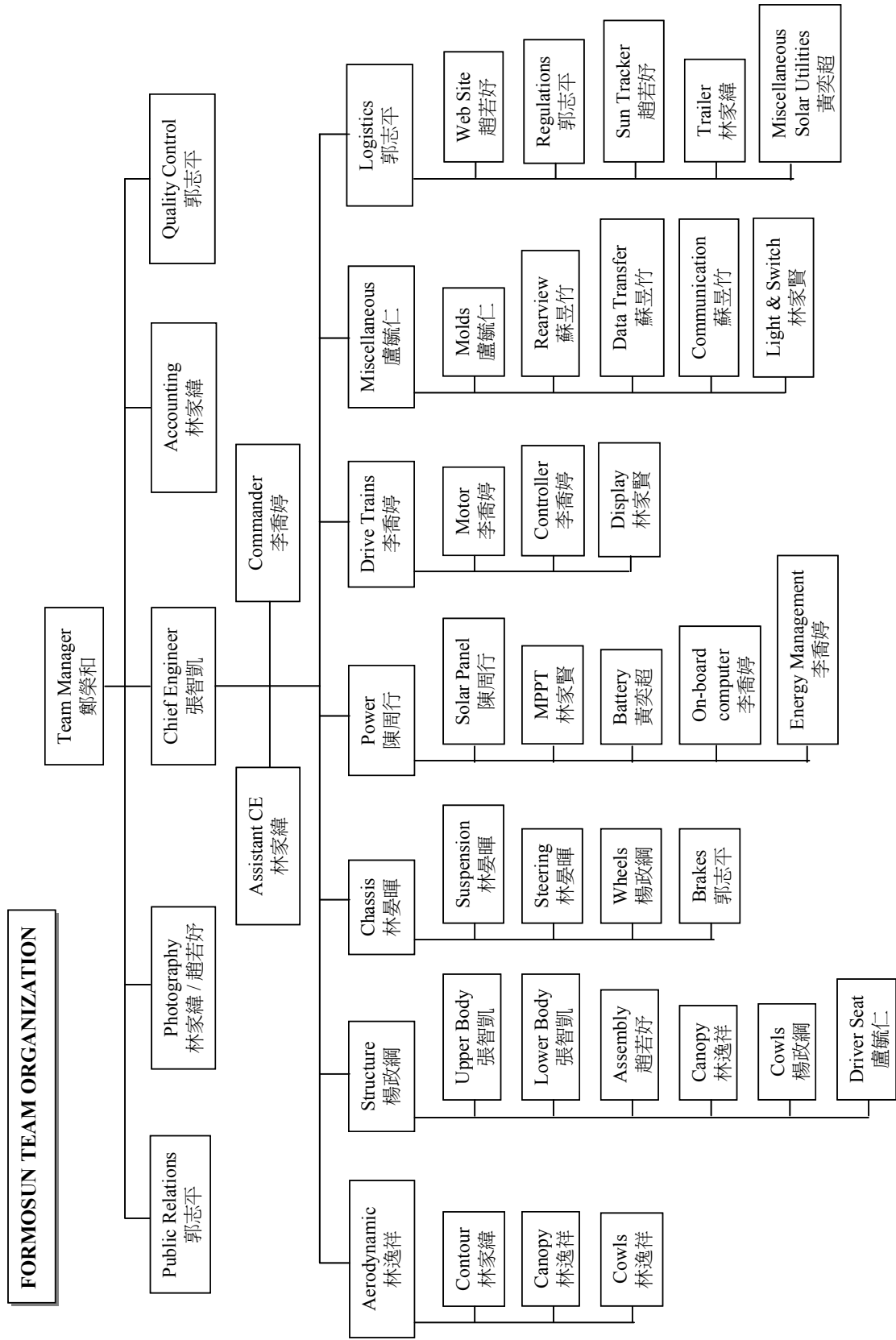
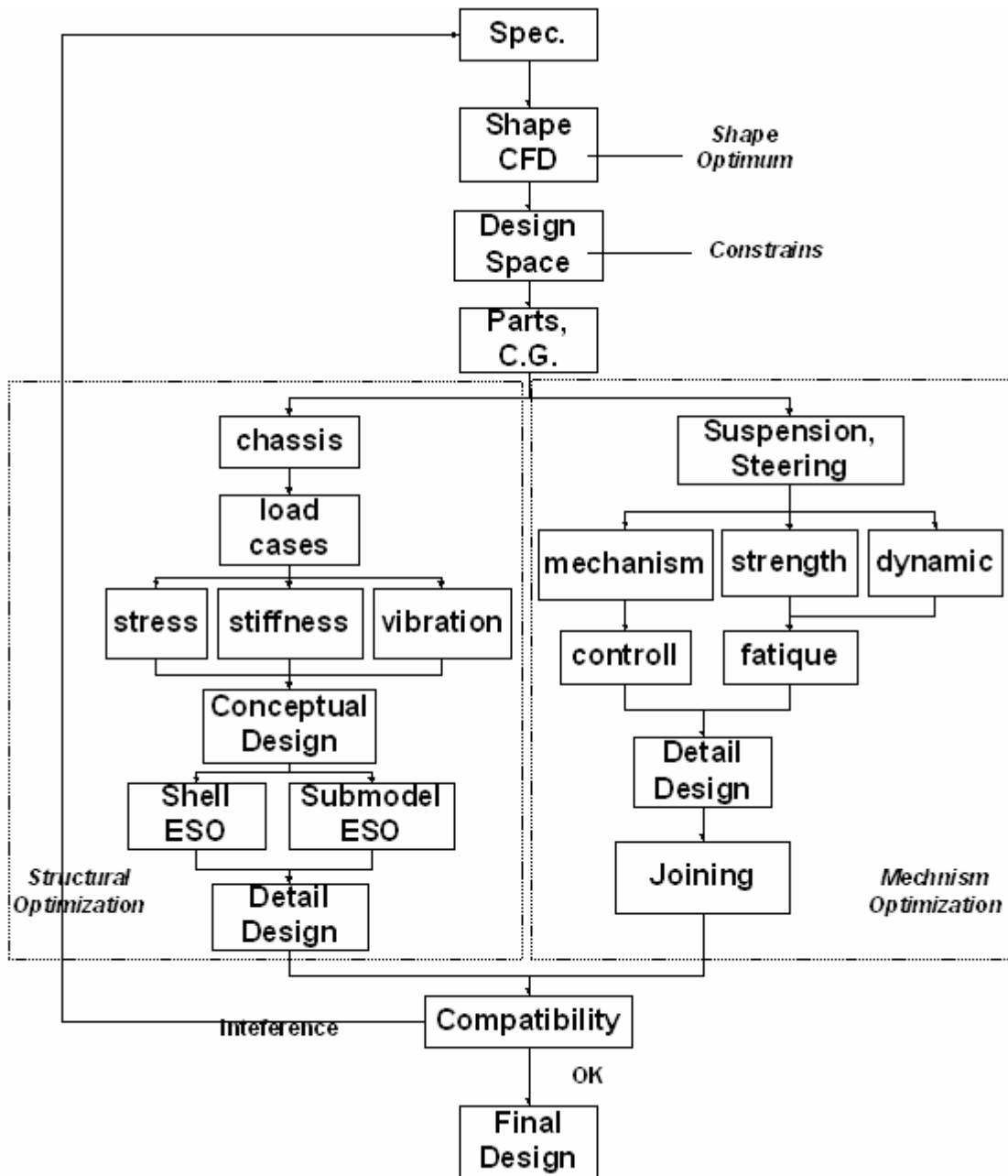


圖 4、FORMOSUN 3 團隊組織圖

第二部份 — FORMOSUN 3 設計

1. 設計流程訂立：



前圖為 FORMOSUN 3 的設計流程圖。在此流程確立後，可使整個團隊成員清楚瞭解目前設計進行到何種程度，此時的設計目標方向為何，不至在大量的考量、繪圖、分析中失去方向。

2. 規格設定：

根據二代車經驗，規格確定後設計工作始可有具體結果，鑑於二代車時花費許多時間討論規格而無法定案，三代車嘗試於設計開始之初即訂定規格，訂定方法為參考二代車及外國優秀車隊及澳洲比賽經驗，合理假設預算及研發時間而確定。

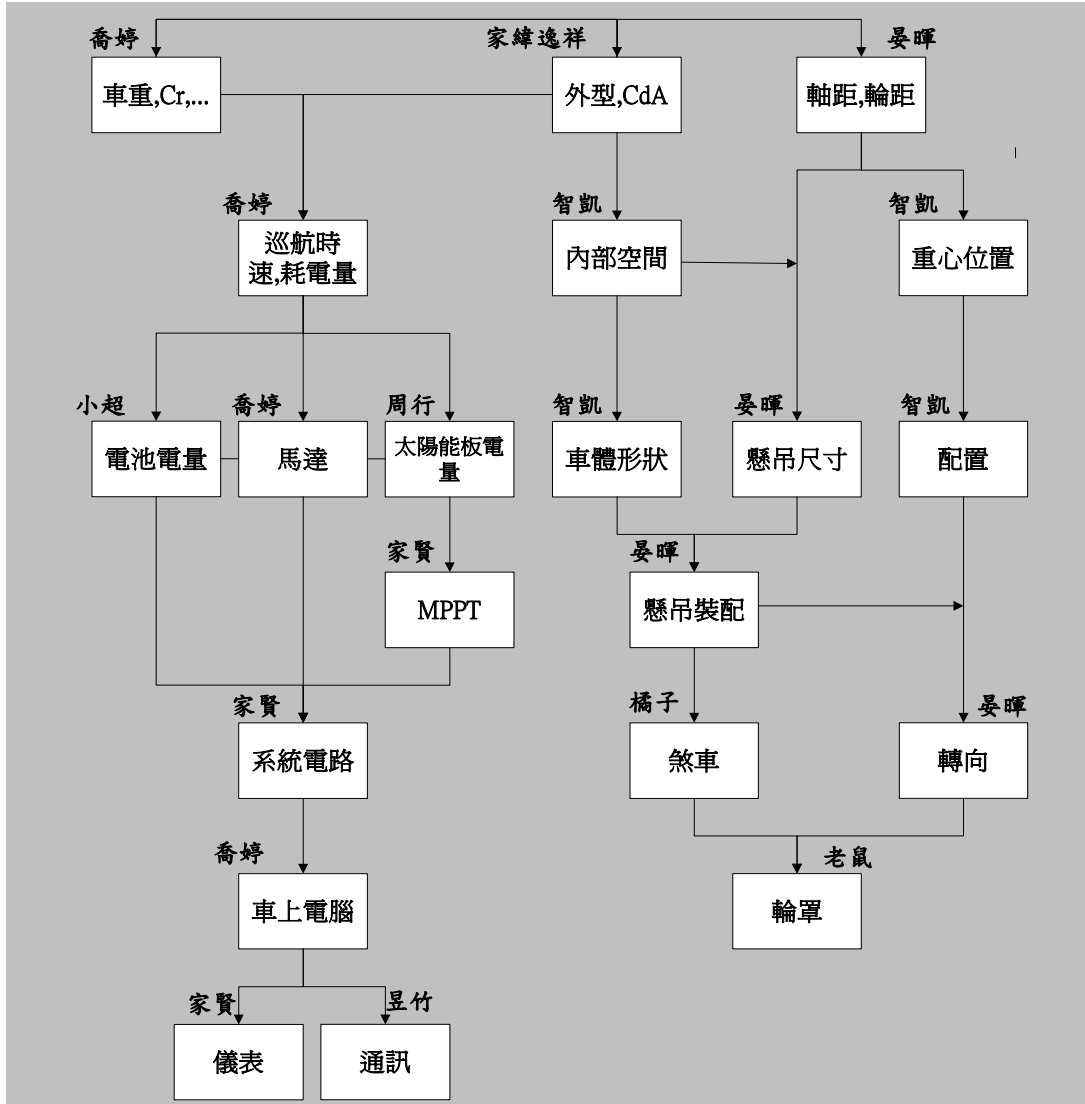


圖 5、規格討論層級流程圖

FORMOSUN3 Specifications

性能

極速: 每小時 120 公里

巡航速度: 每小時 90 公里

爬坡能力: 8%

續航力(無太陽):時速 0km/hr,5~6 小時

尺寸

長度: 5 公尺

寬度: 1.78 公尺

高度: 0.9 公尺

軸距 : 2.5 公尺

前輪距: 1.35 公尺

後輪: 單輪

底盤高度: 0.25 公尺

車重: 175kg (不含駕駛)

重量分佈: 前輪 2/3 , 後輪 1/3

空氣阻力

CdA: 0.12~0.177 (實際值) , 0.007 (CFD 設計值)

車體

車架: 單體結構 (碳纖維複材與蜂巢三明治結構)

懸吊系統: 雙雞胸骨式(前輪) & 拖曳臂(後輪)

轉向機構: 齒輪與齒條式 or 拉桿

輪框: 14 鋁合金 OR 複材框

輪胎: 14"-2.25",馬吉斯電動車胎

煞車: 前/後 輪碟煞

動力

電池: 100 伏特鋰高分子電池, 蓄電量 5000 瓦小時

馬達: 直流無刷馬達, 5~7 馬力

傳動: 直接驅動

太陽能板: 8.5 平方公尺, 效率 25%, 峰值輸出 2000 瓦

3. 車殼外型設計：

a. 初步設計限制：

根據國際太陽能車聯盟 (International Solarcar Federation, ISF) 頒佈的 ISF5000 標準，限制車輛的長寬不得大於五公尺乘一點八公尺，駕駛員的眼睛至少要離地七十公分。2005 年國際太陽能車賽(WSC)亦規定以 ISF4000/5000 為標準，因此三代車最終設計採用的是符合 ISF5000 的外型。

有鑑於 FORMOSUN2 雙曲率上表面外殼 (圖 6) 所造成的 solar cell 受日照不均勻，以致整體 solar cell 轉換效率降低的問題。所以在這次設計上 (FORMOSUN3) 便決定上表面訂為單曲率的外型。(圖 7)

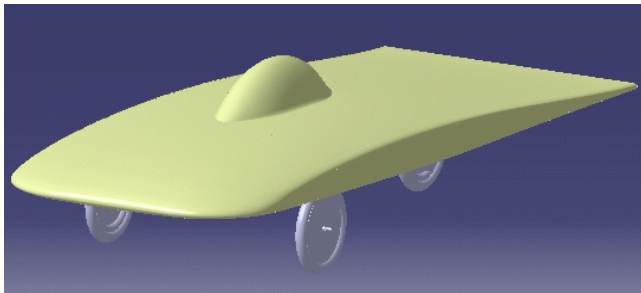


圖 6、FORMOSUN 2 外型



圖 7、FORMOSUN 3 外型

b. 初步外型設計、分析：

在設計初期我們先找尋了許多有關太陽能車空氣動力學的資料 (The winning solar car、Speed of light、The leading edge等)，瞭解其中的基本原理和重要的設計考量。最後決定以”翼剖面”(圖 8) 為主要外型線條，另外也決定先由簡易的 2D 分析開始，得到一些初步結果後，再晉升至 3D 的全車外型分析。

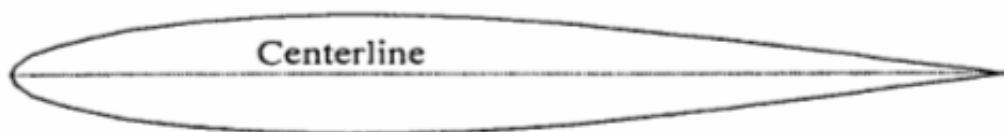


圖 8、翼剖面圖例

為了更加瞭解”翼剖面”，我們使用了翼剖面工程軟體：SNACK (現名 **Design FOIL**，圖 9)，簡單測試各系 NACA 編號的 wing section；觀察 NACA 翼形的阻力係數、升力係數、層流區、紊流區、氣體脫離點，對相對厚度、chamber 的改變之關係及趨勢，決定出幾個較可能使用的翼剖面系列 (NACA 65、66、67 系)，最後再用主要的分析軟體 **FLUENT** 做數據的驗證及檢查。

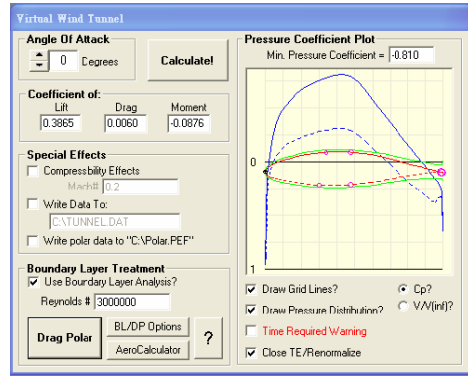
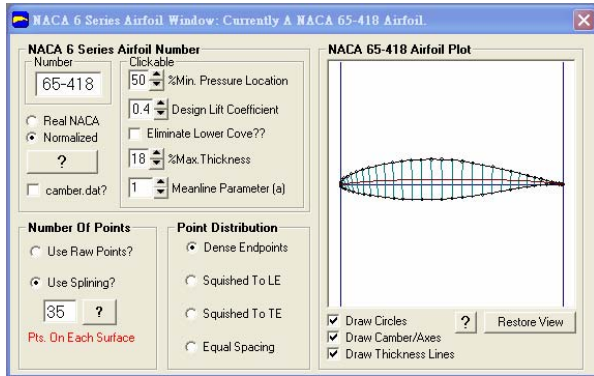


圖 9、SNACK 分析圖例

在全車外型的分析之前，我們將外型分為三部分：座艙罩、車身、輪罩。分別作一些初步設計。

c. 座艙罩設計：

先以頭部大小、訂出適當的座艙罩長、寬、高，再由側視截面（2D）開始分析。先將車殼簡化為一平面，測試不同的 NACA 曲線，選出其中阻力最小的輪廓（NACA67A050、圖 10）。接著觀察其流場分佈，並對其線條做細部的修正，尋找出阻力最小者，訂為座艙罩主要側視外型（圖 11）。

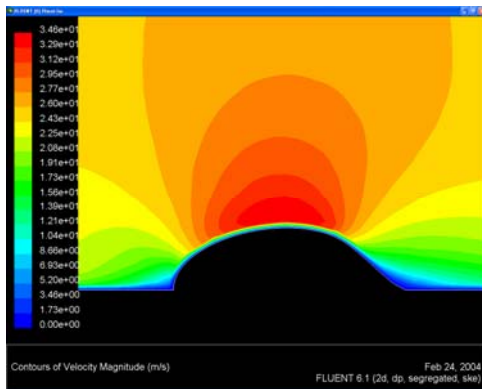


圖 10、NACA67A050

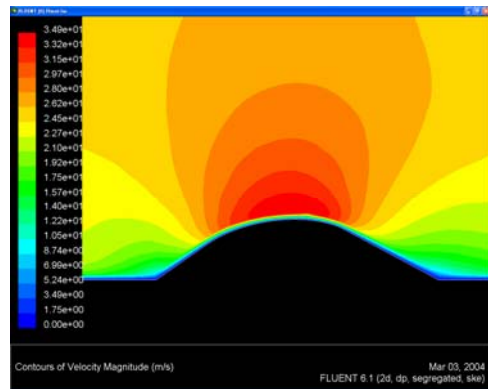


圖 11、座艙罩主要側視外型

接著於最選擇阻力最小的上視截面（NACA66 系），於上視、側視截面依空間需求做出適當的連結，最後繪製出實體的座艙外型（圖 12）。

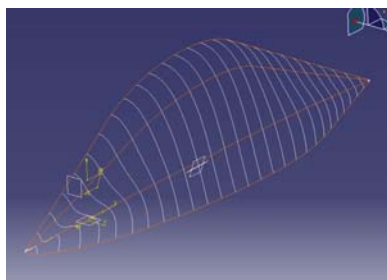
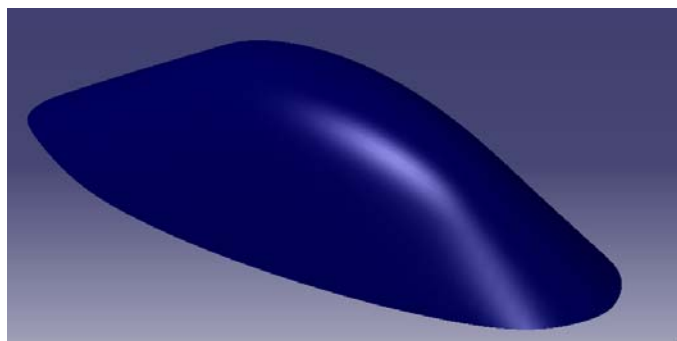


圖 12、座艙最終外型



d. 車身設計：

在車身的 2D 分析部分，主要決定了：座艙罩前後位置安排、在有 ground effect 情況下，主要輪廓的選取。而考量範圍除了阻力係數外，更包含了：車內空間適切（基本空間、懸吊震幅.....）駕駛員視野範圍、因駕駛員位置改變而影響的全車配重問題及車內空間大小問題。(圖 13)

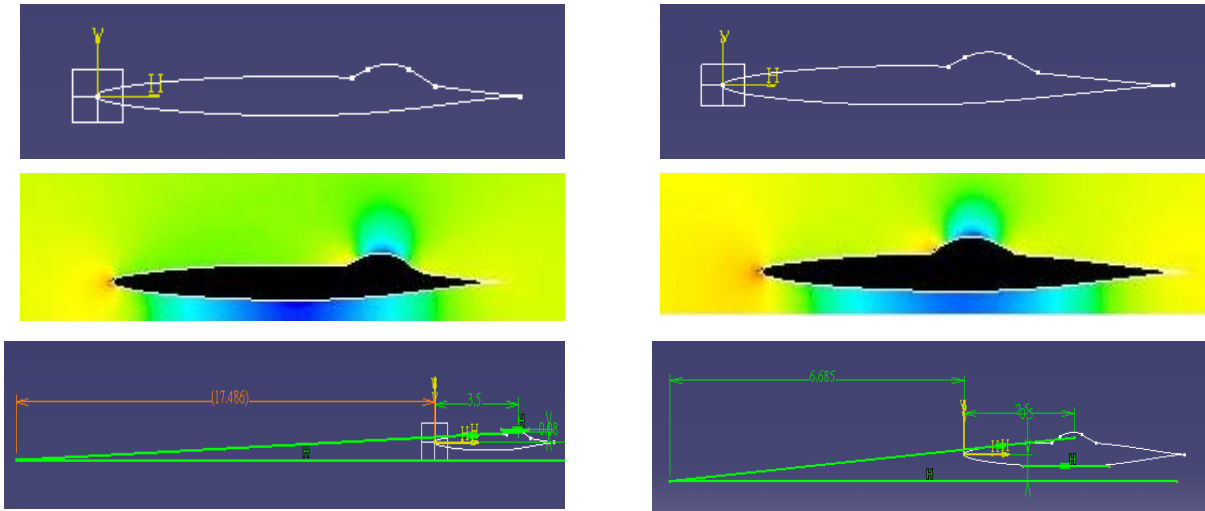


圖 13、座艙罩前後位置分析比較 (70%、50%)

e. 輪罩設計：

由於輪罩的外型較為複雜，且又有三個，所以大部分的形狀選擇分析都留至 3D model 時才進行。而在初步的規劃部分，我們完成了基本的空間規劃、輪罩是否隨轉動輪旋轉、比較兩種基本輪子安排(前二後一、前一後二)、輪罩長度、輪罩 NACA 輪廓選取 (圖 14)

最後決定使用不轉動的 NACA66 系的翼剖面作為主要外型，而輪子安排雖然以前一後二阻力較小，但最後以全車操控性為考量後，仍維持第二台車的前二後一。另外，由於前輪罩間空間壓縮而造成車體下方流速、壓力分佈不均的問題也可藉由前輪罩 NACA 曲線的改變(增加向外 chamber 的量，使外側空氣流速增快)，而得到改善。(圖 15)

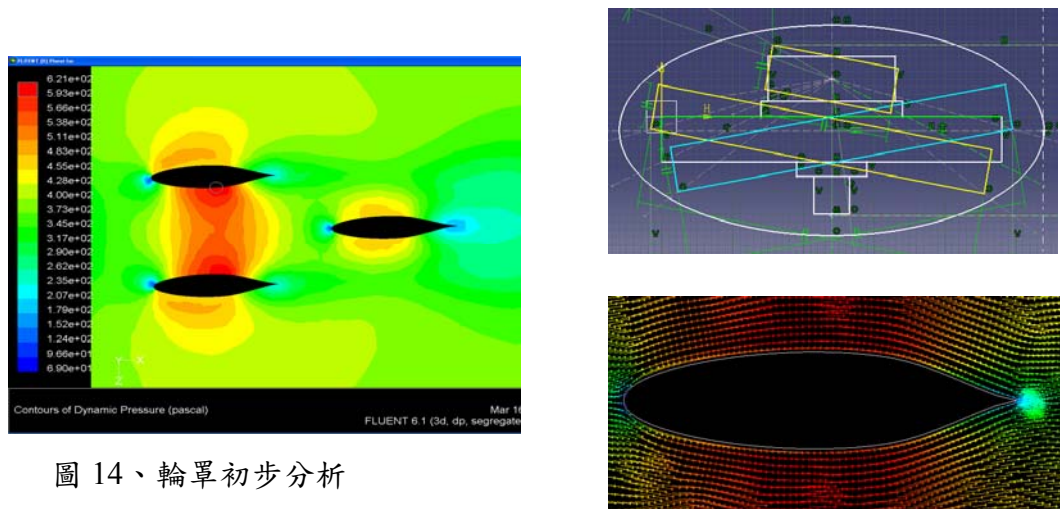


圖 14、輪罩初步分析

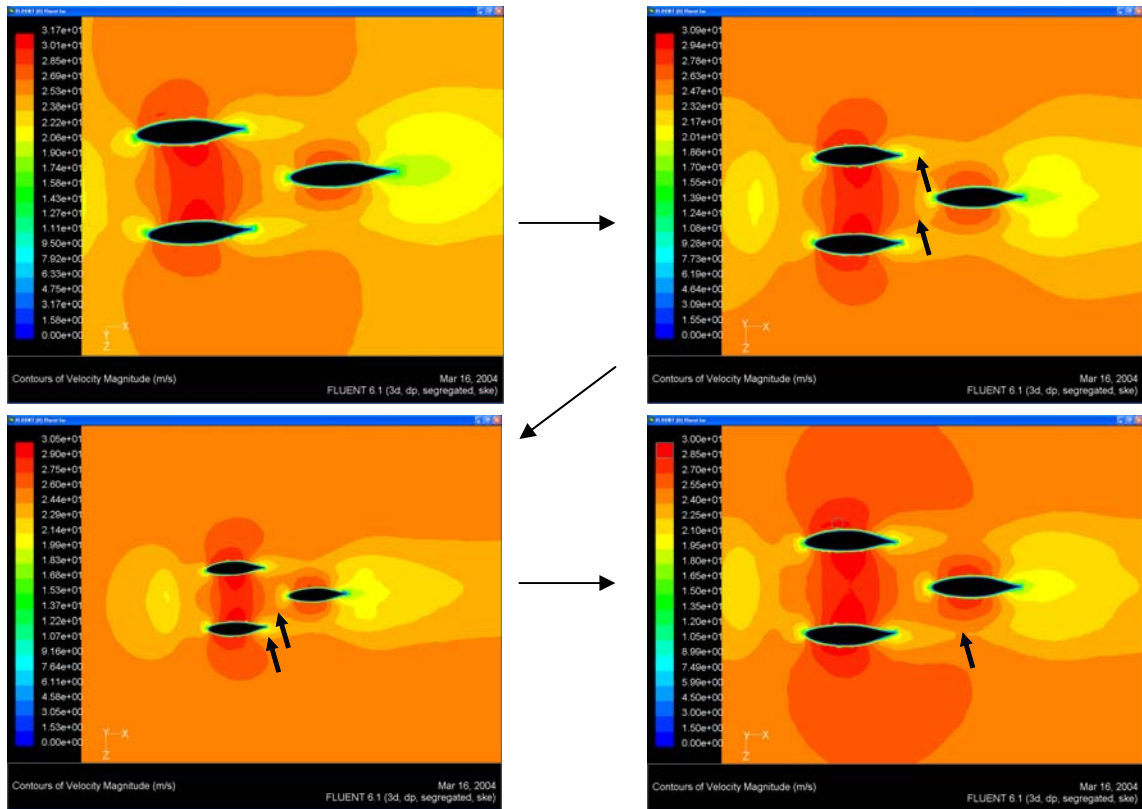


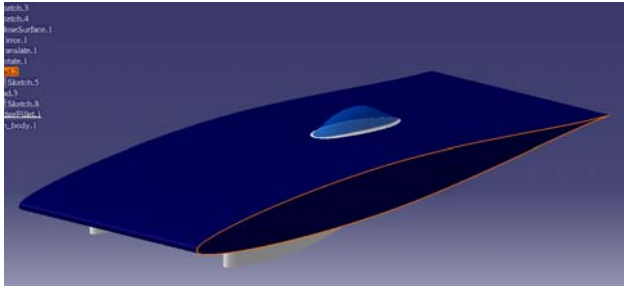
圖 15、前輪罩 chamber 改變 (整體流速差縮小、前輪罩內外流速接近前輪罩內外流速差減小)

f. 全車外型設計：

在全車設計時，除了盡量找尋最小阻力車型外，為了減少車側、車尾的 vortex 我們還希望第三代車的升力係數幾乎為 0。由於車型任何一處的更改皆會影響到全車的升力係數；其中以輪罩和全車主要 NACA 翼剖面（車身側視截面）的 chamber 值對其影響最大。又在阻力上，主要輪廓（車身側視截面）、輪罩外型影響最巨，相對上主要翼剖面 chamber 值對阻力影響較小。所以在整個設計流程上，除了再次以 3D model 的方式檢驗 2D model 結果外，我們會先由主要輪廓、輪罩、側面收圓……等，開始修整分析，等一切皆確定下來之後，在利用 chamber 值的微調，將全車升力調至近於 0。

比起第二代車，在第三部車的分析 model 上，我們除了基本車型外，更加了輪罩、輪胎進入實體 model。且利用了”moving wall”的 boundary condition 來考量地面效應（ground effect）對車子的影響。這些皆是第二代車未曾考量的。也因此於分析最後我們也會把第二代車重新分析一次，並與三代車比較。

經由 2D 分析的結果，我們先用最簡略的方式繪製出一個原始車型：座艙位於車長 55%處，輪罩為最簡單的柱狀，而車身也是一個 2D 翼剖面的延展柱體（圖 16）。接著再進行外型上的修改，又因為每次外型的修訂皆會影響到外部 solar cell 的佈放面積，進而造成可獲得能量的變更。所以，我們推導了一個簡易的判準式子作為外型選取的依據作為外型選取的依據。（式一）

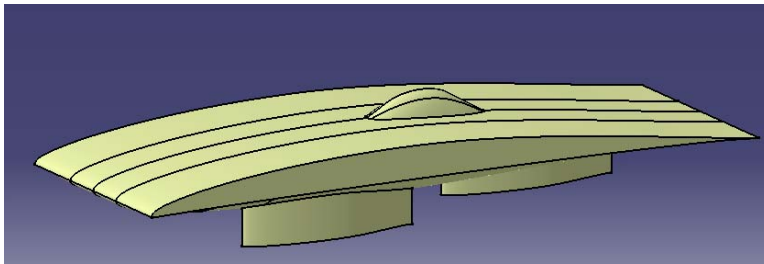


空阻值：108.25 N
CdA 值：0.28

圖 16、原始車型

$$\frac{\text{Drag} * V (\text{空阻耗能})}{A * \text{效率} * \text{陽光能量} (\text{獲得能量})} \longrightarrow \frac{\text{Drag}}{A} \quad (\text{式一})$$

首先我們先由下車殼兩側收尖開始修整。由於下車殼無貼 solar cell 的需求，且側邊收尖可減少 frontal area，有助於減低空阻。所以我們將側面由原本的對稱翼形，逐步縮小下半曲線，並計算其空阻值和側面 solar cell 減小的等效面積來評估最佳外型（式一），最後決定使用幾乎為直線的 NACA 曲線來作上下殼界線。（圖 17）



空阻值：83.639 N
CdA 值：0.22

圖 17、側邊收尖外型

接下來，我們考慮到在澳洲時常受到側向風吹襲的情形，認為側面必須修成圓弧形，以防止空氣於轉角脫離表面；減低 induce drag。在整理了當時的記錄資料，加上預估第三代車的巡航速度（90km/h）後，求得最大相對側風角、風速。接著以一適當翼剖面外型取代最大側風角截面的線條（圖 18）。繪出後（圖 19）與原外型比較在測風下的阻力及損失 solar cell 面積。

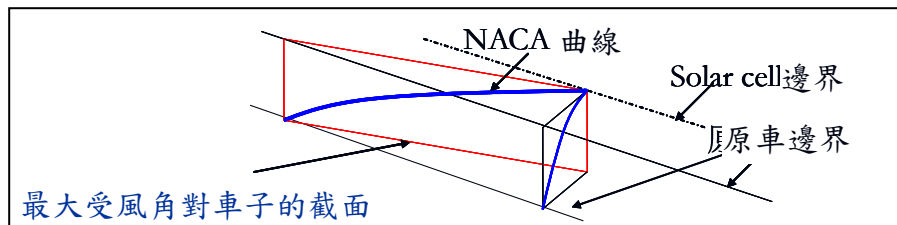
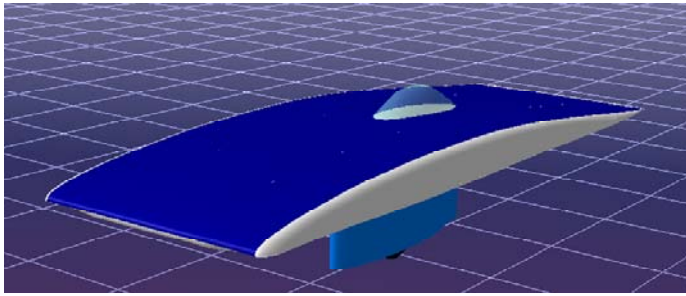


圖 18、側邊修改方式



空阻值：77.453N
CdA 值：0.2

側風空阻值：73.26 N
原外型側風空阻值：76.55 N

圖 19、側邊修改後外型

觀察與目前設計外型近似的 Nuna2 (荷蘭車隊、圖 20)，發現其車頭並非使用翼剖面輪廓，而是使用一尖銳的造型。另外由先前分析的全車靜壓分佈圖 (圖 21) 看來，圓鈍車頭似乎真的不利於行車阻力。所以我們也試著逐步減少車頭流線上的 control point (圖 22) 來修尖車頭，找出一個最佳車頭外型。(圖 23)

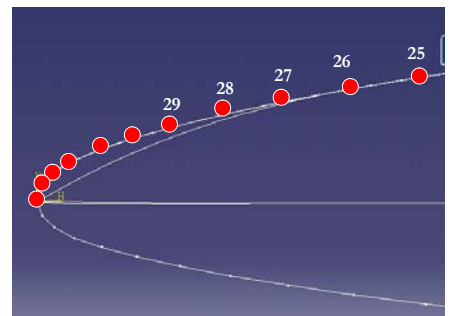
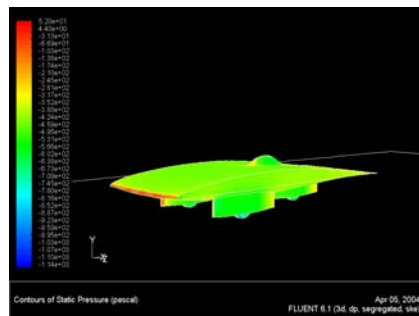
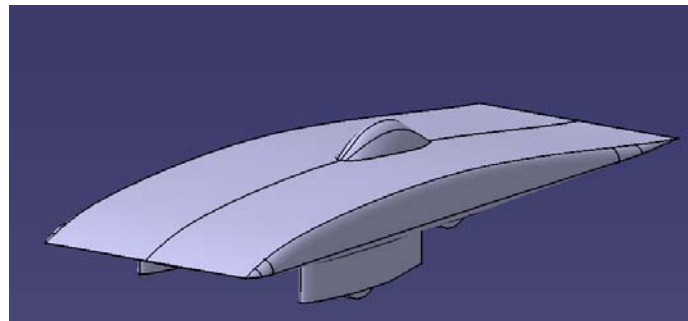


圖 20、21、22



空阻值：70.287 N
CdA 值：0.184

圖 23、車頭收尖外型

在車身外型大致決定後，接著便開始對輪罩作修整。首先再次確認懸吊、轉向在各主要截面 (上、下、最大截面) 上的空間需求。(圖 24) 接著調動各截

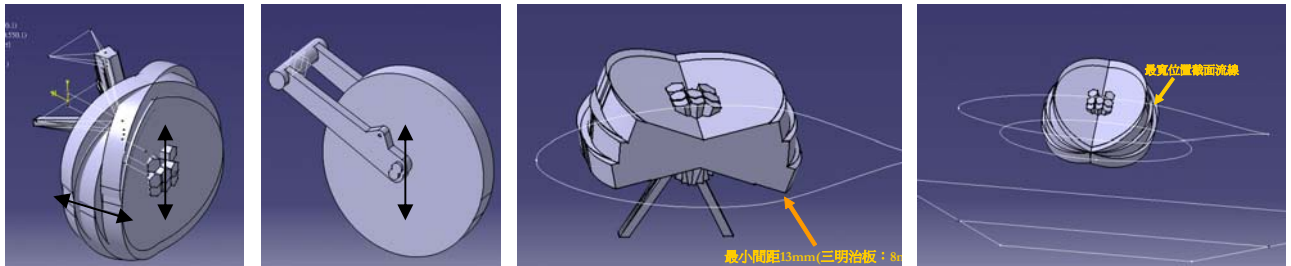


圖 24、輪罩所需空間確認

面的 NACA 曲線 (用直線連接), 觀察在無風、側風下輪罩對全車阻力影響的趨勢, 並逐步找出最適當的上下曲線。(圖 25、圖 26)

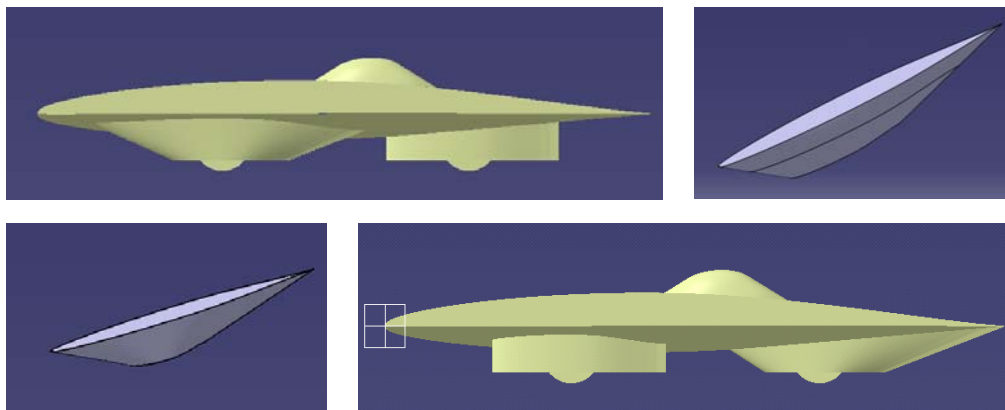
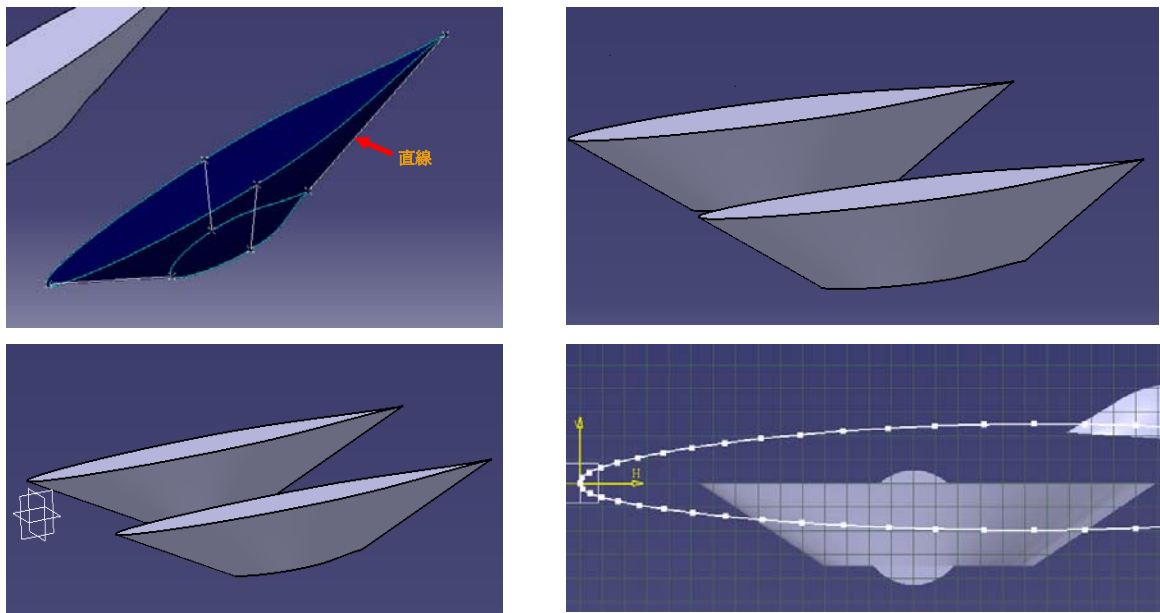


圖 25、
初步輪罩繪
製、形式範
例、初步結
果

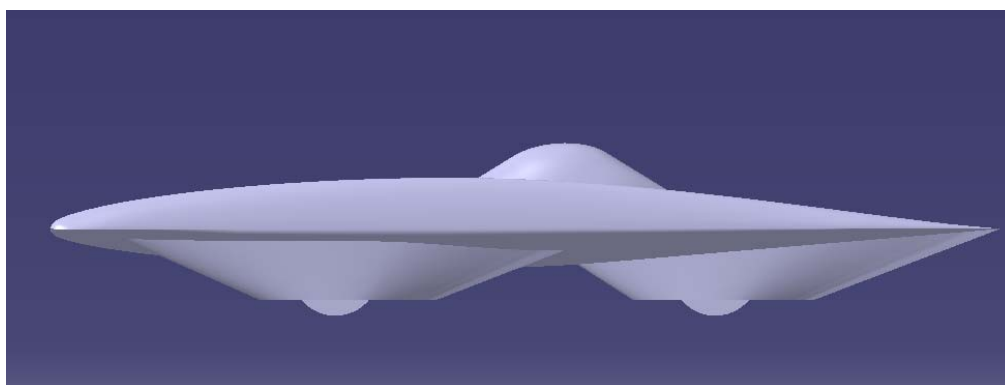


圖 26、初步
輪罩外型

由書上瞭解到, 為了要減低輪罩與車體連接處的 vortex, 輪罩與下車殼的交角最好為 90° 。同時, 輪罩的 frontal area、內部空間 (過大) 在初步的設計上皆不甚恰當, 故對其作第二次修正。(圖 27、28)

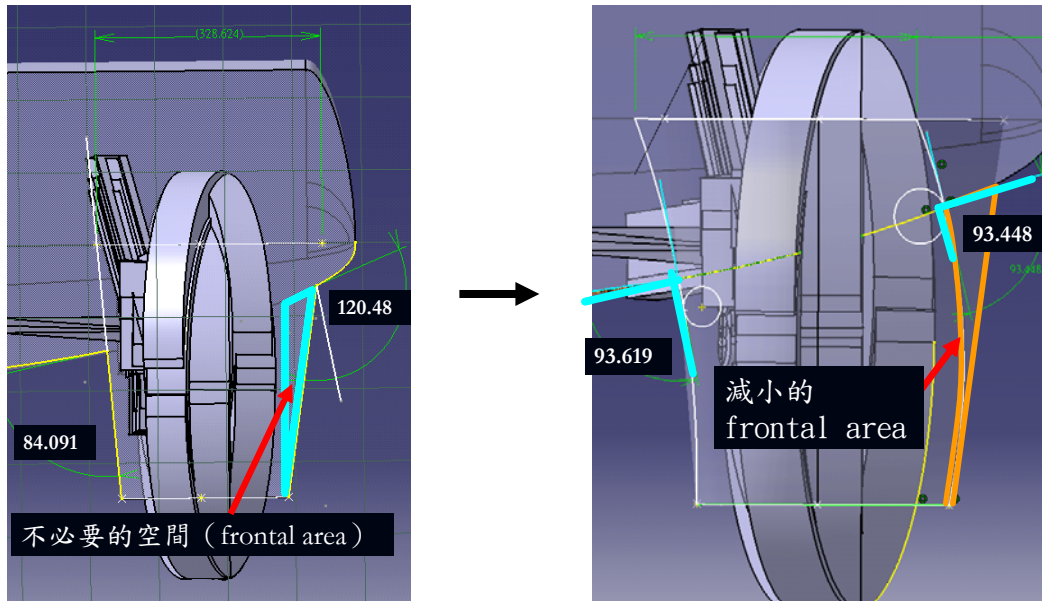
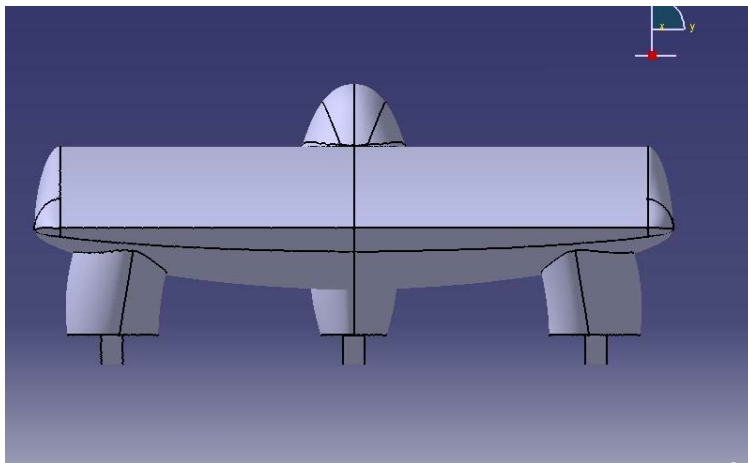


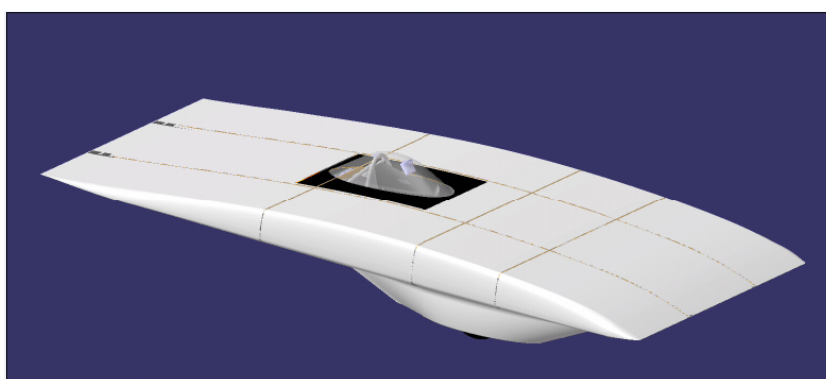
圖 27、前輪罩修正圖示



空阻值：63.083 N
CdA 值：0.165

圖 28、輪罩修正後全車正視圖

輪罩外型修訂完成後，第三代車的外型可說大致底定，但 CdA 值卻不盡理想，所以與其他相關組溝通後，將車身最大厚度由原先的 45cm 改至 40cm，而車身距地高度也有了可調整的空間，經過適當調整，終於完成了 FORMOSUN 3 的外型設計（圖 29、30）。



空阻值：49 N
CdA 值：0.128

圖 29、FORMOSUN 3 外型

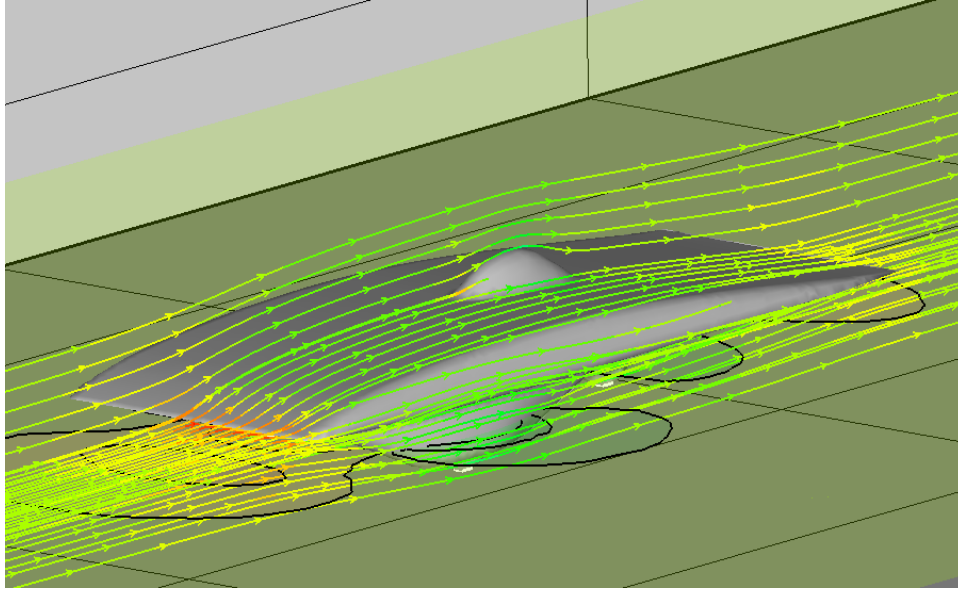


圖 30、FORMOSUN 3 流線分佈

g. 第二代車重新分析：

在做了許多分析後，我們發現了許多於二代車分析時錯誤及遺漏的部分，且其實際行車數據也與分析結果有相當大的出入。因此，在最後決定在補作一次 FORMOSUN 2 的流場分析，除了與三代車比較外（圖 31），也要與實際行車數據比較驗證，以確保三代車之分析預估之正確性。

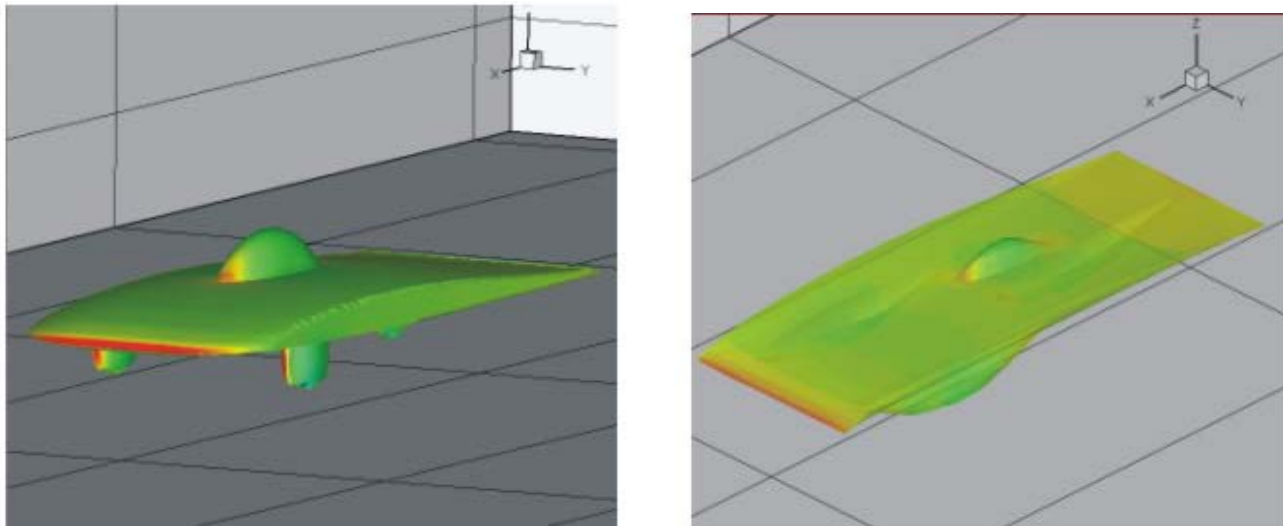


圖 31、FORMOSUN 2、FORMOSUN 3 外型、靜壓分佈

於先前的分析上，第二代車的 CdA 值約為 0.13（無輪罩、輪子、地面），於實際行車時所測得的 CdA：0.26 有相當大的差距。在增加了輪子、輪罩、地面後再行計算所求得的 CdA 為 0.24，與實際情形甚為接近，其誤差部分應是分析時未考量的輪罩孔洞。由於第三代車的封閉性極佳，故目前分析結果：CdA=0.128 是可以採信的。

4. 車體結構設計：

a. 實驗測試成果：

第三代太陽能車為了改善二代車設計，進行許多實驗測試，需多基本實驗如碳纖維拉伸取得我們所使用材料的材料性值作為設計依據而不是像之前使用參考文獻資料，使我們能更精確掌握材料性質設計出最輕量車體結構；接合實驗測試三明治結構接合強度，讓我們可以決定施工方法；成形實驗試驗如一體成形等新方法將用於車體製造，將使我三明治結構製造技術更進一步。

I. 碳纖維

● 碳纖維拉伸實驗

分別對編織(woven fabric)預浸布(pre-preg),室溫積層(hand lay-up)及單向纖維(unidirection)預浸布積層板 3 共種碳纖維積層版進行測試。拉伸實驗分為 0 度拉伸-測試楊氏係數，拉伸強度，45 度-測試剪切模數，強度。(圖 32)

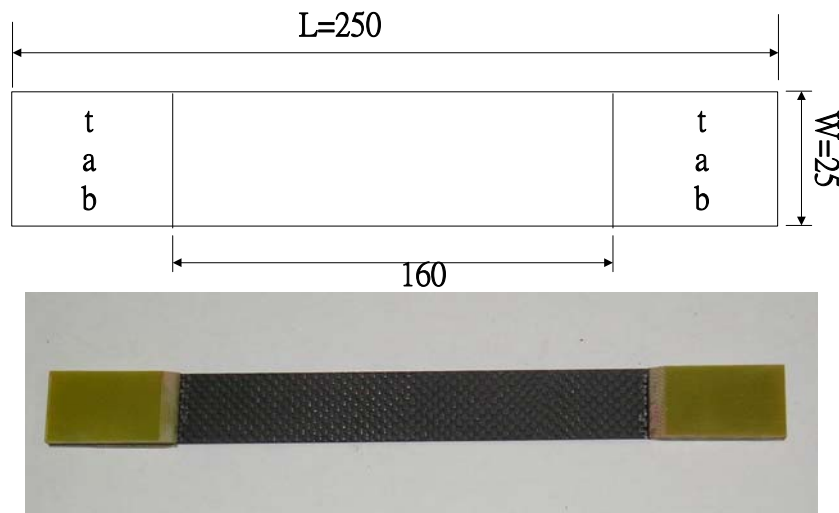


圖 32、拉伸試片尺寸、樣本

● 碳纖維孔承載強度(bearing stress)

碳纖維車體結構雖大部分以膠合方式組合，但與大部分鋁合金懸吊桿件仍須藉由鑽孔安裝，因此需知此強度數據以設計所需螺栓孔徑。(圖 33)

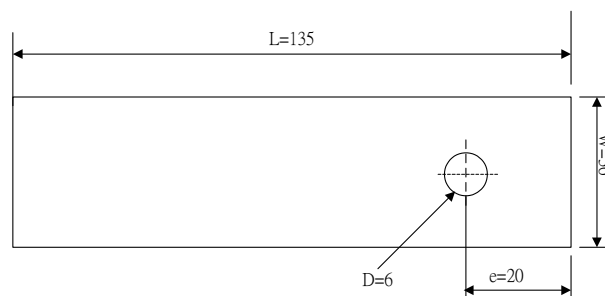


圖 33、拉伸試片尺寸

- 特殊疊層碳纖維拉伸實驗

於設計完車體各處碳纖維面板積層角度層數後，雖可以計算方式利用基本單層材料性質算出疊合後剛性強度，但基於安全性考量仍須對此特定積層板進行拉伸實驗及孔承載強度測試。

II. 三明治結構

因三明治結構之心材即蜂巢之材料性質已由廠商提供，面材碳纖維板亦進行實驗，只需針對設計完成後特定幾種會使用之三明治板進行實驗確認。進行之實驗主要為 3 點彎曲(three point bending)，分為原始蜂巢及經環氧樹脂強化蜂巢。

III. 接合實驗

- T-joint test

三代車之中央主要車體單體結構(monocoque)與下車殼接合構成主要結構，故 T 型接頭(圖 34)之剛性強度佔有很重要之地位，甚至關係結構安全，因此需對此種三明治板接合做仔細之測試。實驗共進行四種可能組合，以研究有無泡棉 R 角，高或低溫碳纖成形，及膠料所造成之影響。為此特殊實驗製作專用夾具進行拉伸實驗(圖 35)，結果確定為以室溫冷積碳纖搭配泡棉 R 角可得到彈性範圍內最佳剛性及強度，不使用泡棉雖可提高破壞韌性允許較大變性量，但並不符合我們高剛性車體之需求。

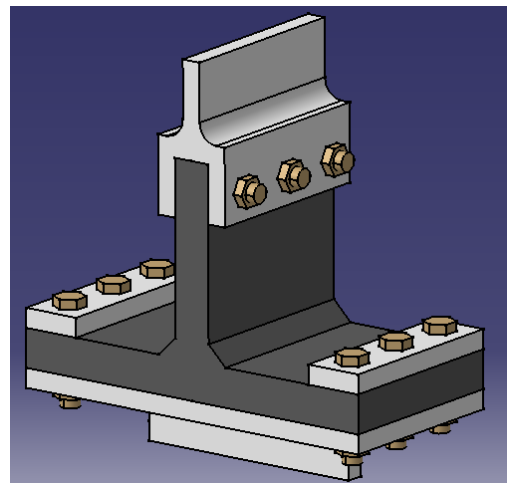
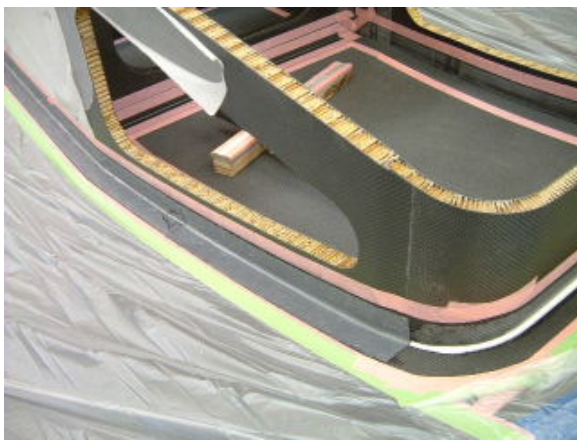


圖 35、試驗夾具、夾持方法

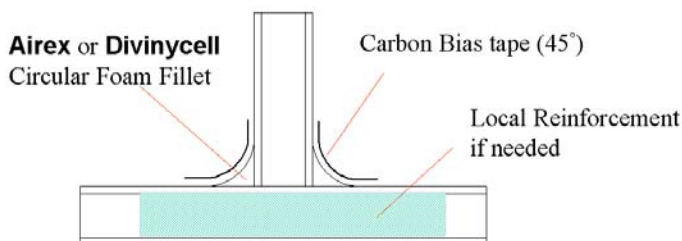


圖 34、T 型接頭使用範例、示意

- L-joint test

二代車利用許多 L 型三明治板（圖 36）提高剛性，但製造方法是先製造平板後切割彎折補強(cut & fold method)非常耗時且未經確認品質。此次考慮簡化為一體成形方式製造，因此對成形方法進行試驗，並且製造專用夾具與二代車 L 型板比較強度。

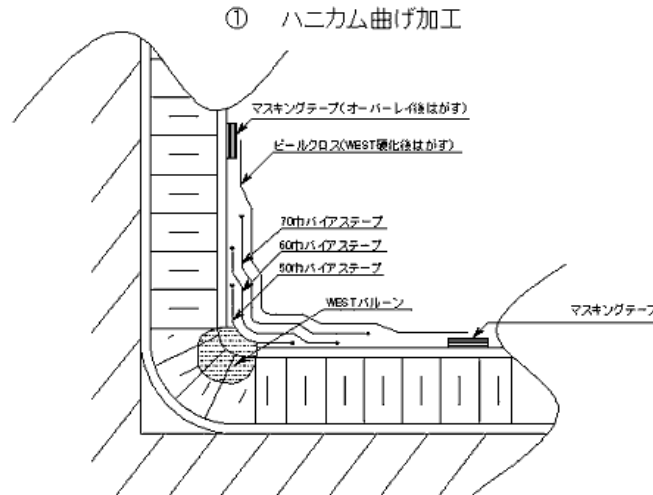


圖 36、L 型接頭示意圖

IV. 成形實驗

- 環氧樹脂硬化時間

室溫硬化型環氧樹脂(WH-115 A/B)配合碳纖維布製造冷積碳纖為板或作為 L-joint 補強需掌握其硬化時間，特別是介於液固之間之彈性狀態時間。於此時間點進行切割可得到整齊邊緣。實驗方法為將一大片浸膠碳纖維布每隔一段時間切下試片進行簡單負重比較。

- 盒狀單體三明治結構成形試驗

利用母模一體成形三明治盒狀結構為全新嘗試，實驗結果將應用於車體主要結構製造。此實驗主要測試碳纖維蜂巢黏合效果，內層碳纖是否可壓密，及 r 角大小是否適合蜂巢彎折出轉角。

b. 設計成果：

I. 重量及重心分配

訂定規格後列出所有車上元件，以總重上限(255kg)，規劃各元件重量。根據車體外型，概略決定擺放位置後以重心位於三輪形心調配元件位置。因三代車根據外型最佳化設計，駕駛位於後方，為了平衡重量，許多較重元件如電池需置於車頭附近，整體擺設與二代車迥異。(圖 37)

FORMOSUN 3 各部重量分配表

	Weight(kg)	Qty.	Subtotal(kg)	total
driver	80	1	80	80
Battery				26.5
Cells			25.5	
Box&wires			1	
Solar panel				18.5
Cells			14	
Adhesive			3	
Wires			1.5	
Cowl				36.7
Upper	14	1	14	
Lower	11.7	1	11.7	
UpperBulks&Joints	4	1	4	
LowerBulks&Joints	6	1	6	
fastener	10	0.1	1	
Canopy				2.02
Pc	1.3	1	1.3	
frame	0.72	1	0.72	
Chassis				36
Monocoque&Panels	31	1	31	
insert	14		5	
Suspension				19.3
front				
Shocker	1	2	2	
hub	0.5	2	1	
wishbone	1	2	2	
brakes	1	2	2	
wheel	1.5	2	3	
rear				
Shocker	1	2	2	
trailing arm	1.3	1	1.3	
wheel	1.5	1	1.5	
fairing	1	3	3	
steering	1.5	1	1.5	
electrics				36.2
mppt	0.8	9	7.2	
circuit braker			1	
wire			3	
motor			20	
controller			5	
total				255.22

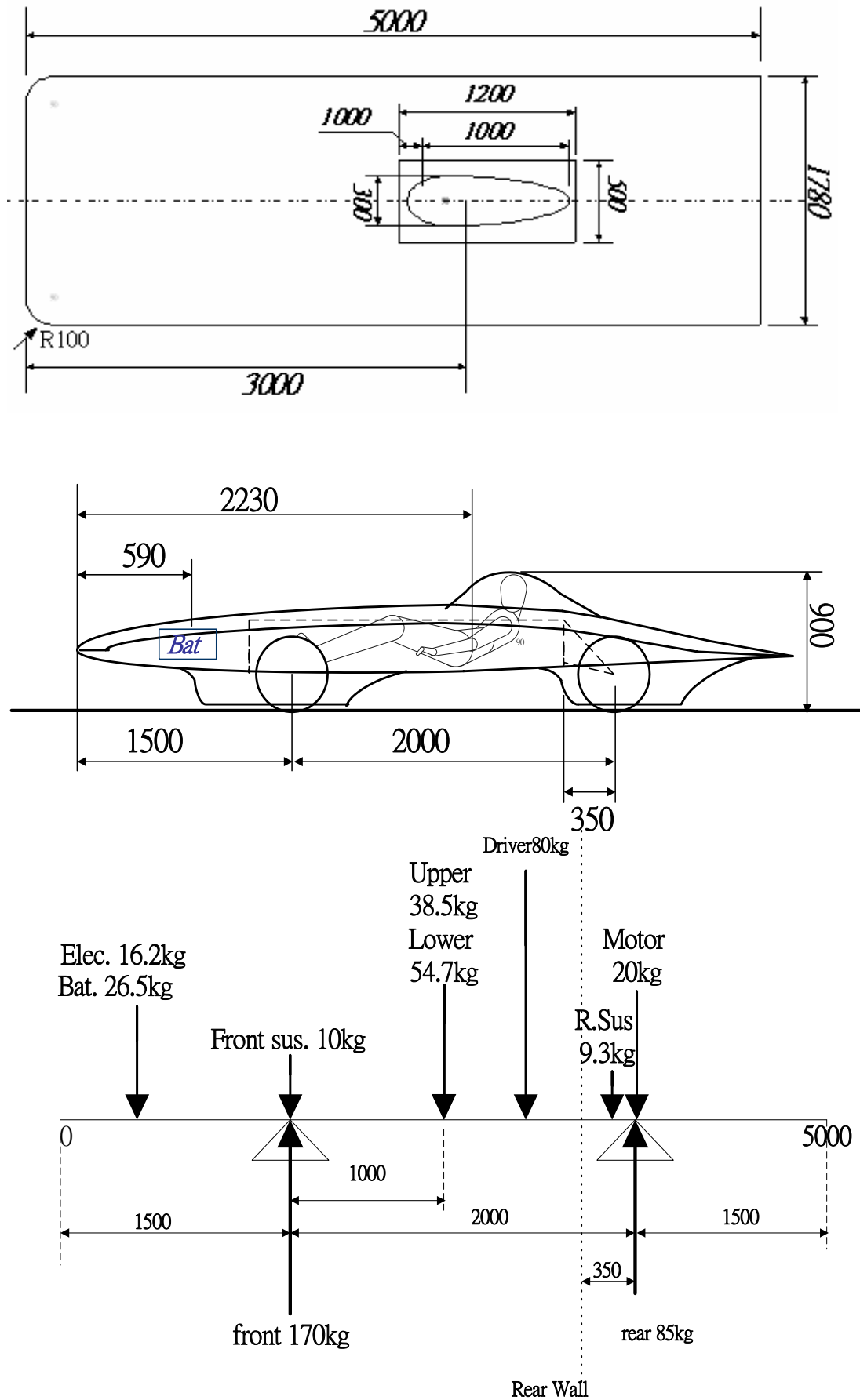


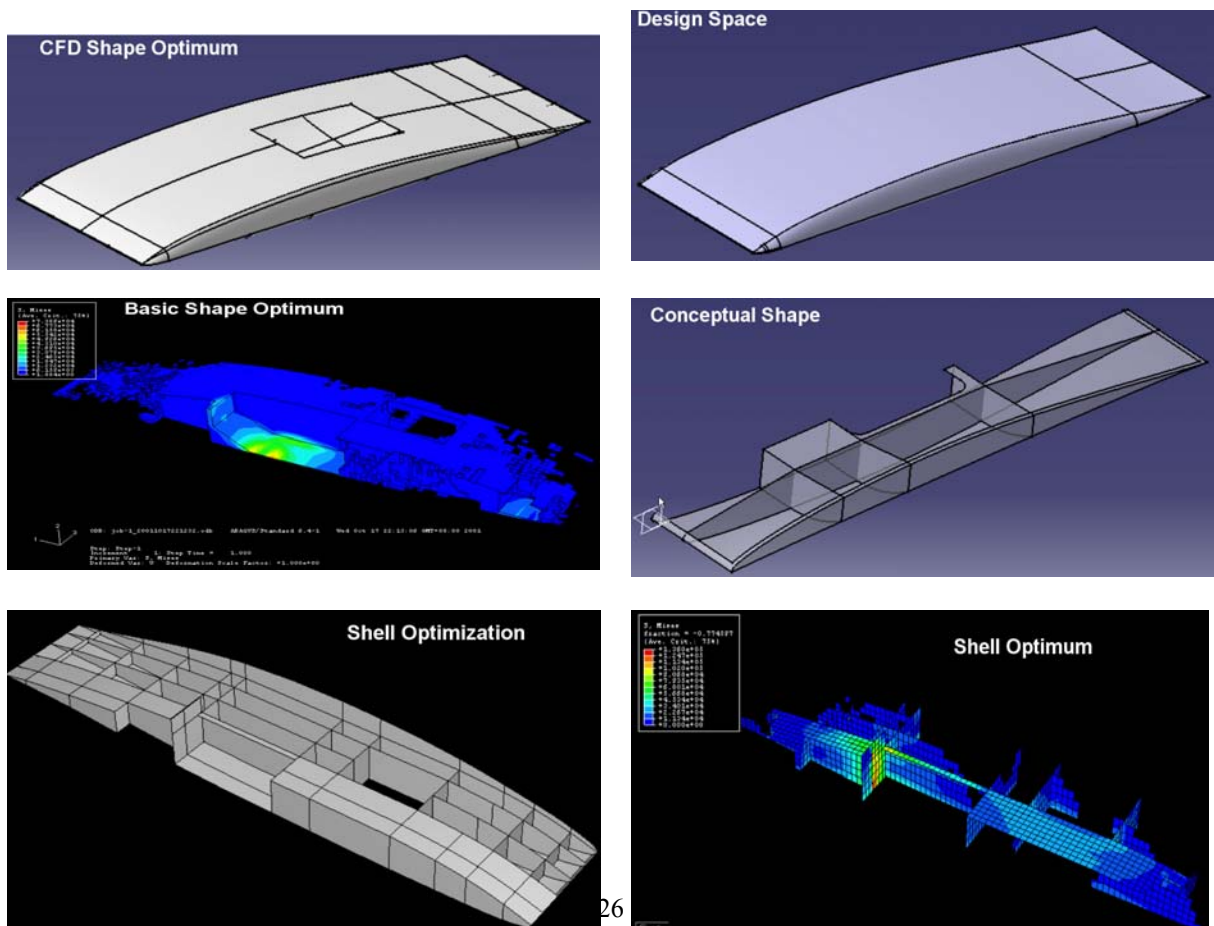
圖 37、FORMOSUN 3 外型、重量配置對應圖

II. 太陽能板冷卻

根據參考資料及澳洲比賽經驗，溫度上升會明顯降低太陽能板輸出，特別是我們使用的矽晶片。三代車希望能將上殼改進能導引氣流冷卻太陽能板，然經熱傳簡單估算後確定所增加之空阻過大並不符效益故決定放棄此設計。

III. 車體最佳化設計

複材三明治車體結構，理論上可以輕於鋁或鋼架傳統車體，但因設計製造上之複雜度，常被迫採用較高之安全係數，導致車體重量反而較重。複材車體設計因其複雜非等向特性，一方面設計較自由，一方面卻需仰賴大量有限元素分析。對於全由複材結構組成之車體結構，需依靠適當之最佳化方法導引設計方向，但因自由度過大或變數過多，傳統連續變數型最佳化方法並不適用，需找尋新的最佳化方法。此次車體設計採用演化結構最佳化方法(Evolutionary Structural Optimization)，首先以外型組決定最佳化外型後，以此限制車體設計空間，去除駕駛、懸吊等必須空間後，施加邊界條件及負載，對於不同行車狀態如煞車、轉彎、顛簸開始最佳化外型演化，其判准分為應力及應變能，分別代表車體以最輕重達到臨界破壞及最高剛性，根據對應力及剛性要求比重，決定同時滿足之基本形狀(圖 38)，例如強化板(bulkhead)之位置由此決定。以此結果繪製車體雛形完成初步設計(conceptual design)後，以等效簡化之殼元素模擬複雜三明治板再次進行最佳化決定大致需要之各三明治板厚度，及可以考慮減重部分。最後以副模型方法(submodel)對重點局部如懸吊接合處做仔細之實體元素最佳化計算，可決定細部設計如纖維層數，蜂巢補強範圍等。



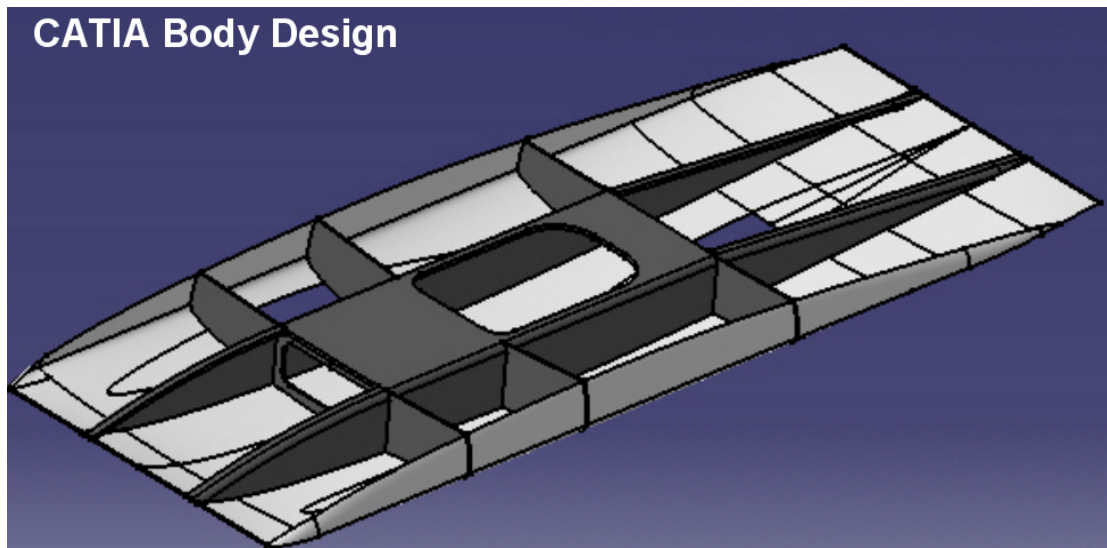


圖 38、FORMOSUN 3 車體結構以“演化式最佳化”分析的流程、結果

IV. 與 FORMOSUN II 比較

- 配置

二代車基於操作舒適性及視野要求，駕駛坐姿較正導致頭艙位置居中且較大，電池、馬達控制器、主要電路皆置於後方車體空間，下殼較小以利駕駛進出，上殼包含側面且有 MPPT 等裝置。上下殼分離面由許多扣件壓合，頭艙採側開方式；三代車為使空阻降低

- 重量

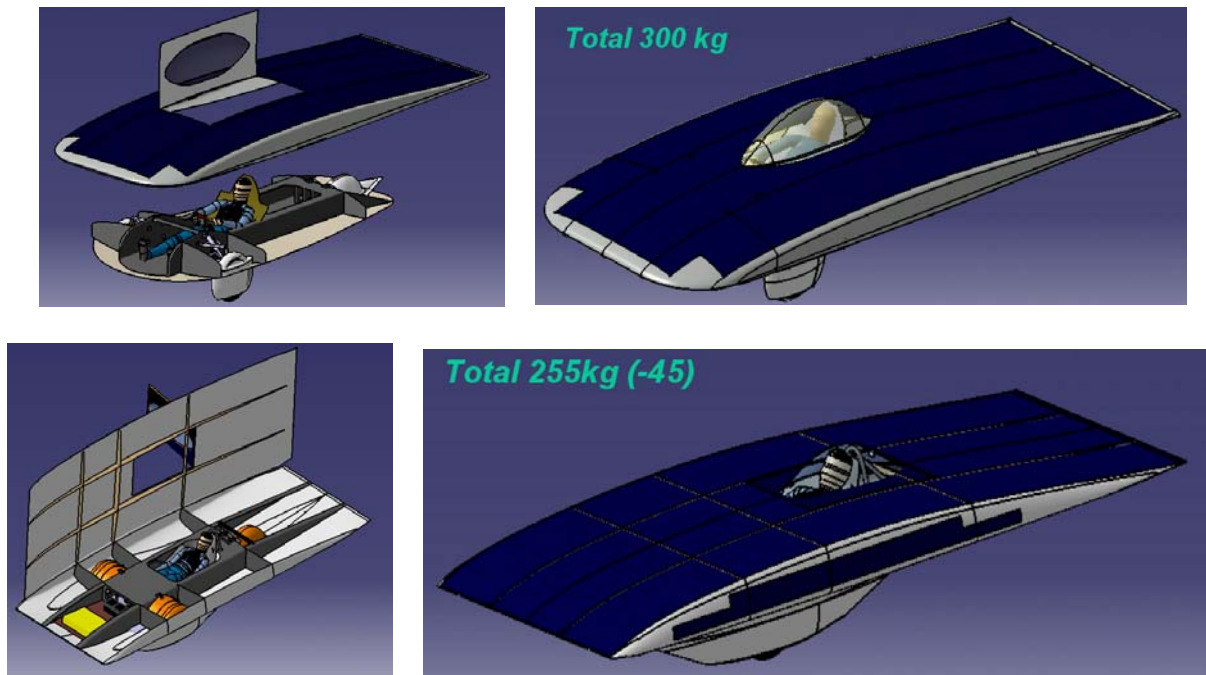


圖 39、FORMOSUN 2、3 結構配置、重量比較

5. 懸吊系統設計：

a. 設計限制和要求：

比賽規則對懸吊系統沒有特別規定，設計上的限制主要是要配合車身空間，讓整套系統能把駕駛眼睛高度撐高到規則規定的離地 700mm，並在允許的空間範圍內作動。

太陽能車所能得到的能量不多，消耗在不必要的能量越少，能夠行駛的車速就能提高，所以懸吊系統首先要考慮的是減少能量消耗。車輛行駛中，要有良好的操控性能，車子才會按照駕駛想要的行駛狀況運動，尤其是比賽中，良好的操控性能能夠使車子沿著理想的路徑行駛，進而提升車速。

b. 機構尺寸設計：

首先選定懸吊系統形式。雙雞胸骨式的懸吊由於避震彈簧不影響機構運動，桿件設計的自由度較大，較容易達到設計要求，所以前懸吊系統採用大部分車隊使用的這型懸吊系統。後懸吊因為後輪為單輪置中，所以採用拖曳臂式的懸吊系統。

決定了輪距、軸距後，由外型和車體空間決定了懸吊系統可使用的空間。車輪、煞車等零件尺寸大致可以確定，剩下連接車體和車輪之間的桿件就必須要自行設計大小。

由於動摩擦係數遠大於滾動阻力係數，所以要減少能量的消耗，就要減少滑動發生。車子的前進方向是由各輪的運動方向組合來決定，如果車輪運動方向不是車子前進方向，車輪就會不斷被拖行到正確的位置而持續有滑動的發生。因此車輪的運動趨勢必須和車子運動方向吻合，才能確保車輪以滾動的方式運動而沒有滑動的情形發生。

前懸吊部份，由於採用雙雞胸骨式，車輪在上下運動時和地面的夾角會改變，不再和地面保持垂直，造成車輪有偏離車子前進方向往外或往內滾動的傾向，而有滑動的情形。假設上下平行等長，這時懸吊桿件為平行四邊形，車輪保持垂直地面，但是車輪上下震動時會有較大的左右滑移。所以較佳的設計是稍微改變上下臂角度和長度。設計時首先訂車輪上下震動幅度，在最低、靜止、最高點車輪保持垂直，可以找到各桿件長度，再微調至比較方便的尺寸，如此可滿足車輪角度改變和側滑的狀況。

雙雞胸骨式是以上臂和大王銷接點與下臂和大王銷接點的連線為車輪轉向軸，此連線和地面交點與車輪接地點的偏移影響轉向所需的操作力矩。第二部車由於偏移過小，造成反應靈敏，操控性好，但直進性差，駕駛負擔較重，所以第三部車稍微調大偏移，使駕駛容易保持直進方向。綜合以上設計條件，最後決定出第三部車的前懸吊桿件尺寸。(圖 40)

後懸吊部份，由於採用全拖曳臂式，所以車輪上下運動同時前後運動，車輪和地面保持垂直。車輪上方已經很接近上車殼，所以設計空間不大，主要是讓車輪不能撞破上車殼。由空間和軸距要求決定出後懸吊桿件尺寸。(圖 41)

c. 懸吊桿件設計：

由機構尺寸，忽略懸吊桿件質量，可以求得各個接點受力，選擇適合的軸承

尺寸和避震器大小。設計工作主要是讓桿件能夠連接軸承，達到機構要求的尺寸，重量在分配的範圍內。

決定最初的設計後，由邊界條件，受力狀況，利用有限元素分析軟體 ABAQUS 分析。(圖 42、43) 在車子受到 3g 的垂直力，1g 側向力，1g 煞車力的狀況下，所有零件都不能損壞。補強不足的部份、砍掉不需要的地方，成為最後的設計。(圖 44)

有零件都不能損壞。補強不足的部份、砍掉不需要的地方，成為最後的設計。(圖 44)

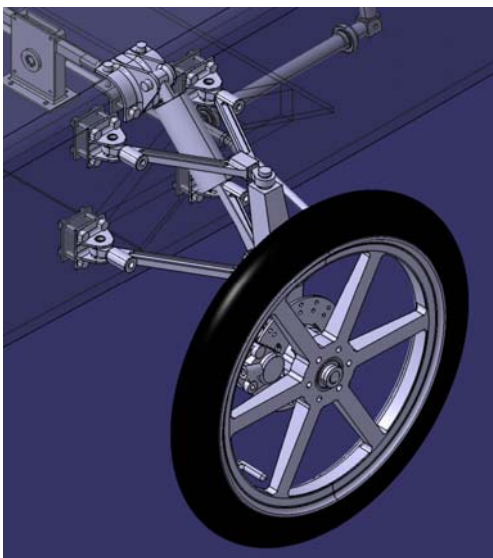


圖 40、前懸吊

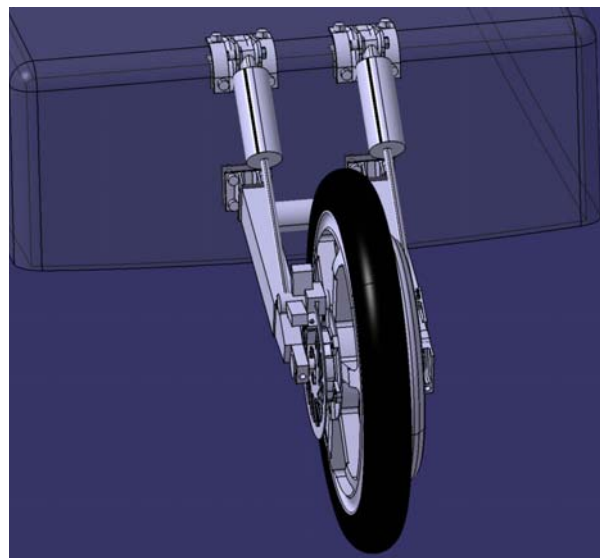
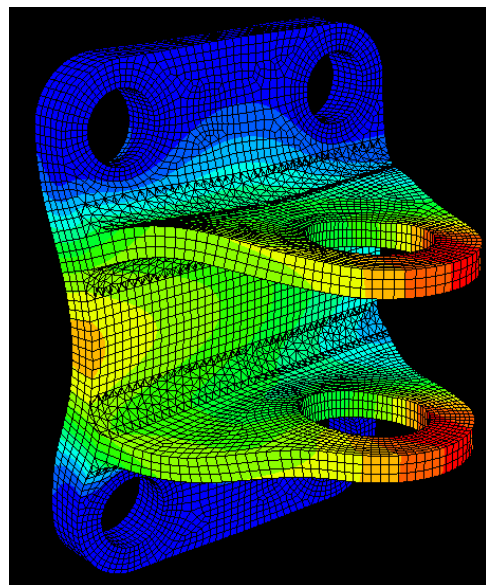
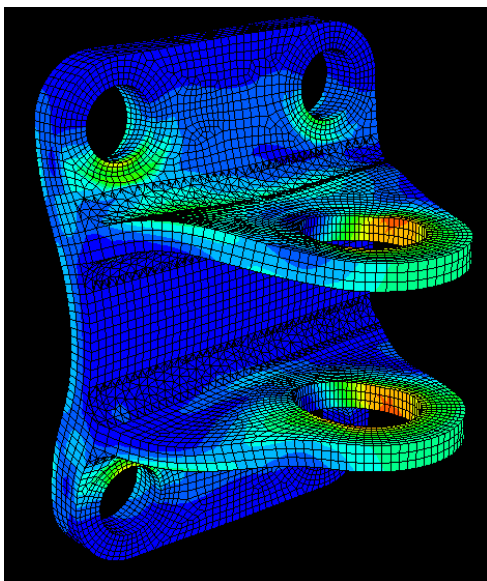


圖 41、後懸吊



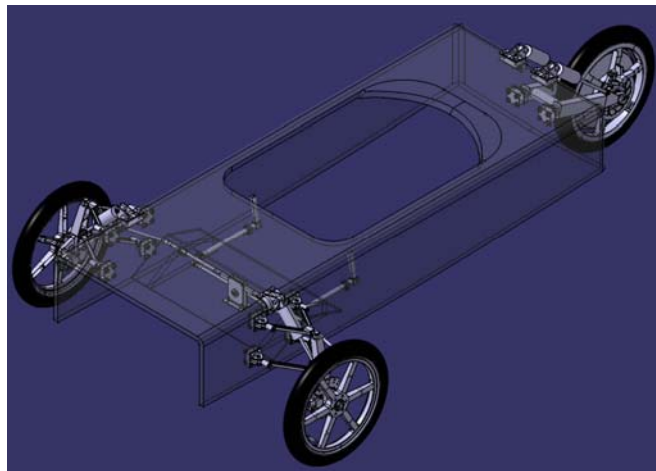


圖 44、懸吊系統

6. 轉向機構設計：

a. 設計限制和要求：

大會規定車子必須在 16 公尺內完成迴轉。理想的轉向是在轉向時所有車輪以同一個圓心旋轉運動，稱為阿克曼轉向。車輪上下震動時，車輪不能有轉向的情形發生。

b. 轉向機構設計：

迴轉半徑決定了車輪要達到的旋轉角度範圍，由於空間有限，轉向連桿位置也確定，配合車輪上下震動時不能夠發生轉向，可以求出最佳的轉向連桿尺寸。

由於駕駛進出可用空間很小，為了不妨礙駕駛進出，第三部車無法像第二部車一樣使用方向盤，只能把駕駛操作機構設置在低於駕駛座高度的駕駛座兩側，旋轉左右兩個把手控制轉向角度。實際操作後大略求得把手旋轉的極限，加上轉向連桿所需移動空間，計算出齒輪大小。

由轉向角度、車重、懸吊桿件尺寸可以求出轉向所需力矩，計算出轉向各零件受力。選擇適當的軸承、螺絲，決定最初的桿件設計。配合能夠找到的材料，經由有限元素分析確認零件強度後，產生最後的設計。(圖 45)

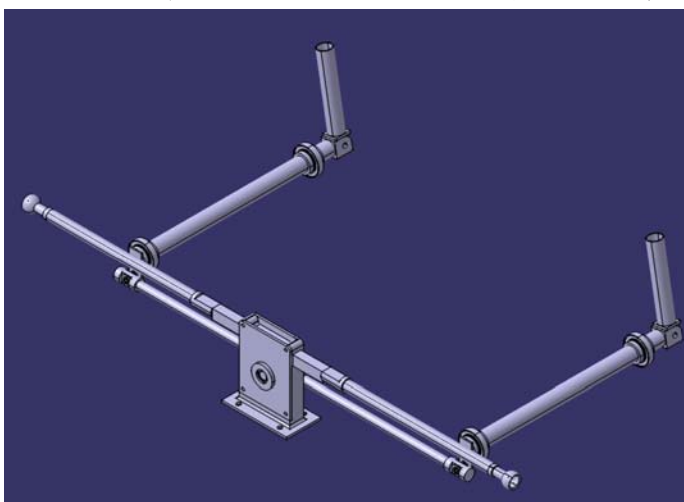


圖 45、轉向系統

7. 煞車系統設計：

a. FORMOSUN II 煞車系統的缺點：

FORMOSUN II 煞車系統的最大缺陷就是在正常行駛時會產生摩擦阻力的問題。將 FORMOSUN II 前輪架起測試其空轉情形之後，可以觀察到前輪的摩擦

是一週期性發生的現象；碟盤會先靠向外側的來令片，然後兩者漸漸分開，如此週而復始。會發生此種問題主要是碟盤的中心軸線與輪轂的轉動軸線不平行，因此在轉動時碟盤面會在軸線方向上往復來回，產生一定的偏移量所致。經過測量，FORMOSUN II 第一套懸吊系統的偏移量高達 0.4mm，第二套懸吊則為 0.15mm，根據參考書籍的建議，此偏移量在車上量測時不應大於 0.1mm，在測試平台上則應小於 0.05mm，因此在加工製造 FORMOSUN III 的輪轂時如何保證幾何精度將是重要課題，如果在提昇製造精度之後偏移量仍達不到要求，則考慮在碟盤與輪轂間墊入薄材料校正軸線平行度。

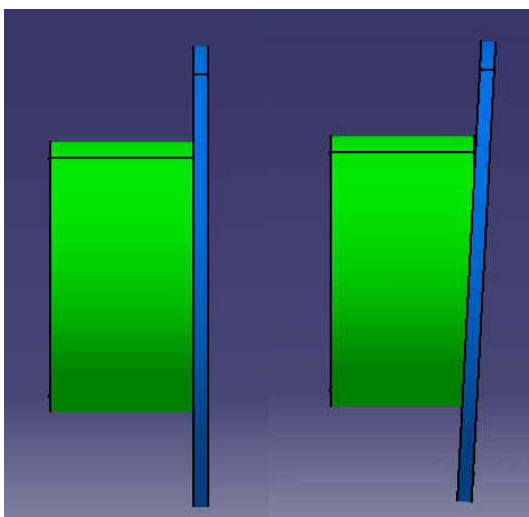


圖 46、左為正常安裝的碟盤與輪轂，右則是不當安裝的碟盤與輪轂

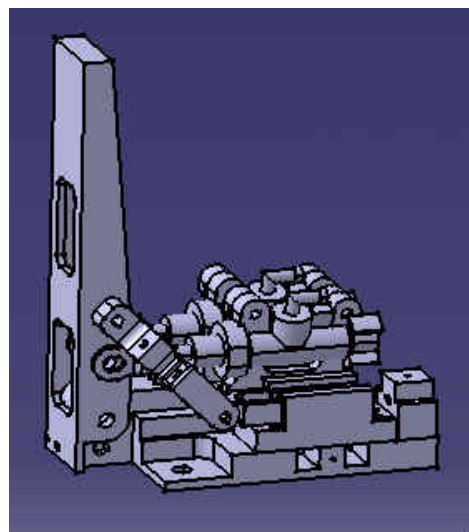


圖 47、FORMOSUN II 的煞車踏板組，外側的可變電阻控制連桿組運作不順暢

FORMOSUN II 煞車系統的其他問題包括控制用可變電阻運作不順暢，這與可變電阻箱的材料選擇、裝配餘隙與連桿幾何位置有關，這部分在設計控制系統時也加以改良。此外，FORMOSUN II 的駕駛有時在變換姿勢時會誤踏煞車，這和煞車踏板的安裝位置有關，雖然 FORMOSUN III 修改了踏板位置，無奈車室空間狹小，效果未必盡如人意。

b. FORMOSUN III 煞車系統配置：

根據 WSC 大會規定，一輛車上至少要有兩套互相獨立的機械式煞車系統，一旦一套系統故障了，另一套系統仍能保證車子安全停止。在 FORMOSUN II 上裝備的是前輪兩套煞車的贅餘式設計，這種設計的配置簡單，不管是卡鉗還是總泵都只要

採用對稱設計即可，但是缺點就是會多出整整一套系統的重量。
FORMOSUN III 則是採用前後輪都安裝煞車，並用同一控制系統同時作動的前/後設計。前輪是主要制動力來源，因此使用能產生大量煞車力的系統，而後輪主要的煞車力來源是馬達回充煞車，因此僅配置一具提供有限煞車力的輔助系統。

I. 前輪煞車元件選擇：

對車輛而言，任一車軸上所能產生的最大煞車力是軸對地正向力 N 與抓地係數 μ 的乘積，而正向力則是靜態重量分佈與減速時重量偏移的總和。對 FORMOSUN III (255KG, 前軸靜配重 66%) 而言，當減速度達到設計最大值的 0.8g 時，前軸動態配重可達 78%~84% (重心高 300mm~450mm)，由此可知煞車時車輛的動能幾乎全由前輪煞車系統吸收。根據以前設計 FORMOSUN II 時做的有限元素熱分析，當車重 300KG, 初速 120KPH, 下坡 8°, 減速度 0.6g 時，前輪碟盤若是使用 50C.C 機車的碟盤，大約會升溫到 200°C；若是使用一般腳踏車碟盤則會升到接近 600°C，而一般碟盤 450°C 時便會失效，因此前輪煞車設計仍為機車碟盤搭配機車液壓卡鉗，而不考慮腳踏車碟煞系統。

碟盤部分在比較了台鈴、KYMCO 與 YAMAHA 的產品之後，按照懸吊組的要求選擇了固定孔距離圓心最近的 YAMAHA 碟盤。至於卡鉗與總泵，則仍舊使用與 FORMOSUN II 相同的義大利製 MQ6520 卡鉗與 Brembo 12.7mm 內徑總泵。



圖 48、YAMAHA 的輕型機車碟盤

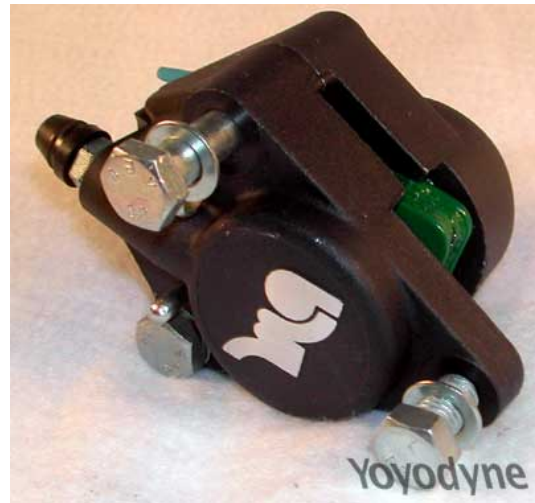
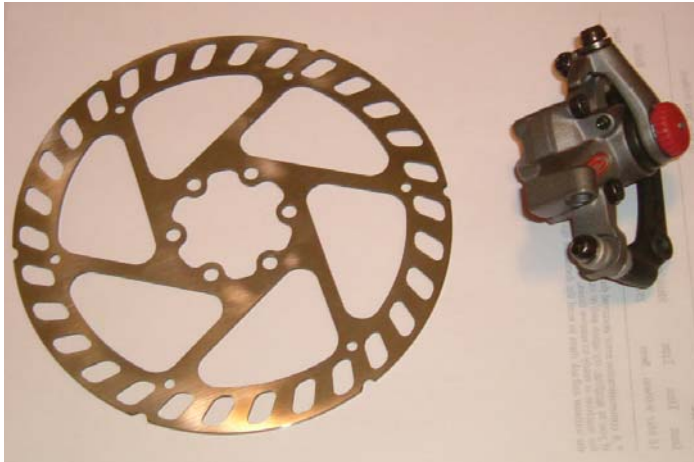


圖 49、MQ6520 卡鉗

II. 後輪煞車元件選擇：

後輪主要的煞車力是由馬達提供，因此後輪的機械式煞車只要產生極小的煞車力即可，為了不影響正常行駛，後輪煞車系統的轉子與來令之間最好能保證維持足夠的間隙，基於以上理由，後輪煞車系統最後選用 AVID 公司的可調間隙腳踏車機械式卡鉗。

碟盤部分本來預計使用該卡鉗原廠所搭配的 165mm 外徑碟盤，但是因為外徑太小，造成卡鉗與後輪固定座的干涉，於是改用 185mm 外徑碟盤解決此一問題。



III. 控制系統：

這次的踏板設計最大的限制是空間問題。與 FORMOSUN II 的底盤不同，FORMOSUN III 的箱型結構限制了設計空間，從駕駛的腳到隔板之間大約只有 120mm 的距離，為了將所有機構塞進去，只好捨棄類似 FORMOSUN II 的簡單水平縱向配置，改為向水平橫向與垂直方向發展。

油門主要是利用簡單的四連桿將踏板位移轉換成直線型可變電阻所需的線性位移輸入。整個油門的設計概念和 FORMOSUN II 相差不大，只是改成垂直配置，主要的改進是在可變電阻箱的設計上。FORMOSUN II 的可變電阻箱是由多個鋁合金件裝配而成，但是鋁合金之間的乾摩擦相當嚴重，而缺乏調整機構則使得可變電阻箱在運作時會因為製造誤差的累積導致運作不順。FORMOSUN III 的可變電阻箱改用鐵氟龍塑膠製造導軌，可以減少摩擦；裝配時則以鋼珠迫緊調整導軌與滑塊之間的鬆緊度，即使製造時有誤差，也不會產生餘隙。

軌與滑塊之間的鬆緊度，即使製造時有誤差，也不會產生餘隙。

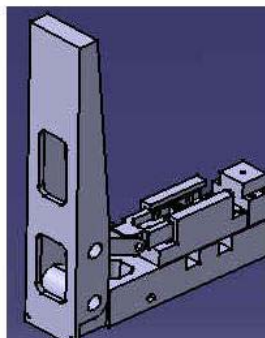
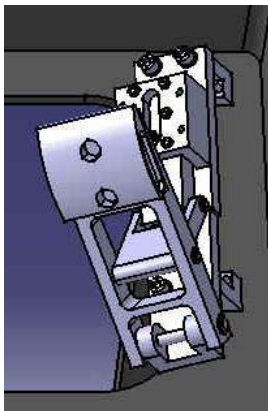


圖 51、左為 FORMOSUN III 的油門機構，右則是 FORMOSUN II 的油門，兩者的機構相當類似

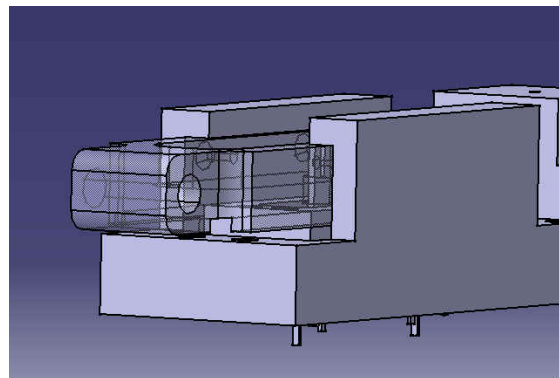


圖 52、FORMOSUN II 的可變電阻箱，全以鋁合金件製造，有運作不順的問題

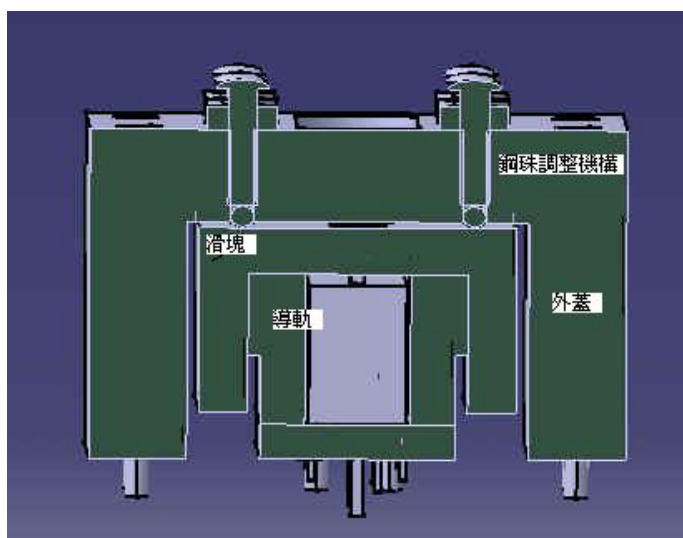


圖 53、FORMOSUN III 的可變電阻箱剖面，此設計可改善運作不順的問題

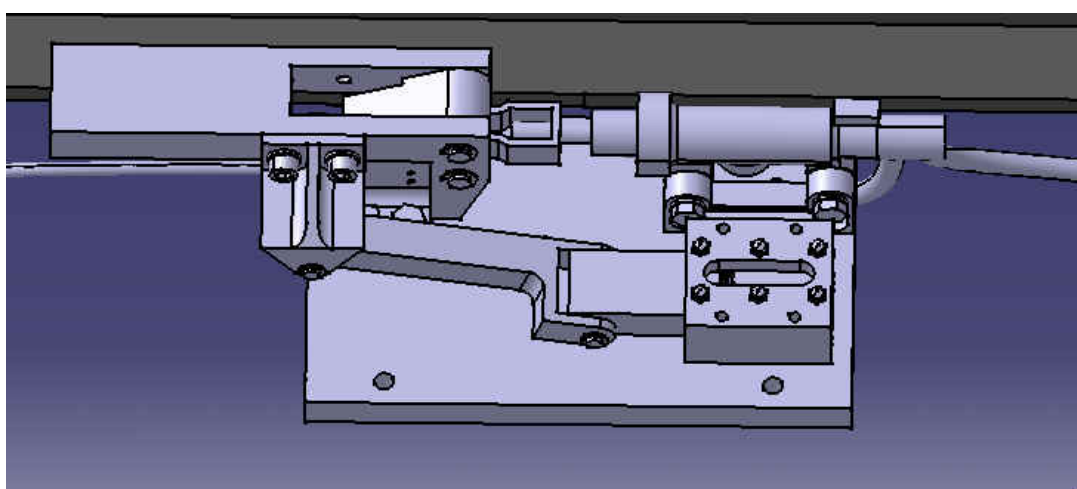


圖 54、FORMOSUN III 的煞車踏板組，L 形的踏板同時驅動總泵(前輪)、煞車線(後輪)與可變電阻(後輪)

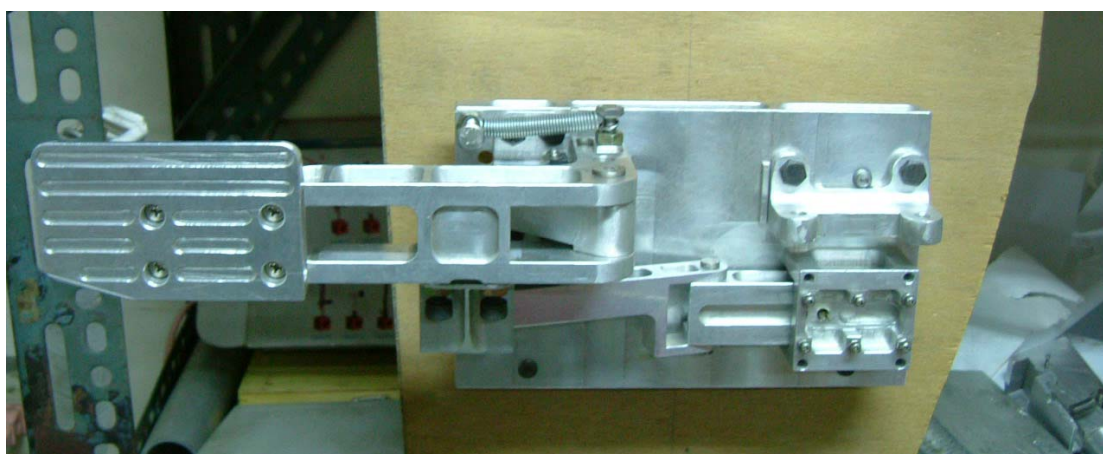


圖 55、FORMOSUN III 的煞車踏板組，只剩下總泵尚未安裝



圖 56、FORMOSUN III 的油門踏板

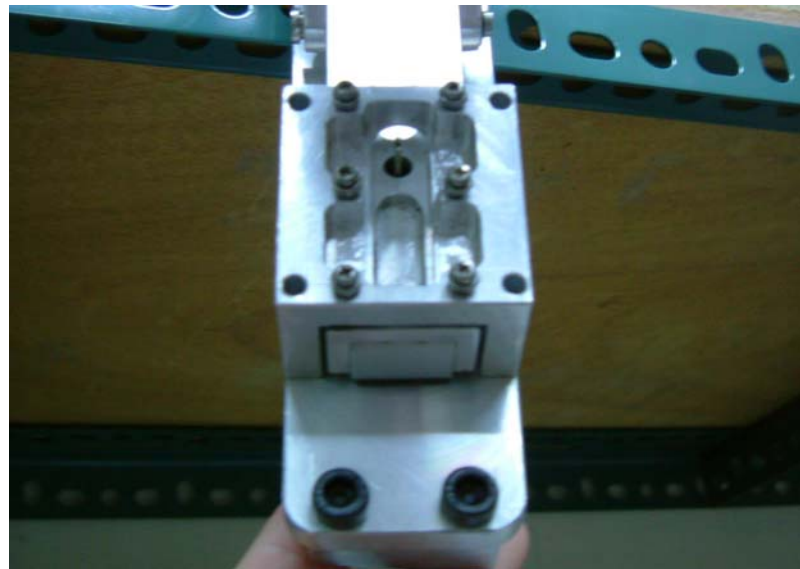


圖 57、可變電阻箱的特寫

IV. 結論：

FORMOSUN III 的煞車系統沿襲自 FORMOSUN II，在設計上除了改善原有的小缺失之外，在結構減重上更是大膽，所有前後碟煞、煞車踏板、油門等等加起來只有不到 4 公斤，比起 FORMOSUN II 的 6 公斤減少了約四成的重量，但整體性能卻更佳，FORMOSUN III 的煞車系統設計的確是更加成熟了。

8. 輪圈

a. 設計目的：

車子是靠著輪圈及輪胎的轉動才順利的前進，而輪圈則是負責起支撐整台車子重量的重要元件，因此好的輪圈在車子的設計上也佔了很大的一個部分。汽車的振動模型上質量被分為”負載重量”(Sprung Mass)及”未負載重量”(Unsprung Mass)兩個部份，未負載重量包括未被懸吊支撐的輪圈、輪胎及煞車重量，當未負載重量越重時車子行進所消耗的能量就越大；另一方面輪圈的轉動慣量也影響了車子的加速性能。因此輪圈的設計目的就在考量輪圈剛性、受力下減去輪圈不必要的重量，替太陽能車節省能源。目前設計所使用的材料為密度較輕的鋁合金及碳纖維蜂巢兩種，利用這兩種材料比強度(強度/密度)比鋼材大又易於加工的特性來製做輪圈，以達成減輕重量的目的。

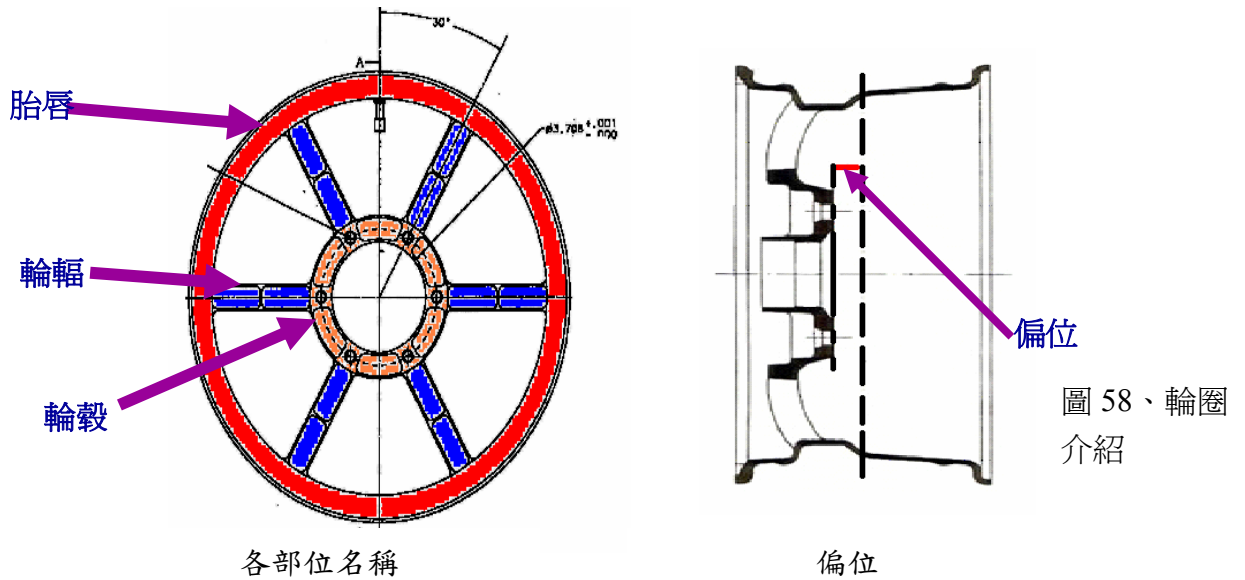
材料名稱	彈性係數 (GPa)	降伏強度 (MPa)	抗拉強度 (MPa)	密度 (g/cm ³)	比強度	價格	製造過程
鋼	206	250	400	7.85	51	1	易
鋁合金 6061-T6	69	255	290	2.71	107	1.7	易
鎂合金	46	152	276	1.83	151	?	加工不易
鈦合金 (加工硬化)	105	1260	1360	4.5	302	?	加工困難
碳纖維 (纖維方向)	145	-	1860	1.55	1200	20~	設計、不易 製造
碳纖維 (垂直纖維方向)	65	-	9.4	1.55	6		

b.

各種材料性值列表

I. 幾何外形：

基本上輪圈的尺寸可分為四個部份：胎唇、輪輻、輪轂及偏位(Offset) (圖 58)。



胎唇主要的功能是支撐及裝配輪胎，依照使用的搭配的輪胎直徑與寬度，從標準尺寸(CNS 3669)中來挑選，而太陽能車選用的輪胎為標稱 2.25-14 的 14 吋無內胎輪胎，所搭配的應為 14 吋的機車用無內胎輪圈的胎唇外型，故選用 WM14-1.4 的輪廓 (圖 59)，而厚度則是依照強度分析來製做。

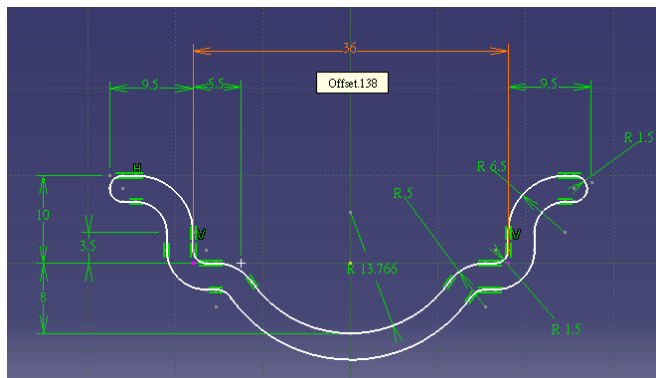


圖 59、WM14-1.4 輪廓外形

輪輻的功能是支撐胎唇，在外形上是沒有限制，鋁合金輪圈 (圖 60、61) 這裡使用六根簡單的 T 型樑來支撐；碳纖維輪圈 (圖 62、63) 則是整面的利用蜂巢三明治板來支撐胎唇。

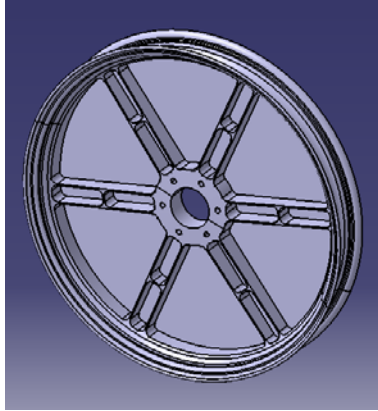


圖 60、鋁合金前輪框

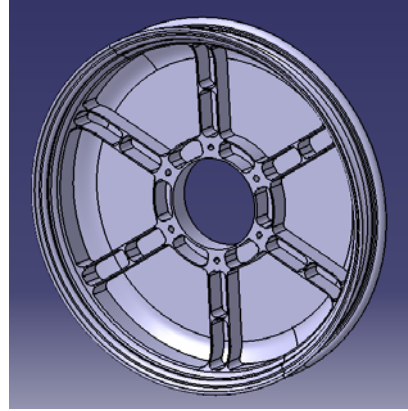


圖 61、鋁合金後輪圈

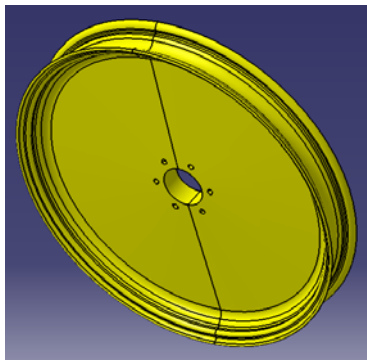


圖 62、碳纖維前輪圈

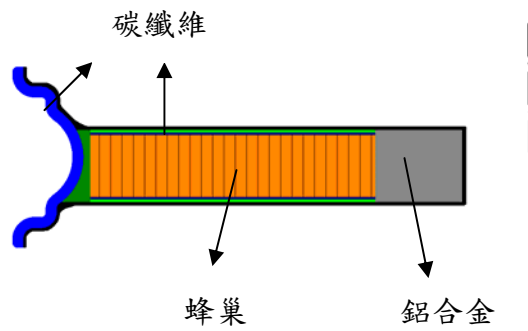


圖 63、碳纖維輪圈側面剖視

輪轂是視車軸搭配所設計，然後使用六根螺栓固定住輪圈，在相鄰鎖固點間的材料挖去減輕重量。前輪圈設計與車軸裝配孔直徑為 46mm，鎖固孔直徑為 8mm，鎖固孔中心距車輪圓心為 33mm；後輪圈與馬達直接搭配故裝配孔較大，直徑為 94mm，鎖固孔直徑為 0.25 英吋距輪圈中心為 58mm。(圖 64、65)

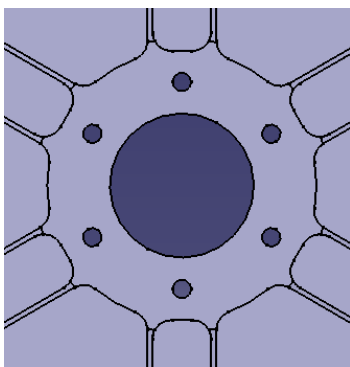


圖 64、前輪圈輪轂

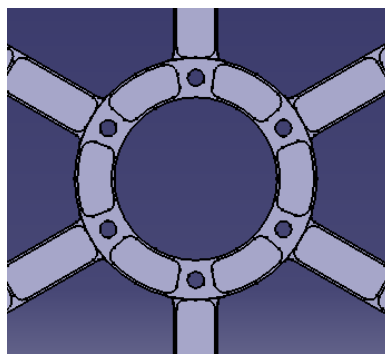


圖 65、後輪圈輪轂

偏位為胎唇的對稱線與輪轂裝配面的距離，前輪為-7mm（圖 66），後輪為 6mm（圖 67）。

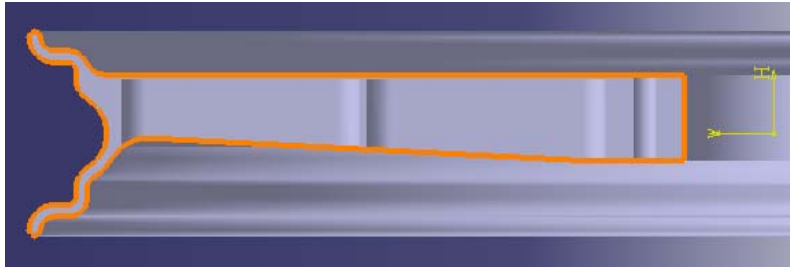


圖 66、前輪圈剖面圖



圖 67、後輪圈剖面圖

II. 強度分析：

輪圈的強度主要依據設定荷重表現在正向力、轉向力的剛性上，第三代太陽能車的總重為 255kg 為前二輪與後一輪，每輪平均受力為 85kg，在設計時為了安全提高輪圈的荷重到 120kg，而輪圈平常最大的受力為正向力 2g(240kg)轉向力 2g(240kg)（圖 68），首先對輪圈靜態受力分析，希望輪圈在最大受力的狀況下不會發生破壞。（圖 69）

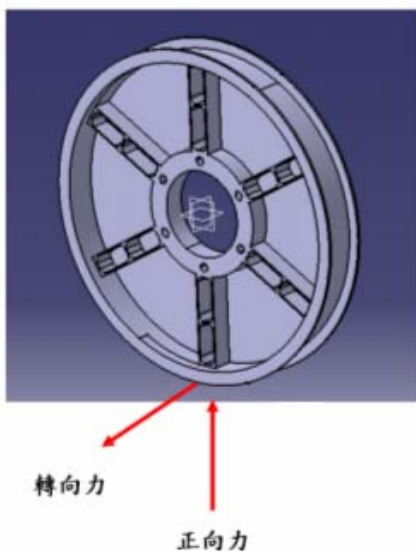


圖 68、碳纖維輪圈

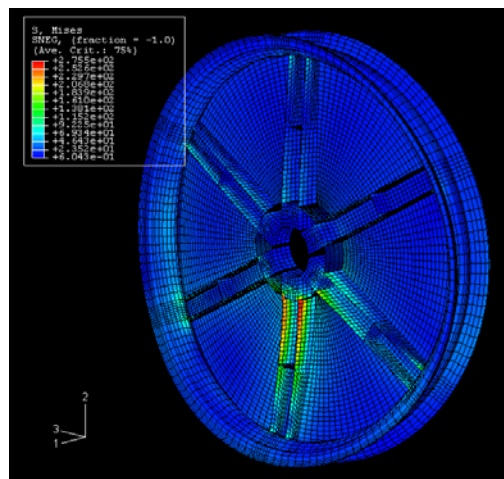


圖 69、前輪圈靜態受力分析應力

另外也採用國際標準 ISO 3994、日本自動車規格 JASO T 203 對 Light Alloy Wheels for Motorcycle 的性能要求提出的耐衝擊性的標準替輪圈設計做衝擊強度分析。(圖 70、71、72)

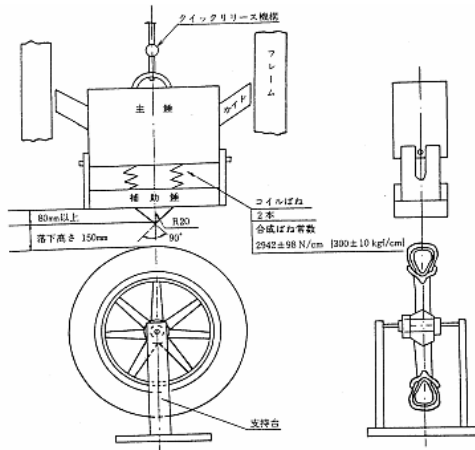


圖 70、衝擊試驗示意圖

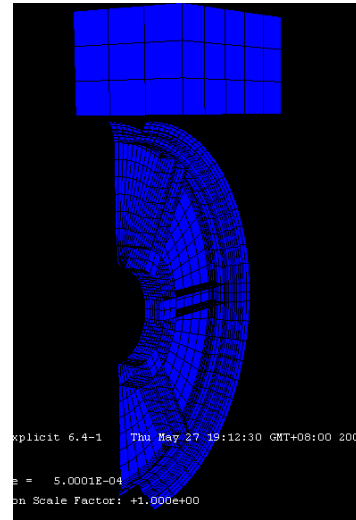


圖 71、前輪衝擊有限元素模

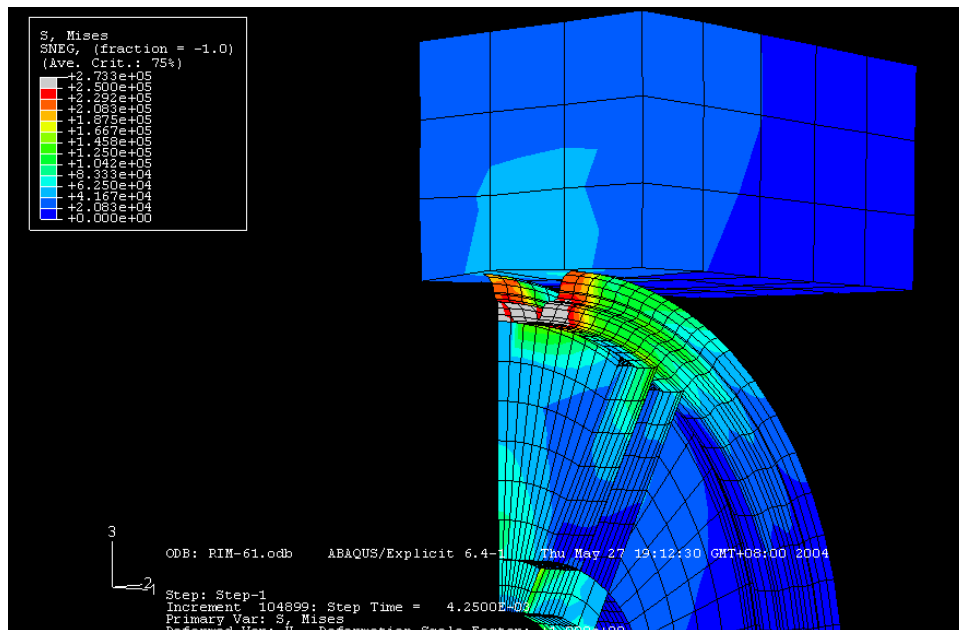


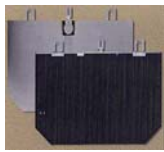
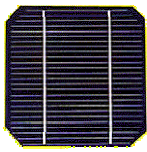
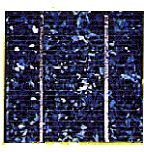
圖 72、前輪衝擊試驗應力分

9. 太陽能板：

a. 太陽能晶片：

FORMOSUN III 使用砷化鎵太陽能晶片作為發電的元件。砷化鎵晶片是目前轉換效率最高的太陽能晶片(24~30%)，一般應用在太空中的人造衛星或太空站的發電裝置。地面上的發電裝置不那麼講求轉換效率，因此絕大多數是使用價格比砷化鎵

晶片便宜、效率也還不錯(10~24%)的矽晶晶片。

			
名稱	Gallium Arsenide (GaAs) 砷化鎵	Single-Crystalline Silicon 單晶矽	Multi-Crystalline Silicon 多晶矽
效率	24~30%	15~24%	10~18%
價格	NT 8000 元/瓦	NT 110 元/瓦	NT 100 元/瓦
應用	人造衛星	住宅、公共設施、太陽能發電廠	

然而太陽能車為了在比賽中得到較好的成績(速度)，需要效率較高的太陽能晶片來發出更多的電力，因此我們向國外的公司購買砷化鎵晶片，平均效率達到 25%，高於 FORMOSUN II 所使用的矽晶晶片(20%)。

太陽能板的佈放規劃

影響太陽能板發電量，除了太陽能晶片的轉換效率之外，另一個重要的因素為太陽能板的佈放面積。世界太陽能車挑戰賽的規則中，對於車子的外型尺寸有所規定，因此限制了太陽能板可以鋪放的面積。我們在設計 FORMOSUN III 的外型時，除了空氣阻力的考量之外，也把太陽能板能鋪放的面積考慮進去，於是得到一個最佳的外型。我們充分利用車殼上能鋪放太陽能板的區域，除了上車殼為主要區域之外，還加上側面車殼、輪罩和座艙罩等區域。(圖 73)

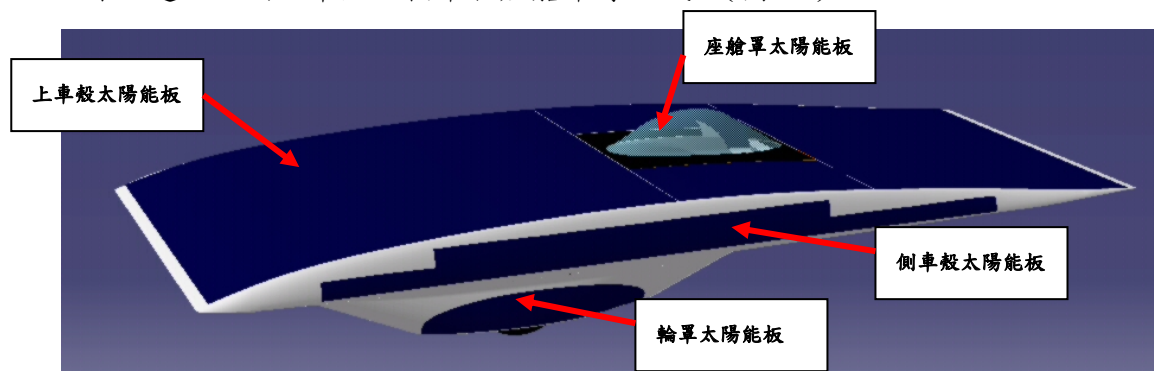


圖 73、太陽能板鋪放區域示意

	FORMOSUN II	FORMOSUN III
太陽能晶片種類	Si	GaAs

太陽能晶片效率	20%	25%
佈放面積(m ²)	7.23	8.5
尖峰功率(W)	1200	1700

註：太陽能板封裝效率約 83%

兩部太陽能車之太陽能板比較表

太陽能板封裝：

太陽能晶片必須經過串、並聯焊接和封裝的製程，成為一塊的太陽能板，然後貼在太陽能車的車殼上。FORMOSUN II 的太陽能板是委託給國內的太陽能板封裝廠來製作，優點是工作時間短，而且有專用的焊接和封裝設備。但缺點是品質不可靠，這對很講求太陽能板轉換效率的太陽能車來說是很嚴重的問題。

為了能夠掌握太陽能板的品質，FORMOSUN III 的太陽能板將由我們自己來製作，包括太陽能晶片的串、並聯焊接，太陽能板封裝，以及最後的品質測試，我們陸續添購所需的設備，並在學校尋找合適的場地來進行太陽能板的製作。

相較於 FORMOSUN II，新的 FORMOSUN III 在太陽能板的部分有下列幾項變革：

I. 太陽能板結構改變：

從以往 Tefzel-EVA-Solar cell-EVA-Tedlar 的結構，改變成 Tefzel-EVA-Solar cell-GFRP 的結構（圖 74），可使太陽能板變輕、彎曲剛性提高。

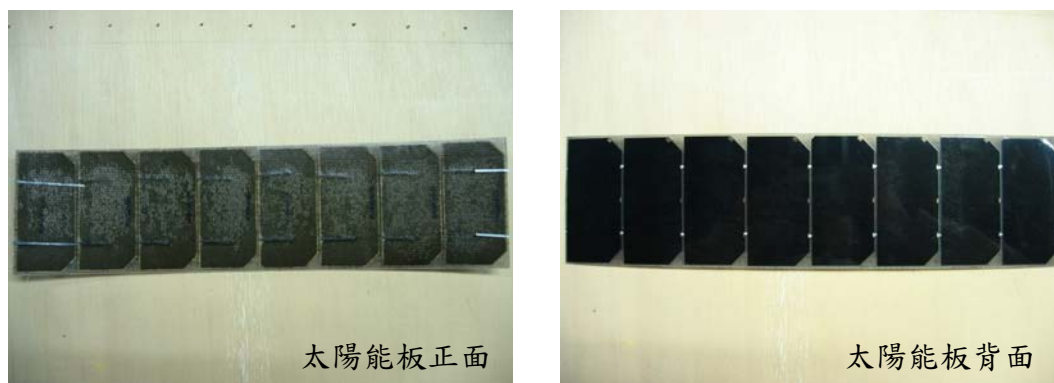


圖 74、Tefzel-EVA-Solar cell-GFRP 的結構

II. 焊接：

為了使砷化鎵晶片有最好的效率，在焊接前，晶片的焊接點必須用丙酮和異丙醇清潔，除去雜質以減低電阻。使用恆溫焊槍來焊接。另外由於 FORMOSUN III 使用近 3000 片的太陽能電池，為了必免人工焊接造成焊接點品質不一，於是計畫自行製作一台自動焊接機，讓焊接的品質維持在同一水準，也可以減少焊接的時間。

III. 抗反射：

為了提高太陽能板整體的效率，必須減少光線在太陽能板表面的反射，增加光線進入太陽能板的量。目前抗反射的技術有兩種，一種是 texture surface，另一種是 AR coating。目前

texture surface 的產品非常罕見，只有德國的 Gochermann 公司在用 texture surface 來封裝太陽能板。AR coating 則到處可見，諸如眼鏡、相機鏡頭、LCD 面板等光學產品都有 AR coating。我們已找到日本一家公司有 AR coating 的產品，可應用在太陽能板上，目前仍在接洽中。



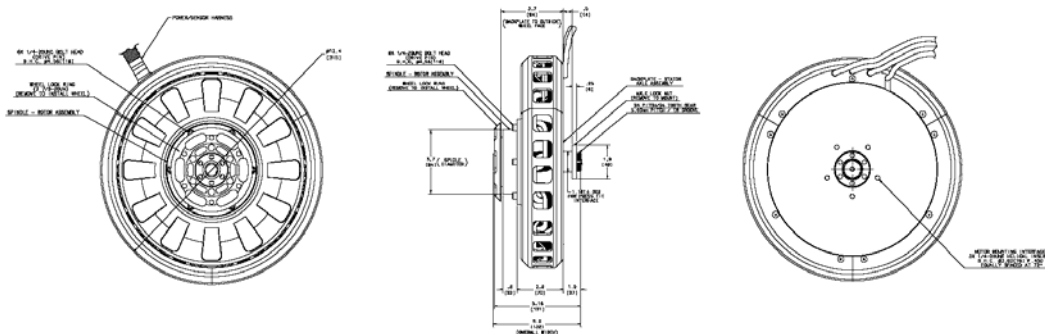
有抗反射(太陽能板為暗面)



無抗反射(太陽能板為亮面)

10. 馬達：

FORMOSUNIII 在評估運轉效率、扭力、重量、可靠度等條件下，決定沿用 FORMOSUNII 所採用的 NGM SC-150 直流無刷軸心馬達（圖 75），控制器為 NGM EVC-402 三相馬達專用控制器。額定電壓 96V，額定扭力 50Nm，最大扭力 110Nm，整體運轉效率最高可達 92%。



NGM SC-150 係一軸向氣隙，且氣隙可調馬達。今年 8 月，我們將馬達送到工研院機械所測試（圖 76），以驗證與調整馬達之最佳氣隙及最高效率工作區間。

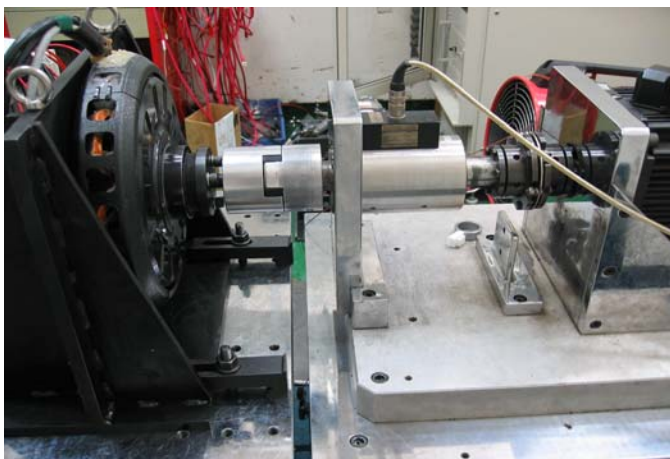


圖 76、馬達測試架設之照片（左圖為）調整與固定氣隙之機構

測試結果如圖 77，顯示 NGM 馬達在最佳氣隙下，最差的情況仍可維持 65%以上運轉效率，而大部分情況效率可達 80~90%

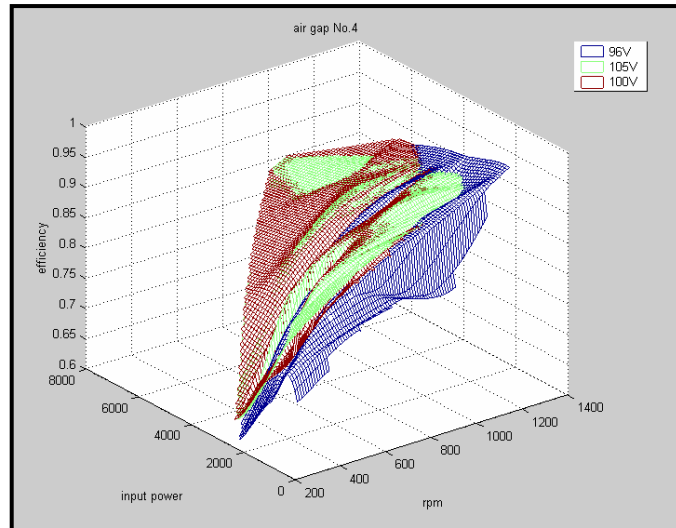


圖 77、馬達測試數據圖

而 FORMOSUNIII 之行車策略將會配合全系統之電力電壓、能量特性，根據馬達測試結果，使馬達在最佳氣隙、在最有效率的工作區間運轉。

11. 中控電腦：

a. 電力系統略述：

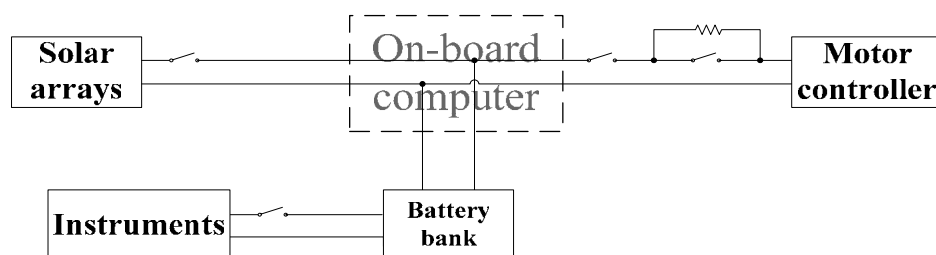
FORMOSUN III 太陽能車的電力系統區分為「主要驅動電力電路 (power bus)」與「信號電路 (data bus)」。

主要驅動電力電路係一高電壓大電流的系統，包含太陽能電池、蓄電池、馬達三個主要元件，主要為提供馬達運轉，推動整台車輛前進。其工作範圍約在 100VDC、20~50V。

信號電路，主要為量測與監測車輛狀態，還有其他車輛必備之儀表與燈號。FORMOSUNIII 本次設計預計使用 Infineon C167CS-LM 作為車上之中控電腦，整合所有量測、資料傳輸、下達馬達控速命令，並進行能量管理與行車策略計算。信號電路系統之工作範圍為 12VDC。

圖 78 為 FORMOSUNIII 之電力系統架構示意圖：

FORMOSUN III power system diagram



Instruments:

- Lights → Brake lights: (on brake paddle)
Turn signals: flasher + bulb (on steering handle)
- Horn
- Rear view camera
- Radio modem: data transmission
- On-board computer: Infineon C167
- Dashboard: LCD module (speed, mode, solar power, SOC, ignition status, abnormal alarm)
- Voice communication

圖 78、電力系統架構示意圖

b. 能量策略：

太陽能車之「主要驅動電力系統」，其能量來源為太陽能版，而以蓄電池組作為緩衝器，來供應馬達。所以太陽能車可以是唯一 multiple power sources, single load 的系統。能量管理策略的目的在於車速控制與電池電量控管，以達在有限的能量，使行車里程最大化。

根據物理公式（式二），車輛之耗能（power）為車速之三次方程式

阻力

= 滾動阻力 + 空氣阻力

$$= mg \times (\sin G + C_{rr1} \times \cos G) + N \times C_{rr2} \times V + \frac{1}{2} \rho C_d A \times (V + V_w)^2, \text{ where } C_{rr2} : \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$= mg \times \left[\sin G + \left(C_{rr1} \times \cos G + \frac{V}{161} \right) \right] + \frac{1}{2} \rho C_d A \times (V + V_w)^2$$

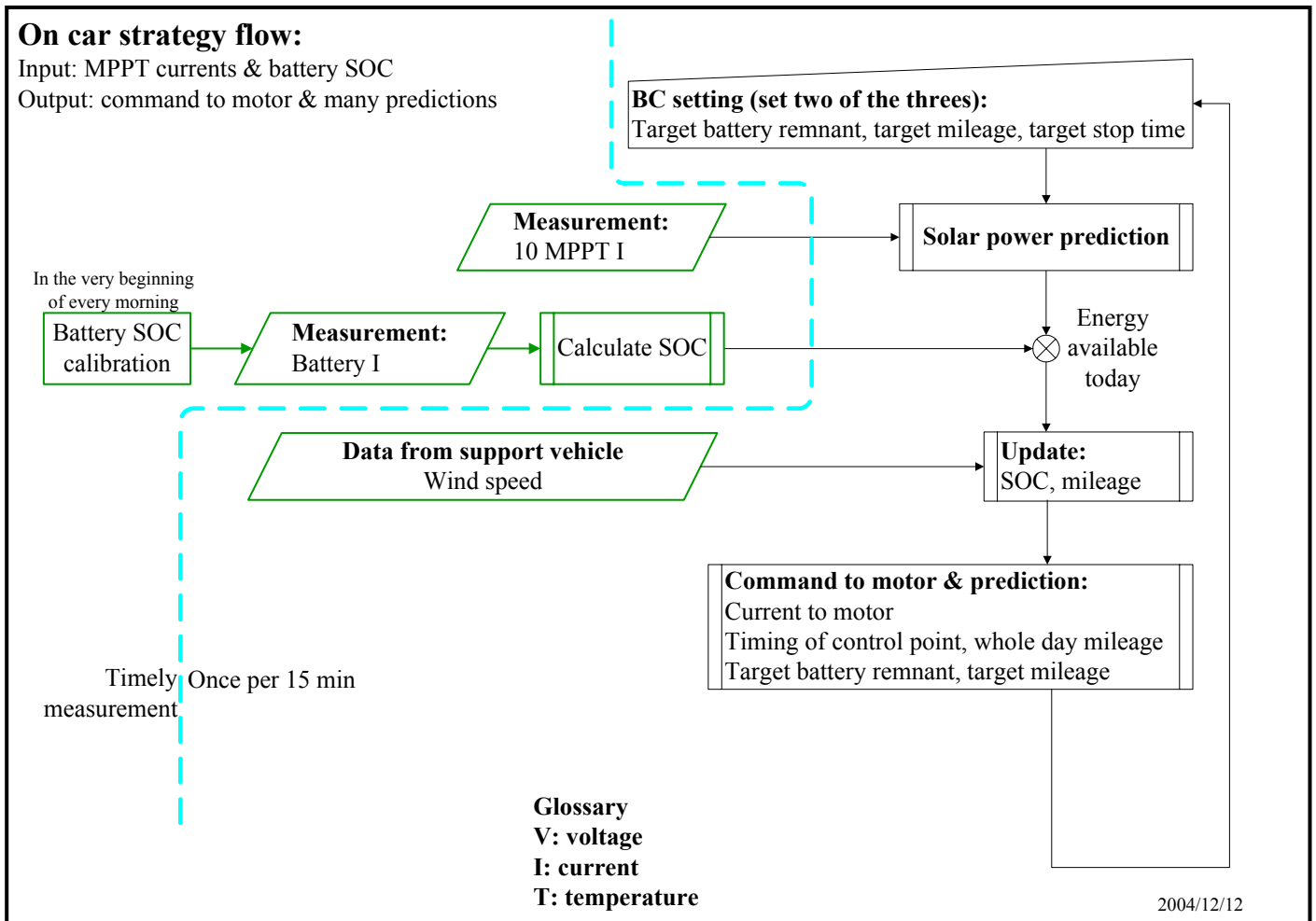
消耗功率

$$= \frac{\text{阻力} \times V}{\eta}$$

$$= \frac{[mg \times (\sin G + C_{rr1} \times \cos G)] \times V + N \times C_{rr2} \times V^2 + \frac{1}{2} \rho \times C_d \times A \times (V + V_w)^3}{\eta}$$

在同樣距離的里程，等速率下的消耗能量是最小值。FORMOSUNIII 之能量策略即以「定速率」作為基本方針。然實際行車路況有坡度起伏，而比賽過程還有「check point」等額外狀況，真正的車上策略修正成「定扭力」。而馬達之控制命令為電流，我們再根據馬達測試數據，將定扭力類推映成電流，然後用車上中控電腦，透過 RS-232 對 NGM 馬達控制器下達對應的電流命令。

圖 79 為 FORMOSUNIII 之 on-board 能量策略流程圖，左半部之綠色方塊主要為車上量測，右半部能量策略的計算，包括天氣預報、車速、電流計算及電池電量預估等。



I. 天氣預報：

我們利用上屆比賽 WSC2003 途中對太陽能版輸出功率所記錄的量測數據，以 MATLAB Curve Fitting Toolbox 做 curve fitting，取得回歸公式，對回歸公式外差，作為整日發電量之預估。

根據日序、時序之不同太陽輻射量入射地表的角度不同，太陽入射角之示意圖如下圖 80：

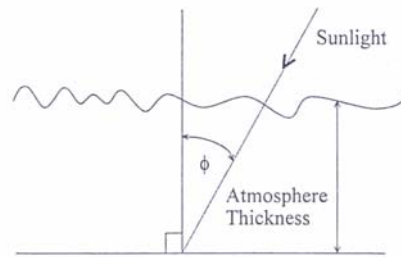


Fig. 2.2 Sunlight latitude angle.

圖 80、太陽入射角度示

根據以上，我們採正弦函數作為 parametric curve fitting 的形式 (式三)：

$$f(x) = a \times \left[\sin \left(\frac{(x + 62100)}{44640} \times \pi \right) \right] + c, \text{ where } a, c \text{ are constants}$$

the two constants 62100 and 44640 mean sunrise time and daylength relatively (式三)

對於 curve fitting 的結果，以統計學的 R-square 與 RMSE (root mean square error) 作為判準標準 (式四)

R - square :

$$SSR = \sum_{i=1}^n W_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2, \quad SST = \sum_{i=1}^n W_i (y_i - \bar{y})^2, \quad SSE = \sum_{i=1}^n W_i (y_i - \hat{y}_i)^2$$

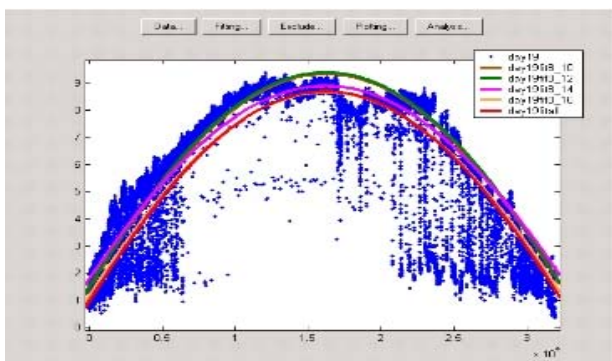
$$R - \text{square} = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

RMSE :

$$MSE = \frac{SSE}{v}, \text{ where } v \text{ is degree of freedom}$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (\text{式四})$$

圖 81、82 與表格為 fit 之結果：



Time intervals	R-sq	RMSE
8-10	0.65734	1.09889
8-12	0.88349	0.84252
8-14	0.84917	0.88157
8-16	0.66590	1.42071

圖 81、curve fitting 與 good of fit

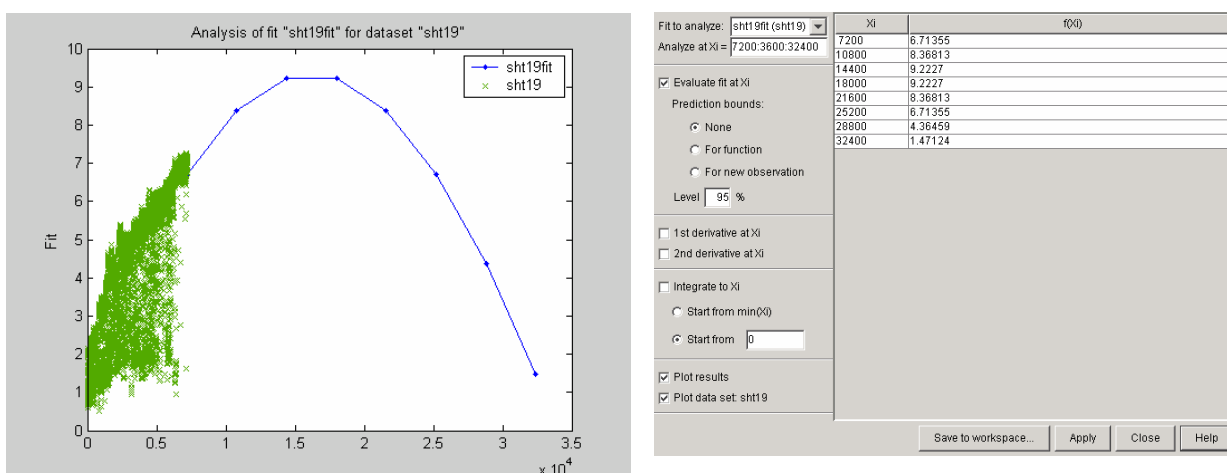


圖 82、利用所得之公式外差之結果

根據 curve fitting 回歸所得公式，外差作為預報太陽能版發電量，結果顯示，只要有兩小時以上的資料點，curve fitting 的外差預報結果，可以與真實數值有相當接近的程度。

c. 車上中控電腦：

FORMOSUN 與德國 Siegen Univ.合作，選用 Infineon C167CS-LM (圖 83) 作為 FORMOSUNIII 的車上中控電腦。C167 係一 16bit、20MHz 微處理器，其無論在運算速度與擴充性都有很特出的表現。

目前預計在 C167 上擴充 4 組 RS-232 串列傳輸與眾多周邊設備 (馬達控制器、電池殘電量 IC、儀表 LCD 顯示面版及無線傳輸模組) 做溝通；47 個 compare I/O 用以監測太陽能版模組電壓、MPPT 溫度與蓄電池組溫度；12 組類比數為轉換通道 (ADC) 用以量測太陽能版發電量與馬達輸入電流。



圖 83、C167 微處理器整體外觀照片，右圖為 C167 背面 pin connection 之放大

FORMOSUNIII，之中控電腦在硬體設計上，因主要驅動電力系統係高電壓大電流，所以 C167 之周邊與高電壓系統連結的部分，都外加光耦合器做隔離。

對應於太陽能車上的中控電腦負責量測、能量策略計算，在後勤車輛上將會對應有一視窗介面的監控程式，C167 會透過無線傳輸模組，將量測數據與錯誤回傳給後勤車隊，太陽能車上的駕駛只需要專心開車即可。

12. 電池系統設計：

a. 電池設計規範 & 選擇：

根據世界太陽能車挑戰賽 (World Solar Challenge, WSC) 頒佈的規則 (圖 84)，電池的容量最高為 5000Wh，換算成鋰高分子電池為 30Kg，且整個系統必須以不導電材料包覆，與車體、駕駛隔開。

B.2 The cells or battery modules must be rechargeable by the vehicles in which they are fitted. The make and number of cells or battery modules is free. The total energy allowance is based on a nominal 5 kWh (20-hour rate) and is determined by mass.

B.2.1	Pb/Acid:	125kg	(40 Wh/kg)
B.2.2	NiMH:	70kg	(70 Wh/kg)
B.2.3	Ag/Zn:	40kg	(125 Wh/kg)
B.2.4	Ni/Zn:	75 kg	(66 Wh/kg)
B.2.5	Ni/Fe:	100kg	(50 Wh/kg)
B.2.6	Standard Li-Ion:	35kg	(140 Wh/kg)

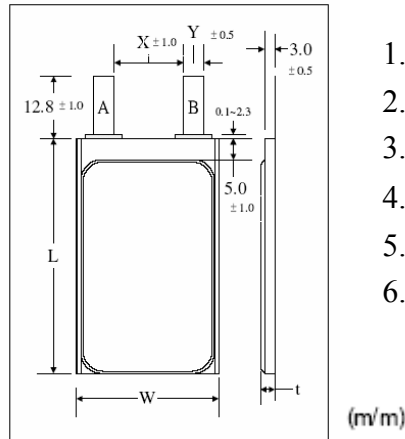
B.2.7	Plastic Li-Ion: (‘Li-Polymer’)	30kg	(167 Wh/Kg)
--------------	-----------------------------------	------	-------------

由於太陽能車的動力來源只有太陽，因此在開源、節流兩部份大家無不精打細算、錙銖必較。開源只能靠提升太陽能板的效率，那可是完全看\$\$\$的；至於節流不外乎減少重量、降低損耗，這點就跟創意與技術有關了，也是各車隊注重的地方。因此電池的挑選決定於重量比的大小，儘量在帶滿 5000Wh 的狀態下降低電池的重量，而鋰高分子是目前市面上重量比最大的產品 (圖 85)，所以我們的第三代車就是以鋰高分子電池作為能量儲存的媒介。

	鉛酸電池	鎳鎘電池	鎳氫電池	鋰離子電池	鋰高分子電池
平均電壓(V)	2.0	1.2	1.2	3.7	3.7
重量密度(Wh/kg)	30	50	70	150	180
容量密度(W/L)	95	150	210	300	320
使用壽命	200	350	400	500	500
毒性	有	有	無	無	無
記憶效應	無	有	有	無	無
放電速率	普通	很快	很快	緩慢	緩慢

圖 85、各式電池比較

我們選擇的是台灣自行製造的【有量科技】的鋰高分子電池。(圖 86)



1. Nominal Voltage: 3.8 V (from 4.20V to 3.00V)
2. Nominal: 1820 mAh
3. Internal Resistance: < 30 mΩ
4. Energy (Wh): 6.88 Wh
5. Energy Density (Gravimetric): 191 Wh/kg
6. Cell Weight: < 36 g

圖 86、LPC356285T Specification

因為要達到 100V—5000Wh 的設計需求，最後決定是 113.4V—4855Wh—25.272Kg、27S26P (圖 87) 的系統，並且是採用先並後串的方式。優點是只要挑選特性相當平均的電池，整個系統可以監測到每一個電池的狀態，絕緣防護也只要到 3.7V 的程度，十分安全。缺點是整體只有一串，若有其中一並完全故障則整個系統完全停止。這點要依靠電池的穩定性及可靠度來彌補。

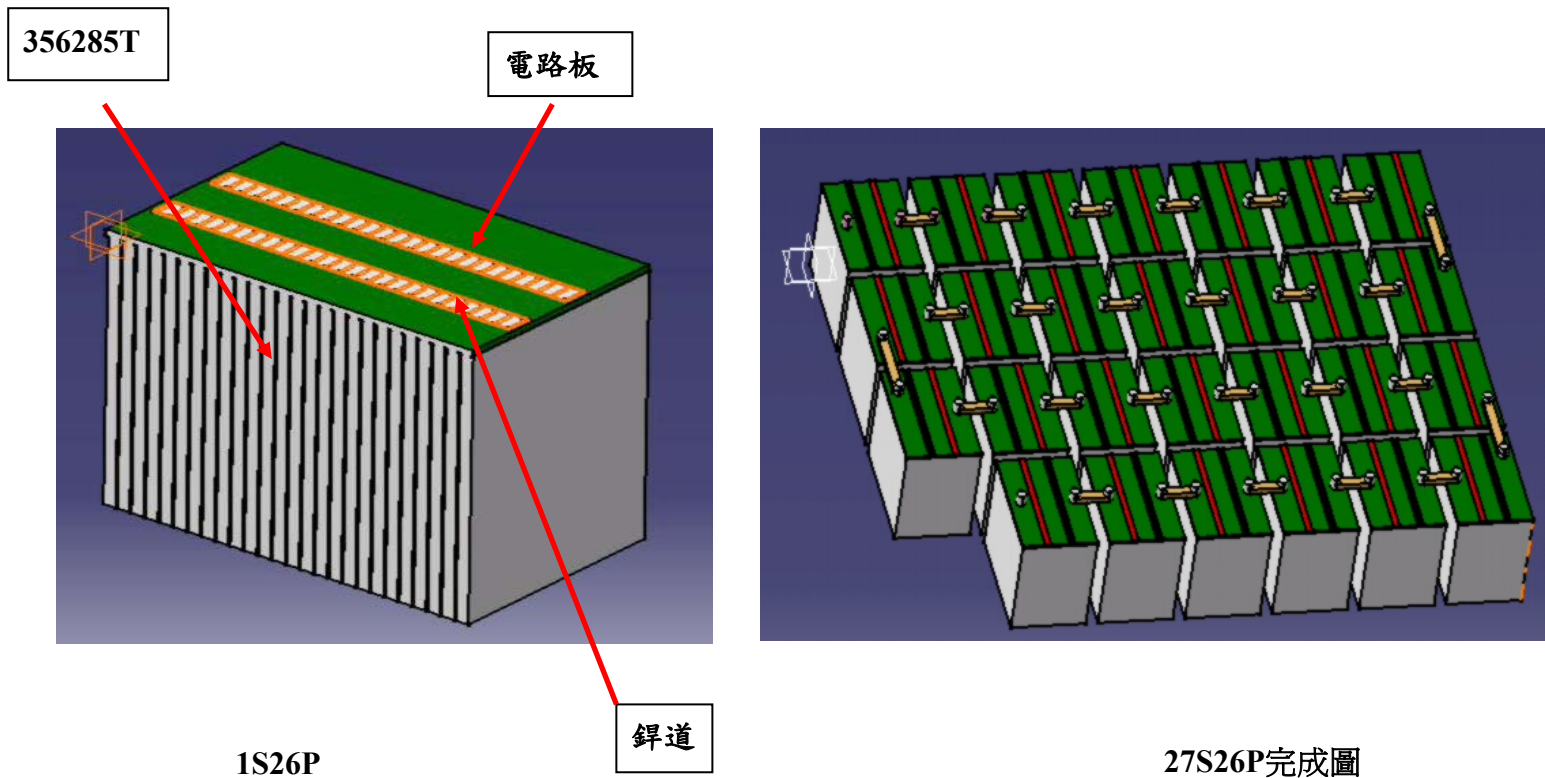
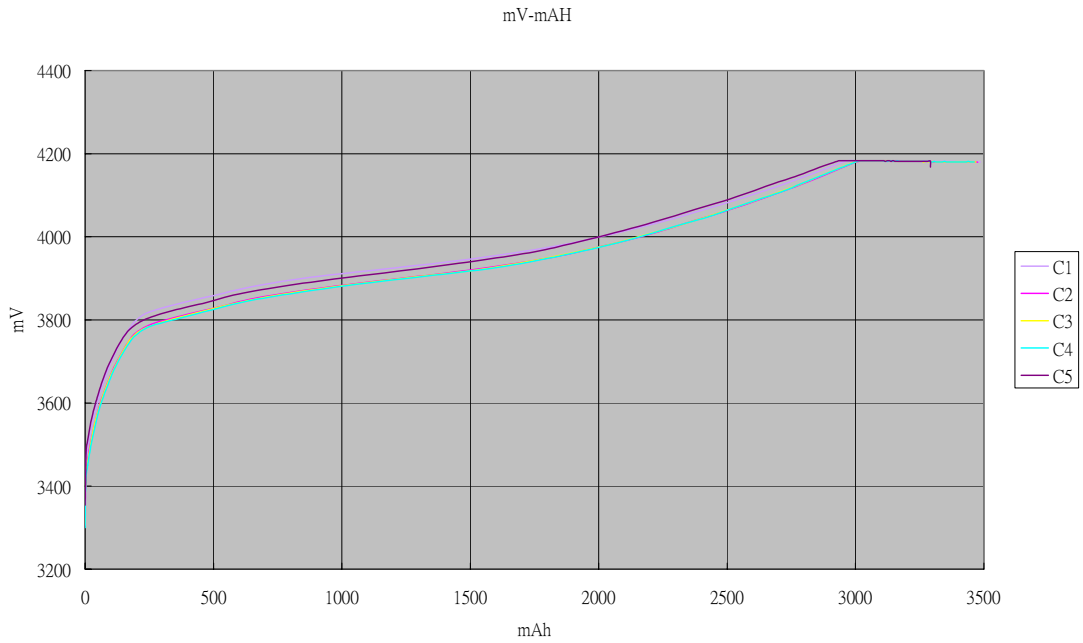


圖 87、電池組設計圖

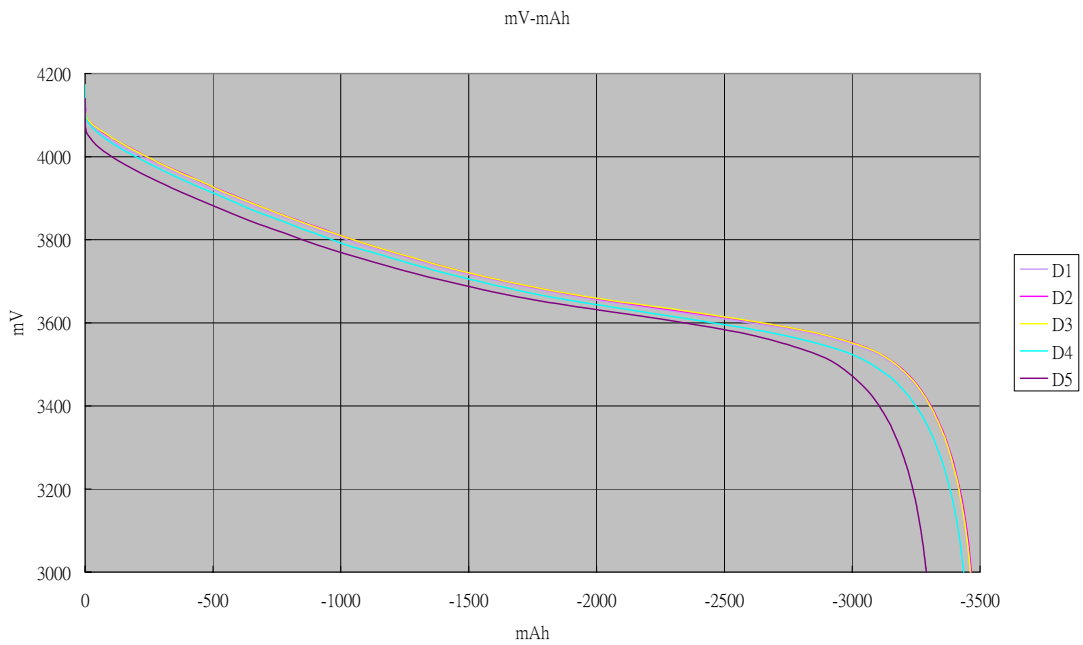
b. 電池充放電實驗：

由有量科技拿到電池後，除了他們出廠既有的測試外，我們也依據需求做了相關的測試：

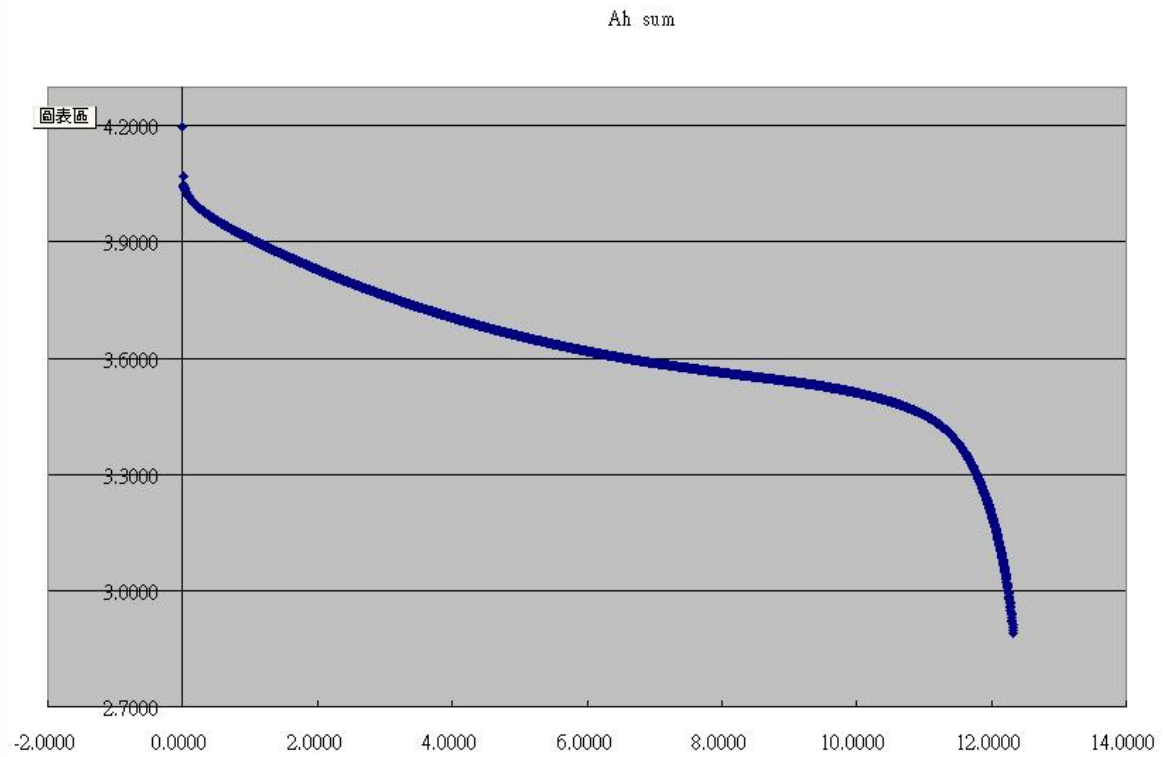
充放電曲線測試：



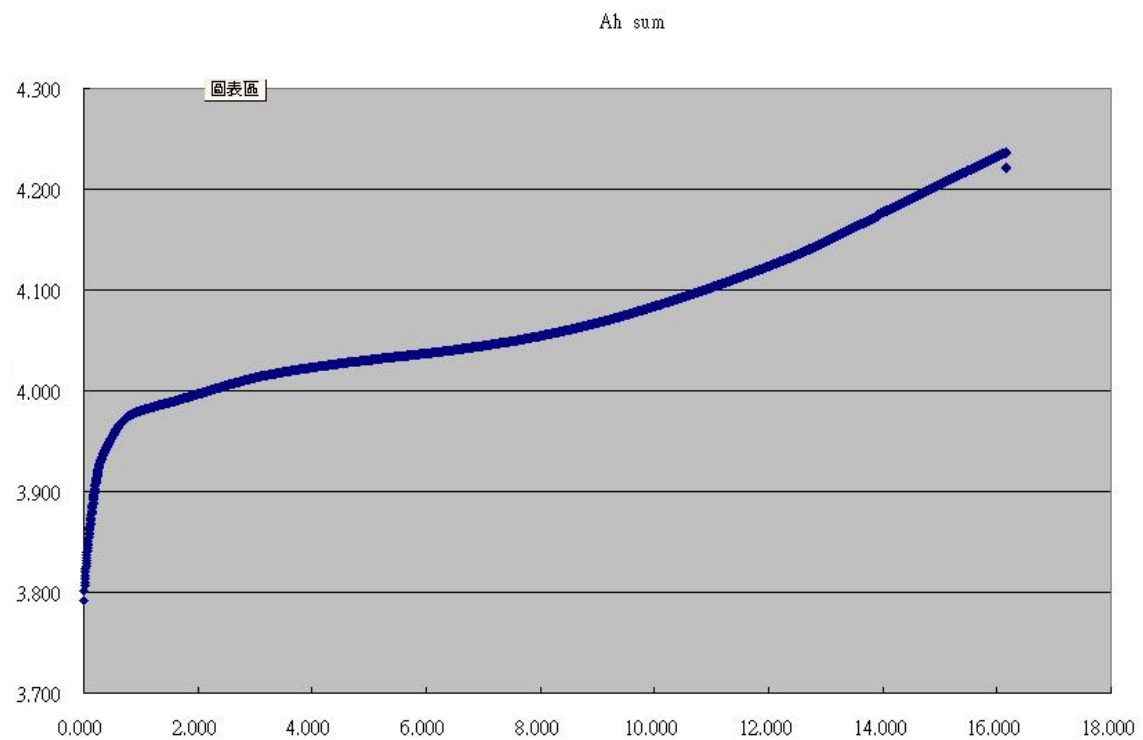
1S2P_0.5C_充電



1S2P_0.5C_放電

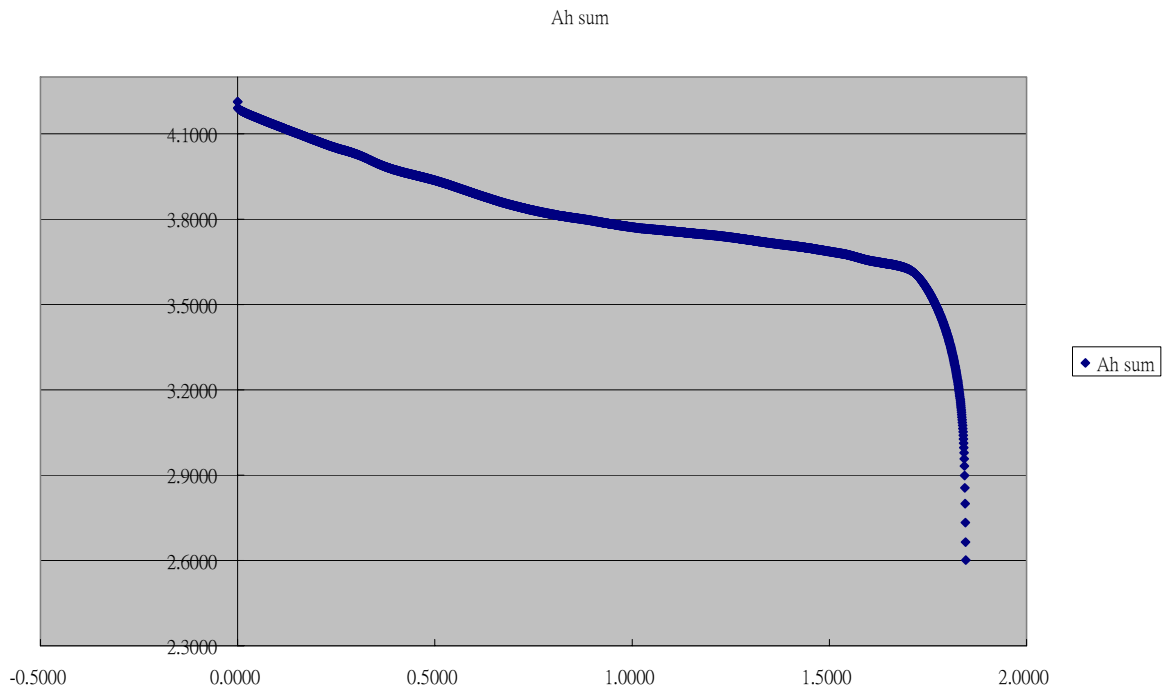


1S9P_0.5C_放電



1S9P_0.5C_充電

SOC 靜置電壓曲線：



1S1P_0.05C_放電

取 0.05C rate 的放電狀態當作是靜置時的狀態，以此當做計算 SOC 時參考的依據。計算電池殘電量時以 Gas gauge 積分電流方式為主，查表為輔，可以得知最精確的數據。

目前電池串並做到 1S9P (圖 88)，採用電路板將 9 顆電池正負極並聯起來，在經過充放電測試、內阻值測試、溫度測試、電池差異測試後，確定使用上沒有問題。接下來進行 1S27P 的製作。

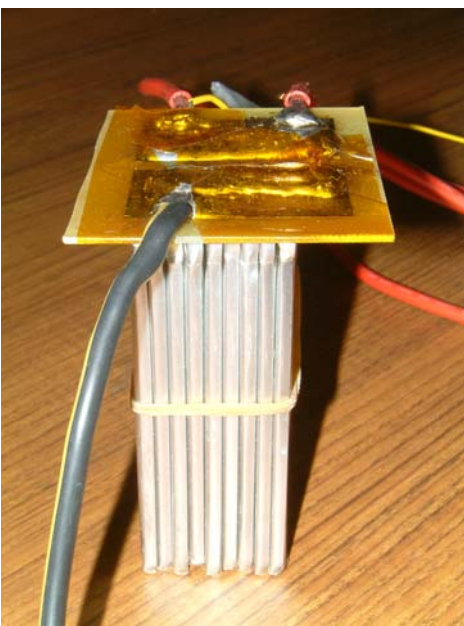


圖 88、1S9P 電池串

c. Gas gauge 應用設計：

Gas gauge 的用途是計算電池箱內部的殘電量。這點在策略的運用上有著相當重要的地位。因為假使我們不了解現在的殘電量，就無法計算出最合適的前進速度。這很可能會讓我們需要提前停駛來為電池充電，或是紮營時殘留過多的電而造成浪費。

因此了解並有效的運用 Gas gauge 變成為一項重要的課題。下面就大概簡述一下 Gas gauge 的原理和試用的過程。

I. 原理和使用說明：

Gas gauge (圖 89) 是使用 NT1908 的晶片來做電流的積分，以達到計算殘電量的效果。由於 NT1908 的輸出為 SMBUS 的格式，因此還需要額外的裝置才能與電腦連接。

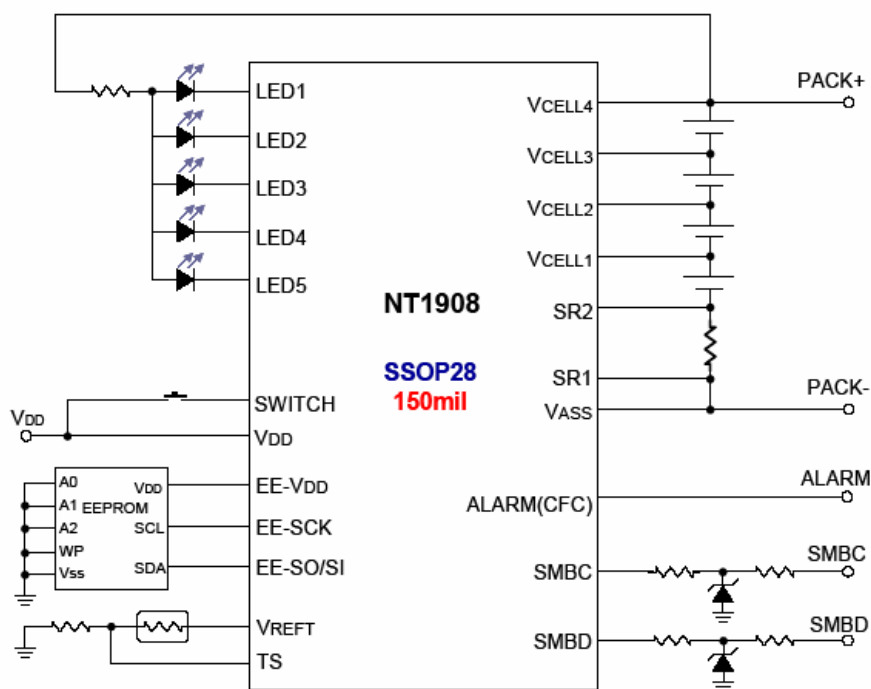


圖 89、NT1908 架構圖

裝置則分成 NT1908 demo 板和 RS232 的连接板兩大部分。(圖 90)

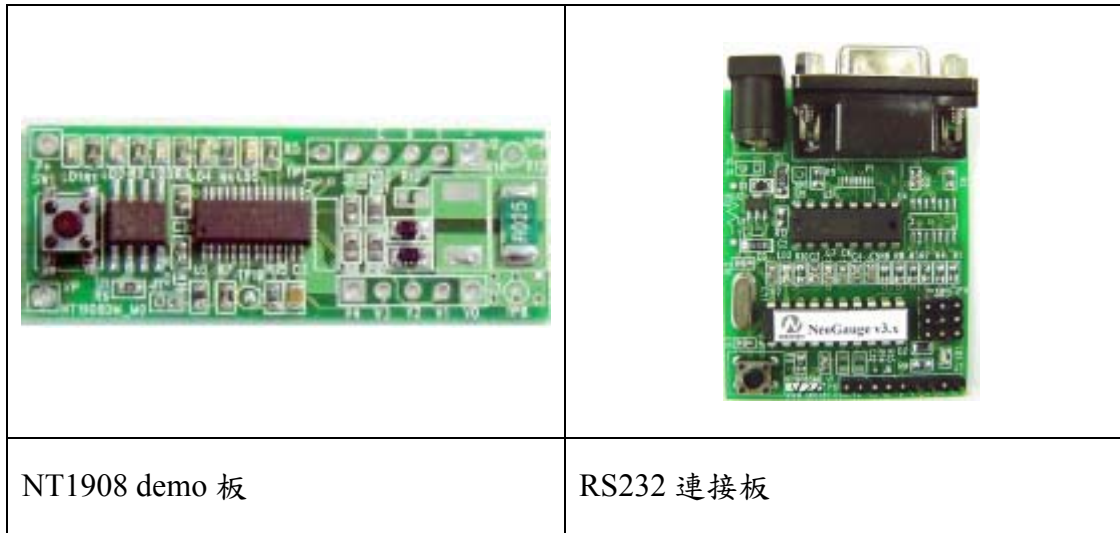


圖 90

兩塊板子之間用三條線連接。分別是 data、clock 和 ground。由於 demo 板是使用連接的電池當作電源，而 RS232 的連接板則是從傳輸線擷取能量，因此並不需要外接電源。(圖 91)

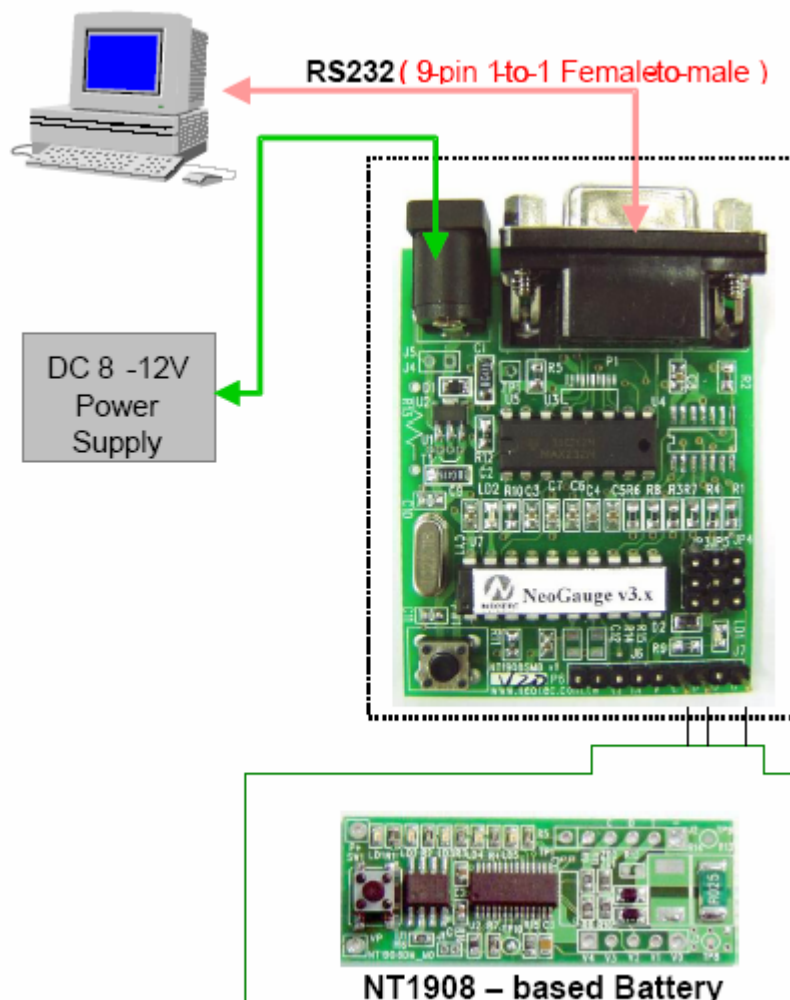


圖 91、Gas gauge system

基本架構是讓主電流流過 demo 板上的精密電阻（圖 92），然後藉由電阻兩端的壓降來算出電流大小（圖 93），然後回傳至 RS232 的轉換裝置後顯示在電腦上。

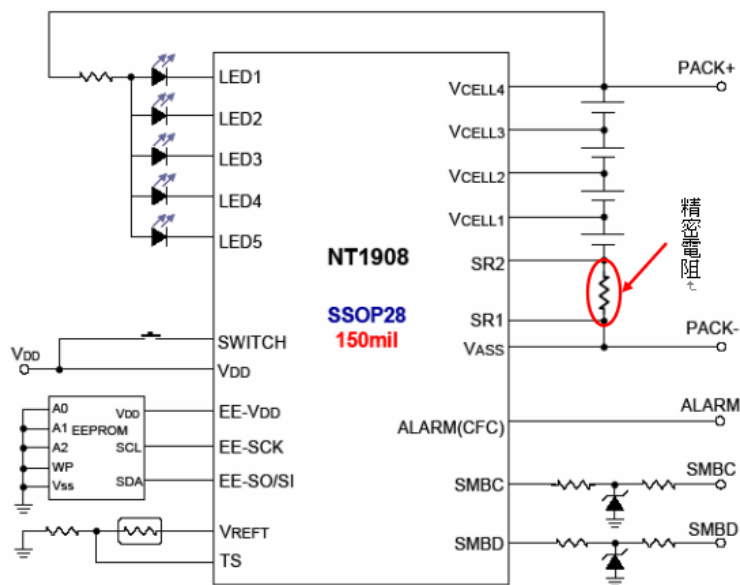


圖 92、demo 板上的精密電阻位置

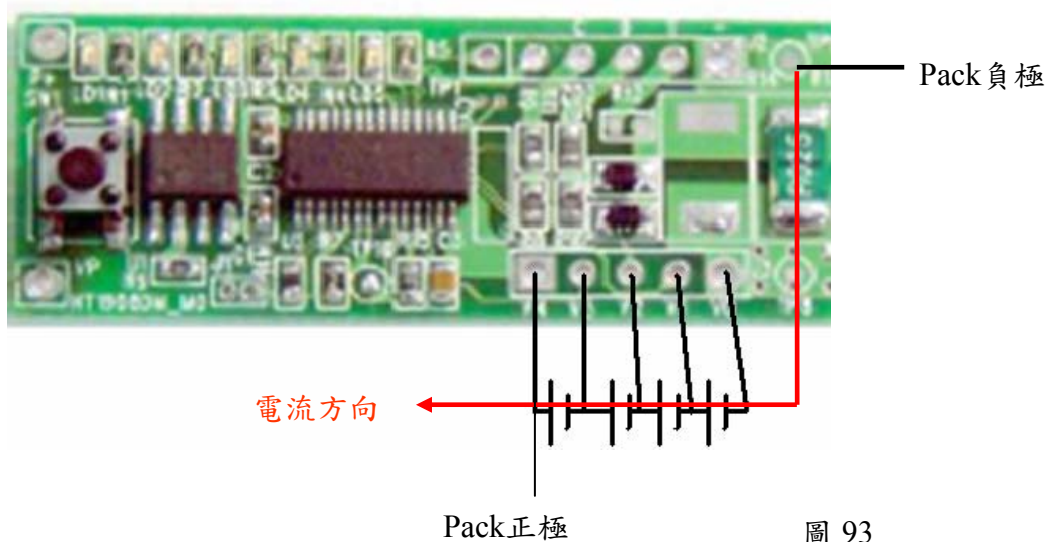


圖 93

讀取的軟體（圖 94、95）則是使用新德公司自行開發的，可以直接讀取所需的數據，也可用此軟體改寫 demo 板上 EEPROM 的設定及電壓電流的校正。

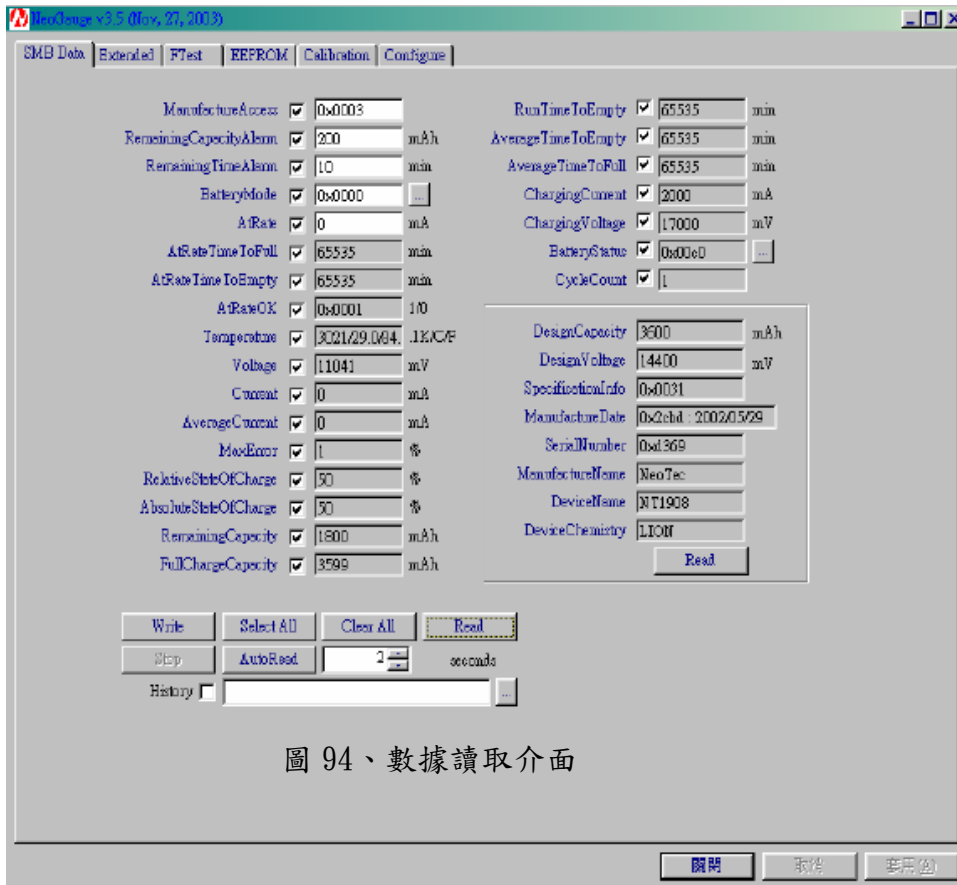


圖 94、數據讀取介面

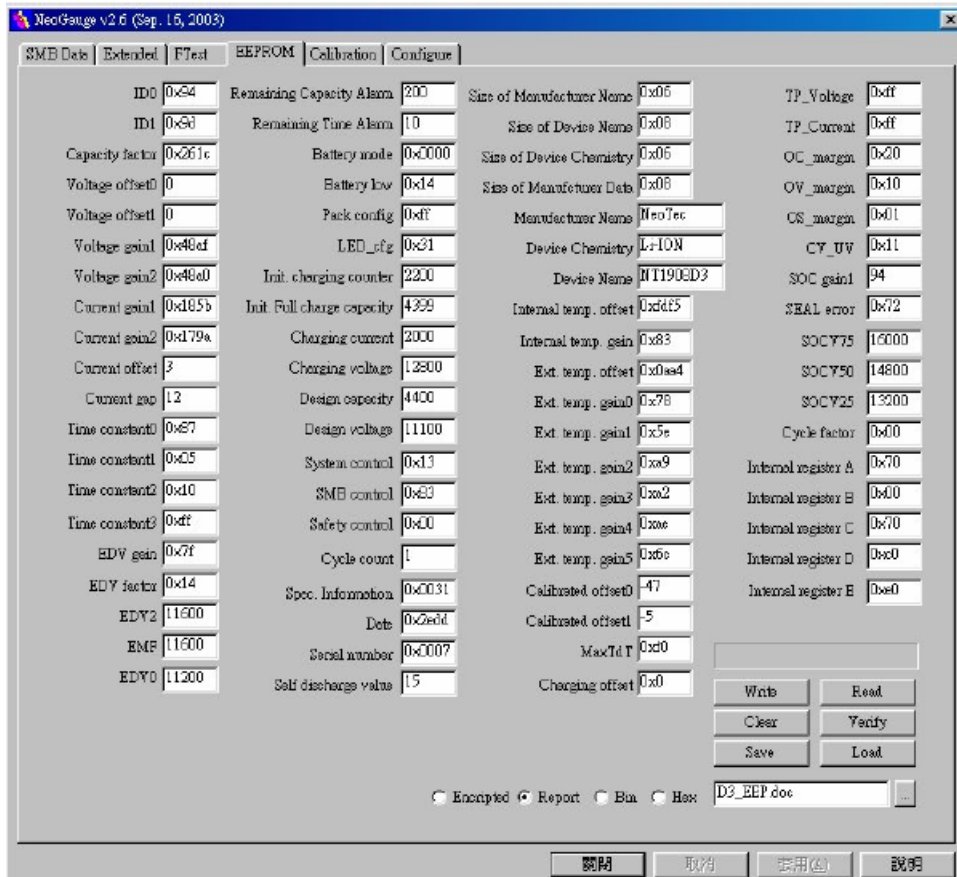


圖 95、EEPROM 介面

II. 原理和使用說明：

由於 NT1908 是將所通過的電流加以積分，而不是用查表的方式來判斷現在的容量，因此必須事先輸入電池現在的殘電量，或是將電池做一次完整的充放電(一但電池的電壓升(降)到額定值，NT1908 會自動將電池的殘電量定為 100%(0%))目前的用法是查表後輸入電池現在殘電量，之後再由 Gas gauge 積分運算。

使用時先將 demo 板連接上四顆串聯的電池 (圖 96)，然後從第一顆的正極拉出 pack 的正極，再從 demo 板上拉出 pack 的負極 (圖 97)。然後連接上 RS232，(圖 98、99) 使用軟體來設定電池現在容量。接著再試著充放電，觀察 Gas gauge 是否能正確顯示電池的殘電量。

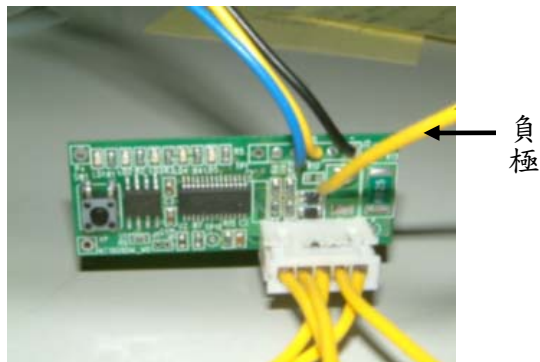
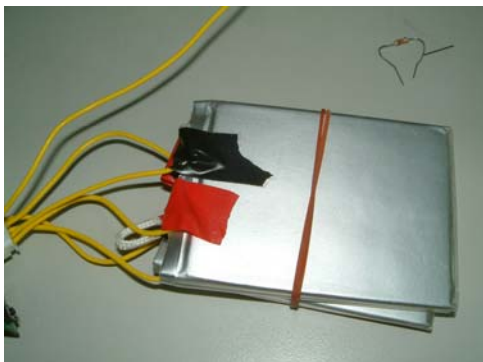


圖 98、連接 RS232

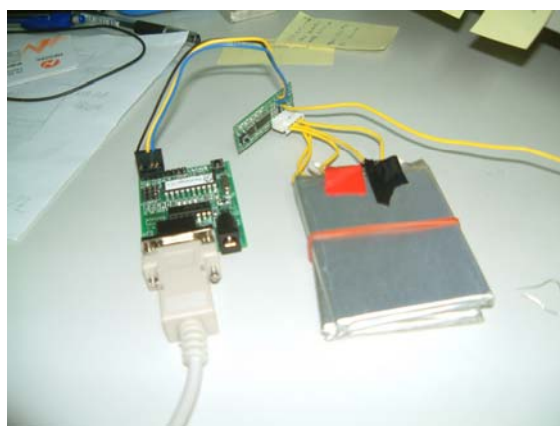


圖 99、整體架構

III. 結論與檢討：

實際使用時還有下列幾個問題：

- 電池的瞬間電流會高達 60A，但 Gas gauge 所能量測的電阻跨壓只有 150mV。因此，若使用原本的電阻(25mOhm)最高只能量至 6A。
- 電阻本身也需要能承受相當大的瓦數，不然可能會損毀。因此若使用舊的電阻(1W)就必須要承受 90W。因此舊的電阻完全無法使用。

之後我們去找了一個 1mOhm 的 Shunt (圖 100) 才克服了這些問題。

- 由於程式最高只能顯示到 15A，因此我們必須將顯示的電流值設

定為實際值的 1/10，連帶要修正容量值和許多的參數，費了相當的功夫才解決這些問題。目前的目標是撰寫一程式讓 Gas gauge 直接將資料傳至 micro chip，以減少電路的複雜度。以及並聯 10 個 20mOhm 的電阻來取代 Shunt 以減輕重量。

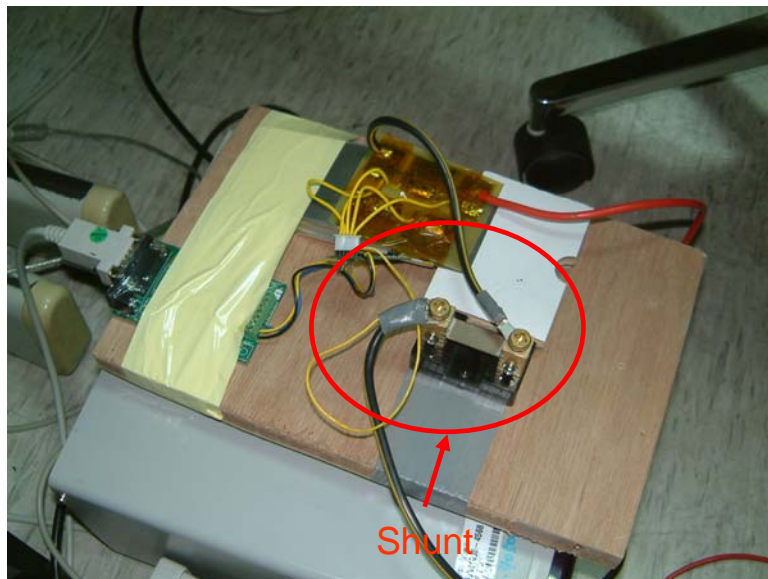


圖 100、1mOhm 的 Shunt

13. 電路規劃要點：

- a. 無熔線斷路器由 4+1(士林電機)個變為 1+0 個
- b. 單個無熔絲斷電器組抗由 6~10mΩ 降為 4mΩ
- c. 單個重量由 160 公克降為 117 公克
- d. Pre-charge 開關的省略，由無熔絲斷路器上第二組開關取代
- e. 緊急開關方面，MPPT 輸出至主集線盒開關由在主線路上的無熔絲斷電器改成 Link for on 線路上的電子式開關
- f. 上下殼接線簡單化，只需要一組多孔連接器（圖 101）



圖 101

- g. 電池箱連接外部電源線及訊號線使用一個 Han Module 連接器（圖 102），簡化又堅固牢靠

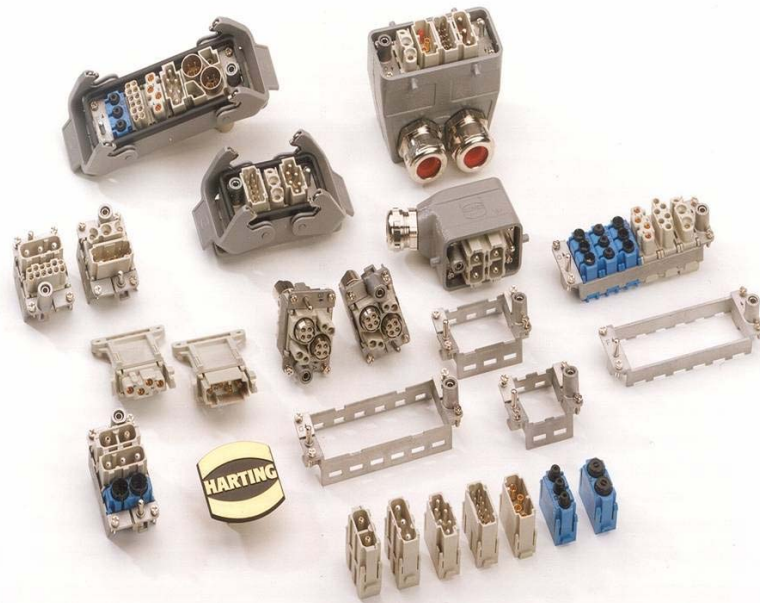


圖 102

- h. 主線路簡單化
 - i. 駕駛艙內全改成電子式開關(即使用 MOS 功率開關)，讓駕駛艙內接線簡單，也提升駕駛安全，12V 電器接線也簡單。
 - j. MPPT 訊號(Vin & Iout)由 MPPT meter 來，省去接上分流器(shunt)所增加的阻抗。電池輸出訊號(system voltage & battery Iout)由 gauge 來。
 - k. 電線改用鐵弗龍 7 股耐熱銀線，耐熱(200°C)較 PVC(105°C)線高，阻抗較小
 - l. 集線盒(6P)簡化成兩個(主集線盒)
 - m. 12V 電池改為 100V to 12V converter，12V 電器電壓穩定
14. support vehicle 太陽能模組：

對於 2005 年的世界太陽能車大賽，我們 FORMOSUN 車隊希望能善加利用太陽能，不只是太陽能車，連其他 support vehicle 上的各式儀器、各種電器用品...等，希望在整個比賽過程中，盡量都使用太陽能板來供電，以達到真正善用太陽能。

a. 研究方法：

目前的計劃是將上一代太陽能車 (FORMOSUN II) 所剩下的一些已封裝的太陽能板，利用這些太陽能板來充鋰電池 (原二代車所用剩下的)，再用這些已充飽的鋰電池提供電能給各式儀器、電器用品。因此，整個設計過程可以分成三個部份：

- I. 要先知道有哪些儀器、電器用品可以以這種方式供電?單位時間需要多少電能?可以使用多久?...等
- II. 有了第一項的結果，就可以開始推估所需的太陽能板面積，以及鋰電池數量，然後開始進行實驗，最後再以實驗結果修正真正太陽能板所需的面積以及鋰電池數量
- III. 最後則是如何將太陽能板架在 support vehicle，數量要怎麼分配？

b. 可以用太陽能板供電的儀器、電器用品：

名稱	消耗瓦數	需要使用時間
1.Notebook	56W/個	16hr
2.CB (澳洲當地使用的長程對講機)	?	10hr
3.對講機 (短程用的)	2W/個	10hr

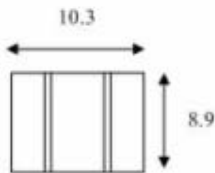
(每台使用 3 顆 3 號 Ni-H 電池)

4.警示燈	20W/個	9hr
5.探照燈	100W/個	3hr
6.DV	35W/個	9hr

c. 可用的太陽能板：(註：每個格子代表的是一塊太陽能板，大小如圖 103)

已封裝

西門子 15.5%
0.55V
91.67cm²



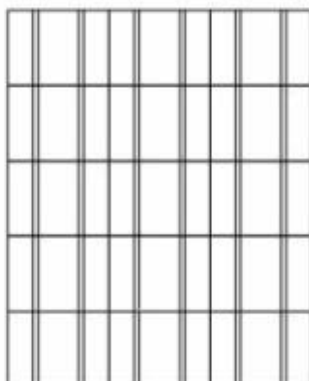
8.37W
3.3V
2.536A
550.02cm²
共1片



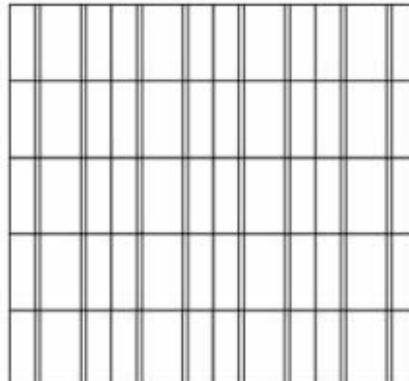
6.975W
2.75V
2.536A
458.35cm²
共6片



13.95W
5.5V
2.536A
916.7cm²
共4片



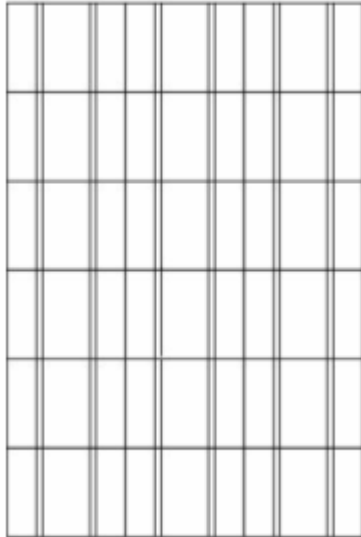
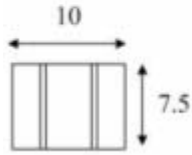
20.925W
8.25V
2.536A
1375.05cm²
共16片



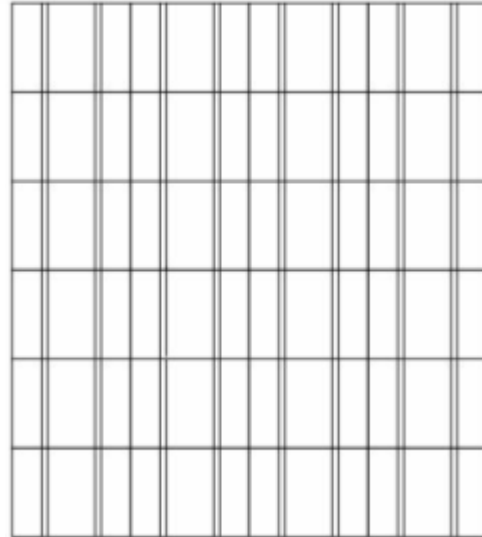
27.9W
11V
2.536A
1833.4cm²
共7片

已封裝

士林電機 16%
0.55V
75cm²



20.925W
9.9V
2.113A
1350cm²
共5片

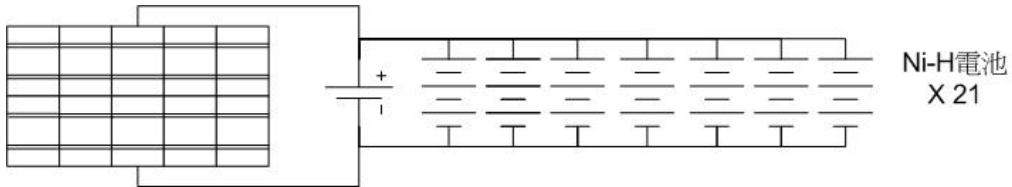


27.9W
13.2V
2.113A
1800cm²
共4片

圖 103、可用的 solar cell

d. 太陽能板充電設備的分配：

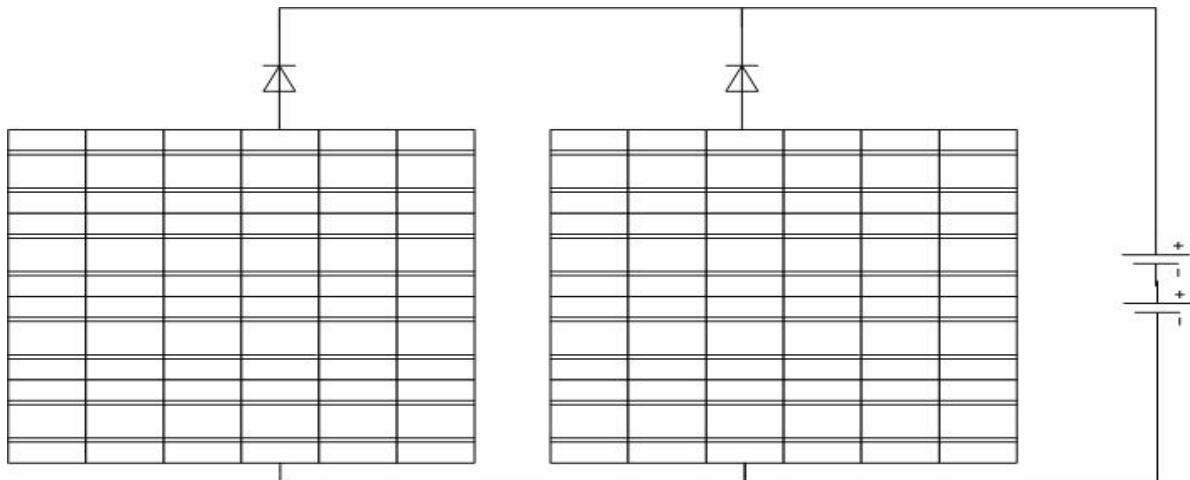
I. 3 號電池充電設備：



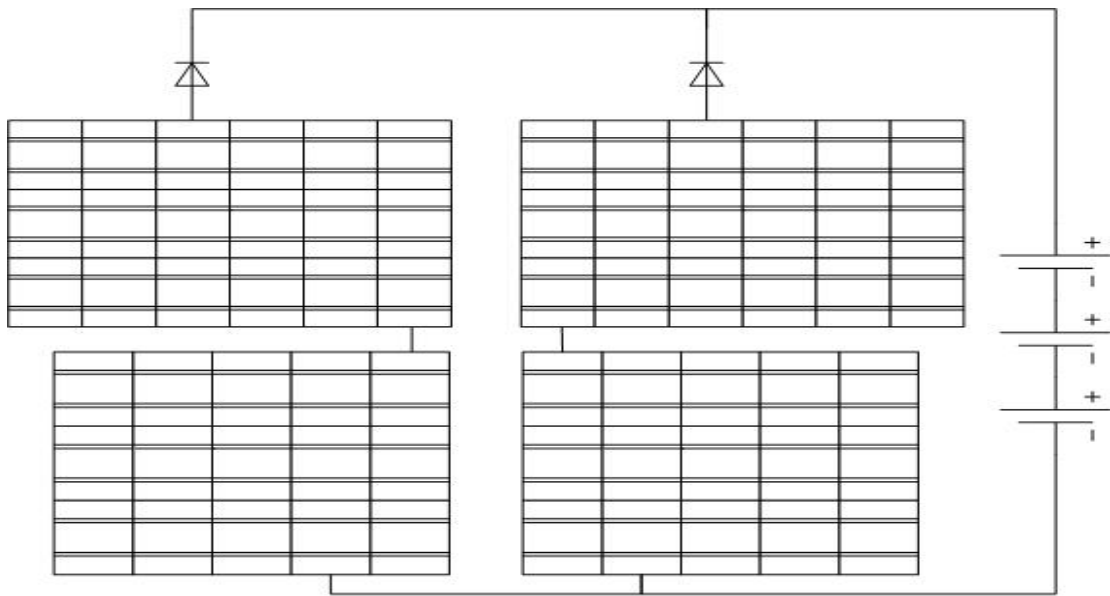
鋰電池X1

一組可以充21顆三號Ni-H電池
共兩組 可充42顆

II. Li 電池充電設備：



士林電機 (24片) 並聯
每組可充2顆鋰電池 面積
0.36m²
共2組 可充4顆鋰電池

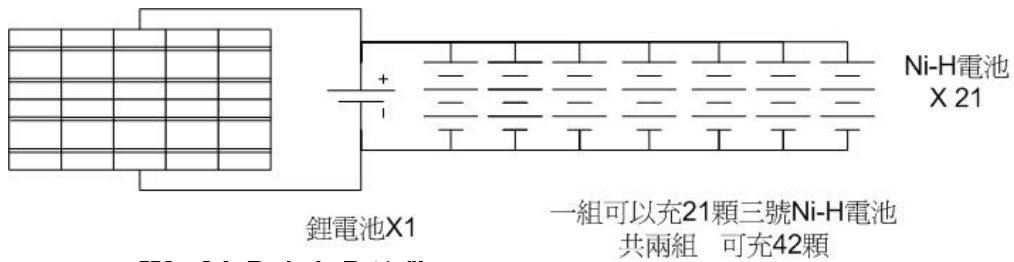


西門子 (15片) 串 士林電機(18片)
 每組可充3顆鋰電池 面積 $0.545m^2$
 共2組 可充6顆鋰電池

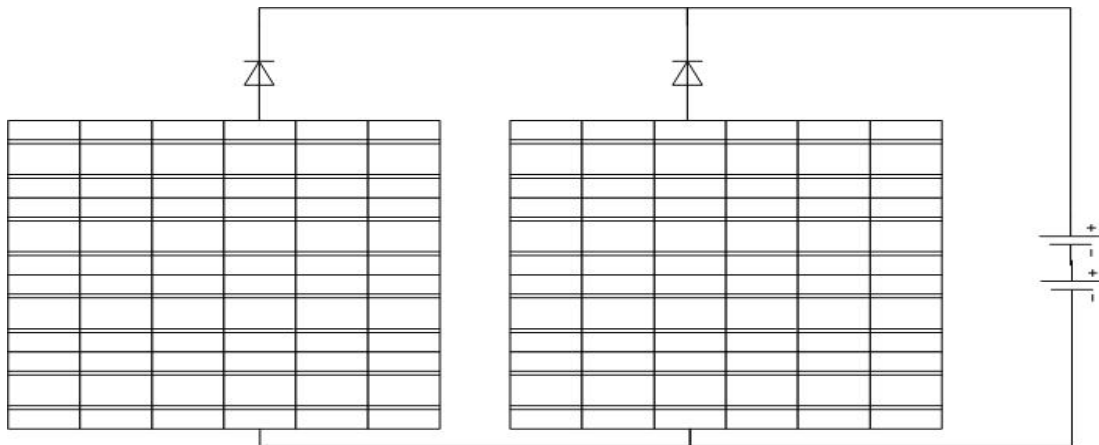
圖 103、可用的 solar cell

e. 太陽能板充電設備的分配：

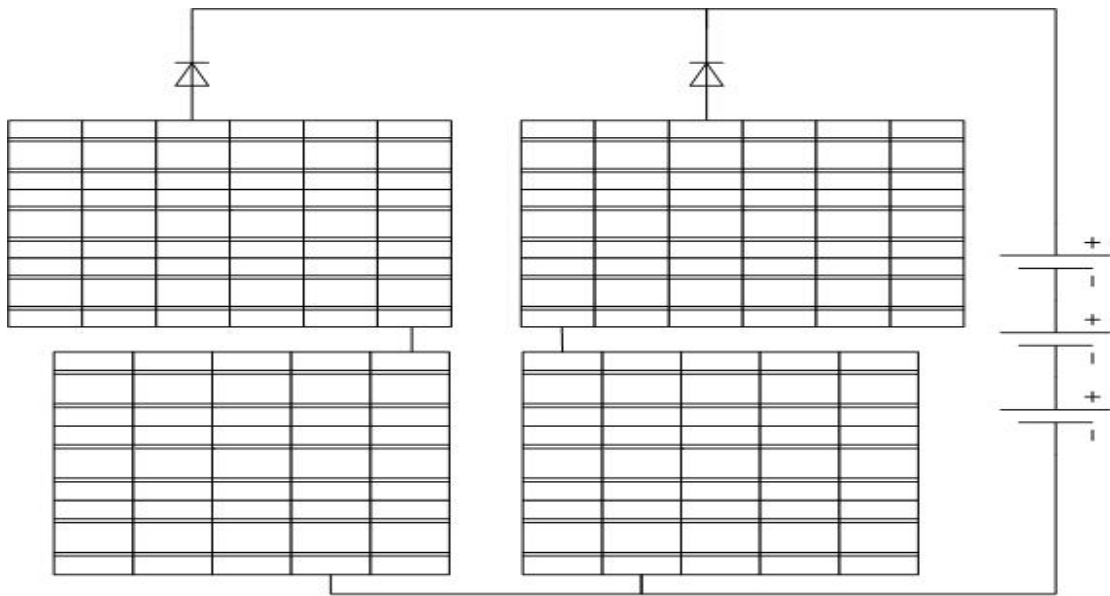
III. 3 號電池充電設備：



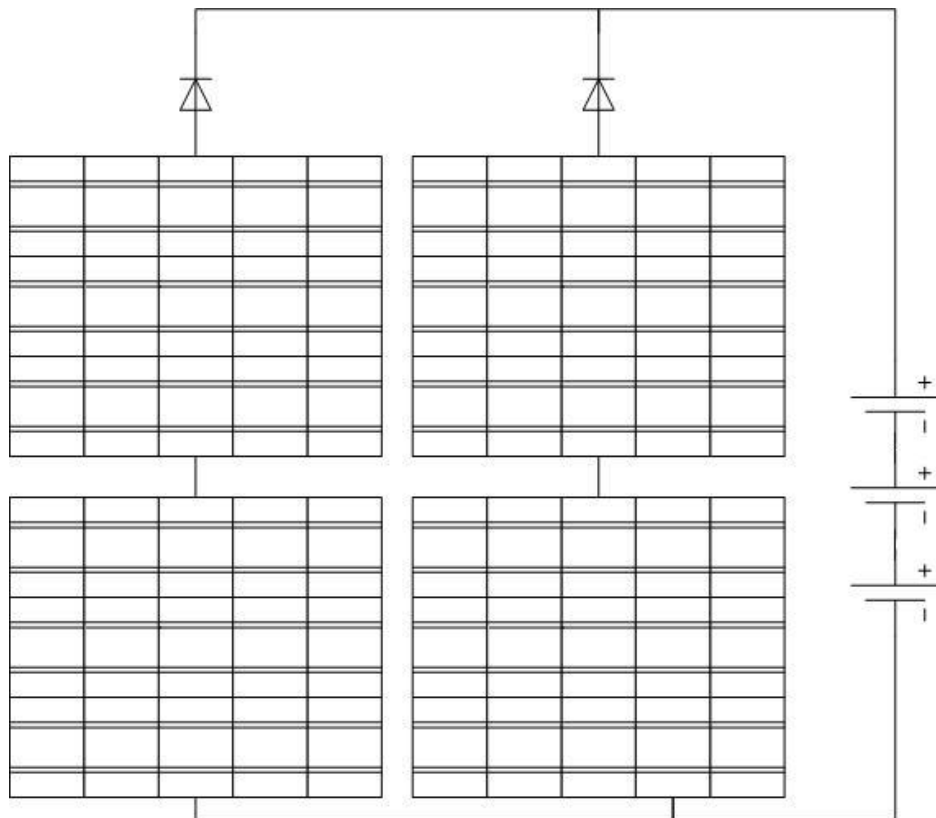
IV. Li 電池充電設備：



士林電機 (24片) 並聯
 每組可充2顆鋰電池 面積
 $0.36m^2$
 共2組 可充4顆鋰電池



西門子(15片) 串 士林電機(18片)
 每組可充3顆鋰電池 面積0.545m²
 共2組 可充6顆鋰電池



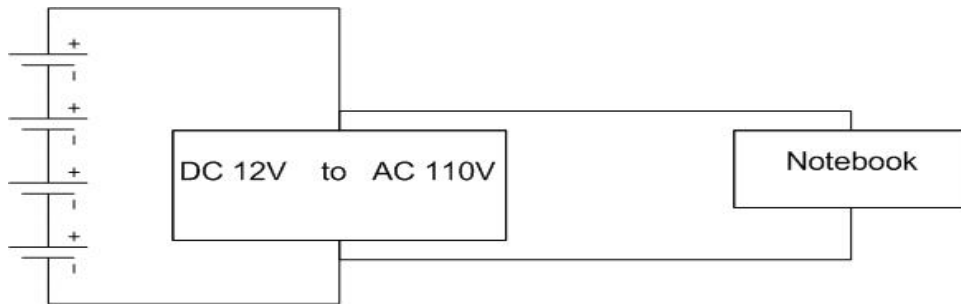
西門子(15片) 2s2p
 每組可充3顆鋰電池 面積0.55m²
 共3組 可充9顆鋰電池

目前構想是用四顆 Li 電池接車充 12V，然後用變壓器轉成 AC110V，最後在供給其他電器使用。

f. 目前電器、儀器的測試結果：

I. Notebook：

目前實驗結果來看，4顆鋰電池可供 notebook 使用 5 個小時左右，而且可以把 notebook 的電池充到 90%左右。

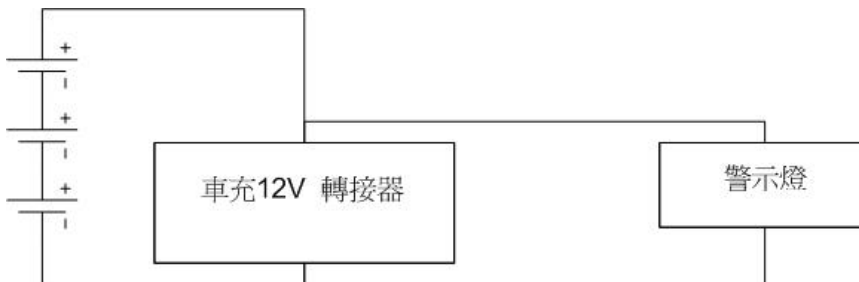


II. 短程對講機：

每台使用 3 顆 3 號電池，(充電裝置上面已有解說)，一次充飽的 3 號電池可持續使用 6 小時。

III. 警示燈：

因為警示燈本來就是使用車充 12V 的接頭，所以不需要再接 DC to AC 轉接器。



至於其他 DV 的數據尚未完成，長程對講機因為是使用當地的，目前還未找到相關資料。

IV. 目前 sunnort vehicle 的配置圖：



第一 前導車 1 (四人座轎車)
相差 50 km

第二	前導車 2	(九人座廂型車)
相差	50km	
第三	前導車 3	(九人座廂型車)
第四	FORMOSUN III	
第五	後衛車	(九人座廂型車)
第六	維修車	(九人座廂型車)
第七	trailer+工具	拖車

除了第一第二車，其他車輛一起行動

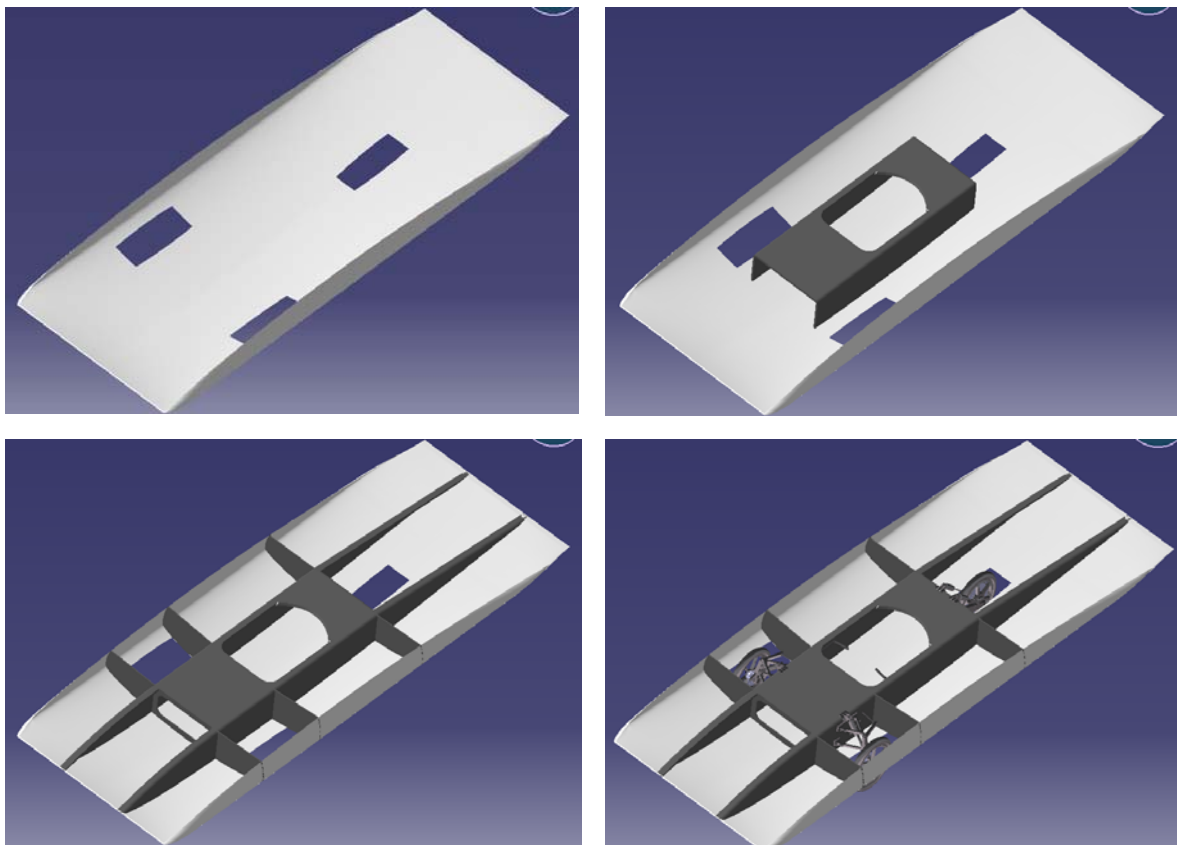
原則上，第一車不放太陽能板，其他第 2、3、5、6、7 車，都可以架設太陽能板，架設方法：先用碳纖維當底，鎖在車架上，上方鋪太陽能板，見圖 104

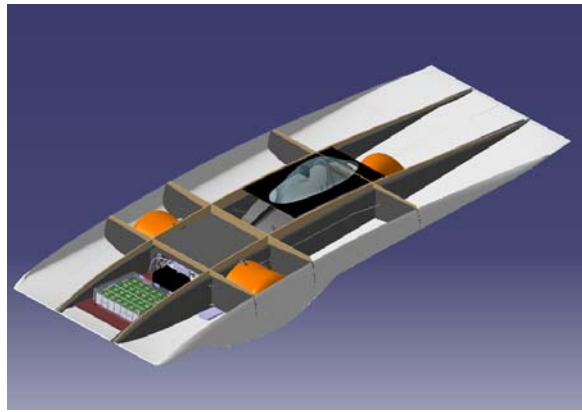
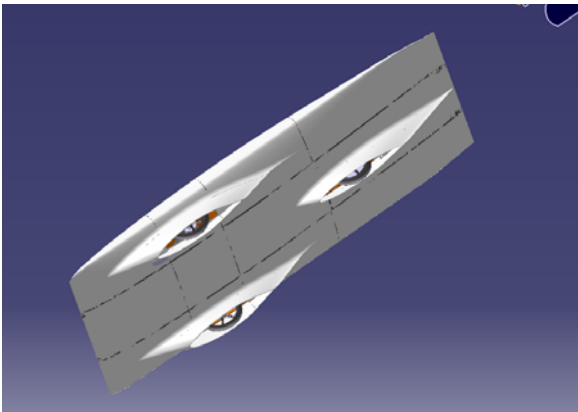
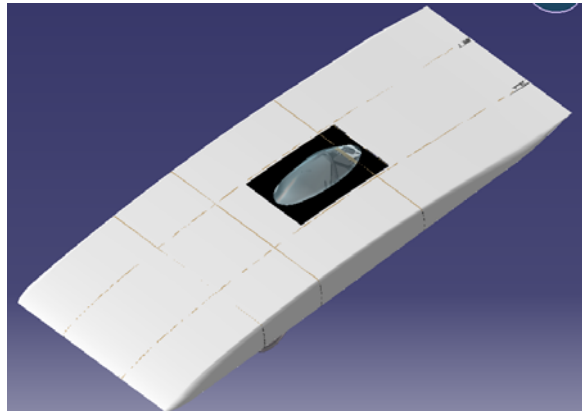
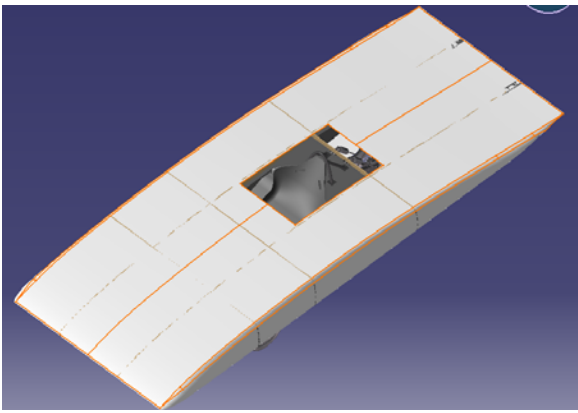
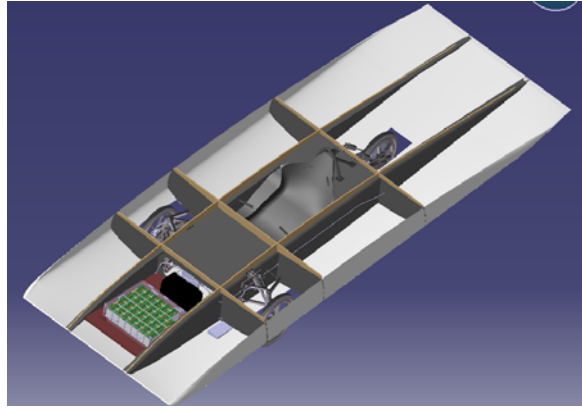
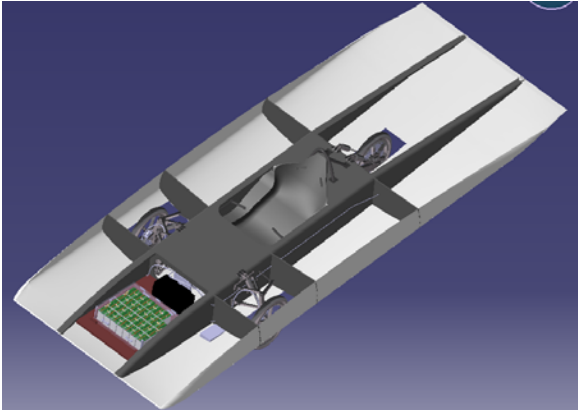
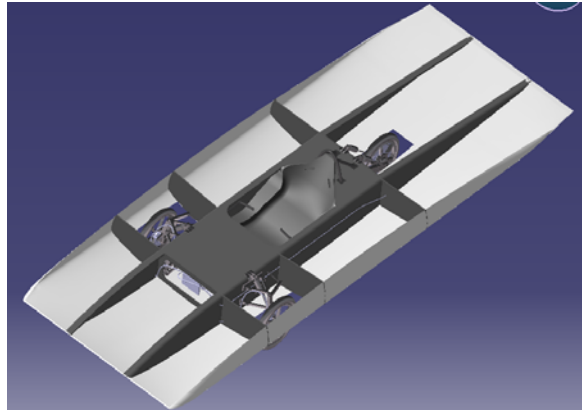
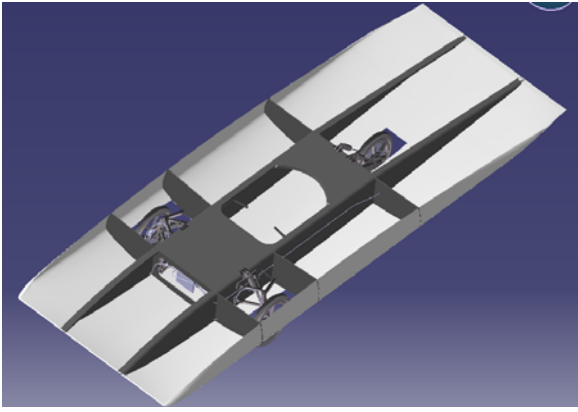


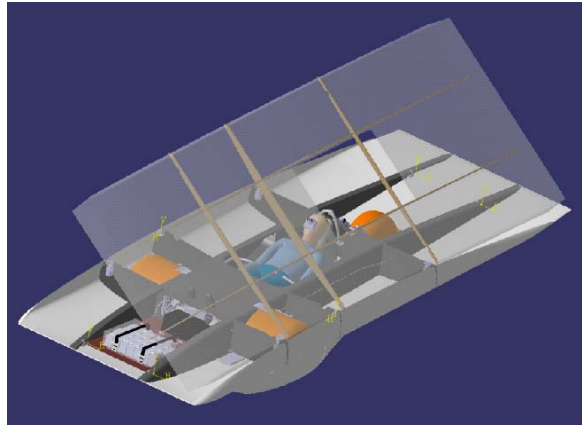
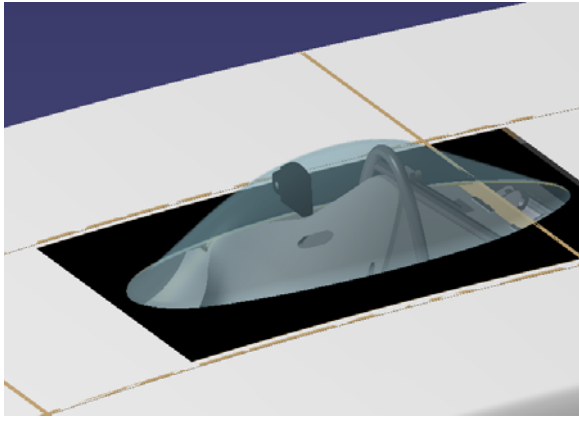
圖 104、support vehicle solar cell 鋪放方式

15. 設計整合：

經過多次的成果報告、討論會議，各部分設計皆達到完工階段，而各部分在電腦上的設計圖檔也建立完成。為了確認各部分在組裝後不會發生問題（尤其是干涉問題），進而造成製作時需重新更正設計之窘況。故於設計最末，我們在電腦上進行了一次全車系統組裝。（圖 105）







第三部份 — FORMOSUN 3 製作

1. 製程規劃：

a. 製作方式規劃：

為了讓車子在圖面上的各部分，於有限的時間下出現在現實世界上，有效且實際的製作方式是必要的，因此在製作之前勢必要全盤計畫過一次才行。例如：車殼製造要先有母模，母模又需由公模翻出，而前述各部份又要用我們擁有的何項技術完成？需要研發新技術嗎？要不要作試片、實驗？另外要用什麼材料，材料是否要採買，何時一定要買進？

所以我們各組皆會先完成製作方式的規劃，並對整個團隊報告，檢討、修正其中不合理處，最後張貼於工廠，不但可使製作的進行更加循序漸進，製作前的查閱更可在一團混亂時提醒製作者其中容易遺漏的部分。如此一來，錯誤和浪費時間的動作都可以大幅度的減小，相對的工作效率也會比二代車時更為提升。

b. 製作流程規劃：

在製作方式訂立後，各組便可依照這些製作方式的先後順序、所需時間，去訂立出負責部分的流程圖。當然，由於各組間的相關性、前後關係，各流程勢必會相互牽制。所以在經過多次的溝通、協調後各自的流程、時間表才會成形。最後整合各部流程圖，便完成了全車製造流程圖。其中除了包含各部製作的前後關連性外，製作時限也是一個內含的重要資訊，同時也是檢討會議中的重要依據。

c. 人員配置規劃：

在製造方式規劃完後，各組各階段所需的人力便可以略微估算出來。在配合到：各組製作流程、全車製作流程上（附錄三），便可看出在全車製作的各時間點上，人員配置的重心各在何處。在針對這些情形適時的做出人力調動，這樣才不至發生時而人力短缺、時而人力過剩的情形。

d. 小結：

在實際情形上常常有超乎預測的情形發生，所以定期召開檢討會議，針對進度

落後、新工作出現.....等問題即刻修正時程、重新調配人力也是製作成敗的重要一環。

2. 製程過程：

a. 模具製造：

I. 公模：

在第二代車的製程上，我們會先用木板釘出隔版，再填入泡棉切出基本外型，接著覆蓋上一層裝潢補土、玻璃纖維、汽車補土，修整完畢後再噴上數層船用膠殼，最後研磨至 2000 號。整個過程實為龐大且複雜、耗時。所以此次我們將基本的外型建造改用 CNC 切削堆疊為適當外型的木板來取代，除了時間縮短外，精準度也大為提升。



另外，將在表面多層加工的部分簡化為只用一層汽車補土（實驗確認其脫模性後）也大幅縮減了加工時間，尤其是噴塗、研磨膠殼的部分。

II. 母模：

於母模的製作上我們也有了大幅的進步：

● 玻璃纖維鋪放預先規劃：

二代車母模玻纖的鋪放常為了備材快速而用足量長方條來拼置，因此再轉角、曲面的部分，常因纖維張性而無法確實貼佈，進而生成孔洞。或是於現場直接以剪刀修正剪縫，我們認為並不甚佳。

在這次手積玻璃纖維過程前，先用透明膠帶翻製出取面外型，再藉此設計剪裁攤平方式，最後在依所需數量大量複製。這可以使我們的纖維服貼的包覆在公模表面上，大幅減少縐折孔洞生成，也可排除許多胡亂修剪的時間浪費。另外，事前規劃的剪裁方式，可使各層切縫相互交疊，使模具可靠耐久性更高。

● 抽真空壓實母模：

手積完後，我們又加上了一個抽真空的步驟，在有效利用 release film 下，可

使纖維間膠量充足，分佈均勻，氣孔減少。使最後完成的母模氣密性極佳，在之後的製作成敗上有相當的重要性。



- 支撐框架製作：

由於車殼母模（大型母模）尺寸巨大，若無框架強化，曲折、扭曲的問題是顯而易見的，於二代車製造時是在事後以木板堆疊彌補此疏失，但每次移動，形狀的變化是必然產生的。所以我們於母模背面加了強化框架（玻纖、木板、玻纖夾板），結果真的使模具的剛性提高許多，另外於外側框架挖了許多手把，使搬運上也方便許多。

- 視需求加入強化泡棉：

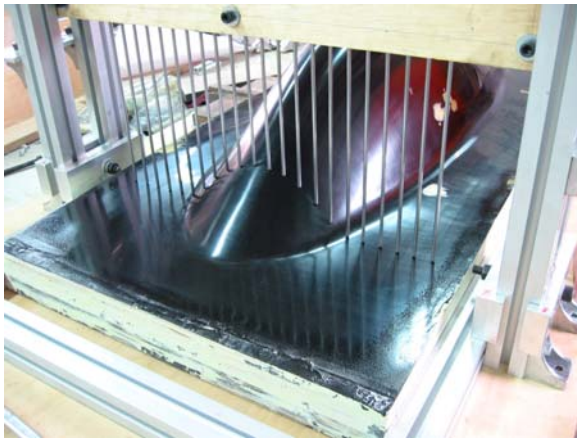
由於製作隔板相當耗工費時，所以在小型的模具上，我們便以耐熱的結構泡棉填入模具中，來提高剛性



定位量測：

有鑑於第二代車除了模版可檢驗尺寸外，之後各步驟的尺寸便得聽天由命，完全無法掌握、更別說要修正尺寸了。由於第三代車的空間利用更為密集，相互配合的接縫長度比二代車長，且誤差的接受度更低，所以尺寸的掌握是相當重要的。又加上尺寸巨大，一般的量測平台皆是無法使用的。

因此，我們先自行調教出一個長六米、寬兩米二的水平工作平台，接著製作了一個截面量測儀器，使我們可以記錄下各部截面尺寸，接著訂立可接受的公差範圍，並依此修整偏差的部分。



除了各部的相對誤差量外，整個模具在空間上的絕對座標系也是要建立的，但是在“尺寸巨大”的情形下，線段的連接已成為必然，所以任何再精準的長尺角尺皆已失去其參考價值。因此我們使用了兩種方式來解決此問題：

- 用繃緊的釣線架起整個座標系：

用小釘子固定釣線，先由事先決定的基準邊做起（多為長邊），在利用大角尺逐步拉出另外三邊，最後再量測各線段長度夾角，確認座標系的精準性至可用階段。

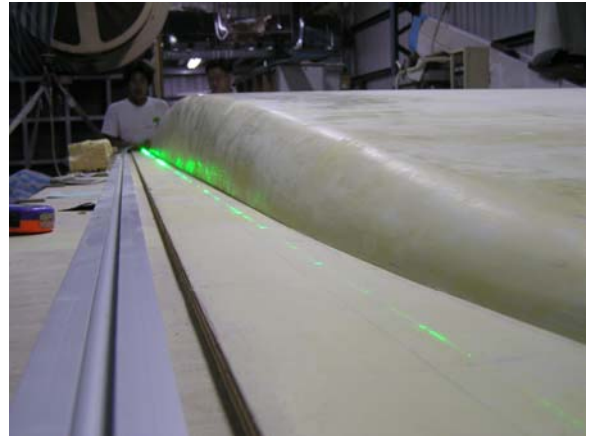
在座標系確立後，我們可以得到分模面與座標系之相對距離，進而確定實際長寬。更重要的是，詳細記錄這些相對距離可使我們於製作另一半模時，真正掌握分模面之輪廓線，使後製作的另一半模可與先行製作的半模，於交界輪廓上係密接合。

- 雷射定位：

在一個平面上，釣線定位方式幾乎解決了所有問題，但在曲面上時，一切情況卻又改觀；尤其於母模定位上，因為繃緊的線條無法緊貼於需定位的表面上，而用尺連接的線除了連接的誤差外，又多了其隨曲面扭曲偏移的問題。最後我們想到了雷射。

我們利用模具的水平面架設了一個三向雲台，並將一枝雷射筆固定於其上，鎖定雲台兩個旋繞方向。於模具前後平面處（分模面）以先前的方法各定

出一點（直線會通過之兩點），接著利用雲台使雷射筆在單軸旋繞下光點可通過作記號的兩點，如此一來便可以藉由單軸的旋繞，作記出一條可信直線，以供定位。



b. 車殼製作：

第三代車的車殼比二代車要複雜很多，配合面也相對的增加很多。因此互相配合的各零件，其製作先後順序、方法都需要更細密的規劃、改進。

I. 假太陽能板：

於此次設計，我們想將佈放於車殼表面的 solar cell 沈入車殼中，所以在車殼上得預先做出凹槽來，因此在車殼製作前會先用玻璃纖維做出所需空間的假太陽能板。同理，只要在接合面、表面需要預留空間的部分（車燈罩、canopy frame 和車殼配合的 dual lock），都會以相同方式先行做出。

II. 相互定位：

為了確保各部配合面的緊密性、接合性，於車殼的製造上我們用相互配合定位的方式，將各部分逐一做出。（後製作者以先前製作者為模具）。所以我們在 fake solar cell 做完後，先作 canopy frame，再來是框住 canopy frame 的上車殼，而側板則留到最後製作。



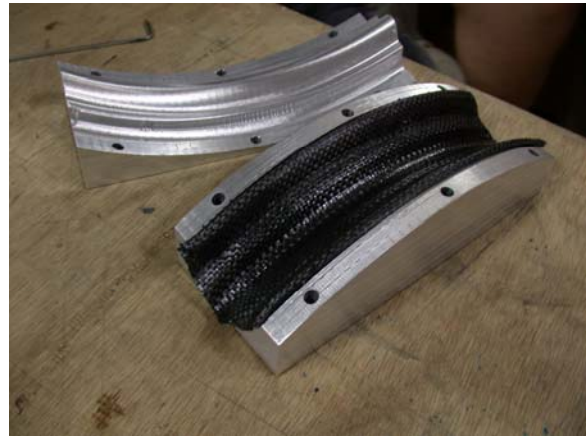
c. 車體製作：

本次車體製造是一體成形的，不同於 FORMOSUN 2 是先烤出平板三明治板展開圖，再切去部分轉角，彎曲黏著而成。所以需要一個方形母模，另外其碳纖維分佈並非均勻，故要先有規劃得裁出適量的特殊造型碳纖，在依事先繪製出的定位線

逐一鋪上，比起先前複雜許多，但材料的使用是更有效率的。



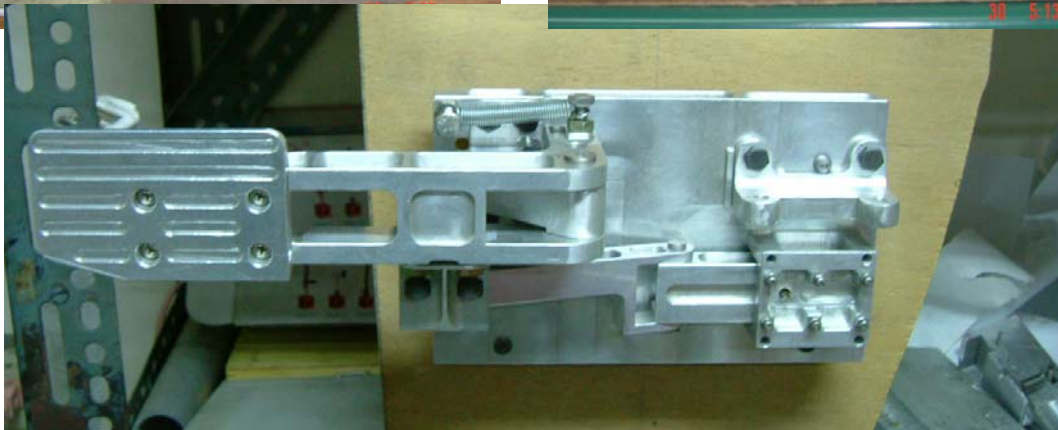
鋪上表面之吸震材料



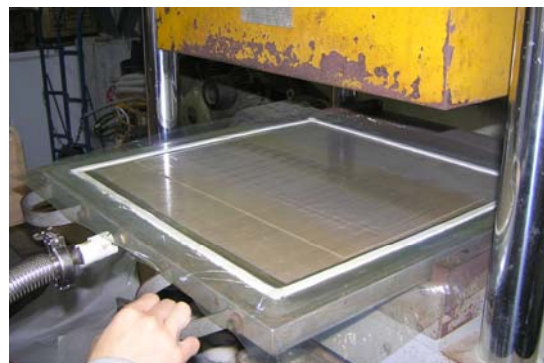
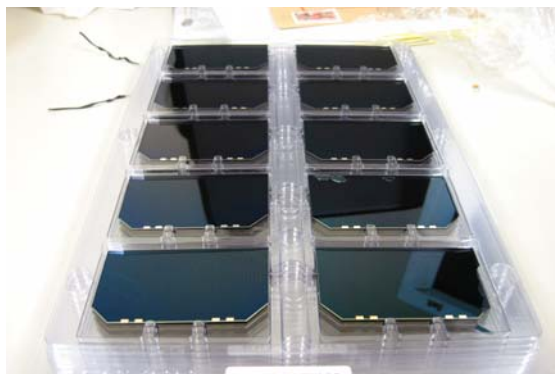
e. 金屬件製造：

懸吊、轉向、油門及煞車。

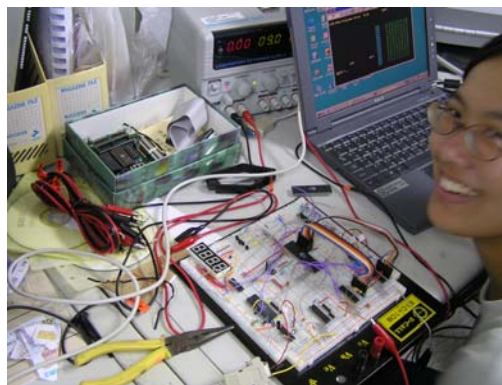




f. 太陽能板封裝開發：



g. 電力系統：



第四部份 — 參加澳洲 2005 世界太陽能車大賽



1. 規則簡介：

比賽全部路程為 3021 公里，從北部的 Darwin 往南穿越整個澳洲沙漠地區抵達南部的 Adelaide 市，在出發時可攜帶 5 千瓦小時的電力，接下來全部路程都只能靠太陽能板所發的電力完成整趟比賽，每個車隊最多可以有 4 位太陽能車駕駛輪流替換，路途中會經過 7 個控制點可以讓車隊休息 30 分鐘，比賽時間為早上 8 點到下午 5 點，比賽結果是根據跑完全程的先後順序為名次的排名。



2. 驗車：

在比賽前大會會對每一輛車徹底的檢查，除了必須符合尺寸的基本規則外最重要的就是安全性的檢查，不管是電器還是結構方面都嚴格要求，為的是要讓太陽能車在安全無虞的狀況下才能出發，也才能領取在澳洲的車牌。



3. 排位賽：

比賽的出發順序是根據賽前在 Hidden Valley 賽車場進行排位賽而決定，排位賽時採每一輛太陽能車繞場三圈，第一圈為暖胎圈，第二圈才為正式計時的圈數，在賽車場上考驗的不但是車子的機械性能更是駕駛的操控能力，因為在車場上的道路高低起伏甚至有近 180 度的髮夾彎，所以再排位賽前每一隊伍都不斷練習繞場，為的就是讓駕駛熟悉整個賽道。



在 2003 年第七屆世界太陽能車大賽時我們就以 2 分 23 秒 34 的成績排名第二驚豔全場，這次每一隊伍都有大幅度的進步，不斷刷新跑道的紀錄，最後我們跑出了 2 分 01 秒 57 排名第二，僅落後第一名的日本 Tiga 車隊不到 2 秒鐘。

2005 Panasonic World Solar Challenge Qualifying Results from Saturday 24th September 2005, Hidden Valley Raceway Darwin

2.9 km / lap

Grid Start Position	Car Name	Car #	Team	Country	Class	Lap Time mm-ss	Speed km/hr	UHF #
1	Sky Ace Tiga	81	Ashiya University	Japan	Open	1-59.18	87.60	29
2	Formosun 3	66	Taiwan University	Taiwan	Production	2-01.57	85.88	16
3	Momentum	2	University of Michigan	USA	Open	2-01.74	85.76	21
4	Aurora	101	Aurora Vehicle Association	VIC, Australia	Open	2-03.22	84.73	20
5	STUT	168	Southern Taiwan University	Taiwan	Open	2-06.29	82.67	12
6	Apollo 5	95	Kaoshiung University	Taiwan	Open	2-14.23	77.78	9
7	Tesseract	6	MIT	USA	Open	2-23.57	72.72	27
8	Nuna 3	3	Nuon Solar Team	Netherlands	Open	2-25.90	71.56	10



4. 比賽開始：

9月25號早上不到7點出發的廣場就已經擠滿了大批的媒體及民眾，為的就是要能參予2年才舉辦一次的太陽能車比賽盛事。



出發後沒多久就慢慢脫離城市人煙越來越稀少，只有在零星的城鎮可以看到比較繁榮的街道。



Panasonic
WORLD SOLAR CHALLENGE

NOTICES

CAR No.	TEAM NAME	ARRIVAL	DEPART
3	NL NUNA III	14:58	15:28
2	USA MICHIGAN SOLAR	15:13	15:43
101	AUS AURORA	15:21	15:51
81	JAP SKY ACE TIGA	15:22	15:22
66	TAIWAN FORMOSIN III	15:34	

進到控制點規定必須停靠 30 分鐘所以大會會紀錄每一隊伍近來跟出發的時間，可以了解和其他隊伍的時間與距離。



每天 5 點規定停車，我們必須事先根據我們可能的行車距離找到比較好的露營地點，隨隊的觀察員裁判會在地板上畫上停車時位置的標線，之後就可以移車到我們的露營點，由於那時候的太陽角度已經非常傾斜所以我們必須利用日照架將車殼角度架斜正對太陽，如此我們可以得到較高的發電量。



我們也常是當地媒體報紙爭相採訪的對象

5. 終點：



我們最後是 9 月 29 號早上 11 點 31 分抵達終點，以總時數 36 小時 01 分鐘，平均時速 83.24 公里名列第五名。

2005 Panasonic World Solar Challenge Final Results



Position	Car #	Car Name	Class	Control Stop	Arrival Time	Approx. km from Darwin *
1	3	Nuna 3	Open	Finish of Timing	13:41 Wed 28th	2998.3
2	101	Aurora	Open	Finish of Timing	17:05 Wed 28th	2998.3
3	2	Momentum	Open	Finish of Timing	08:48 Thurs 29th	2998.3
4	81	TIGA	Open	Finish of Timing	09:15 Thurs 29th	2998.3
5	66	FORMOSUN 3	Open	Finish of Timing	11:31 Thurs 29th	2998.3
6	6	Tesseract	Open	Finish of Timing	15:30 Thurs 29th	2998.3
7	95	Apollo 5	Open	Finish of Timing	15:45 Thurs 29th	2998.3
8	41	HansGo	Open	Finish of Timing	16:35 Thurs 29th	2998.3
9	8	Solutra	Open	Finish of Timing	10:36 Fri 30th	2998.3
10	65	Soleon	Production	Finish of Timing	13:45 Fri 30th	2998.3
11	7	Umicore	Open	Finish of Timing	14:34 Fri 30th	2998.3
12	62	Kelly	Production	Finish of Timing	15:43 Fri 30th	2998.3
13	5	Aglaia	Production	Finish of Timing	9:56 Sat 1st	2998.3
14	13	Towards Tomorrow	Stock	Finish of Timing	13:24 Sat 1st	2998.3
15	168	STUT	Open	Finish of Timing	14:35 Sat 1st	2998.3
16	80	Jules Verne	Open	Finish of Timing	10:52 Sun 2nd	2726****
17	96	SunStang	Open	Finish of Timing	15:23 Sun 2nd	1573****
18	20	Leeming Sungroper	Production	Finish of Timing	19:06 Sat 1st	591****
***	49	Sunswift	Open	Finish of Timing	17:10 Thurs 29th	2998.3
**	99	Southern Aurora	Open	officially withdrawn Alice Springs 16:13 - 27th Sept		
**	21	Heliodet	Production	officially withdrawn Dunmarra 15:45 - 26th Sept		

6. 頒獎典禮：

我們不但是總排名第五名，大會另外頒發給我們” Freescale Technical Innovation” 最佳科技創新獎，原因是我們這次比賽除了太陽能車是使用太陽能板外，我們其他的支援車輛所使用的所以輔助設備例如警示閃燈、策略 Notebook、夜間營地照明等的電力都是利用我們架設在所有資源車輛上面或是拖車上面的太陽能板做為電力來源，而且儲存電力是利用我們上一代車所使用過的鋰電池，我們儘可能將對石油資源依賴的使用量降到最低，這是一個很有創意且值得其他隊伍學習的創意。



參考文獻

1. Goro Tamai, *The Leading Edge*, Bentley Publishers.
 2. Forbes Aird, *Aerodynamics*, HPBooks-1267.
 3. *SAE Aerospace Applied Thermodynamics Manual*.
 4. A. C. Kermode, *Mechanics of Flight*, Longman.
 5. Kuethe Schetzer, *Foundations of Aerodynamics*, John Wiley and Sons.
 6. Joseph Katz, *Race Car Aerodynamics*, Robert Bentley, Inc.
 7. C. R. Kyle, *Racing with the Sun*, the 1990 World Solar Challenge, Society of Automotive Engineers, Inc.
 8. Tomas Markvart (Ed.), *Solar Electricity*, John Wiley & Sons.
 9. Eric Chowanietz, *Automobile Electronics*, SAE International.
 10. B. Brant, *Build Your Own Electric Vehicle*, McGraw-Hill, Inc. (1994).
 11. L. E. Unnewehr, S. A. Nasar, *Electric Vehicle Technology*, John Wiley & Sons. (1982).
 12. *Complete Car Care Manual*, Reader's Digest (1981).
 13. W. H. Crouse, D. L. Anglin, *Automotive Mechanics*, McGraw-Hill.
 14. 黃靖雄編著，*汽車原理*，全華。
 15. *GM Sunracer Case History*, Society of Automotive Engineers, Inc. (1992) organized by Professor Brad Sturtevant.
 16. Chester R. Kyle, *Remarks on the Tire Performance and Rolling Resistance*.
 17. D. G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill, Inc.
 18. L. E. Unnewehr, S. A. Nasar, *Electric Vehicle Technology*, John Wiley & Sons (1982).
 19. T. Bitzer, *Honeycomb Technology*, Chapman & Hall, 1997.
 20. D. Zenkert, *The Handbook of Sandwich Construction*, Engineering Materials Advisory Services, Ltd., 1997.
- Douglas R. Carroll, *The Winning Solar Car: A Design Guide for Solar*
21. *Race Car Teams*, SAE International.
 22. Keith Noakes, *Successful Composite Techniques*, OSPREY, 1989.
 23. 林百福，*汽車設計*，全華科技圖書，2000。
 24. Peter Pudney M.App.Sc, B.App.Sc, "Optimal energy management for solar-powered cars," University of South Australia, August 2000.

25. B. Kennedy, D. Patterson, S. Camilleri, “Use of lithium-ion batteries in electric vehicles”, (2000) *Journal of Power Sources*, 90, pp156–162
26. Takuma Suzuki , Yoichi Hattori , Masakatsu Matsuishi “Studies of Handling and Stability for Solar Car” Kanazawa Institute of Technology
27. Yoshihisa Morichi,Norio Oishi “Development of KIT Golden Eagle Electric System for World Solar Challenge 1999” Kanazawa Institute of Technology
28. M.Hammand, T.Khatib “Energy Parameters of Solar Car for Jordan” (1996) *Energy. Convers. Mgmt*, vol 37,no. 12, pp.1695-1702.
29. Inge Skaalea,* , Dean J. Pattersonb, 1, Howard Pullenb “The development of a new maximum power point tracker for a very high efficiency, compound curve photovoltaic array for a solar powered vehicle” (2001) *Renewable Energy* 22, pp.295-302.
30. Hannes Knopf “Analysis, Simulation, And Evaluation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Methods for a Solar Powered Vehicle” A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical and Computer Engineering 1999 Portland State University.
31. Andy Shacklock, Mike Duke, Nigel Burgess “The 1998 World Solar Rallye: Akita, Japan” 1999 ,*Journal of Power Sources* ,80 ,p199–206
32. Yasuo Shimizu, Yasuyuki Komatsu, Minoru Torii, Masato Takamuro, “Solar Car Cruising Strategy And Its Supporting System” 1998, *JSAE* 19, pp.143-149.

相關網站

http://www.aurorasolarcar.com/main_frame.html

<http://www.heliadet.de/emobil/index.html>

<http://www.mit.edu/activities/solar-cars/>

<http://62.50.5.38/index.php>

<http://www.prin.edu/solar/>

<http://www.solarcar.queensu.ca/>

<http://www.solarmotions.com/>

<http://www.fh-bochum.de/solarcar/projekt.html>

<http://www.teamhelios.fr.st/>

<http://www.engg.ksu.edu/solarcar/pictures.html>

<http://www.kormilda.nt.edu.au/stachex/solarcar/1999/scmain.htm>

<http://www.ee.aoyama.ac.jp/h-lab/solarcar.html>

<http://www.unisa.edu.au/solarcar/default.htm>

<http://www.engin.umich.edu/solarcar/index.htm>

<http://www.geocities.co.jp/MotorCity-Race/1025/>

<http://www.zdp.co.jp/>

<http://www.sunpowercorp.com/>

<http://www.emcore.com/main.php>

<http://www.gochermann.com/>

<http://www.astropower.com/solarcells.htm>

