



ピッチ系炭素繊維の現状と将来

2023年2月17日

三菱ケミカル株式会社 アドバンスソリューションズビジネスグループ

アドバンスマテリアルズ本部 炭素繊維事業部長

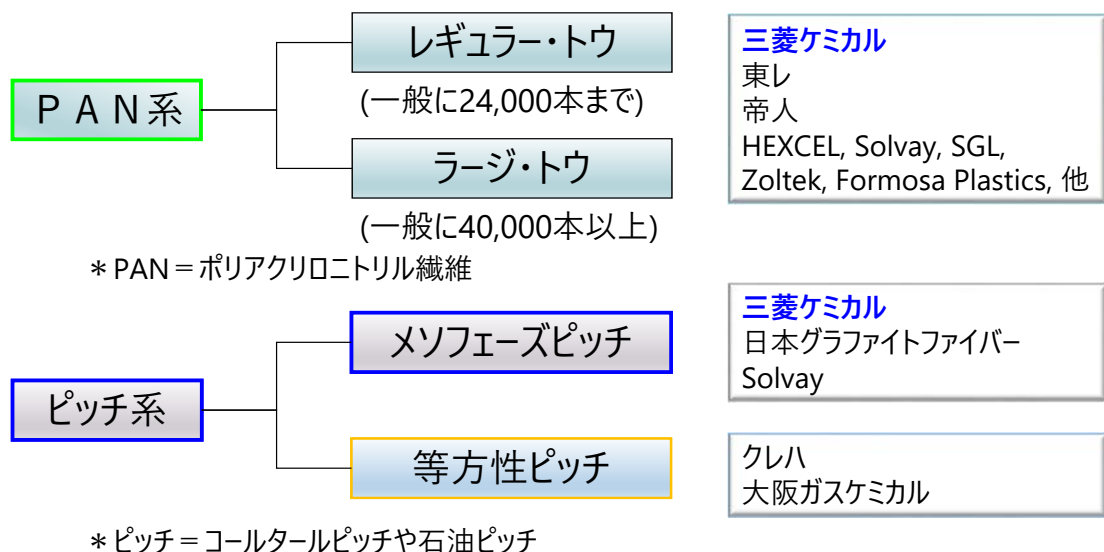
安齊 政夫



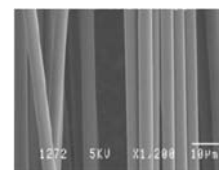
本日の内容

1. 炭素繊維の種類と製造メーカー
2. ピッチ系炭素繊維とPAN系炭素繊維
3. メソフェーズピッチ系炭素繊維と等方性ピッチ系炭素繊維
4. ピッチ系炭素繊維の特徴を生かした用途展開
5. カーボンニュートラルへの取り組み

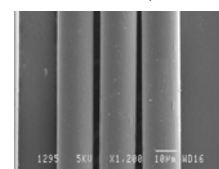
1. 炭素繊維について / 種類、製造メーカー、外観



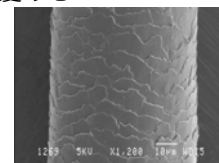
PAN系炭素繊維



衣料用繊維 (3デニール)



髪の毛

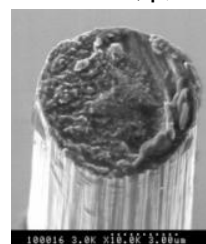


※炭素繊維は、直径5～15μmの細いフィラメント
衣料用繊維や髪の毛よりも細い繊維です

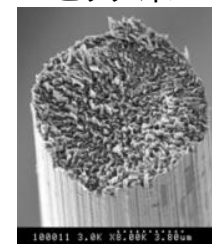
1. 炭素繊維の歴史

- 1879 エジソンが竹を炭化して白熱電球の芯に実用
- 1961 工技院大阪工試の進藤博士がPAN系CFを発明
- 1963 群馬大の大谷教授がピッチ系炭素繊維を発明
- 1965 UCC (米国) がレーヨン系炭素繊維を工業化
- 1970年代～ PAN系およびピッチ系CFを各社が工業化
- 1982 三菱レイヨン (現、三菱ケミカル) がPAN系CFを工業化
- 1987 三菱化成 (現、三菱ケミカル) がピッチ系CFを工業化
- 2000～、産業用途を中心に新規用途開発が顕在化
- 2010～、韓国・中国、等の新興勢力伸長

PAN系



ピッチ系





本日の内容

1. 炭素繊維の種類と製造メーカー
2. ピッチ系炭素繊維とPAN系炭素繊維
3. メソフェーズピッチ系炭素繊維と等方性ピッチ系炭素繊維
4. ピッチ系炭素繊維の特徴を生かした用途展開
5. カーボンニュートラルへの取り組み

2. 三菱ケミカル 炭素繊維チェーン

PAN系、ピッチ系炭素繊維

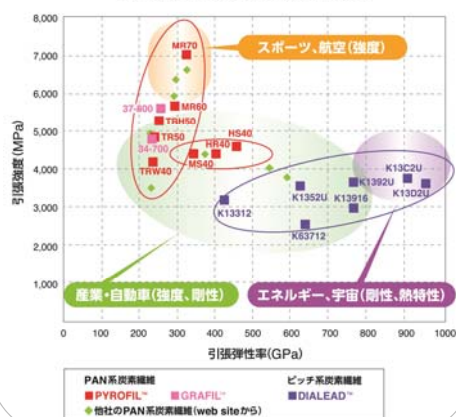
連続繊維



チョップ、ミルド



PAN系とピッチ系炭素繊維の特長



炭素繊維複合中間材

熱硬化性プリプレグ



熱可塑性プリプレグ



SMC



ファブリック



ペレット



主な展開分野

PYROFIL™
PAN系

風力発電



航空機



圧力容器



自動車



スポーツ・レジャー



DIALEAD™
ピッチ系

産業機械



宇宙



電子部品



自動車

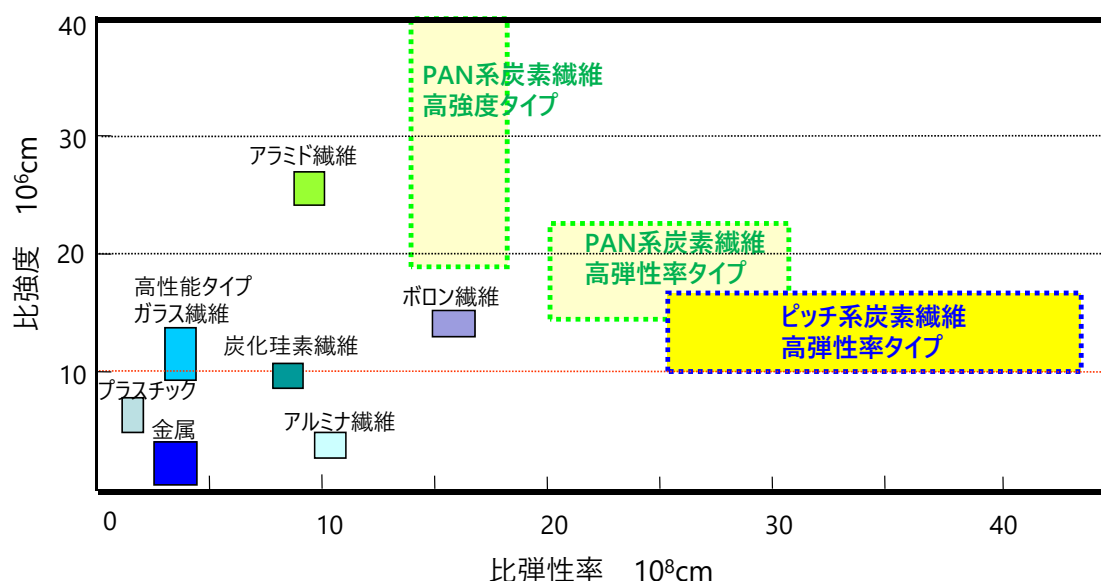


建築・土木



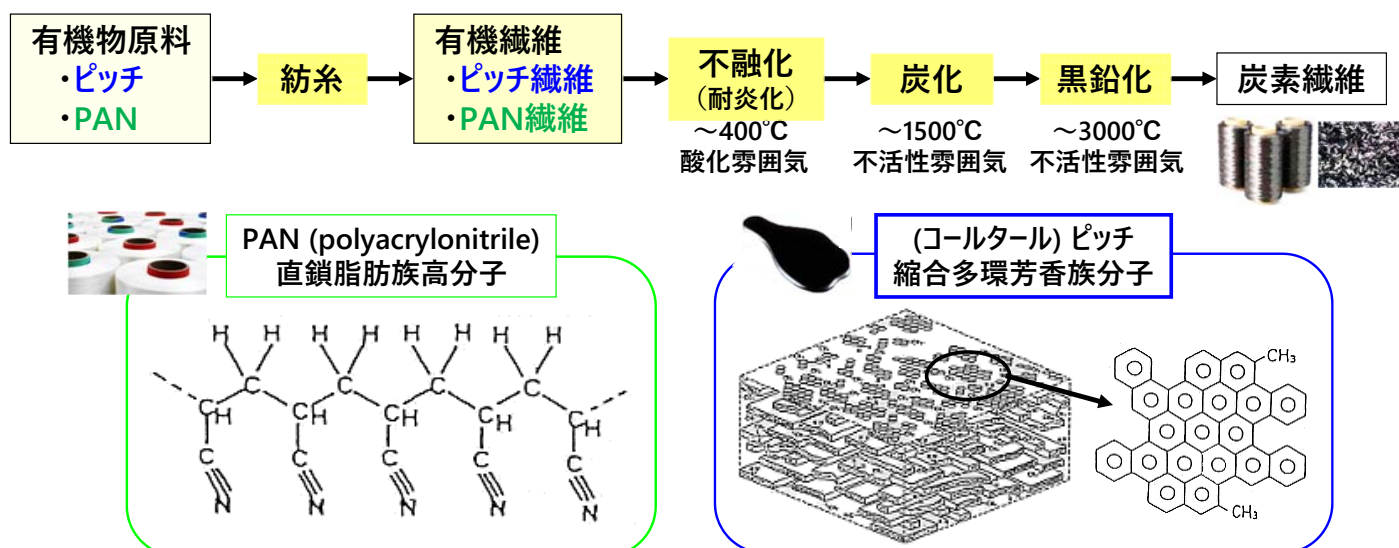
2. 炭素繊維と各種材料の比強度・比弾性率

炭素繊維は突出した強度と弾性率を有する素材



2. ピッチ系/PAN系の製造方法比較

ピッチ系、PAN系、それぞれの製法で、大きな違いは原料のみ
しかしその違いが、最終製品である炭素繊維の物性を支配している



2. ピッチ系/PAN系炭素繊維の主な特徴

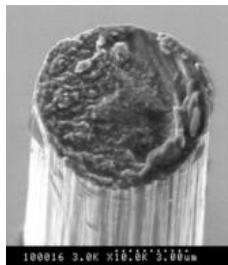
PAN系炭素繊維：粒状の黒鉛が分散した構造で、高強度を発揮

ピッチ系炭素繊維：軸方向に連続した黒鉛結晶で、弾性率・熱伝導等の特性を発揮

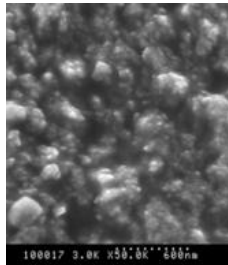
PAN系炭素繊維

E=230GPa

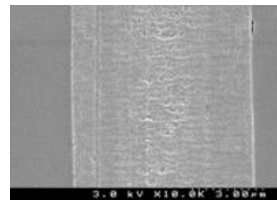
横断面



横断面（拡大）



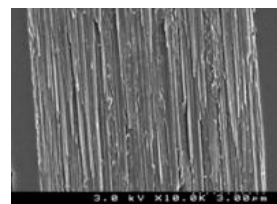
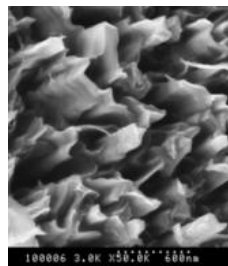
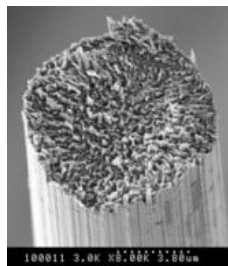
縦断面



ピッチ系炭素繊維

DIALEAD K13C2U

E=900GPa



本日の内容



1. 炭素繊維の種類と製造メーカー
2. ピッチ系炭素繊維とPAN系炭素繊維
3. メソフェーズピッチ系炭素繊維と等方性ピッチ系炭素繊維
4. ピッチ系炭素繊維の特徴を生かした用途展開
5. カーボンニュートラルへの取り組み

3. 世界のピッチ系炭素繊維の生産能力

(各社発表公称能力)

メーカー	生産能力 [ton/年]	原料ピッチ	繊維種別
三菱ケミカル(株)	1,000	メソフェーズ	HP長・短繊維
日本グラファイトファイバー(株)	180	メソフェーズ/等方性	HP長・短繊維
Solvay	450	メソフェーズ	HP長・短繊維
(株)クレハ	1,450	等方性	GP短繊維
大阪ガスケミカル(株)	600	等方性	GP短繊維
合計	3,680		

HP：高性能グレード（High Performance） GP：汎用グレード（General Purpose）

3. 未来技術遺産登録（国立科学博物館）

重要科学技術史資料
No.00225号

この資料は非公衆です。

ピッチ系炭素繊維 ダイアリード DIALEAD

製作 三菱化成工業株式会社（現：三菱レイヨン株式会社）
（1999年）（創出：1984年）

所在地 三菱レイヨン株式会社
香川県坂出市

所有者 三菱レイヨン株式会社



世界で初めて量産に成功

本資料は、初めて量産に成功したコルタルピッチ系炭素繊維の標準となっている「DIALEAD K63712」である。

現在、ピッチ系炭素繊維は、鉄と比較して軽さを示す比重で 1/4、強さを示す比強度で 10 倍、剛性を示す弾性率で 4 倍、負の熱膨張係数、熱伝導率で鋼の 2 倍を示す。この性質を活かした複合素材は、人工衛星、高精度電波望遠鏡、コンクリート構造物補強材、工業用ロープ、ロボットハンドをはじめ各方面で活用されている。この新しい高性能材料の活用は、産業発展、省エネ、省資源、環境保全、生活の安心と安全実現など新しい局面を開きつつある。

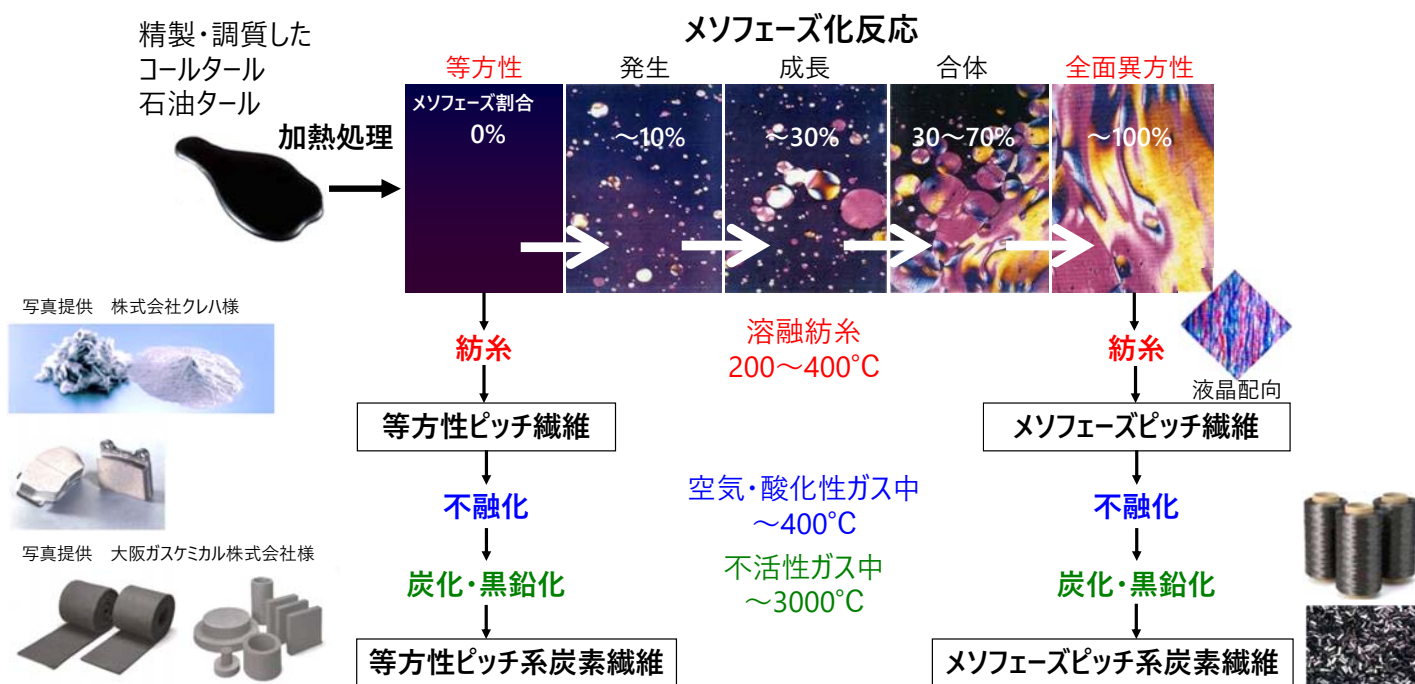
重要科学技術史資料



2016年度登録「重要科学技術史資料(未来技術遺産)」

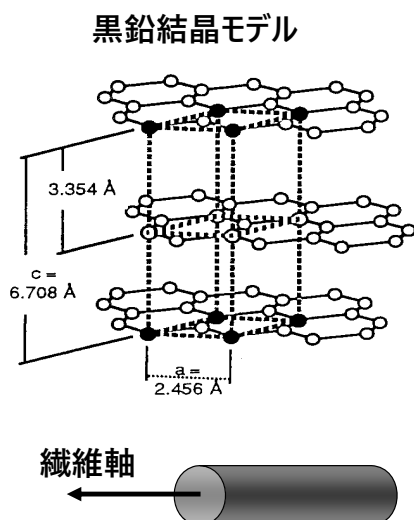
第00219号	円盤録音再生機 — 世界最高レベルのアナログ録音音質を達成 —	第一種	東京都 港区	1943
第00220号	デジタルラボシステムFRONTIER (スキャナー&イメージプロセッサ：SP-1000、レーザープリンター：LP-1000) — 世界初のデジタルミラボ・カラープリントシステム —	第一種	神奈川県 南足柄市	1996
第00221号	PC-9801 — 日本で最も普及した16ビットパソコン —	第一種	東京都 千代田区	1982
第00222号	PC-100 — 最早期にマウスとGUIを標準搭載 —	第一種	東京都 千代田区	1983
第00223号	油圧シヨベル(ユンボ) Y35 — 国産初の油圧シヨベル —	第一種	兵庫県 明石市	1961頃
第00224号	D60形デジタル交換機 — 日本初の商用デジタル電子交換機 —	第一種	東京都 世田谷区	1981
第00225号	ピッチ系炭素繊維 ダイアリード DIALEAD — 世界で初めて量産に成功 —	第一種	香川県 坂出市	1999

3. ピッチ系炭素繊維の製造方法



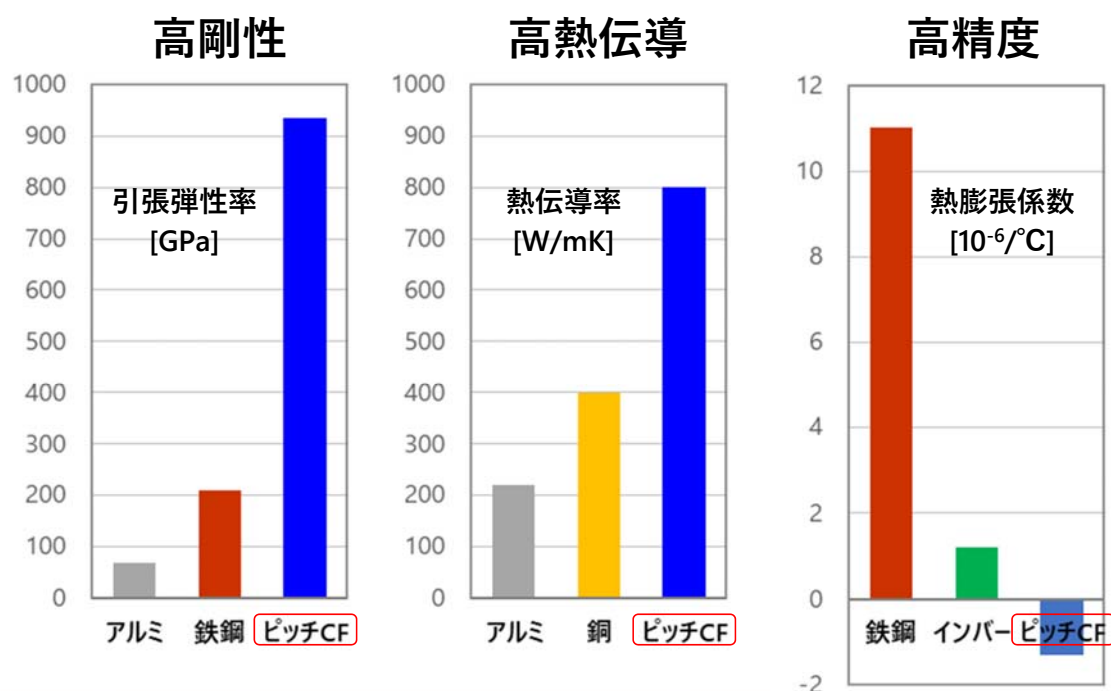
3. 超高弾性率ピッチ系炭素繊維（メソフェーズピッチ）

超高弾性率ピッチ系炭素繊維は、黒鉛結晶が繊維軸方向に並んだ黒鉛繊維



	黒鉛結晶 (a軸方向)	ピッチ系炭素繊維 (最高物性)	金属
比重 [-]	2.3	2.20	2.7 (アルミ)
弾性率 [GPa]	1020	935	206 (鉄鋼)
熱伝導率 [W/mK]	1950	800	400 (銅)
熱膨張係数 [$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	-1.3	-1.3	12 (鉄鋼)

3. 超高弾性率ピッチ系炭素繊維の特徴

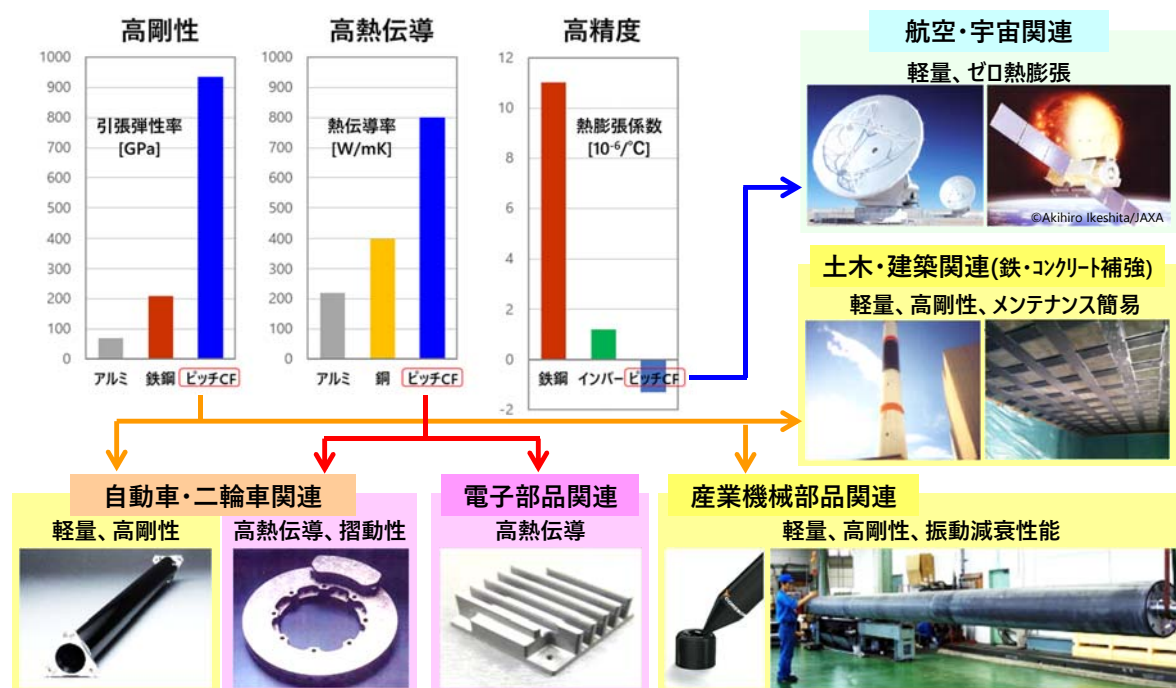


本日の内容



1. 炭素繊維の種類と製造メーカー
2. ピッチ系炭素繊維とPAN系炭素繊維
3. メソフェーズピッチ系炭素繊維と等方性ピッチ系炭素繊維
4. ピッチ系炭素繊維の特徴を生かした用途展開
5. カーボンニュートラルへの取り組み

4. ピッチ系炭素繊維の特徴を生かした用途展開



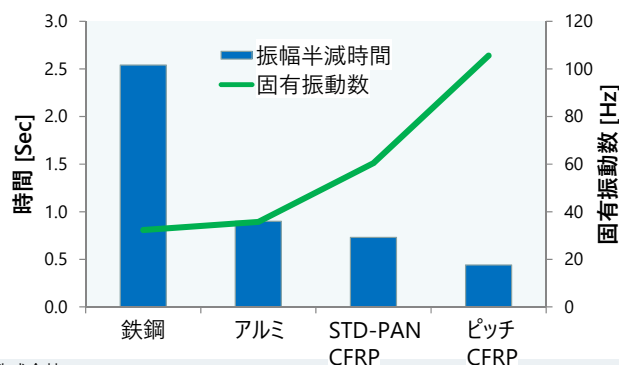
ピッチ系炭素繊維の特徴を生かした用途展開

- 1) 軽量・高剛性・振動減衰性能
- 2) 高熱伝導
- 3) 耐熱・低摩耗
- 4) ゼロ熱膨張

4. 軽量・高剛性・振動減衰性能 のメカニズム

ピッチCFRP 固有振動数 : 鉄鋼の3倍
 振動減衰速度 : 鉄鋼の1/5 → 鉄鋼、アルミより、
 高速回転、高速移動、高ピッチ(高頻度)の設計可能

	鉄鋼	アルミニウム	STD-PAN CFRP	ピッチ CFRP
弾性率 (GPa)	197	72	130	352
比重 (g/cm ³)	8.0	2.7	1.5	1.7
振動減衰波形				
固有振動数(Hz)	32	36	60	106



Specimen: 200L x 15W x 1t (mm)

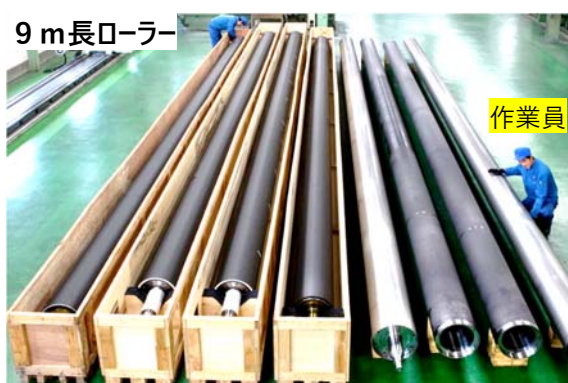
Fixed Part
 Amplitude: 2 mm

F: Calculation formula of Natural Frequency

$$F = \frac{0.178 \pi}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

E: Young's Modulus
 I: Moment of Inertia
 P: Density
 A: Cross Section Area
 L: Beam Length

4. 軽量・高剛性 (工業用カーボンロール)



面長、たわみを一定で設計した場合

素材	外径 [mm]	内径 [mm]	面長 [mm]	重量 [kg]	たわみ [mm]	慣性モーメント [kg・m ²]	危険回転数 [m/min]
鉄鋼	260	235	5,000 😊	506	0.7	6.7	1,450
アルミ	280	245		250		3.7	1,520
カーボン	180	156		106		0.7	2,080

多彩な表面加工

CARBOLEADER



クロムメッキ
 (耐摩耗性)

ステンレス
 (耐腐食性)

カーボン
 (軽量・高剛性)



- ①クラッド法により、カーボンロール表面を容易に金属表面に変換
- ②クロムメッキ他、溝加工等、通常の金属ロールと同じ加工が可能

4. 軽量・高剛性（プロペラシャフト）

高弾性ピッチ系CF-CFRPにより、**高速安定回転性能**を実現

GT500搭載モデル

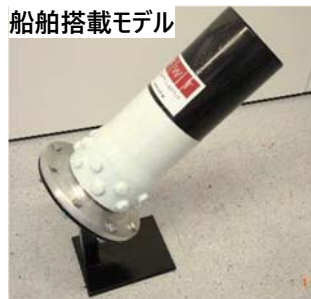


GT500搭載車



Courtesy of nismo

船舶搭載モデル



Courtesy of FWT

自動車搭載モデル

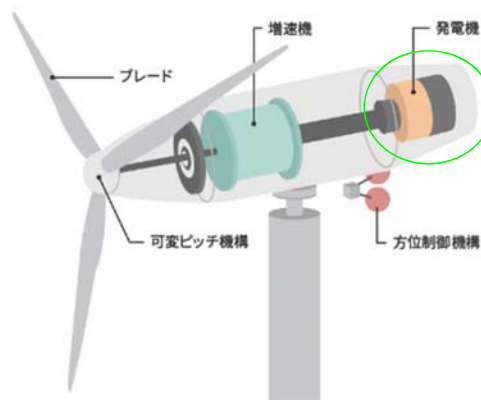


4. 軽量・高剛性（スリーブ）

高弾性ピッチ系CF-CFRPの特長

- ① **軽量**：省エネ、高速化
- ② **高剛性**：コンパクト化、高速化

風力発電 発電機部品（スリーブ）



出典：東京電力HP



部品イメージ



Courtesy of CirComp

4. 軽量・高剛性・振動減衰性能（大型工作機械）

高弾性ピッチ系CF-CFRPの特長

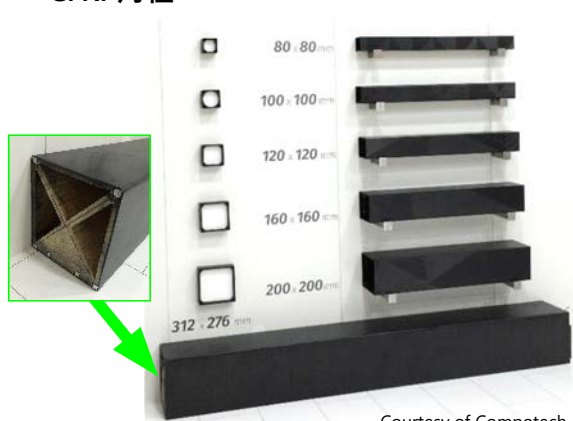
- ① **軽量**：省エネ、高速化
- ② **高剛性**：位置制御の高精度化、高速化
- ③ **振動減衰性能**：タクトタイム（生産性）向上

スピンドル（研削機械用） 下記と別案件



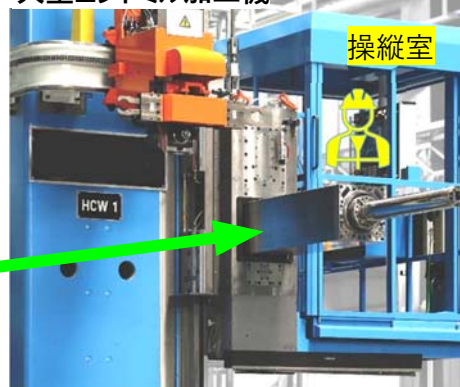
Courtesy of Carbon-Drive

CFRP角柱



Courtesy of Compotech

大型エンドミル加工機



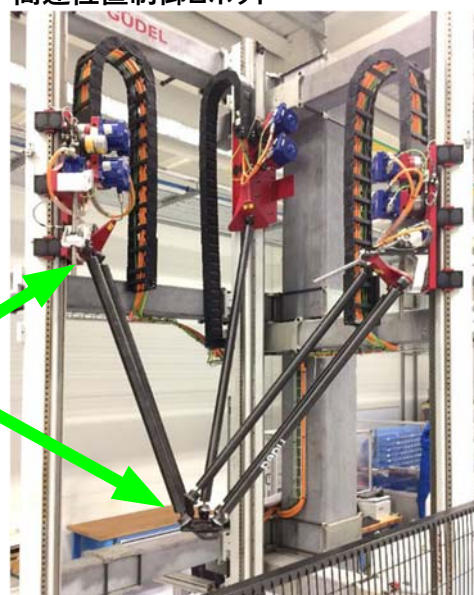
操縦室

4. 軽量・高剛性・振動減衰性能（ジョイント）

高弾性ピッチ系CF-CFRPの特長

- ① **軽量**：省エネ、高速化
- ② **高剛性**：位置制御の高精度化、高速化
- ③ **振動減衰性能**：タクトタイム（生産性）向上

高速位置制御ロボット



Courtesy of Corebon

部品イメージ



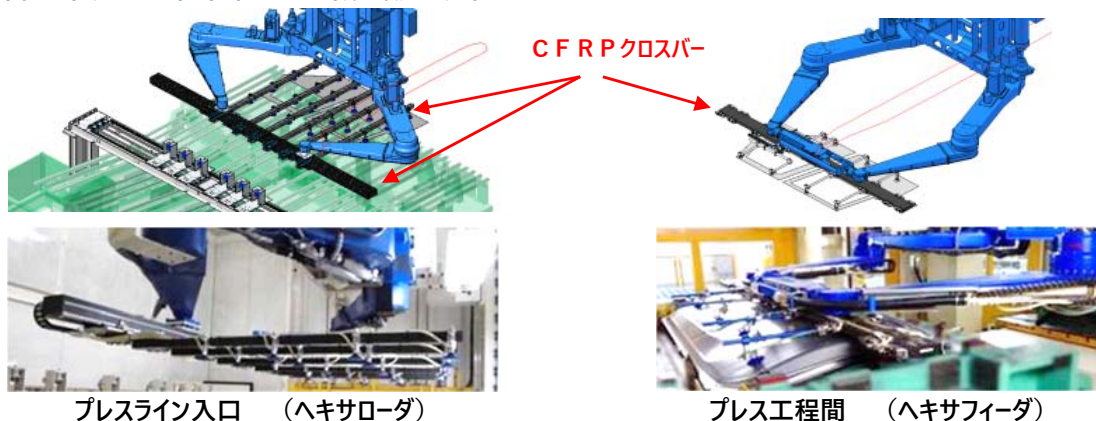
4. 軽量・高剛性・振動減衰性能（高速搬送ロボット）



高弾性ピッチ系CF-CFRPの特長

- ① **軽量**：省エネ、高速化
- ② **高剛性**：位置制御の高精度化、高速化
- ③ **振動減衰性能**：タクトタイム（生産性）向上

自動車製造用高性能プレス機の搬送装置



図・写真（株）エイチアンドエフ様のご厚意による

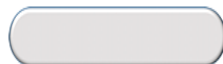
4. 軽量・高剛性（圧力容器）



超高弾性による金属補強 ➡ Type2水素蓄圧器開発（水素ステーション用）

蓄圧容器Type一覧

Type1容器: 金属ライナー



Type2容器: 金属ライナー + CFRP（フープラップ）



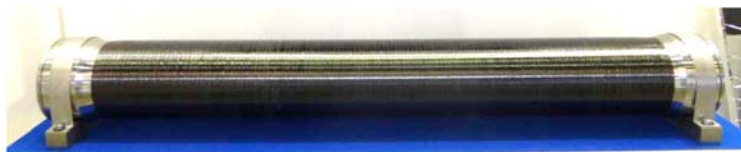
Type3容器: 金属ライナー + CFRP（フルラップ）



Type4容器: 樹脂製ライナー + CFRP（フルラップ）



1. 長寿命化：耐圧性能を鉄と炭素繊維で最適に分担
2. 低コスト化
 - ・大量生産可能な鋼管をライナ使用
 - ・ライナ応力分担最大化によりCFRP使用量低減化
 - ・ストレート型ライナによる、ライナ製造、炭素繊維巻きつけ工程簡略化
3. ランニングコスト低減：水素ステーションのメンテナンス簡易化

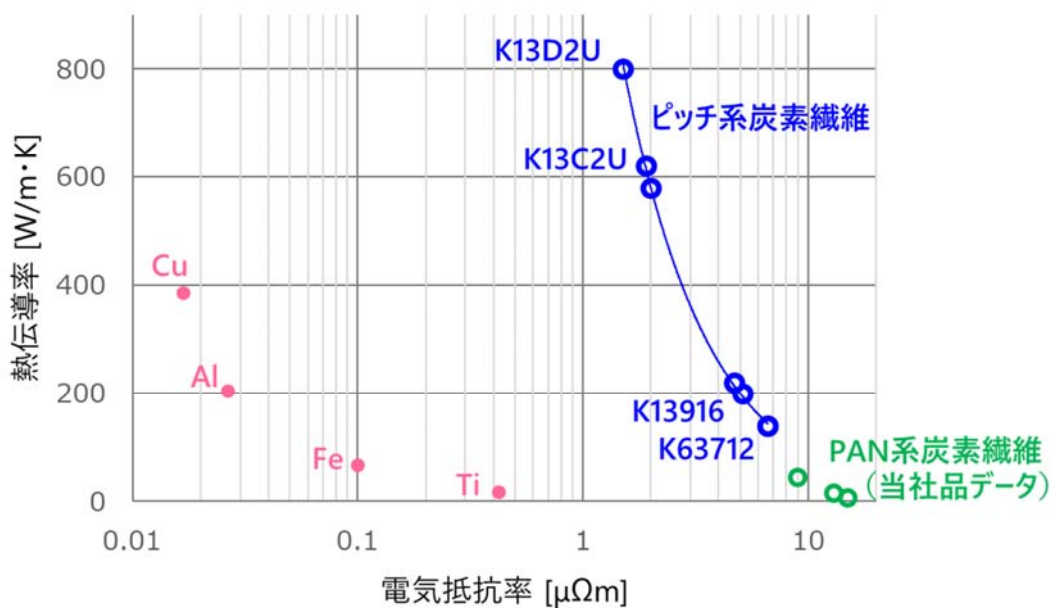


Type2 容器 水素カスステーション用蓄圧容器 試作品（40L）

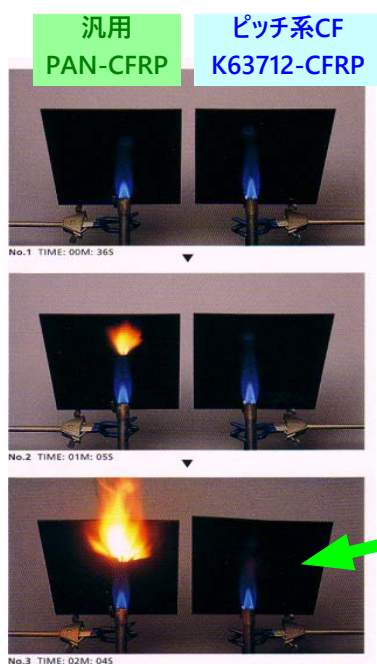
ホームページ：NEDO > ニュースリリース >
水素ステーション普及拡大に向けた研究開発に着手
ーステーションの設置・運用の規制見直しやコスト削減を目指してー より

水素利用技術研究開発事業/燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発/
平成28年度成果報告会 タイプ2 複合容器蓄圧器の研究開発 より

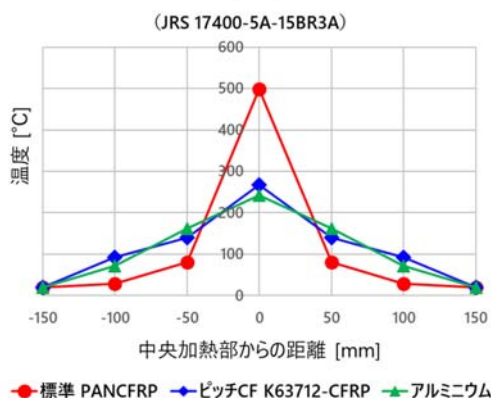
4. 熱伝導率・電気抵抗率



4. 高熱伝導（プラスチックの不燃化）

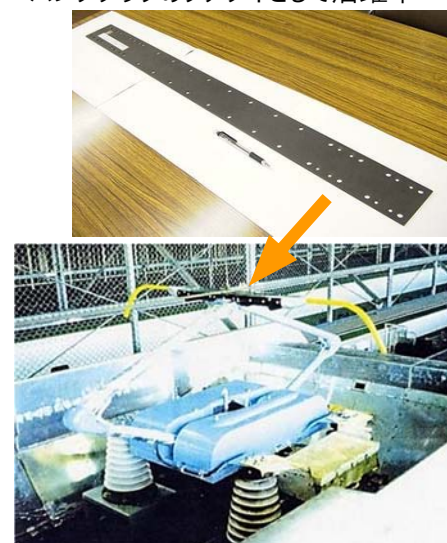


JRの不燃認定取得



高熱伝導により
除熱されて着火しない

JR、私鉄各線の電車の
パンタグラフのフナタイとして活躍中



軽量 → 架線との追随性良好、ダブル→シングルアーム
不燃 → 架線との間に発生する火花も問題なし

4. 高熱伝導（プリプレグ成型板）

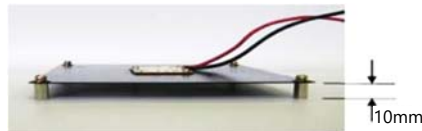
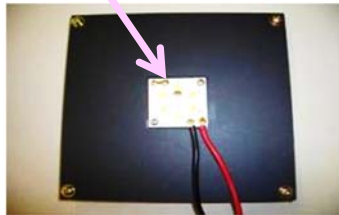
CFRP積層板（0°/90°/0°）放熱性能評価



LED点灯経過時間 30秒 90秒 150秒 210秒

CFRP積層 : 0°/90°/0°
CFRPサイズ : 120mm×120mm×0.8mm
通電 : 500mA

LED基板（熱源）



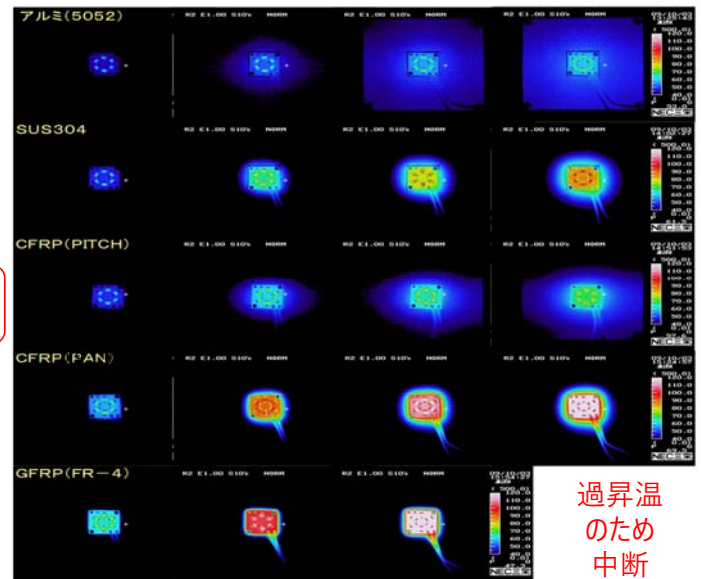
アルミ
5052

SUS
304

ピッチ系
CFRP

PAN系
CFRP

GFRP
(ガラス)



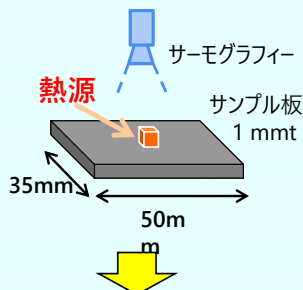
過昇温
のため
中断

4. 高熱伝導（ペレット成型品）

放熱性ペレット成型品 放熱性能評価

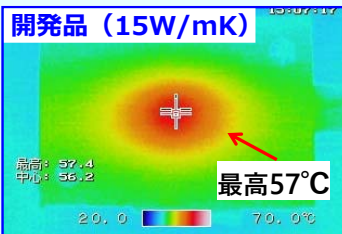
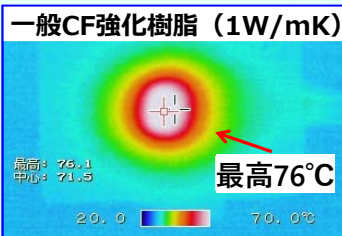


① 成型板



開発品（15W/mK）は
放熱性に優れ
最高温度が低くなる

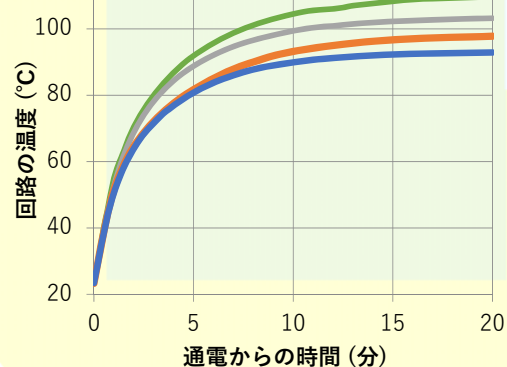
熱源を中央に設置し
サーモグラフィーにて放熱性を比較



② 成型した放熱ケース



ケース内に消費電力
1.4Wの回路を設置し
回路の温度を測定



開発品は
放熱性に優れ
ケース内（回路）
の温度を下げる
ことが可能

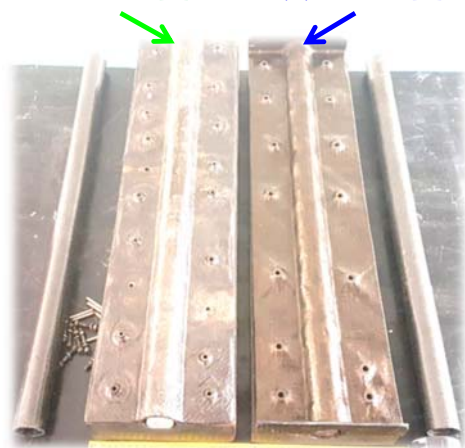
4. 高熱伝導（成型用CFRP型）

CFRP型の伝熱（放熱）のレスポンス比較

CFRP型

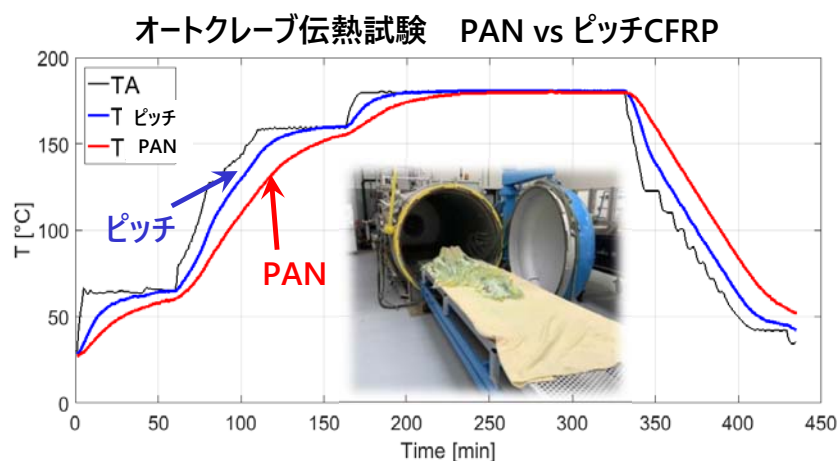
PAN-CFRP型

ピッチ-CFRP型



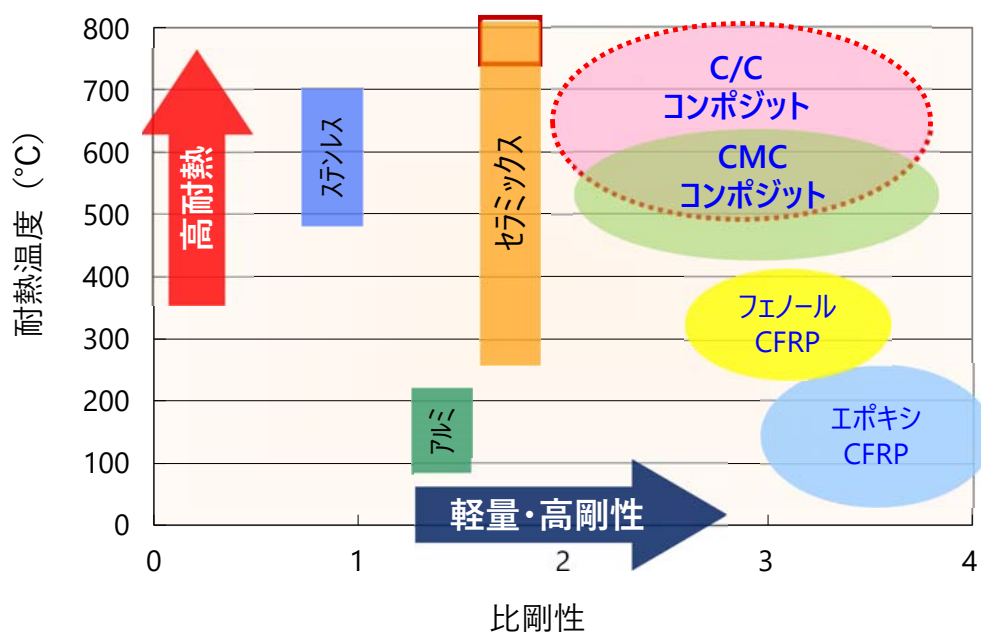
オートクレーブ成形による成型型温度追従性評価

→PAN-CFRPに比べ、ピッチ系CF-CFRPは温度追従性良好



Courtesy of the Plitecnico di Milano, GP marketing consulting S.a.s.

4. 耐熱・低摩耗



4. 耐熱・低摩耗 (C/C・CMC)

・炭素繊維強化炭素複合材料【C/C】とは？

炭素繊維(CF)を強化材
炭素(Carbon)をマトリックス

・炭素繊維強化SiC複合材料【CMC】とは？

CMC = Ceramic Matrix Composites

炭素繊維(CF)を強化材、SiCをマトリックスに追加

それぞれ炭素（高温処理物質）のみを含有した
超耐熱特性（800℃） 高強度を有する複合材料

代表物性

種類	方向性	高密度	曲げ強度	曲げ弾性率	引張強度	圧縮強度	硬度	熱伝導率		熱膨張率
		—	(X・Y)	(X・Y)	(X・Y)	(X・Y)	—	(X・Y)	(Z)	室温～500℃
		g/cm ³	MPa	GPa	MPa	MPa	HRP	W/m・K	W/m・K	×10 ⁻⁶ /℃
C/C	等方性	1.9	180	70	110	170	95	70	12	-0.5
	一方向性	1.7	440	290	295	300	95	82	2	-0.1
CMC	等方性	2.4	150	100	100	500	125	78	32	0.3
	一方向性	2.1	410	310	300	450	125	90	5	-0.1

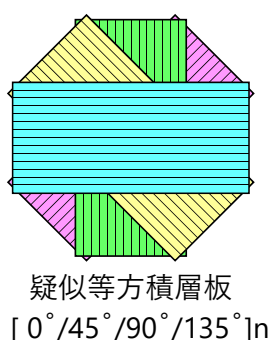
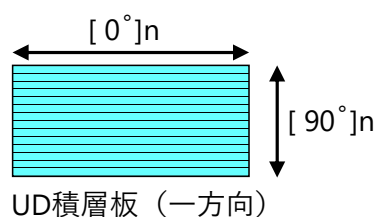


出典：航空自衛隊HP



出典：安川電機様HP

4. ゼロ熱膨張（熱膨張係数ゼロを設計可能）



ピッチ系炭素繊維はマイナスのCTE（熱膨張係数）
マトリックス樹脂はプラスのCTE



ピッチCFRPでは、熱膨張係数をほぼゼロにできる

積層パターン	DIALEAD K63712, ピッチCFRP		標準 PAN-CF, CFRP	
	弾性率 [GPa]	CTE [10 ⁻⁶ /°C]	弾性率 [GPa]	CTE [10 ⁻⁶ /°C]
[0°]n	385	-1.0	130	0.3
[90°]n	5	36	9	36
[0°/45°/90°/135°]n	130	-0.2	48	3.4

4. ゼロ熱膨張（太陽観測衛星“ひので”への適用）

熱膨張係数ゼロのパイプで光学レンズを支持：超高精度観測実現

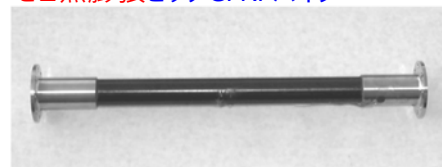


ひのでが観測した日食



©Akihiro Ikeshita/JAXA

ゼロ熱膨張ピッチCFRPパイプ



温度[°C]	熱膨張率 (CTE) [ppm/°C]			
	平均	標準偏差	最大	最小
25~80	-0.03	0.02	-0.01	-0.07

51th International Astronautical Congress, Rio de Janeiro, Oct. 2000.
High Precision Composite Pipes for SOLAR-B Optical Structures

A courtesy of Mitsubishi Electric Co.

4. ゼロ熱膨張（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計/ALMA）

高い剛性と熱寸法安定性：望遠鏡のひずみを極限まで抑制



世界初、ブラックホールの画像撮影に成功

6500 万光年先にある、M87 銀河の中心に位置する
ブラックホールの姿を捉えた画像

2019 年 4 月 10 日 NASA

撮影に使用された望遠鏡のアンテナの主構造材に、
三菱ケミカルの炭素繊維 DIALEAD® が使われています。

アンテナ主構造、キャビン等に
ピッチ系炭素繊維使用

最大 18.5km の範囲に 66 台の電波望遠鏡を配置
→ ずばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡の 10 倍の視力を実現



Photo from <http://www.eso.org/sci/facilities/alma/news/>



観測に加わった世界 8 地域のアンテナ群の 1 つ、チリのアタカマ高原に
設置された ALMA 望遠鏡



Credit:ALMA(ESO/NAOJ/NAROYS.Stanglini(ESO)

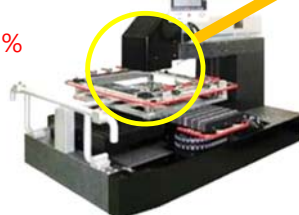
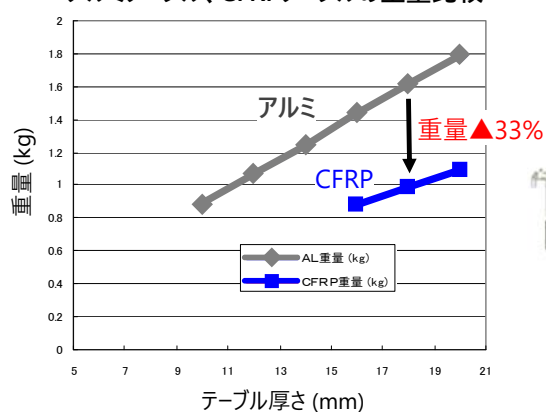
4. ゼロ熱膨張（工作機械高速移動部品）

軽量化（比重1.6～1.7）

低熱膨張・非磁性設計が可能

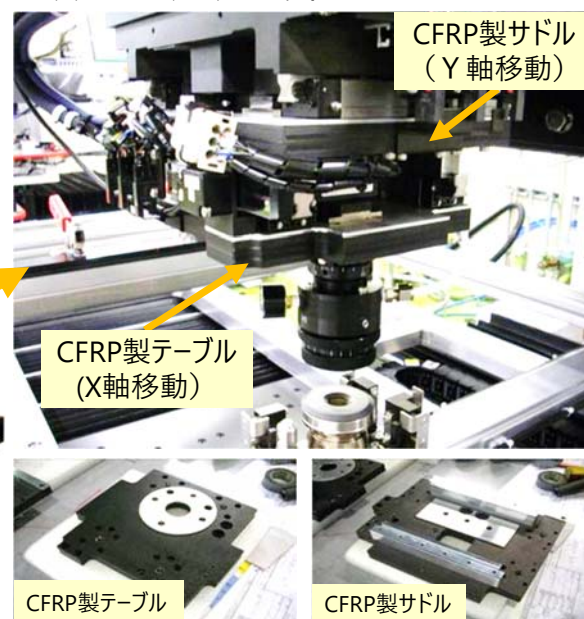
剛性アップのため、厚みを増しても、実用設計において
ピッチCFRPテーブルは、アルミより30～40%の軽量化

アルミテーブル、CFRPテーブルの重量比較



Courtesy of Nippon Sharyo, LTD

ピッチCFRPテーブル・サドル



本日の内容



1. 炭素繊維の種類と製造メーカー
2. メソフェーズピッチ系炭素繊維と等方性ピッチ系炭素繊維
3. ピッチ系炭素繊維とPAN系炭素繊維
4. ピッチ系炭素繊維の特徴を生かした用途展開
5. カーボンニュートラルへの取り組み

5. サステナブル社会の構築を目指して

サステナブルな素材、炭素繊維



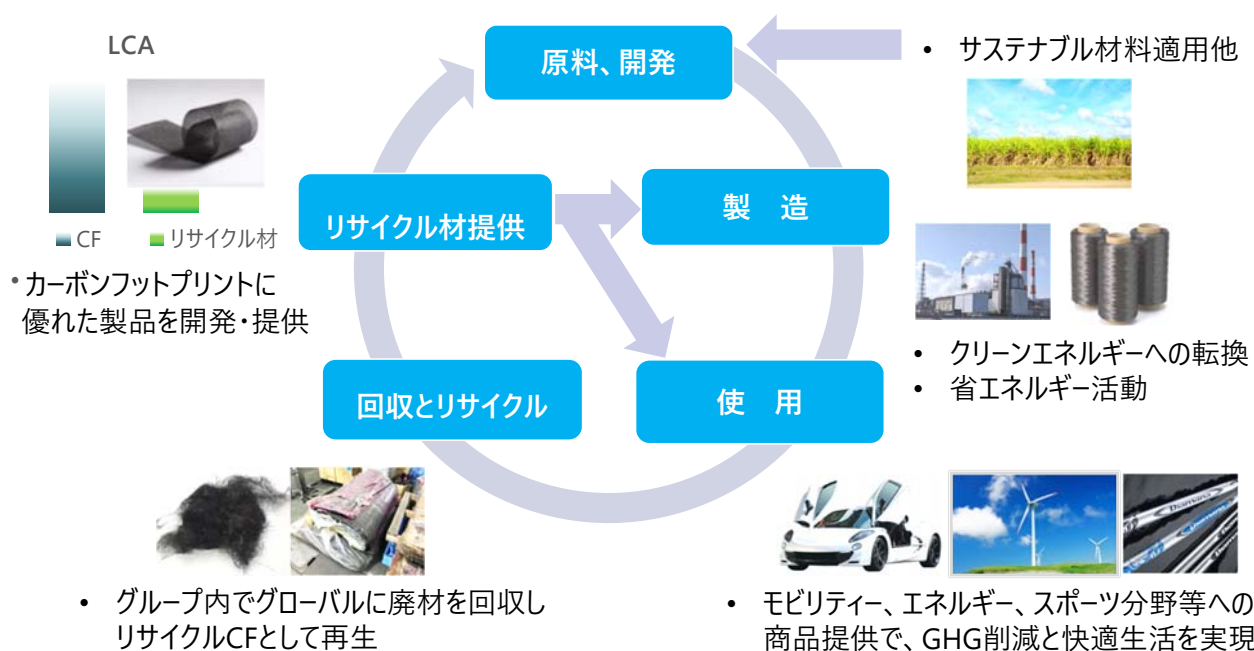
グローバル2ヶ所にリサイクルセンター
(日本、ドイツ)



ウインドサーフィンで使われる
道具をリサイクルする取組み

モビリティ分野への実装を
目指したOEMとの取組み

5. カーボンフットプリント削減に向けての取組み



ご清聴ありがとうございました。