

出國報告（出國類別：開會）

參加法國 2023 年 JEC 會議

服務機關：台灣中油公司煉製研究所

姓名職稱：張家林 專案經理

派赴國家：法國

出國期間：112 年 4 月 23 日至 112 年 4 月 28 日

報告日期：112 年 5 月 24 日

參加法國 2023 年 JEC 會議目次:

一、摘要	P.3
二、目的	P.3
三、行程說明	P.3
四、會議/展覽內容	
(一) 會議/展覽主題	P.3
(二) 原材料(Raw Materials)	P.6
(三) 複合材料(Composites)	P.21
(四) 回收材料與製程(Recycled Material and Process)	P.26
(五) 設備(Equipment)	P.31
(六) 複材應用(Application Of Composites)	P.33
(七) 碳纖公司的 ESG 策略	P.39
五、具體成效、心得及建議	P.41

一、摘要

法國 2023 年 JEC 會議，為全世界複合材料產學界最大盛事，美國與歐洲相關碳纖維與複合材料應用廠商皆會參與此盛事，並揭露最頂尖的碳纖維與複合材料相關技術、設備、市場與發展趨勢；此行目的將收集碳纖維與複合材料包含設備與技術等最新資訊，作為公司開發瀝青基碳纖維與複合材料之參考。

二、目的

碳/碳材、碳/樹脂所構成的複合材料件，具有高剛度、高耐化性、耐潛變、耐疲勞與低變性量等優點材料。目前在輕量化載具與風力發電系統領域，因可達到減少能源使用與碳排放量的目標，近期相當受到矚目。高階的碳纖維複合材料也是航太國防部科或缺的一環，例如 5G 通訊的發展，很可能仰賴低軌衛星進行訊號傳播，減少地面基地台的建設，而碳纖維複合材料即是建構衛星的重要構件。目前我們已經逐漸掌握瀝青基碳纖維原料的製作，對於後續量產製程與複合材料加工的設備與技術等，應隨時掌握各類研發資訊與產業技術脈動。

本次 JEC World 參與者來自 44 個全球各地不同之國家，共計約 1,100 間廠商針對複合材料供應鏈提供了完整的技術展示及商討機會，其中包含全球碳纖維指標性供應商，如日本 Toray、日本 Mitsubishi、日本 NGF、比利時 Solvay、德國 SGL 等前來參展，藉由參加此次會議，瞭解現今碳纖維的指標性能與目標產品，減少在錯誤中學習，來截長補短，加速本公司相關技術的研發進展與後續策略訂定，以實現台灣發展瀝青系碳纖維相關產品開發，帶動台灣整體複合材料產業鏈為目標。

三、行程說明

日期	詳細工作內容
04/23	起程：桃園國際機場→法國戴高樂機場
04/24-26	抵達法國戴高樂機場
04/25-26	參加JEC World 2023展覽
04/27-28	返程：法國戴高樂機場→桃園國際機場

四、會議/展覽內容

(一)會議/展覽主題

本此出國考察之展覽會，為歐洲歷史最悠久、規模最大之國際複合材料展覽－法國巴黎複合材料展覽會(JEC World)。JEC World 展覽由 JEC Group 所舉辦，JEC Group 為全球最大之

複合材料組織，創辦 JEC World 於 60 年代[1]，每年皆於巴黎舉辦，於會議中展示複合材料展業最新技術與應用。



圖 001：JEC World 2023 於法國北維勒班展示中心舉辦。

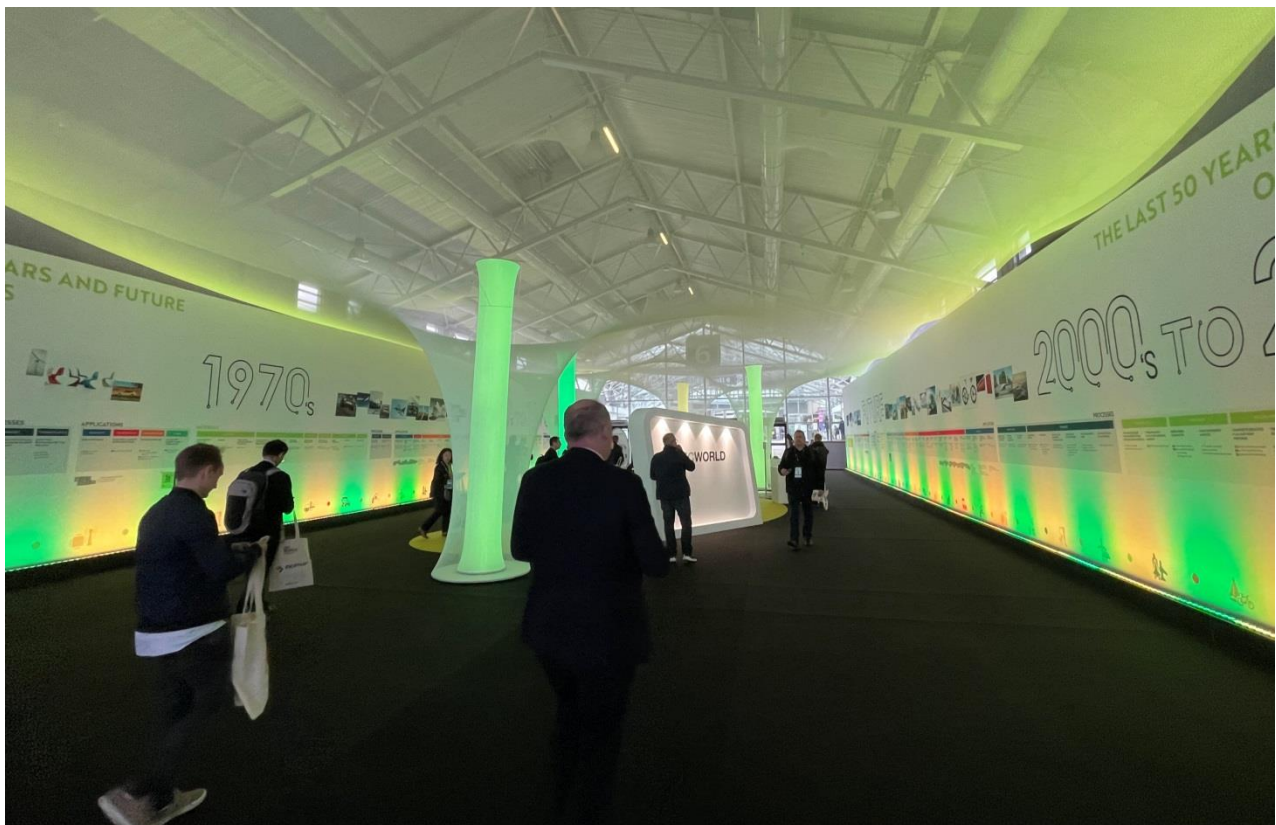


圖 002：入場以時光迴廊呈現整個複合材料發展歷程。

JEC World 2023 舉辦地點位於巴黎北維勒班展覽中心（Paris Nord Villepinte）舉辦，北維勒班展覽中心為巴黎最大的展覽／活動中心之一，其位於巴黎北部，距離巴黎戴高樂國際機場約 15~20 分鐘左右之車程，在交通可說是上十分便利。

北維勒班展覽中心共有八個展示區域，而本次主要展示場域分為 Hall 5 與 Hall 6 兩個鄰近展區進行，展場大小共計 72,000 米平，展場地理位置與廠商配置，如圖 003 所示。根據 JEC World 統計，今年度有來自 44 個國家、約 1,100 間廠商、約 33,000 名以上參展者前來參予今年度 JEC 盛事。參展廠商以歐洲國家為主，共佔約 54%，其中以德國人數最多，其次為法國（占比 19%）。而本次參展美洲（占比 12%）及亞洲（占比 11%）人數比例相比 2022 年各提升 7%及 2%。



圖 003：整體展場配置圖。

JEC World 2023 展覽廠商主要以複合材料為主，複合材料之定義，是將兩種或兩種以上不同性質之材料經由某種製程，相互組合而成之多相材料。依據性質區分可分為基材(matrix)與強化材(reinforcement)，基材可分熱固性基材(thermoset matrix, TS)及熱塑性基材(thermoplastic matrix, TP)，至於補強材材料具有碳材料(Carbon)、玻璃(Glass)、玄武岩(Basalt)、生質材料(Biobased)、高分子(Polymeric)與金屬(Metal)等，在會場進入後的時光迴廊有相關的複合材料原料展示(圖 004)。

將複合材料進行加工製作成最終成品的製程，依據展場介紹可分為十項，分別為射出成型(injection moulding)、壓縮成型(compression moulding)、噴塗工藝(open mould processes)、3D 列印(3D printing)、真空輔助灌注工藝(infusion-VARI)、氣囊成型(bladder moulding)、樹脂轉注成型(resin transfer molding, RTM)、拉擠成型(pultrusion)、細絲帶纏繞(filament-tape-winding)及自動鋪帶技術(automated tape laying, ATL)，上述十項複合材料加工製程展示如圖 005 所示。



圖 004：複合材料時光迴廊裡的原料展示。

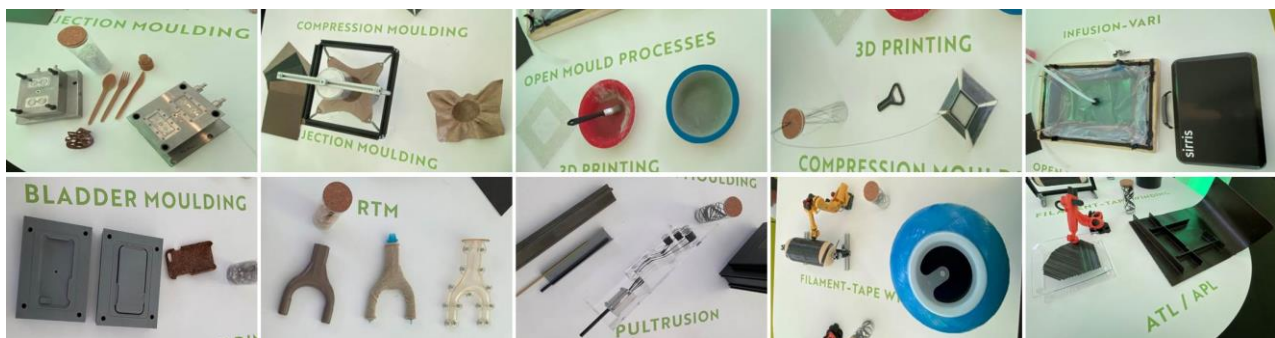


圖 005：複合材料時光迴廊裡的十種複合材料加工製程展示。

本展覽舉凡複合材料原料、原料/複合材料生產設備、複材製造設備耗材、回收材料與設備、複合材料產品應用…等皆可於展場中與廠商進行交流與商談。而複合材料應用領域可涵蓋太空(Aerospace)、無人機(Drone)、自動車與道路運輸(Automotive & Road Transportation)、國防高敏工業(Defense, Security & Ballistics)、機械設備(Equipment & Machinery)、生活家居設計(Design, Furniture and Home)…等具有輕量化與強度需求之產業

(二)原材料(Raw Materials)

本次展覽原料廠商大多以纖維為主，主因為纖維其高可塑性，且編纖維能藉由編織進而提供複合材料其強度。纖維種類繁多，展覽中以碳纖維為主流，其他還涵蓋天然纖維（生質纖維、玄武岩纖維等）、玻璃纖維、化學纖維等，而其餘原材料也包含了樹脂、接合劑、表

面改質劑、發泡材料、軟性材料等。下列針對本次考察所參訪之重要廠商進行分享及說明。

1 碳纖維(Carbon Fiber)

(1)Toray(日本)

在“化學創新”的口號下，東麗的業務包括纖維和紡織品、塑料、化學品等，是碳複合材料和輕質結構領域的領先專家，在全球 29 個國家和地區擁有 46,000 名員工。此次展覽展示其新開發之碳纖維，分別為高強度（T1100GC/T1100SC）與高模數（M60J）兩種碳纖維（圖 006），此二者應用領域主要為航太、無人機與太空發展，其餘中低強度/模數之碳纖維則應用於運動器材（圖 007）、自動車等。

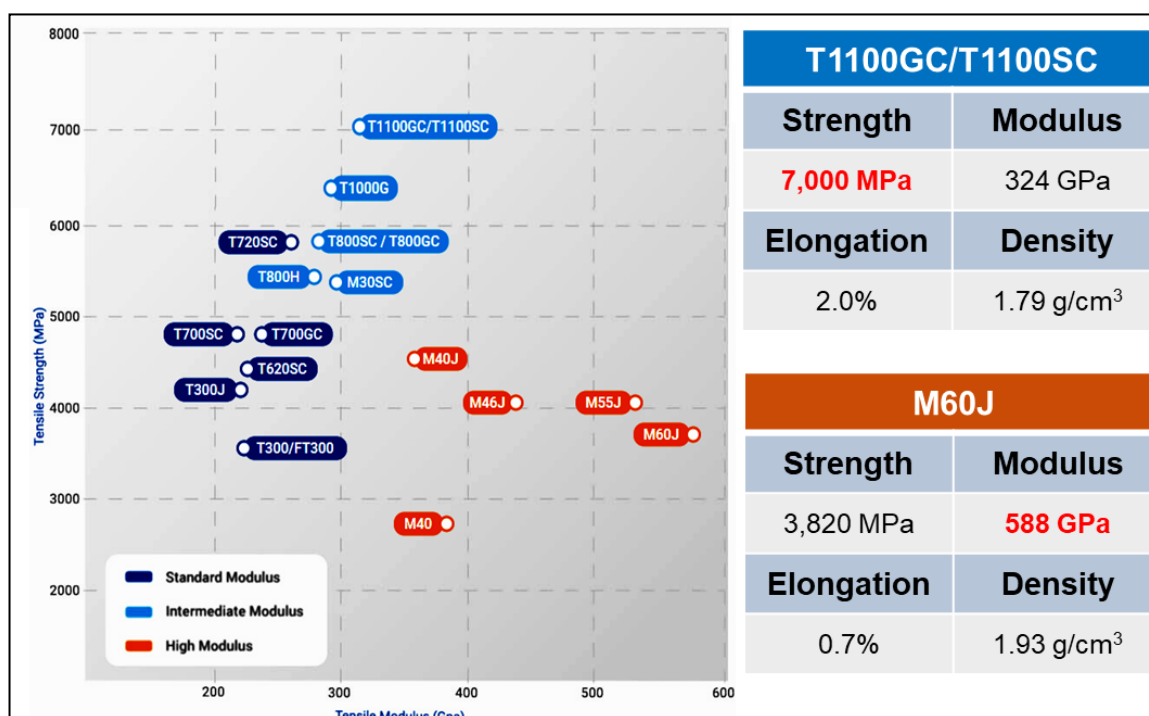


圖 006：Toray 碳纖維之機械性質。



圖 007：Toray 碳纖應用於運動休閒產品。

熱塑樹脂與碳纖的含浸難度高，缺點是熱變形溫度低、剛性差。熱固性纖維複材在結構強度、剛性、耐候性等有絕對優勢，但其廢棄物的處理是相當令人頭痛的問題。但此，碳纖熱塑複材，以往甚少應用於太空產業，因為機械性質無法負荷。但隨著新熱塑材料的推陳出新(例如 PEKK 家族)，使得兼具剛性與熱變形溫度低的碳纖熱塑複合材料能夠實現，進而可

以應用於太空產業。Toray 與日本 ispace 新創月球探索公司合作開發 Hakuto-R 著陸器(圖 008)，由 SpaceX 的 Falcon 9(獵鷹九號)火箭承載，自佛羅里達州發射升空。Hakuto-R 的 R 是 Reboot (重啟) 的意思，和先前參賽時不同。Hakuto-R 並不以月面探測為主，而是想要提供載送其他客戶的酬載前往月球的服務。此次的 Hakuto-R 任務就是這樣的一個實證任務，主要是證實 Hakuto-R 有能力在與負責發射的 Falcon 9 火箭分離後，導航至月球軌道，再由月球軌道安全地降落在月表。



圖 008：全碳纖 Hakuto-R 著陸器。

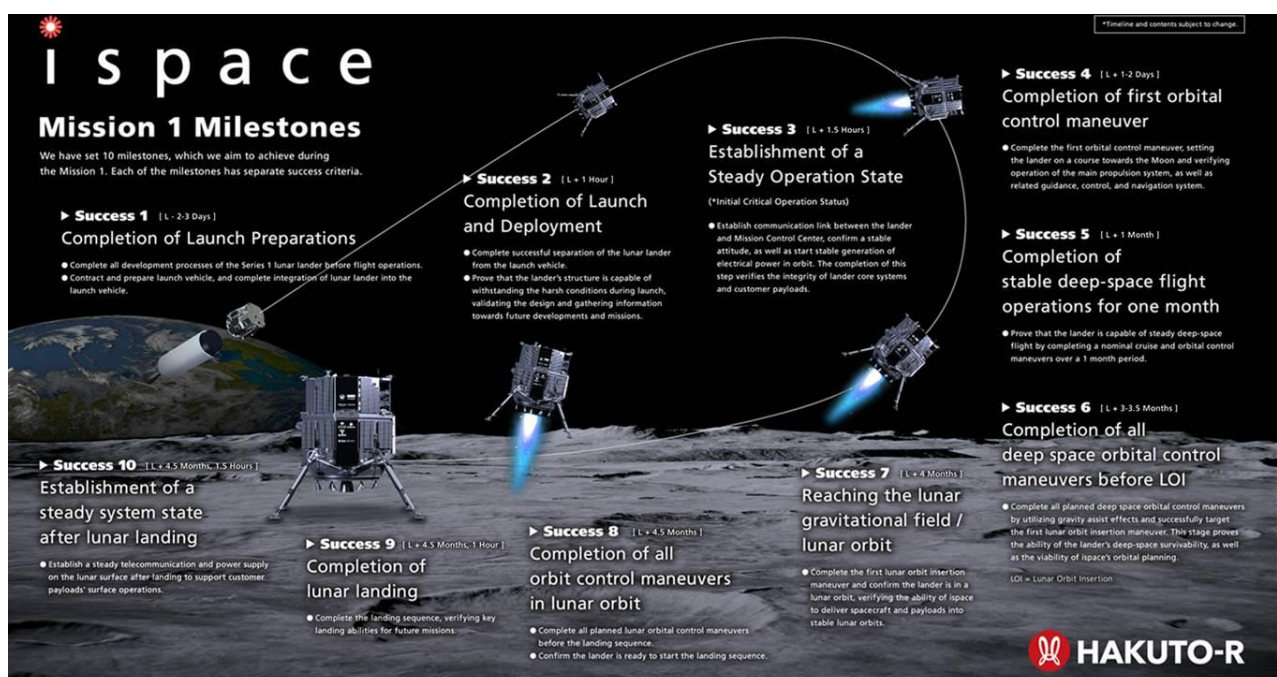


圖 009：日本 ispace 的 Hakuto-R 之 Mission 1 設定里程碑。(ref: iSpace 官網)

經過 5 個月飛行，日本 ispace 公司的 Hakuto-R 著陸器於台灣時間 26 日凌晨 12 點 40 分來到登月關鍵時刻。可惜 Hakuto-R 在著陸前 1 分鐘與地面控制中心失去通訊，可能墜毀月球，最終 ispace 宣布私人登月任務以失敗告終。在這場著陸之前，HAKUTO-R 其實已完成 8 個里程碑，第 9 個就是成功軟著陸、第 10 個為著陸後與地球建立通訊及產生穩定供應電力。雖然著陸任務失敗了，但 ispace 感到非常自豪，該公司另一個月球著陸器計畫預計於 2024 年發射。(ref: <https://technews.tw/2023/04/26/hakuto-r-ispac-moon-landing-japan/>)

世界上的碳纖大廠亦紛紛投入碳纖維回收製程、產品與應用的開發，Toray 也投入大量研發於其中。連續纖維增強熱塑性複合材料(Continuous fiber reinforced thermoplastic composites, TPC) 在航太以及最近的體育用品、汽車和工業領域越來越受到關注。不斷增長的需求導致越來越多的後工業廢物。在生產過程中，多達 1/3 的材料被浪費，到 2024 年，僅在荷蘭就會產生大約 1000 噸高端 TPC。最近，還因為使用了更多低成本的大批量材料，導致了更多的生產浪費。由於 TPC 材料沒有合適的回收解決方案，結果會是相當大的經濟損失。對於高端 TPC 回收產值，估計約為 1 億歐元。除了經濟動機之外，立法和更多的環保意識也讓回收議題更受矚目。與熱固性材料相反，TPC 可以通過再加熱進行再加工(圖 010)，因此被認為是可回收的。

TPC-Cycle: New recycling route for thermoplastic composites

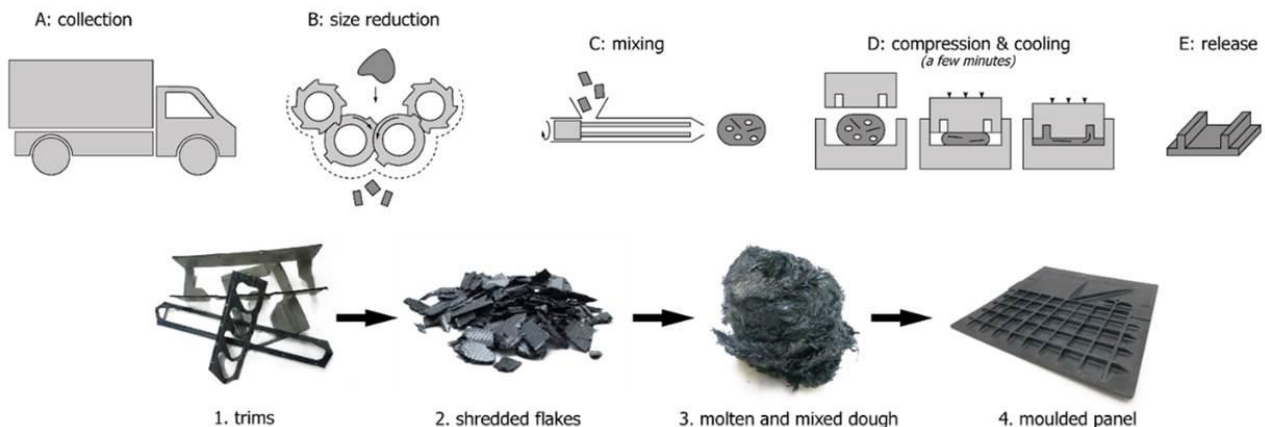


圖 010：TPC 的回收再加工流程圖。(ref: Toray 官網)。

TORAY 在德國成立碳纖維前瞻研發中心 euro advanced carbon fiber composites GmbH (eacc) 是一家輕量化組件領域的創新科技公司(圖 011)，是 Toray 的全資子公司，目前在德國有兩個基地：Esslingen、Markgröningen sites。其主要研發項目之一即為回收碳纖維相關技術的開發，現場有展是以回收碳纖維 rCF 結合 Delta Tech 的生質樹脂，以 Forging(鍛造)方式製作的 Porsche GT4 ePerformance 的前引擎蓋(圖 011)。TORAY 也展示其在回收碳纖維之產業與應用的研發實力，利用自身開發之 Thermal decomposition 之技術(圖 012)，達成碳纖維的連續回收製程，並開發 chopped rCF(recycled Carbon Fiber)與 milled rCF 兩種回收碳纖維產物，並進行後續的加工，能以射出成形的產品為主要的 rCF 產品設計目標(圖 013)；另外 Toray 也跟合作夥伴根據碳纖一些特有性質(剛性、熱傳導好)來開發 rCF 產品，例如高速公路的隔音板、淨水的濾心粒、防火磚等(圖 013)。



圖 011：Toray 成立 eacc 研發中心，右圖為 rCf 結合生質樹脂所做成的前引擎蓋。

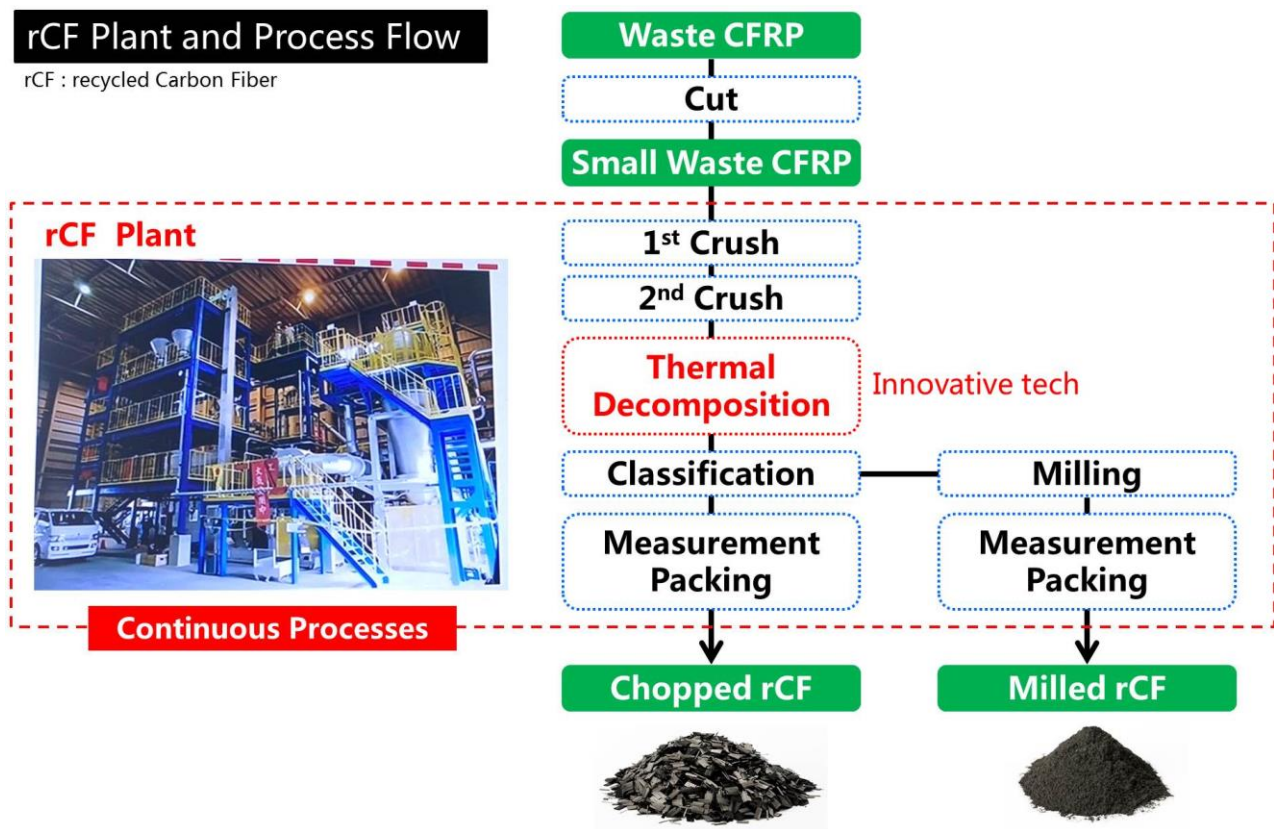
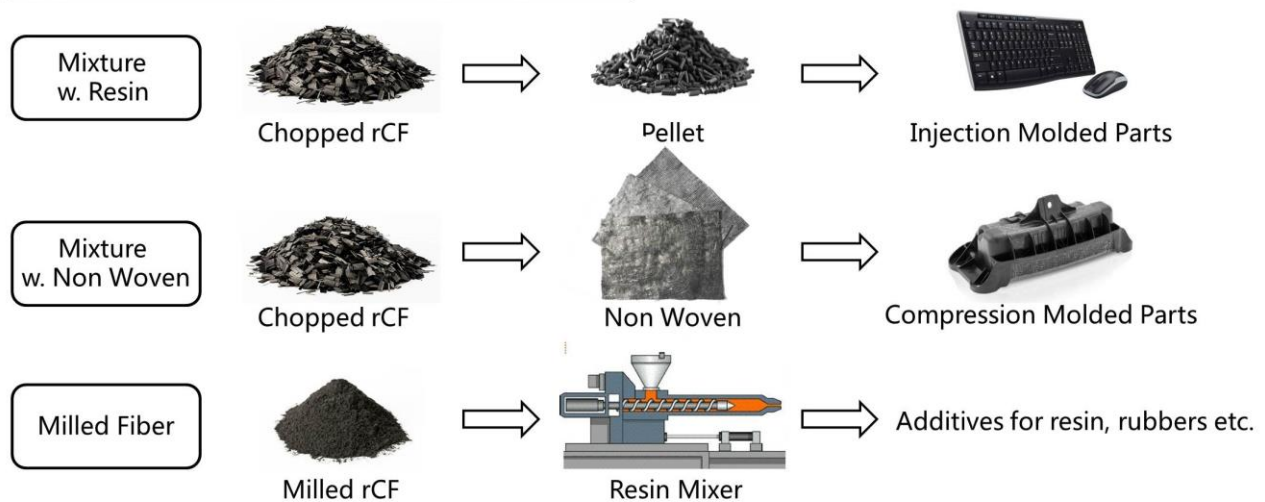


圖 012：Toray 的 rCF 工廠與流程圖。

Application development using Toray's rCF



Partner's Products using Toray's rCF

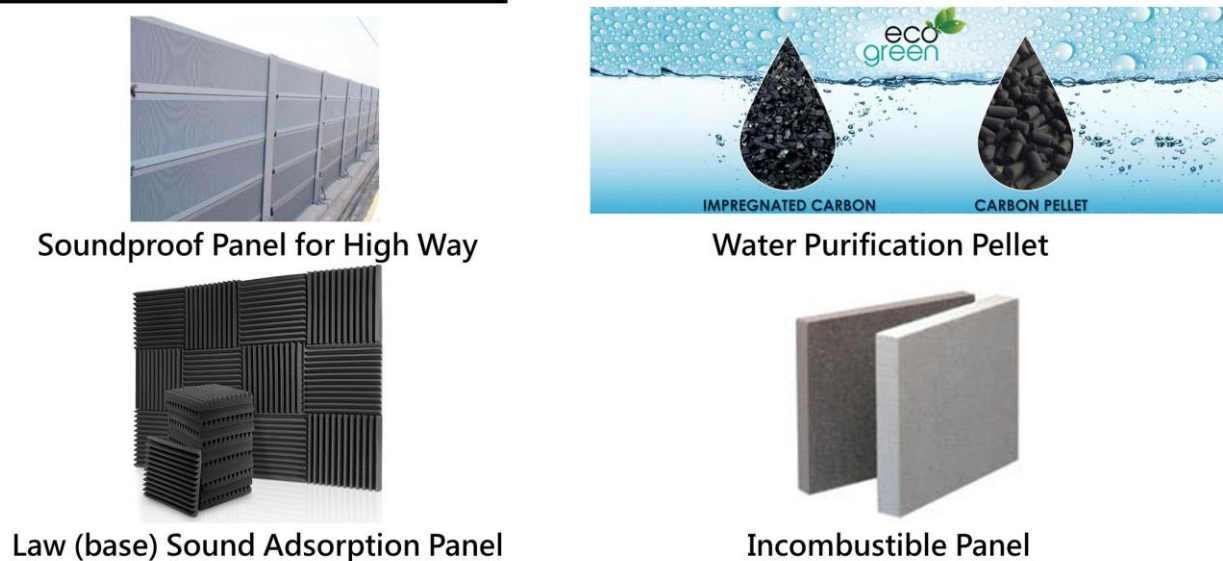


圖 013：Toray rCF 的製程與合作夥伴的應用產品開發。

(2)Mitsubishi(日本)

Mitsubishi 與 Toray 為世界之碳纖維領導廠商，作為碳纖維性能的指標，Mitsubishi 展示了自家 pitch(瀝青)系與 PAN(聚丙烯腈)系碳纖維長纖，短切纖維、研磨纖維、回收碳纖維(rCF)與 C/C 複合材料應用展示，如圖 014 所示。

Mitsubishi 為展場唯一現場展出 pitch 碳纖維的廠商，性能如圖 015 所示，藍字為 pitch 系碳纖維，其中模數最好可達到 930 GPa，導熱係數可達 800W/m·K；而綠色為 PAN 系碳纖維，其中強度最高可達 7.0 GPa，模數約 310 GPa。

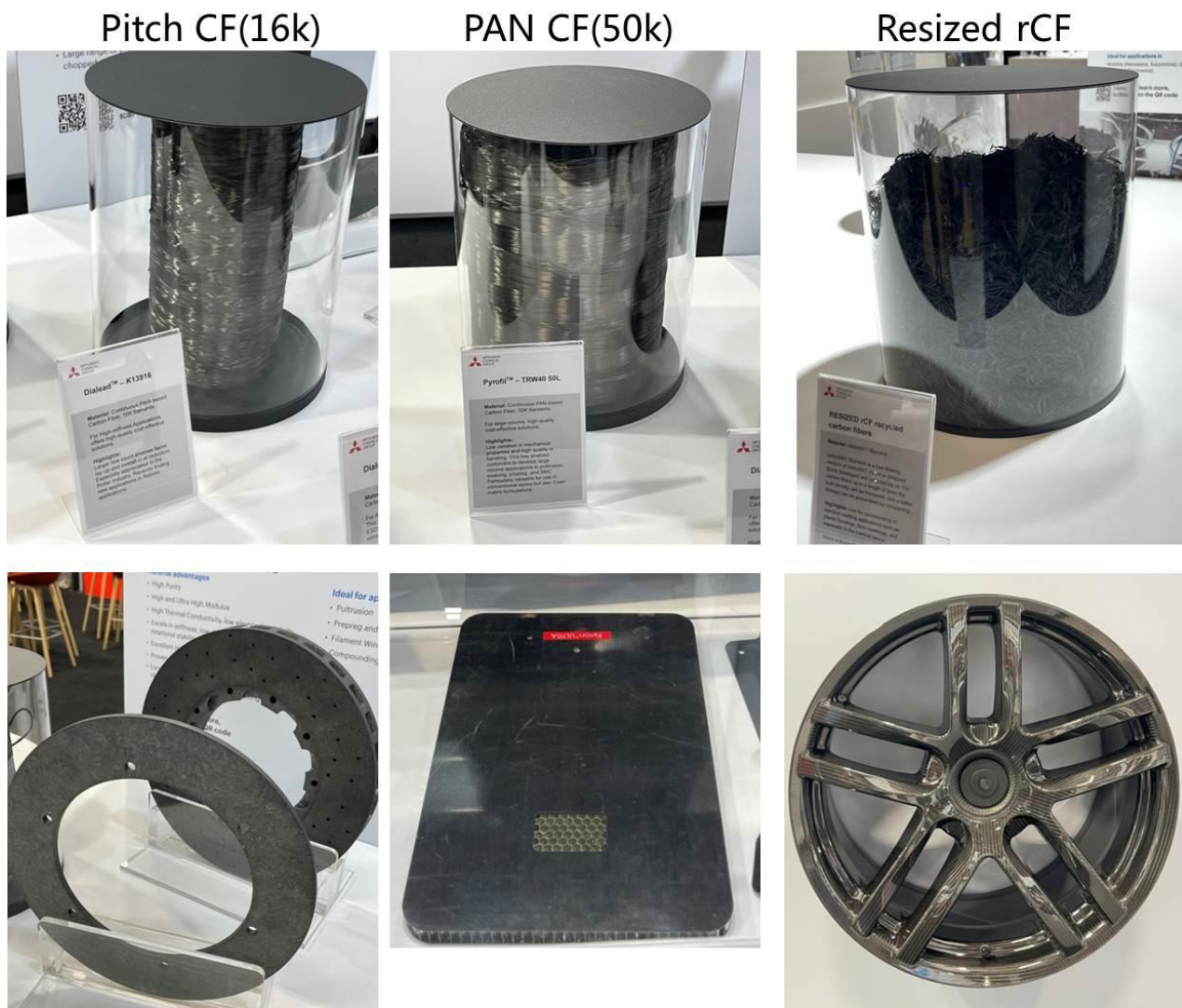


圖 014：Mitsubishi 現場展出 pitch 系、PAN 系碳纖維，以及回收碳纖維，並有多種產品展出。

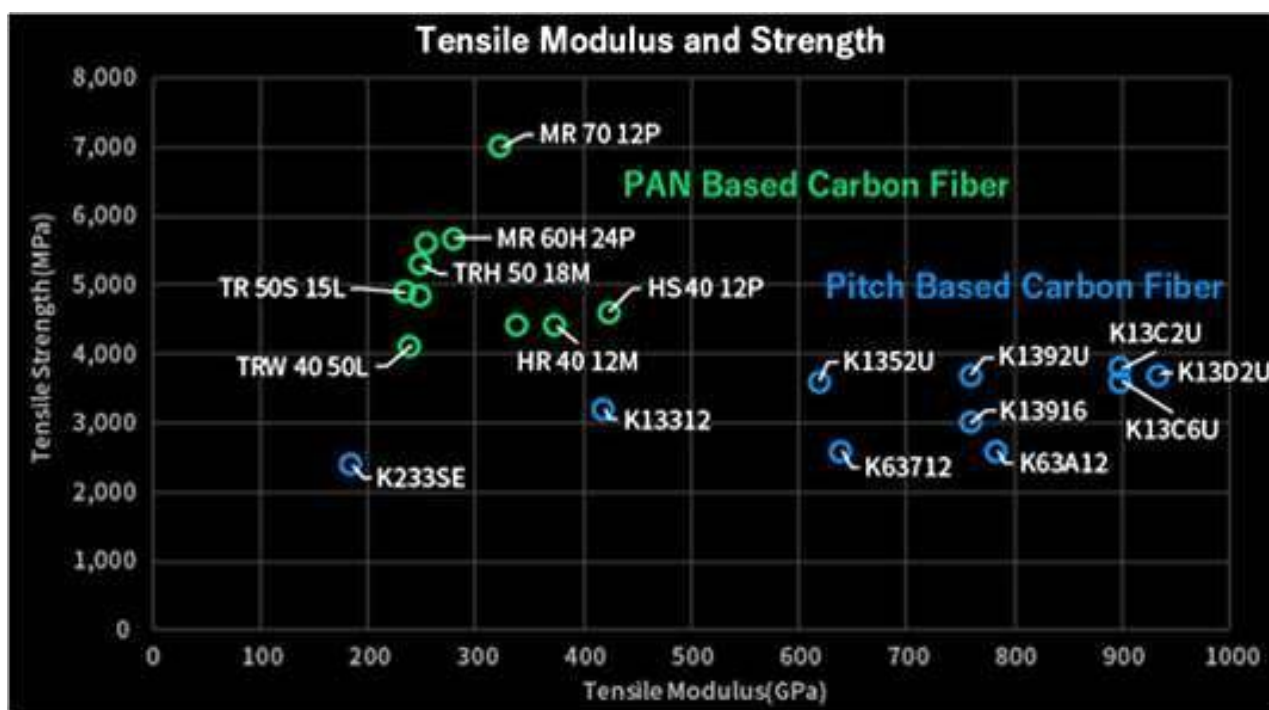


圖 015：Mitsubishi 碳纖維性質圖。

展示品中也包含瀝青研磨碳纖維(圖 016)，其依據使用者需求可選擇不同性質之研磨纖維，其具備高導熱性或高電阻率之產品，例如 K23EHM 因有良好的電磁屏蔽效應，故可應用於電子設備外殼設計之中。

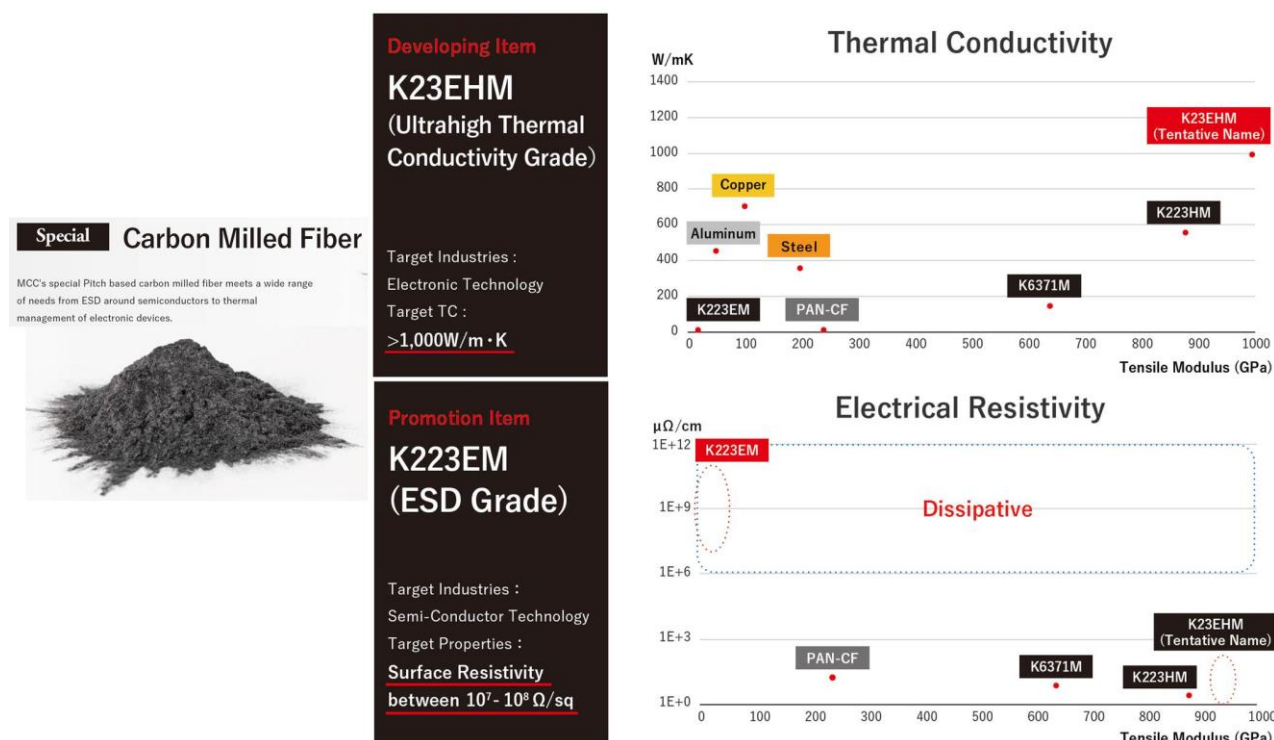


圖 016：Milled pitch-based carbon fiber 展示及其規格性能。(ref：日本三菱化學官網)

Mitsubishi 所開發 KyronMAX[®] 碳纖維複合材料，為新型高強度熱塑性複合材料(圖 017)，除了耐化學、抗疲勞性與低吸濕率外，KyronMAX[®] 強調的重點在於，可用於複雜高規格之射出成型。重量相較鋼鐵更是減少了約 75%。KyronMAX[®] 的基材若為 PEEK 樹脂，其複合材料的拉身強度可達 336 MPa，模數可達 37 GPa，表面電阻為 <105 ohm/sq。



圖 017：KyronMAX[®] 碳纖維複合材料及 KyronMAX[®] 與金屬重量對比。

(3) Nippon Graphite Fiber Corporation(日本)

日本 NGF 主要製作瀝青系碳纖維，原料來自於煤焦。NGF 碳纖維熱膨脹係數極低，依據細度可分為 XN 與 YS/YSH 系列，其細度分別為直徑 10.0 μm 與 7.0 μm 。目前最高模數之

連續碳纖維為 90 系列(圖 018)，其模數可達 880 GPa、強度為 3.5 GPa。而短切纖維部分目前性能最佳的為 XN-100，其模數達 900GPa、導熱係數可高達 900 W/mk。

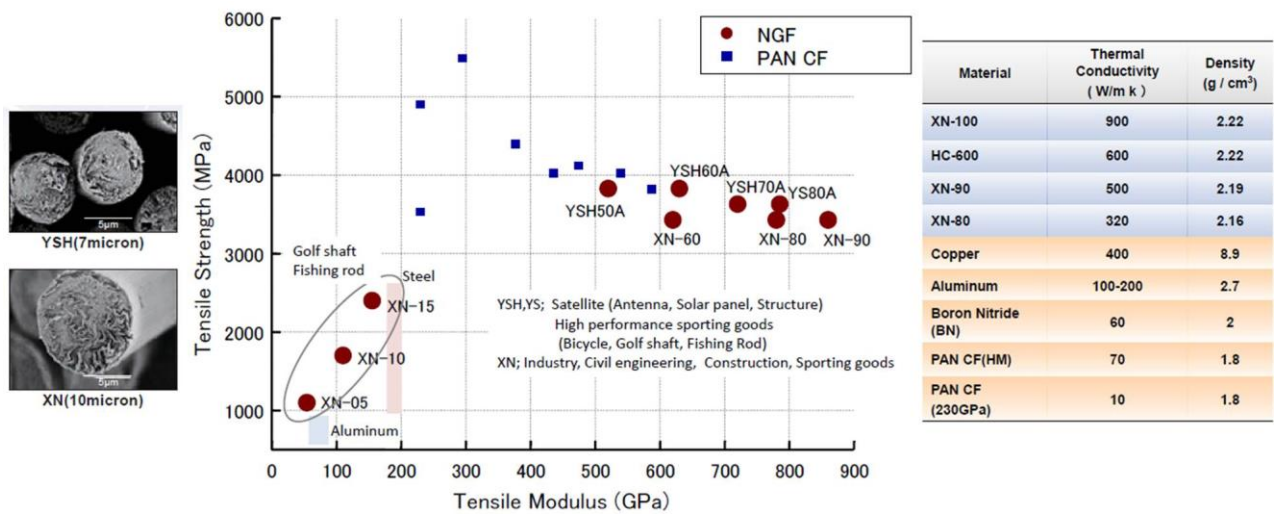


圖 018：NGF 的 pitch 系碳纖維機械/熱性質與密度。

(4)Hexcel(美國)

美國 Hexcel (赫氏) 公司成立於 1948 年，主要業務包括碳纖維、複合材料和結構部件，現有全職員工 7000 餘人，在全球各地擁有 24 個生產基地，而目前 Hexcel 也是美國最大的碳纖維生產商，主要發展項目著重在航天航空與國防之複合材料與產品開發。



圖 019：Hexcel 展出的碳纖維與航天相關複材產品。

Hexcel 現場並展出以該公司開發的 HexPly® Nature Range 天然纖維(亞麻纖維)與生質衍生的環氧樹脂結合的複合材料，為汽車、冬季運動、海洋和風能等應用創造新的材料解決方

案(圖 20)◦HexPly® Nature Range 包括經過驗證的樹脂，例如 HexPly M49、M78.1-LT 和 M79，但含有生物衍生環氧樹脂。Hexcel 並與 TÜV Austria 合作，為 HexPly® Nature Range 產品的生物含量提供生物基認證，讓顧客能夠從石油基材料解決方案轉向天然的材料，且不會在性能與製程上有任何的犧牲。由這種生質複合材料會產生自然的黑色沉澱，如圖 020 中所示。

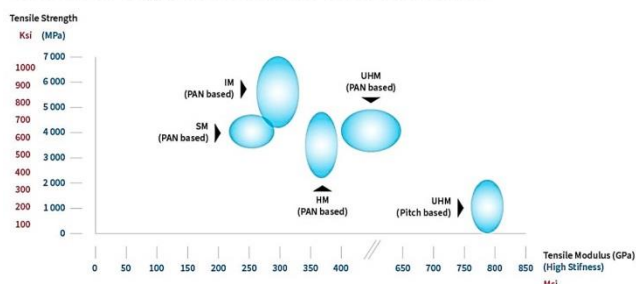


圖 020：Hexcel 展出的生質碳纖複合材料所製作的引擎蓋與雪撬。

(5)Solvay(比利時)

Solvay 化學公司，是總部位於比利時布魯塞爾的跨國性化工集團，2015 年收購美國第二大絲束 PAN 系碳纖維生產商 Cytec，2017 年收購德國 50k 碳纖維原絲生產商 ECF 公司。Solvay 是繼日本 Mitsubishi 之後，全球第二家同時擁有 PAN(聚丙烯腈)系碳纖維和 pitch(瀝青)系碳纖維生產能力的廠家，其碳纖的性能如圖 021 所示。但由於該公司業務範圍廣泛，因此碳纖維業務屬於錦上添花的板塊，所以無論是 PAN 基碳纖維亦或是瀝青基碳纖維，纖維主體性能不算提高。Solvay 在 2019 年底，與德國碳纖維製造商 SGL 碳素簽署聯合開發協定，以將第一批基於大絲束的中模量(IM)碳纖維複合材料推向市場，其中大絲束碳纖維由 SGL 碳素提供，而 Solvay 則負責主要結構樹脂系統部分。

Tensile strength and modulus of carbon fibers



Our carbon fibers properties

Carbon Fibers	PAN based		Pitch based		
Fiber Type	T300	T650/35	P25	P30	P55
Tensile Strength	3750 MPa (545 ksi)	4275 MPa (620 ksi)	1380 MPa (200 ksi)	1380 MPa (200 ksi)	1380 MPa (200 ksi)
Young's Modulus	231 GPa (33.5 Msi)	255 GPa (37 Msi)	199 GPa (23 Msi)	207 GPa (30 Msi)	379 GPa (55 Msi)
Elongation at Break	1.4%	1.7%	0.9%	0.7%	0.5%
Density	1.76 g/cm³ (0.064 lb/in³)	1.77 g/cm³ (0.064 lb/in³)	1.95 g/cm³ (0.069 lb/in³)	2.00 g/cm³ (0.072 lb/in³)	2.10 g/cm³ (0.072 lb/in³)
Thermal Conductivity	8 W/mK	8 W/mK	22 W/mK	50 W/mK	120 W/mK

圖 021：Solvay 所產 PAN 系碳纖維與 pitch 系碳纖維之性質表。



圖 022：Vertical Aerospace VX4 的槳葉採用 Solvay 的預浸布，並以 out-of-autoclave 的 curing 技術製作而成。

(6)SGL Carbon(德國)

來自德國的 SGL Carbon，會場主打最新推出的 50k 碳纖維(SIGRAFIL® C T50-4.9/235)，具有高強度和延伸率，主要針對高壓容器來進行開發，除了高壓容器所需要的強度以外，此新推出的 50k 碳纖維(SIGRAFIL® C T50-4.9/235)，還具備以往 50k 碳纖維束無法見到的高拉伸量(high elongation)，；材質除了 PAN 系，亦包含生質料源(綠色 ACN 乙腈/木質素/纖維素)來製作碳纖維。

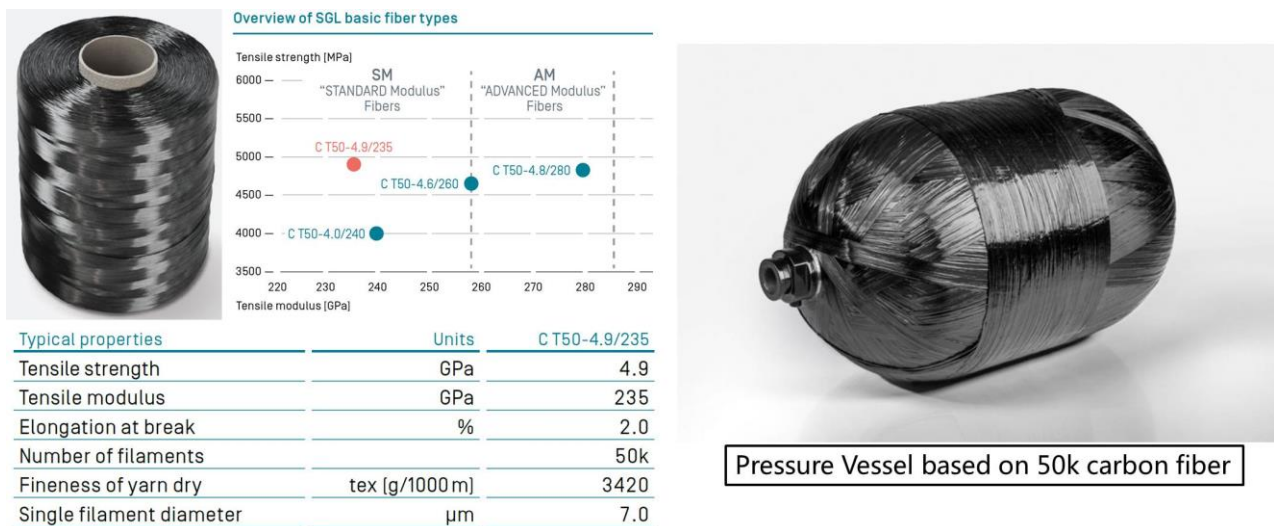
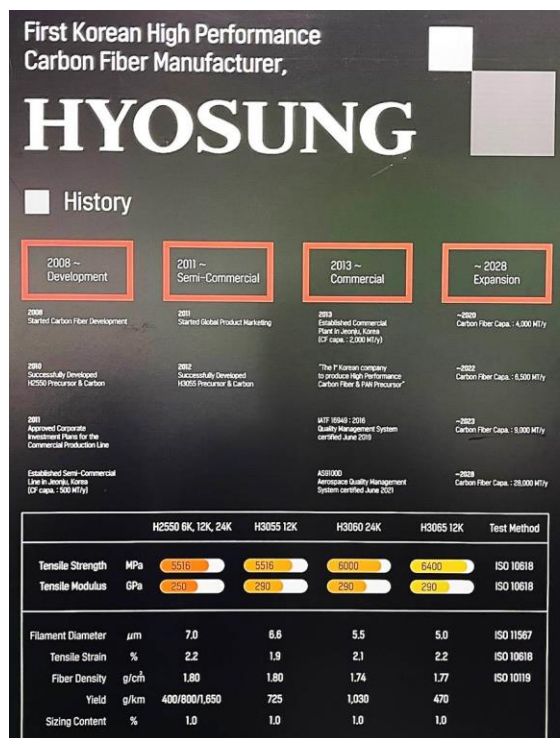


圖 023：SGL Carbon 的 50k 碳纖維規格，與製作而成的高壓容器。

(7)Hyosung(韓國)

來自韓國的 Hyosung 主要生產 PAN 系碳纖維為主，展現出非常強大的企圖心，會場並展出以其生產碳纖維所製作而成的氫氣高壓氣瓶，並預計在 2028 年擴產至年產量 28,000MT(圖 024)。



Fiber Type		Number of Filaments	Tensile Strength		Tensile Modulus		Elongation	Density	Filament Diameter	Yield	Sizing Level	Remarks
			SI Units (Mpa)	US Unit (ksi)	SI Unit (GPa)	US Unit (Msi)	(%)	(g/cm ³)	(μm)	(g/km)	(%)	
High Strength, Standard Modulus	H2550	6,000	5,516	800	250	36.3	2.2	1.80	7.0	400	1.0	Thermoplastic
		12,000	5,516	800	250	36.3	2.2	1.80	7.0	800	1.0	
		12,000	5,516	800	250	36.3	2.2	1.80	7.0	800	Unsize	
		24,000	5,516	800	250	36.3	2.2	1.80	7.0	1,650	1.0	
High Strength, Intermediate Modulus	H3055	12,000	5,516	800	290	42.1	1.9	1.80	6.6	725	1.0	
	H3060	24,000	6,000	870	290	42.1	2.1	1.80	5.5	1,040	1.0	
Ultra High Strength, Intermediate Modulus	H3065	12,000	6,400	928	290	42.1	2.2	1.80	5.0	510	1.0	



圖 024：Hyosung 碳纖規格與預估年產量，並於現場展出氫氣氣瓶。

2.天然纖維/生質纖維(Bio-based Fiber)

(1) Bcomp(瑞士)

此公司於 2011 年新創開始，一開始採用亞麻纖維來創造輕便但高性能的滑雪板，創始人是 EPFL(École polytechnique fédérale de Lausanne，洛桑聯邦理工學院)的材料科學博士，他們使用亞麻纖維來增強輕木芯並提高剪切剛度；如今，Bcomp 以亞麻纖維為基礎，結合複合材料知識創造獨特織法，將商業項目擴展至汽車與商業航空項目。

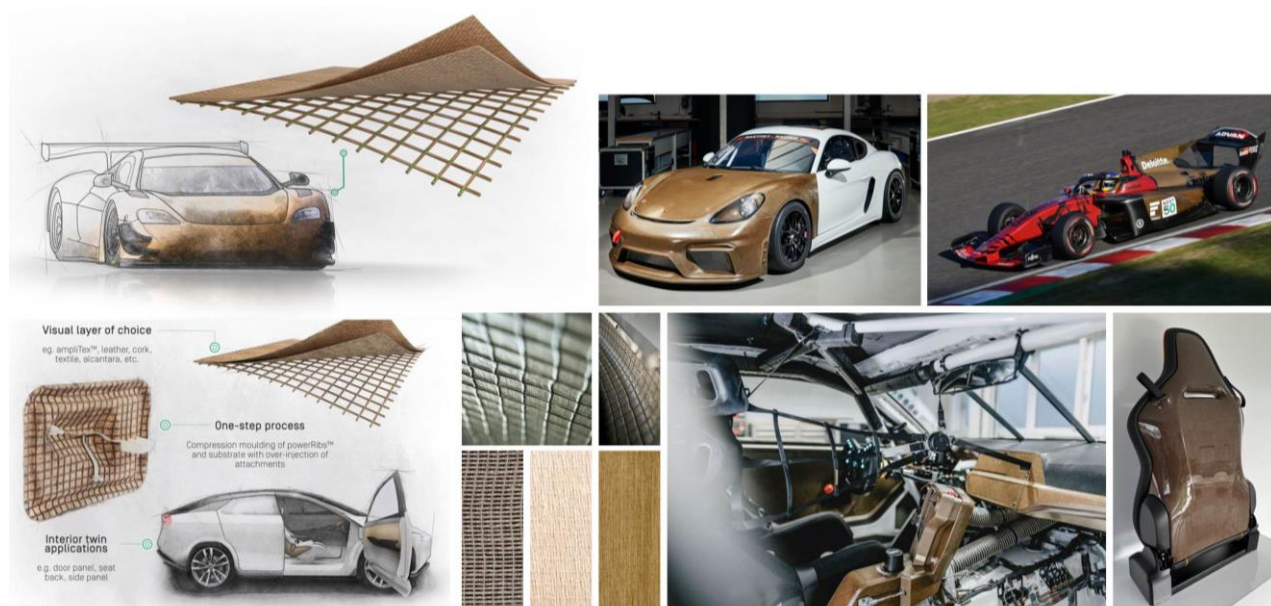


圖 025：Bcomp 結合材料特性與結構設計，開發出高強度天然纖維複合產品。(ref : Bcomp 官網)

(2) ECO-Technilin(法國)

此公司主要以植物亞麻纖維 (flax)、火麻 (hemp)、黃麻 (jute)、洋麻 (kenaf) 為主，其販售麻類纖維無紡布 (fibrilight、fibrimat)、編織布 (flaxdry)、纖維帶 (flaxtape) 與纖維預浸料 (flaxpreg T-UD)。麻類天然纖維具備獨特低碳排外，期也具備優異的減振功能，重量上也相較玻纖、碳纖更低

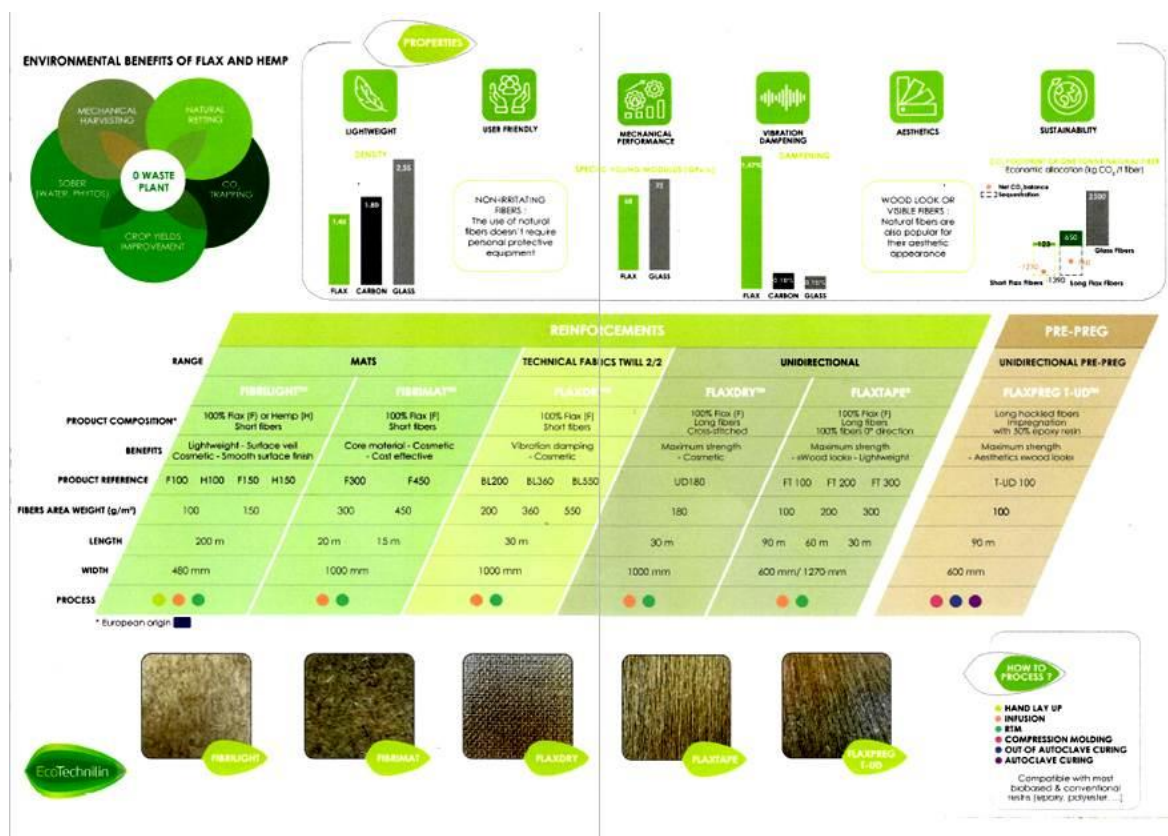


圖 026：ECO-Technilin 產品介紹與現場展示。

(3) Flaxco(比利時)

Flaxco 成立於 1850 年，主要生產項目為亞麻纖維與其編織品，2020 年與 EconCore 合作，將 flaxco 亞麻纖維技術與 EconCore 聚丙烯蜂窩材料相互結合形成夾層板，達到輕量化且高強度之性能。



圖 027：Flaxco 複合布料與應用展示。

3.其他纖維

(1)天然纖維/玄武岩纖維(Basalt Fiber): RockFiber(葡萄牙)

RockFiber 致力於玄武岩強化材之開發與製造，玄武岩經由 ≥ 1400 度熔融紡絲而得。其機械性質介於玻纖與碳纖之間，但具有極佳的耐磨、抗腐蝕、低導熱、高電阻、防火與具介電性質等特性，被歸類於綠色環保材料，對環境幾乎無危害。該公司開發之玄武岩材料包含 3M 長玄武岩纖維、玄武岩短切纖維、玄武岩纖維粉末、玄武岩粉末及玄武岩鱗片粉末等。



圖 028：RockFiber 的成品展示。

(2)玻璃纖維(Glass Fiber)

玻璃纖維現場展出的廠商也不少，因為成本合理到現在還被大量應用與增強材的使用當中。在美國展區裡的 AGY，推出 S-2 glass 無鹼玻璃紗線，其具備優異的機械性質，其強度可達 4,890 MPa，而模數達 89 GPa，可應用於直升機葉片、車輛外殼及水肺潛水瓶等。另外，AGY 也生產電子產品用的玻璃纖維，L-2 glass 紗線可應用於高速通訊用之 PCB 板，其具備低介電常數 (Dk) 與耗散因數 (Df)，分別為 Dk@10 GHz 為 4.38 及 Df@10 GHz 為 0.0002。

(3)化學纖維(Plastic Fiber)

大陸展區的泰和新材與煙台經緯，共同展出化學纖維。泰和新材主要業務為芳綸纖維，具備優異的輕量性、低介電性質與高彈性率，可應用於繩索、航空領域及電子產品。煙台經緯為泰和新材之子公司，主力開發 LITME (萊特美) 纖維，是可拉伸式發光纖維，使用溫度為-30~150 度，纖維直徑 0.2 mm，具低功耗 (< 0.02 W/m)、可編織、耐水洗等優點。

(三)複合材料廠商(Composites)

(1)kcarbon(韓國)

kcarbon 是韓國國家依據碳材料融合技術開發和基金會創建支持法第 9 條規定，所創立的韓國碳產業振興院。以通過有效支持和業務實施碳材料融合技術和產業培育和發展，創建和傳播碳產業生態系統，推動民族產業發展為目的。

(ref : <https://www.kcarbon.or.kr/web/page.php?pcode=ED01>)

整體場區的產品共有 9 個項目，在原料部份有兩項，第一為活性碳不織布 ACF(Activated Carbon Fiber) Non-woven Fabric，其比表面積 $2,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 、基重為 150 g/m^2 ，其可以應用於 VOC 系統、過濾膜等，技術及展品如圖 029 所示。第二項為碳纖維上漿劑(sizing agent)，主要針提升對碳纖維與環氧樹脂之間的結合性，利用機器學習法來得到最佳比例，技術內容與展品展示如圖 030 所示。

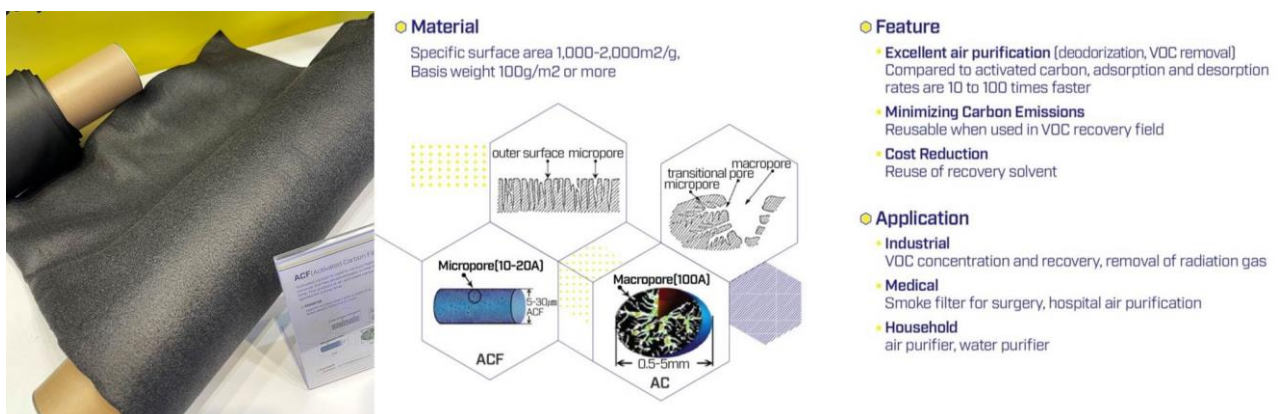


圖 029：活性碳不織布 ACF(Activated Carbon Fiber) Non-woven Fabric 規格與展示。



圖 030：為碳纖維上漿劑(sizing agent)規格與展示。

kcarbon 在現場使用實際磅秤，來讓參訪群眾實際感受到一個部件採用複合材料與原始材料的重量差異(圖 031)，這樣的呈現是非常具有實際感染力的，值得我們參考。kcarbon 也利用碳纖維的電磁屏蔽效應特性，推出了具 EM 屏蔽層的電線(圖 032)。Kcarbon 除了還有氫能與建材相關的產品在展場推出外(後續章節會再介紹)，最有趣的是贊助了韓國國內許多的

藝術家，利用碳纖維尤其是回收的，來進行藝術創作，讓回收的碳纖維，藉由設計來提供生活環境美感，與人們文化涵養的藝術品，巧妙結合材料科學與藝術人文，值得參考(圖 033)。

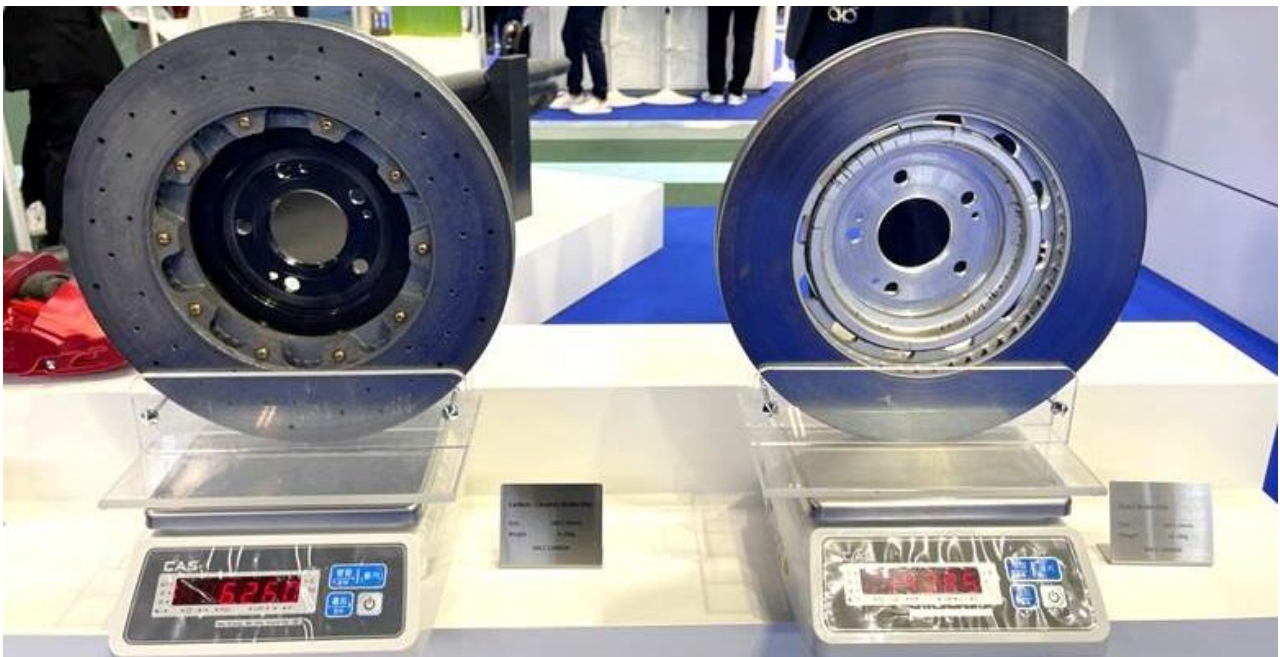


圖 031：以實際量秤讓參訪來賓感受複合材料輕量化的威力。

Carbon Fiber Electromagnetic Shield Cable

● Technique
A carbon fiber EMI shielding cable that combines design, braiding, and extrusion technologies using carbon fiber shielding wire developed with carbon fiber spreading, slitting and post-processing technology.

Carbon Fiber Electromagnetic Shield Cable

● Feature

- Shield wire tensile strength : > 2 Gpa
- High-flexible EMI shielding cable using carbon fiber
- Lightweight EMI shielding cable with low density of carbon fiber (1.8g/cc) layer
- EMI shielding cable with electromagnetic shielding effectiveness of 40dB or more

● Application

- Signal cables for automobiles / communication field
- Power cables for robot/UAM field

Product application field

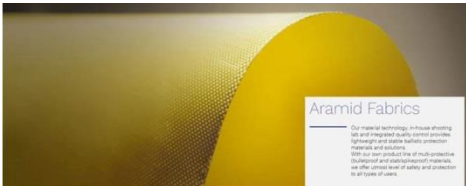
圖 032：以碳纖維來做電磁屏蔽層的電線展示。



圖 033：以碳纖創作的藝術品，現場有創作的藝術家闡述概念，並有販售。

(2)KOLON(韓國)

KOLON GLOTECH 成立於 1987 年，是一家綜合性製造公司，擁有多元化的產品組合，包括汽車零部件、生活材料和尖端新材料。KOLON GLOTECH 主要生產汽車座椅面料和模組，以及人造草坪。集團底下的 KOLON PLASTICS 成立於 1996 年，專業生產工程塑料 (EP)，這是輕量化汽車設計的重要組成部分，也是用於高端家電和電氣/電子產品的高性能材料。提供韓國最多樣化的產品組合，包括 POM、PA、PBT 和 PPS。而複合材料部門，主力生產三種纖維:Aramid Fabrics(芳綸纖維)，PE UD(聚乙烯單向織物)，以及 ACF(活性碳纖維，並鎖定在軍事與交通載具的防護應用方面(圖 034)。



Aramid Fabrics

Our material technology, in-house spinning and integrated quality control provides lightweight and stable ballistic protection materials and solutions.

With our product line of multi-directional (bi-directional and uni-directional) materials, we offer armor level of safety and protection in all types of users.

High Tenacity Series

Style	Weave	Denier	Count	Weight	Thickness	Tensile Strength	
						Warp	Weft
HT 601	Plain	6000	112	188	0.23	4,800	4,800
HT 602	Plain	6000	137	190	0.29	8,300	8,300
HT 640	Plain	8400	136	200	0.3	8,000	8,000
HT 900	Plain	10000	96	190	0.3	7,700	7,700
HT 901	Plain	10000	112	280	0.43	10,800	10,200
HT 952	2 X 2 Bowst	18000	120	410	0.62	17,900	17,900

Standard Tenacity Series

Style	Weave	Denier	Count	Weight	Thickness	Tensile Strength	
						Warp	Weft
ST 900	Plain	10000	88	190	0.3	7,000	7,000
ST 901	Plain	10000	122	280	0.43	10,900	11,400
ST 950	2 X 2 Bowst	15000	127	445	0.6	16,000	16,000
ST 951	2 X 2 Bowst	15000	122	425	0.6	15,800	15,800
ST 990	Plain	3,0000	67	490	0.68	17,600	17,600
ST 995	4 X 4 Bowst	3,0000	80	564	0.88	20,400	20,400



Hard Armor Plate Solution



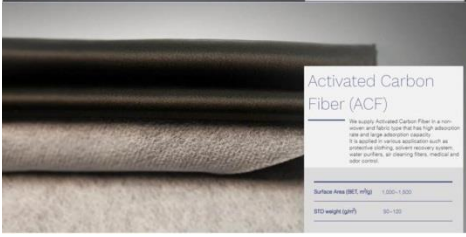
Soft Armor Solution



Helmet Solution



Vehicle Armor Solution



Activated Carbon Fiber (ACF)

We supply Activated Carbon Fiber in a non-woven and fabric type that has high adsorption rate and high abrasion resistance. It is applied in various applications such as protective coating, carbon recovery system, water purifier, air cleaning device, medical and other control.

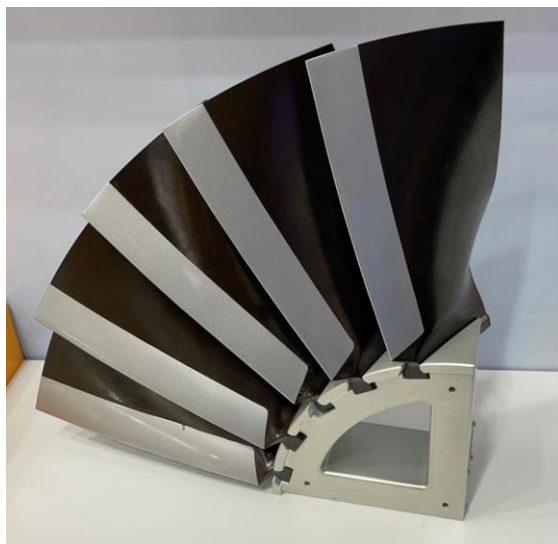
Surface Area (BET, m²/g): 1,000 ~ 1,300

STD weight (g/yd²): 90 ~ 100

圖 034：KOLON 主力纖維產品與終端應用市場介紹。



圖 035：KOLON 現場展出多項與現代汽車合作的汽車複合材料部件。



COMPOSITE ENGINE BLADE

- ✦ Material : Qualified CF/Epoxy prepreg
- ✦ Process : Autoclave
- ✦ Complete the structural and functional test
- ✦ Advanced process development for mass production

圖 036：航太用發動機的複合材料葉片。



圖 037：未來載具的複合材料產品。

KOLON 近年來投入多樣電動載具的複合材料相關產品，並與現代汽車合作多樣的零部件(圖 035)。另有展出發動機用的複合材料葉片(圖 036)，發動機葉片是飛機的重要核心部件之一，因為定義了燃料系統的效率。傳統是使用預浸料/高壓釜的製程，因為應用於航天的刀片，必須在符合航空動力學的定義下使用。金屬片(metal strip)是熱沖壓製作後，再與複合刀片黏結。此複合葉片，經 15 噸靜態拉伸測試，1,000,000 次循環疲勞測試在 7000rpm 的旋轉測試條件下，與 170m/s 的鳥擊測試速度。所有測試都成功完成。

同時對於未來的載具，電動車用的電池盒底層，與適用於氫氣鋼瓶的 towpreg(120-150°C curing 溫度/60M Pa 拉伸強度)，以及使用 towpreg winding 纏繞生產的氫氣鋼瓶，winding rate>2m/sec，且不需要浸漬步驟(一般使用 wet winding 方法，winding rate 為 1m/sec，並需要浸漬步驟)，如圖 037 所示。

(3)Hanwha(韓國)

Hanwha 是韓國大型集團之一，近年來投入永續相關的產業，包含複合材料。會場展出以拉擠(pultrusion)方式製作的太陽能板支架，適用於油氣輸送的碳纖增強管線，以強化熱固性塑膠片狀模壓材料(SMC, sheet molding compound)技術製作的電動車電池艙底板，以及 eVTOL(Electric Vertical Take-Off and Landing, 電動垂直起降飛行器)的全碳纖複材機艙(圖 038)；除了使用複合材料帶來的減碳與節能效益外，人們對於未來潔淨便利生活的想像，在這些新產品的展示裡，可以明確感覺到這一天的到來不再只是夢想而已。

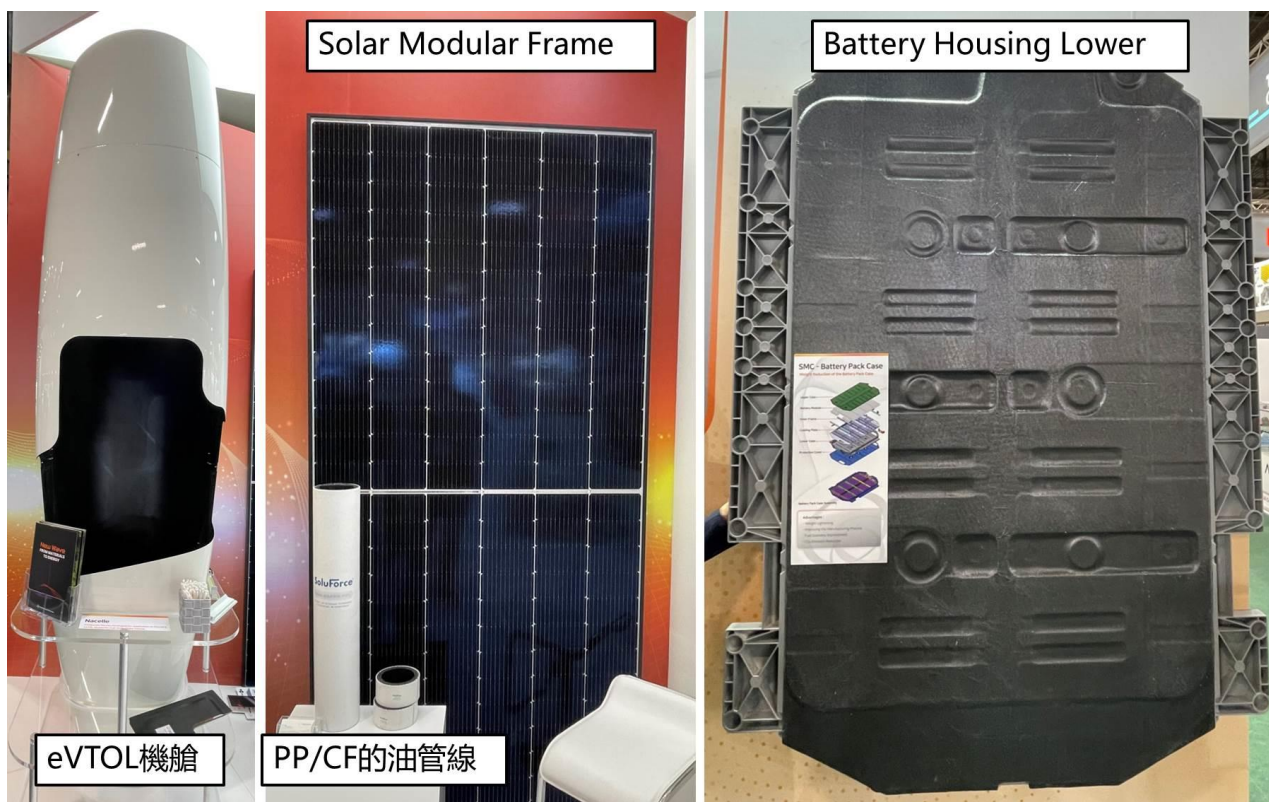


圖 038：Hanwha 於會場中展示的複合材料商品。

(4)Victrex(英國)

英國的 Victrex 公司，是一家專注開發 PEEK 相關材料與產品的公司，從原材料(polymers)、半成品(PEEK forms)到最後的部件(PEEK parts)涵蓋在內(圖 039)。PEEK 為高性能聚合物，位於聚合物金字塔的頂端，約佔 70 萬噸，僅佔所有人造聚合物的 0.2%。它們通常難生產並且是由更複雜的單體聚合而成，因此通常更昂貴。然而，隨著生產聚合物的難度增加，所得聚合物的性能也隨之增加。聚醚醚酮 (PEEK) 屬於這些高性能聚合物，是 PAEK (聚芳基醚酮) 聚合物家族的成員，該家族有 300 多個成員，但只有少數已商業化。

Victrex 現場亦展出許多應用於航太的關鍵部件，包含抗雷擊的防護板、發動機葉片的外殼、PEEK 塗佈之 Hairpin 繞組應用於電動車感應馬達之絕緣等(圖 040)，都充分展現 PEEK 在航空與電動車產業的高值應用。

圖 041 為 Mitsubishi 整體的碳纖維回收再利用的流程。碳纖維經回收後，首先經過 Mitsubishi 獨特的熱裂解流程(the pyrolysis process)，製作成新的 rCF 半成品(chopped 形式)；rCF 半成品可經過射出成形(injection molding)或者鍛造(forging)加工製作成最終產品，圖 041 中是經過鍛造(forging)後做成電動汽車的電池箱殼體。

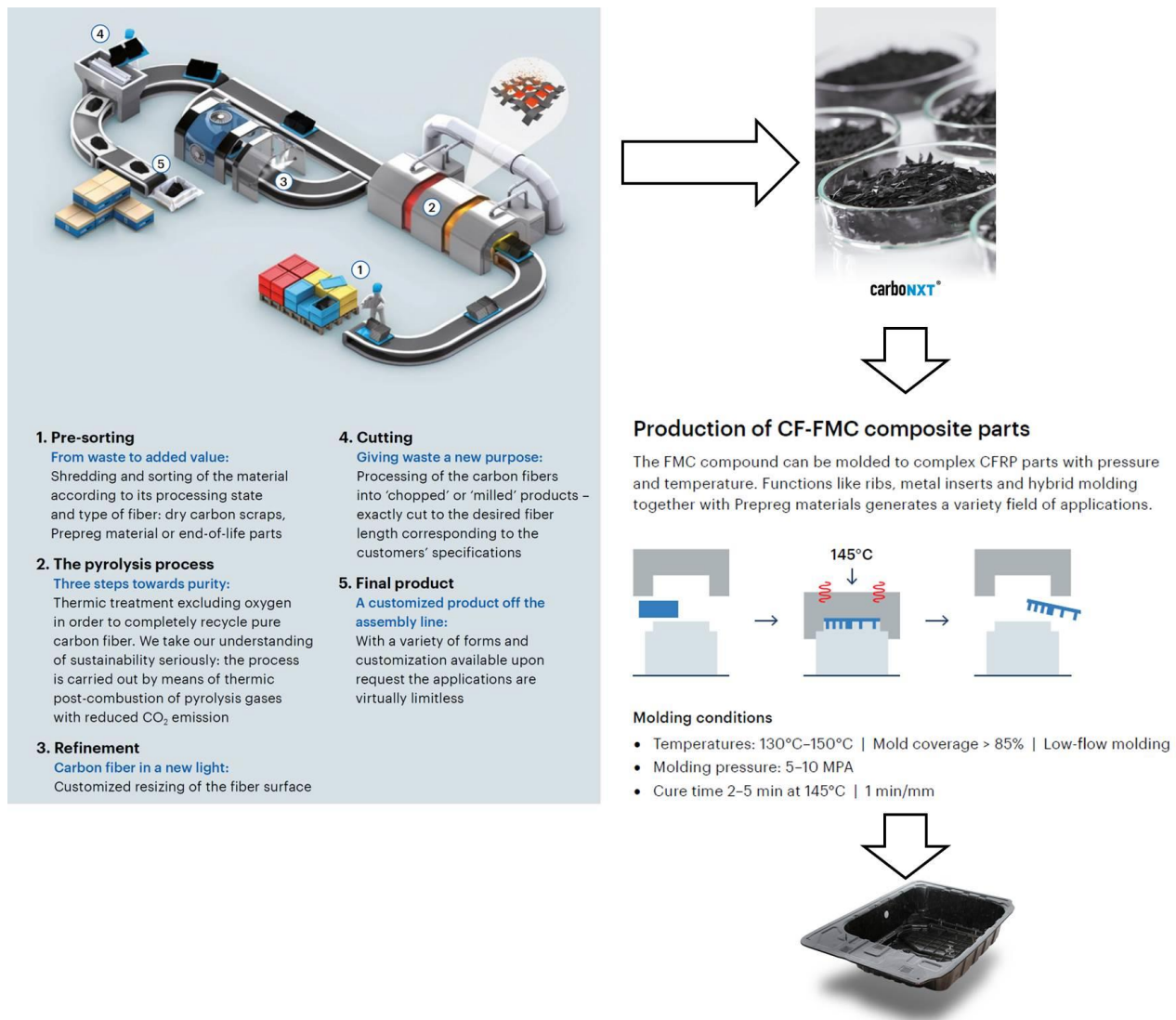


圖 041：Mitsubishi 的 rCF 的 recycle 與 reproduction 流程。

(ref: <https://www.m-chemical.co.jp/carbon-fiber/en/>)

Mitsubishi 獨特的熱裂解製程，能使得回收碳纖維提供更加卓越的下列優點：高強度、高剛度、導電、抗靜電、耐熱、重量輕，附著力更好；此熱裂解過程主要排除掉氧氣，使回收的碳纖維純度更高；此製程藉由熱裂解產生的尾氣來提供燃燒動力，藉此降低 CO₂ 排放量，且來自廢料的能量實際上驅動了這整個過程。熱裂解製程(the pyrolysis process)主要有 5 個步驟：

(1)Pre-sorting(from waste to added value)：根據回收料的加工狀態和纖維類型：乾的碳屑，預浸材料或製程邊角料，來進行材料的粉碎和分類。

(2)The pyrolysis process(three steps towards purity)：此段為無氧的熱處理過程，提高回收碳纖的

純度，且此段製程有部分來自於裂解餘熱，以減少 CO₂ 排放量。

(3)Refinement(Carbon fiber in a new light)：對於純化後的碳纖表面進行重新 sizing 處理。

(4)Cutting(Giving waste a new purpose)：在這個步驟，根據客戶的需求，將 rCF(recycled carbonfiber) 進行切碎(chopped)或研磨(milled)。

(5)Final product(A customized product off the assembly line)：根據客戶需求，rCF 的形式與規格都可調整，因而產生無限多種的應用可能。

Chopped 的 rCF 產品(carboNXT®)，可藉由 forging 來進行最終產品的製作，圖 041 裡 forging 製程採用的溫度範圍為 130-150℃，壓鑄壓力為 5-10 MPa，而 curing 在 145℃ 下約 2-5 分鐘。

2.Swancor(台灣)

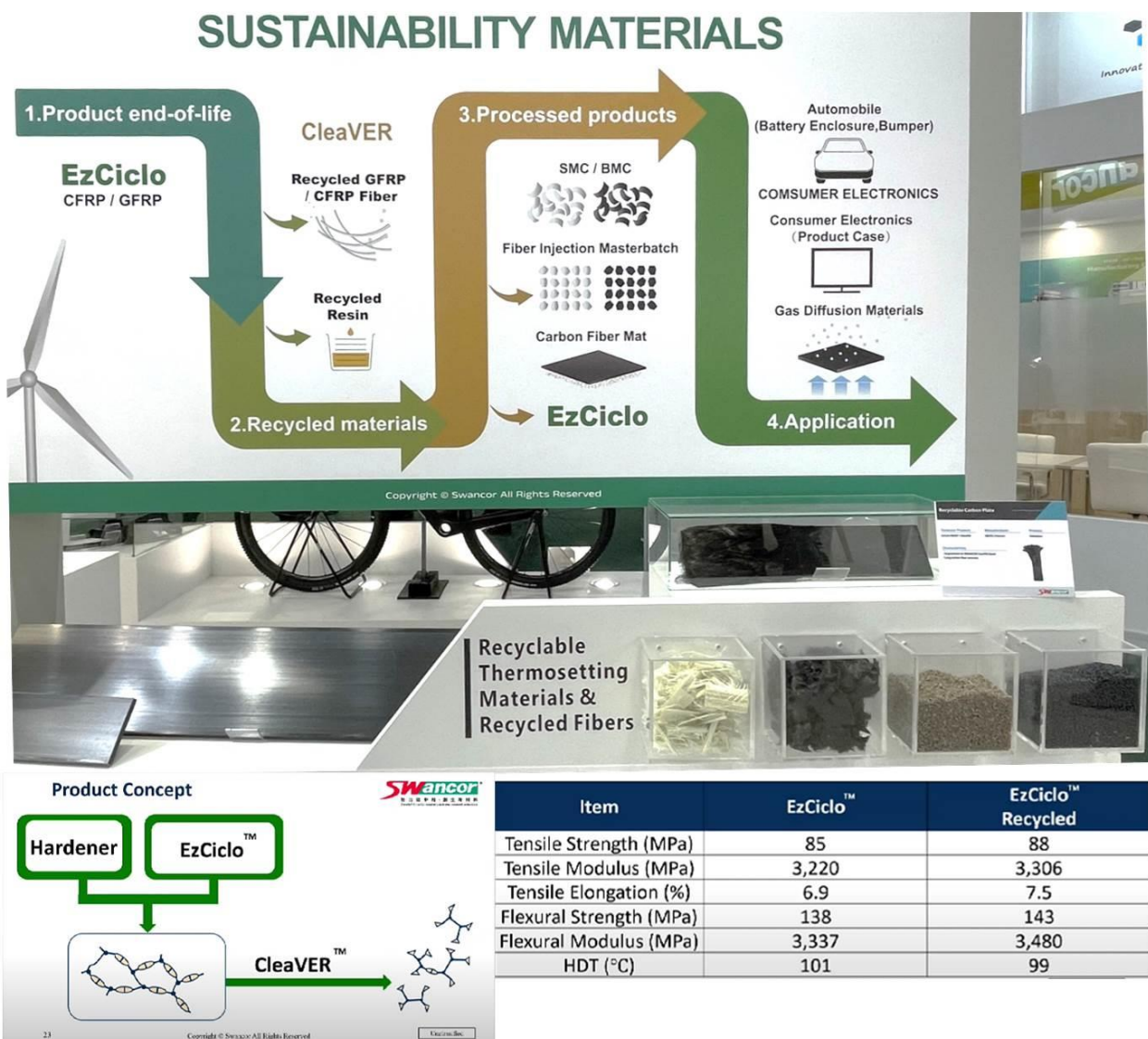


圖 042：Swancor 所展示之回收製程、材料與性質。

來自台灣的 Swancor(上緯)，針對複合材料回收進行展示，該公司開發的 EzCiclo 基材可

搭配 CleaVER，達到補強材與基材的回收利用，並且回收基材其強度與基材，和原有機械性質幾乎相同，製程與所開發之基材與其性質、展示品如圖 042 所示。



圖 043：Swancor 展出得獎的回收熱固複材腳踏車，

Swancor 在現場實際展出使用其 EzCiclo 基材搭配 CleaVER 所製作的全回收熱固複材腳踏車，並得到此屆的創新獎，真的是台灣之光。另外也在現場展出首個以全回收材料製作而成的 type IV 高壓氫氣瓶，如圖 044 所示。



圖 044：Swancor 現場展出由回收材料製作的 type IV 高壓氣瓶。

3.Catack-H(韓國)

近年來，由於 CFRP 廢棄物排放量增加和環保法規日趨嚴格，傳統的熱燃燒/焚燒回收方法需要大型設施和設備，如大型焚化爐來過濾有毒氣體（CO、CO₂、NO_x、二噁英等）可造成嚴重空氣污染的毒素。由此導致的更高的設備和維護成本，降低了回收業務的可擴展性和經濟性。

另一個問題是在熱燃燒/焚燒方法的燃燒過程中，是對回收的 CFRP 施加高溫；但這樣的高溫熱量，會帶來氧化、吸附雜質和其他損害，使得再生纖維 rCF 的品質會產生不利影響，並且回收率相對較低。因此儘管 rCF 是通過這種回收製程所生產出來的，但由於其成本高，且品質相對較低，因此應用範圍受到相當的限制。

針對傳統熱燒方法存在的問題（環境污染、品質差、回收率低、成本高），Catack-H 採用化學溶液結合添加劑的回收技術，使得回收的 CFRP 能再低溫度（ $<100^{\circ}\text{C}$ ）和標準壓力（大氣壓力）下進行分解。這種方法被稱為溶劑分解，具有成本低、環境友好、回收率高（ $>90\%$ ）和再生纖維 rCF 品質高（表面沒有損害， $<2\%$ 的分解環氧樹脂殘留物）的優點（圖 045）。

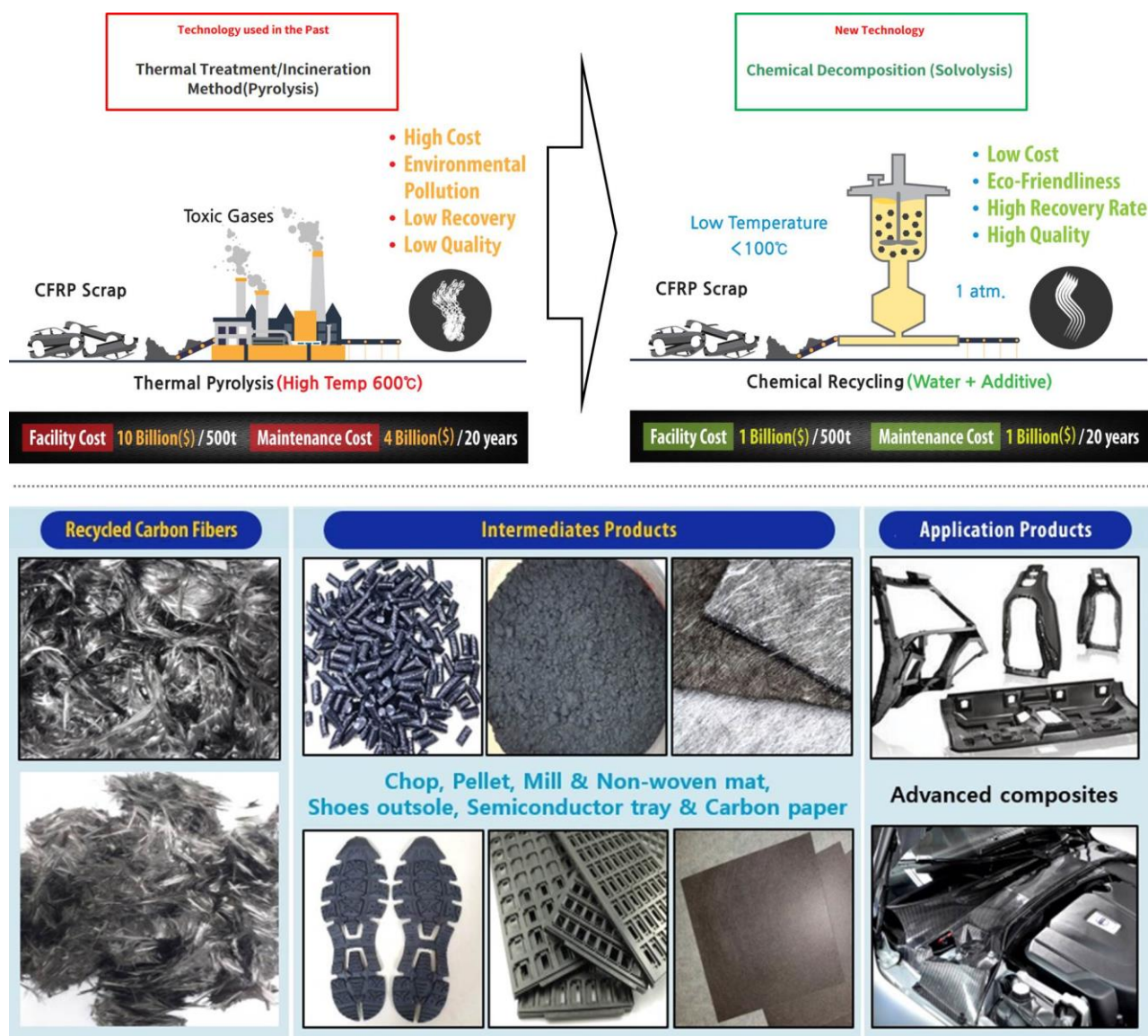


圖 045：Catack-H 的新回收處理方法與傳統方法之比較，並介紹其產品線與應用。

(五)設備(Equipment)

1. Kanto Yakin Kogyo, KYK(日本)

KYK 成立於 1957 年，其工業超高溫碳化、石墨化爐對於全世界之碳纖維製造商而言十分重要，包含 Toray、Teijin 與 Mitsubishi 皆有合作。其可以針對 PAN(聚丙烯)、pitch 瀝青系碳纖維之長纖、短纖、粉末等形式進行批次式或連續式碳化、活化及石墨化製程（圖 046）。

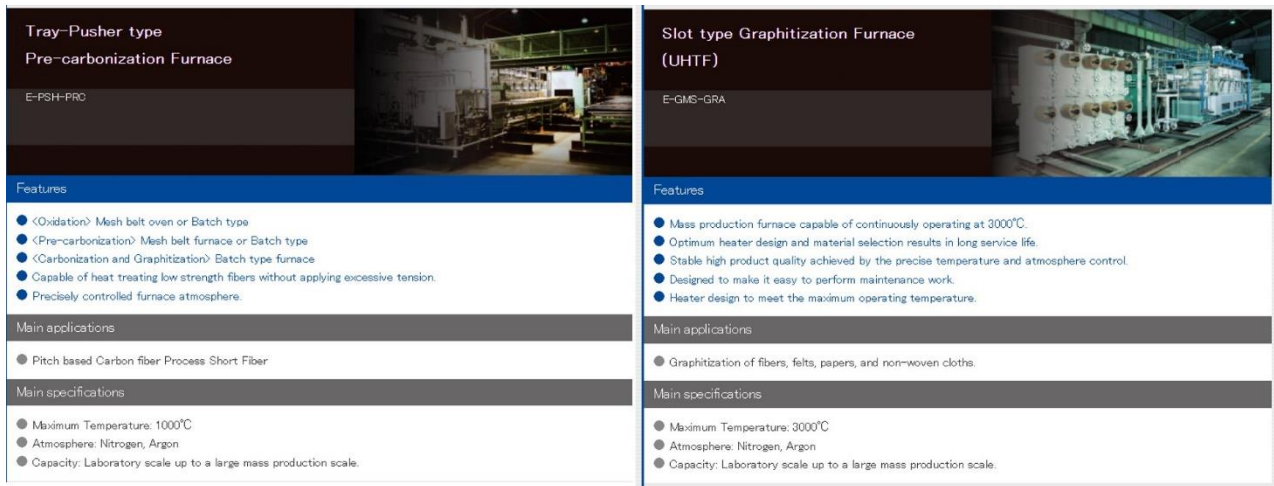


圖 046：KYK 所開發的碳化與石墨化爐。(ref: <https://www.k-y-k.co.jp/en/product03.html>)

2.Muratec(日本)

Muratec 於 JEC 展示其多絲繞線機（Multiple Filament Winder），如圖 047，通過纏繞碳纖維或玻纖自動成型纖維複合材料之設備，可應用於製作於包繞材料及碳纖維儲氫統槽加工。

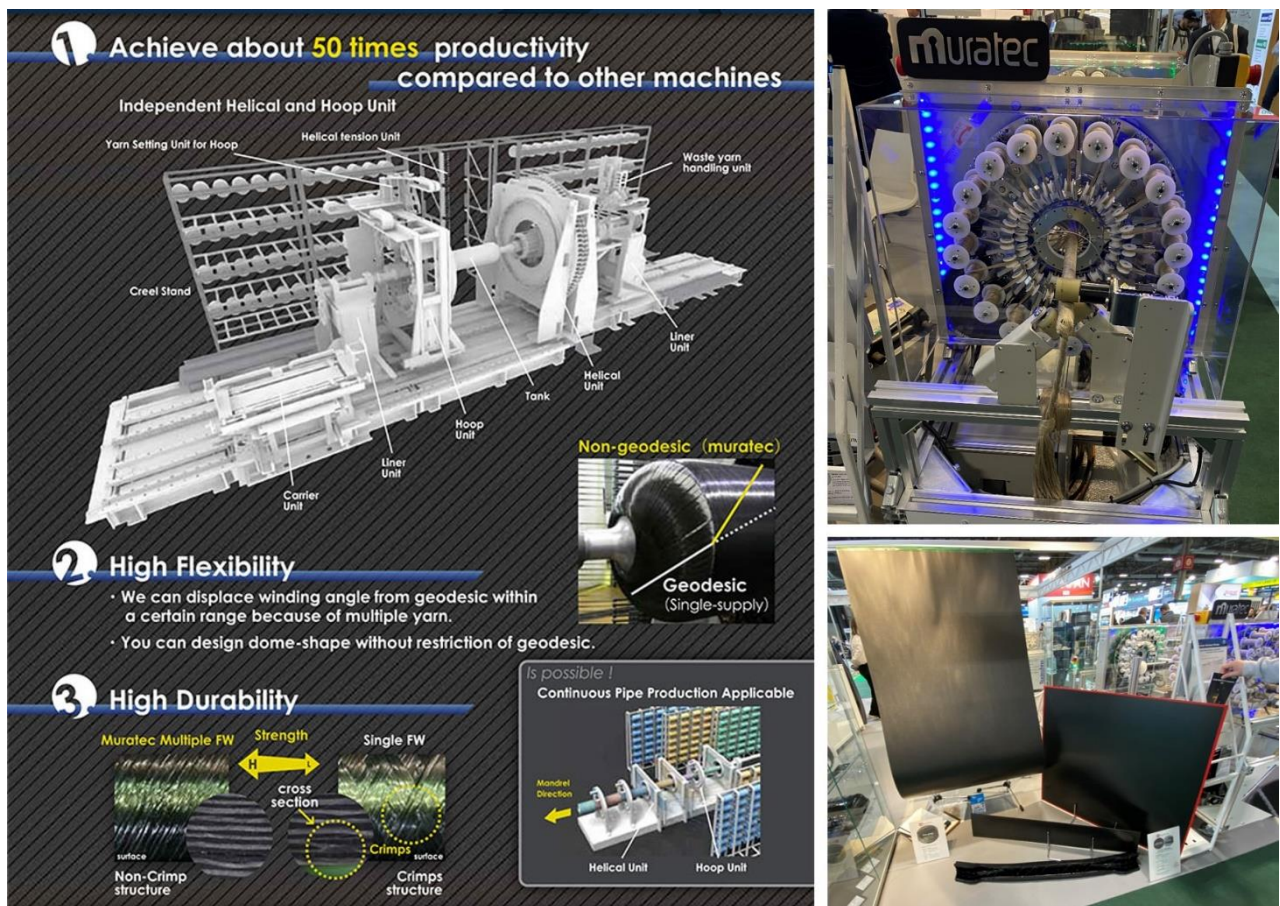


圖 047：Muratec 的多絲繞線機與現場展示品。(ref: <https://www.muratec.net/at/filamentwinder.html>)

3.ENGEL(德國)

來自德國的 ENGEL，創立於 1945 年，為全世界有關於 hybrid molding 與射出成型的領導廠商(圖 048)，集團營收約略有 17 億歐元，hybrid molding 是複材生產的趨勢，有利於複雜複材部件的量化生產。(



圖 048：ENGEL 於現場展出 hybrid Molding 機台。(ref: <https://www.engelglobal.com/en/home>)

(六)複材應用(Application Of Composites)

1.氫能

氫氣氣瓶的製作極其複雜，尤其現在往大型化的趨勢發展，製作難度更高，加上在大型體積下要保持相當的高壓，外層的碳纖維剛性更顯重要。今年的 JEC 展場有個很有趣的現象，就是許多公司紛紛展出氫氣氣瓶(圖 049)，皆是 type IV 的，沒有看到 type III；一來這是全世界都認同的綠能趨勢，二者可以展示該公司的技術力。在會場展出的大型氫氣氣瓶，設定應用在運輸(運氫模組)與大型載具(運輸卡車、公車、垃圾車)上使用，例如 VOITH 公司推出的大型的運氫模組，運輸卡車也採氫能動力，氫能卡車的氫氣氣瓶與運氫模組的為同樣款式(圖 050)。

成立於 2022 年的 FORVIA，由 Faurecia and HELLA 共同成立，公司主要提供永續且知能的交通運輸方案，以電氣化、自動化與自主駕駛為發展主軸，現場也展出該公司應用回收材料開發產品，與超大型氫氣氣瓶(typeIV，400L，重 250 kg，可攜帶 16 kg 氫氣)，並搭配運氫模組的模型與影片來說明該公司發展的重點(圖 051)。

Victrex 也展出使用 PAEK 與 PEEK 所開發的運氫管線與閥件(圖 052)。



圖 049：JEC 會場許多公司展示 type IV 的氫氣氣瓶。



圖 050：VOITH 公司展示氢能卡車與運氫模組所使用的大型 type IV 氫氣氣瓶。



圖 051：FORVIA 公司現場的回收材質與氢能產品的展示。

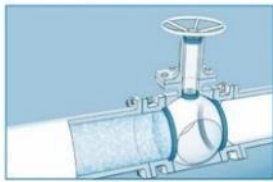
	Minimal Emissions / EHS		Efficiency		Reliability	
Step	Sealing Performance	Minimal Permeability	High Strength-to-weight ratio	Minimal Friction	Low Wear Rates	Robust Mechanical Performance
Target Applications	PEEK Seal 		PEEK Composites	PEEK Packing & Bearings 		General PEEK-based Components
Liquifaction	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compression	✓	✓	✓		✓	✓
Transport	✓	✓		✓		✓
Dispensing	✓	✓				✓

圖 052：Victrex 有關氫能運輸閥件的特性表。

2.交通載具

JEC 會場對於電動載具、飛行載具等都有對應的複合材料產品的展出。對於電動車的電池盒多家廠商亦展出複合材料的盒體(圖 053)，不過目前看起來都是使用於次結構，整體還是需與更強壯的底盤結合，才能提供更堅固的防護。

會場也展出許多全複合材料的電動機車，腳踏車與電動性能跑車(圖 054)，全複合材料帶來的輕量化特性，使得在能源使用上更加節能。在會場也看到 eVTOL 的展出(圖 055)，非常吸睛，讓與會的業界人士，對於未來交通運輸有更實際的想像。

除此之外，使用碳纖熱塑複合材料結合蜂巢結構的航空太空應用部件，也在會場中看見其展示，例如圖 056 裡左邊的三明治蜂巢板，就是使用於低軌衛星，其上下板材為碳纖複材，中間 core 則還是使用鋁。在圖 056 右邊的 eVTOL 槳葉，也是採用蜂巢結構來設計，使用 PCM(prepeg compression molding)製作，在降低重量同時保有機械強度。若以相同體積的試件來做比較的話，採用全鋁實心結構的話，重量約為 149g(厚度 21mm)；採用 CFRP 實心結構的話重量約為 100g(厚度 23mm)；採用 CFRP 蜂巢結構的話重量約為 55g(厚度 24mm)，由此可知採用複合材料結合蜂巢結構，會帶來更好的減重效果。

3.建築材料

JEC 會場也有多家建材公司，推出複合材料的產品，例如 Carbo-Link 推出的可負重 1,130 噸的複材套索(圖 057)，Future Fiber 推出的橋梁用複材 ribbon。



圖 053：FLAMEVEX、Mitsubishi 和 HANKUK CARBON 推出的電池盒。



圖 054：會場展出多個全複材的陸地交通載具。



圖 055：Xpeng Aeroht 所展示之複合材料外殼 eVTOL。



圖 056：Mitsubishi 展出應用於低軌衛星之碳纖複材蜂巢部件，與蜂巢結構的槳葉。



圖 057：Carbo-Link 與 Future Fiber 所推出建築用的複材產品。

(七)碳纖公司的 ESG 策略

德國 SGL Carbon 在此次會議分享了該公司在碳纖製作的 ESG 策略與作法，在 ESG 三個層面設定了高要求的目標(圖 058)，並分享 2022 年該公司的 ESG 的達成成效(圖 059)。SGL Carbon 也認為未來的永續會驅動碳纖維的使用(圖 060)，以三個方向來看:首先是風能，當風機功率達 15MW 就需要超過 100m 的葉片，碳纖的腳色就很重要；再來是 700 大氣壓的氫氣氣瓶，氢能交通能帶來零排放的目標，也需要碳纖來製作 type IV 氣瓶；最後是建築材料，若使用碳纖增強的混凝土，則可節省 80%以上的材料，並有 50%的 CO₂減量結果。也因此 SGL Carbon 推出了新的大絲束碳纖維產品線(50k)來因應現在與未來的市場(圖 061)。

在碳纖的製作，為了落實該公司 ESG 目標，從材料、製作與能源使用三方面著手進行。首先在原材料方面，陸續引進綠色 ACN (acetonitrile, 乙腈)、木質素(Lignin)和纖維素(Cellulose)等生質料源)，並將生產工廠設置在靠近綠色能源之處並採用之，且優化能源使用來製作出 50k 大絲束的碳纖維。在 2022 年建置的 PAN 生產基地座落在葡萄牙的 Lavrado，採用再生升質能源取代天然氣燃燒來製作 PAN，因為葡萄牙是生質料源的淨出口國，所以工廠設置在此亦可以節省能源傳輸費用。2kg 的 PAN 約可製作 1kg 碳纖維，所以採用生質能源以 PAN 原料生產來說是帶來很大的效益(圖 062)。



圖 058：SGL Carbon 的 ESG 策略與作法。

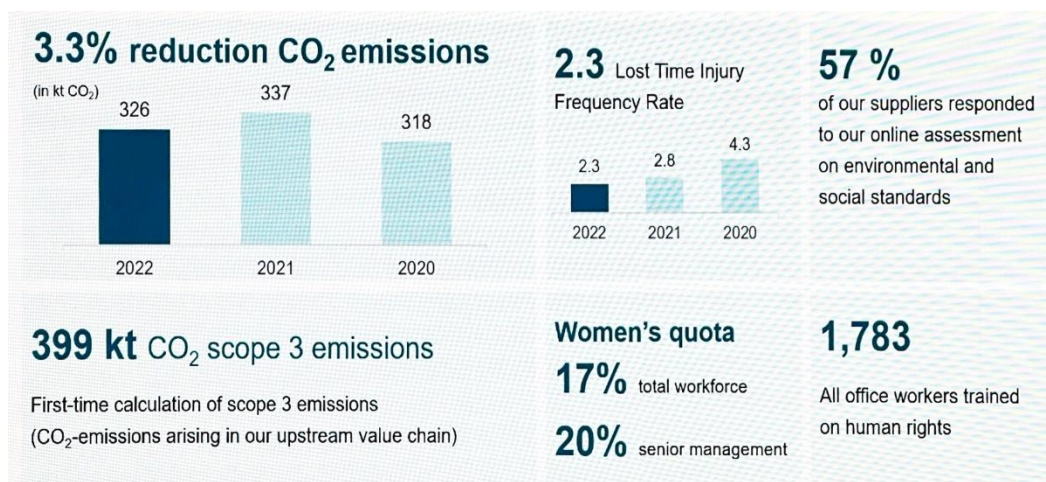


圖 059：2022 年 SGL Carbon 的 ESG 成效。





Rotor blades for wind turbines

- Blade length >100 m
- Nominal power up to 15 MW

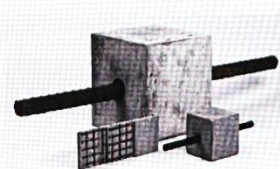




Hydrogen pressure vessels

- Pressure around 700 bar
- Mobile with zero emission





Carbon fiber reinforced concrete

- Up to 80 % material saving
- 50 % CO₂ emission reduction

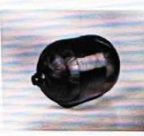


圖 060：碳纖對於未來永續是不可或缺的重要材料。



- Production at Muir of Ord (UK) and Moses Lake (US)
- Variable mechanical properties and sizings available e.g. Epoxy, Thermoplastic and Elastomer
- All new fiber developments based on SGLs own precursor technology

SIGRAFIL® types	C T50-4.0/240	C T50-4.6/260	C T50-4.8/280	New C T50-4.9/235
Number of filaments	50k	50k	50k	50k
Tensile strength	4.0 GPa	4.6 GPa	4.8 GPa	4.9 GPa
Tensile modulus	240 GPa	260 GPa	280 GPa	235 GPa
Elongation at break	1,7 %	1,65 %	1,65 %	2.0 %
Density	1.80 g/cm ³	1.78 g/cm ³	1.78 g/cm ³	1.80 g/cm ³
Fineness of yarn dry	3420 tex	3420 tex	3070 tex	3420 tex
Filament diameter	7.0 µm	7.0 µm	6.6 µm	7.0 µm



Pressure Vessel

圖 061：SGL Carbon 推出的新大絲束碳纖產品線。

Biomass grades





Facts Lavaradio Site

- SGL's resilient setup up enables **several energy carriers** (pellets, wood-chips, olive kernels etc.)
- **Dependence** on volatile natural gas is reduced
- **Operational advantage** versus co-generation
- Improvement of CO₂ balance
- **Biomass boiler** operation can be **adjusted** to required steam amounts, avoiding overproduction of energy

Qualitative composition of precursor CO₂ footprint

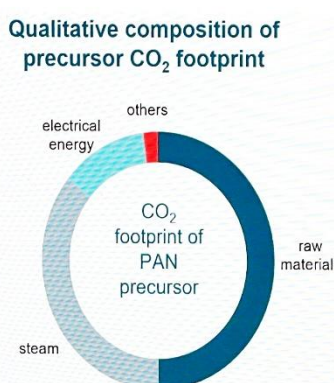


圖 062：建置 PAN 綠色生產工廠以減少碳排放。

五、具體成效、心得及建議

本次參與 2023 年巴黎 JEC World，為歐洲最大之複合材料展覽。由於複合材料具備比金屬材料更輕量化與高強度之性質，已成為目前最受矚目之應用材料。整體發展呈現幾個面向：氫能、熱塑、回收及生質料源，都是因應著世界永續的發展趨勢。

目前大多數複合材料廠商選擇發展之強化材，仍以纖維為主，展示最多的為具備高機械性能與輕量化之碳纖維，大部分為 PAN 系碳纖維，其中韓國展現出極大的開發能量，許多的廠商都在拉大其產能，中國亦有相當的投入。而 pitch 系碳纖維，應用在高端領域例如國防與航太，展場僅有 Mitsubishi 和 NGF 日本兩家廠商有產品，關鍵技術仍掌握在日本手中。其次為現今已廣泛應用於各大領域之玻璃纖維，另外，因應環保意識與永續的日漸抬頭，尤其歐洲更為重視，對於生質纖維與回收，許多廠商也投入很多資源。碳纖維主流廠商，例如 Toray、Mitsubishi 也都發展自有的回收製程並推出自家的回收纖維產品。而在設備來說，複合材料生產設備仍為大宗，以熱壓製程與真空輔助灌注製程最為常見，其次則為纖維所用的收卷、混紗、包繞及編織設備。

以纖維來說，pitch 系碳纖維仍僅有少數日本廠商投入，而大陸則以 PAN 系碳纖維與玻璃纖維為主，歐美國家則更重視生態永續，因此以 PAN 系碳纖維與玻纖維之虞，更重視生質纖維方向發展。

由於 pitch 系碳纖維具備優異的機械性能與高端應用(氫能、航太、電動載具)，本所在 2010 年投入重質油的高質化研發，其中就是碳纖維複合材料的開發。其中高剛性碳纖維的原料-介相瀝青(mesophase pitch)，關鍵技術掌握在日本手裡；不過研究同仁的努力投入下，介相瀝青的設備近期設計到一個階段，接下來將建置此系統，進行相關製程參數的研發。

此次參加 JEC World，更加堅定發展碳纖維複合材料的研發方向是正確的。尤其 pitch 系碳纖維有極高的發展與開發價值，目前我們團隊除了在原料部分有逐步地掌握之外，在碳纖維的生產設備也積極與國內相關學研單位，例如紡織所、塑膠中心等，進行相關紡絲與複合材料加工設備的開發。要發展碳纖維複合材料最重要的核心，就是關鍵材料的自有化，以及相關設備的掌握程度，包含如何提升複合材料的生產速度等。本人非常榮幸從事碳纖維複合材料的開發，尤其能跟一群聰明又積極的夥伴共同投入，期待能將 pitch 系碳纖維實現出來，成為台灣發展戰略產業最大的支柱，並進而帶動提升國內整體的複合材料產業鏈。