

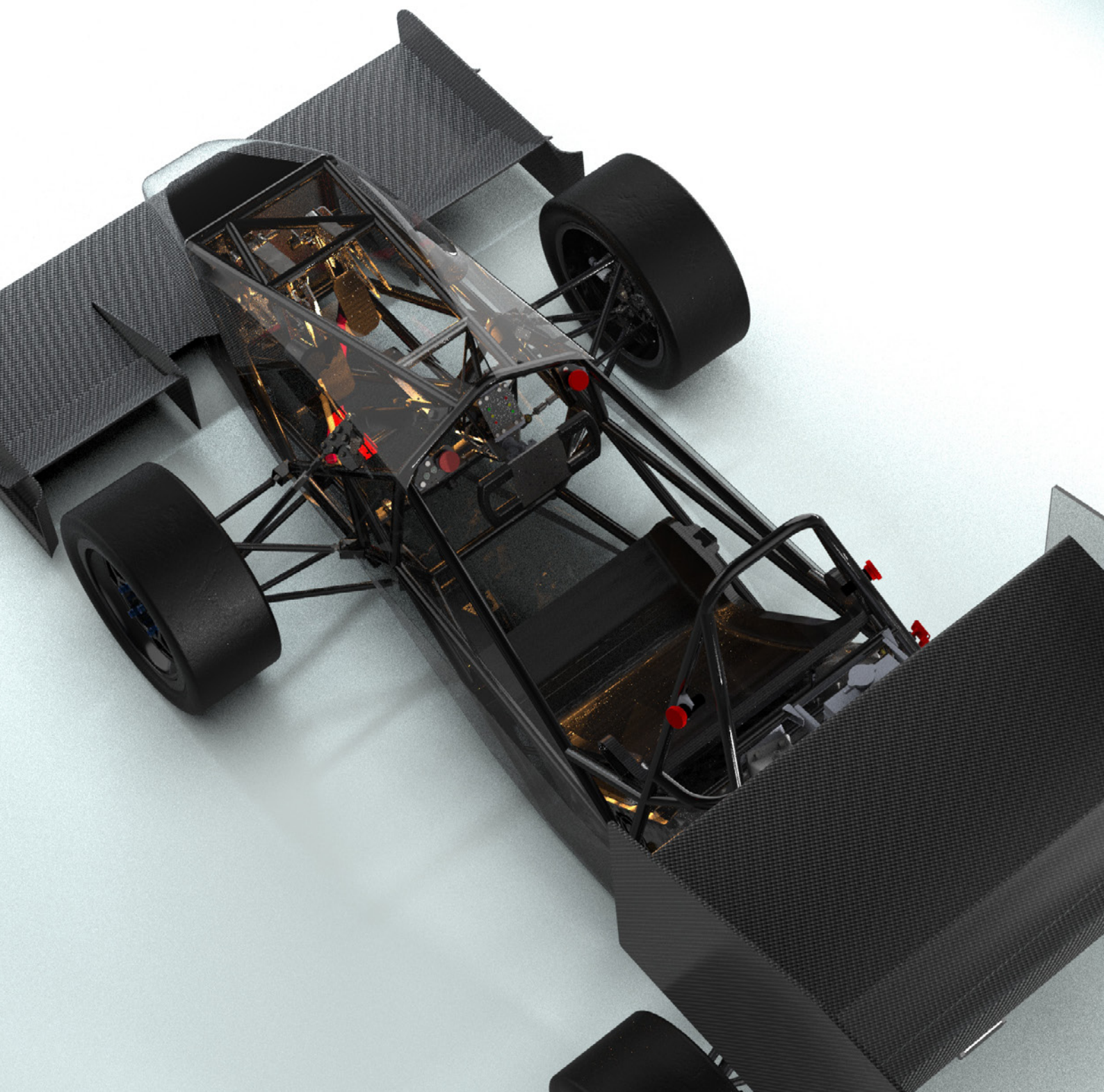
#Epsilon 3

Annual Report 成車報告



NTURACING

目次



設計總覽 04

各系統設計介紹

底盤組 06

動力組 11

空力組 16

結構組 20

電系組 24

特別致謝

- **國睦工業股份有限公司**

提供車隊 26 萬元現金贊助

- **鳴周科技股份有限公司**

提供車隊 25 萬元現金贊助

- **台灣貿澤電子有限公司**

提供車隊 25 萬元購物金

- **晟祥電子有限公司**

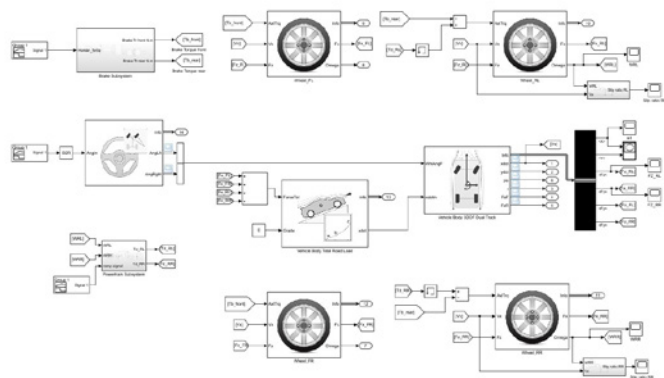
提供車隊 10 萬元現金贊助

- **淨對流 Xpure**

提供車隊 150 個 All-fit G3

半客製化口罩 (市價 10 萬元)

設計總覽



1. 持續輕量化

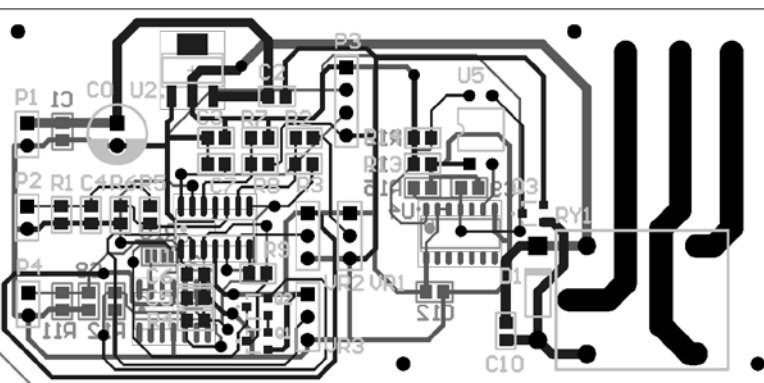
Epsilon 3 著重整車整合性，減少各系統間多餘冗贅的設計、同時提升結構強度重量比並增加複合材料的使用，以達到輕量化的目標。

2. 駕駛艙優化

Epsilon 2 的車手座艙略為狹窄，影響車手操駕靈活性，故 Epsilon 3 著眼人因工程，使用車手輔具找出最適合的車手姿態。駕駛艙空間優化包含加大車架前環 (front hoop)、提高方向盤位置以提升手部靈活度、重新設計座椅形狀以提供更好的支撐性、以及採用更適合車手的倒吊式踏板箱，使車手能自在地操駕賽車，將賽車的性能發揮至極致。

3. 優化車輛動態

相較於前一代車，Epsilon 3 擁有較緊湊的車尾空間配置，使整車體積縮小、重量集中於重心，也讓軸距及車長可以縮短，增加賽車的彎道靈活性。另外，臺大賽車隊今年成立車輛動態組，建立車輛動態模型，搭配數據收集系統提供的資訊進行試車調整，將賽車彎道動態提升至極限。



過去兩代賽車皆採用廠商提供的電池模組與電池管理系統 (BMS)，今年度台大賽車隊與廠商合作開發 Epsilon 3 動力電池模組，使我們能根據需求以客製化設計，提升對電動車動力系統最高電壓的掌握度及可靠度。另外，Epsilon 3 的動力系統電壓提升至 403V，提供車輛優異的動力表現。

5. 提高系統可靠度

車輛可靠性是賽車能否完賽的關鍵。為此，本隊今年度從動力系統與電子系統著手，以提升整車的可靠度，不只讓賽車更具競爭力，也確保車輛的安全性。

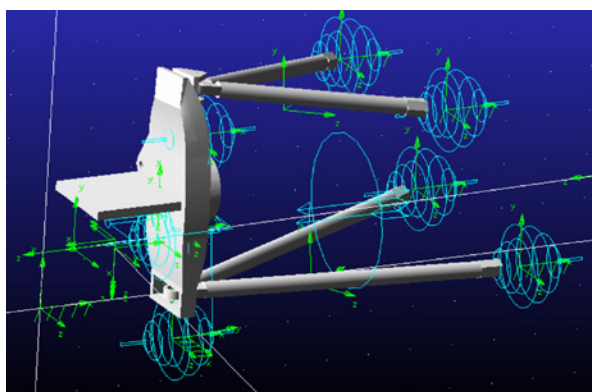
6. 建立數據收集系統

Epsilon 3 配有完整的資料收集系統，可以監控賽車的車輛動態數據以及動力系統數據，使我們能分析每一次測試的資料作為車輛調校的參考，讓車輛的性能發揮到極致。

底盤組

懸吊

Epsilon 3 前後懸吊皆為推桿 (push bar) 式，並且加入 anti-dive/squat 幾何以抑制車輛加減速時產生的俯仰運動 (pitching)。Anti-squat 能限制車輛加速時車尾下沉的幅度，增加此時後輪 contact patch 面積；Anti-dive 則能避免車輛減速時沉頭過度。將俯仰角限制在一定範圍內除了可以增加輪胎抓地力，也能將車身角度保持在使用空力套件的最佳迎風角度範圍內。

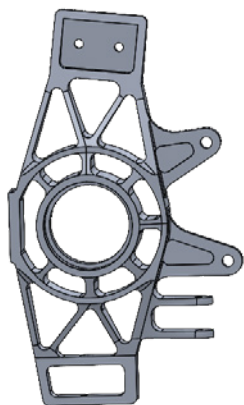


◀ 為了找出最佳懸吊幾何，本隊使用 **MSC Software** 提供的 ADAMS 動力學模擬軟體，調整各項參數對懸吊系統特性的影響，藉此優化 Camber gain、增加輪胎的觸地面積，同時使懸吊連桿受力控制在預期的範圍內。

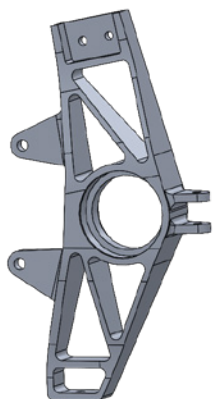


▲ 懸吊 Camber gain 曲線

	Motion Ratio	避震器	羊角重量	可調Camber角
前懸	0.74	39.1 N/mm	736g	2.5°
後懸	0.78	49 N/mm	600g	4.2°



▲前羊角



▲後羊角

前懸羊角設計與 Epsilon 2 相比，在維持相同重量下強化了結構強度。後懸羊角則減輕 200g，優化結構幾何以增加強度。懸吊 Toe 可調角度介於 -3.3deg 與 +3.3deg 之間，並改進調整機構，可以快速調整推桿長度。

搖臂設計

搖臂利用板金與 CNC 件相互結合，使用較低成本下符合車輛運行中最大所需受力條件。

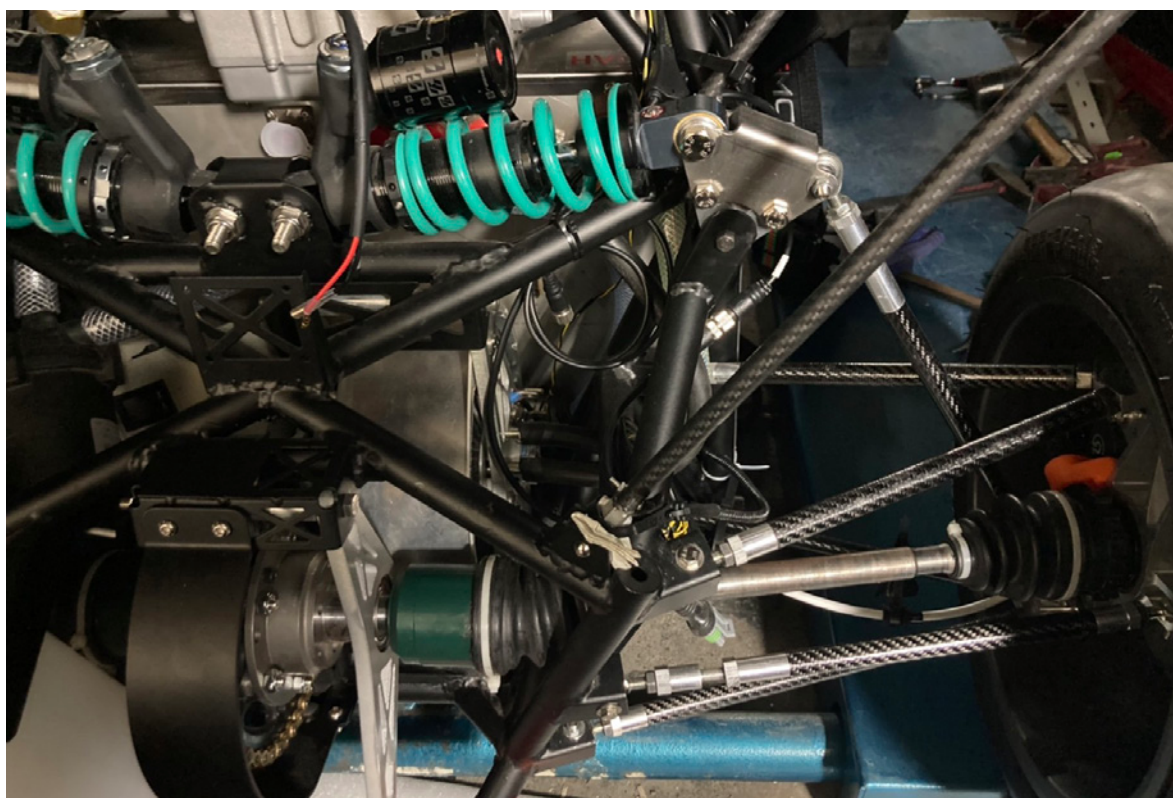


▲搖臂掛點結構件使用方管製作，利於加工與焊接。設計上使方管方向指向搖臂受力的合力方向，避免支架承受彎曲力矩。





▲前懸吊配置



▲後懸吊配置。感謝 **Racing Bros 銳欣國際有限公司** 提供我們客製化避震器，並提供專業的技術指導，協助提升車輛性能及表現；**SKF** 贊助本隊多款軸承，運用在轉向和懸吊系統。

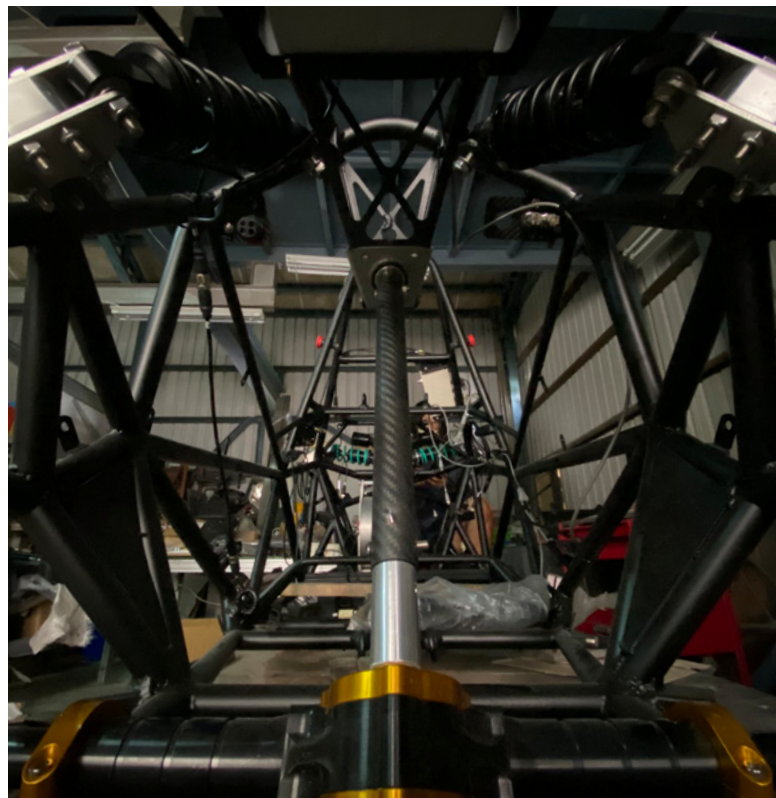
A-arm 強度驗證

感謝駿利新材料提供輕量化高強度碳纖管。本隊與台大機械系破壞力學實驗室合作，對 A-arm 總成進行拉伸測試。測試結果顯示裝置 A-arm 可承受 13.6kN 的軸向拉力，符合強度要求，證實輕量化後強度仍在安全範圍內。

轉向

Epsilon 3 的轉向機柱使用雙萬向接頭，較上一代使用傘齒輪箱減輕 2kg。

本隊改良去年的卡扣式快拆機構，在滿足同樣強度需求下減輕 0.5kg 重量，同時也較更容易組裝。卡扣式快拆機構相較常用的花鍵式快拆機構拆裝更快捷且沒有間隙。

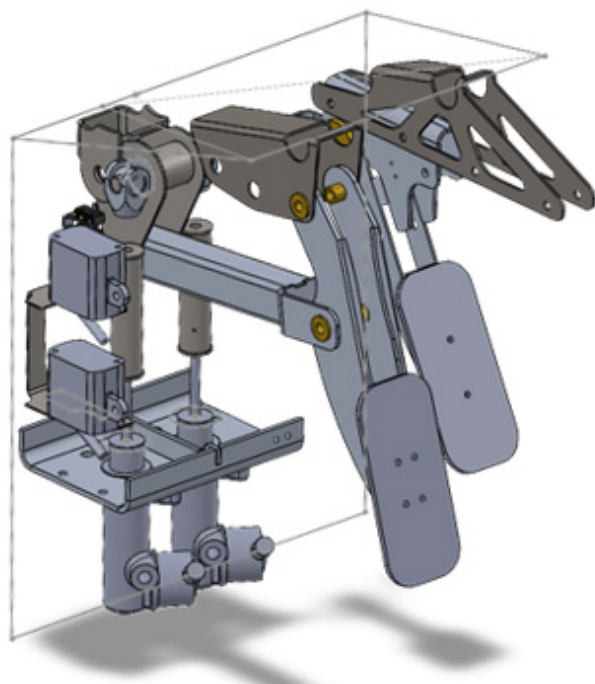


▲感謝 NT Racing 張習睿學長贊助橡膠方向盤，兼具防水、耐用，符合人體工學並且美觀。轉向阿克曼幾何能夠依照 FSAEJ 的賽道特性，強化車輛在低速彎的過彎性能。

▲本隊使用碳纖維管製作轉向柱，增加結構強度的同時也降低重量。另外使用可比企業有限公司製作的轉接頭連接碳纖管，相較於 Epsilon 2 的全 CNC 轉向軸，減少了加工成本。

踏板箱

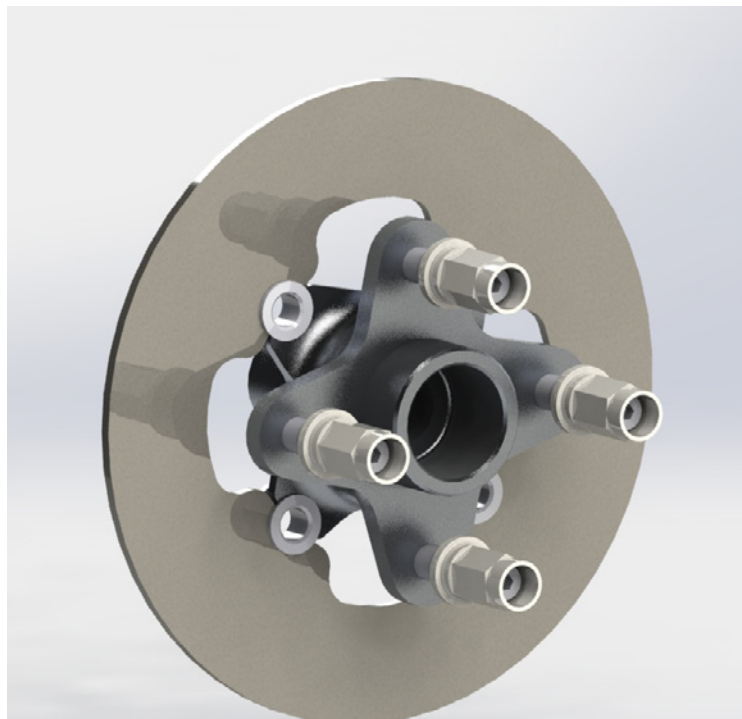
Epsilon 3 的踏板箱相較 Epsilon 2 輕量化 45% 至 3.6kg。不同於上一代車 Epsilon 2 的正踩設計，今年度調整為吊掛式可調踏板設計，讓踏板在踩踏過程中更貼合車手的腳，防止踩踏時的滑動，同時可調整設計也讓不同身高的車手能夠舒適的駕車。為追求輕量化設計，在整合零件、減少不必要的掛片的同時，在設計流程中加入拓樸分析，利用 **Comsol Multiphysics** 固體力學分析模組找出零件中在符合強度要求下的輕量化設計。煞車力方面利用連桿將踩踏力道放大 3.6 倍，設計上，車手只需踩踏 400N 即可鎖死四輪。零件選用部分特別感謝**加祿達國際有限公司**贊助油管及油管配件、**鑫榮機械工業股份有限公司**贊助煞車油泵。



輪端

根據制動力需求設計碟盤直徑，並針對前後輪的煞車力平衡做出更好的配置。Epsilon 3 碟盤由**暴力虎 PBF** 協助製作，前後外徑分別為 235、215mm。

另外延續 Epsilon 2 設計，優化輪轂的幾何以及輪框螺絲的長度，讓組裝時更加便利。輪框與輪胎方面沿用 Epsilon 2 的配置：18.5 吋高扁平比的輪胎，鋁鎂合金高輕量化輪框。



動力組

電池箱

Epsilon 3 採用**格斯科技**提供的鋰聚合電池，提供良好的效能、較小的體積、較輕的重量。

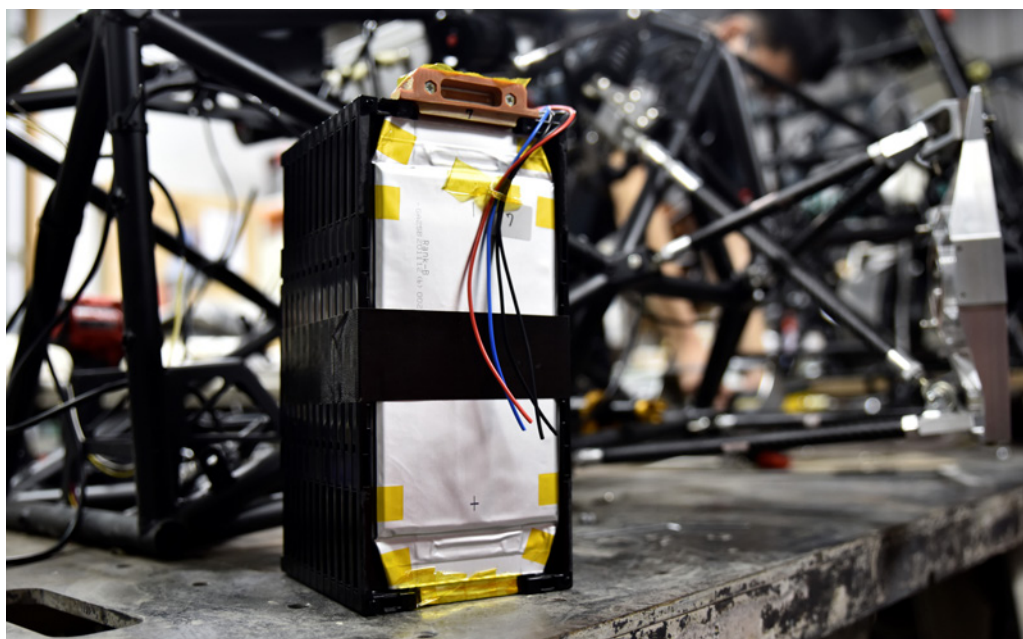
▼ 格斯科技 G25B11 電芯參數

種類	標稱電壓	電量	最高電壓	截止電壓	最大放電電流	重量
鋰包	3.7V	25Ah	4.20	2.80	5C	500±50g



電芯模組

電池模組採用 12 串 1 並的配置，全車使用八組電池模組，共 96 串 1 並，帶來最高 403 伏特的高壓電。



額定電壓	電量	最高電壓	截止電壓	電芯數量	最大放電電流
355.2V	8.88kWh	403.2V	268.8V	96	5C

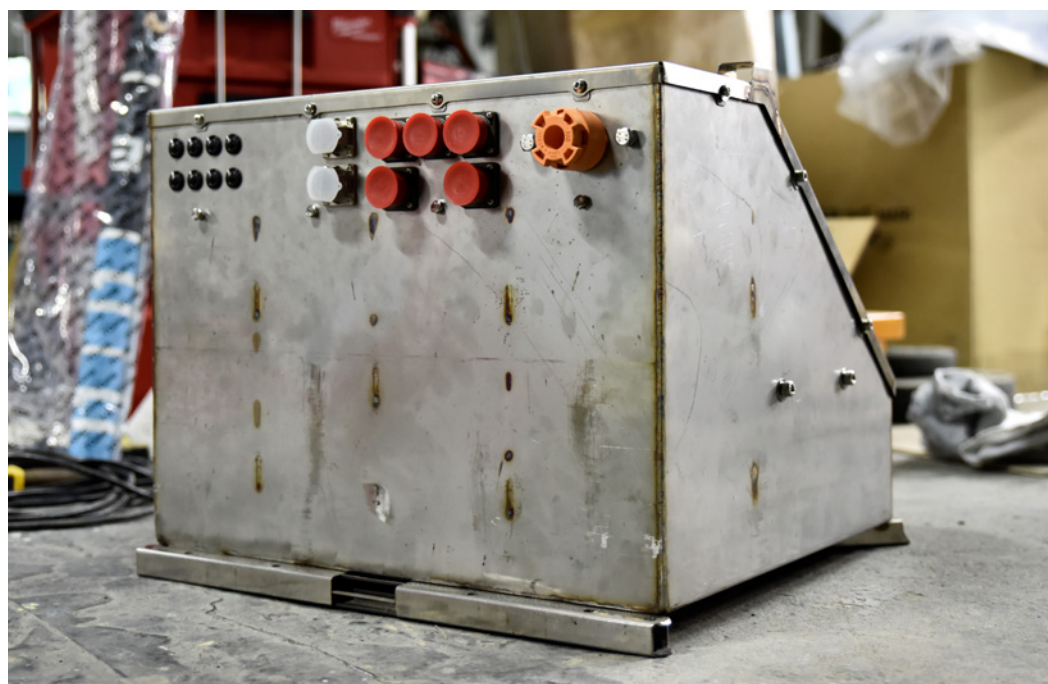
▲電池箱數據

電池箱外殼使用不鏽鋼鈹金焊接組裝而成，符合規則要求的高強度。

電池箱內部加強整合規劃，最大化利用空間以減少體積。高壓電路與安全電路採用**貿澤電子**與**伍仕電子**的電子零件，確保高壓電源操作的安全與穩定。

本隊賽車係針對 FSAE 賽事所設計，考量電壓、電量和重量需求，電池箱配置採用 96s1p，避免攜帶過多能量減少重量，高壓電系電量為 8.88kWh。

為了在車架中容納電池箱的體積，並能夠從車輛底部取出電池箱，方便內部的維修以及充電作業，Epsilon 3 的車架底部必須有足夠大的開孔方便電池箱拆卸。賽車的電池箱底部引入了副車架，增強車架底部的結構，提升車輛的剛性。除了為整車提供剛性之外，副車架的設計也可以避免車輛在動態賽事中將力作用在電池箱箱體之上，減少內部的電芯與高壓電子元件受力產生的風險。



控制器

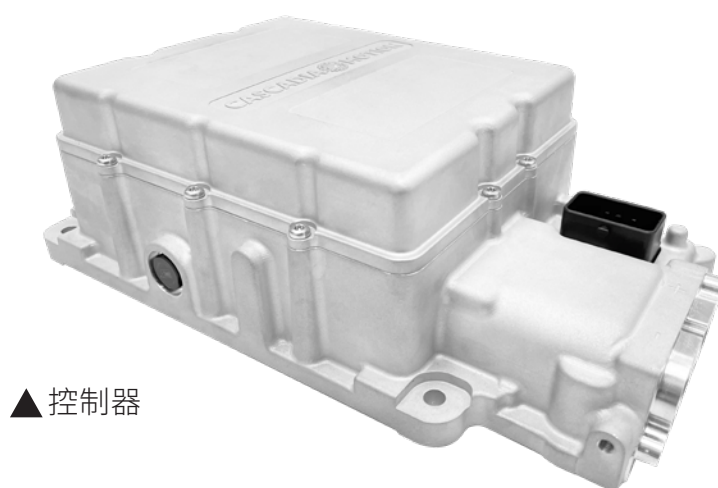
今年本隊購入了 Cascadia Motion 的控制器 CM200，提供更佳的輸出功率與效能，期望獲得更好的動力表現。與 Epsilon 2 使用的 Unitek Bamocar D3 相比，CM200 有更高的輸出功率表現，更輕的重量與更小的體積，在空間配置上也有顯著的幫助。

DC voltage	motor current continuous	motor current peak	output power peak	weight
50~480V	300A	740Arms	225kW	6.75kg

▲ 控制器 CM200 規格

DC voltage	motor current continuous	motor current peak	output power peak	weight
24~400V	200A	400A	140kW	8.5kg

▲ Unitek Bamocar 規格



▲ 控制器



▲ Emrax 228 馬達

馬達

Epsilon 3 沿用了 Epsilon 2 時採購的馬達 Emrax 228，並強化對其控制。

highest voltage	continuous power	peak power	maximum rotational speed	continuous current	continuous torque	maximum torque	weight
500Vdc	53kW	109kW	5500rpm	160Arms	102Nm	230Nm	12.4kg

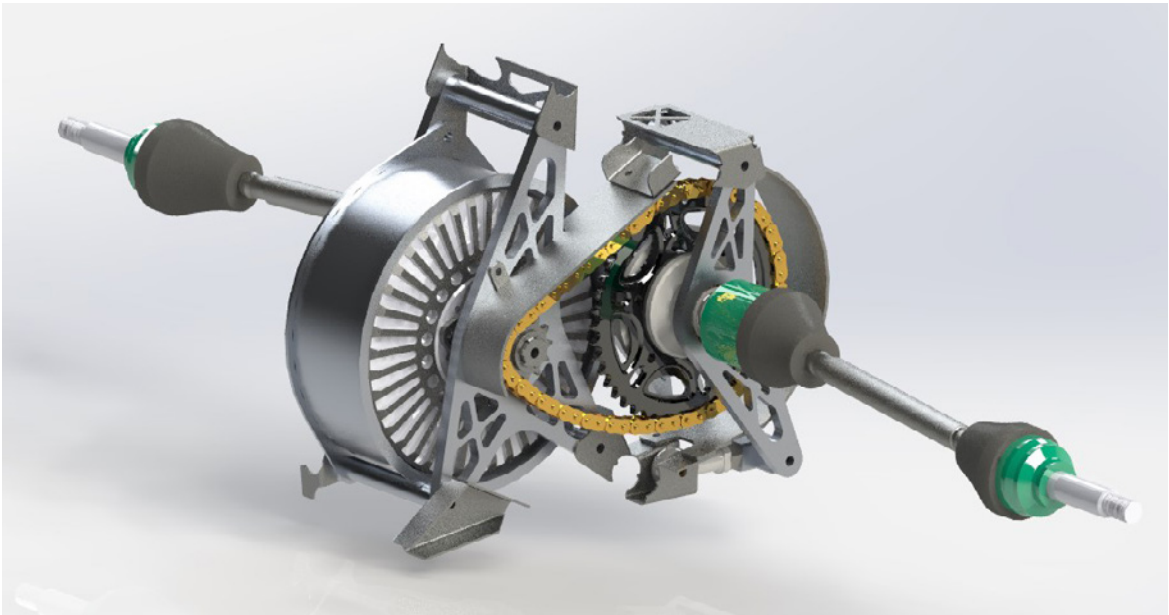
▲ Emrax 228 規格表格

傳動系統

鏈條傳動系統

Epsilon 3 的傳動系統採用鏈條傳動，配合緊湊的空間配置，採用 **建祥國際股份有限公司** 提供之 MXZ428 型 RK 鏈條，相較 Epsilon 2 更加輕量化且減少空間的使用。鍊條張緊機構則使用正反牙調節螺桿之設計，達到鏈條可連續式張緊的目的。

為產生最佳的加速性能，我們進行減速比最佳化分析，得出最佳減速比配置為 3.75:1，採用 12 齒的鉻鉬鋼小鏈盤帶動 45 齒的鋁合金大鏈盤，皆由車隊自行設計，分別由**正祥齒輪**及**可比企業**代為加工製造，配合 Emrax 228 馬達動力輸出，最高速度可接近 93km/hr。

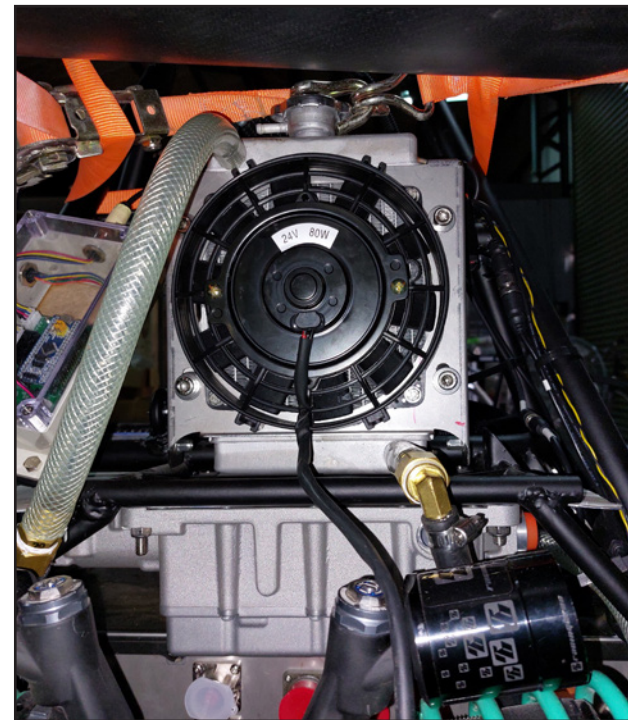
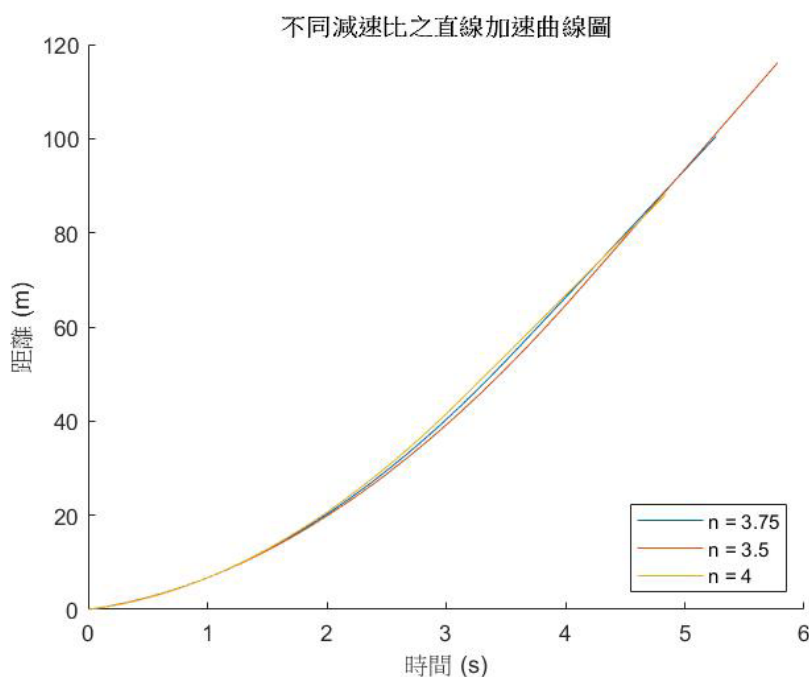


差速器及 傳動軸

差速器及傳動軸分別使用 **FCC Taiwan 台灣富士離合器** 贊助的 FCC TRAC 限滑差速器，可提供 3.5:1 的扭矩偏置比，為我們的車輛帶來良好的過彎動態；**台惟工業股份有限公司** 則提供本隊等速傳動接頭零配件，中心軸部分則由本隊自行設計，其材質使用鉻鉬鋼且經過高週波熱處理，能夠應付賽車的激烈操駕。

水冷系統

考量到動力系統沒有大幅的更動，Epsilon 3 的水冷系統選擇沿用 Epsilon 2 的配置。Epsilon 3 的水冷系統的在安裝以及配置上更具挑戰性，為加強散熱，額外增設散熱風扇強制對流，在有限的空間中尋求更好的冷排散熱能力，並設計高強度、整合板金掛片，減少風扇和冷排間的安裝距離以增加空氣流率。相較於以往，Epsilon 3 適度地將水箱提高，以減少水路中的空氣含量，提升水冷系統的熱交換能力與效率。



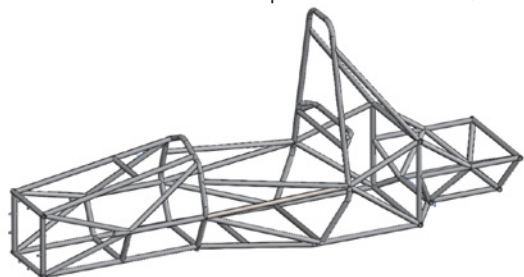
結構組

車架

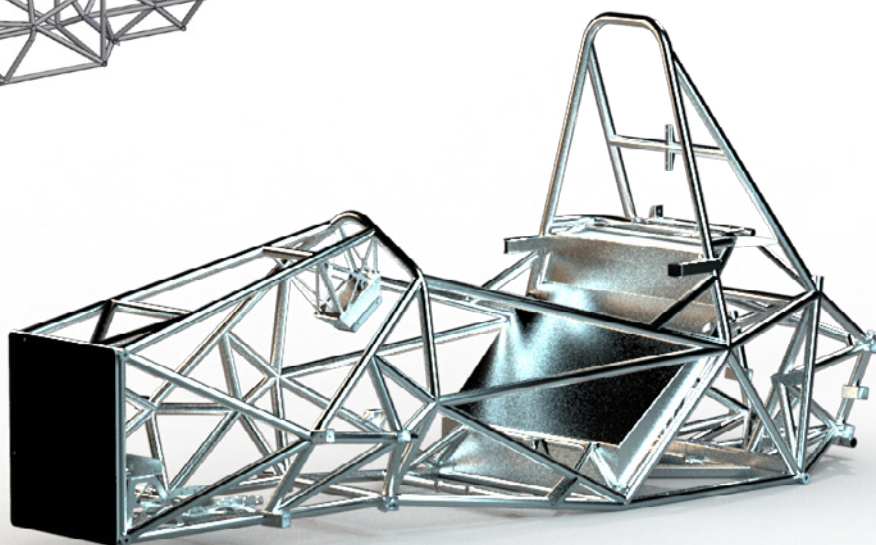
Epsilon 3 提升駕駛操駕舒適性為目標設計出更輕且強度更高的車架，整車使用逢聯企業提供的 4130 鉻鉬鋼製成。

此次配合 Epsilon 3 在賽事目標上的設定，在加大座艙空間後，依然保持足夠剛性，得益於成熟切口技術的基礎，進一步引入更多彎管，可以設計出整合度更高，更複雜的車架同時可將懸吊掛點的方管與複雜的車架節點結合，提高強度與可靠度。

Epsilon 2 車架 ▼



Epsilon 3 車架 ▼



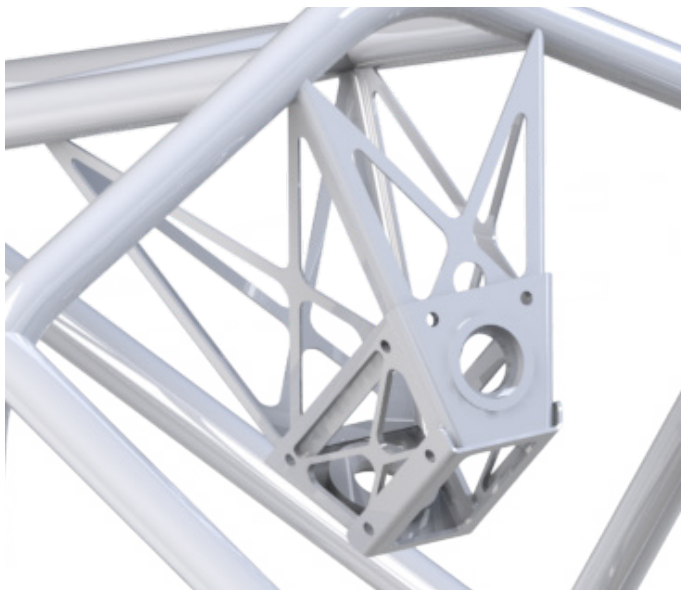
車架強度模擬結果 ►

	Epsilon 2	Epsilon 3
重量	35 kg	33 kg
扭轉剛度	1500 NM/deg	1800 NM/deg

掛片設計

重點掛片特化設計

- 根據 Epsilon 3 各個零件的受力狀況設計掛片，並且使用 Comsol Multiphysics 進行拓樸分析，進而提升掛片的強度重量比。



▲ 轉向支架，重量為 268 克

懸吊掛點優化

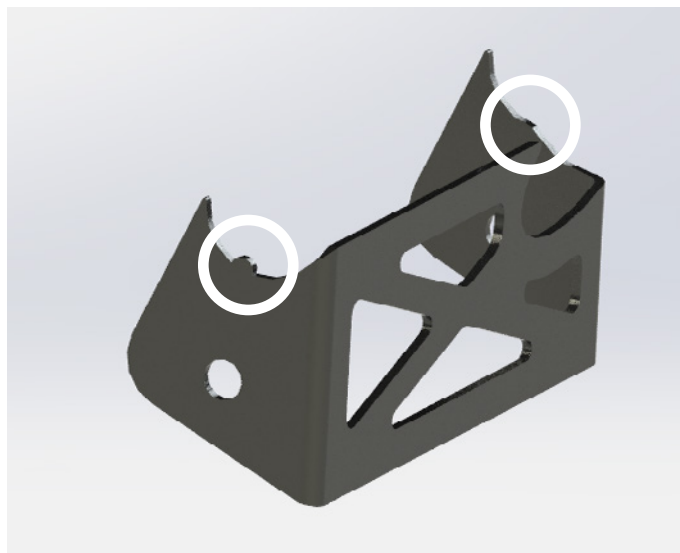
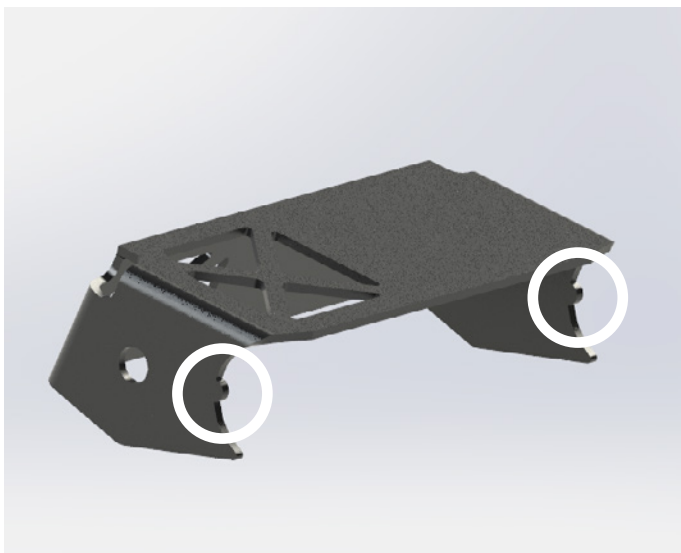
- 懸吊掛點的製作使用方管焊接於車架節點上，掛點方向設計沿著受力方向使懸吊桿件受力傳遞至車架時，不產生彎曲力矩與扭轉力矩，而鋼管受力為純拉伸 / 壓縮力，提升車架剛性並避免管壁破壞的機會。

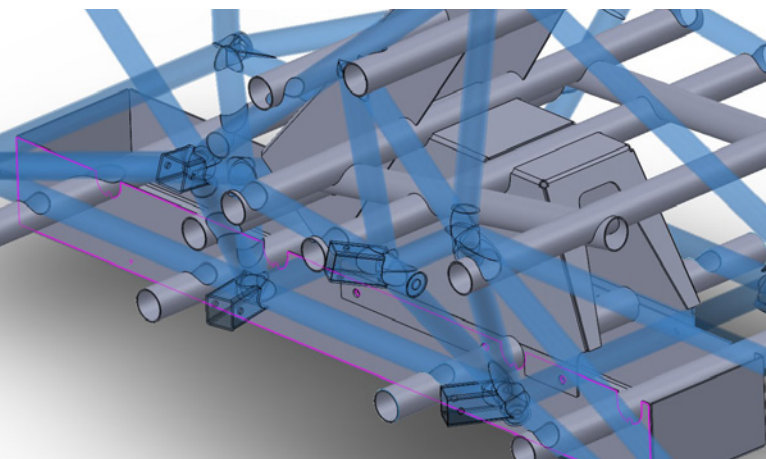
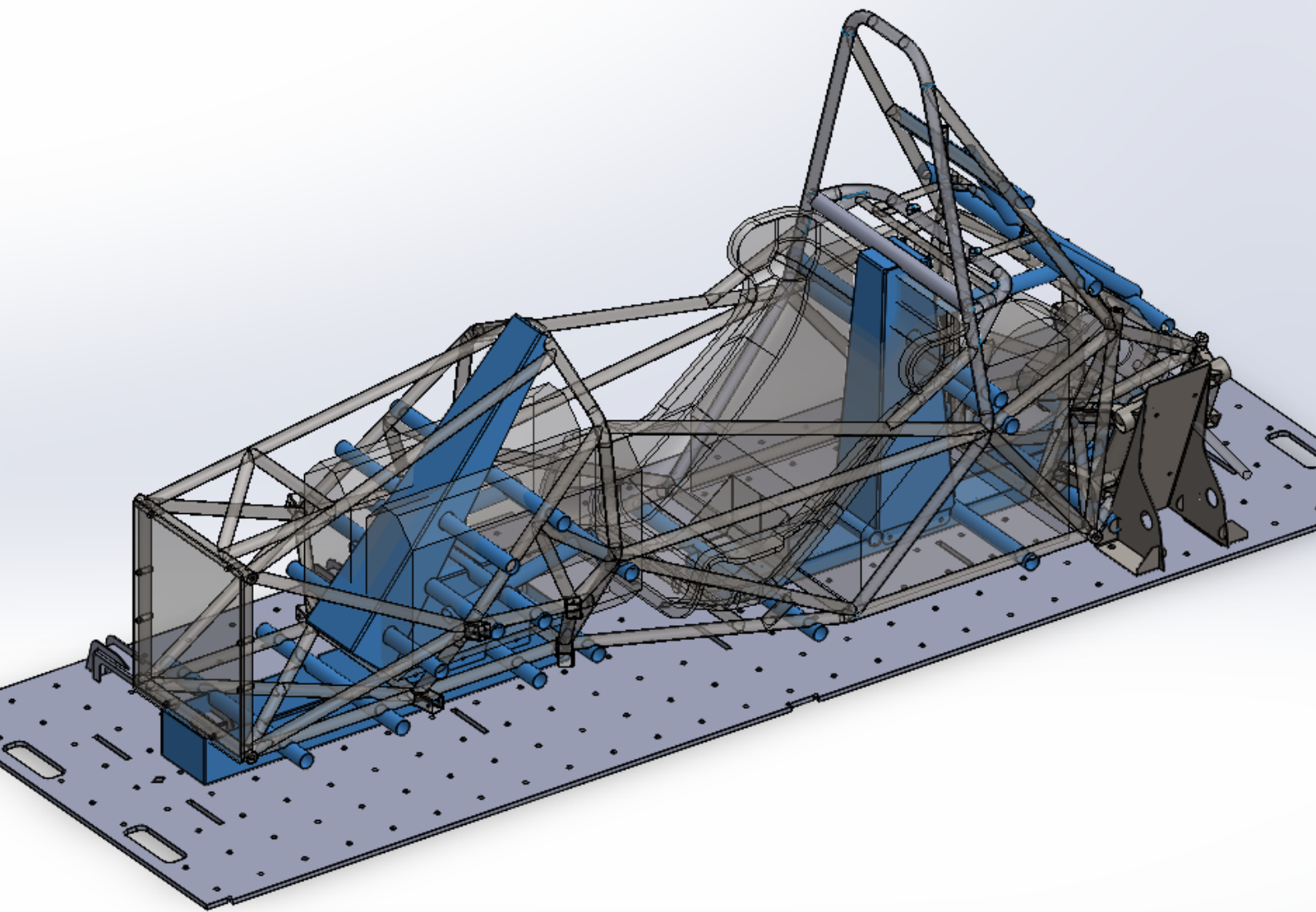


▲ 懸吊掛點方管

傳動掛點優化

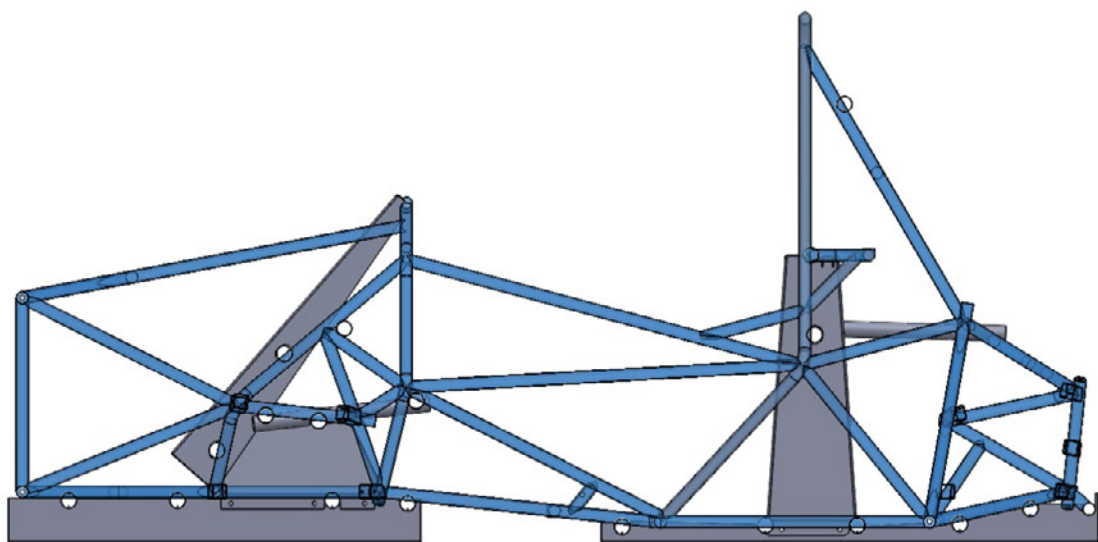
- 傳動系統掛點在圓管與掛片增加槽孔，兩者組裝後確保子系統公差與車架獨立。



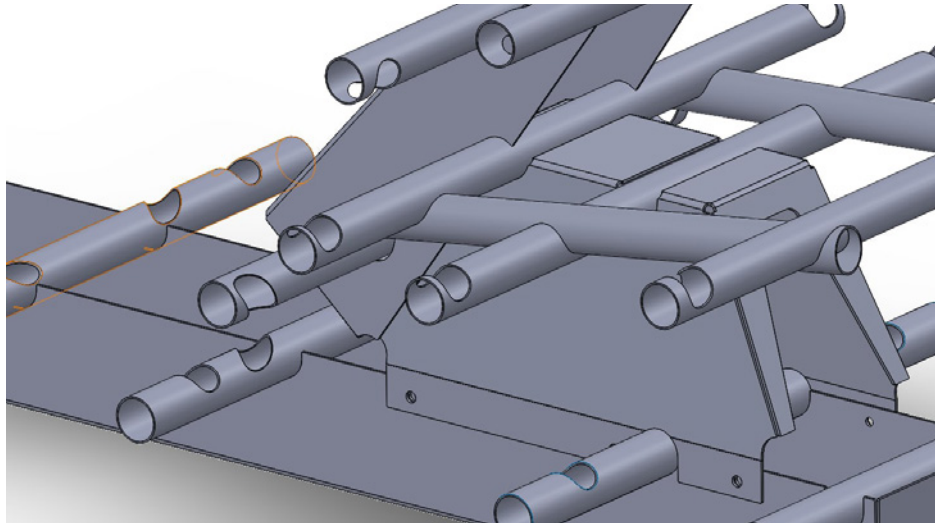


車架製程改進

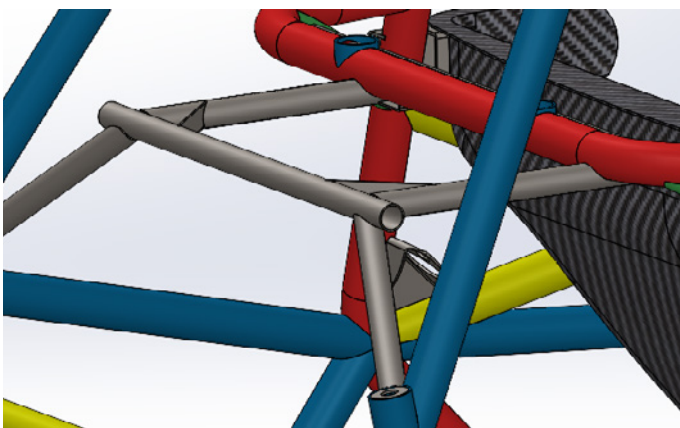
- 焊接治具優化，增加平面結構，並將車架分為前中後三段進行加工，減少立體治具的使用，增加車架焊接準確性，減少誤差



- 基於**富專鋼鐵**成熟的切口技術引入圓管治具，增加接觸面積，改善裝配吻合度，以取代板金治具，製造及時間成本得以降低



- 短車架預期使 power train 的發揮更穩定，提供更大的剛性讓動力輸出能達到更高的扭力，同時滿足懸吊穩定性，並且得於製程上的進步，整體完成度更進一步提升
- 車架由**富專鋼鐵**提供雷射除鏽及高溫粉體烤漆，提供車架良好的抗腐蝕性及亮麗的外觀
- 車架部分結構以細鋼管支架取代板金以補強結構，改善板金平面強度較差的短板
- 在座椅後方加上細管支架，穩定車手。

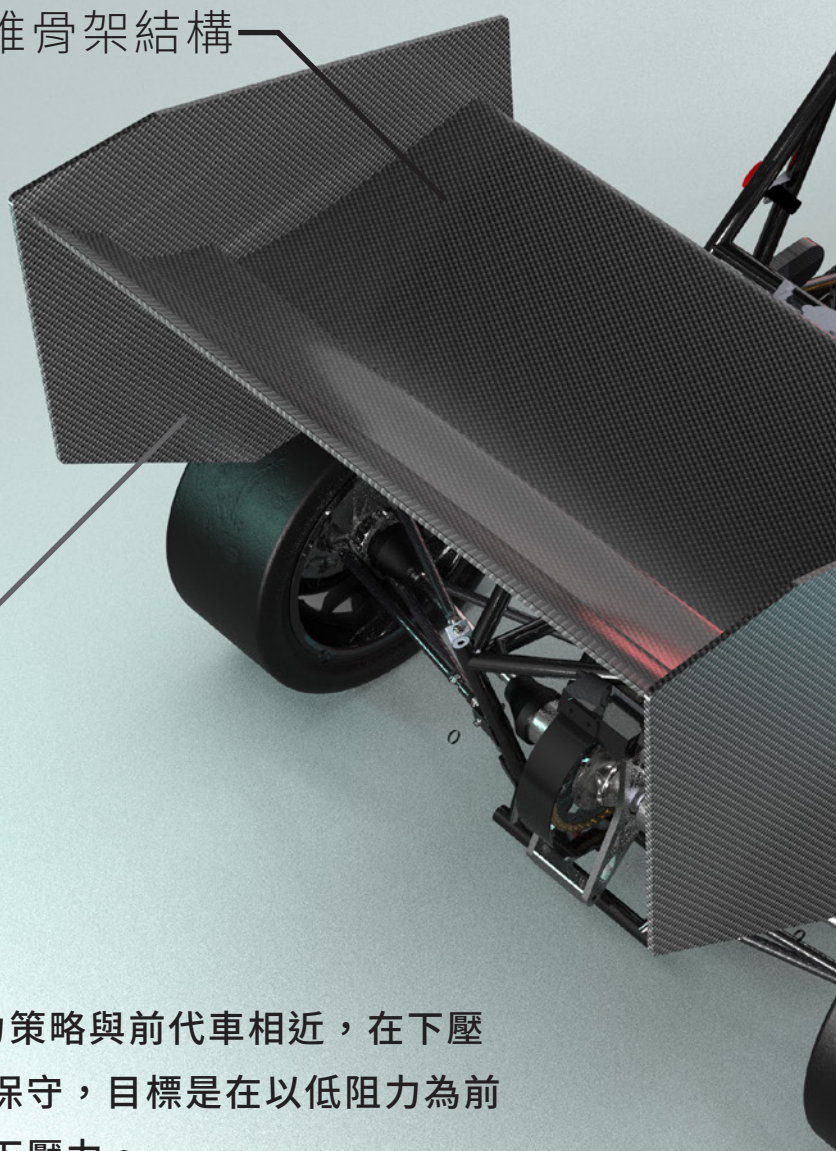


空力組

碳纖維骨架結構

尾翼

Epsilon3 的空力策略與前代車相近，在下壓力的設計上較為保守，目標是在以低阻力為前提下盡可能提升下壓力。



前翼

Epsilon3 的前翼的翼型幾何優化

車殼

Epsilon 3 車殼延續了上代車洗鍊的黑色基底外觀，並在幾何上加入稜線的設計，讓車殼在流線的外型上更具立體感。

碳纖維蜂巢鋁夾心板

複材製程

今年 Epsilon3 首度嘗試完整碳纖維複材製程，其中包括發泡材公模成型，玻璃纖維母模翻製，以及最後的碳纖維成型。我們也將手積層、樹脂真空轉注二種製程全面自主化，讓隊員們親自熟悉製程，累積經驗，為未來更進階的碳纖維複材應用打下基礎。其中特別感謝**南寶樹脂**提供我們碳纖維布與高強度熱壓板件作為端板以及翼面結構使用，並提供我們最完整、最即時的技術支援，讓我們在碳纖維的製程上有長足的進展。也感謝**永寬化學**提供我們高品質的客製化環氧樹脂使用。

模具製程

本次 Epsilon3 採用 CNC 保麗龍作為車殼模具成型基礎，表面塗佈環氧樹脂隔離層，再鋪覆補土進行表面修飾。相較於一般 PU 模或木模，保麗龍模具有著極大的價格優勢，其成本約為前者的 20% 左右。此外，Epsilon3 分別使用了 3D 列印以及 CNC 高密度聚苯乙烯發泡板 (XPS) 製作前尾翼的模具，而值得一提的是這兩種製程皆為隊員使用校內設備製作完成。雖然精度稍嫌不足，但相較於委外開模可以省下大量預算，讓車隊寶貴的資金應用在刀口上。

輕量化結構

碳纖維蜂巢鋁夾心板 Epsilon 3 的尾翼端板採用了**南寶樹脂**提供的碳纖維熱壓板及**統成蜂巢**提供的蜂巢鋁芯材製作而成的夾心板，其優異的剛性表現大幅降低了因為板材面積過大產生的形變問題，同時也可成為支撐翼面的結構件之一。而蜂巢鋁與碳纖維板間的黏合則採用了**長興工業材料**提供的高強度結構膠，讓金屬能穩固的與複材黏合。

碳纖維骨架結構 不同於前代車用碳纖維布包覆發泡芯材的成型方式，Epsilon3 的前尾翼都是以碳纖維板建構成的骨架作為主結構，並在外層包覆碳纖維蒙皮搭建而成，這樣的設計不僅能減輕車重，更可以減少空力套件質量對車輛動態造成的負面影響。

	Epsilon 2	Epsilon 3
前翼	9	4.2
尾翼	7	7
車殼	1.8	2.2

Ep2 與 Ep3 重量比較 ▶

單位: kg



▲ 3D 列印模具



▲ XPS 模具



▲ 翼面骨架結構

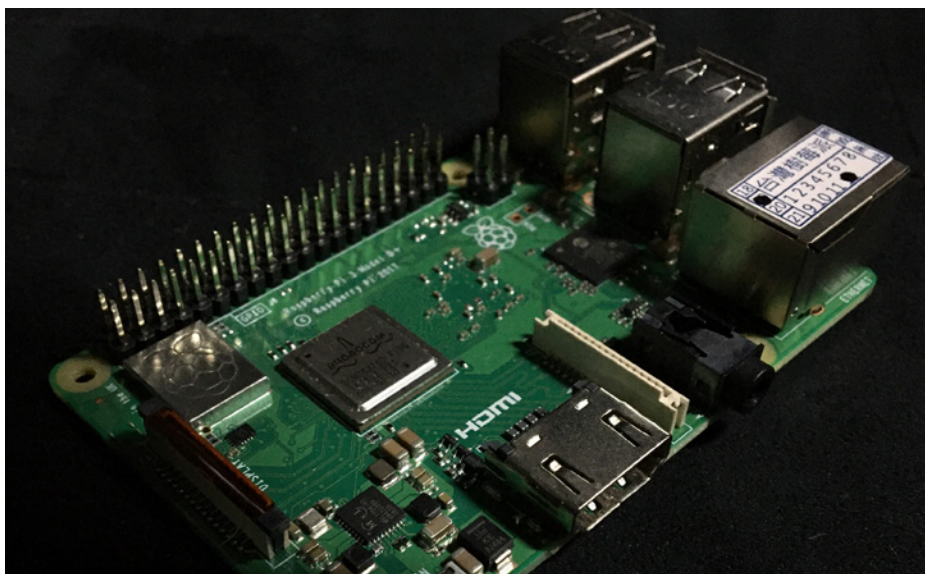


▲ 夾心板

主控電腦與微處理器

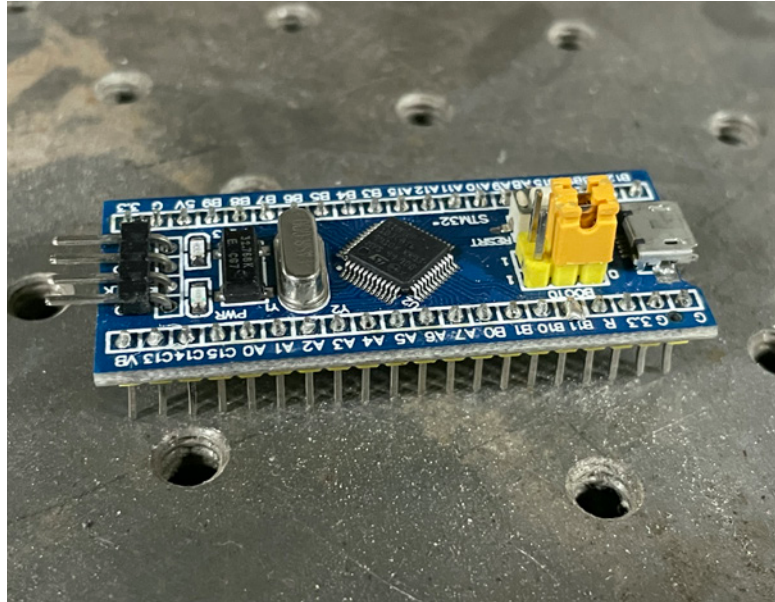
本年度車上主控電腦與過去相同，仍為 RaspberryPi，它的穩定性以及極高的擴充度為我們的訊號處理以及資料收集提供了可靠的平台，感謝 **RICELEE** 持續提供隊上使用的樹莓派，讓我們在研發及傳承上都有足夠的資源。此外，本年度引入了新的檔案架構，實現模組化的程式結構，讓每個檔案可讀性更高，幫助我們分析賽車的性能表現。而在性能上，我們則透過在車上 5 個感測器節點上應用 Multithreading 讓感測器的響應更為快速，同時著手設計 Benchmark 讓我們能夠更加清楚程式的執行情況並且驗證程式改善的效果。

微處理器部份，不同於過去兩年使用易開發的 Arduino，我們今年引入了 STM32 作為我們的微處理器，在基礎時脈上，由 16MHz 提昇至 72MHz，在相同的 ARM 指令集以及更接近底層的開發環境下，效能將可獲得數倍提昇，在效能提昇的基礎下，日後可以進行更多的擴充，舉例來說：加入更多的感測器、分擔 RaspberryPi 的運算工作等等；此外，在新的微處理器上，我們擁有更多的自定義空間，也更容易去對錯誤進行修正，提升我們開發的效率及靈活度。



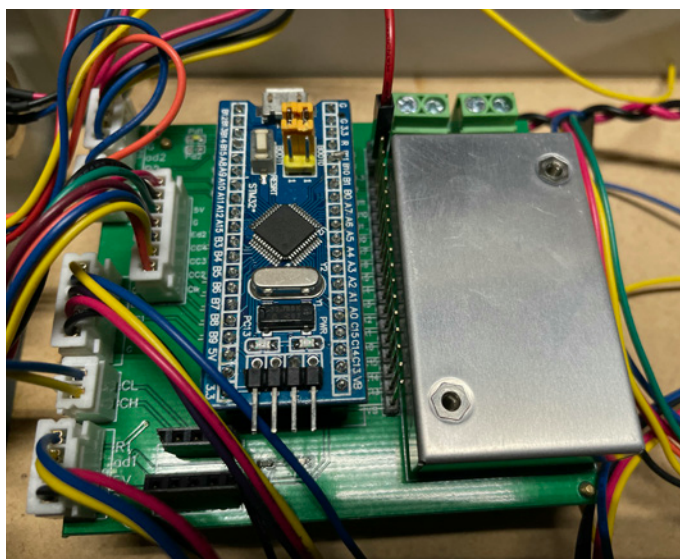
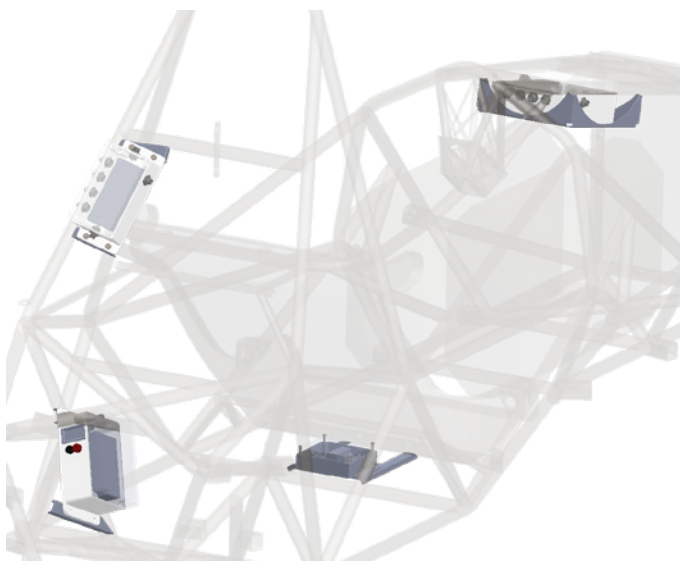
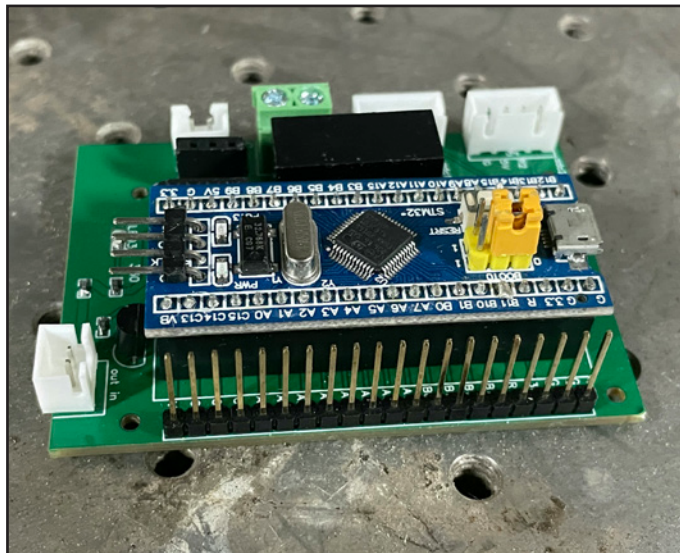
提升資料收集、處理能力

在資料收集上，Epsilon3 目前配備的感測器有：GPS 感測器、懸吊行程感測器、輪速感測器、九軸慣性測量單元 (IMU)、轉向監測、以及油門煞車行程感測編碼器，在編碼器上，由去年的類比訊號改為今年的數位訊號，除了可以提昇訊號的穩定性，也預期可以減少微處理器的負擔，在眾多感測器的基礎下，將有利日後進行車輛動態分析及車輛的主動控制。



PCB 印刷

本年度的其中一個開發重點為將整體走線及配置精簡化，在各個系統的箱子內，我們使用了電路板作為主要的走線工具，如此一來能夠使整體線路更加簡潔，也可以減少線材脫落的風險。此外，本年度的電路板更加注重佈局及走線的合理性，有助於在穩定性上的提昇，感謝**銀河製版印刷有限公司**的大力贊助，提供許多寶貴的建議，讓我們在系統的穩定性上，能夠有更好的表現。



大幅簡化系統架構

Epsilon 3 的低壓電系統目標為減少次系統箱數，而在努力簡化下由 Epsilon2 的 8 箱減少為 4 箱，除了將功能重複性的系統整併，也將安全電路及電池管理系統併入電池箱中，減少線路數量與複雜度，易增加可維護性。

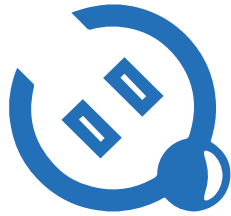
各單元電源隔離

Epsilon 3 的低壓電電壓由 12V 提升至 24V，電壓提高可使電流下降，在傳輸過程中帶來更低的損耗。在電源上不同於 Epsilon 2 穩壓後統一為各系統供電，採用了分箱穩壓，減少傳輸中的損耗與雜訊，讓各系統能夠擁有最穩定的電源供應。

注塑線材

不同於以往以裸線貫穿整車，Epsilon 3 以在箱外走線以注塑線材為主。注塑線材能夠大幅提升線材的抗拉扯能力，在防水性能及線阻上都有著更卓越的表現，在負責整車通訊的 CAN 線上也加入隔離層，使其擁有更好的抗干擾能力，能夠應付賽車的惡劣環境，特別感謝**晟祥電子**贊助，為 Epsilon 3 客製化整車線材。





Miézo



FU ZHUAN
FU ZHUAN



格斯科技
GUS TECHNOLOGY



淨對流
Xpure



晟祥電子有限公司
Sunshine technology Co., Ltd.



unilli

SKF

KEEBI
Professional CNC Processing

RK
TAKASAGO CHAIN

Chroma



racingbros



WURTH
ELEKTRONIK



GLAM
Carbon fiber composites



Sing Yung
Hydraulic Cylinder



HEXAGON



銀河製版印刷有限公司
GALAXY PROJECT CO., LTD.



勢流科技
PLOTRENG SINCE 1997

COMSOL



TAIWAY LTD.
台惟工業 股份有限公司

EVERWIDE
Everwide Chemical Co.

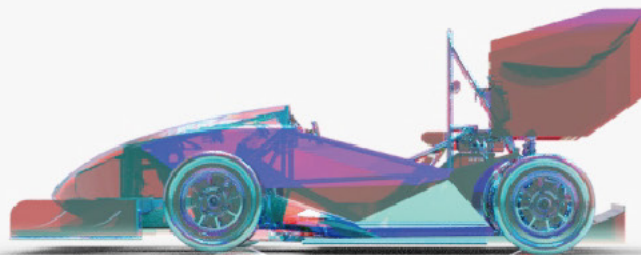


RICELEE



SolidWorks

RBTCB
統成蜂巢



NTU RACING
TEAM FROM TAIWAN