

資料集（見本）

復活！帰ってきた JEC World !

世界最大の複合材料展 JEC World 2023 年レポート

体裁:A4 判 約 176 頁



世界最大の複合材料展示会 JEC World はこの十年で規模拡大し、2019 年に出展数・来場者数共に過去最多を記録しましたが、翌年から Covid-19 により中止となり昨年再開したが低調でした。しかし今年は 2019 年比 93.7%の来場数に回復しましたが、展示の内容は以前に較べて大きな変化がありました。

従来からの軽量化やコストダウンのための成形工法・生産プロセスの進化は続いていますが、今回は複合材料ならではの 3D プリンティングの使い方が増え話題を集めました。さらに天然由来の繊維、熱硬化マトリックス樹脂の環境対応、熱可塑樹脂では生産工法の進化に伴う PAEK ファミリーの拡大など嘗て無いほど多くの材料展示や、リサイクル技術やプロジェクトなど、複合材料の循環型社会への取り組みや付加価値を生み出す期待が感じられました。

JEC World は、欧米市場での新素材や成形加工技術、航空機や自動車をはじめとする各分野の動向や開発プロジェクトなど、日本では得ることが出来ない貴重な情報を得る絶好の機会ですが、展示物を見ただけでは理解できないものが多くあります。

弊社は、2019年にJEC World展示会の見学レポート集を発刊し、展示会場で見えて聞いた情報だけでなく、それらの開発背景や周辺情報を加えて展示品の意味するところや開発の狙いなどを解説しました。展示会に行かれなかった方だけでなく、むしろ見学に行かれた方から「見ただけでは分からない展示が多かったので助かった」と好評でしたので、今回も同様に編集をし、技術情報をわかりやすくまとめるよう努めました。

本書が欧州の複合材料市場の技術開発トレンドを知る手がかりに、あるいは貴社の複合材開発のヒントにお勧めの一冊です。

<お問合せ先> (有)カワサキテクニサーチ

<http://kawasaki-tr.com> 06-6232-1055

目 次

第1章 JEC World 概要	1
1-1. JEC と JEC World	1
JEC グループの活動領域	1
JEC グループ活動の経緯	2
JEC の拠点	3
1-2. JEC World これまでの十年	4
1-3. JEC World 2023 (Paris) 概要	5
1-4. テーマ集約展示エリアのプラネット、ビレッジ、パビリオン	7
1-5. イノベーションアワード	8
1-6. スタートアップ ブースター	10
第2章. 分野・用途別の主な展示	11
2-1. 航空宇宙	11
Airbus Industries / 航空機胴体、レドーム	11
GKN Aerospace / CFRTP による航空機構造体開発	13
Coexpair / リーディングエッジ	18
Cetim / クルーガーフラップ	19
Fraunhofer ICT/ 航空機用ハイブリッド構造シート	21
IHI エアロスペース / エンジンガイドベーン	22
日機装 / 航空機用 CFRTP 加工技術	23
Ascent Aerospace / 航空機用 CFRP 成型金型	24
MTorres / 航空機向けプレースメント装置	25
Sekisui Aerospace/ CFRTP 構造部品	27
eVTOL(空飛ぶクルマ)	29
東レ・カーボンマジック / カーボンモノコック構造の月着陸船	31
2-2. 自動車・特殊車両・鉄道	32
Porsche / 世界初の市販車用カーボンロールケージ	32
L&L Products / 複合材による自動車シートバック	33
Valeo / オルガノシートによる自動車軽量部品	35
アウディ / 複合材料による EV バッテリーパック保護カバー	37
Bond-Laminates / 熱可塑性複合材シートの自動車構造体用途	39
Talgo / 複合材による鉄道車体	42
2-3. 海運・造船	44
Chantiers de L'Atlantique / CFRP 製セイルマスト	44
CorPower Ocean/ 波力発電機	46
2-4. CFRP ケーブル	48
Carbo-Link / 土木・建築用 CFRP ケーブル	49
Future Fibres / 工業用複合材ケーブル	51

Epsilon Composites / CFRP 電線ケーブル	53
2-5. その他	55
Nanotures / サッカー競技場の CFRP 製屋根	55
IsoTtruss / CFRP の超軽量鉄塔	57
農業用途 / 自走式農薬噴霧車両	59
2-6. 研究機関の技術開展示	61
Fraunhofer / モビリティ構造体の高強度補強技術	61
IRT / 複合材料の応用研究	64
AZL Aachen / EV 電池パックシステム研究	67
ITM ドレスデン大学 / CFRP によるコンクリート補強	69
第3章 複合材のプレースメント技術	71
3-1. プレースメント技術	71
PEI, Cetim / 自動積層プリフォーム装置	71
Voith Composites / ロービングから成型までの一貫生産ライン	74
レーザーによる UD テーププレースメント	76
AFPT / レーザー自動積層による水素タンクビジネス	78
Fraunhofer / レーザー式積層機の開発経緯	80
Fiber Placement Center / 繊維基材の革新的プレースメント研究	81
3-2. ノンクrimp 基材の製造機	82
Filacon (タジマ工業) / ノンクrimp 基材の製造機	82
ZSK Stickmaschinen / ノンクrimp 基材の製造機	83
CompoTech / 複合材部品の特殊成型	84
3-3. 繊維配向技術を活用した成形加工	86
Herone / 複合材部品の特殊成型	86
Gradel Light Weight / フィラメントワインディングによる軽量構造体	88
InfraCore / 高強度を実現する積層技術	90
第4章 複合材の可能性を広げる 3D プリンティング	92
9T Labs / 熱プレスを併用する 3D プリンティング	93
Orbital Composites / ロボティック 3D プリンティング	97
CEAD / 大型 3D プリンター	100
Belotti / ペレット式大型 3D プリンター	102
Breton / 積層造形による複合材用金型	103
第5章 複合材料のリサイクル	105
5-1. 航空機分野でのリサイクル	106
TPRC (ThermoPlastic Composites Research Center)	106
5-2. 成型加工メーカー & ユーザーのリサイクル技術	110
Voith / 一貫成型システム技術を CFRP リサイクルに応用	110
豊田自動織機 / 再生炭素繊維 100% の紡績糸と応用製品	112
PiTAKA / 炭素繊維リサイクルをブランド戦略に	114

5-3. リサイクル炭素繊維のメーカー	116
Thermolysis	116
Catack-H	117
Nova Carbon	118
Extracthive	120
Procotex	122
第6章 繊維原料、樹脂原料	123
6-1. 麻繊維複合材	123
6-2. 環境対応が進む熱硬化性マトリックス樹脂	129
Sicomina / バイオエポキシ	129
Swancor / リサイクル可能な熱硬化性エポキシ	131
Aditya Birla Chemicals / 熱可塑にも変換可能なエポキシ	134
Gruit / 再生 PET を使うコア材	137
6-3. 熱可塑性樹脂材料メーカー	138
Arkema / PEKK、PA11、現場重合型アクリルなど	139
Solvay / PEEK、PEKK、PAI	142
VICTREX / PEEK、低融点 PAEK	144
三井化学 / 炭素繊維 UD テープなど	146
東レ アドバンスコンポジット / 落雷対策素用素材、金型用プリプレグなど	148
三菱ケミカルグループ / EV や二輪、工業向けの複合材料	150
帝人 / 炭素繊維および炭素繊維複合材料	154
第7章 欧州複合材料市場の開発体制	157
7-1. 欧州特有の開発プロジェクト体制	157
SMiLE / 電気自動車フロアモジュールの軽量化開発	158
LeiWaCo / 熱可塑性樹脂による水素タンク開発	159
7-2. Horizon Europe / 全欧のイノベーション支援プログラム	161
7-3. 航空機分野の開発プロジェクト	162
TAPAS / 熱可塑性複合材による航空機開発	164
Clean Sky2 / 環境に優しい航空機開発	166
Eco-Design (エコデザイン) / 環境負荷視点での航空機開発	167
ecoTECH (エコテック) / ライフサイクル視点での航空機開発支援	168
STUNNING (スタンニング) / 熱可塑性樹脂による航空機開発	169
MFFD / 多機能な航空機胴体のデモンストレーター製作	170
ECO-CLIP (エコクリップ) / CFRP 端材のリサイクル研究	170
7-4. Fraunhofer/開発プロジェクトの求心力	171
8. JEC World 2024	174
あとがき	175

第2章 分野・用途別の主な展示

2-1. 航空宇宙

大きな構造体が多い航空宇宙関連の展示を集約するプラネットは迫力があり、例年楽しみであるが、今年はモビリティとして自動車や鉄道と一緒に並べられた。それが理由かどうかは分からないが、例年よりも展示品が少なく少々残念であったが、個別ブースの展示では話題の eVTOL (イーブイトル、電動垂直離着陸機) や 3D プリンティングによる CFRP 用金型など、日ごろ触れる機会が少ない展示をそれなりに楽しめた。

Airbus Industries / 航空機胴体、レドーム

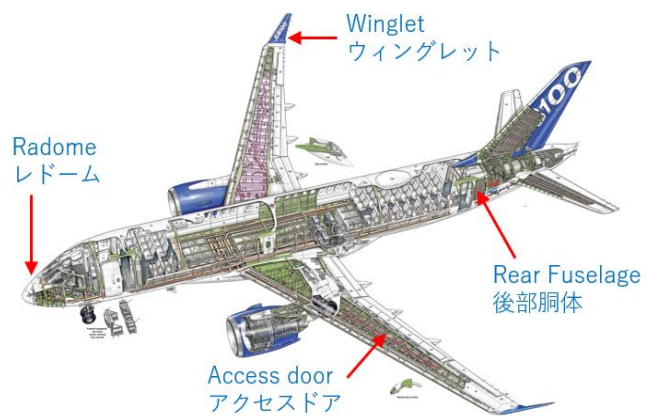


図1 エアバス A220 後部胴体の底パネル

モビリティ展示エリアに飾られていたのはエアバスの子会社 Stelia North America (カナダ) による後部胴体の実証用試作品。

エアバスのリージョナルジェット A220 の後部胴体は上下左右の 4 枚のプレートで構成され、展示されたのは底板部分。エポキシプリプレグを Coriolis (コリオリ、仏) のレーザー自動機で積層し 10 本のストリンガー (棧) を付けてから一緒に硬化させている。

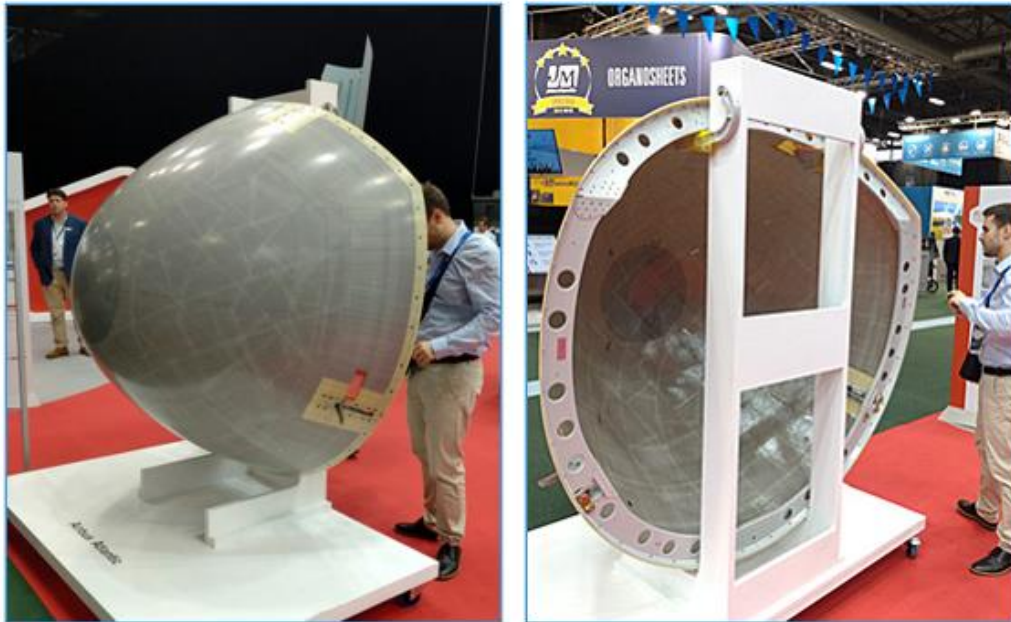


図2 樹脂製レドームの外側と内側

図2は Airbus Atlantic が作成したレドーム。航空機の先端に位置するレーダーのカバーは、金属製に較べて電波透過性に優れる複合材料は利点があり、材質表記は無かったが色目から見てガラス繊維とエポキシ樹脂の組み合わせだと思われる。

それよりもこの部品の最大の特徴は「Innovative pick-and-place technology」であると表示されている。ピックアンドプレースとは、特定の物体をつまみ上げ(吸着または把持して持ち上げ)、そこから物体を移動し定位置でリリースする一連の作業工程を指す。大きな部品で構成される飛行機のコストを下げするためには、ロボットが作業をし易い組み立てる方法や部品設計が必要であり、このレドームの樹脂化の狙いそこにあるようだ。

Airbus Atlantic <https://www.airbus.com/en/airbus-atlantic>

Airbus の子会社で、航空構造物製造では世界第2位、パイロットシート製造では第1位、プレミアム乗客用シートではトップ3に入る。エアバスグループの複合材による航空構造物製造では最大手の会社。

Stelia Aerospace <https://www.stelia-aerospace.com/en/>

エアバスの完全子会社で、2015年にソーゲルマ(SOGERMA)とアエロリア(Aerolia)が合併してできた航空機構造体と座席の生産を主な事業とする会社で、フランスのトゥールーズに本部がある。カナダにグループ会社 Stelia North America があり、もう一社あった Stelia Aerospace Canada は2023年3月に Airbus Atlantic に吸収された。

Wing of Tomorrow プロジェクトで作られた実物大の主翼スパー(桁)

今年の展示会で最も長い成型品は GKN Aerospace が作った航空機主翼の桁(spar)であったが、残念ながら展示品は写真撮影が厳重に禁止されていた。一体型の航空機部品としては世界最大級だと思われ、GKN Aerospace が専門誌などで開示している画像や情報を組み立てて説明する。

以下は 17m もある主翼の桁の、製造工程現場での写真である。



図3 クレーンで吊り下げられた主翼桁と、その表面(写真 GKN Aerospace)



図4 黄色が主翼の桁位置、赤丸は主翼フレームの CFRP 製の桁(出所 GKN Aerospace)

これはエアバスの **Wing of tomorrow** (「明日の翼」という次世代主翼の開発プロジェクト) が作ったもので、帝人の炭素繊維を用いた二層のノンクランプファブリック基材とソルベイの新開発エポキシを使い、大規模 RTM で成型している。現在航空機に使われる CFRP は、プリプレグをオートクレーブで熱成型するものが多いが、GKN は専門誌のインタビューで「成型時に高圧をかけることが出来る RTM は繊維と樹脂の密着に有利で、非破壊検査や航空機用 CFRP 部材の空隙率スペック 2% (注) 未満をクリアしている」と答えている。尚、この主翼桁は 2021 年からデモンストレーターとして試験飛行が繰り返されており、一部の商業運行にも使われているようだ。

(注) 航空機用途では空隙率スペックを 1.5% 未満としている場合もある。

(参考記事) Composites World <https://www.compositesworld.com/articles/one-piece-one-shot-17-meter-wing-spar-for-high-rate-aircraft-manufacture>

Cetim / クルーガーフラップ

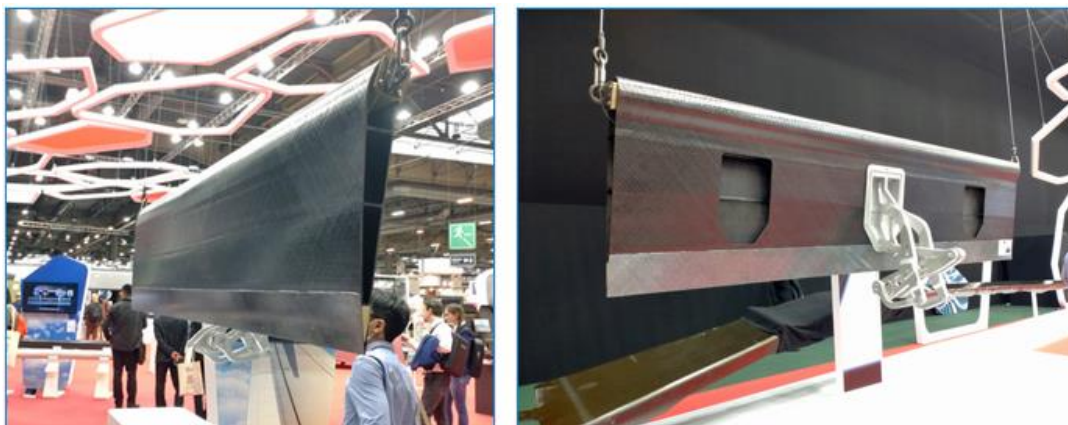


図 5 CFRTP 製クルーガーフラップ

図 5 は、モビリティ展示エリアに飾られていた環境配慮の航空機開発プログラム Clean Sky2 内の SWING プロジェクトによるクルーガーフラップ (Kruger Flap、航空機主翼前部分の補助翼) の試作品である。

クルーガーフラップの樹脂化は、重量削減や空気力学の最適化など機能的な目的だけでなく、In Situ Consolidation による構造と製造の合理化、効率化による大幅なコスト削減が目的である。‘In situ’の直訳は「その場で」という意味で、複合材料分野では成型後に別工程で接着や組み立てをするのではなく、成型時に部品の統合を行うことを意味し、熱可塑性樹脂を用いて工法開発が行われる例が多い。



図 6 SPIDE TP によるクルーガーフラップの製造風景 (Cetim)

フランスの Cetim (セティム、Centre Technique des Industries Mécaniques、国立機械産業技術センター) は航空機分野向け炭素繊維複合材の自動積層装置開発で知られ、2015 年に発表した連続繊維材料を自動積層する「Quilted Stratum Process」(QSP®) は、日本では機械商社のアルテック(株)により紹介されている。このクルーガーフラップの開発では、炭素繊維と PAEK から成る UD テープで3つの中空体セルを作り、その上から表皮部分の積層加工までを連続して行うことが出来る装置「SPIDE

eVTOL(空飛ぶクルマ)

空飛ぶクルマの多くは「電動垂直離着陸型無操縦者航空機」であり、外国では eVTOL (electric vertical takeoff and landing、イーブイツール) と呼ばれる。大きな電池を積む eVTOL にとって軽量化は必須で、機体に CFRP が使われるのはいわば必然である。

LIFT 社 / 「HEXA」

米国の QARBON Aerospace Inc. は航空機の翼などが主力の複合材部品メーカーで、タイ工場で生産する米国 LIFT 社「HEXA」の CFRP 製機体を展示。一人乗りの水陸両用機で、18 個のプロペラで駆動する。一年前から販売されており、空重量 196kg、積載重量 113kg と小型ではだが飛行時間は 15 分程しかなく、今後改良が期待される。



図 7 一人乗り「HEXA」



図 8 日本で初飛行した HEXA (Electric VTOL News)

2023 年 3 月、LIFT Aircraft は丸紅(株)や大阪商工会議所などと提携して大阪で初飛行を行った。2025 年大阪万博の目玉の一つにするそうだ。

Valeo / オルガノシートによる自動車軽量部品

Valeo S.A.(フランス) <https://www.valeo.com/>

フランスの自動車部品大手 Valeo は、オルガノシートを使い車体骨格の軽量化を進める。

フロントエンドモジュール キャリヤ

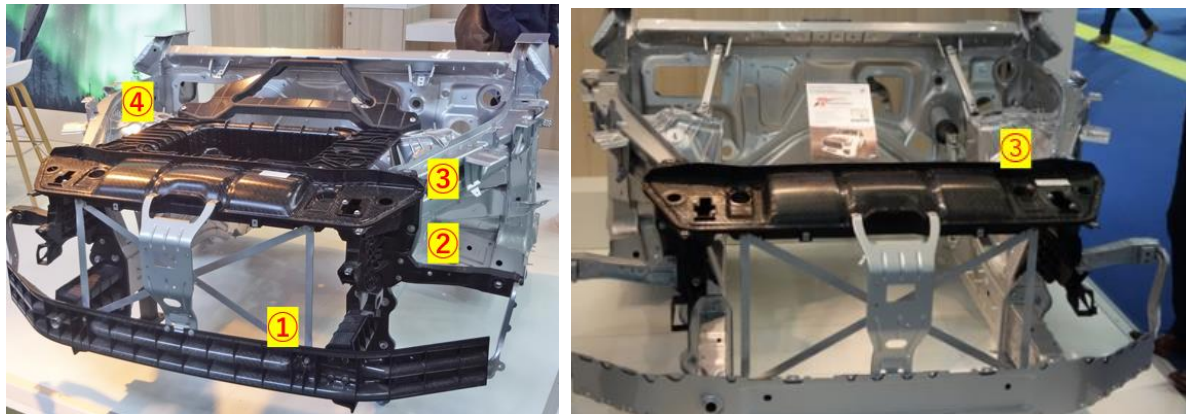


図 9 a. 2023 年展示のフロントエンド

b. 2019 年展示のフロントエンド

図 9 は一般的にはフロントエンド・モジュール・キャリヤと呼ばれ、ラジエターやバンパー、ヘッドランプ、ボンネット開閉機構などを組付ける車体骨格の一部で、いずれもメルセデスベンツ GLE に使用されたものである。2019 年に展示された図 9 b. では、③ボルスターのみがガラス繊維強化のナイロンで樹脂化されていた。中央のパネルはプレス成型したオルガノシートを上下張り合わせ、側面は射出成型されていた。今年展示されたのは同じ車系であるが、③に②ヘッドランプブラケットが統合され、①バンパービームが樹脂化され樹脂化が進んだが、更にエンジンルーム中央に位置する④バッテリートレイが追加されているところから、GLE の PHV(プラグインハイブリッド車)仕様であろう。

因みに、ヴァレオ自らは公表していないが、オルガノシートは Bond-Laminates の Tepex 104-RG600 (3) /47%が使われたようだ。



図 10 PHV のバッテリートレイ (Valeo)

2019 年展示では③のみで「金属に較べて 6kg の軽量化」としていた。今年の図 9 a. では「①②③で 30%以上の軽量化」とあるだけだが、④を含めると 20kg 以上であることは間違いだろう。更に樹脂製は腐食対策が不要で、最近の自動車開発に欠かせない NVH(騒音・振動・ハーシュネス)効果も大きい。

アウディ / 複合材料による EV バッテリーパック保護カバー

AUDI AG (アウディ、ドイツ)

Audi の電気自動車 e-tron は、水冷式の熱マネジメントシステムを搭載するバッテリーモジュールとして知られるが、車種により構造が進化、変化している。量産が始まった 2020 年初期の主要構造体は金属だったが、2023 年 2 月から世界展開される SUV 車「Q8」には、Lower Protection Cover (底面の保護カバー) に熱可塑性樹脂が使われ、JEC 2023 年のイノベーションアワードを受賞した。

e-tron は、以下の構成のバッテリーパックが車体の底に搭載され、当該の樹脂プレートはその最下段、即ち車体の最表層に位置するが、金属のような融雪剤などでの防錆対策は不要である。

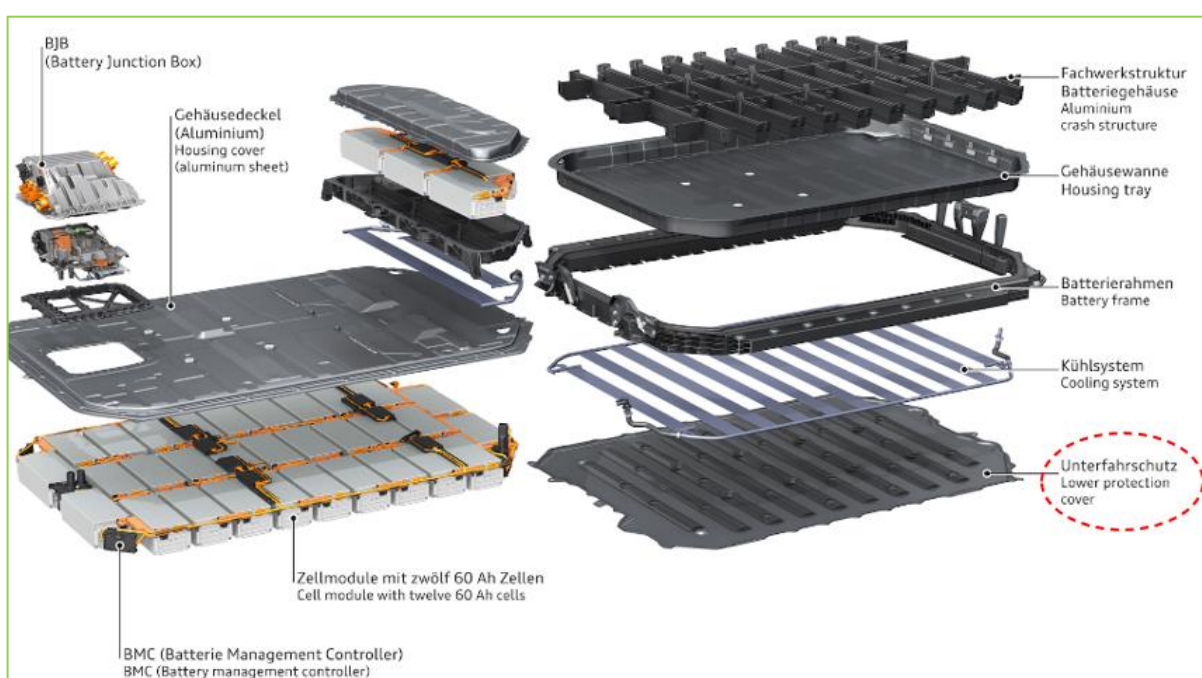


図 11 アウディ e-tron のバッテリーパック構造(写真は Audi 資料を基に KTR が編集)

上図の赤丸が 2100 mm x 1400 mm の大型樹脂製パネルで、オランダの POLYTEC が成型する。



図 12 e-tron バッテリーの底面保護カバーと、アウディ A8

Talgo / 複合材による鉄道車体

Talgo S.A. (スペイン) <https://www.talgo.com/>

開発パートナー: Aernnova(西)、FIDAMC(西)、ECNALIA(西)

スペインの鉄道車両製造会社 Talgo は、スペイン語の Tren Articulado Ligero Goicoechea-Oriol(一軸台車連結列車)の略称に由来する。

今回、モビリティ展示エリアで一際大きく注目を集めたのは超高速列車用の CFRP 製車体である。



図 13 電車の CFRP 製ボデーの内外観(写真 JEC2023 で撮影)

15 年前からスペインで運行されている高速列車 Talgo 350 をモデルにした開発中の長さ 12.14m、幅 2.94m、高さ 3.05m の中級客車は、両端壁がアルミニウム製、ルーフ、サイドパネル、フロアのメインフレームに CFRP を使う。従来比 25%の軽量化を図り、これは車軸あたり 1 トン近くの軽量化に相当し、列車の容量を劇的に増やし、エネルギー消費を削減する可能性をもたらす。

現在、鉄道システム全体での技術成立性を検証中で、商用運行はもう少し先になる。



図 14 オートクレーブで成型された CFRP 製ボデー (Talgo)

CFRP は、一部の引抜成型による部分を除き鉄道の火災煙毒性規格 EN 45545-2 に適合する CFRP セミプリプレグを使い、スチール、アルミとの組み立てには接着剤とリベットを使う。

樹脂化によるメリットは軽量化による積載量アップや運行時のエネルギー削減に加え、車両製造時の組み立てが簡素化出来、製造時間短縮とコスト削減にもつながるとしている。

Herone(ドイツ / 複合材部品の特殊成型)

Herone は、ドレスデン工科大学の ILK(Institute für Leichtbau und Kunststofftechnik、軽量化およびプラスチック研究所)から独立したモルダーで、UD テープの編組技術に射出成型や圧縮成型を組み合わせた中空構造を持つ超軽量プロファイル製造と、それに成形工法を組み合わせた複雑形状部品が特徴である。



図 15 編組装置と UD テープの編組工程の様子 (Herone)

編組工程の動画 https://www.linkedin.com/posts/herone_herone-is-ready-for-production-activity-6858347117681893376-IDpX/?trk=public_profile_like_view&originalSubdomain=de



図 16 a. パイプを熱加工して作った角パイプ b. 手前がタイロッド、後ろは軸一体ギア

図 16 a は UD テープを編組したパイプを二次加熱して角パイプに加工したもの。

写真 b の後列は編組したパイプの上に射出成型でギアを一体成型したものと、内側に非強化樹脂(恐らく PEEK か PEKK)を成型したもの。

手前はタイロッド(tie rod)の片側。タイロッドは、一般的には自動車のステアリングアームと左右のナックルを連結する棒を意味するが、この展示品はおそらく航空機用途だと思われる。

下のエラー! 参照元が見つかりません。は Yie Rod の構造図で、TieRod Body の部分が CFRTP で作られている。

第5章 複合材料のリサイクル

5-3. リサイクル炭素繊維のメーカー

Nova Carbon (フランス) <https://www.nova-carbon.com/>

MANIFICA は、航空廃棄物から革新的な複合部品までの炭素繊維複合材のリサイクル チェーン 確立を研究推進するコンソーシアムで、環境配慮の航空機開発プログラムの Clean sky 2 から資金を受けて 2020 年から 2023 年まで、フランスのボルドー大学 I2M (機械工学研究所) を中心に PAREC (廃棄物回収)、VESO (リサイクル複合材料開発と構造設計)、東レカーボンファイバーヨーロッパ (炭素繊維) が加わり活動した。

航空機製造で発生する CFRP 廃材を PAREC が回収し、フランスの Alpha Recyclages Composites が蒸気分解プロセスでエポキシを分解して炭素繊維を取り出す。MANIFICA は、それを UD テープにし、更にそれを重ねた複合シートにするまでの製造プロセスと、繊維のバインダー研究を行った。以下は MANIFICA が研究成果として纏めた動画より作成した画像である。

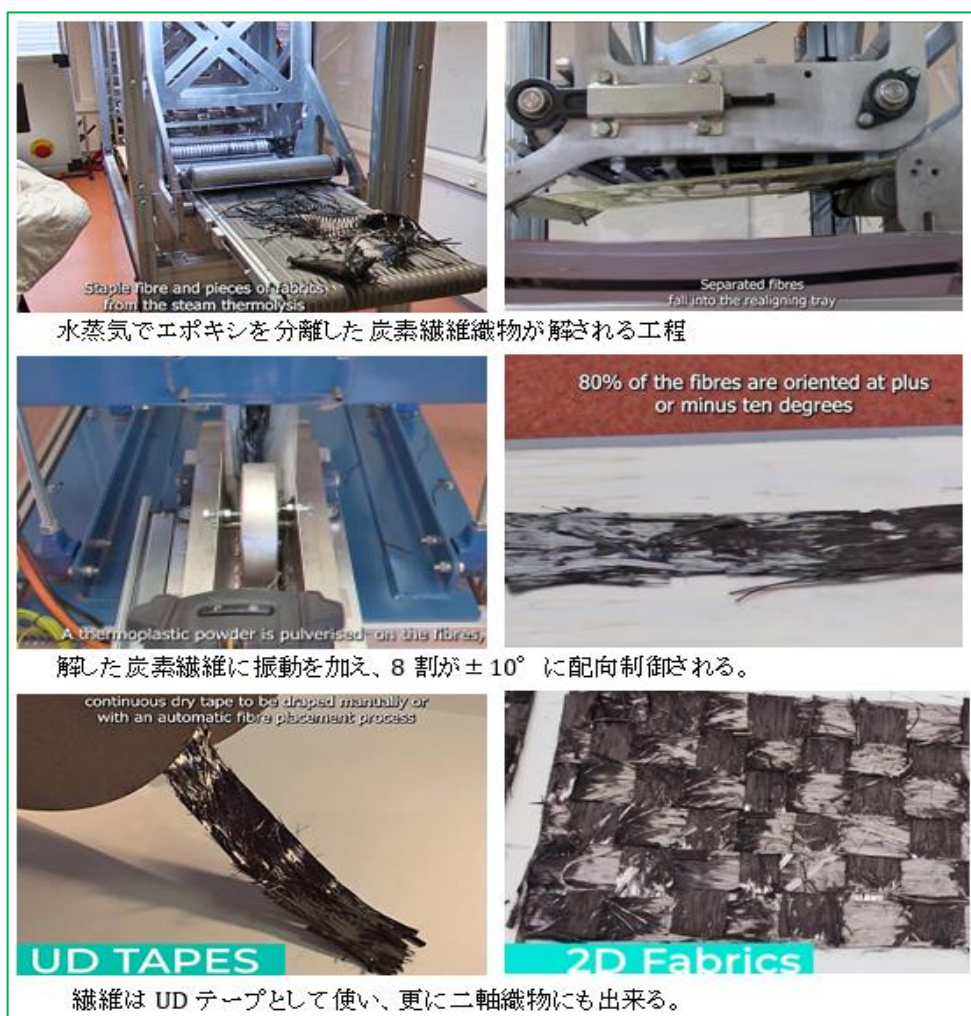


図 17 サイクル炭素繊維から UD テープや織物の基材を作る工程 (MANIFICA 動画から編集)

MANIFICA <http://manifica.eu/>

MANIFICA のプロセス開発動画 <https://www.jeccomposites.tv/materials/60c89c1a70.html>

MANIFICA プロジェクトは 3 年半で研究活動を終え、2023 年 9 月にすべてをボルドー大学のスピンオフ企業である Nova Carbon に引き継いだ。Nova Carbon は、CFRP 製品や廃材のリサイクル処理から中間素材までを手掛けるとしているが、CFRP の処理は、MANIFICA では開発段階では外部企業にゆだねていたとの情報はあるが、Nova Carbon がすでに内製化しているかは不明である。

Nova carbon の出展ブースは、商談で狭いテーブルの上に織物や不織布、プレス板や押し出しプロファイルなどが散乱し、映える写真が撮れなかったが、二件の採用例を聞いた。



図 18 a. 自転車競技用シューズ b. 引く抜き成型による板

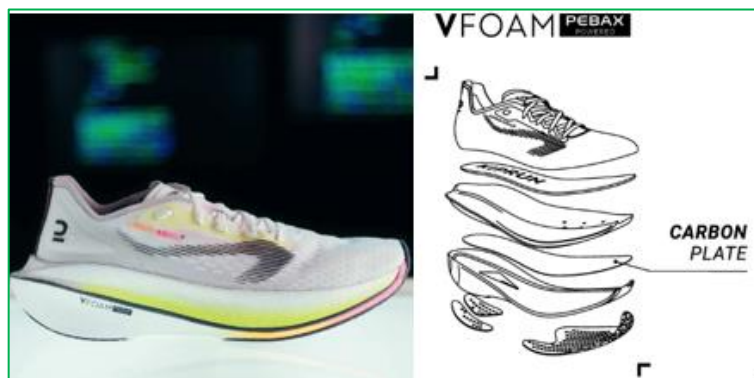


図 19 リサイクル炭素繊維を使うマラソンシューズ (Decathlon)

図 18 はフランスのスポーツ用品メーカーDecathlon(デカトロン)の自転車競技用シューズ「VAN RYSEL」で、これのソールに Nova Carbon のリサイクル炭素繊維が使われている。

図 19 は Decathlon の長距離用ランニングシューズ Kiprun KD900X で、このソールの中には CFRP が埋め込まれ、まもなくこれをリサイクル材に切り替えることが決まっているそうだ。ランニングシューズに CFRP が使われるのは珍しくなくなっているが、「リサイクルの CFRP を使うランニングシューズは世界初(展示説明員談)」だそうだ。

図 18 b. は、Epsilon Composite(イプシロンコンポジット、フランス)が成型した、リサイクル炭素繊維とエポキシによる引き抜き成型の板材である。(Epsilon については本書の 53 頁参照)

第6章 繊維原料、樹脂原料

【レースカーから一般車両へ広がる麻材料】

亜麻繊維が自動車部品として本格的に使われ出したのは 2010 年代半ばからで、ポルシェの GT4 レース仕様車や、テスラの EV レース車仕様の内外装に採用された。それらは環境対応だけでなく、麻繊維が炭素繊維よりも振動減衰に優れることから車体の制振性向上に役立ち、また麻繊維は延性が高く衝突破壊時に部品の飛散を防ぐことが出来るなどが理由である。



図 20 麻繊維/エポキシ製のボデーパネルとそれを搭載したレースカーSF23 (写真 Bcomp)

図 20 上は、アジアの最高峰フォーミュラーレース「全日本スーパーフォーミュラ」で使われる 2023 年モデルの SF23。上部の左右パネルは AmpliTex と powerRibs を組み合わせた麻繊維基材にエポキシを含浸したもの。



図 21 Alpine の電気自動車 A110 E-TERNITE

図 21 はフランスの自動車メーカーAlpine(アルピーヌ)の電気自動車 A110 E-ternite で、ボンネットとルーフ、内装シートシェルに TDL Technique の亜麻繊維がエポキシと組み合わせて作られている。

自動車用途での麻材料の採用はレーシングカーから量産車のレース仕様車へ、そして量産車へと

採用が広がっている。近年、自動車後部にディフューザーと呼ばれる部品を装着する車種が増えている。ディフューザーは、車体とバンパーの隙間を埋めることで走行時の自動車下部の空気抵抗を下げ、走行安定性と燃費改善に役立つが、これに BMW は麻材を使う。



図 22 自動車のディフューザーとそれを装着した BMW M4

昨年、ポルシェや BMW に続きボルボが Bcomp に出資しており、麻繊維複合材料を使う量産車が増えるのも時間の問題であろう。

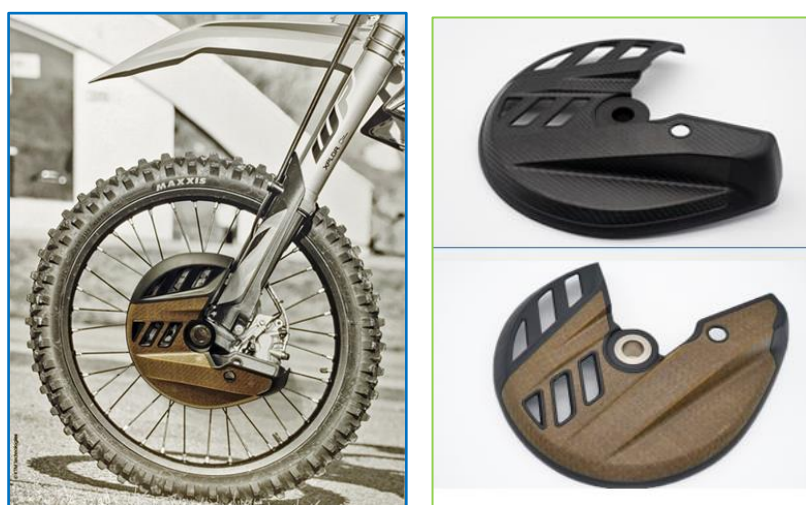


図 23 a. 亜麻製ディスクブレーキカバー b. 黒色は従来の CFRP 製 (KTM Technologies)

図 23 のモトクロス用バイクのディスクブレーキカバーに Bcomp の亜麻繊維織物 AmpliTex が使われる。

オーストリアの KTM Technologies GmbH が製造したもので、亜麻繊維織物と熱硬化エポキシの基材に自社開発のカップリング層 Conexus を加えて加熱成型すると成型品表面に熱可塑性の特性を持つ層が形成され、その上から PA6 をオーバーモールドすることでエポキシと PA6 の界面が接着される。

6-3. 熱可塑性樹脂材料メーカー

広義の PAEK のうち、市場で販売される多くは PEEK であるが、(広義の)PAEK をマトリックスに使う UD テープや 3D プリンティング用フィラメントなどの中間素材やユーザーの製品展示の多くが PEEK よりも PEKK や低融点 PAEK をマトリックスにしたものだった。また、アルケマやソルベイの PEKK に続いてビクトレックスが低融点 PAEK として展示したのが印象的であった。

これは材料の優劣ではなく、工法技術の進化や新しい成型工法が生み出されるにつれて材料の加工法とのマッチングが重視されはじめた結果であり、その意味では複合材料の用途拡大においては非常に期待できる動きだと受け取れる。

ここでは簡単に各種 PAEK の比較と、その特徴を展示品とともに紹介する。

表 1 各種芳香族ポリエーテルケトン (PAEK) の比較

	E/K	結晶融点 (Tm)	ガラス転移温度 (Tg)	加工温度	結晶性 (イメージ)	エーテル結合の安定性 (イメージ)
PEEK	2	343°C	143°C		◎	◎
PEK	1	373°C	152°C	400~420°C	◎	◎~○
PEEKK	1	358°C	154°C		◎	◎~○
PEKEKK	0.7	387°C	162°C	410~420°C	◎	○
PEKK (T/I=100/0)	0.5	400°C 以上	170°C		◎	○~△
PEKK (T/I=80/20)	0.5	360°C	165°C	375~385°C	◎~○	○
PEKK (T/I=70/30)	0.5	332°C	162°C	340~360°C	○	○
PEKK (T/I=60/40)	0.5	303°C	160°C	320~360°C	○~△	◎~○

出典：結晶融点、ガラス転移温度、加工温度はVictrex⁴⁾とArkema⁷⁾のカタログなどによる。
結晶性とエーテル結合の安定性はともにイメージであり、旭リサーチセンターが作成した。

(出所 旭リサーチセンター)

PEEK は、ハイドロキノンと 4,4'-ジフルオロベンゾフェンを原料にして作られる。一方、PEKK はジフェニルエーテル、テレフタル酸クロライド、イソフタル酸クロライドから作られるが、その比率を変えることにより結晶化度やガラス転移点・融点をコントロールできる。複合材料で多く見られる PEKK は低融点タイプで、PEEK よりも結晶化速度が遅く、結晶化度が低く、この特性が UD テープの積層や 3D プリンティングなどでは有利に働く。例えば UD テープでは、PEKK の低融点タイプは PEEK よりも固化・結晶化するまでの時間が長くなり層間強度が高くなる。3D プリンティングでも同様に層間強度や歪量において低融点 PEKK が有利になる場合が多い。反面、UD テープやオルガノシートに射出成型でオーバーモールドする場合のコンパウンドペレットでは、結晶化速度が速く、融点が高い PEEK が有利である。

Arkema / PEKK、PA11、現場重合型アクリルなど

Arkema S.A.(フランス) <https://www.arkema.com/global/en/>

Kepstan (PEKK)は、航空機や成型加工、中間素材など他の出展ブースでも多く見られた。

Kepstan PEKK と他の PAEK との比較

	KEPSTAN®			PEKEKK	PEK	PEEK
	8000	7000	6000			
T/I比率	80/20	70/30	60/40			
K/E比率	2	2	2	1.5	1	0.5
融点 °C	358	332	305	387	373	343
ガラス転移温度°C	165	162	160	162	152	143
結晶加速度	Fast	Med	Slow	Fast	Fast	Fast

(出所 アルケマ、KTR 訳)

PEKK の AM(3D プリンティング)用途



図 24 フィラメント式 3D プリンティングによる航空機の換気ダクト(左)とブラケット(右)

上は StratasyS 社による試作例で、結晶化度が低いために少し透明感がある。



図 25 フィラメント式 AM 部品(9T Labs) 粉体式 AM による部品

図 25 はスイスの 9T Labs による、3D プリンティングで作った複数の成型品を金型内で熱プレスし続合したもの。(9T Labs については 93 頁を参照)

第7章 欧州複合材料市場の開発体制

Clean Sky2 / 環境に優しい航空機開発

欧州委員会と航空産業のパートナーシップによる環境に優しい航空機を目指す開発プログラムとしては最大規模で、最初のクリーンスカイ(Clean Sky)は2008年から約16億ユーロを投じ、二酸化炭素排出削減や飛行中の航空機騒音の低減を目的にした様々な開発プロジェクトが運営された。

最初のクリーンスカイでは、以下のプロジェクトセグメントで開発が行われ

- ・グリーンリージョナル(地域)航空機(GRA: Green Regional Aircraft)
- ・持続可能なグリーンエンジン(SAGE: Sustainable and Green Engine)
- ・スマート固定翼航空機(SFWA: Smart Fixed Wing Aircraft)
- ・グリーンオペレーションシステム(SGO: System for Green Operation)
- ・グリーンロータークラフト(GRC): Geen Rotor Craft
- ・エコデザイン(ED): Eco-Design

クリーンスカイの後継として2014年からスタートしたクリーンスカイ2は、欧州委員会のホライズン2020の一環として位置づけられ、全体としてはクリーンスカイを継承するが更にリサイクルコンセプトが追加され、活動はデモンストレーターによる実証評価に重きを置く戦略をとる。

クリーンスカイ2の後継プログラムとして2021年から予定されていたクリーンスカイ3は実施されておらず、それに代わり2022年からクリーンアビエーション(Clean Aviation)がスタートしている。



図 28 クリーンスカイ2が設定した主なデモンストレーター (Clean Sky2)

欧州委員会は航空機開発の最終目標を 2050 年に置く。航空機の平均寿命から逆算すると、環境負荷を低減した小型航空機は 2030 年～2035 年に就航せねばならず、そのために必要な技術開発は 2025～2027 年頃までに実証される必要がある。Clean Sky2 は 2024 年までで完了となり、それ以降のクリーンスカイ 3 は予定が変わり、2022 年から始まった Clean Aviation に引き継がれる。



図 29 クリーンスカイは形を変えて継続し進められている

クリーンスカイ 2 のホームページ <https://www.cleansky.eu/>

クリーンアビエーションのホームページ <https://www.clean-aviation.eu/>

Clean Sky2 の中から本書に掲載した JEC World 2023 展示に関するエコデザインと MFFD について以降に述べる。

Eco-Design (エコデザイン) / 環境負荷視点での航空機開発

エコデザインはクリーンスカイ直轄のプロジェクトで、フランスの準用戦闘機や小型民間機を生産するダッソー航空機 (Dassault Aviation) とフラウンホーファー研究機構が共同で運営し、材料とエネルギーの使用を最適化することにより、航空機的设计、製造、回収、リサイクルの環境への影響を低減することに焦点を当てた研究開発プログラムで、本書に掲載した開発展示事例でもエコデザインの目指す方向に沿って実施されたものは多い。



図 30 エコデザインの開発領域 (出典: Clean Sky2)

エコデザインのホームページ <https://www.cleansky.eu/eco-design/>

エコデザインは 2008 年後半に運用を開始し、2015 年末までにすべての技術活動を完了したクリー

ンスカイ内で最初のプログラムで、その後クリーンスカイ 2 に引き継がれている。

大枠の開発プロジェクトは自身の中でロードマップを組んで内プロジェクトを実施するが、その結果を踏まえて次の段階に引継ぎ継がれる場合だけでなく、新たな課題や可能性が見いだされ新たに派生プロジェクトが生まれる場合がある。例えばエコデザインから派生プロジェクトとしてエコテックが生まれた。

ecoTECH (エコテック) / ライフサイクル視点での航空機開発支援

エコテックは、ライフサイクルの観点から航空機の環境負荷を下げる革新的な技術開発を推進するプロジェクトで、第一フェーズは 2017 年後半に始まり、2018 年からの第二フェーズは 15 団体によるコンソーシアムで約 50 の技術開発プログラムが設定され、2020 年から 2023 年に計画されている熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、金属材料、バイオ材料の 4 つの異なるデモンストレーター (実証評価段階) に向けて技術開発を進めている。



図 31 エコテックは航空機用途内でのリサイクルを目指す(エコテック)

エコテックは、特に天然素材の資源やエネルギーの節約とリサイクルに焦点を当て、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) および熱可塑性プラスチック (CFRTP) の革新的な技術開発に取り組むが、その中でもリサイクルが容易とされる CFRTP が開発の軸である。また複合材料に含まれる石油化学由来の樹脂マトリックスを植物ベースの材料で代替することも重要な要素としており、新開発の素材ではないがすでにファルコンビジネスジェットのキャビン内の家具で実証評価を進めている。

ecoTECH のホームページ: <https://www.cleansky.eu/material-gain-clean-skys-ecotech-innovative-eco-friendly-airframe>

復活！帰ってきた JEC World !

～世界最大の複合材料展 JEC World 2023 年レポート～

(有)カワサキテクノロジー 06-6232-1055(代)

世界最大の複合材料展示会 JEC World がようやくコロナ禍から復活し、今年はリサイクル技術や天然由来原料、熱硬化マトリックス樹脂の環境対応など展示内容が大きく変わり、複合材料が循環型社会へと大きく舵を切ったことを感じさせました。

JEC Worldは複合材の原料から加工法、応用例など多くの情報が得られますが、残念ながら見ただけでは理解できない展示が多くあるのが現実です。そこで当社は、展示会場で見聞いた情報の単なるレポートではなく、出展者や関連団体、専門誌などの公開情報を加えて編集し、展示の意味するところや開発の狙いなどを解説しています。

..... 切り取り線

<復活！帰ってきた JEC World ! ～世界最大の複合材料展 JEC World 2023 年～> お申込書

資料集体裁 : A4判 176頁(書籍) 発行: 2023年11月29日

◆この用紙にご記入の上メールまたは FAX にて、または下記内容をメール本文記載にてお申込みください。

いずれかの「申込」欄に○をお付けください。

お客様	申込	書籍のみ	申込	書籍+PDF版
弊社コンサル会員		200,000円(税・送料込)		290,000円(税・送料込)
非会員		240,000円(税・送料込)		340,000円(税・送料込)

★プラス¥55,000円(税込)で WEB 講演会にお申込みいただけます。

() 申し込む () 申し込まない (資料集ご購入後の追加申し込みも可能です。)

貴社名 _____ 部署 _____

お名前 _____ TEL _____ FAX _____

ご住所 〒 _____

Email _____ 申込日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

申込先 (有)カワサキテクノロジー 〒541-0047 大阪府大阪市中央区淡路町 4-3-8 TAIRIN ビル 6階

ktr@kawasaki-tr.com, FAX : 06-6232-1056