



NTU RACING TEAM

NTU Racing Team

Epsilon II

成車報告



Epsilon2 設計總覽

回顧Epsilon2設計目標，第二代賽車主要提升三個方面

提升加速表現

輕量化、動力提升

提升駕駛體驗

優化座艙配置

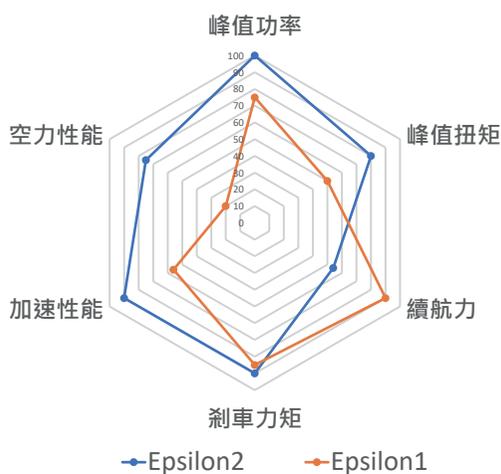
提升系統可靠度

優化電系架構

Epsilon2相較於一代車大幅減輕電池的重量，同時提升輸出功率，因此在加速能力上擁有突破性的展現。續航力下降但仍保有足夠的電力能在完成耐久計時賽22 km的路程。

低重心、前後均勻配重設計搭配加大的剎車碟盤與輪圈尺寸，在增加動力的同時也提升致動力，確保車輛操駕上的平衡度。

新增碳纖維空力套件，較去年鋁製外觀套件更為輕量，獲得額外的下壓力更有助於提升彎道極限。



一二代車性能比較圖 (紅色二代、藍色一代)

Epsilon 1 vs Epsilon 2 規格

	軸距 (mm)	前/後輪距 (mm)	離地高度 (mm)	峰值功率 (kW)	車重 (kg)	前/後配重 (%)	重心高度 (mm)	輪胎尺寸 (Inch)
Epsilon 2	1650	1300/1250	35	80	250	40:60	300	18.5吋 低扁平比
Epsilon 1	1600	1350/1350	80	54	350	50:50	400	18吋 高扁平比

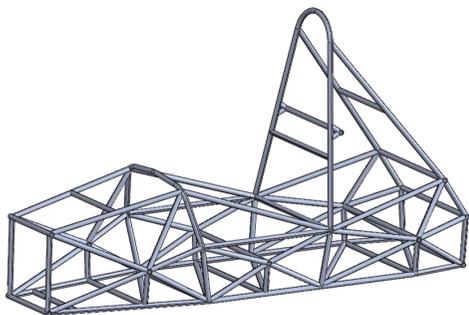


車架
Chassis

車架設計介紹

結構設計進化

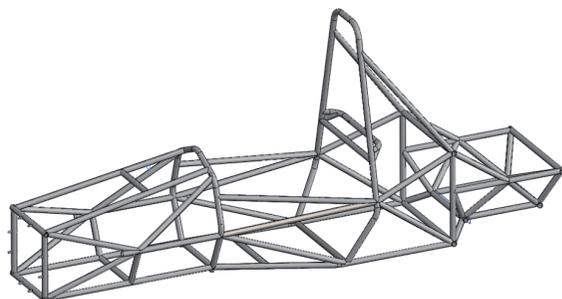
Epsilon2車架使用**逢聯企業**提供的4130鉻鉬鋼管製成，設計上再確保足夠強度下除去多餘結構管件，使重量上較一代減輕30%，扭轉鋼度仍保持在1200Nm/deg以上的安全範圍。



Epsilon 1車架

重量：48 kg

扭轉鋼度：1800 Nm/deg



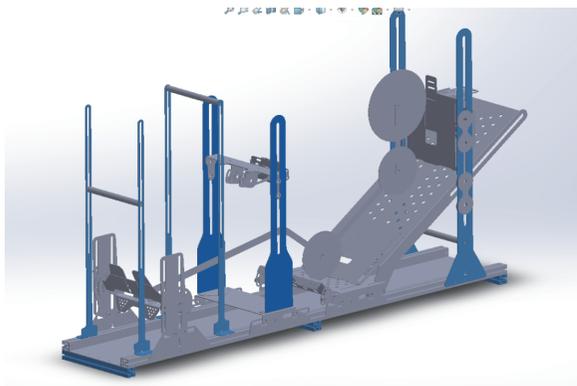
Epsilon 2車架

重量：35 kg

扭轉鋼度：1500 Nm/deg

模擬座艙開發

本隊開發模擬座艙輔具以確認踏板距離、方向盤水平位置、車手座椅傾躺角度等影響車手操駕舒適度的重要參數，Epsilon2車架設計便是透過輔具依照本隊車手身形、以及大會模板訂定座艙參數。



模擬座艙設計圖

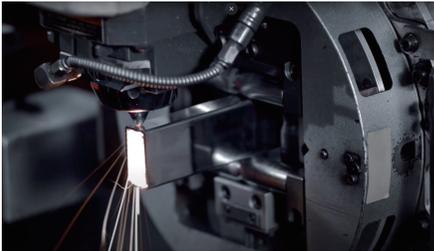


車手坐姿量測照

車架製程進化

管材切口處理

富專鋼鐵的管材雷射切割解決方案，提供我們高效率、高精度的車架管料切口製成。在進行雷射切割前，必須在CAD圖面上確保破口內外緣正交管材軸心，才能符和加工除料要求。本隊利用Solidworks軟體開發快速的正交破口除料程序，免去後續搭建車架時產生的餘料干涉問題，使效率大幅提升。



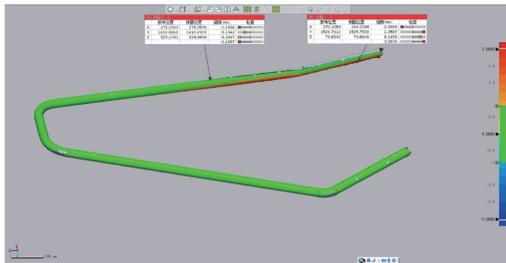
◀ 管材雷射切割示意圖
圖片來源：富專鋼鐵Youtube頻道



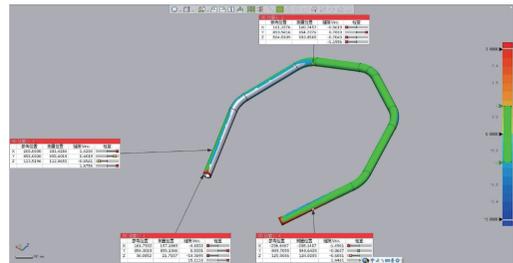
切口處理示意圖
左上為處理前，右下為正交處理後 ▶

彎管幾何驗證

防滾架等高強度要求的結構件，必須使用彎管工法達成一體成形要求。但彎管回彈現象容易形成加工偏差，造成管材間縫隙太大焊接困難。因此為了經轉驗證彎折後的幾何尺寸，本隊使用3D掃描技術，將彎管成品與圖面進行尺寸比較，確保幾何偏差是在製作要求之內。



主防滾架3D掃描比對圖



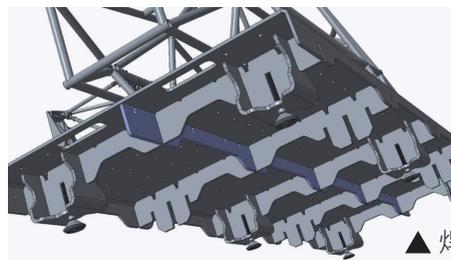
前防滾架3D掃描比對圖

精密焊床開發

車架幾何經度關乎懸吊幾何以及許多重要元件配置，對車身動態有極大的影響。二代製成最大的特色在於打造自製製焊床，治具利用焊床孔位上進行精準定位，可以大幅降低水平位置偏離與底部彎折變形。特別感謝富專鋼鐵協助我們製作低成本，高精度並永久使用的焊床，可以持續流用為後代車的焊接平台。



▲ 焊床設計圖



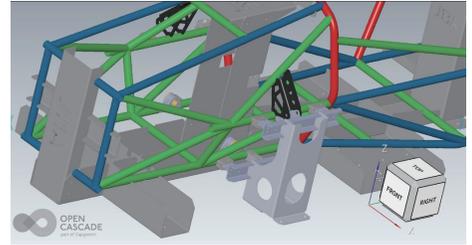
▲ 焊床底部圖

焊接治具設計

本隊於第一代車開始使用鈹金焊接治具，第二代在組裝效率、精度、強度上都有全新進化，使用鈹金件間卡配設計能大幅降低鎖固造成的公差，跟焊床搭配後也使焊接後拆卸更加方便。同樣感謝富專鋼鐵提供高品質鈹金加工件。



▲ 車架管料初期搭建



▲ 車架、懸吊掛點治具設計



▲ 車架焊接成品

高溫粉體烤漆

在台灣高溫多雨的氣候下，車輛設計的耐候性尤其備受考驗。因此二代車架我們進行了高溫粉體塗裝，粉體塗料可一次噴塗厚達 $150\mu\text{m}$ ，經過 200°C 以上烘烤著漆，相較於一般烤漆有更加耐酸蝕、耐刮、更平整的塗裝表面。



◀ C02焊接過程

粉體塗裝成品 ▶



C02焊接、氬焊複合製程

C02焊接有著非常高的點焊效率，以及填料性能。我們先用C02焊接設備對管材進行初步點焊固定，縮短初期加工時間。接著使用氬焊進行填料加固，確保最終焊道填料的紮實度與美觀。



懸吊 轉向 剎車

Suspension

Steering

Brake

懸吊結構進化

Epsilon2懸吊結構，由直推式懸吊進化為前後推桿式懸吊，藉此獲得更為理想的阻尼及彈簧配置，同時獲得更高的設計幾何自由度。搭配RacingBros提供的避震器，讓Epsilon2彎道操控稱心如意。

	Epsilon1		Epsilon2	
roll stiffness (deg/g)	1.12		0.67	
Motion ratio (Front/Rear)	0.66	0.68	0.72	0.74



後懸吊推桿及避震器

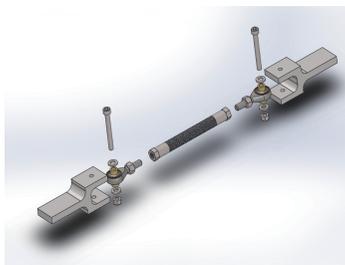


前懸吊推桿及避震器

結構強度驗證

Epsilon2懸吊全面輕量化取向，包括選用高模數碳纖維管材作為A臂、推桿材料，以及將A臂末端魚眼接頭更換完鋁材，為確保膠材及接頭強度可靠，本隊與台大機械系破壞力學實驗室合作，對於A臂總成進行拉伸測試。結果如下，證實輕量化後強度仍在安全範圍內。

	Epsilon1	Epsilon2	Under limit
Ultimate stress (MPa)	213.02	156.13	50



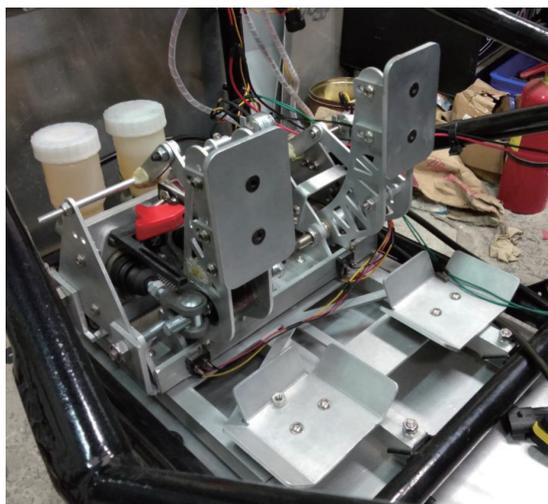
- ▲ A臂拉伸測試組設計圖
- (中) 接頭破壞照 ▶
- (右) A臂拉伸測試照 ▶



剎車性能提升

- 新世代的剎車系統從踏板端到輪端同步提升性能，使用較小口徑的賽車用總泵，搭配Brembo高性能卡鉗以及加大尺寸的碟盤，讓車手在相同出力下，使剎車力提升8%。
- 全新的踏板箱配置箱較一代空間更為緊湊，重量更輕，同時搭配駕駛艙設計為位致可調，讓不同身形的車手都有最舒適的操駕環境。

一、二代車煞車性能比較表		
	Epsilon 2	Epsilon 1
剎車形式	四輪碟煞	四輪碟煞
碟盤形式	浮動式	固定式
碟盤尺寸	160mm	220mm
總泵口徑	15.8mm	14mm
單輪煞車力矩	436Nm	471Nm
駕駛踩踏力道	500N	500N



▲ 輕量化踏板箱搭配位致可調機構

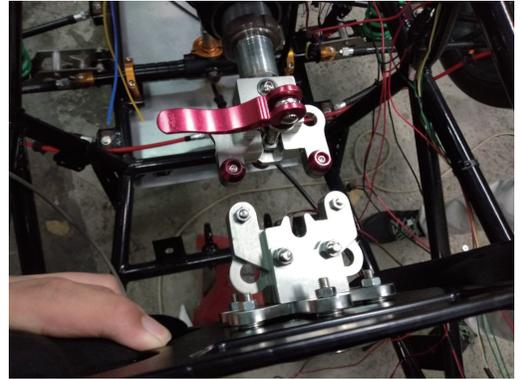


▲ Brembo卡鉗以及加大剎車碟盤

方向盤快拆機構

方向盤快拆功能為賽車重要安全設計之一，確保車手緊急狀況時不會因方向盤阻礙逃生。但市售快拆機構有特殊花鍵設計難以安裝，隨著使用時間增加會背隙影響轉向手感。

本隊研發的快拆機構類似自行車快拆輪圈，安裝對位方便同時，也確保車手能用更短的時間拆卸方向盤，降低逃脫時間。



▲ 自行研發快拆機構照

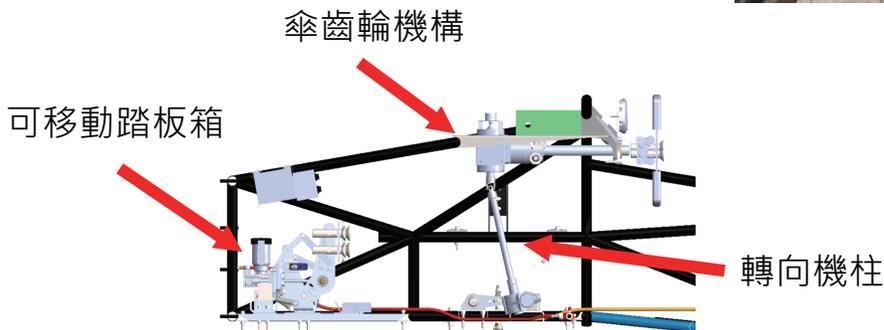
傘齒輪轉向機構

轉向上使用**祐晟精密**提供的傘齒輪機構，可以使方向機在座艙內安裝於最理想的位置，不會因為轉向機柱萬向接頭角度限制，壓縮踏板箱可移動範圍。

除了讓駕駛艙操駕配置調整更為彈性，以有效減少多個萬象接頭造成的轉向背隙，降低反覆轉向出現的空窗不適感。



▲ 轉向機構照



▲ 方向機與踏板箱位致示意圖



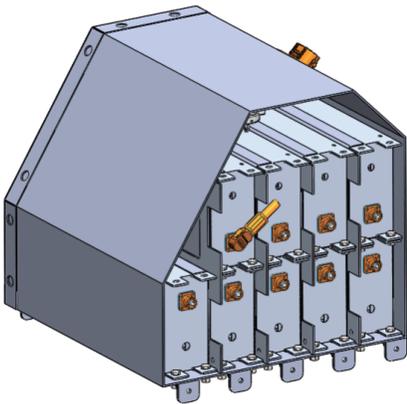
動力

Powertrain

高壓電池結構

Epsilon2動力電池模組使用**見智科技**提供的18650電池模組構成，整個電池一分為9個次模組，達成90串聯9並聯的架構。

	Epsilon1	Epsilon2
Voltage [V]	72	324
Capacity [Ah]	180	22.5
Energy storage [kWh]	13	7.3



高壓電池設計圖



▲ 高壓電池成品照

電池模組設計

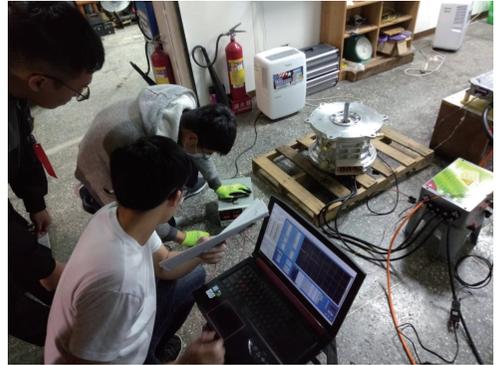
一個次模組由**富專鋼鐵**提供的鋁鈹金箱體構成，內包含10串聯9並聯的18650電池，以及**見智科技**提供的BMS監測板，用以監測電芯溫度及電壓，能及時回傳給BMS主控板，在發生電芯溫度過高、電壓過高或過低時，能及時遮斷安全迴路，中斷電力輸出。



▲ 電池次模組照

高壓驅動器通訊測試

我們與台大先進動力中心合作，使用電池模擬器測試Unitek Bamocar D3高壓馬達驅動器的通訊與控制模式。特別感謝台達電子車用電子事業部提供300V車用馬達樣機，供本隊測試驅動器功能。

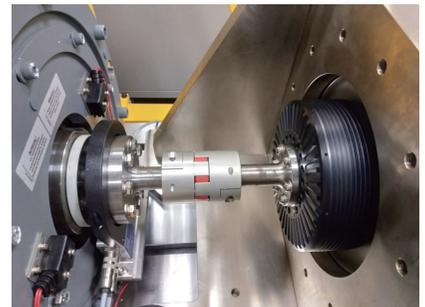


動力組員測試高壓驅動器照 ▶

動力馬達測試

我們與**Chroma致茂電子**Dyno Lab合作，使用動力計系統驗證EMRAX 228馬達與驅動器控制參數，加載測量馬達T-N curve，並測試不同控制參數的電流與轉矩響應，也量測不同電池電壓時馬達的輸出曲線，以驗證比賽時賽車用電池系統能獲得的實際動力輸出。

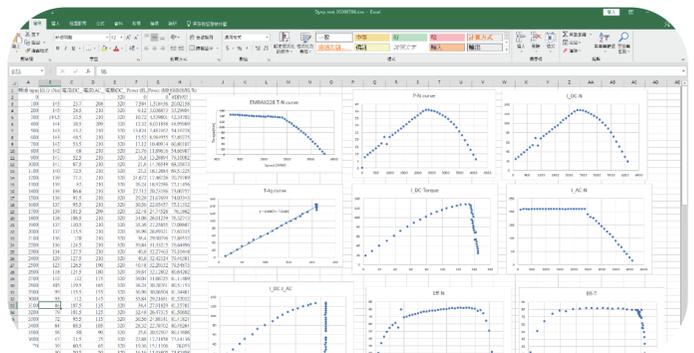
待測馬達動力計組立照 ▶



高壓電纜與水冷管路 ▼



▼ 測試數據圖表





電系

Electronics

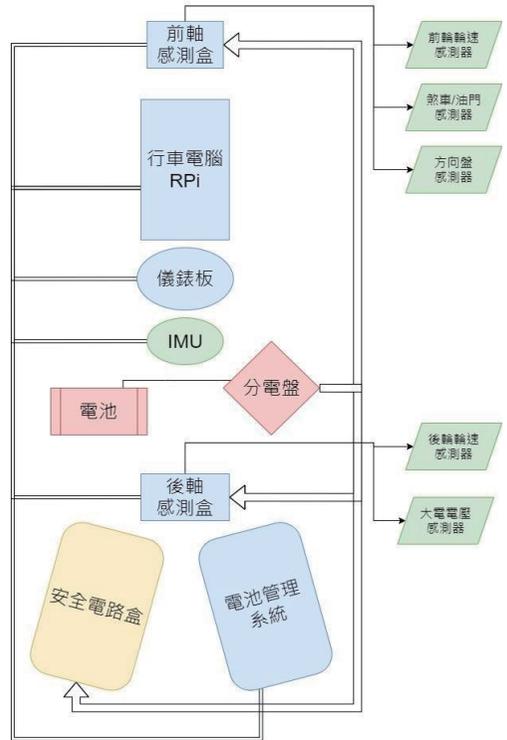
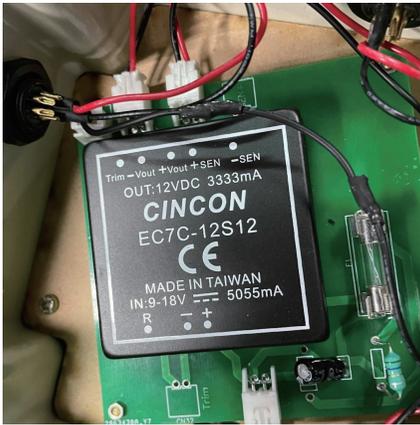
電系硬體架構介紹

Epsilon2電系主要由通運網路、監測系統、感測系統、斷電安全迴路組成。

低壓電系統

低壓電系統電源由12V鉛酸電池提供，經過**幸康電子**提供的CINCON DC/DC直流穩壓變壓器，為系統提供5V以及12V的穩定電源，確保電子系統不受到突波干擾。

▼ CINCON DC/DC PDU模組

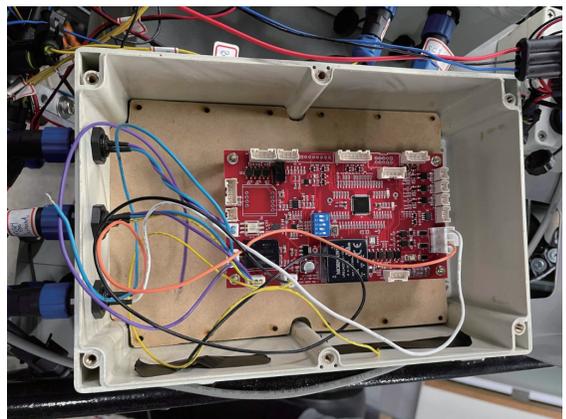


▲ 低壓電系架構圖

斷電安全迴路

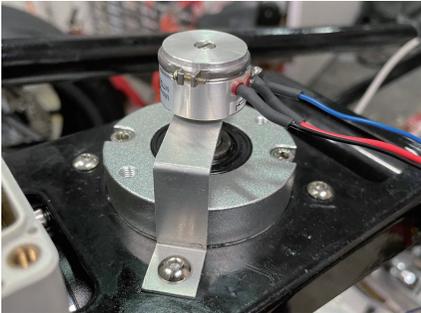
見智科技電池管理系統回饋電池電壓、溫度等資料給主控電腦，必要時啟動斷電安全迴路，停止電池放電維護人車安全。

見智科技BMS主控電腦 ▶



感測系統

感測器系統包含輪速感測器、轉向角度感測、慣性測量單元以及GPS，行車受具透過CAN網路回傳主控電腦，在試車時收集量化的資訊，與車手反饋同步作為車輛調教參考。



轉向角度感測器



輪速感測器

多功能儀錶板

我們在方向盤後安裝Acewel I 提供的多功能儀錶板，用以顯示電池電量、車速等資訊提供車手作為駕駛策略參考。儀表以CAN通訊，能輕易的整合進Epsilon2通訊網路內。



Acewel I 多功能儀表

主控電腦及CAN通訊模塊

VCU的部分我們使用台灣樹莓派提供的Raspberry Pi 3開發板作為主控電腦，透過CAN傳遞油門、剎車踏板訊號至VCU後，經過計算下指令至動力馬達驅動器；VCU負責從感測系統收集行車數據，能整合GPS、IMU、輪速等訊號，位我們的車輛調較提供完整的依據。



RPi 主控電腦及CAN通訊模塊



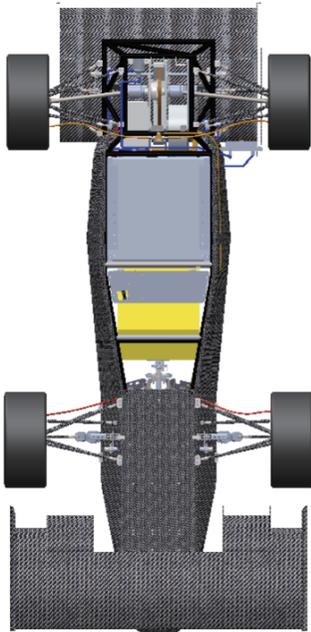
空氣動力 外觀

Aerodynamics

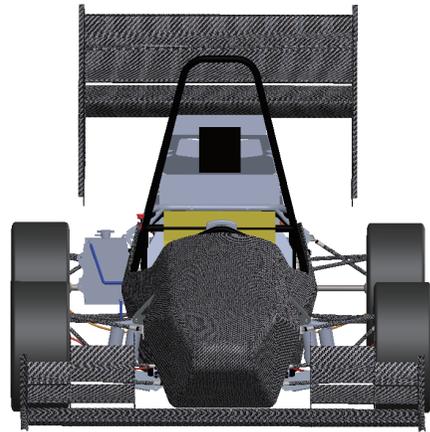
Body works

空力套件

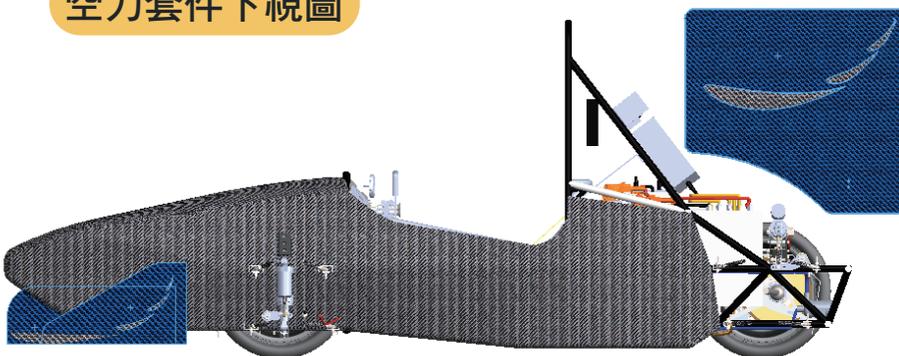
- Epsilon2以高升阻比翼型，設計碳纖維空力套件，能位車輛在時速39公里時提供額外430N的下壓力，有助於提升FSAE要求的低速彎道性能。
- 車殼同樣以碳纖維製成，輕量高強度、美觀，讓Epsilon2的工藝水準突破至新的水平。



空力套件下視圖

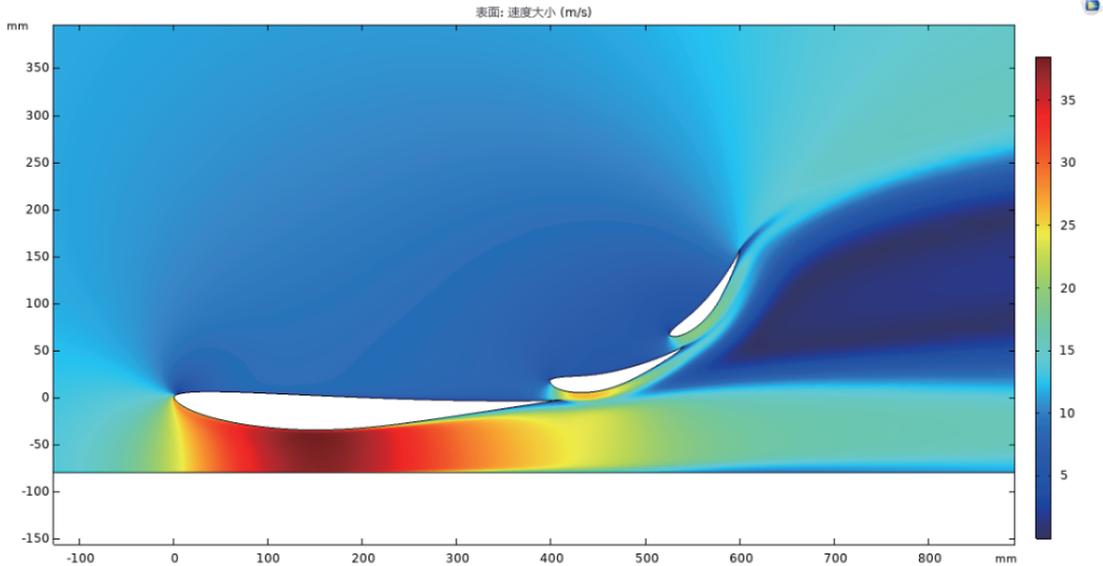


空力套件正面設計圖

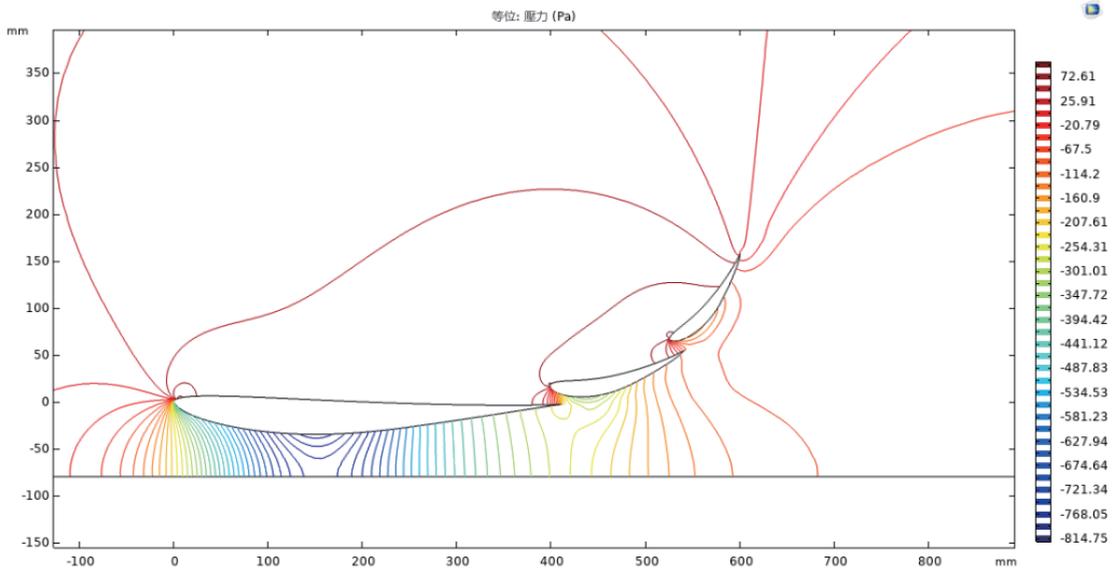


空力套件側面剖面圖

velocity	Span	Downforce	Drag	L/D
11[m/s] (39.6 [km/hr])	0.383*2[m]	232.74[N]	16.056[N]	14.495

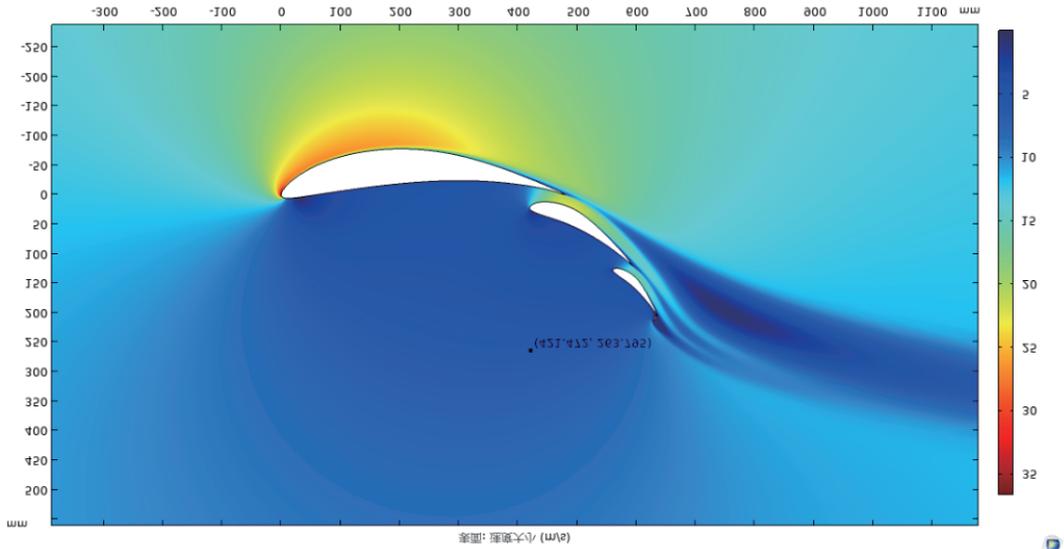


前翼流速分布圖

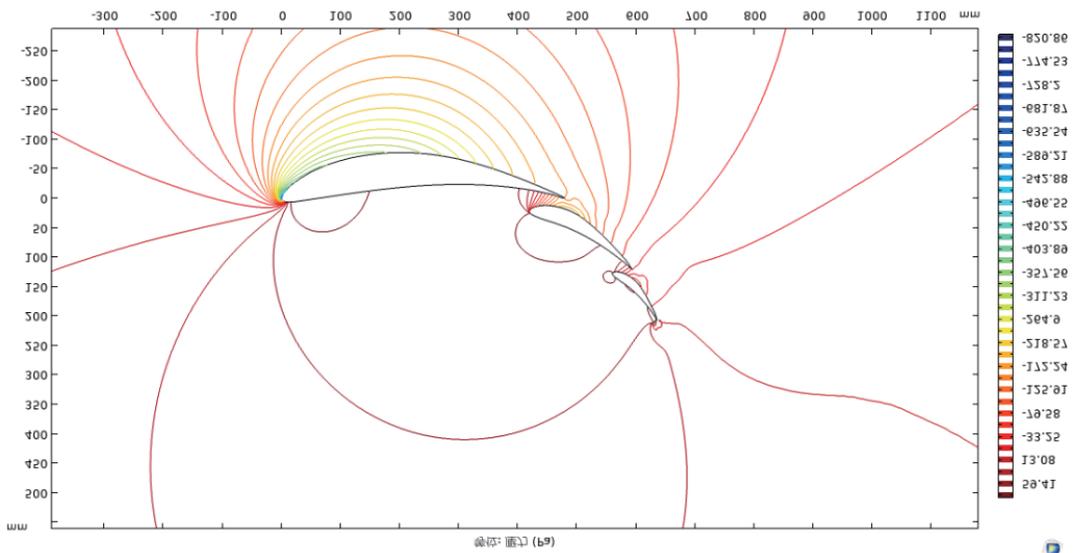


前翼壓力場分布圖

velocity	Span	Downforce	Drag	L/D
11[m/s] (39.6 [km/hr])	0.96[m]	199.73[N]	6.874[N]	29.054



尾翼流速分布圖



尾翼壓力場分布圖

碳纖維前翼、尾翼製作過程



車殼模具製作過程



贊助廠商

