

2024年2月16日

PAN系炭素繊維の現状と将来

帝人株式会社
炭素繊維事業本部長補佐(研究開発担当) / グループCTO
桑原 広明

1

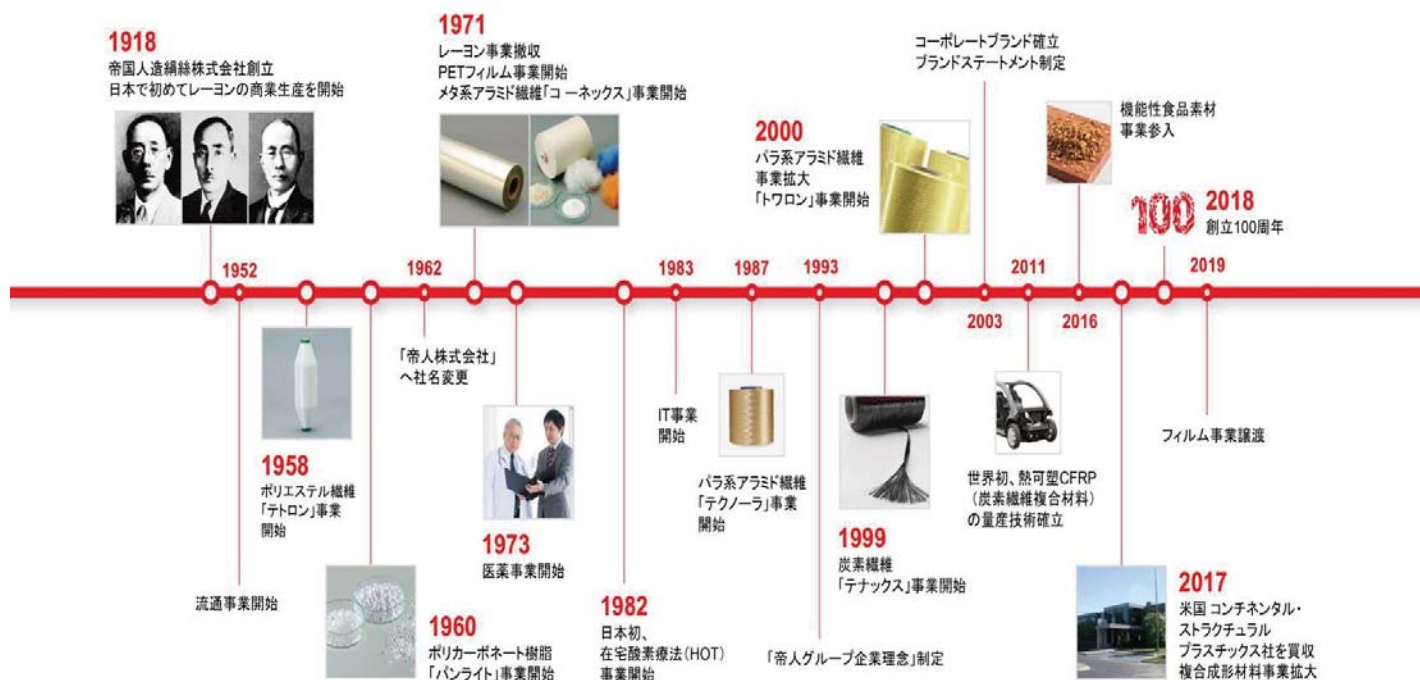
帝人グループ - Our Philosophy

Human Chemistry, Human Solutions **TEIJIN**

Quality of Life

The Teijin Group's philosophy is to enhance the quality of life through a deep insight into human nature and needs, together with the application of our creative abilities.





3

帝人グループ サステナビリティへの取り組み

持続可能な社会の実現に向け、事業活動に伴う環境負荷を最小化するため、温室効果ガス、水、有害物質、埋立廃棄物などのKPIを定め、取り組みを強化しています。

主要アクション

環境負荷低減の長期目標（2018年度比）

気候変動 (自社グループCO ₂ 排出量)	2030年度	30%削減(総量目標)
	2050年度	実質ゼロ実現
水	2030年度	30%改善(淡水取水量売上高原単位)
気候変動 (サプライチェーンCO ₂ 排出量)	2030年度	15%削減(総量目標)
	2030年度までに	総排出量<削減貢献量を達成
有害物質	2030年度	20%改善(有害化学物質排出量売上高原単位)
資源循環	2030年度	20%改善(埋立廃棄物量売上高原単位)

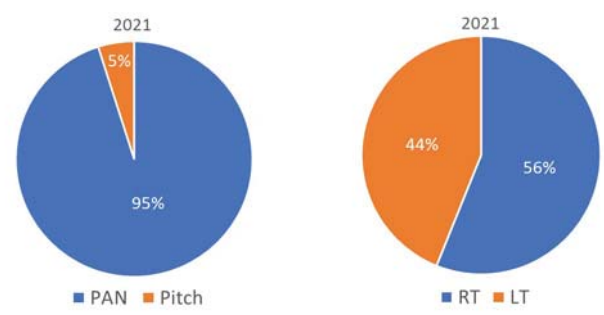
1. PAN系炭素繊維について
2. 需要動向、各社の生産能力
3. 用途別動向
4. サステナビリティ
5. まとめ

1. PAN系炭素繊維について
2. 需要動向、各社の生産能力
3. 用途別動向
4. サステナビリティ
5. まとめ

1. PAN系炭素繊維について

(1) PAN系炭素繊維とは

- ✓ 「有機繊維を焼成して得られる炭素含有率が90%以上の繊維」（ISO定義）
- ✓ 炭素繊維は大きく分けてPAN系とピッチ系の二種類
 - ・PAN系炭素繊維の原料は、ポリアクリロニトリル（PAN）繊維
 - ・ピッチ系炭素繊維の原料は、コールタールピッチや石油ピッチ
- ✓ 炭素繊維1本は、直径5～15μmと非常に細く、数千～数万本の束状で構成
- ✓ 単繊維の本数により、高い力学特性と品位が要求される用途に適した2つのタイプに分類
 - レギュラートウタイプ（一般に24,000本まで）
 - ラージトウタイプ（一般に40,000本以上）



出典 MarketsandMarkets Carbon Fiber Markets Global Forecast To 2032 (2022)
 富士経済 炭素繊維複合材料 関連技術・用途市場の展望 2022 (2022)

1. PAN系炭素繊維について

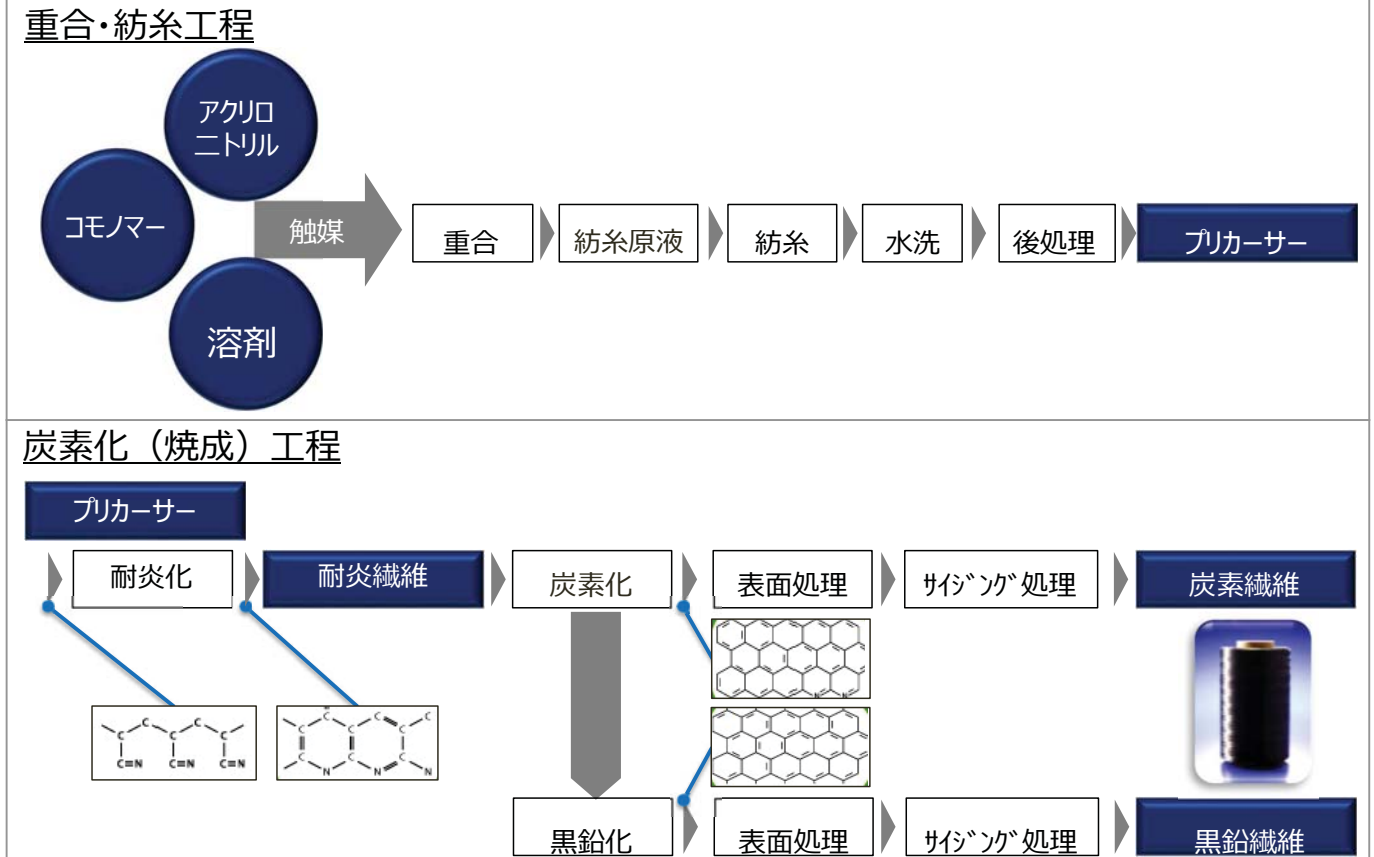
(2) 特長 - 軽くて、強い

- ✓ 炭素繊維は「軽く」「強い」特長と、数多くの優れた特性を組み合わせ、様々な用途に適用
 - ・軽い・・・比重は鉄の約1/4（炭素繊維:1.8、鉄:7.8、アルミ:2.7、ガラス繊維:2.5）
 - ・強い・・・比強度（引張強度を比重で割った値）は鉄の約10倍
 - ・・・比弾性（引張弾性率を比重で割った値）は鉄の約7倍
 - ・その他の優れた特性
 - 耐疲労性、耐薬品性、高振動減衰性、低熱膨張率、
 - 耐食性、導電性、摩擦特性、X線透過性、など

<div>「軽く」「強い」</div> <div>軽量化効果</div>	×	耐疲労性	高振動減衰	耐食性	摩擦特性
		耐薬品性	低熱膨張率	導電性	X線透過性

1. PAN系炭素繊維について

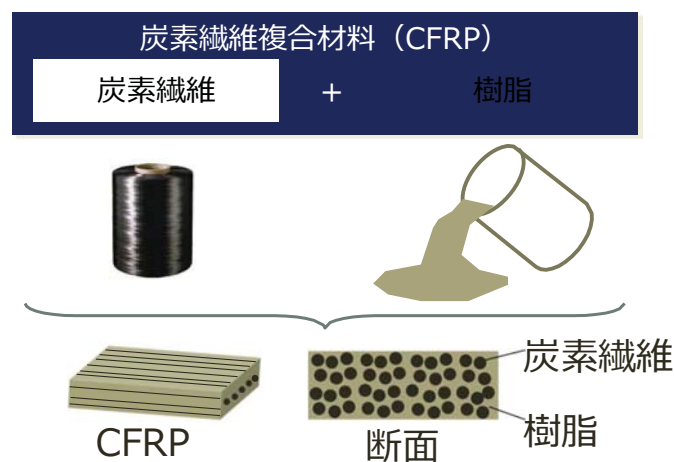
(3) 製造方法



1. PAN系炭素繊維について

(4) 炭素繊維複合材料

- ✓ PAN系炭素繊維はマトリックス樹脂と組み合わせた複合材料である強化プラスチック (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)として使われ、その特性を発現



- ✓ マトリックス樹脂はCFRPの強靱性、耐候性、耐食性、難燃性、など多くの重要な特性を決定

(4) 炭素繊維複合材料

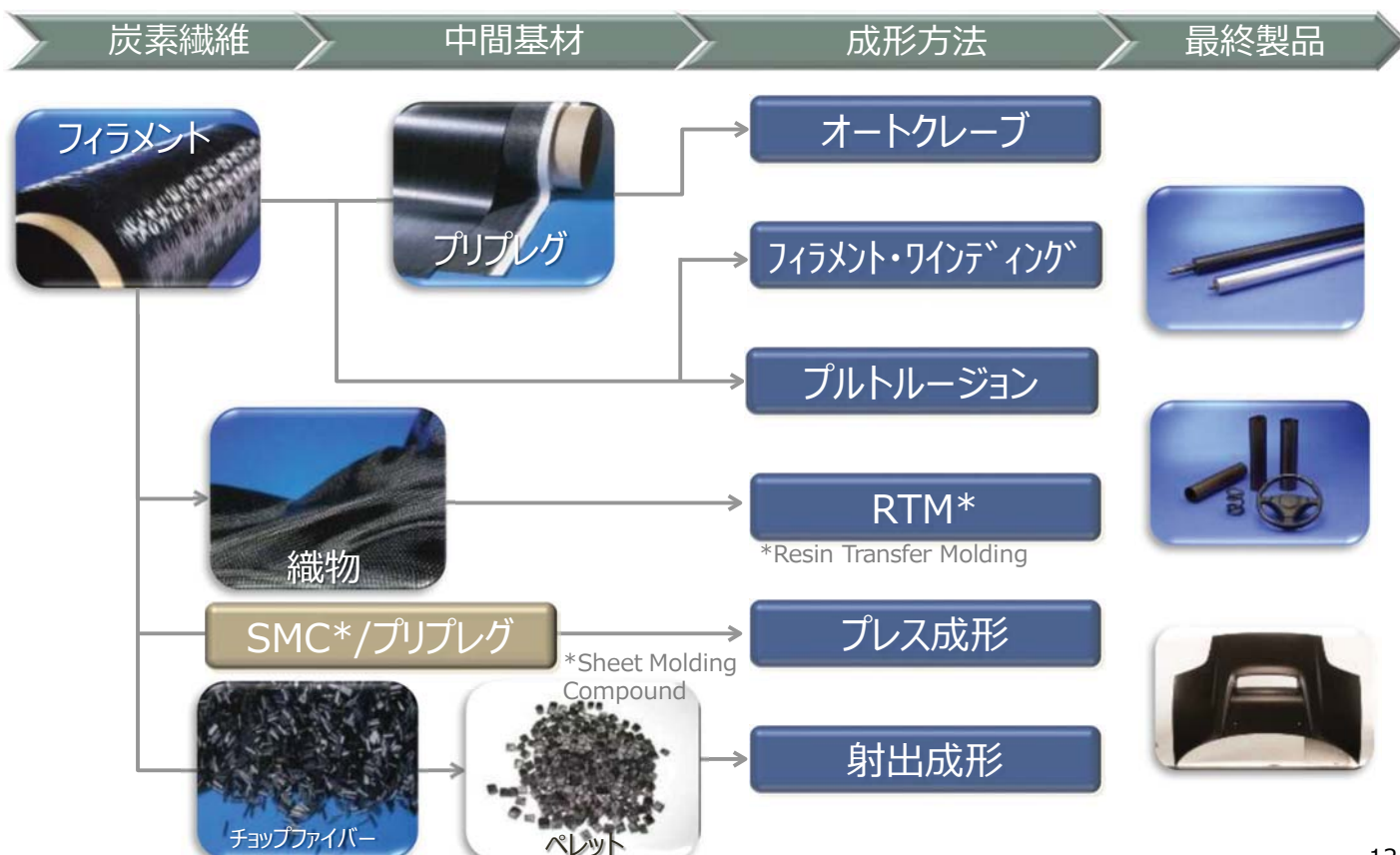
- ✓ 組み合わせる樹脂は大きく分けて熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂の2種類
- ✓ 熱可塑性樹脂を用いた場合、熱硬化性樹脂と区別する意味でCFRTP（Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastics）と呼ぶことがある
- ✓ 現在はエポキシ樹脂を代表とする熱硬化性樹脂が主流
- ✓ 熱可塑性樹脂は、熱硬化性樹脂と比べて成形時間が大幅に短縮でき、リサイクルも容易なため、今後の利用拡大が見込まれる

	樹脂種類・特徴	成形時間
熱硬化性樹脂 複合材料	熱硬化性樹脂（加熱により硬化）	数分～数時間
熱可塑性樹脂 複合材料	熱可塑性樹脂（加熱すると軟化）	約1分

11

1. PAN系炭素繊維について

(5) 最終製品になるまで – 中間基材と成形方法



12

1. PAN系炭素繊維について

(5) 最終製品になるまで - 成形方法の特徴と用途例

目的に応じて最適な方法を選定

成形方法	基材	生産性	物性	特徴	代表用途例
オートクレーブ	プリプレグ	△	◎	少量生産 高い物性 大型部材	 航空機部材
フィラメント・ワインディング	フィラメント	○	○	円筒形状 中量生産 高い物性	 圧力容器
プルトルージョン	フィラメント	○	○	単一断面 長尺部材 高い物性	 風力発電ブレード 桁材
RTM	織物	○	○	複雑形状 中量生産 高い物性	 自動車部材
プレス成形	プリプレグ	△	○	板・箱状 中量生産	 X線診断装置用天板
	SMCシート	◎	△	複雑形状 大量生産	 自動車部材
射出成形	ペレット	◎	△	複雑形状 大量生産 小型部材	 パソコン筐体

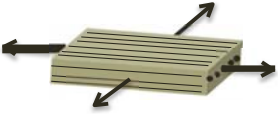
13

1. PAN系炭素繊維について

(5) 最終製品になるまで - 異方性と層構造のコントロール

✓ 炭素繊維複合材料は異方性・層構造を持ち、金属材料は等方性・均質構造

異方性 : 繊維方向と繊維と直角方向で物性が全く異なる



層構造 : 製品の要求特性により構造を変えることができる
(金属材料の物性は金属の種類のみで決まる)

✓ 異方性・層構造を有する炭素繊維複合材料は無駄のない最適設計が可能



14

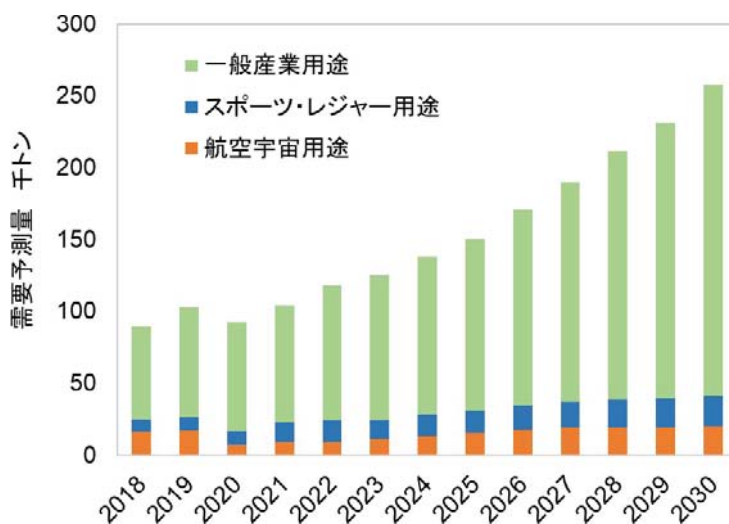
1. PAN系炭素繊維について
2. 需要動向、各社の生産能力
3. 用途別動向
4. サステナビリティ
5. まとめ

15

2. 需要動向、各社の生産能力

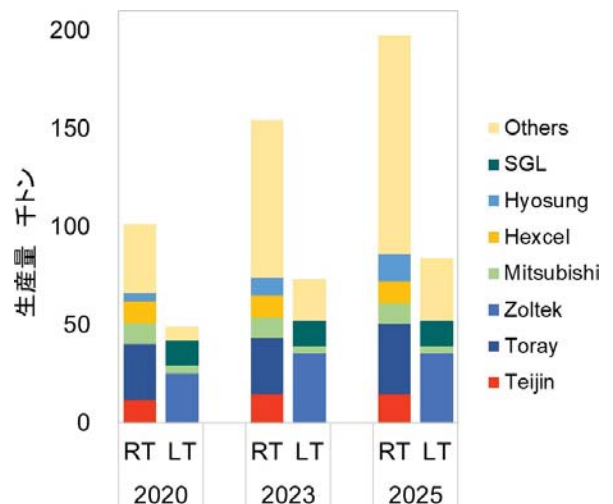
- ✓ COVID-19の影響で需要後退した航空機向けも回復傾向。
- ✓ 環境問題への対応で、風力発電、圧力容器向け需要の増加などが成長を牽引。
- ✓ レギュラートウ(RT)、ラージトウ(LT)共に生産能力の拡大が続く見込み。中国メーカーは一般産業用途向けを中心に、積極的に投資を行っている。

PAN系炭素繊維の需要動向



[当社推定]

各社の生産能力



[当社推定]

16

1. PAN系炭素繊維について
2. 需要動向、各社の生産能力
3. 用途別動向
4. サステナビリティ
5. まとめ

17

3. 用途別動向

代表的用途

航空機



©Airbus

エアバスA350



©Boeing

ボーイングB787



©Airbus

エアバスA320

自動車



GMC Sierra Denali



LEXUS LFA

エネルギー・産業用途



風力発電



圧力容器



射出成形部品



カメラ筐体

スポーツ・レジャー



テニスラケット



[出典Inter Max Co.,Ltd. HP]

自転車フレーム



[出典 YONEX HP]

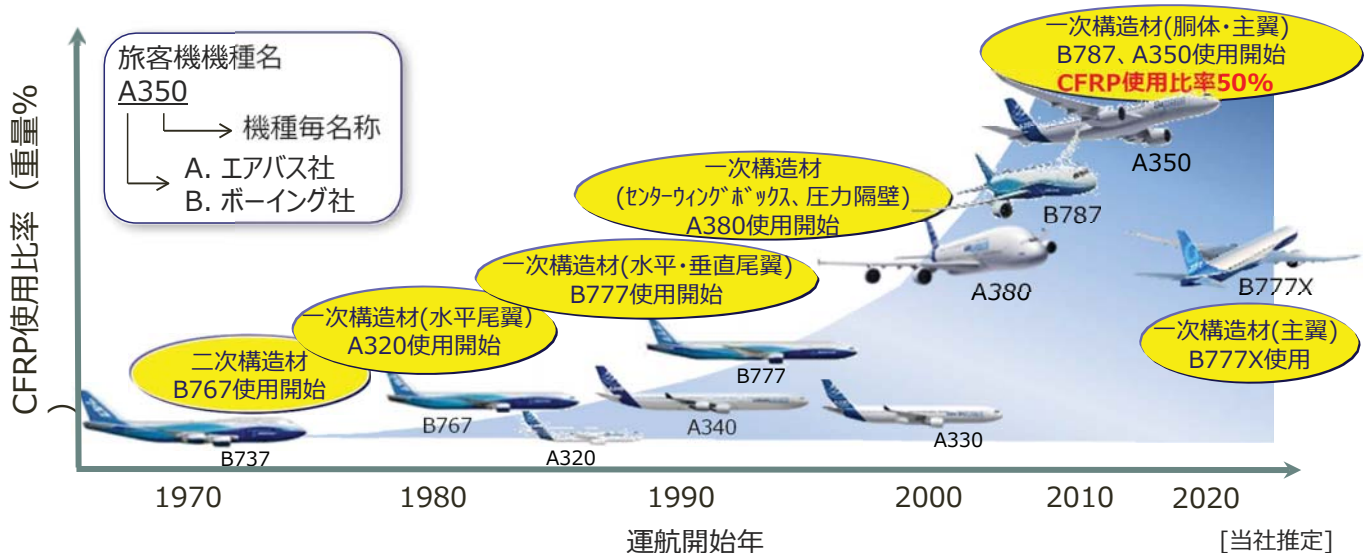
ゴルフクラブ/シャフト

18

3. 用途別動向

(1) 航空機用途 – 機種別のCFRP使用比率

- ✓ 1981年に二次構造材としてB767に初採用、1985年に一次構造材としてA320の水平尾翼に初採用されて以来、機種別のCFRP使用比率は増加を続ける
- ✓ 特に、A380以降大幅に増加し、B787やA350 では機体構造重量の約50%に達した



19

3. 用途別動向

(1) 航空機用途 – アフターコロナ 航空機業界のビジョン

1. LCA(Life Cycle Assessment)に対する戦略強化
次世代機には電動推進の他、水素搭載も見込まれる



出典) Airbus ホームページ



出典) youtube **Grazia Vittadini** CTO at Airbus LIVE

2. eVTOLをはじめとするUrban New Mobilityの実用化は加速傾向

- Joby Aviationが米連邦航空局の飛行テスト認可を量産試作機として初取得
- 日本航空 (JAL) とWisk Aeroは、Wisk社の自律走行型オール電化エアタクシーサービスを日本に導入するために提携

出典) Cars Watch Impress HP



米連邦航空局の飛行テストの認可を量産試作機として初めて取得したJoby

出典) www.drone.co.jp

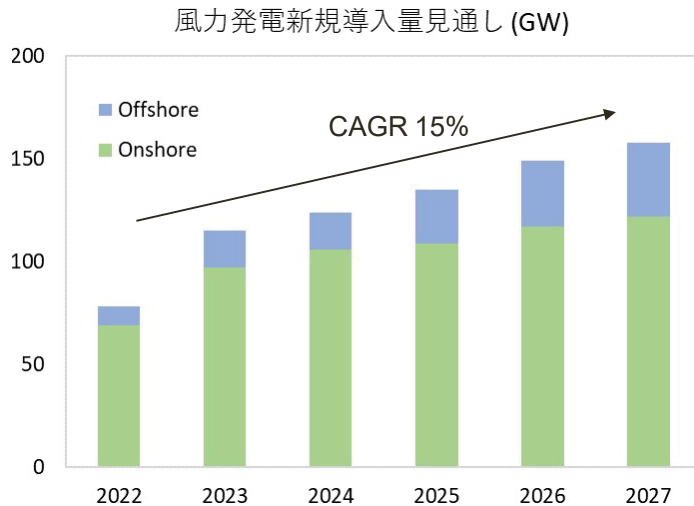


JALとWiskとは、Wiskの自律走行型エアタクシーの保守・運用計画を策定するために緊密に連携していく

3. 用途別動向

(2) 風力発電 - 導入量の推移

- ✓ 世界的な再生可能エネルギーへのシフトは原子力政策の見直しや温暖化ガス排出削減といった社会のニーズを満たすため、全世界の風力発電導入量は増加傾向
- ✓ 今後も陸上、洋上とも成長が続くと予測される



Offshore (洋上)



Onshore (陸上)



出典：GWEC(Global Wind Energy Council) Global Wind Report 2023より当社作成

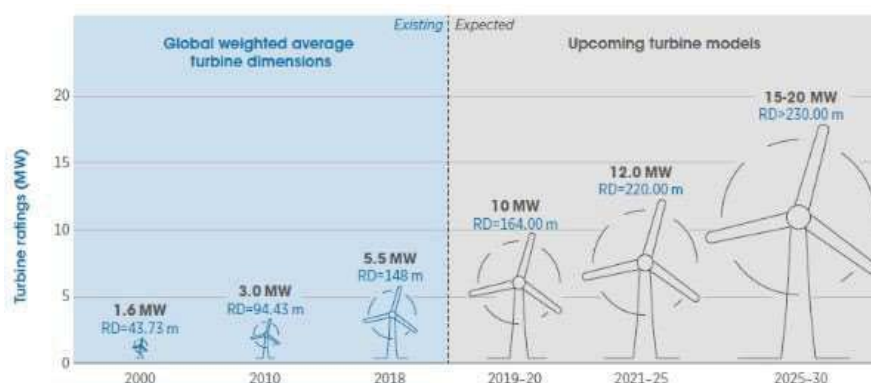
21

3. 用途別動向

(2) 風力発電 - 大型化とCFRP

- ✓ 大発電量が可能、かつ、設置上の制約も少ない洋上風力発電が大きく成長、
- ✓ 発電量の増加に伴い、風車の大型化が進んでいる
- ✓ 発電量を2倍にする場合、風車の直径は1.4倍に対して重量は2.8倍となる
- ✓ 各部材の軽量化が無ければ、大型化は逆にマイナスとなる可能性を有し、軽量化の手段として、CFRPが適用されている

洋上風力発電直径（平均）の推移



ブレードの内部に
CFRPを採用







[出典：IRENA (International Renewable Energy Agency) 資料]

3. 用途別動向

(3) 圧力容器 - 圧力容器の種類

- ✓ 圧力容器は、ライナー・補強材の種類、補強部位によって、4種類に分類される
- ✓ 炭素繊維を大量に使用するのは、Type-3とType-4

種類	ライナー	主補強材	形状	主用途
Type-1	スチール	なし	 金属容器のみ	工業ガス、 天然ガス自動車
Type-2	スチール (アルミ)	側面補強 ガラス繊維	 強化繊維を周方向に巻きつける	工業ガス、 天然ガス自動車、 水素ステーション
Type-3	アルミ	全面補強 炭素繊維	 強化繊維を周方向と軸方向に巻きつける	工業ガス、 天然ガス自動車、SCBA*、 水素ステーション
Type-4	プラスチック	全面補強 炭素繊維	 強化繊維を周方向と軸方向に巻きつける	工業ガス、 天然ガス自動車、 燃料電池自動車 水素ステーション

*SCBA(Self-Contained Breathing Apparatus)

[NEDO資料などを基に当社作成]

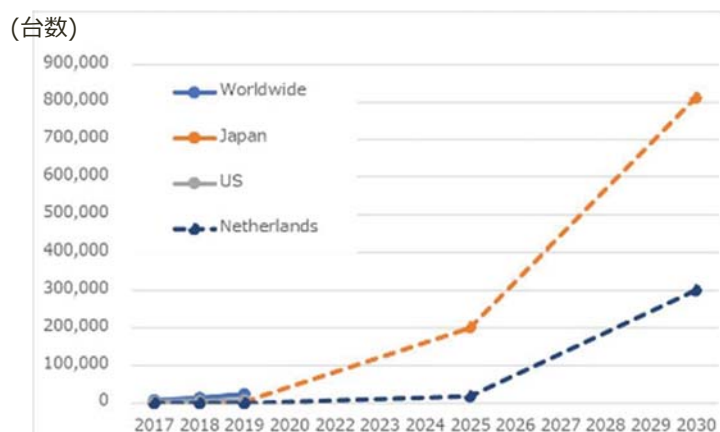
23

3. 用途別動向

(3) 圧力容器 - 需要動向

- ✓ 米国で天然ガス関連市場の活発化にともない、パイプライン敷設が経済的に適さない小規模ガス田から、天然ガス自体を運搬するための大型コンポジットタンクの需要が増加
- ✓ 天然ガス車の普及にともない、低燃費化のためType-3/Type-4の使用比率が高まる予想
- ✓ 燃料電池自動車向けの車載用圧縮水素タンク、水素ステーション向けの蓄圧大型タンク分野でも今後、炭素繊維の需要拡大が期待

世界各国の燃料電池車導入目標



[出典：IEA (International Energy Agency) データ作成]



[出典：トヨタ株式会社]

24

3. 用途別動向

(4) 自動車用途 - 各国のCO₂排出・燃費規制

- ✓ 地球温暖化の進行を食い止めるため、世界で自動車のCO₂排出量に対する規制の強化が進んでおり、各自動車メーカーは対応が迫られている。
- ✓ CO₂削減に向けて、Well to Wheel（エネルギーの取り出しから使用まで）を考慮することや、製造・使用・廃棄に至る全プロセスで排出されるCO₂を考慮したLCAが求められるようになっている。

国・地域	基準年	2030年目標
日本	2013	-46% (さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく)
中国	2005	-65%以上 (GDP当たりCO ₂ 排出量)
フランス・ドイツ・イタリア・EU	1990	-55%以上
インド	2005	-45% (GDP当たり排出量)
韓国	2018	-40%
ロシア	1990	-30%
英国	1990	-68%以上
米国	2005	-50 ~ -52%

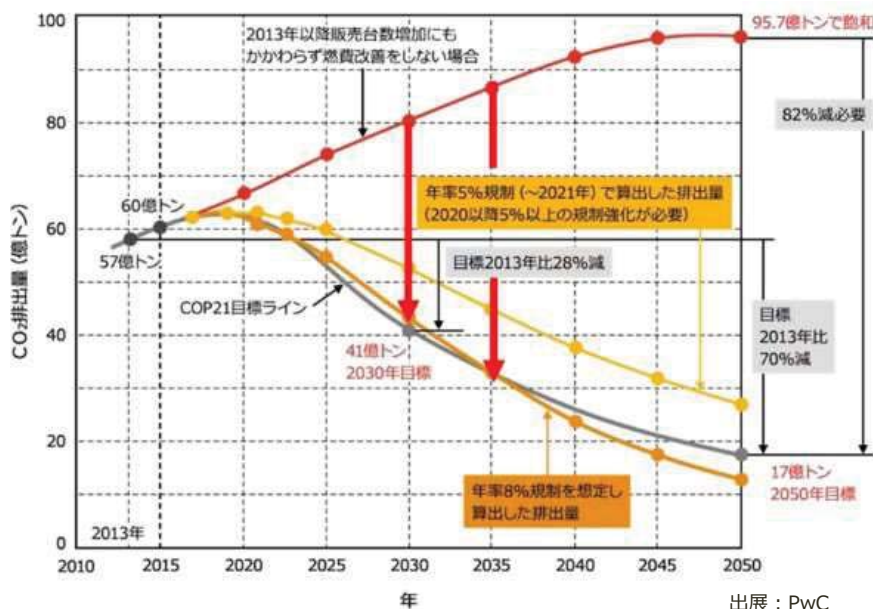
外務省の資料を基に当社作成

25

3. 用途別動向

(4) 自動車用途 - 軽量化によるCO₂排出削減と低燃費化の効果

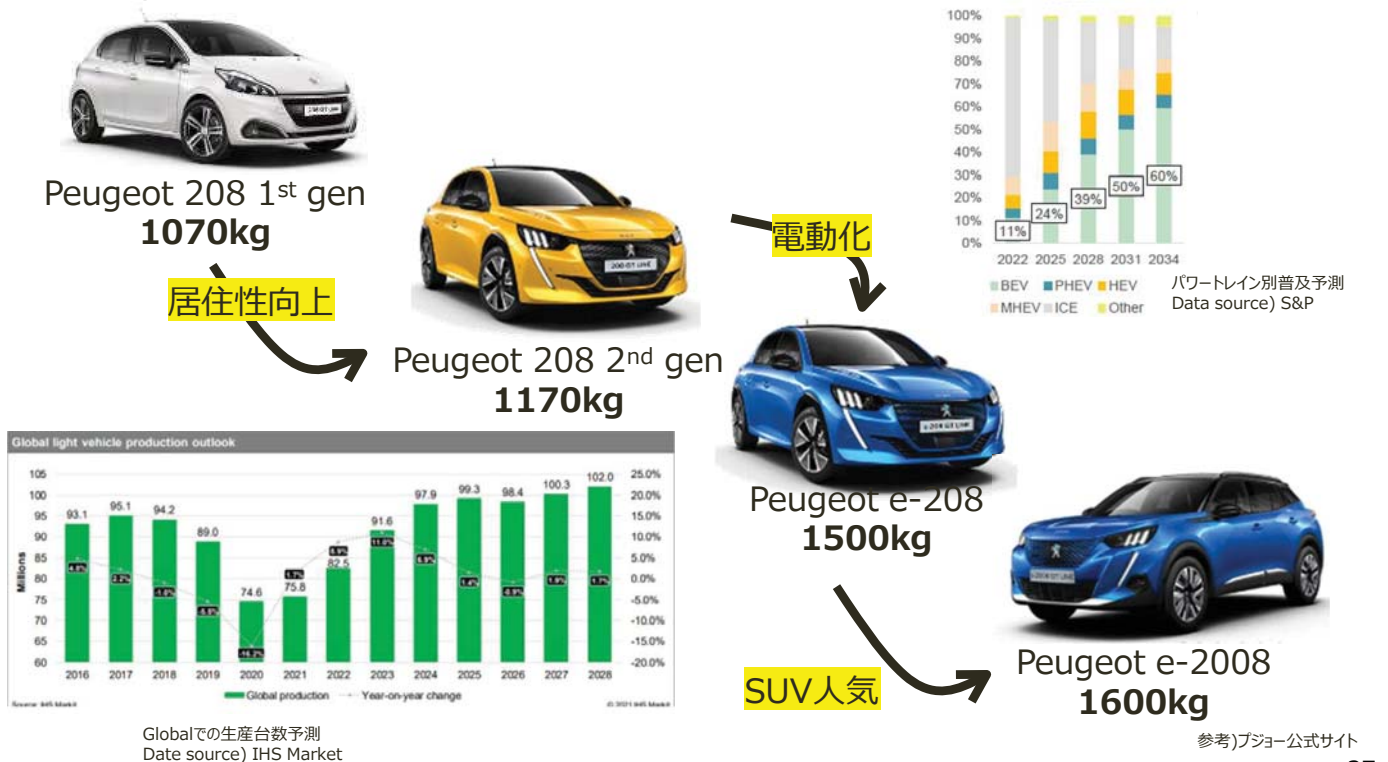
- ✓ 車両の軽量化はCO₂排出量削減と低燃費化へ大きく貢献
- ✓ 軽量化はICE, HEV, PHEV, BEV, FCV等、あらゆる車両に共通する課題
電動車 = 電費向上と電池削減に直結
- ✓ 衝突試験強化・快適装備や、電動化・自動運転等に伴い車両重量はこのままでは大きく増加してしまう



3. 用途別動向

(4) 自動車用途 - トレンド

- ✓ 顧客の需要や環境規制に対応するため、自動車は進化を続けている一方で、自動車重量は増加傾向にある。

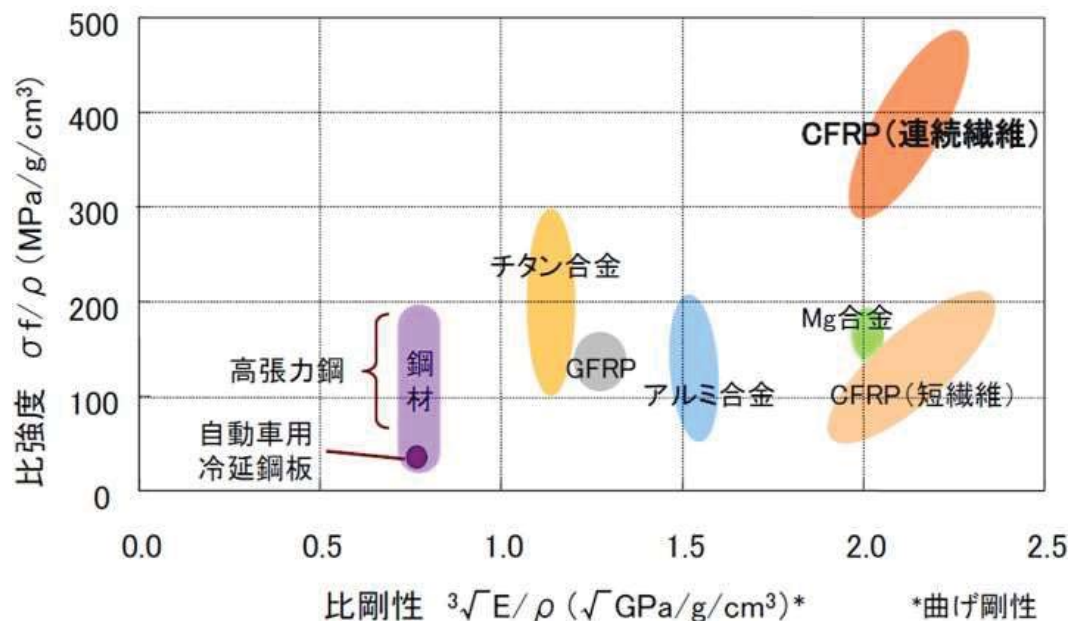


27

3. 用途別動向

(4) 自動車用途 - 自動車材料の比強度と比剛性

- ✓ 自動車に適用可能な材料は、各々物性・成形方法・コストが大きく異なる
- ✓ 自動車は今後、鉄・アルミ・複合材を適材適所で用いたマルチマテリアル車体の方向に進むと予想

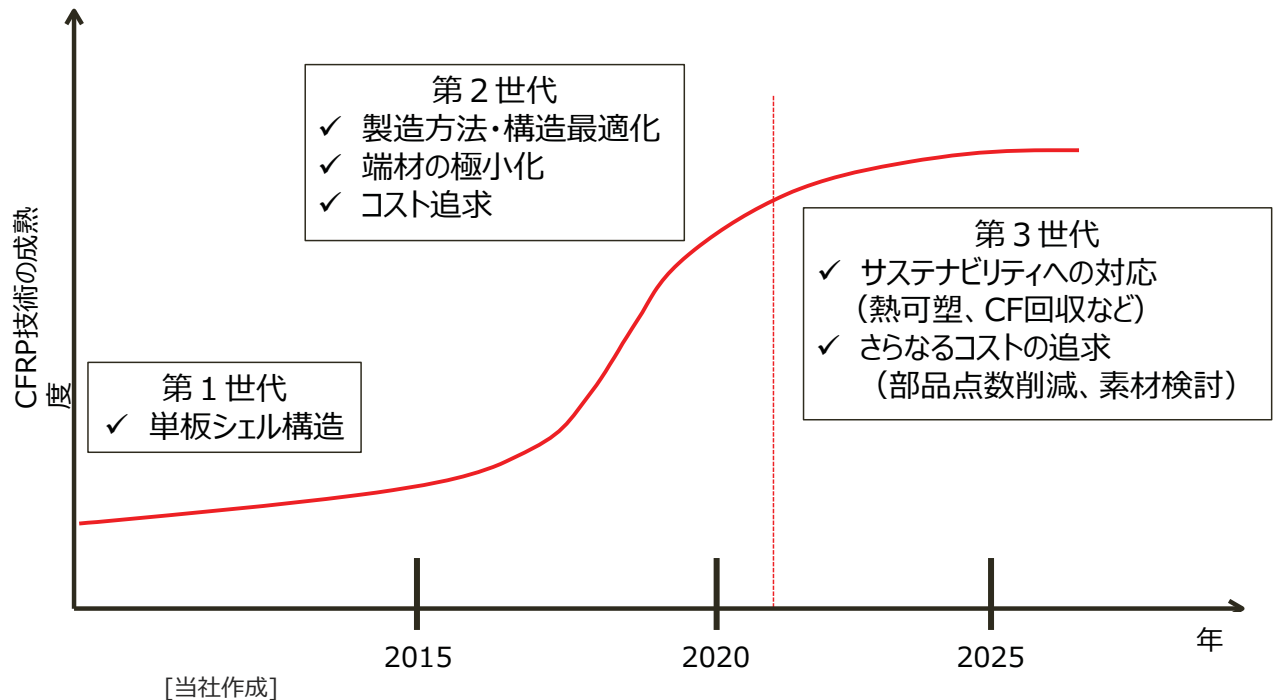


3. 用途別動向

(4) 自動車用途 - 現在～今後のCFRP開発

現在の開発 キーワード：

サステナビリティ（リサイクルなど）、軽量化の追求、最適設計（マルチマテリアルなど） など

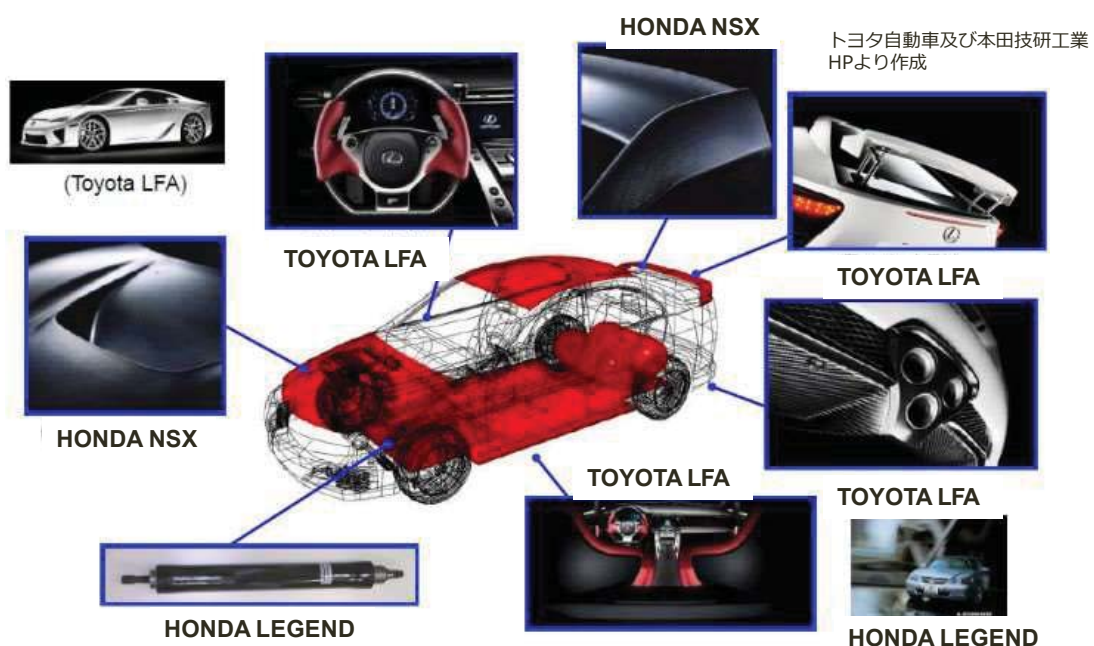


29

3. 用途別動向

(4) 自動車用途 - 複合材料ビジネス例

CFRP 連続繊維を用いた高性能部品



3. 用途別動向

帝人の複合成形材料事業

欧米中で自動車OEM向けTier-1として商品企画～量産までの自動車ビジネス展開
複合材料関連売上高 約1,640億円(2022年度)



帝人のソリューション提供領域



31

3. 用途別動向

帝人の複合成形材料事業

GF-SMC*技術による外観部品・準構造部品などを展開

優れた外観の軽量部品



GM Chevrolet Corvette
ドア、フェンダー等のボディパネル類



Jeep Wrangler
ルーフ・フリーダムパネル
(取り外し可能ルーフ)

大型で複雑形状の軽量部品



TOYOTA Tacoma
ピックアップトラック荷台



GM Chevrolet Bolt
(EV) バッテリーカバー

*GF-SMC: Glass Fiber-Sheet Molding Compound
ガラス繊維で強化された樹脂シートを部品に成形

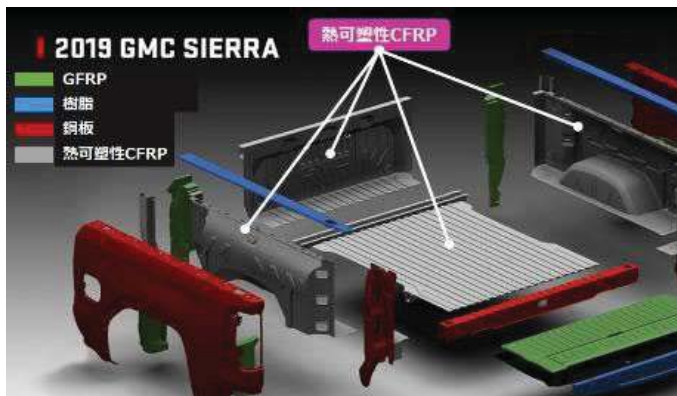
世界初、熱可塑性CFRP「Serebo®」が量産車に本格採用

GMC Sierra Denali (ピックアップトラック)

採用部位：荷台内側の大型パネルと床材軽量効果：従来金属比28kg(約25%)
成形時間：約1分

【「カーボン・プロ」の受賞実績】

時 期	アワード	主 催
2019 年 5 月	Supplier of the Year	米国・ゼネラルモーターズ
2019 年 10 月	CAMX Unsurpassed Innovation Award	米国：ACMA（複合成形材料業界団体） SAMPE（国際的な複合成形材料業界団体）
2019 年 11 月	SPE Innovation Award	米国・SPE（プラスチック技術者協会）
2020 年 4 月	PACE Award	米国・Automotive News（自動車専門媒体）



33

3. 用途別動向

帝人の複合成形材料事業

電動化への取り組み

環境・安全・コストにおいて大幅に効率向上 マルチマテリアルによる
バッテリーボックスの開発



- ・これまで帝人が培ってきたマルチマテリアル技術を駆使。
- ・複合材料（FRP）と金属材料を最適条件で組み合わせて設計し、顧客の求める特性に応じて、FRPには炭素繊維またはガラス繊維を使用することが可能。
- ・FRPのプレス成形により、トレイやカバーなどの複雑な形状を一体成形可能（シール性の確保、製造コストの最適化）コストや物性に応じて金属フレームを使用。
- ・アルミニウム製と同等の軽量化を実現。
- ・耐火性、寸法安定性、耐腐食性にも優れ、電磁波シールド性を付与することも可能。

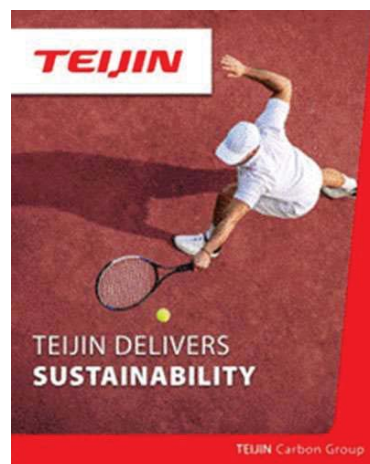
3. 用途別動向

(5) スポーツ・レジャー – 需要動向

- ✓ 高強度・高弾性による軽量化と高性能化、加工技術の向上によるデザイン性向上により、炭素繊維はスポーツ・レジャー用品に不可欠な材料として、今後も成長が期待される

『新しい生活様式』

- ✓ ゴルフ、釣り、テニス、サイクリング等の「アウトドアスポーツ」は、密を避けられるレジャーとして用具販売好調



35

3. 用途別動向

(6) その他の用途-1

用途	使用箇所（例）
自動二輪車	レース用カウル、マフラーカバー、フレーム
車両・コンテナ	鉄道車体、座席、台車
機械部品	ロボットアーム、板ばね、軸受、ギア、カム、ベアリングリテーナー
高速回転体	遠心分離器ローター、フライホイール、工業用ローラー、シャフト
電子電機部品	パラボラアンテナ、音響スピーカー、DVD/C D 装置部品、ICキャリアー



出典: ヨシムラジャパン HP



出典: 株式会社UCHIDA HP



出典: CompositesWorld HP



出典: 炭素繊維協会 HP

3. 用途別動向

(6) その他の用途-2

用途	使用箇所（例）
海底油田掘削	ライザー*、パイプ類 * ライザー：海底から海面上の設備まで流体が通れるパイプ
化学装置	攪拌翼、パイプ、タンク、グレーチング
医療機器	天板、カセット、X線グリッド、手術用部品、車椅子、人工骨
土木建築	ケーブル、コンクリート・木材補強材
O A・事務機	プリンターの軸受、カム、ハウジング
その他	樹脂型、洋傘、ヘルメット、面状発熱体、眼鏡フレーム、カメラ部品、ポンプ部品



参考) ドイツ シュトゥットガルト鉄道橋ケーブル



参考) LIVELY WOOD
帝人 東京研究センター（東京都日野市）

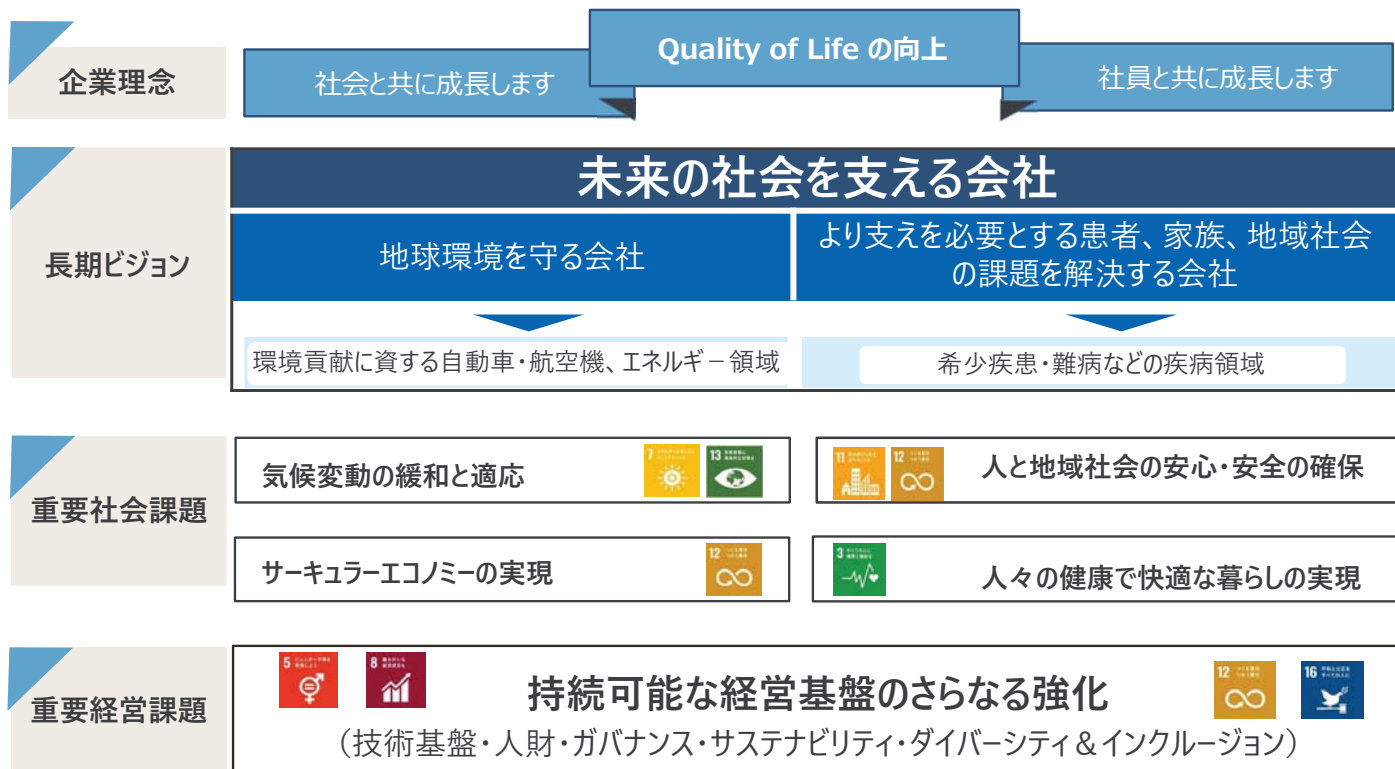


37

1. PAN系炭素繊維について
2. 需要動向、各社の生産能力
3. 用途別動向
4. サステナビリティ
5. まとめ

4. サステナビリティ

帝人グループの目指す姿

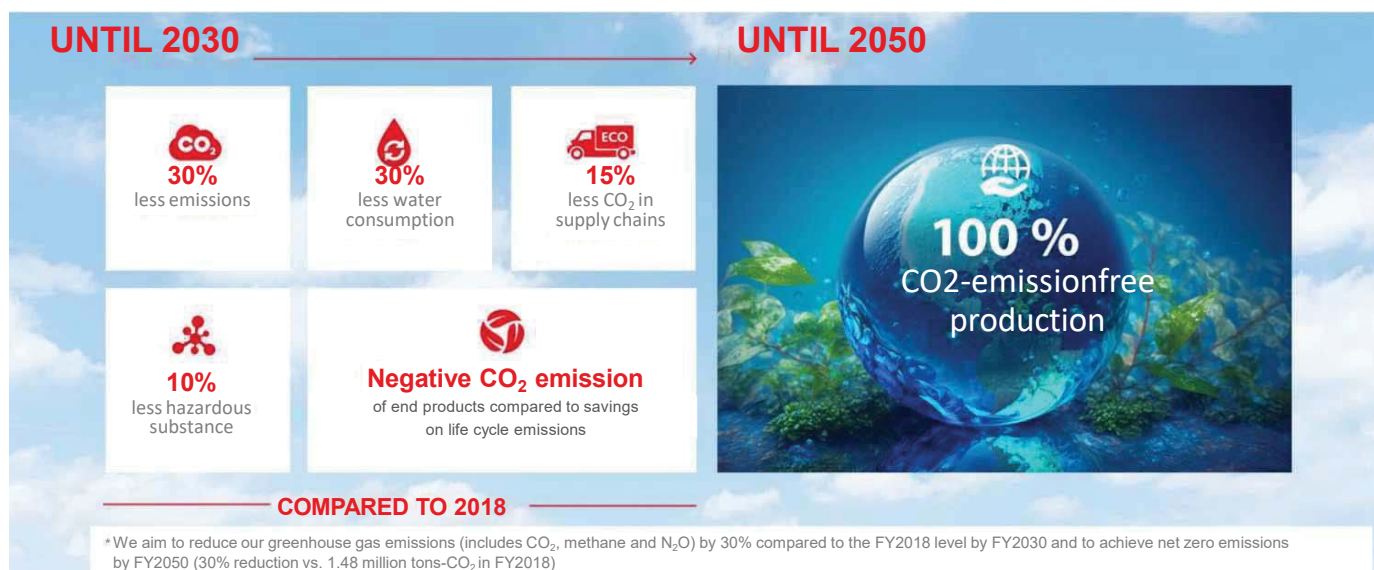


39

4. サステナビリティ

帝人グループ サステナビリティへの取り組み

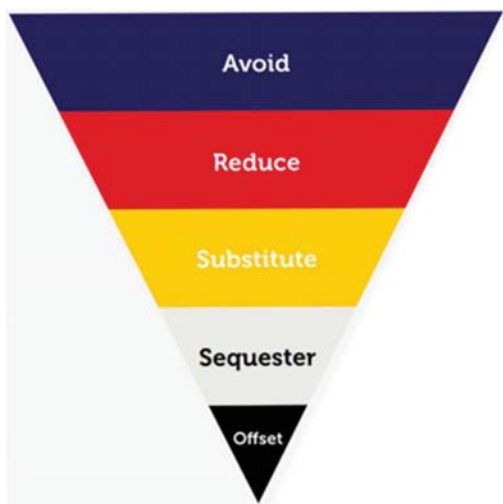
持続可能な社会の実現に向け、事業活動に伴う環境負荷を最小化するため、温室効果ガス、水、有害物質、埋立廃棄物などのKPIを定め、取り組みを強化しています。



CO2排出削減の基本フロー(ヒエラルキーアプローチ)

まずは自らのエネルギー消費量の削減やエネルギー転換による排出量削減を優先。

CO2 排出削減への階層的アプローチ



GHG排出の直接回避

- ビジネス変化、新しい製品/サービスへの移行

プロセスの最適化/変更

- 省エネ設備とエネルギー回収システムの導入

GHG排出量の少ないエネルギー源への移行

- 再生可能エネルギー/グリーン水素/アンモニアの利用

炭素排出の除去

- CCUS（カーボンキャプチャー/利用/貯留）

組織の範囲外での炭素排出の除去

- カーボンクレジット

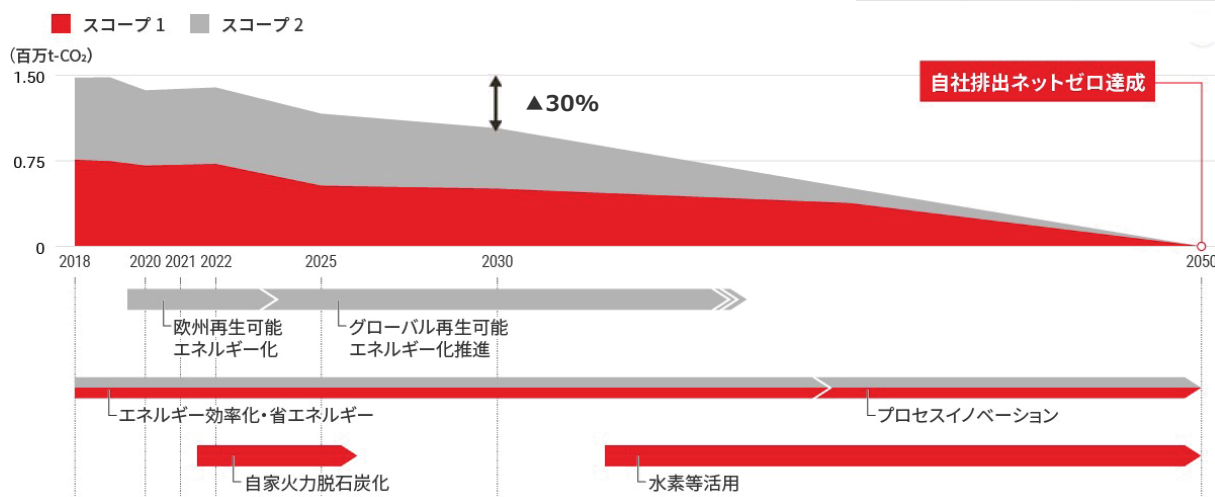
[rmit-carbon-management-plan.pdf](#)

41

帝人（株）CO2削減ロードマップ

帝人グループでのCO2自社排出量の削減ロードマップに沿って、炭素繊維事業本部でも、自家発電での脱石炭化、再生エネルギーの購入を実施。各拠点での省エネ活動を強化。

Scope 1		化石燃料使用 工程排出
Scope 2		受電、ユーティリティ購入



気候変動への取り組み | 地球環境 | サステナビリティ | 帝人株式会社 (teijin.co.jp)

炭素繊維事業本部 Carbon Footprint (CFP) 削減アプローチ

Approaches to lower carbon footprint

Action Step 1 Reduction of Energy Demand

- The **reduction of greenhouse gases** within carbon fiber production will be realized via minimizing the energy demand in heating and mainly in waste gas treatment.
- **Fuel conversion** (heavy oil to LNG) for in-house power generation **has been completed in Mishima, Japan in 2017**.
- **Heat recovery** and **renewable energies** are targeted to reduce the carbon footprint.

Action Step 2 Integration of sustainable raw materials and renewable energy

- This approach is followed by the **certification of ISCC PLUS**:
Implementation and daily handling of environmentally, socially and economically sustainable raw materials in global supply chains



Action Step 3 Up-/Recycling of Process Waste

- Teijin has been **Up-/Recycling process wastes of Carbon Fiber** into our Short Fiber and Milled Fiber.
- We are acting to expand the Up-/Recycling activities externally **together with our customers**.

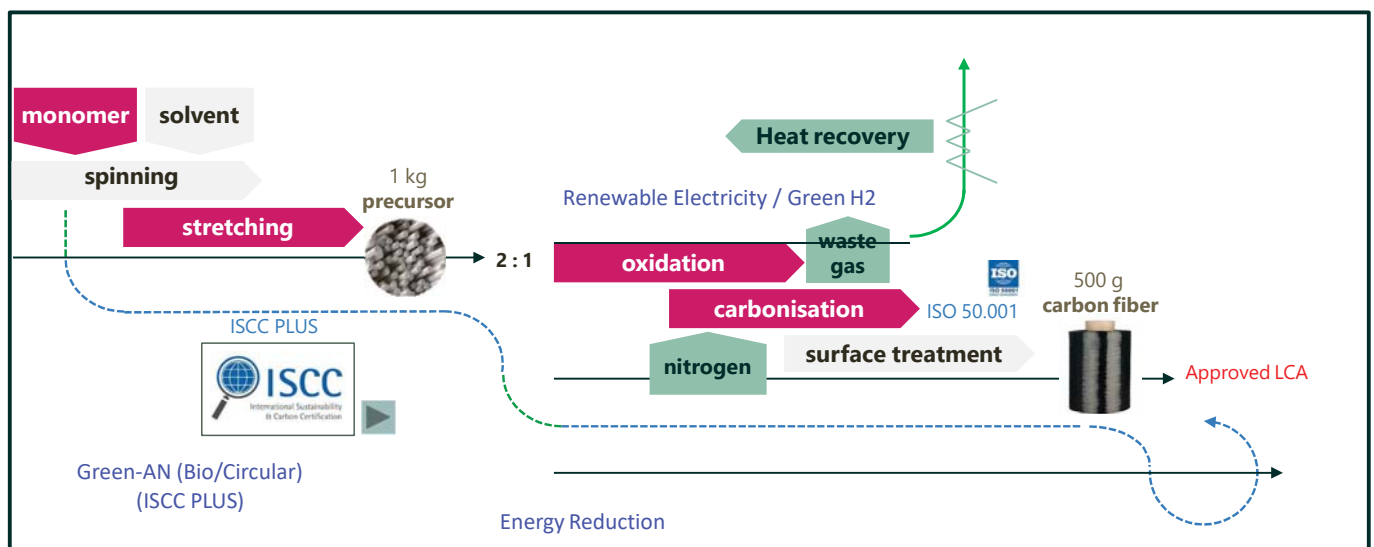


43

炭素繊維事業本部 Carbon Footprint (CFP) 削減アプローチ

Action Step 1 Reduction of Energy Demand

Action Step 2 Integration of sustainable raw materials and renewable energy

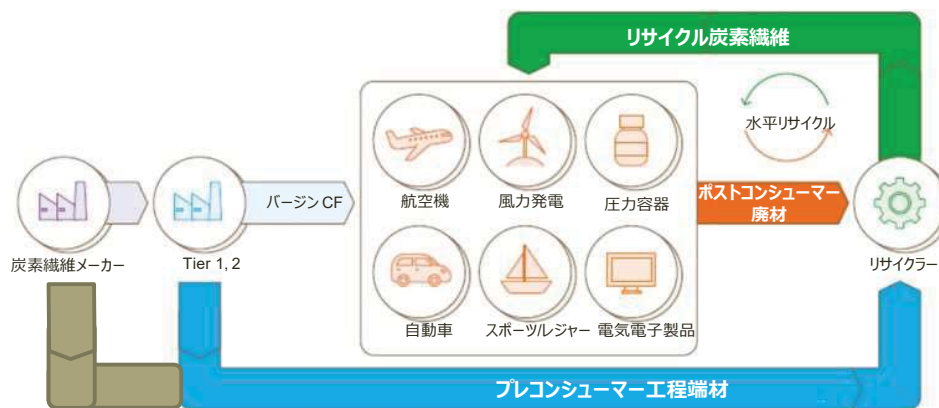


炭素繊維事業本部 Carbon Footprint (CFP) 削減アプローチ

Action Step 3 Up-/Recycling of Process Waste

炭素繊維リサイクルによるサーキュラーエコノミーの推進

- ・プレコンシューマー工程端材やポストコンシューマー廃材から、再生炭素繊維を取り出し、バージンCFの使用量を削減することでCO₂の排出量削減に貢献します。
- ・熱可塑性の商品に再生することで複数回の水平リサイクルを目指します。
- ・CO₂ 排出量 (kg- CO₂ /kg-CF): バージンCF 19.8 vs. リサイクルCF 2.6 (出典: 炭素繊維協会)



45

炭素繊維事業本部 Carbon Footprint (CFP) 削減アプローチ

熱可塑複合材のCLOSED LOOP CONCEPT (自社サプライチェーン内でのリサイクル)



炭素繊維事業本部 Carbon Footprint (CFP) 削減アプローチ

炭素繊維リサイクル（熱分解法）

- ・CFRP端材/廃材を処理炉に投入し、樹脂を熱分解することで再生炭素繊維を取り出します。
- ・コストや品質は原料の状態に大きく依存します。特にポストコンシューマー廃材は異素材との分離が必要であること、回収スキームの確立が課題です。



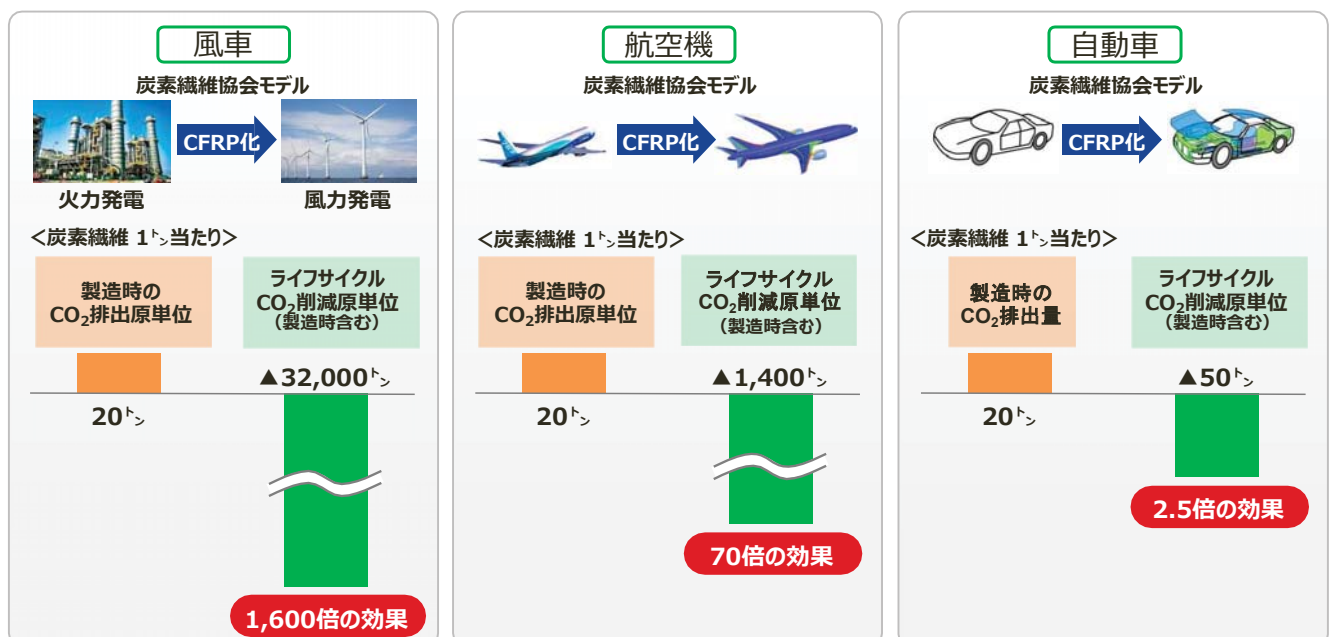
47

炭素繊維協会モデル：風車・航空機・自動車LCA

炭素繊維・複合材料は世界のCO2削減に大きく寄与

JCMA 炭素繊維協会
 日本化学繊維協会 炭素繊維協会委員会

The Japan Carbon Fiber Manufacturers Association

[炭素繊維のLCAモデル \(carbonfiber.gr.jp\)](http://carbonfiber.gr.jp)

1. PAN系炭素繊維について
2. 需要動向、各社の生産能力
3. 用途別動向
4. サステナビリティ
5. まとめ

49

5. まとめ

(1) 市場環境

✓市場拡大

環境意識の高まりを受け、風力発電や圧力容器（例 自動車用水素タンク）は引続き成長が期待される。

✓更なる性能の高度化とコストダウン

炭素繊維材料の特性を生かして、今後も更なる性能の高度化（高強度、高弾性、易加工性）と、コストダウンが必要。

(2) メーカー各社の対応

✓次世代用途、技術の開発

今後、需要が拡大が想定されるeVTOLをはじめとするUrban New Mobility向けに、技術開発や生産設備増強を行っている。

✓自動車用途でのビジネス拡大 軽

量化とコストのバランス

生産性向上やマルチマテリアル化による
素材の最適化

(3) サステナブル対応

✓地球環境に優しく、サステナブルな社会実現に向け

ライフサイクルアセスメント(LCA)の概念導入と運用

自社工程改善/革新技术開発による省エネ・省力化 推進 炭素
繊維リサイクルのサプライチェーンの確立、拡大



TEIJIN

Human Chemistry, Human Solutions