

特派員報告！JEC World(2019年)の視察と教訓

－ 世界最大の複合材料展から先端技術情報をお伝えします －

体裁：A4判 155頁（ハードコピー）編集 KTR 資料作成プロジェクトチーム

複合材料市場で先行する欧州には新素材や成形加工についての先端情報や、自動車や航空機、工業分野での動向などが多くあり、JEC 展示会は日本では難しい貴重な情報を得る絶好の機会です。

しかし、欧州には日本人に馴染みのない企業や研究機関が連携してプロジェクトを作り、素材から生産プロセスまで含めた総合的な技術開発を行う場合が多く、また展示場で質問するにも言葉の壁もあるので、「展示品だけを見たがよくわからなかった」という経験はありませんか？「仕方がない」とあきらめておられる方は、本書をご覧ください。

今回、弊社が編集する JEC World のレポートは、弊社スタッフ社員が複合材料の本場フランスの展示会場で直接を見て、聞いて得た情報だけでなく、出展者や複合材料の専門誌などが公開する関連情報も織り込み、展示内容や技術情報をわかりやすくまとめたものです。また、2019年だけでなく前年からの変化が分かるように、2018年のハイライトも加えました。

先進の欧州の複合材料市場と技術開発トレンドを知る手がかりとして、あるいは次回の JEC World を見学される方は事前学習として本書をご利用ください。



.....

<「特派員報告！JEC World(2019年)の視察と教訓」>

KTR 会員販売価格：200,000 円 非会員販売価格：250,000 円（消費税・送料込み）

お申込みは以下の書式で FAX にて、もしくは内容をメールでお申し込みください。

貴社名 _____ 部署名 _____

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リサーチ FAX:06-6232-1056 メール ktr@kawasaki-tr.com

JEC2019 レポート掲載内容

| | |
|---|----|
| 第1章 JEC World 概要 | 1 |
| JECの歴史、事業領域 刊行物、展示会概要、複合材料専門誌など) | |
| 第2章 航空・宇宙分野 | 16 |
| FIDAMC / 航空機のリフティングサーフェス | 17 |
| GKN Aerospace / 航空機構造体研究プロジェクト | 19 |
| IHI エアロスペース / 航空機エンジンのガイドベーン | 24 |
| Stelia Aerospace / CFRTP 航空機構造体 | 25 |
| Compo Tech PLUS / 航空機用 CFRP 製エルロン | 27 |
| DLR (ドイツ航空宇宙センター) / CFRTP 製航空機後部圧力隔壁 | 29 |
| Cecence / ハニカム構造体による航空機シート | 32 |
| Huntsman Advanced Materials / ハニカム構造体による航空機部品 | 33 |
| Ascent Aerospace 金属+CFRP 製金型 | 35 |
| Cevotec / パッチ当式プリフォーム装置 | 36 |
| Halcyon Performance / アルミハニカム構造体ペイロードアダプター | 39 |
| Despetele Group フラックス繊維による航空機レドーム | 40 |
| Trackwise Design Ltd. フレキシブルプリント回路基板 (FPC) | 41 |
| 第3章 自動車・車両分野 | 42 |
| アウディ&SMiLE / 電気自動車用の軽量フロアモジュール | 43 |
| アウディ/ CFRP 製自動車リア・ウォール・モジュール | 45 |
| アクションコンポジット / スタビライザー | 48 |
| エルリングクリンガー / ハイブリッド成形、オルガノシート内装構造 | 49 |
| ルノー / 樹脂製ドア、スペアタイヤトレイ、二次電池筐体 | 51 |
| サーフェスジェネレーション/ 成形金型の急速加熱冷却システム | 52 |
| マニエティ・マレリ (Magneti Marelli) / ステアリングナックル | 53 |
| アークグループ / 電気自動車用ギアボックスハウジング | 55 |
| フォルシア / 麻材内装、構造部品、二次電池筐体 | 56 |
| ヴァレオ / フロントエンドの樹脂製ボルスター | 58 |
| BMW モトラッド / 二輪車のリア・スイングアーム | 59 |
| フォード / フェノール製カムキャリア | 60 |
| ヘキシオン/ バッテリーケース | 61 |
| ムベアカーボンテック/ CFRTP オルガノシート成形 | 62 |
| ポリスコープポリマー / サンルールレール | 63 |
| フラウンホーファーICT&LBF / 二次電池、自己冷却モーター | 64 |
| ダイムラー (Daimler AG) 電気自動車用ワイヤレス充電システム | 67 |
| CTC (Composite Technology Center) / CFRP 製軽量グリッパー | 68 |
| Penso Consulting / 地下鉄車両ドアの樹脂化 | 70 |
| ELG カーボン / 炭素繊維リサイクル | 71 |

| | |
|--|-----|
| 第4章 樹脂、繊維、中間素材 | 72 |
| 帝人 / 炭素繊維、プリプレグ、自動車部品 | 73 |
| 東レ / 炭素繊維、プリプレグ | 77 |
| Hexcel / 炭素繊維、プリプレグ | 83 |
| Covestro / UD テープ (熱可塑性一方向連続繊維テープ) | 85 |
| Bond-Laminates オルガノシート (熱可塑性連続繊維シート) | 87 |
| DSM / 超高分子ポリエチレン繊維 | 88 |
| Arkema S.A. アクリル系現場重合型熱可塑性マトリクス | 90 |
| 三菱ケミカル(株) 炭素繊維、SMC 自動車部品 | 91 |
| 三井化学(株) 複合材料、炭素繊維材料 | 93 |
| Bcomp Ltd フラックス (亜麻) による複合材料 | 96 |
| 日鉄ケミカル&マテリアル/ 熱可塑性フェノキシプリプレグ | 98 |
| Fraunhofer-ICT (化学技術研究所) ジュートの複合材料開発 | 99 |
| Bio4Self プロジェクト / バイオ PLA の自己強化性複合材料 | 101 |
| Ecoxy プロジェクト / バイオエポキシ複合材 | 103 |
| DIT / ポリプロピレン自己強化性ポリマー | 105 |
| TFP Technology GmbH / NCF 生産システム | 106 |
| シキボウ(株) 3D プリフォーム | 108 |
| 第5章 加工、工法、研究開発 | 109 |
| Cetim / 自動プリフォーム装置 QSP | 110 |
| Dieffenbacher GmbH 自動テーププリフォーム装置 | 113 |
| FPC (Fiber Placement Center) 連続繊維素材の積層技術研究センター | 115 |
| Applus+IDIADA グライドフォーミング | 116 |
| Fraunhofer - レーザー技術研究所/ レーザーテープ積層、金属接合 | 117 |
| AFPT / レーザーによるテープ積層装置 | 122 |
| Coriolis Composites Technologies / レーザー積層 | 123 |
| アドウェルズ株 / 超音波による UD テープ製造、プリフォーム | 125 |
| Herone / CFRTP の特殊成形 | 126 |
| 積水化学工業 / CFRP の成形技術、CFRTP | 127 |
| Fraunhofer - IMWS / 熔融法による UD テープ製造装置 | 129 |
| M&A Dieterle / 小型の UD テープ製造装置 | 131 |
| DLR(ドイツ航空宇宙センター) / 3D プリンティングによる技術開発 | 132 |
| Thermwood / 大型 3D プリンター | 135 |
| Owens Corning / 3D プリンティング用フィラメント | 137 |
| 第6章 欧州の複合材料市場での開発体制 | 138 |
| 「プロジェクト」による総合的な開発 | |
| 航空機 : クリーンスカイ、エコデザイン、エコテック、リセットなど | |
| 自動車 : MAI-カーボン、シーム、スマイル、エンライトなど | |
| 6-3. フラウンホーファー研究機構 | 149 |

(第1章 JEC World 概要)

1-4. テーマ別展示のパビリオン「Planet」

近年 JEC は、出展社数増加や開発内容の多様化により展示内容が理解しにくくなっていると危機感を持ち、時代に合った展示の仕方を目指し改善を進めている。その一つとして各出展者のブースとは別に、分野やテーマ毎にプラネット（Planet 惑星）と名付けたパビリオンを設けている。

2019 年は Aero & Space（航空・宇宙）、Automotive & Transport（自動車・運輸）、Sports & Lifestyle（スポーツ&ライフスタイル）、Construction & Energy（建築&エネルギー）の四つの分野別プラネットと、Composites in Action（複合材開発に関する活動）、3D プリンティングの合計六つを集約して展示をした。

Aero & Space（航空・宇宙）



Automotive & Transport（自動車・運輸）



Sports & Lifestyle（スポーツ&生活）



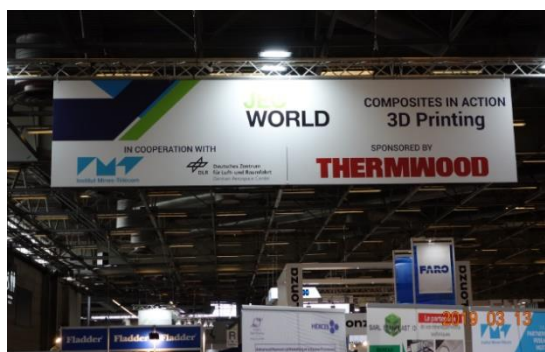
Construction & Energy（建築&・エネルギー）



Composites in Action（複合材開発の実践）



3D Printing（3D プリンティング）



(第2章 航空・宇宙分野)

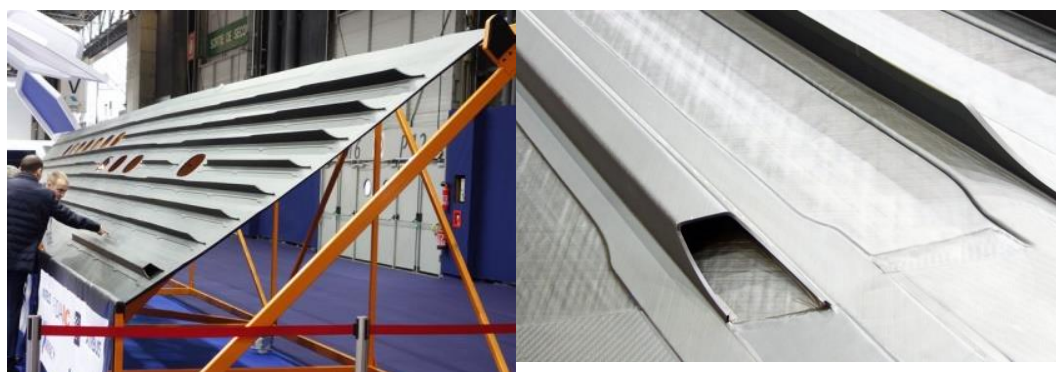
| | | |
|------|--|------|
| 出展者 | FIDAMC (Fundación para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos) | スペイン |
| 展示内容 | CFRP 製航空機のリフティングサーフェス | |

スペインの FIDAMC(複合材料研究開発および応用センターの意) は複合材料分野でのスペインの地位向上を目的として 2006 年に設立された研究機関で、素材の設計から加工プロセスまで広く研究する。

FIDAMC に Hexcel (ヘクセル 米国 炭素繊維素材)、MTtoress (エムトレス スペイン レーザー積層装置) がパートナーとして名を連ねて写真①の、JEC 展示で最大の 10m 以上ある成形品を展示した。



① CFRP 製リフティングサーフェス(表側)



② 写真①を横から見たところ

③ リフティングサーフェスのリブと桁

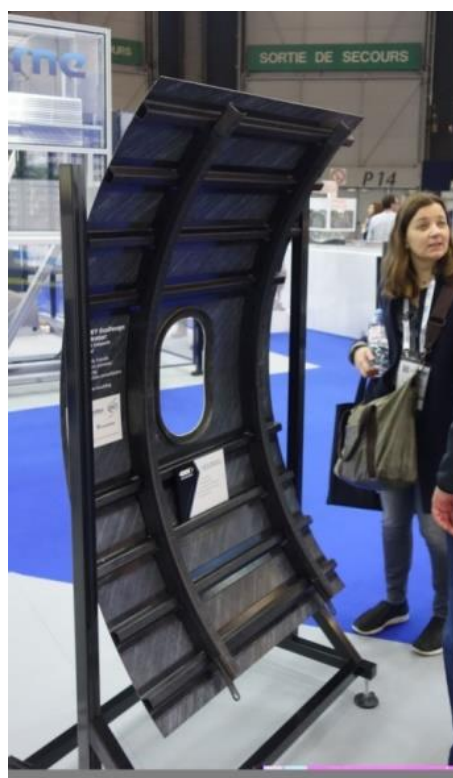
エアバスが主宰する SARISTU (Smart Intelligent Aircraft Structure) は航空機の運用コスト削減のために重量低減や空力性能を向上させるための構造体研究プロジェクトで、欧州 16 か国から 65 のパートナーが参加し 2011 年から 5 年間実施された。写真①はその開発成果の一つで展示品には「Lifting Surface (飛行機の浮力を得るための構造体)」と書かれているだけだが、エアバス A380 の主翼としての試作品のようだ。

(第2章 航空・宇宙分野)

| | | |
|------|-----------------------------|------|
| 出展者 | GKN エアロスペース (GKN Aerospace) | イギリス |
| 展示内容 | 熱可塑性複合材による航空機構造体研究 | |

GKN エアロスペースはロケットやミサイルや航空機のエンジンを手掛ける会社で、2012年にイギリスのエンジニアリング大手 GKN がボルボから買収した航空機部門が前身。フォッカー (Fokker Technology) は第一次世界大戦のドイツ戦闘機で有名な小型飛行機の製造会社を 2016 年に GKN が参加に収めた。両社ともに航空機の構造体を手掛けており、JEC でもいくつかのデモンストレーター (実証評価のための試作品) を展示した。

クリーンスカイ (Clean Sky) は欧州委員会と航空産業界のパートナーシップによる環境に優しい航空機開発のプログラムで、最初のクリーンスカイは 2008 年から 2016 年に 16 億ユーロをかけて、二酸化炭素や一酸化窒素 (NOx) の排出削減を目標にした様々な開発プロジェクトが運営されたが、その中の個別プロジェクトのひとつであるエコデザイン (Eco Design) は、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緩和することに焦点を当て研究開発を行った。



① PEKK+CF 製胴体の外側と内側

写真①の航空機胴体は、エコデザイン (Eco-Design) によるデモンストレーター (評価検証用の試作品) である。

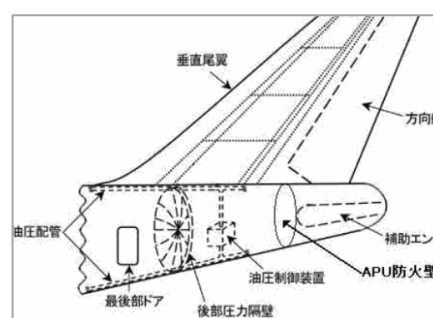
開発は、航空機エンジンや胴体・翼など構造部品を手がける GKN エアロスペースと

(第2章 航空・宇宙分野)

| | | |
|------|--|-----|
| 出展者 | DLR (ドイツ航空宇宙センター、Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt の略で、英名は German Aerospace Center)) | ドイツ |
| 展示内容 | CFRTP 製航空機後部圧力隔壁の開発 | |

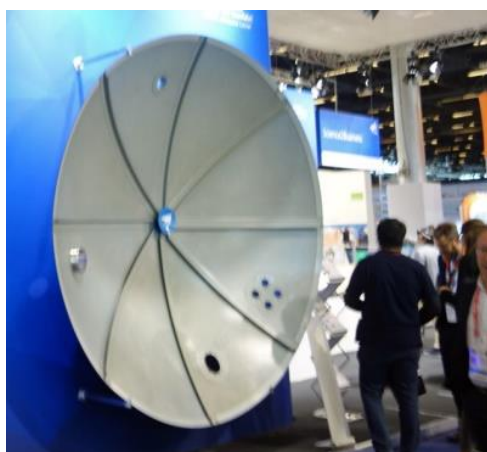
ドイツの DLR(ドイツ航空宇宙センター) は新型ロケット技術の開発、地球観測システムや衛星通信分野における宇宙の商業利用促進などの活動を通じて、航空宇宙の知識を新たな技術へと発展させることを目的とする組織で、熱可塑性複合材料の宇宙・航空分野への応用研究にも注力する。

航空機では機内外の圧力差が大きく、右の図にある後部圧力隔壁 (Rear Pressure Bulkhead 或いは Rear pressure vessel) が機内の圧力を維持する。この隔壁は、過酷な加圧減圧を繰り返すなど、強度要求レベルが高く、素材だけでなく接合工法なども重要な部品である。

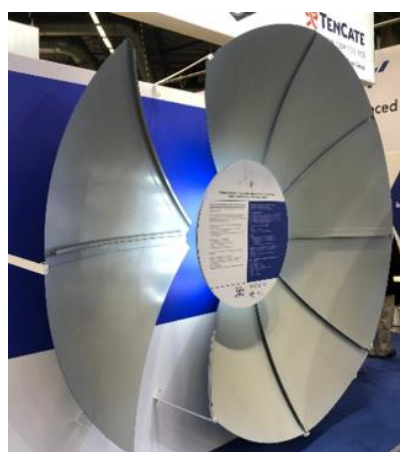


① 後方圧力隔壁

写真①は、熱可塑性 CFRTP を圧力隔壁に適用研究するため、エアバス A320 をモデルにした試作品で、これとほぼ同じ写真②が材料メーカーの TenCate ブースに展示されていた。



① DLR 展示の圧力隔壁



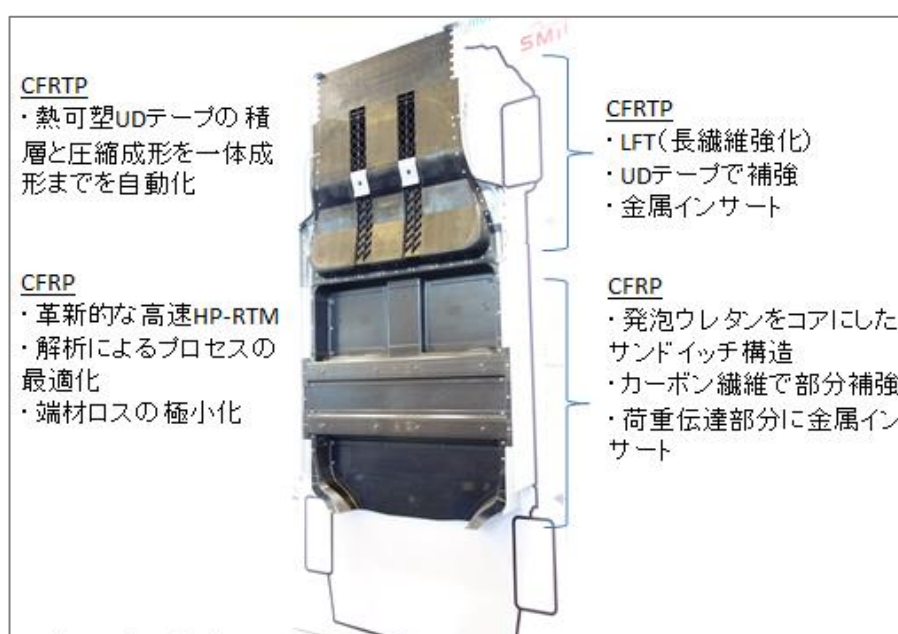
③ TenCate 展示ブースの成形品

この開発は DLR の Institute of Structure and Design (構造デザイン研究所) を中心に、東レグループの TenCate(素材)、Premium AEROTECH (部品製造)、Institute for Composite Materials (通称 IVW、ドイツのカイザースラウテルン大学複合材料研究所) が参加し、現行アルミ製に比べて 41 kg→35 kgへの軽量化とコストを 1/4 にすることを目標にする。DLR によると第一段階の検討は成形と接合の検証が目的だったようだ。展示の試作品は TenCate の PPS+CF オルガノシートを 8 枚の三角板に切断し、それぞれ長さ約 1500mm

(第3章 自動車・車両分野)

| | | |
|------|---------------------------------|-----|
| 出展者 | アウディ (Audi) を中心とする SMiLE プロジェクト | ドイツ |
| 展示内容 | 電気自動車用の軽量フロアモジュール | |

スマイル (SMiLE、System-integrated Multi-material Lightweight design for E-mobility の略) は電気自動車社会実現のためのマルチマテリアル開発プロジェクトで、フォルクスワーゲングループ、ディフェンバッハー (Dieffenbacher、成形システム)、BASF (樹脂材料)、フォイト (Voith Composites、成形)、フラウンホーファー (Fraunhofer 技術開発) など約 20 社が参加し、電気自動車のホワイトボデー構造の重量とコストを削減するために材料から工法、量産プロセスまでの総合的な開発をした。



① SMiLE で開発したフロアモジュール

写真①は 2018 年と 2019 年の JEC でフラウンホーファーが展示した成形品である。写真中のコメントは展示物に記載された説明の直訳だが、説明員に素材の詳細や将来の開発動向など質問したがこれ以上の情報は得られなかった。後日分かったことだが、このプロジェクトでは材料や成形工法、接合、補強などいろいろな組み合わせを検討していた。展示品はその過程で作った一例に過ぎず、説明員も答えようがなかったのだろう。

この展示サンプルは、上半部が PA6 と炭素繊維の組み合わせによる素材で構成され、UD テープを金型に入れて LFT (長繊維強化樹脂ペレット)、もしくは繊維ロービングを直接成形機に入れ樹脂と混合して熔融プレス成形する D-LFT を使っている。成形品下半分は発泡ウレタンをコアにし、両面から CFRP でサンドイッチする構造を HP-RTM (繊維織物を金型に入れ、高圧で熱硬化樹脂を注入する成形法) したものの。

なお、成形品の上部のクロス模様のリブ部分や下半分のリブ形状の柱形状部分の高荷重

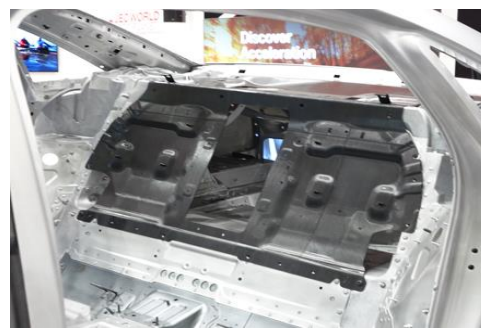
(第3章 自動車・車両分野)

| | | |
|------|------------------------|-----|
| 出展者 | アウディ (Audi AG) | ドイツ |
| 展示内容 | CFRP 製自動車リア・ウォール・モジュール | |

以下は 2018 年に JEC アワードを受賞したアウディ A8 リア・ウォール・モジュール。



①CFRP 製リアモジュールパネル



②リアパネルの取り付け位置



③ 組みたて後のモジュール



④モジュールの裏側

後部座席とトランクルームの間に位置する写真①の CFRP 製パネルは、ドイツのフォイトコンポジット (Voith Composites) が自社開発の繊維自動積層システム VRA を使い、ゾルテック製の炭素繊維を 6~9 層に積層し、ダウ製エポキシで HP-RTM 成形したもの。後述するように工程は高度に自動化され、コストとタクトタイムを大きく圧縮できたとする。写真①の成形品には 10 個ほどネジや金具が組みつけられ、ユーザーへの部品販売価格は 60 ユーロを切るらしい。日本では考えられない低価格だが、欧州では複合材部品のコスト削減を目指して生産プロセスの自動化取り組みを着実に進めているのは毎年の JEC を通してわかるが、それらの成果が現れ始めているということだ。

これに後部搭乗者用の電子ユニットを搭載したアームレストを組み込み写真③のモジュールにして車体に締結される。CFRP パネルは金属より 50%軽く、応力変形量は 33%改善しボデー剛性にも寄与するとのこと。

専門誌 Inside Composite に掲載された Audi A8 Carbon Rear Wall 記事

<https://www.insidecomposites.com/audi-a8-to-feature-carbon-fibre-rear-wall/>

(第3章 自動車・車両分野)

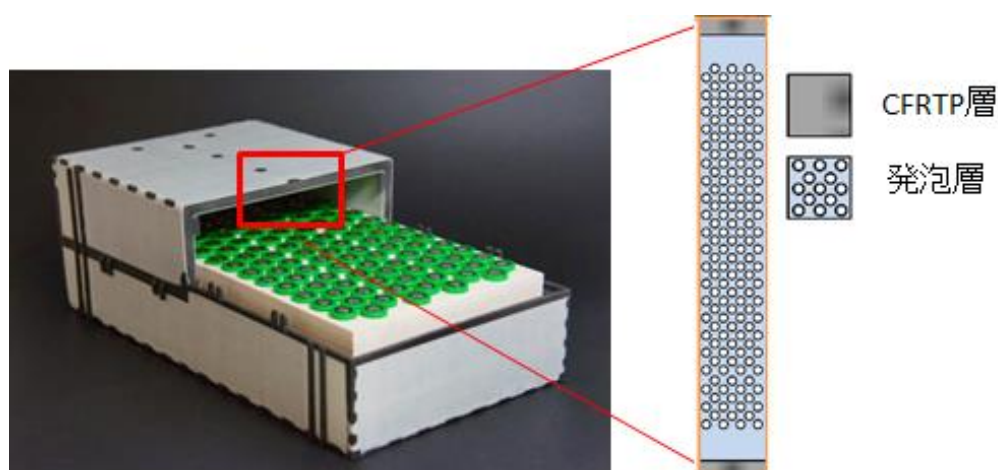
| | | |
|------|--|-----|
| 出展者 | フラウンホーファー生産技術研究所 (Fraunhofer - ICT) 同 - 信頼性研究所 (Fraunhofer-LBF) | ドイツ |
| 展示内容 | 電気自動車トラクション二次電池、モーター、コンプレッサー | |

フラウンホーファーの化学技術研究所(ICT)と構造耐久性・システム信頼性研究所(LBF)は連携して電気自動車用二次電池システム開発を進める。二次電池は高温下で寿命や性能が低下し、寒冷時には電圧低下やヒーターの使用電力量などの課題がある。トラクションバッテリー (Traction Battery) は、寒冷時の始動前に短時間で電池を作動適温度に調整する考え方で、筐体に断熱効果を持たせるのがポイントになる、



① 二次電池筐体試作品

写真①の筐体底板は CFRTP で挟んだ発泡体が断熱層となり、寒冷時に電池の温度低下を緩和する。このコンセプトを進化させた写真②は、残念ながら展示はなかったのですがフラウンホーファーが公開している写真で紹介する。



① 蓄熱体トラクションバッテリー(写真フラウンホーファー)

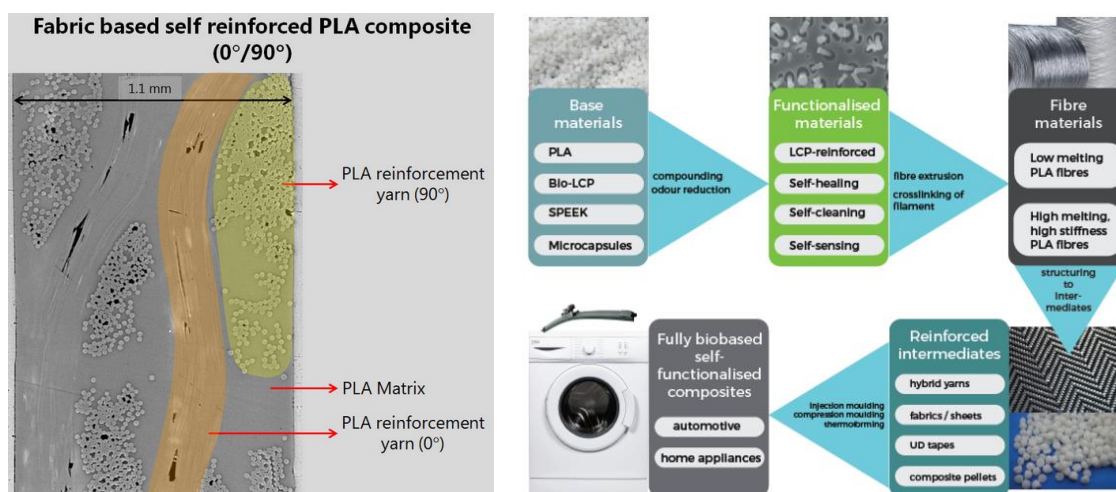
写真②の筐体は CFRTP の表面層と中間の発泡体を一体成形したもので、寒冷時に電池

(第4章 樹脂・繊維・中間素材)

| | | |
|------|-----------------------------------|-----|
| 出展者 | フラウンホーファー化学技術研究所 (Fraunhofer-ICT) | ドイツ |
| 展示内容 | Bio4Self (バイオ PLA の複合材料開発) | |

「Bio4Self」は欧州の技術革新プログラム Horizon 2020 が支援するバイオベースの複合材料開発プロジェクト。

今回 JEC で公表されたのは、SRPC(self-reinforced polymer composites 自己強化複合材料)と名付けたバイオポリ乳酸を主成分にする繊維強化材料。低融点 PLA をマトリックスにし高融点 PLA の繊維による複合材料で、繊維は PLA とバイオ LCP (液晶ポリマー) を結合してナノフィブリル化され高い剛性を持つ。また耐熱性の向上や光触媒により自己洗浄性(self-cleaning properties)、自己修復性などの機能付与の研究も進められている。



①SRPC の内部構造

②SRPC の開発ステップ



① ナイロン製シートバック



⑦SRPC 製シートバック



⑧SRPC 製シートバック

写真⑧は自動車の全席シートバックで、PA6+GF 組成のオルガノシートと UD テープに LFT 射出を組み合わせたもの。これをベンチマークに氏て PLA/LCP 繊維織物に低融点

(第5章 加工・工法・開発)

| | | |
|------|--|------|
| 出展者 | セティム (Cetim) PEI (Pinette Emidecau Industries) | フランス |
| 展示内容 | 自動プリフォーム装置、成形加工プロセス | |

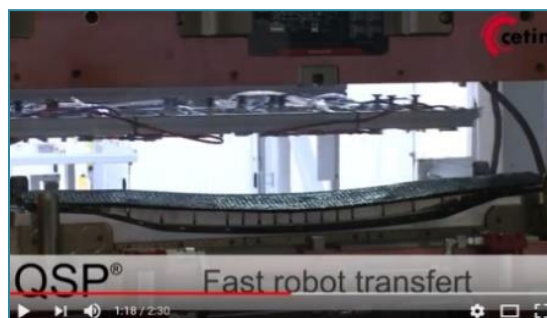


① QSP Compact Direct Layup 1300 (写真 アルテック)

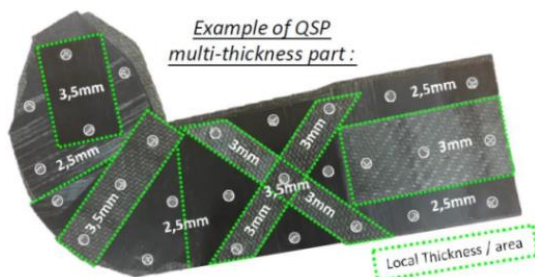
写真①は PEI が販売するプリフォーム装置で、幅 30~300mm、厚み 0.1~0.4mm の UD テープやオルガノシートなどの熱可塑性材料を配列角度 $\pm 45^\circ$ 精度 $\pm 0.15\text{mm}$ で最大 1300mm \times 1000mm の大きさまで任意の繊維配列、積層数に自動で積層できる。素材や条件によるが、平均で毎分 5 kg 程度の素材の積層能力がある。



③ 最適積層設計ソフト QSD® (PEI)



④ プリフォーム生産システム QSP® (PEI)



⑤ QSD®で設計したプリフォーム



⑥ プレス成型後部品 (写真 PEI)

複合材料は成形品中の繊維配列により強度が異なる。QSD は最終製品に必要な強度が得られる繊維配向と材料ロスが低減できる最適なプリフォーム設計を行うソフトで、写真⑤

(第5章 加工・工法・開発)

| | | |
|------|--------------------------|------|
| 出展者 | ザームウッド (Thermwood Corp.) | アメリカ |
| 展示内容 | LASM (大型 3D プリンター) | |

ザームウッドは 1970 年に木材の裁断製材事業で創業した米国の会社で、大型木材の精密切断の技術を 5 軸の CNC 装置、3D プリンターへと展開するのはイタリアの CMS と似ている。

同社の LSAM ®(Large Scale Additive Manufacturing)は、一台で 3D 印刷とトリミングを行う大型成形品用プリンター (写真①) で、航空機、自動車、船舶などの CFRP 大型部品の成形用治具や木型の作成に使われる。



①大型付加積層造形機 LASAM



②工場内に施工中の LASAM

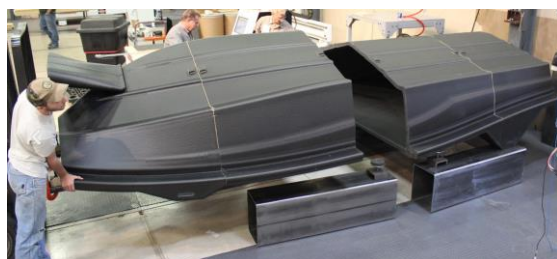
下は、JEC2019 に出展されたヘリコプターのブレード用 CFRP 金型で、従来の 3D プリントのイメージを打ち破る迫力ある事例である。



① ヘリコプターブレード用金型



④ ③の生産の様子 (ザームウッド)



⑤ボート用金型と、CFRP 成形の様子 (写真ザームウッド)。



LSAM 動画 http://www.thermwood.com/lmam_home.htm#whatislsm/

(第6章 欧州の複合材料市場での開発体制)

欧州の航空機開発プロジェクト本書の第一章で記述したように欧州の航空機開発におけるプロジェクトは複数ある。プロジェクトによっては親子関係だけでなく横の連携もするので複雑であるが、その一端を紹介する。

下の図は欧州での航空機構造体開発のロードマップである。



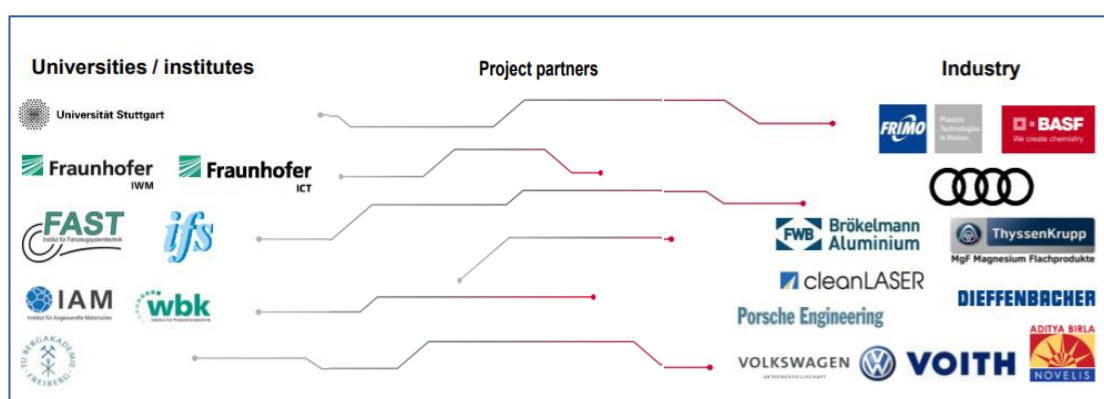
欧州の航空機構造体開発ロードマップ (出典 Composites World)。

(第6章 欧州の複合材料市場での開発体制)

スマイル (SMiLE)

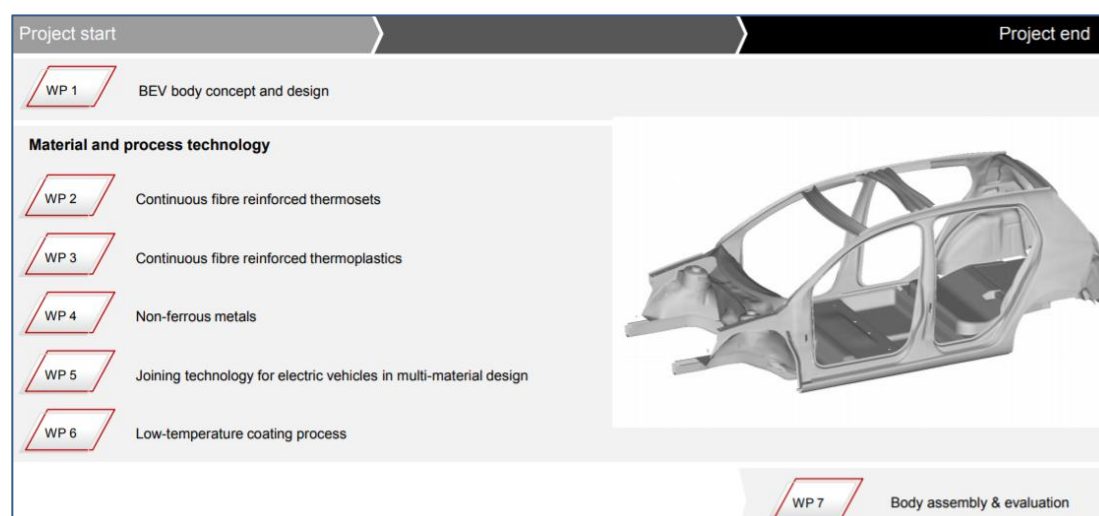


スマイルは System - integrated Multi-material Lightweight design for E-mobility の略で、BMBF(ドイツ連邦教育省)の支援により 2014 年から 2017 年に 33.3 百万ユーロを投じて行われた電気自動車社会実現のためのマルチマテリアル開発プロジェクトである。アウディが全プロジェクト運営の中心となり、ディフェンバッハー (Dieffenbacher、成形システム)、BASF (樹脂材料)、フォイト (Voith 成形)、フラウンホーファー (Fraunhofer 技術開発) など約 20 社が参加し、電気自動車のホワイトボデー構造の重量とコストを削減するために材料から工法、量産プロセスまでの総合的な開発をした。



SMiLE に参加した団体 (出典 AUDI FORUM Neckarsulm 2018)

この開発の成果の一部は JEC2018 でアウディ、フラウンホーファーにより展示されたが、それ以外の情報発信は無いようだ。またプロジェクトのウェブサイトも運営されなかったようで、これを受けて後に続くフォローアッププログラムの有無もまだつかめていない。



SMiLE の開発検討項目 (出典 AUDI FORUM Neckarsulm 2018)

本書のお申込みについて

特派員報告！JEC World(2019年)の視察と教訓
－ 世界最大の複合材料展から先端技術情報をお伝えします －

コンサル会員販売価格：200,000 円／非会員販売価格：250,000 円(消費税・送料込)

ご購入は下記の書式に記入し FAX でお送りいただくか、書式の内容情報をメールにてお送りください。

貴社名

部署名

お名前

TEL

FAX

ご住所 〒

Email

お申込日 年 月 日

お申込先 (有)カワサキテクノリサーチ

〒541-0041 大阪市中央区淡路町 4 丁目 3 番 8 号 TAIRIN ビル 6 階

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