



＜第36回複合材料セミナー＞

PAN系炭素繊維の現状と将来

2023年2月17日

東レ株式会社 複合材料事業本部

トレカ事業部門長

溝淵 誠

1

内容

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セイフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セイフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

炭素繊維開発の歴史

1879 [トーマスエジソンが電球のフィラメント用に木綿や竹を焼いて炭素繊維を製造。](#)

1880 [白熱電球の発熱体に適用。](#)



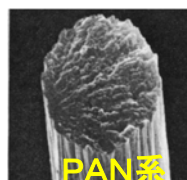
1961 [大阪工業試験所 進藤博士 PAN系炭素繊維の基本原則を発表。](#) 故 進藤 昭男 先生

1963 [群馬大学 大谷杉郎教授 ピッチ系炭素繊維の製造法を発表・特許化。](#)

1967 東レ PAN系炭素繊維の品質を飛躍的に向上させるアクリルポリマーを開発。

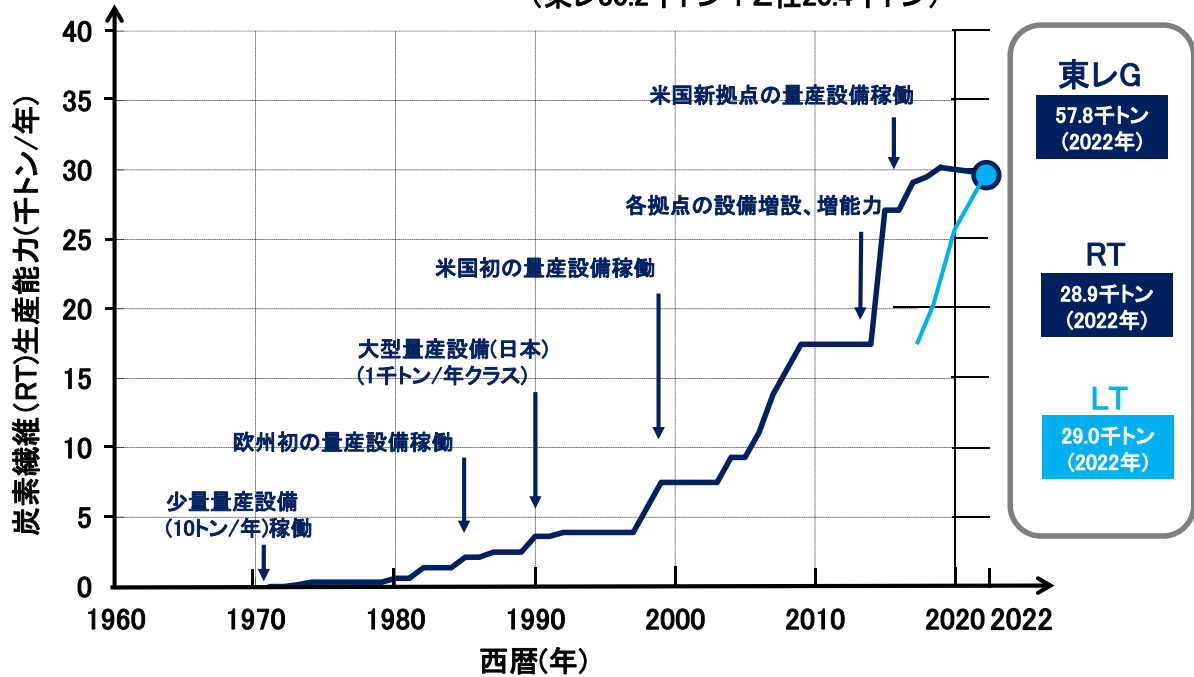
1969 東レ 高性能PAN系炭素繊維の生産を可能にする焼成技術を開発。

1971 [東レ PAN系炭素繊維の商業生産を開始。](#)

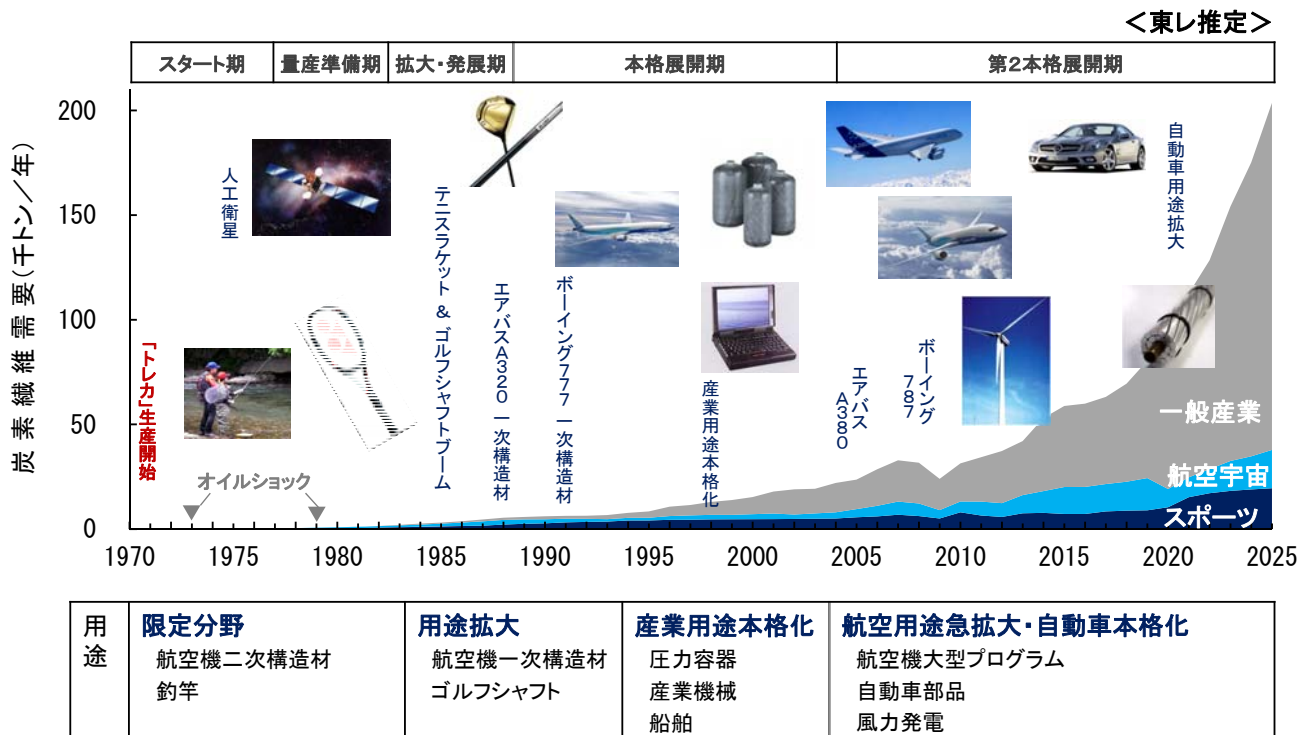


PAN系炭素繊維の生産能力向上の歴史(東レ)

- 1971年商業生産開始後、レギュラートウの生産能力は3,000倍に拡大。
- 生産機1ライン当たりの生産能力は、初期の200倍以上に向上。
- Zoltek買収により、G全体の年間生産能力(2019年)は計50.6千トン。
(東レ30.2千トン+Z社20.4千トン)

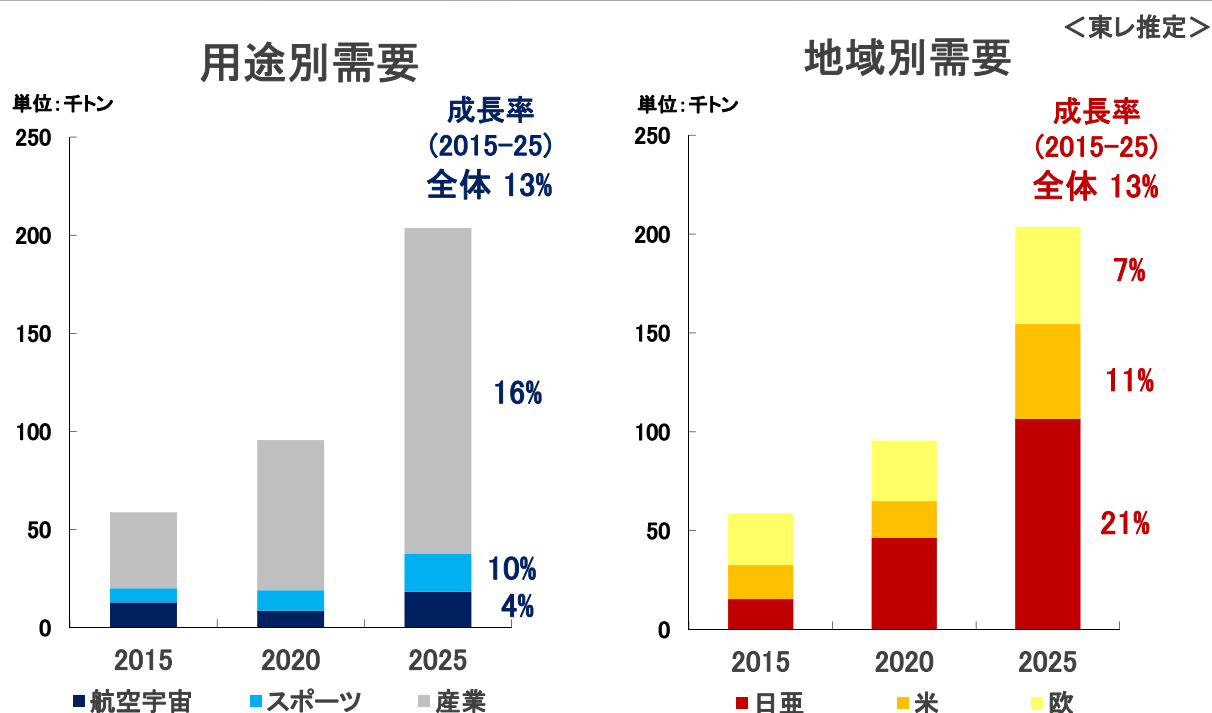


商業生産開始以降の炭素繊維需要の推移



1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セイフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

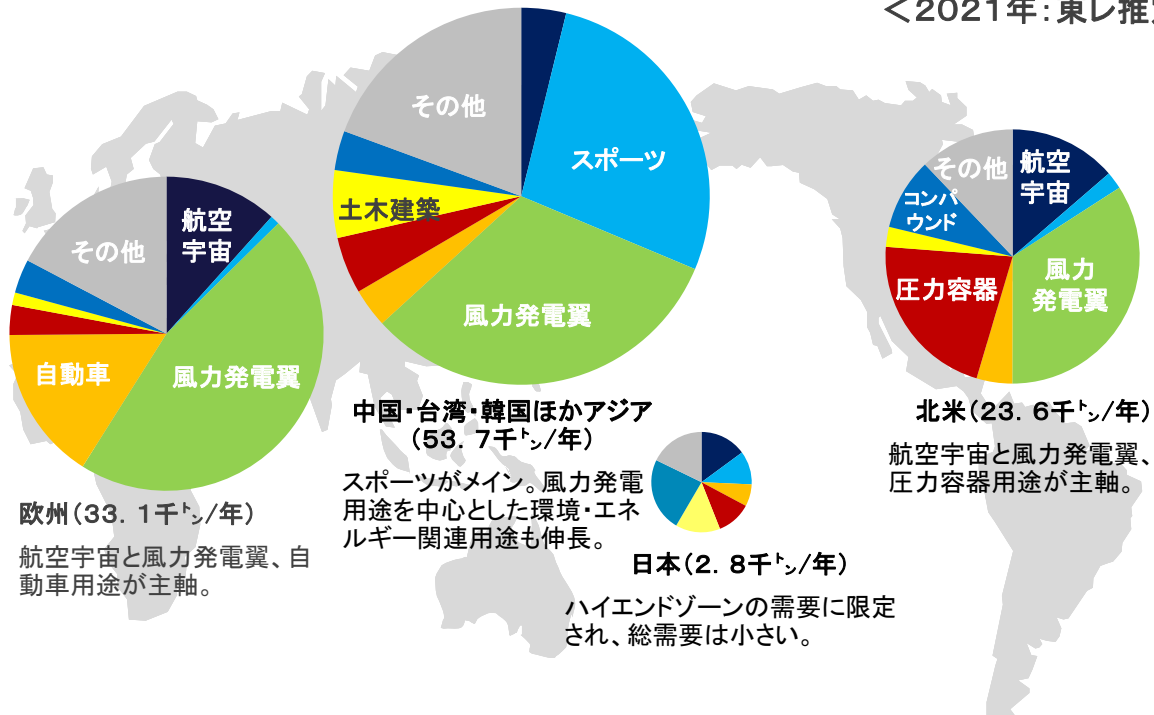
PAN系炭素繊維の需要見通し(全体:用途別/地域別)



2015年 6万トン → 2025年 20万トン

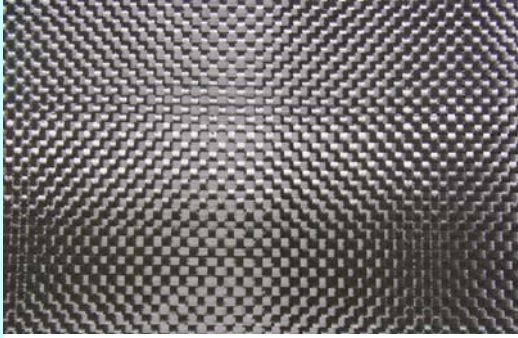

PAN系炭素繊維の用途別・地域別需要

<2021年:東レ推定>



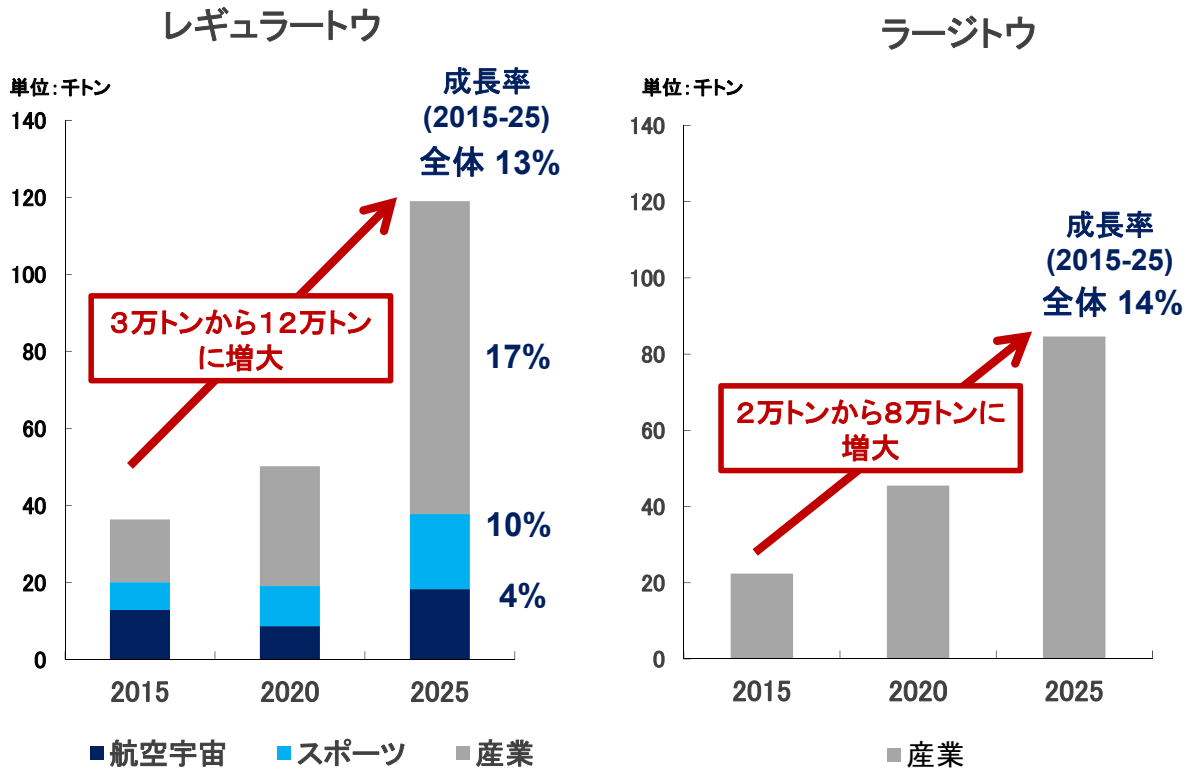
世界の炭素繊維需要 113.0千トン(2021年)

レギュラートウ／ラー Zitウの違い

	レギュラートウ	ラー Zitウ
定義	・炭素繊維用に専用設計された設備と製造ノウハウにより製造された高性能炭素繊維	・衣料用アクリルトウ設備転用 ・簡易な焼成設備により製造された安価な炭素繊維
特徴	・24,000フィラメント以下 ・欠陥制御、均一化などの高性能化配慮 ・高コスト	・50,000フィラメント程度 ・標準的な性能 ・低コスト
形態	<p>“レギュラートウ”織物</p>  <p>東レT700S-12K/330gsm</p>	<p>“ラー Zitウ”織物</p>  <p>Zoltek(50K)/330gsm</p>

PAN系炭素繊維の需要見通し(レギュラートウ/ラージトウ)

<東レ推定>



PAN系炭素繊維メーカーの製造能力(東レ推定)

[単位:千トン]

メーカー		2018	2020	2022
レギュラートウ	東レG	29	29	29
	帝人G	12	12	15
	三菱G	9	9	9
	Hexcel	11	11	11
	Solvay	3	3	3
	台湾プラスチック	6	4	4
	Aksa	2	2	2
	暁星	2	4	7
	新興国/その他	11	11	29
		85	85	108
ラージトウ	東レG(Zoltek)	17	26	29
	三菱G	5	5	5
	SGL	12	12	12
	新興国/その他	10	14	44
		44	57	89
		129	142	198

炭素繊維メーカーの変遷

1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020

	参入企業																現社名
日本	東レ	—————														東レ	
	東邦レーヨン	—————														帝人	
	三菱レイヨン	—————														三菱ケミカル	
	日本カーボン/旭化成	—————														×	
欧米	Hercules	—————														Hexcel	
	Great Lakes/ Akzo	—————														×	
	Celanese / BASF	—————														×	
	UCC / BP Amoco	—————														Solvay (Cytec)	
	Grafil	—————														Grafil (三菱ケミカル)	
	Courtaulds	—————														×	
	Stackpole	—————														Zoltek	
	Sigri / Hoechst	—————														SGL Carbon	
	Enka / Akzo	—————														帝人	
	Aksa	—————														Dow Aksa	
	アジア	台湾プラスチック	—————														台湾プラスチック
泰光(韓国)		—————														×	
暁星(韓国)		—————														暁星(韓国)	
中複神鷹(中国)		—————														中複神鷹(中国)	
威海光威(中国)		—————														威海光威(中国)	
宝武(中国)		—————														宝武(中国)	

▼: 買収による規模縮小 ×: 撤退または売却

内容

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セイフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

航空機材料の変遷 – 軽量化への挑戦の連続 –

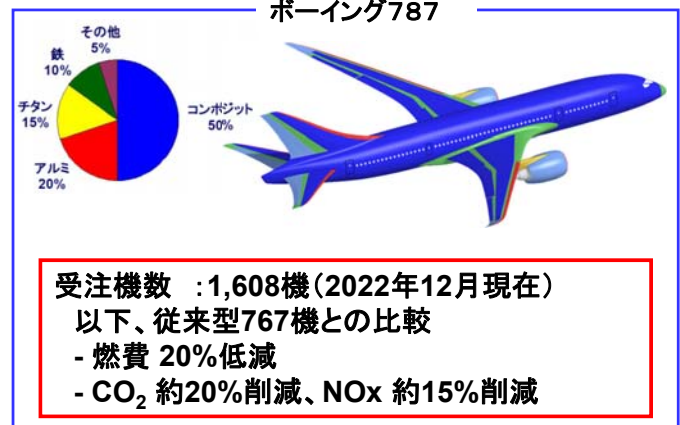
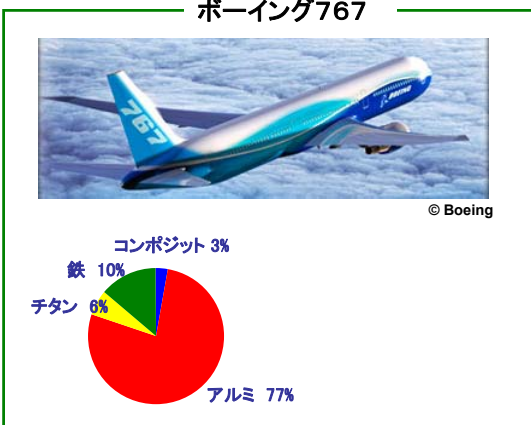


ボーイング787～従来機との比較～

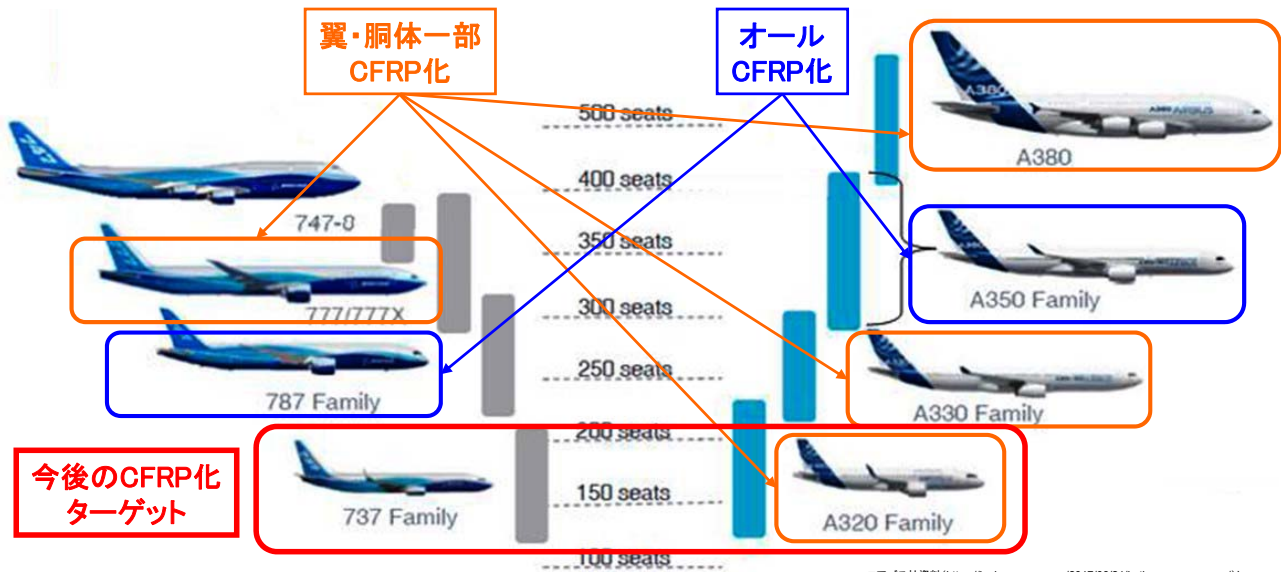


部位	767	787	コンポジット化の効果
胴体	アルミ	コンポジット	・耐腐食性向上 – 機内湿度アップ ・高強度 – 窓大型化、気圧アップ ・使用リベット数低減
主翼	アルミ	コンポジット	・軽量化 – 燃費向上 ・複雑形状化 – 空力特性向上
尾翼	アルミ	コンポジット	・軽量化 – 燃費向上
動翼	コンポジット	コンポジット	–

▶ 同サイズの767対比大幅にコンポジット化を実現
▶ 軽量化による燃費向上、機内環境向上を達成



2大航空機メーカーの開発状況と今後の展開(東レ推定)



- 航続距離が長く、燃費節減メリット大の中・大型機(200席以上)からCFRP適用が進んだ。
- 中・大型機の実績を活かし、今後は小型機(100~200機)へのCFRP適用・拡大が進む。
①高ビルドレート対応(大量生産)、②トータル低コスト(成形・組み立てコスト削減)への対応がカギ。

熱可塑性コンポジットの特徴と利点

➤ 熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂の違い

	熱硬化性樹脂	熱可塑性樹脂
加熱による挙動	加熱により硬化する (硬化後は、元に戻らない)	加熱により溶融する (加熱、冷却で元に戻る)
粘度	硬化前は低粘度 (繊維に含浸しやすい)	高粘度 (繊維に含浸しにくい)

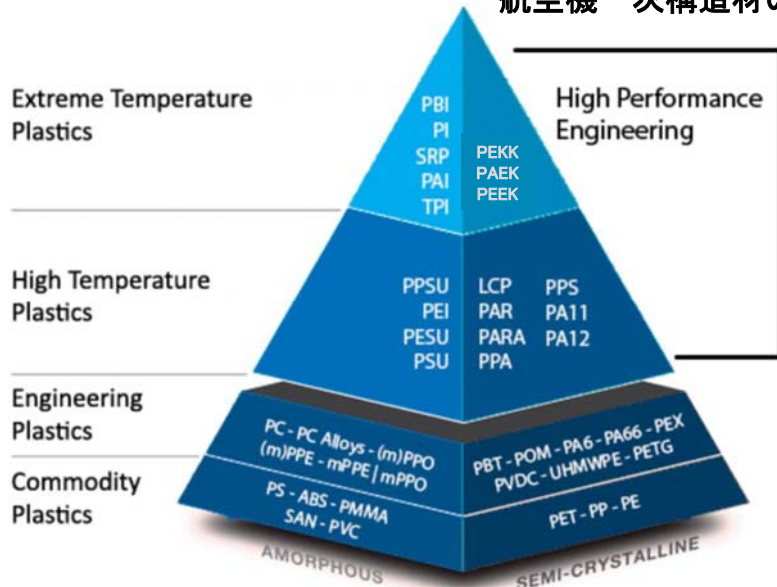
CFRPでは繊維への含浸しやすさから熱硬化性樹脂が用いられてきたが、含浸技術や樹脂の進化により、熱可塑性樹脂の適用範囲が広がってきた。

➤ 熱可塑性コンポジットの利点

特徴	最終製品でのメリット
短時間成型が可能	高ビルドレート生産に好適
プレス成形や射出成形が容易	
成型と接合を別々に行うことが可能 (各パーツを成形後、接合することも可能)	ファスナーレス化が可能 (成形・組み立てコスト低減)
再加熱により、再成型を行うことが可能	
常温下で樹脂の熱変化が起きないため、常温保管可能	冷凍庫不要(低コスト)
リサイクル化が図りやすい	低環境負荷

熱可塑性コンポジットの適用例

- CF/ABS: 電子機器
- CF/HDPE: 産業用途(オイル&ガス)
- CF/PET: スポーツ、レジャー用途
- CF/PEI: 航空機 内装材用途
- CF/PPS: 航空機用小部品(リブ・スティフナー) 胴体クリップ[A350]
- CF/PEKK、PEEK(PAEK)系: 航空機一次構造材の置換(複雑、小部品)



19

Copyright © 2023 Toray Industries, Inc. **TORAY**

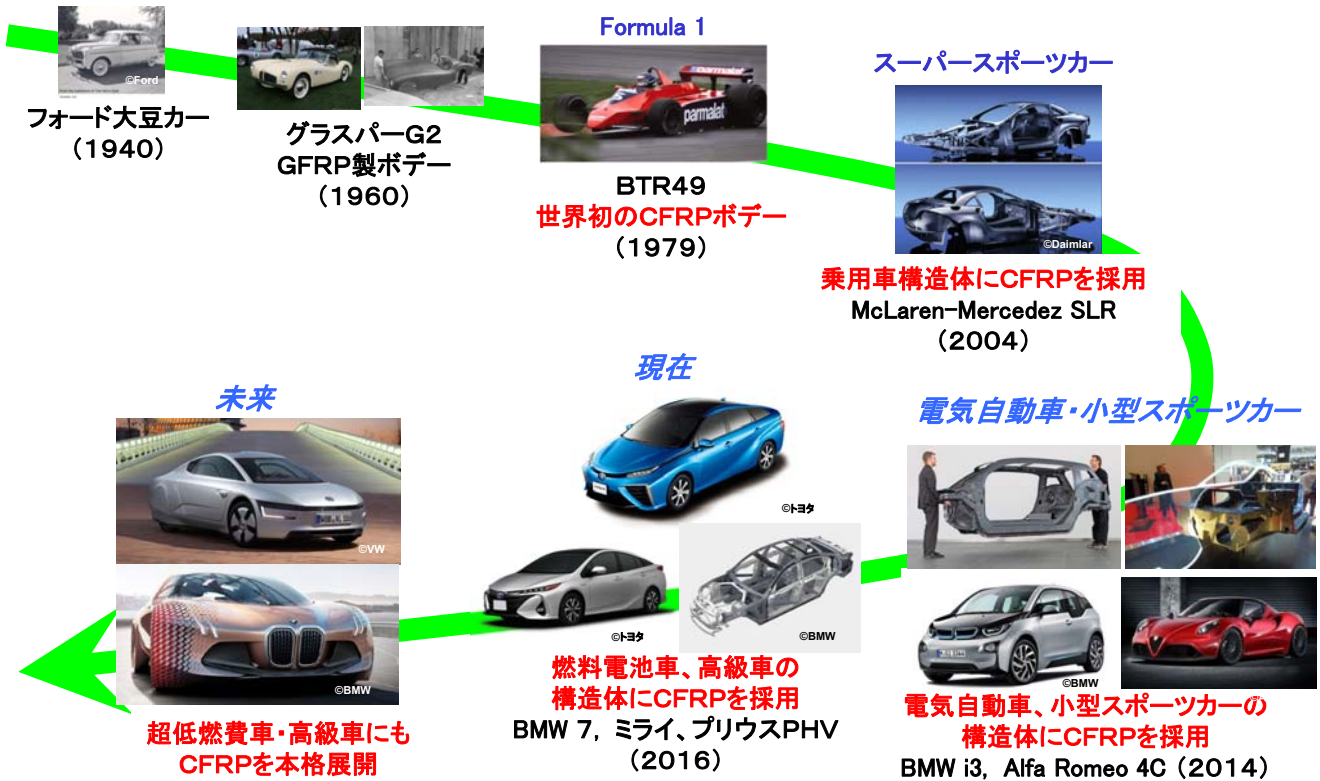
内容

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セーフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

20

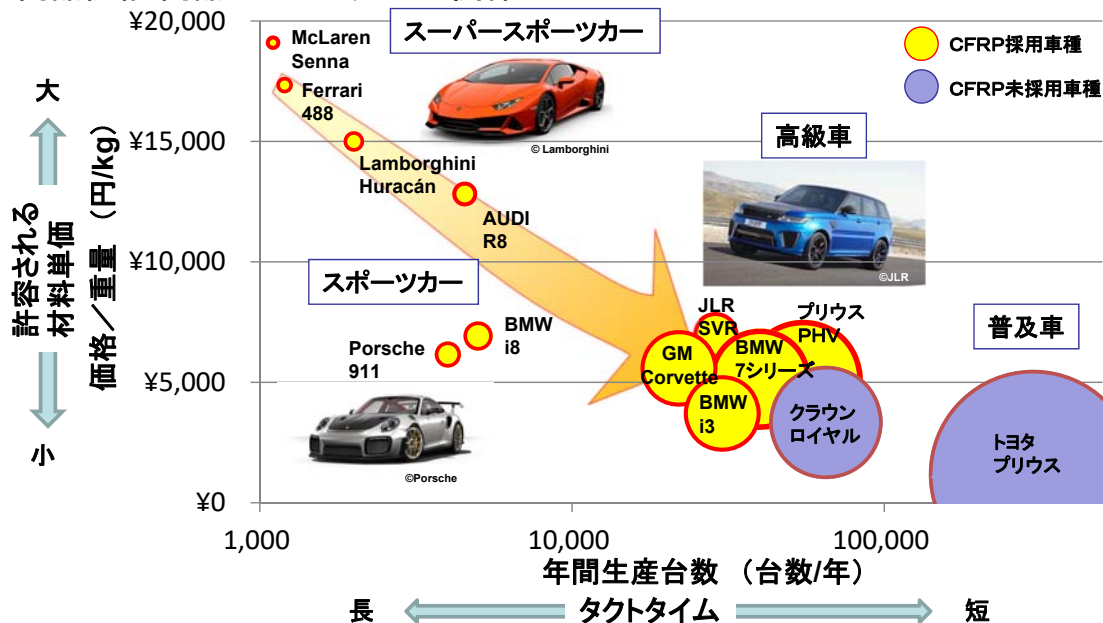
Copyright © 2023 Toray Industries, Inc. **TORAY**

自動車への複合材料の適用 - 軽量化への挑戦 -



量産自動車展開: 性能とコストとのバランス

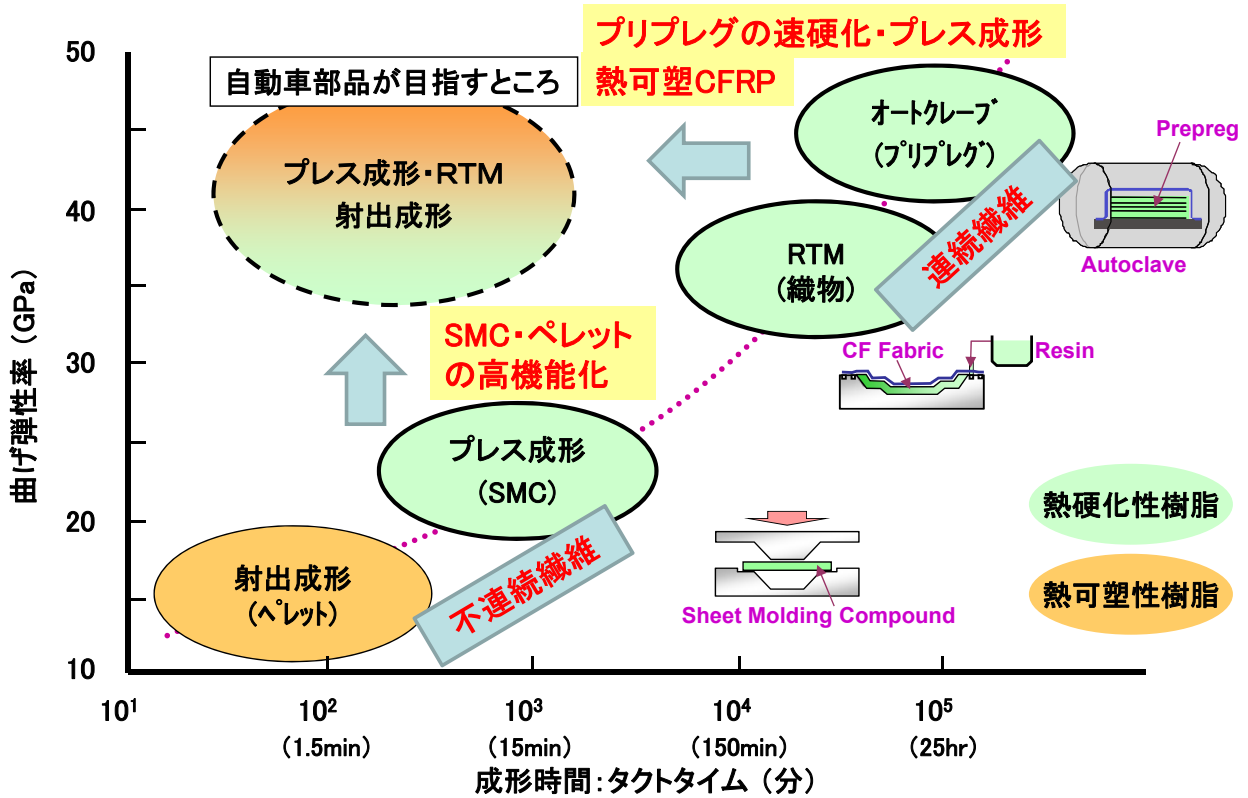
◆商品価格/商品重量と生産量の関係



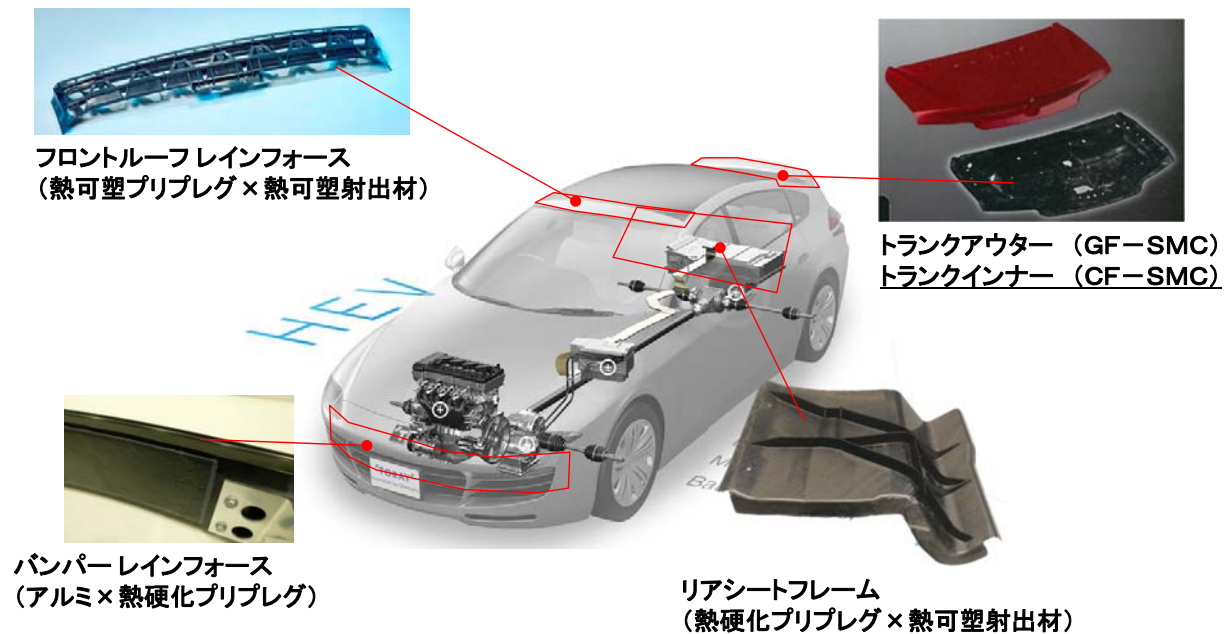
◆量産自動車適用の課題(生産性とコストとのバランス)

- 短タクトタイムに対応した成形技術の開発
 - 材料コストと性能バランスの追求
 - CFRPの性能を活かした部品の開発
-
- 速硬化(プリプレグ・SMC)
 - 熱可塑性CFRP
 - マルチマテリアル

自動車用途拡大に向けた中間基材開発の方向性



最近技術開発トレンド: マルチマテリアル



コストパフォーマンスの追求 = マルチマテリアル化による適材適所の実現

Urban Air Mobility:「空飛ぶクルマ」



< Joby Aviation >

出典: Joby Aviation社ホームページ
<https://www.jobyaviation.com/news/>



< Lilium >

出典: Lilium社ホームページ
<https://lilium.com/news>



< Overair >

出典: Overair社



< SkyDrive >

写真提供: SkyDrive

内容

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セーフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

エネルギー分野

風力発電



天然ガス

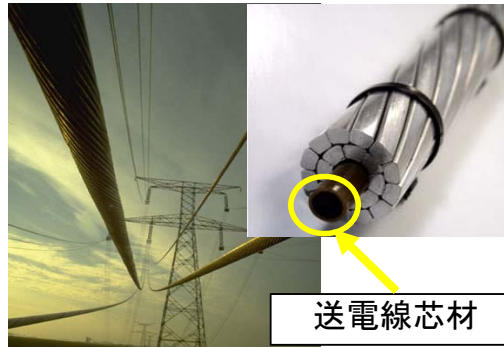


海底油田



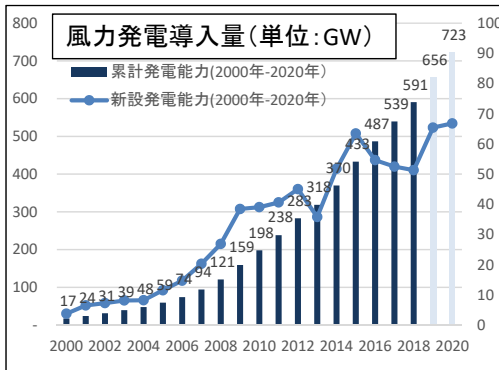
送電線

水素社会



風力発電(風車ブレード)

市場動向

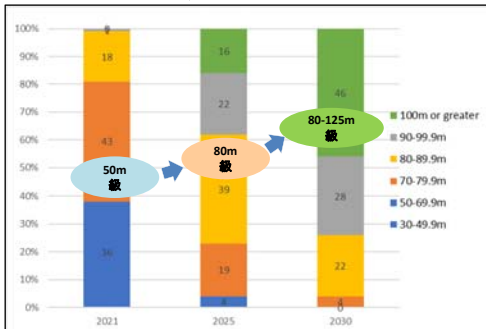


再生可能エネルギーとして市場拡大。立地制約により洋上、および低風速地域への設置。発電効率の向上に向け、風力発電機の大型化が進む。

主力ブレード長 2017年 50m級
2021年 60m級
2025年 80-125m級



ブレード長尺化とその課題

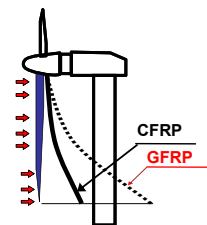


<課題>

- ①たわみによるタワーとの接触防止
- ②重量等による支持機構への負担増

<CFRP化のメリット>

- ①高剛性: ブレードのたわみ抑制・タワーへの接触防止
- ②軽量: ベアリング、タワーへの荷重軽減・物流向上
- ③設計: 出力を向上させるブレード設計可能 → トータルコストダウン



圧力容器 圧縮天然ガス/水素ガス

バルクホール輸送用CNGタンク



Length 11.6m × Diameter 1.08m

<炭素繊維製CNGタンクのメリット>

- ①軽量(鉄対比 30% 軽量)
同一重量のタンクなら、より大容量
- ②内陸でのパイプライン輸送の代替
パイプライン設置対比安価
- ③安全
腐食・疲労しない
- ④現状
多数の国に導入済み。(欧米等)

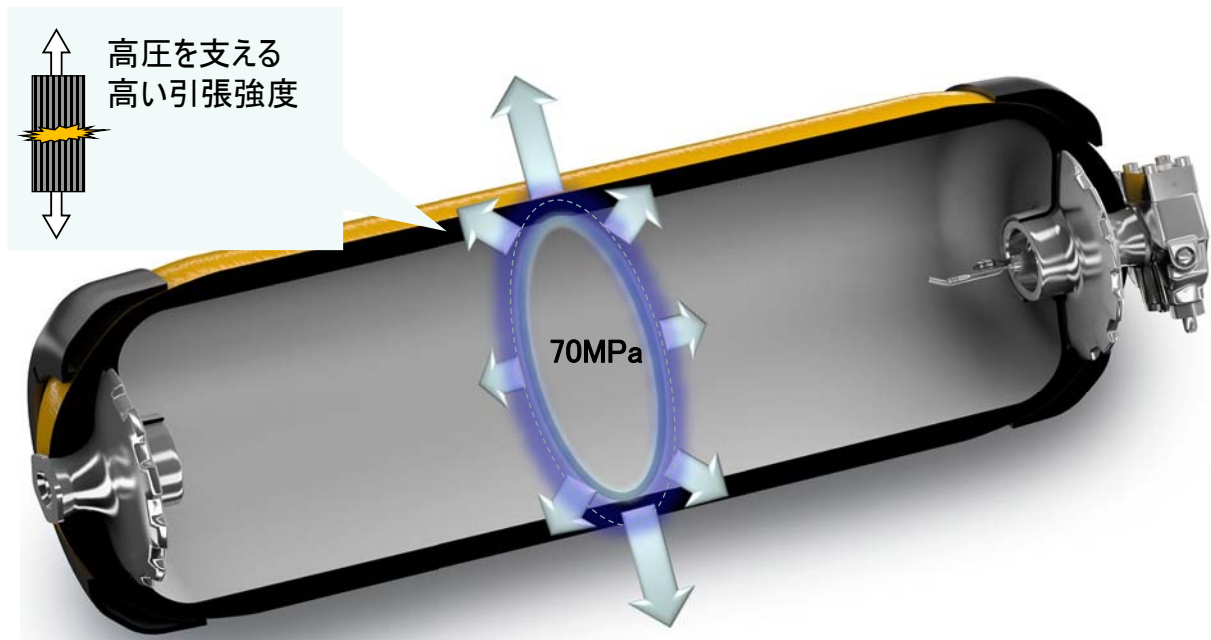
バス、自動車、電车用CNG,CHGタンク



<炭素繊維使用のメリット>

- ①軽量(鉄対比 30% 軽量)
天井設定でも低重心
- ②安全
腐食、疲労しない
- ③現状
90年代から多数バスメーカーで広く適用。
乗用車でも適用例あり。

水素タンクの構造・材料要求特性



燃料電池車での炭素繊維の採用事例

<トヨタ“MIRAI”>



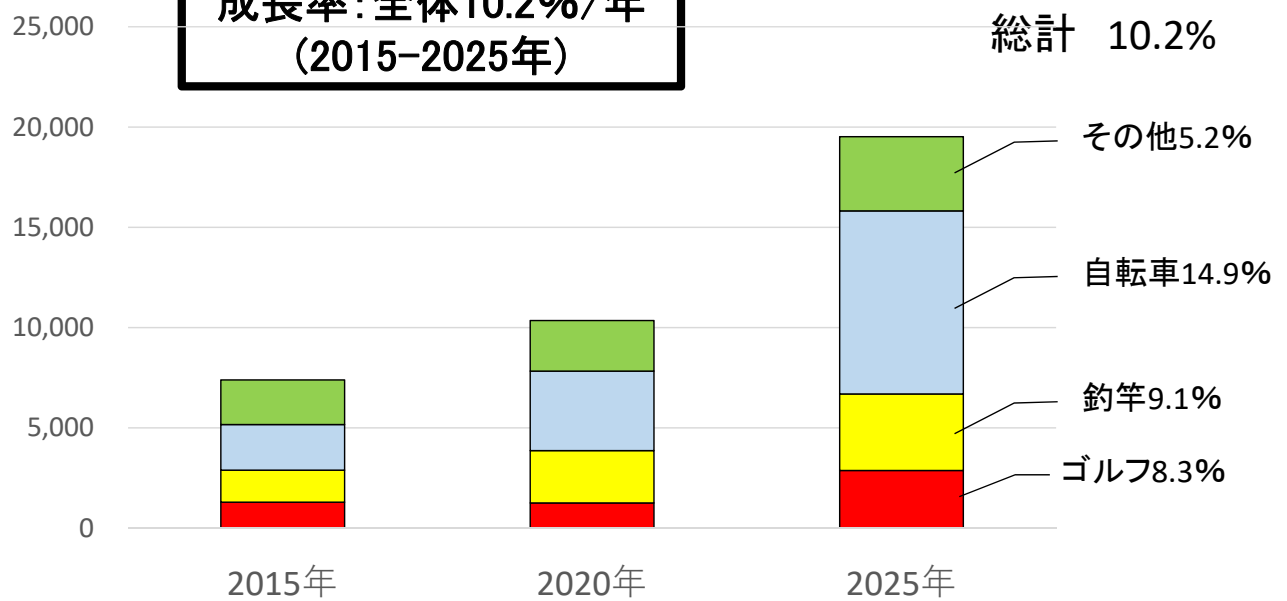
様々な形態の炭素繊維製品が燃料電池車には採用されている

内容

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セイフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

市場動向 ～スポーツ用途PAN系炭素繊維の需要推移～

単位：トン



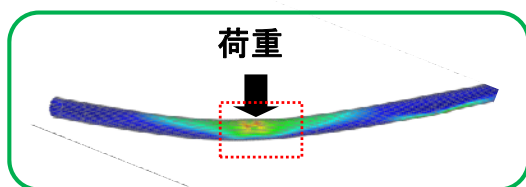
- コロナによるアウトドアブームにより需要が急拡大
- 自転車用途を中心に成長継続
- 革新炭素繊維・樹脂の“ゆりかご”

33

Copyright © 2023 Toray Industries, Inc. **TORAY**

円筒強度向上のアプローチ

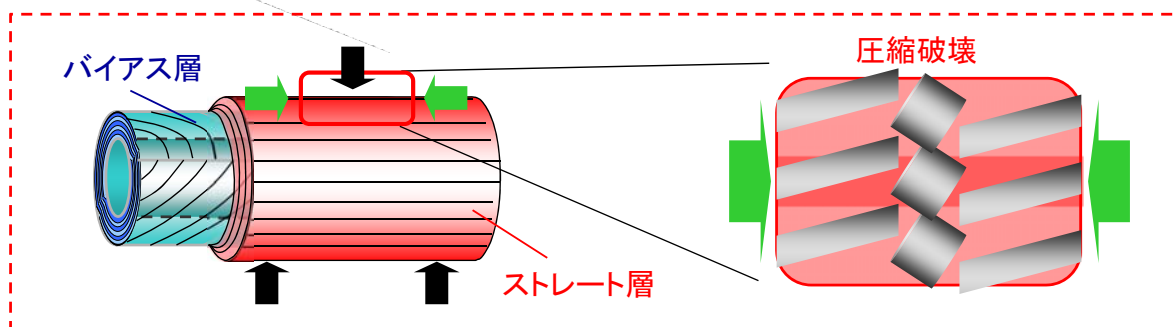
円筒曲げ強度の支配因子



ゴルフシャフト・釣竿・自転車＝円筒構造がメイン
円筒構造の高強度化には、
CFRPの0度圧縮強度向上が必要

0度圧縮
強度向上

- ・炭素繊維高強度化
- ・マトリックス樹脂高弾性率化

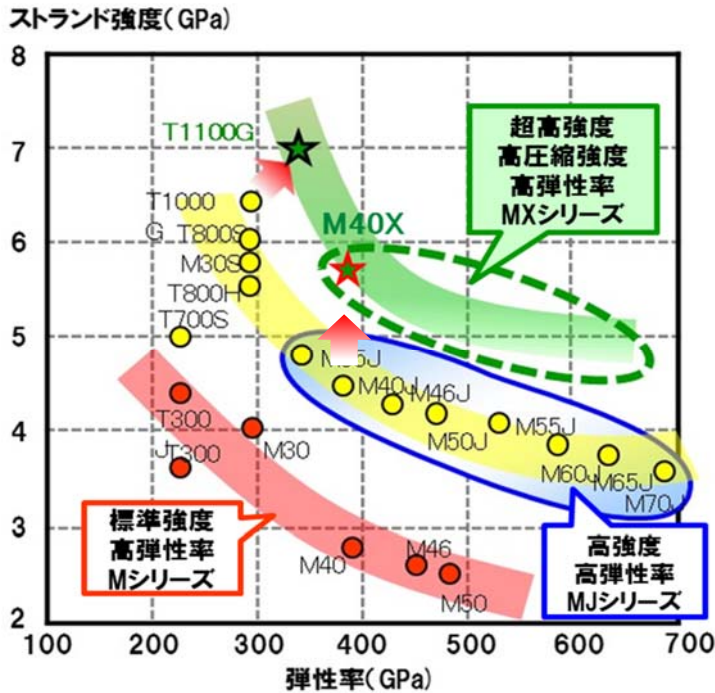


0度圧縮強度向上にはCF高強度化と樹脂高弾性化が有効

34

Copyright © 2023 Toray Industries, Inc. **TORAY**

高性能炭素繊維 トレカ®「T1100G」「M40X」



第三世代 (2010年代～)

- さらなる高強度・高弾性率化
- フィラメント数: 12,000本～
- 引張強度7GPa系 "T1100G"
- 超高強度、高弾性率 MXシリーズ

第二世代 (1980～2000年代)

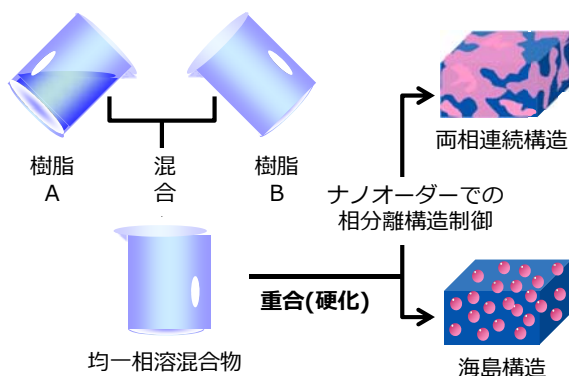
- 高強度・高弾性率化、高生産性
- フィラメント数: 6,000～24,000本

第一世代 (1970年代)

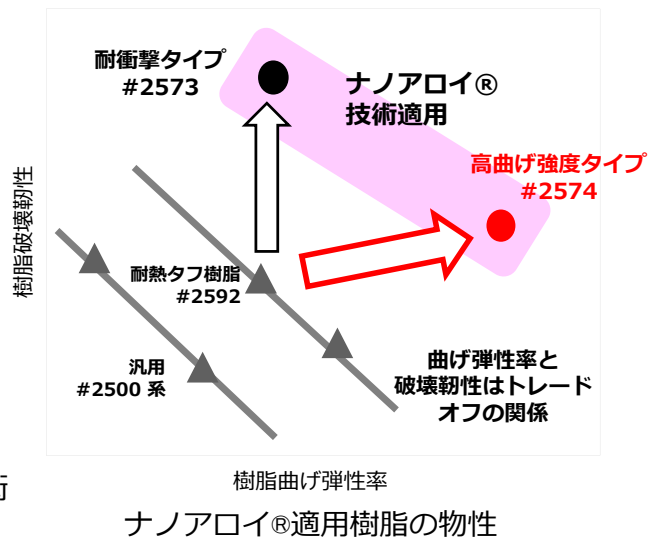
- 工業生産開始した初期世代
- フィラメント数: 3,000～6,000本

第3世代の炭素繊維開発により高弾性/高強度化を実現

高性能マトリックス 「ナノアロイ®樹脂」



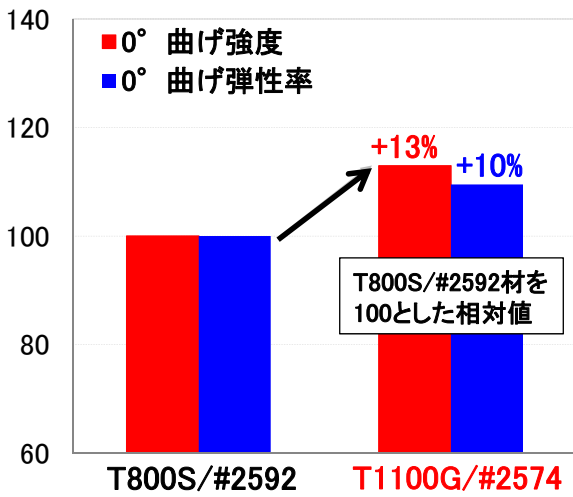
マトリックス樹脂におけるナノアロイ™技術



2種類以上の樹脂をナノオーダーで相分離させるナノアロイ™技術により、従来トレードオフにある樹脂の曲げ弾性率と破壊靱性の両立を達成

高曲げ強度タイプ#2574は、靱性を維持して曲げ弾性率を向上

T1100G/ナノアロイ®樹脂(#2574)プリプレグ



高曲げ強度ナノアロイ®「#2574」の複合材料物性

<適用事例>



本間ゴルフ社
ゴルフシャフト VIZARD



住友ゴム工業社
ゼクシオシリーズ



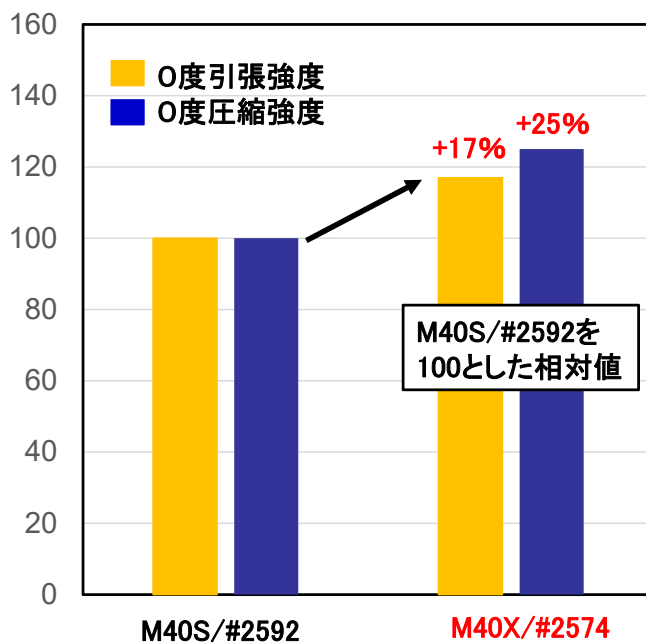
藤倉コンポジット社
SPEEDER NX GREEN

GIANT社
TCR



T1100G とナノアロイ樹脂の組み合わせで、高強度と高弾性率の両立を達成

M40X/ナノアロイ®樹脂(#2574)プリプレグ



<適用事例>



シマノ社
SPILAL X CORE TECHNOLOGY



YONEX社
新ZONE



ピナレロ社
DOGMA F

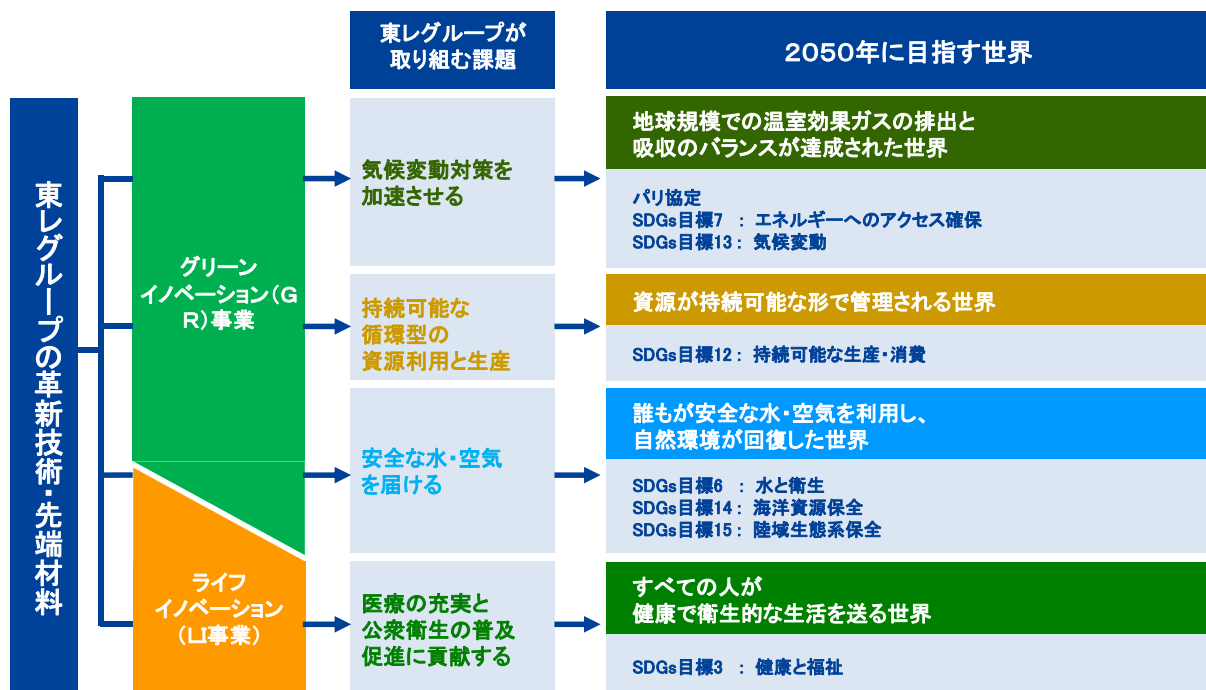
CANYON社
Exceed CFR



M40X とナノアロイ樹脂の組み合わせで、今までにない高強度/軽量化を達成

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セイフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

東レグループサステナビリティ・ビジョン



サステナビリティに貢献する2つの事業

グリーンイノベーション(GR)事業

地球環境問題や資源・エネルギー問題の
解決に貢献



航空機用炭素繊維



圧力容器用
炭素繊維



風力発電翼用
炭素繊維



自動車用炭素繊維



自動車用樹脂



エアフィルター



水処理膜



リチウムイオン電池用
セパレータフィルム



東レ水なし平版®

ライフイノベーション(LI)事業

医療の充実と健康長寿、公衆衛生の
普及促進、人の安全に貢献



医薬品



体外循環治療カラム



コンタクトレンズ



タンパク質
検出システム



カテーテル



生体信号検知
機能素材



衛材用
PPパンボンド



防護服



X線CT天板
カセット



エアバッグ用基布

東レ 複合材料事業本部(複材本部)のサステナビリティ・ビジョン

東レグループで取り組む課題①

気候変動対策を加速させる



CO2排出削減に貢献する
製品の提供



新エネルギー社会の構築



製造段階でのCO2削減

地球規模で温室効果ガスの排出と
吸収のバランスが達成された世界

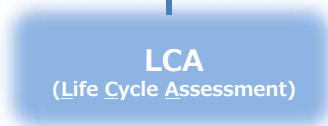
カーボンニュートラルの実現

カーボンニュートラル実現に向けた東レ複材本部の取組

Toray グループサステナビリティビジョン



複材本部の3つのキーワード



アプリケーションでの
CO₂ 排出量削減



炭素繊維製造時の
CO₂ 削減



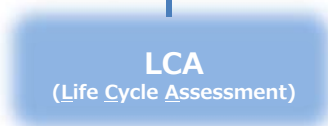
炭素繊維の製品ライフデザインを
考慮したエコシステム

カーボンニュートラル実現に向けた東レ複材本部の取組

Toray グループサステナビリティビジョン



複材本部の3つのキーワード



アプリケーションでの
CO₂ 排出量削減



炭素繊維製造時の
CO₂ 削減



炭素繊維の製品ライフデザインを
考慮したエコシステム

アプリケーションでのCO2排出量削減



CFRP使用航空機のCO2削減効果

“炭素繊維協会モデル”

従来機 → CFRP化 → 航空機

- ・CFRP50%適用
- ・20%軽量化

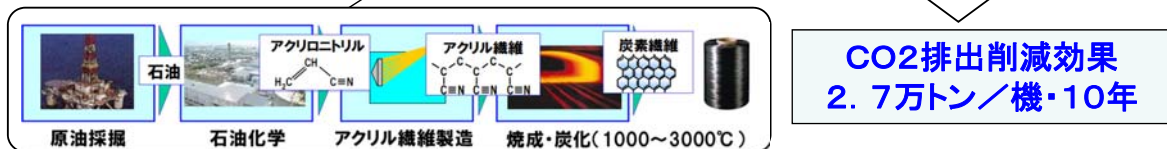
CFRP利用機: CFRP50%適用(ボーイング787の構成) 20%軽量化(従来機対比)

<前提>
 機体: 中型旅客機(ボーイング767)国内線仕様
 運航: 国内線 (羽田⇄新千歳; 500マイル)
 生涯運航距離: 年間2,000便、10年 (出典: 全日空)

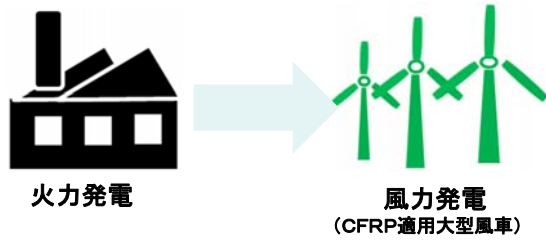
航空機のCO2排出量(トン/機、10年使用)

	原材料～製造段階	組立段階	運航段階(10年使用)	合計
従来機	700	3,800	390,000	395,000
CFRP50%適用	900	3,000	364,000	368,000

▲7%改善



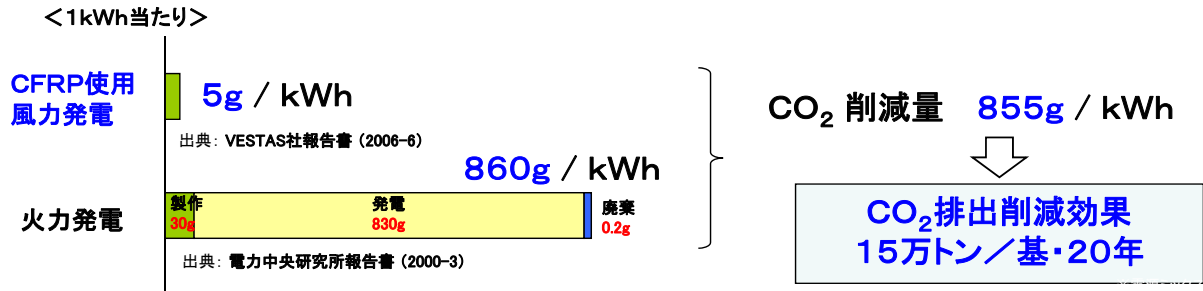
CFRP使用風力発電のCO2削減効果



“炭素繊維協会モデル”

<前提>
 風力発電: CFRP適用大型風車
 定格出力3MW(実効出力1MW)、ライフ 20年
 (CFRP部位: 桁材剛性部材、他はガラス繊維複合材料)
 対照発電: 火力発電(石炭と石油の平均)

ライフサイクルCO₂排出量



カーボンニュートラル実現に向けた東レ複材本部の取組

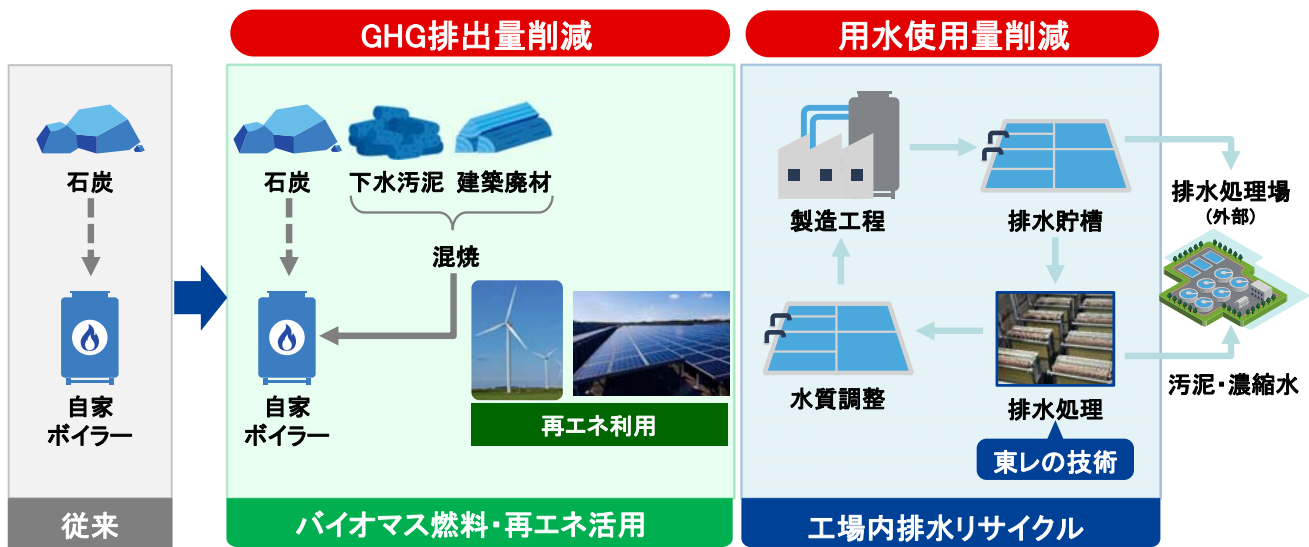
Toray グループサステナビリティビジョン



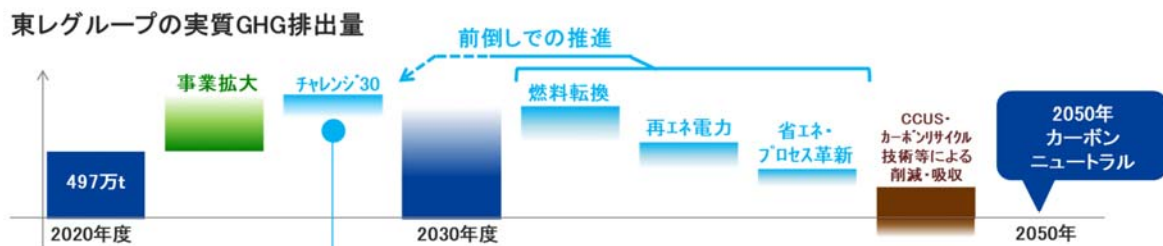
複材本部の3つのキーワード



生産段階での排出削減の取り組み



CNに向けたGHG排出削減への取り組み



チャレンジ30プロジェクトの推進

2030年度までにGHG排出量、用水量の売上収益原単位30%削減(2013年度比)

東レグループ全体で、燃料転換、省エネ、再エネ化等により **GHG原単位の2013年度比30%の削減**を目標に推進

燃料転換 取り組み例

インドネシアでの石炭発電停止

- インドネシアITSでの石炭発電停止、買電化により250千t CO₂/年を削減
- 2021年10月に停止済

ITS受変電設備

ITS: P.T. Indonesia Toray Synthetics

再エネ電力 取り組み例

再生可能エネルギー設備の導入

- 太陽光発電設備設置拠点は、東レ5工場、国内外関係会社19社に拡大

2020年度に太陽光発電設備を導入したTPPZ

TPPZ: Toray Plastics Precision (Zhongshan) Ltd.

カーボンニュートラル実現に向けた東レ複材本部の取組

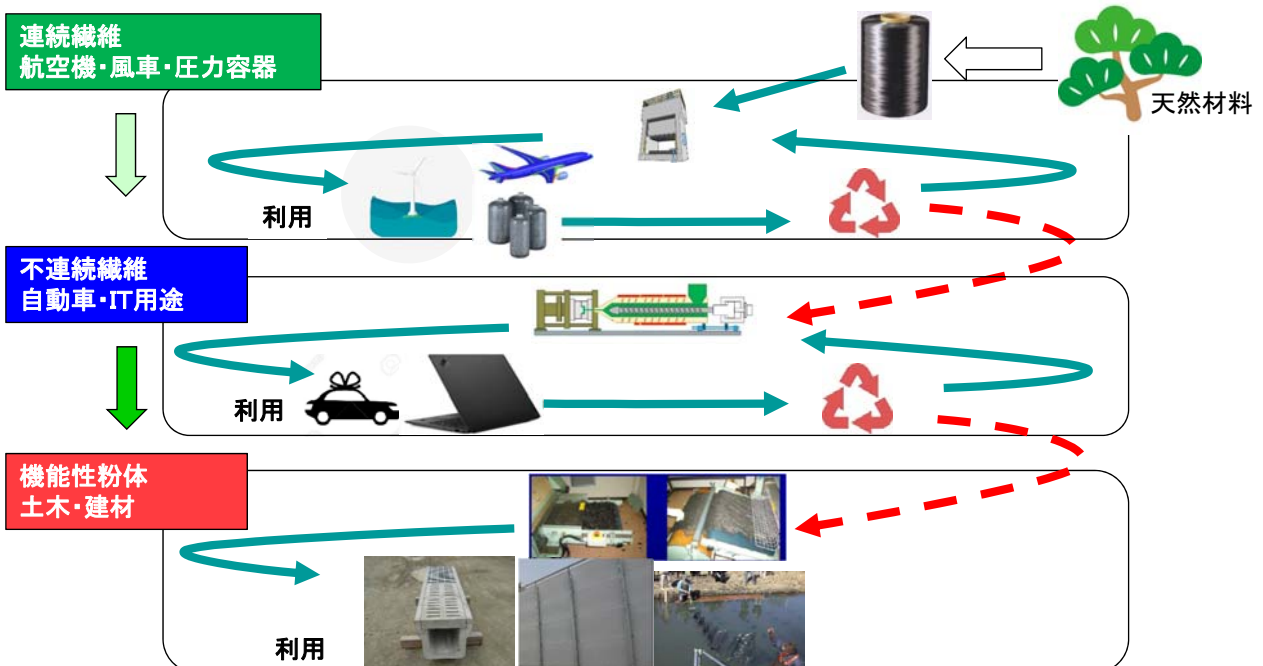
Toray グループサステナビリティビジョン



複材本部の3つのキーワード



マテリアルECO-SYSTEM(原料→廃棄): 目指す姿

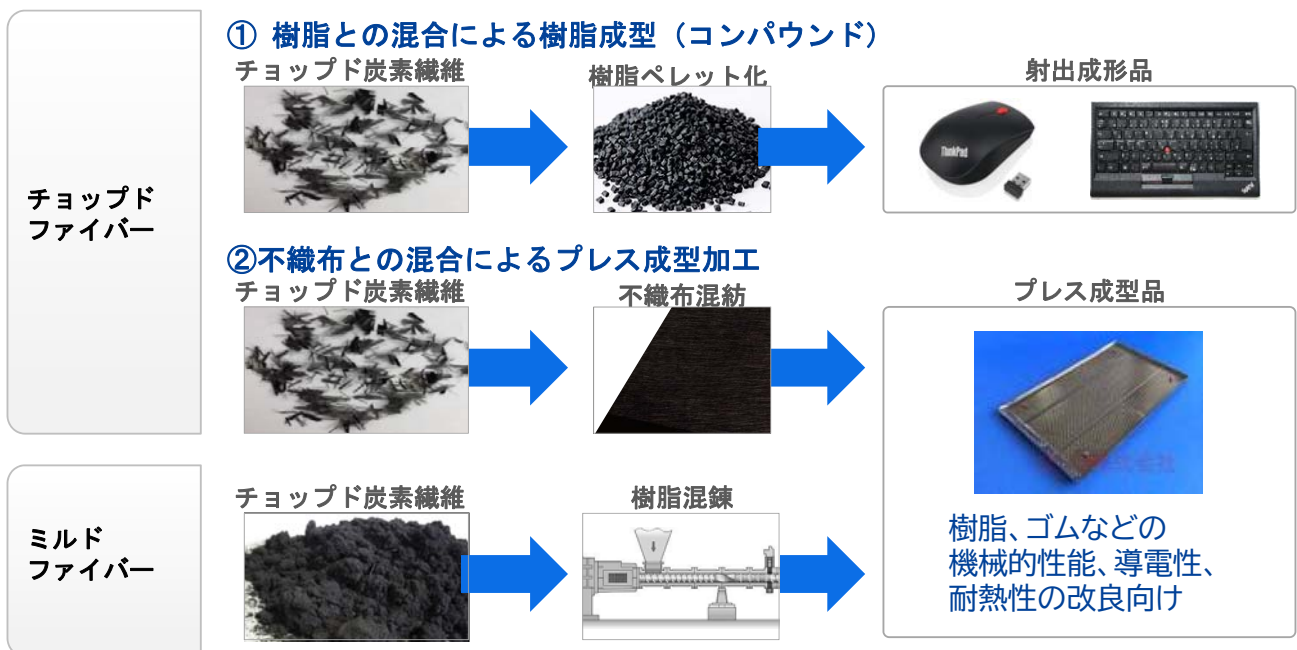


炭素繊維のマテリアルECOシステムを構築する。

革新熱分解リサイクル炭素繊維技術



リサイクルCFの用途



射出成形品、プレス成形などに適用可能

1. 炭素繊維の歴史
2. 市場概況
3. 主な用途・市場
 - (1) モビリティ(航空機)
 - (2) モビリティ(自動車)
 - (3) エネルギー
 - (4) ライフクオリティ&セーフティ(スポーツ)
 - (5) サステナビリティ
4. まとめ

まとめ

1. PAN系炭素繊維は日本で製造原理が発見された革新素材であり、爾来たゆまぬ技術革新により我が国が世界の市場を牽引してきた。
2. 複合材料の需要として、「省エネルギー・再生可能エネルギー」、「健康・スポーツ」関連が拡大し、加えてWithコロナに伴う「民間航空機需要の復活」、「新規航空・宇宙分野開発、UAM等の新規需要立ち上がり」が期待される。
3. サステナブル経済形成のメガトレンドが一層加速することなどを背景に、風力発電用ブレード・圧力容器タンク・水素関連用途向けの需要が拡大すると共に、炭素繊維は新たな時代を迎える。
4. これらをドライバーに炭素繊維需要は、年間二桁成長を持続し、2025年には200千トンを超える市場に成長。
5. 一方、循環型社会の実現に向けて、製造エネルギー削減・廃材リサイクル要請の高まりに対応する必要性が増しており、さらなる普及に向け業界全体での取り組みが必要である。

TORAY

Innovation by Chemistry