

次世代自動車地域産学官フォーラム殿主催  
2014年2月21日  
於(株)名機製作所

CFRTPの加工技術に関する講演会および見学会

新規複合成形機によるCFRTP成形技術

(自動車におけるCFRTPの現状と成形加工における課題)

名古屋大学ナショナルコンポジットセンター  
特任教授、技術士 長岡 猛

# 目次

- 1、自動車軽量化の背景
- 2、樹脂系材料の採用状況
  2. 1、樹脂系材料の使用状況
  2. 2、外板への樹脂系材料の採用状況  
PP樹脂、エンジニアリングプラスチック、LFT、発泡成形、樹脂ガラス、エコプラ
- 3、樹脂系材料採用における課題  
価格競争力、界面
- 4、さらなる軽量化対策
  4. 1、炭素繊維強化コンポジット
    4. 1. 1、炭素繊維の現状
    4. 1. 2、航空機と自動車での要求性能比較
    4. 1. 3、自動車での展開例
    4. 1. 4、CFR(T)P採用時の課題
    4. 1. 5、CFRPと各種成形法の比較
    4. 1. 6、カーボンコンポジット成形、複合成形、成形機例
  4. 2、マルチマテリアル化、海外のプロジェクト

補足資料1、コストダウンを目指した直接成形

補足資料2、名古屋大学ナショナルコンポジットセンター概要

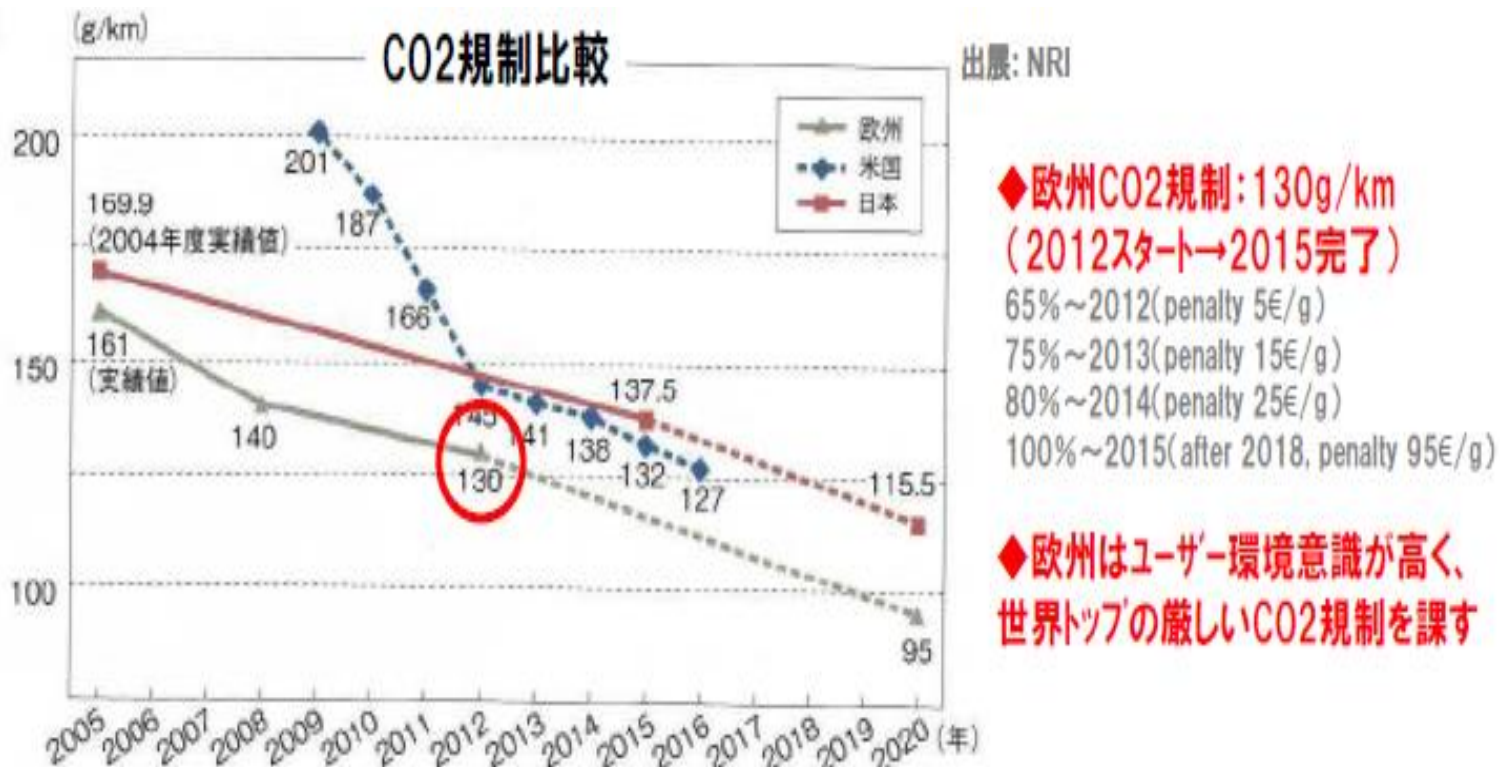
# 1、自動車軽量化の背景

自動車の軽量化が何故必要か？

ガソリン車の炭酸ガス排出量の削減・規制の強化

EV車のバッテリー重量への対応

駆動系の改善のみでは達成困難で車体の軽量化が必要



## 国内自動車の保有台数と平均重量の推移

安全装置、居住性等の要求で車体重量は増加傾向にある。

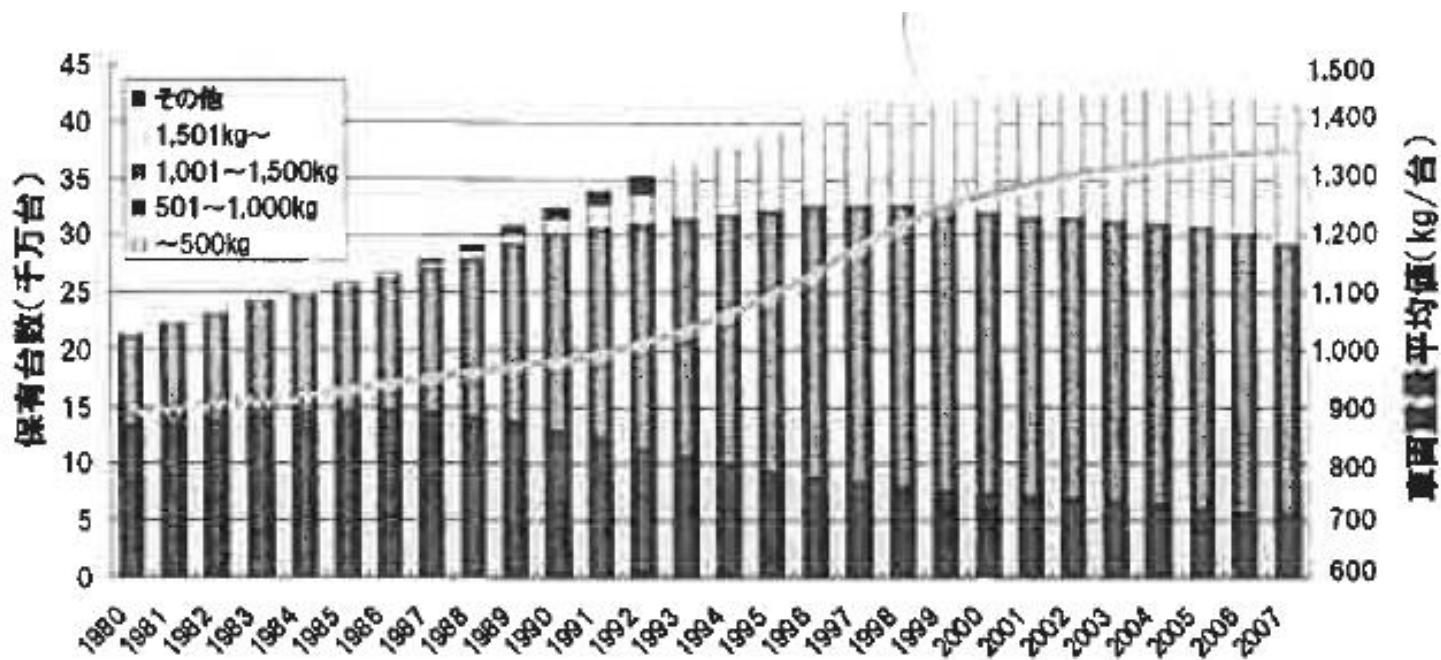
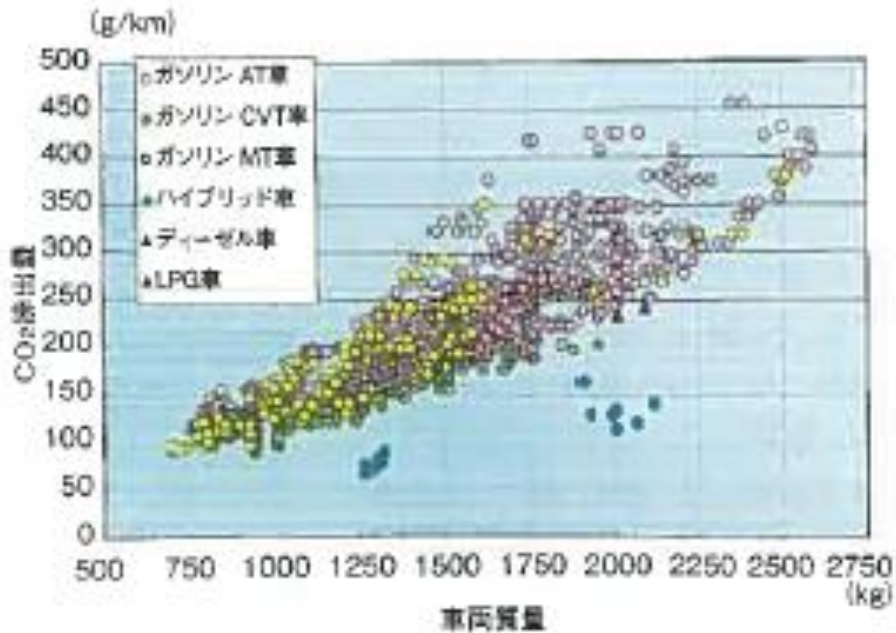


図2 国内における自動車保有台数と平均重量の推移<sup>2)</sup>

出展:板倉浩二(日本塑性加工学会春季大会)



## 自動車重量とCO2排出量

### 2015年の車のイメージ

樹脂部品、アルミの採用増加



図2 2015年ごろのクルマ

130g/Kmにするには？  
800Kgまで軽量化が必要

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (g)} = \frac{\text{燃料中の炭素含有量 (g/L)} \times \text{走行距離 (km)}}{\text{車両の燃費効率 (km/L)}}$$

出展: 板倉浩二 (日本塑性加工学会春季大会)

# 超軽量車

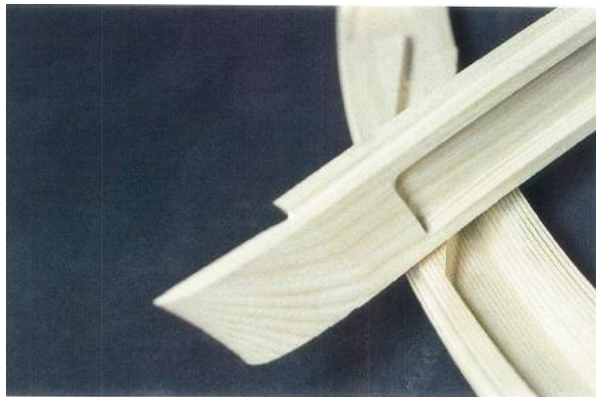
# SKZ(K2010)



重量:221kg  
3.2×1.28×1.28  
ディーゼルエンジン(3.5kw)  
水素ガスエンジン(2kw)  
最大速度:65(D)、50(H)Km/h  
燃費:280Km/L(H)



FRAME(アルミニウム)+木枠+床:綿布(エポキシ含浸)



## 2、樹脂系材料の採用状況

2. 1、総重量の約10%がプラスチック、  
6%がPP樹脂

### 2. 2、外板

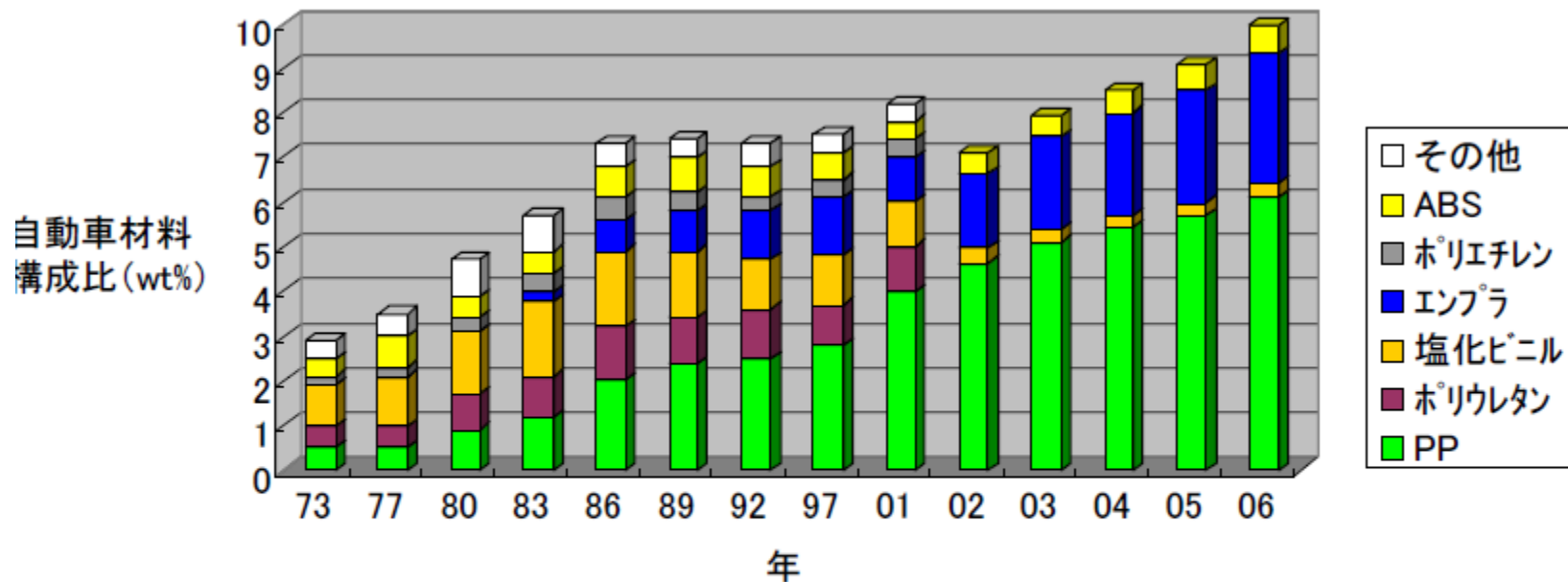
バンパー(PP)、フロントエンドモジュール(LFT)  
フェンダー(PPO,PP) ドアモジュール(PP,LFT)

### 2. 3、内装(大半がプラスチックでPPが主流)

ドアトリム、インパネ、ピラー、他

## 2, 1、樹脂系材料の採用状況

図1 自動車構成樹脂の重量比率の推移



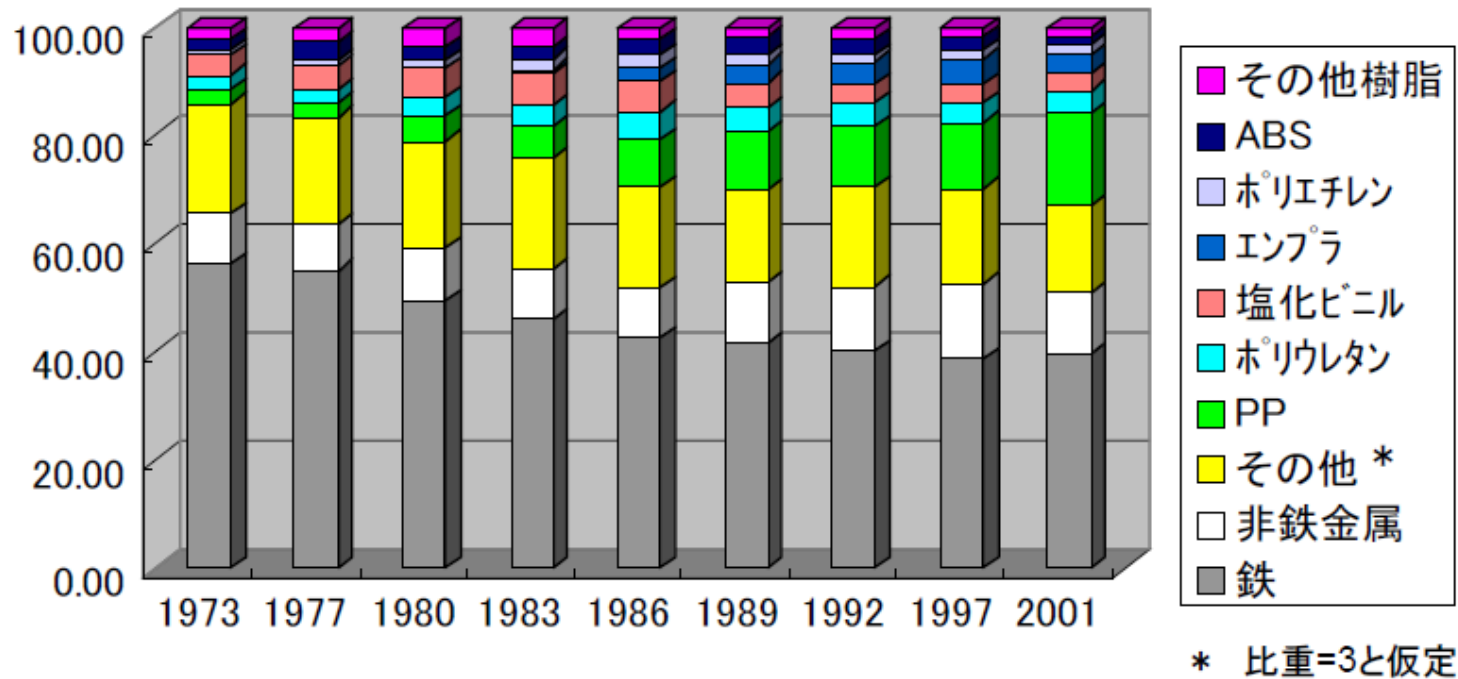
●~2001日本自動車工業会公開データ

●それ以降は各種公開データからの推定値 (PP、PVC、エンプラ、ABSのみ)

出展: 藤田祐二 (自動車技術09年4月)



# 図2 自動車構成原料の容積比率



**PPの用途拡大が自動車の軽量化に寄与**

出展; 藤田祐二(自動車技術09年4月)

## 2. 2、外板への樹脂系材料の採用例

### 2. 2. 1、ポリプロピレンの外板

#### BOREALIS (K-2010出展車)



PP外板: バンパー(フロント、リア) フェンダー エアロパーツ

PP外板 / PPGF-LFT インナープレート

BODY PARTはSMART2, SMART4にも採用

# 外板PPのSMART2をアウトバーンで見つけました (2010年10月29日)



## K-2007にて発表



**Smart ForTwo body panels** (Injection)

**The challenge**

- Cost-effective production process
- Smooth transition from PCPBT to PP

**The solution**

- Daplen ED230HP, in-mass coloured PP compound for the first car with full PP body panels

**The benefits**

- Efficient production process
- Quality aesthetics
- Improved driver safety

**Addressing global challenges**

- 15% weight reduction adding to fuel savings
- Fully recyclable

Product	
<b>Daplen ED230HP</b> Daplen offers a very good balance in stiffness/impact and has very good scratch resistance and low gloss.	
Daplen ED230HP	Physical properties (typical values)
MFI [230/2.16]	10
Tensile Modulus [MPa]	1,800
Notched Impact 23°C [kJ/m <sup>2</sup> ]	30
HDT [B] 0.45 MPa [°C]	52

出展 Borealis HP

スマートボディーパネル (インジェクション成形)

【材料】

PP + 顔料MB (表面傷つき防止クリアーコート)

## 2.2.2, 外販部品への採用例(エンジニアリングプラスチック)

FENDER MODULE(PP樹脂): 高意匠対応

BMW X5に採用されたフェンダーモジュール

商用車などの組み立てが容易になる



シトロエンC4フロントフェンダー  
(変性PPE樹脂)(NORYL)



## PP樹脂によるドア例



PP樹脂製サイドドア

(豊田合成、東京モーターショー2009)<sup>9)</sup>



カローラフィールダー  
内外装にPP樹脂を採用  
(2012年5月)

## 2. 2. 3、繊維強化樹脂(金属部品を樹脂化し、軽量化)

### 1) 強化繊維の種類

強化繊維には、合成繊維と天然繊維が存在する。

表1 強化繊維代表例

種別	分類	主な繊維例
合成繊維	化学合成繊維	レーヨン、アセテート、セルロース、
	有機ポリマー	アクリル、アラミド(ケブラー)ナイロン、オレフィン、ポリエステル
	無機繊維	ガラス繊維、炭素繊維、ボロン、ウイスカ
天然繊維	植物繊維	綿花、大麻、ジュート、竹、ココナッツ、バナナ、ケナフ
	動物繊維	絹、羊毛、モヘア
	鉱物繊維	バサルト繊維、アスベスト繊維

## 2) PP-GFLFT(長纖維GF強化熱可塑性樹脂)採用 (K2010)



出展: YUDO

現代自動車(FRONT-END-MODULE, SIDE DOOR MODULE)



SABIC A3CC スポーツクーペ

FRONT-END-MODULE

COCKPIT MODULE

(樹脂、成形: STAMAX)

## Side Door Module

### サイドドアモジュール



ドアモジュールプレート

ドアモジュール



マツダ、『アテンザ』の生産技術を少しだけ公開——コスト削減の秘密は…

マツダは、モジュール部品を組み付ける基材(モジュールキャリア)用のボディ構造材としてポリプロピレンの新素材を開発するとともに、高強度を実現するガラス繊維複合材の射出成形法を新たに開発した。

MAZDA



# フロントエンド(ラジエーターサポート)モジュール

日産自動車 スカイライン、GTR

VWEoS



PP + 長繊維GF



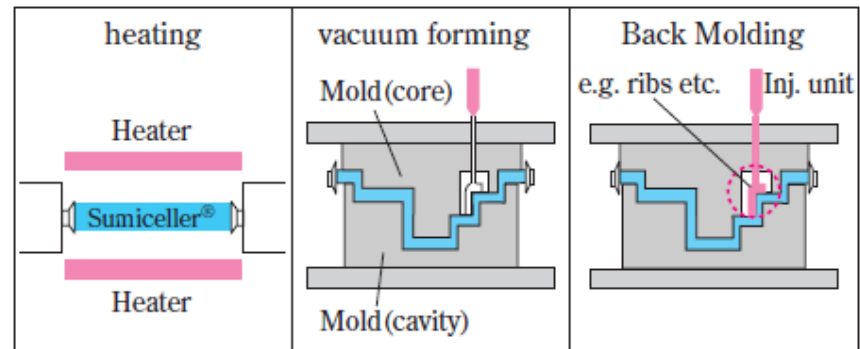
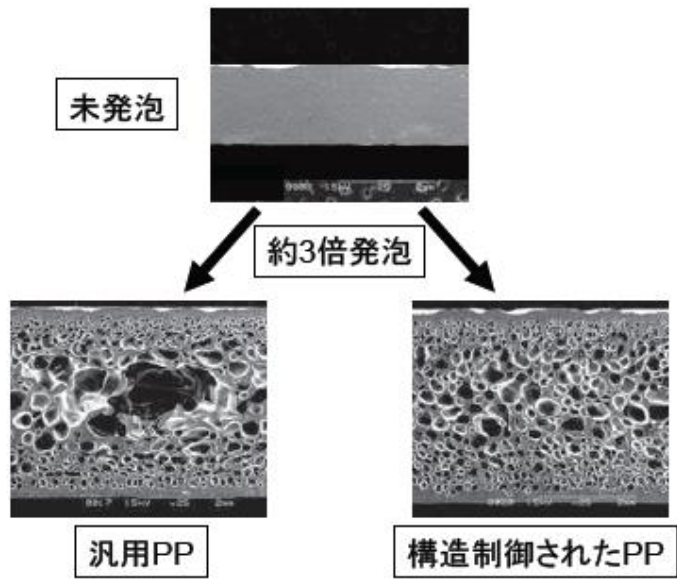
CF(30%)強化PP樹脂の採用(軽量化)

## 長繊維強化プラスチックペレットの供給メーカー

メーカー	商品名	メーカー	商品名
Borealis	NEPOL®	PlastiComp	COMPLÈT®
COMUSA	FUNCSTER®	Polyram	POLYTRON®
Daicel	PLASTRON®	Prime Polymer	MOSTRON L®
Dow	INSPIRE®; MAGNUM BRACE®; ISOPLAST®	Qingdao Haier	HAIER®
DuPont	ZYTEL®; ZYTEL® HTN	RheTech	RHEMAX®
EMS-CHEMIE	GRIVORY®	Rhodia	TECHNYL FORCE®
FACT	FACTOR®; PRYLTEX®; TRIBOCOMP®	RTP	RTP®; VLF®
GE Plastics (LNP)	VERTON®	Sabic	STAMAX®
Genius	GENIUS®	Sambark	SUPRAN®
Japan Polypropylene	FUNCSTER®	Samsung Total	SAMSUNG®
Kingfa	KINGFA®	Sumitomo	SUMISTRAN®
LG	LG®	Taizhou Yong Sheng	YONGSHENG®
MTI	THERMOSTRAN®	TechnoCompound	TECHNOFIBER®; TECHNOPET®
Nanjing Bastep	JULONG®; BASTEP®	Ticona	CELSTRAN®; COMPEL®
Owens Corning	HIPERGRON®	Vetrotex	TWINTEX®
Oxford	STRANOX®	Zhejiang Gidin	GIDIN®

## 2. 2. 4、樹脂系材料での更なる軽量化(発泡成形品の採用)

### 1), Foam molding (new technology)



**Fig. 3** Back Molding Process (Combination of vacuum forming and injection molding)

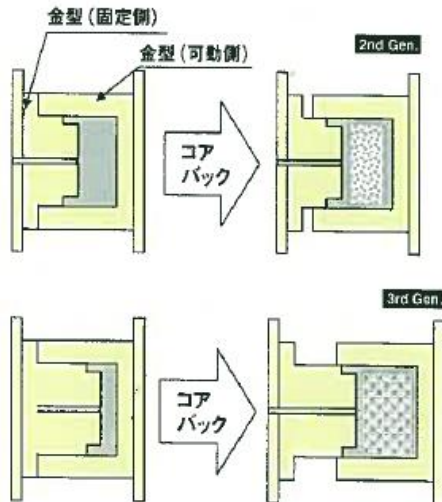
Hybrid foam process (Sumitomo Chem.)

Melt-tension controlled foam inj. (JPP)

# PRIUS adopted a foamed door trim to decrease weight

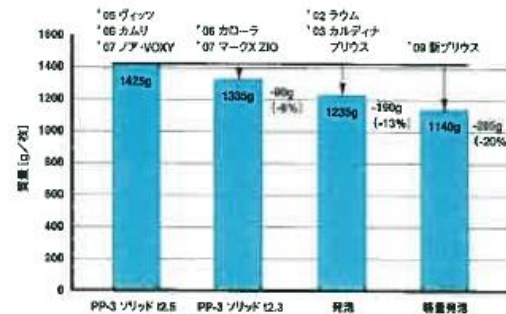


型に樹脂を流し込んだときの流れはコンピュータでシミュレーション。金型を冷やす冷却水の配管の位置や排出するポイントは航行錯誤を繰り返した。スピーカー穴も一体成形。裏にハニカム形状の増強が施してある。



### 製法の開発

軽量化（＝使用材料の低減）を実現するためには、発泡倍率を上げつつソリッドPPと同等の剛性を確保するのが課題だった。射出板厚が低下すると、冷却が促進（樹脂固化）され、発泡能力が低下。板厚が不足したり、アバタが生じたりする。これを、コアパックのタイミングと射出速度の適正化などで解決した。

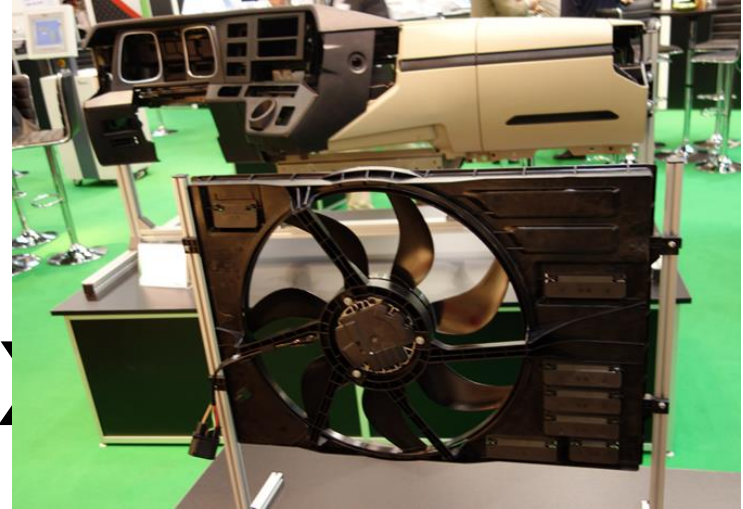


### 軽量化の推移

3代目プリウスと同じ形状のドアトリムボードを製造した際の質量を、異なる材料を用いた場合と比較したグラフ。発泡PPを使う2代目プリウスとの比較でも8%の軽量化を実現。1台分4枚で380gの軽量化に相当する。

Honda also adopted a foamed door trim for INSITE which is developed by 20 KOBE and JPP

MuCell(超臨界ガス発泡で熔融ポリマーを高流動にし、  
0.5~100 $\mu$ mの発泡セルをもつ発泡成形技術)(K2013出展)

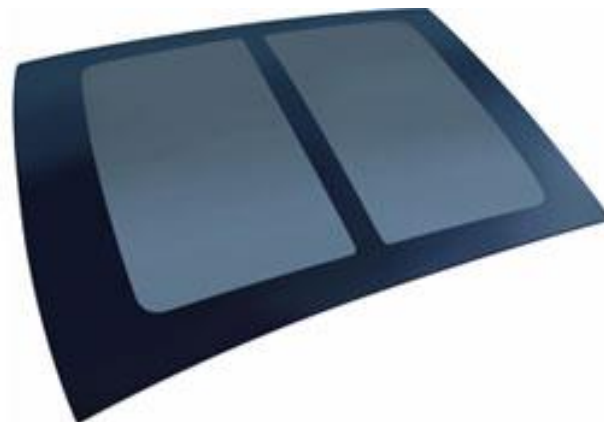


Volkswagen Golf7のインパネはPP-GF30にミュセルで500g軽量化。  
超臨界高流動により低い型締め力が可能で、通常よりも小型成形機が可能との表示。

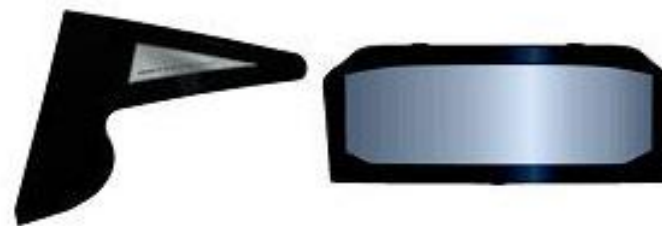
## 2. 2. 5、ガラスの樹脂化による軽量化



試作樹脂性ウインドウ(右)と  
それを搭載したバックパネル<sup>8)</sup>



(図1)トヨタ プリウスαに搭載された樹脂パノラマルーフ



(図2)レクサス LFAに搭載された樹脂クォーターウインドウ(左)  
と樹脂パーティション(右)

トヨタ自動車

上図: パノラマルーフ(プリウス)

下図: クォーターウインドウ(レクサスLFA)

## 2. 2. 6、環境への対応

### 1) エコプラスチックの採用(表面積の60%、重量の20%)

#### NEW PLAN OF ECO-PLASTICS APPLICATIONS OF TOYOTA MOTORS

##### 1,POLICY

1.1,WILL USE ECO-PLASTICS FOR 60% AREA OF PLASTICS PARTS IN 2009

1.2,WILL USE ECO-PLASTICS FOR 20% WEIGHT OF PLASTICS PARTS IN 2015

#### EXAPLE OF APPLICATIONS OF ECO-PLASTICS

Application part		Material		note
Part Name	Place	Biopolymer	Oil-based	
Scarf plate	whole	PLA	Polypropylene	compound
Caul side trim	whole	PLA	Polypropylene	compound
Floor finish plate	whole	PLA	Polypropylene	compound
Tool box	whole	PLA	Polypropylene	compound
Roof head lining	surface	Plant-based Polyester	PET	compound & yarn
Sun visor	surface	Plant-based Polyester	PET	compound & yarn
Piller	surface	Plant-based Polyester	PET	compound & yarn
Language trim	surface	PLA	PET	
Door trim aunament	base	PLA & Kenaf		compound
Seat cushion	foam	Rincinus oil based polyol	Isocyanate	PU foam

# SAMPLE-PART OF ECO-PLASTICS BY TOYOTA MOTORS



SCAFPLATE(PLA&PP)



DOOR TRIM AUNAMENT(PP&KENAF)



SEAT CUSHION (PU:RICINUS OIL BASED POLYOL & ISOCYANATE 24



# ダイムラーベンツ(サイザル麻と熱可塑性樹脂)



parts of the Mercedes-Benz S-Class that are made from natural fiber reinforced composite material.

## ADVANTAGES

Processing natural fibers requires less energy than glass fibers.

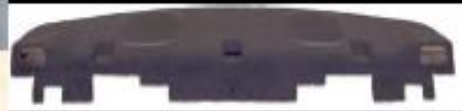
- Natural fibers weigh 40% less than glass. This weight reduction leads to better fuel economy.
- Natural fiber-reinforced polypropylene can be recycled by shredding it for injection molding.
- Working conditions are safer, as natural fibers are harmless—unlike glass, which can cause skin rashes and respiratory disorders).
- Potential sources of natural fibers include plants like flax, sisal, and hemp. Therefore, the material can be locally sourced all over the world. Not only does this reduce transportation costs and associated pollution, but can also create new industry in the third world.

## Natural fiber parts by Meridian Automotive Systems and Associated Automobiles

GMX 210RR (Impala) Shelf Trim



GMX 230RR (Monte Carlo) Shelf Trim



GMX 310RR (Bonneville) Shelf Trim



Subaru 66L Load Floor Trim



## 2.2.7, 植物由来樹脂による更なる環境対応

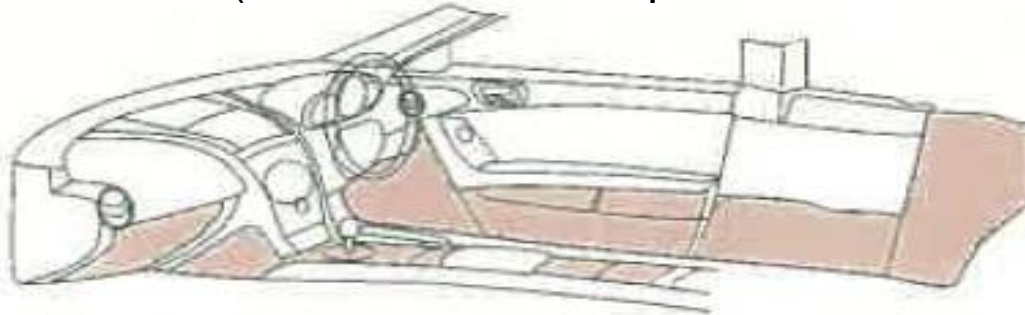
TOYOTA MOTORS[FINE-X]

PLA WITH KENAF AND HEMP FOR INTERIOR PARTS



# 生分解性樹脂 PLA for interior parts (MAZDA)

(Heat distortion temp. is more than 120°C)



**図3 新開発のバイオプラスチックを適用可能な内装の部位**  
茶色に着色した部分が、今回開発した新材料を適用可能な部分。

**表 従来のポリ乳酸と開発材料, 内装用PPの物性比較**

	市販ポリ乳酸	今回の開発材料	内装用PPの代表的な物性
引っ張り強さ(MPa)	70	50以上	25程度
曲げ弾性率(GPa)	3.7	2以上	1程度
熱変形温度(°C, 軽荷重)	53	120以上	110程度
アイソット衝撃強度(kJ/m <sup>2</sup> )	3	7以上	5程度



**図1 新開発のバイオプラスチックの成形例**



**図4 新開発のバイオプラスチックでドアモジュールの基板を成形した例**

### 3、樹脂系材料採用における課題

#### 3. 1、価格競争力

軽量化効果は大きい、コストが課題

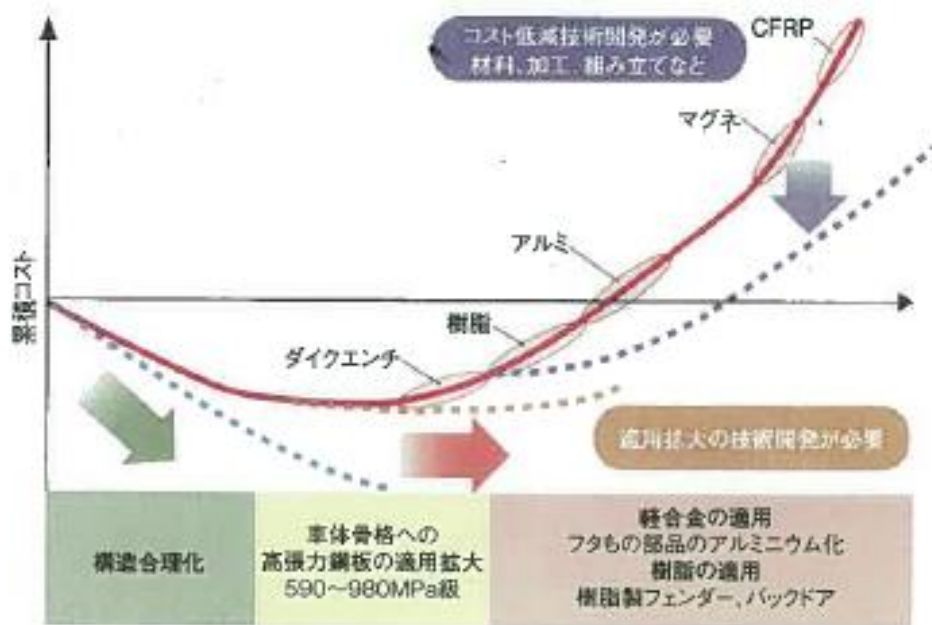


図3 軽量化と累積コストの関係<sup>1)</sup>

構造の合理化はコストも押し下げるが、高張力鋼板や新素材の採用でコストは上がっていく。(出典：日産自動車)

ステップ1、鋼板の軽量化(超高張力鋼の採用)  
;加工性

ステップ2、アルミ化による軽量:ハイブリッド化

ステップ3、マグネシウム採用:強度

ステップ4、樹脂部品の採用:効果は大きい  
価格が問題

ステップ5、カーボン(CF)の採用価格

# 3. 2、繊維強化材料の課題 界面 (繊維、樹脂の適切な処理が必要)

処理品

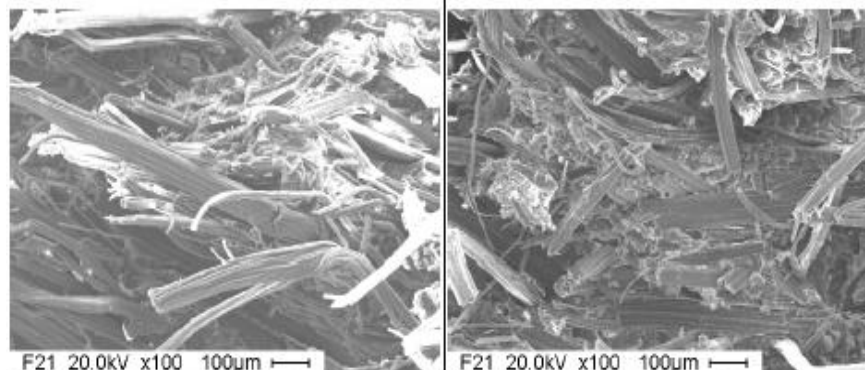
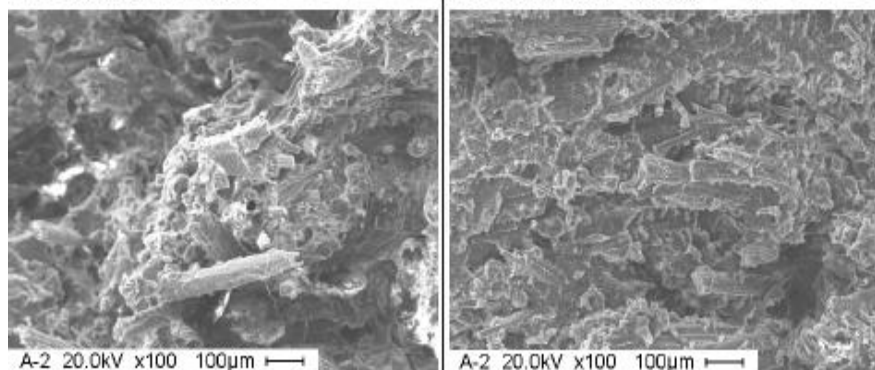
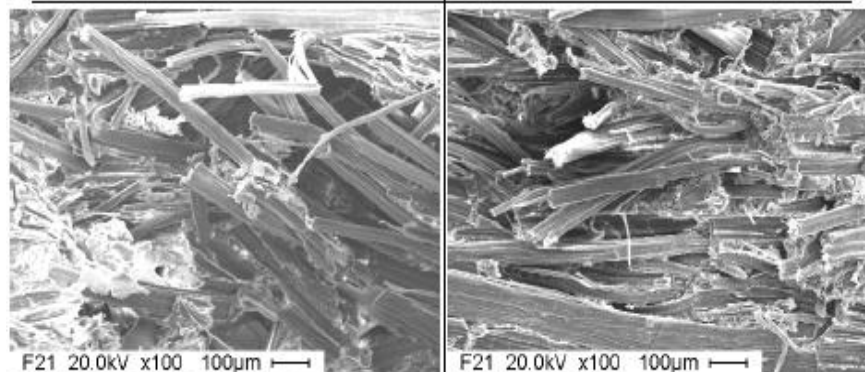
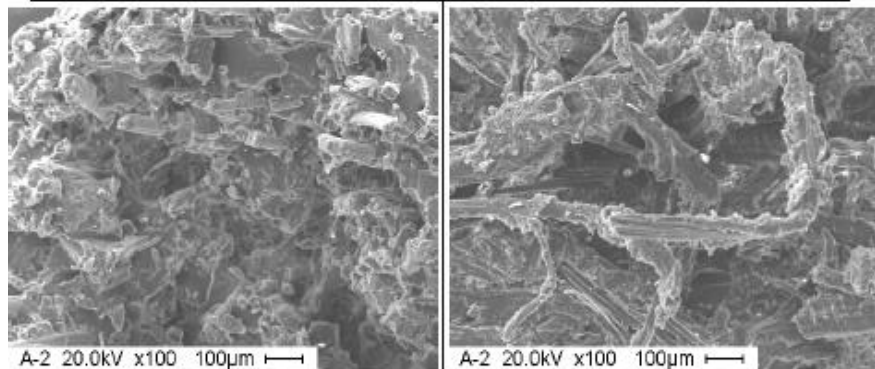
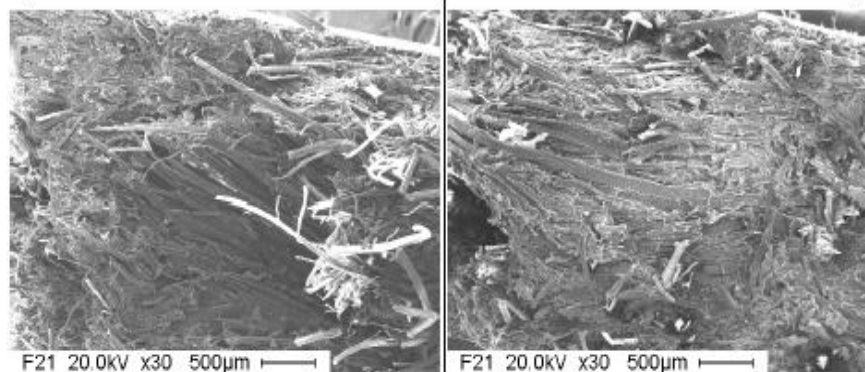
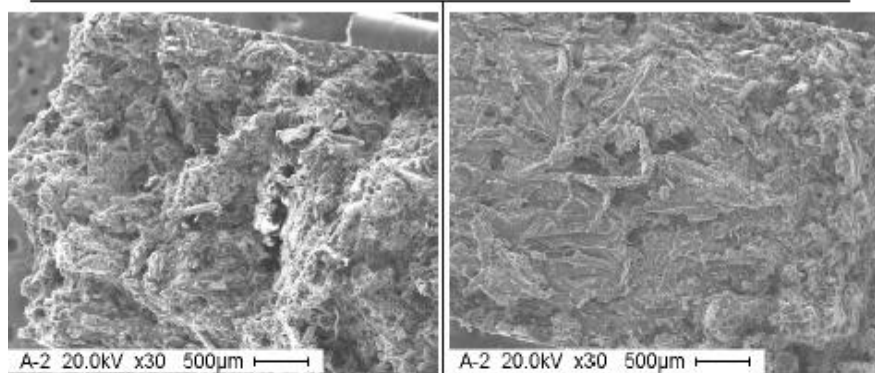
未処理品

PP/JUTEテストピース引張試験後破断面 SEM観察写真

PP/JUTEテストピース引張試験後破断面 SEM観察写真

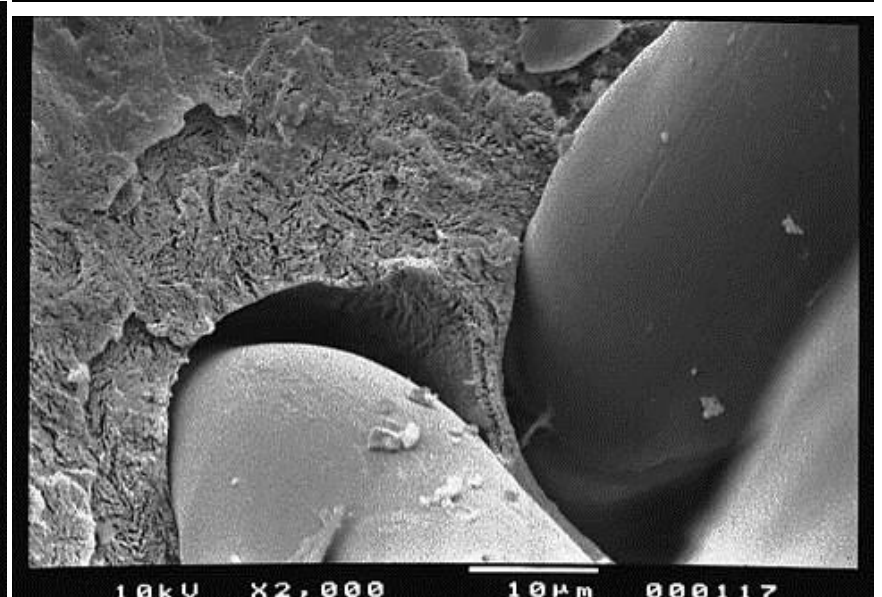
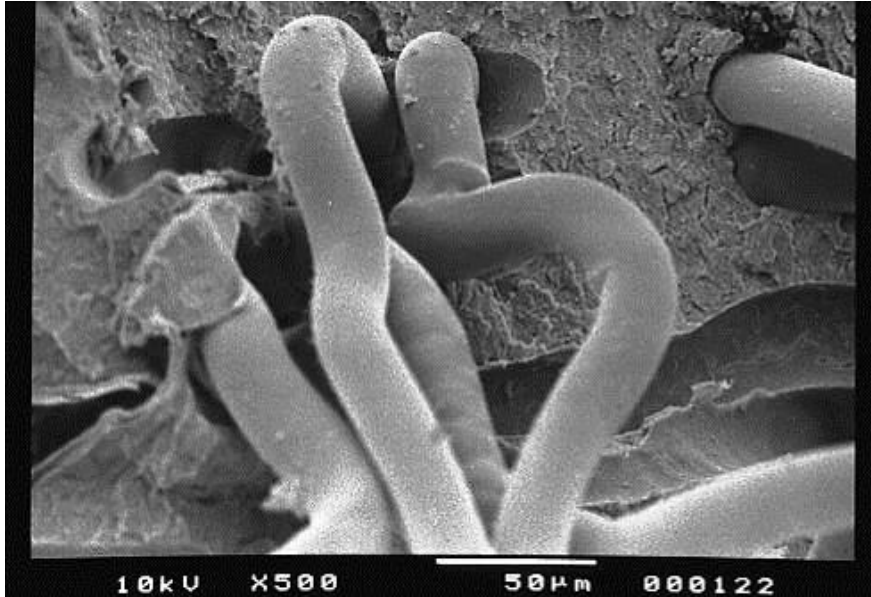
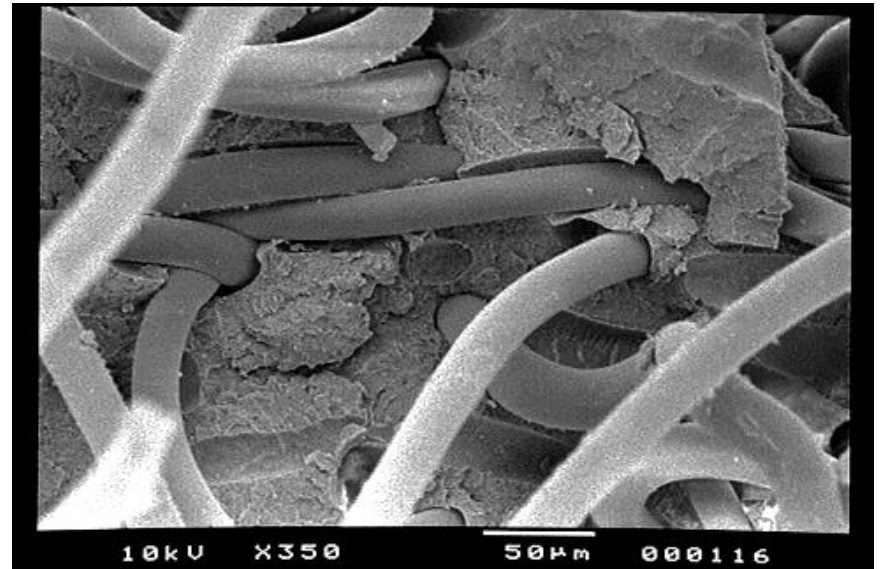
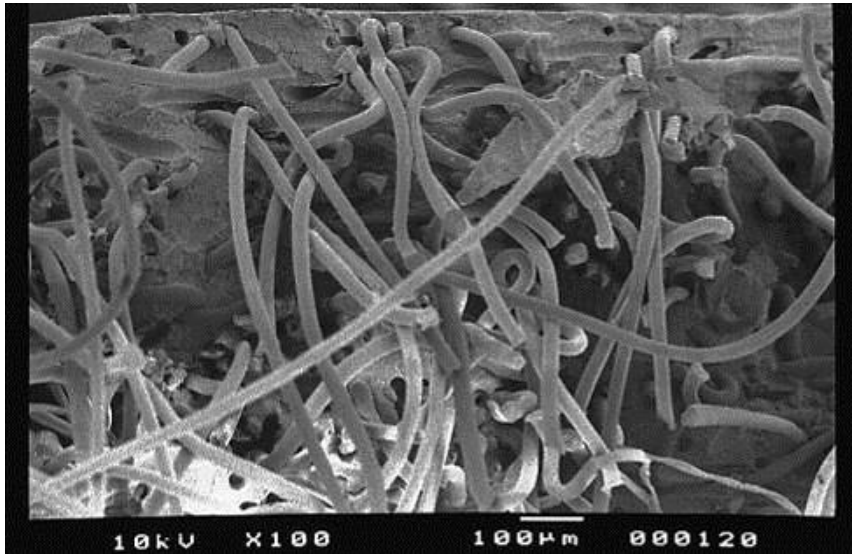
A-2

F-21



# 非相溶性樹脂 & 繊維(プロセスオイル使用)の組み合わせ

PET繊維強化POM: 破断面に対し垂直の方向からSEM観察しました。



## 4、さらなる軽量化対策(炭素繊維コンポジットによる車体重量の軽減)

### 4. 1、炭素繊維コンポジット

#### 4. 1. 1、炭素繊維の現状

表1、炭素繊維の市場予想

(単位 Mトン)

情報源	年度						
	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2020
東邦テナックス(1)			83450	90,650			
東レ(2)		70,100		89,800(推定)			
中華民国台湾投資通信(3)		28,000					152~180,000
東レ経営研究所(4)	29,985	33,563	37721			63545	137,245
富田隆弘(5)		約70,000			約90,000		
(株)グローバルインフォメーション(6)				67,000	113,000		219,000

#### 引用文献

- (1)種市伸彦:25th Composite Material Seminar(2012)
- (2)河村雅彦:24th Composite Material Seminar(2011)
- (3)中華民国台湾投資通信:Vol. 209, Jan. 2013,
- (4)平成23年度中小企業支援調査「サプライチェーンを見据えた高性能繊維及び活用・加工技術の実態調査」(平成24年3月)
- (5)富田隆弘:日刊工業新聞社主催講演会(2012年12月11日)
- (6)プレスリリース:(株)グローバル・インフォメーション2013, 1, 25

図表 0.2 炭素繊維の需要見通し(単位:ト)

分野	明細	2009	2010	2011	2015	2020	平均 伸び率
宇宙航空機	民間航空機	2,940	3,381	3,888	6,800	13,678	1.15
	その他	2,271	2,407	2,552	3,221	4,311	1.06
	小計	5,211	5,788	6,440	10,022	17,989	1.13
スポーツ他	スポーツ	4,110	4,192	4,276	4,629	5,110	1.02
	その他	1,641	1,838	2,058	3,239	5,708	1.12
	小計	5,751	6,030	6,335	7,868	10,819	1.06
産業用	風車	6,330	7,786	9,577	21,920	61,711	1.23
	圧力容器	1,140	1,368	1,642	3,404	8,470	1.20
	自動車	1,620	1,863	2,142	4,569	15,096	1.23
	その他	9,933	10,728	11,586	15,762	23,160	1.08
	小計	19,023	21,745	24,947	45,655	108,437	1.17
合計		29,985	33,563	37,721	63,545	137,245	1.15

出展: 東レ経営研究所; 平成23年度経済産業省委託調査



## 産業用途における炭素繊維の使用例

分野	対象	使用箇所（例）
産業	自動車	プロペラシャフト、レーシングカー、CNG/CHG タンク、スポイラー
		ボンネットフード、ボディパネル、アクセサリ類
	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
	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、ウラン濃縮筒、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、VTR部品、DVD/CD装置部品、ICキャリアー
	風力発電	ブレード
	圧力容器	油圧シリンダー、ポンペ
	海底油田掘削	ライザー、テザー、パイプ類
	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、コンクリート補強材
	OA・事務機	プリンターの軸受、カム、ハウジング
	精密機器	カメラ部品、プラント部品
	耐食機器	ポンプ部品、プラント部品
その他	樹脂型、洋傘、ヘルメット、面状発熱体、眼鏡フレーム	

表1 PAN系炭素繊維メーカー製造能力の推移（東レ推定）

（単位：トン/年）

		2010	2012(推定)	
レギュラートウ	東レG	東レ	7,000	8,000
		Soficar(仏)	5,200	5,200
		CFA(米)	5,400	5,400
		小計	17,600	18,600
	東邦G	東邦テナックス	6,400	6,400
		TTE(独)	5,100	5,100
		TTA(米)	2,400	2,400
		小計	13,900	13,900
	三菱レイヨンG	三菱レイヨン	5,400	5,400
		Grafil(米)	2,000	2,000
		小計	7,400	7,400
	HEXCEL	4,200	7,200	
	Cytec	1,900	3,400	
台湾プラスチック	4,300	6,900		
中国メーカー	4,300	12,200		
ケムロック(インド)	200	200		
AKSA	1,500	1,500		
計	55,300	71,300		
ラージトウ	三菱レイヨン		2,700	
	Zoltek	10,500	11,500	
	SGL	4,000	4,000	
	東レ	300	300	
	計	14,800	18,500	
総計	70,100	89,800		

（注）耐炎糸能力除く。

出展：河村雅彦：24th Composite Material Seminar(2011)

## 4. 1. 2、航空機と自動車におけるプラスチックコンポジットに対する要求性能

### 4. 1. 2. 1、航空機用複合材料

1) 引っ張り強度(胴体:与圧、主翼下面:航空機重量)

2) 圧縮強度(主翼上面、)

3) 集中応力(リベット加工部の塑性変形)

金属:塑性変形量は大きい、使用中に応力が平均化される

CF :塑性変形量が小さく、常時大きな応力が継続する

4) 衝撃特性

一般的には破断伸びが小さい→衝撃特性が低い

5) 耐熱性

-55°C~150°C(エポキシが対象で、熱可塑性樹脂では別基準の検討必要)

6) 耐水性

低温環境でのマトリックスへの吸水により樹脂特性が低下する

7) 耐熱性、有毒ガス、耐雷性 など

#### 4. 1. 2. 2、自動車用複合材料

- 1) 車体設計は剛性を主体として実施される。
- 2) 衝突特性に優れた材料であること。
- 3) 軽量化ができること
- 4) 量産対応(成形サイクルが組み立てタクトタイム以下:1分以下)
- 5) 量産対応(成形加工に当たって自動化、射出成形などの採用)
- 6) コストダウン  
(アルミニウム、鋼板、ハイテン鋼、プラスチック単体、との競合)
- 7) リサイクル性
- 8) 地球環境への配慮(カーボンニュートラル)

**熱可塑性プラスチックコンポジットの開発&応用が必要である。**

# 熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の性能比較

	熱可塑性樹脂複合材料	熱硬化性樹脂複合材料
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学変化はなく、硬化が不要</li> <li>・後成形、再加工が可能</li> <li>・高粘度/低流動性</li> <li>・短時間成形が可能である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・硬化中に化学変化を起こす</li> <li>・変化は非可逆性である</li> <li>・低粘度/高流動性</li> <li>・硬化時間が長い（2時間程度）</li> <li>・タック性がある</li> </ul>
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱硬化性樹脂に比べ靱性が高い</li> <li>・熱硬化性樹脂に比べ耐衝撃性が高い</li> <li>・不具合品は再加工が可能</li> <li>・高速（低コスト）成形が可能</li> <li>・冷凍保存の必要がない</li> <li>・熱硬化性樹脂に比べ吸湿率が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・加工温度は相対的に低い</li> <li>・繊維の濡れ性がよい</li> <li>・複雑な形状への成形が可能</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱硬化性樹脂に比べ耐薬品性が悪い</li> <li>・成形温度が非常に高い</li> <li>・熱硬化性樹脂に比べ複雑物は不適</li> <li>・機械加工性の悪いものがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・成形に時間がかかる</li> <li>・保存時間に制限がある</li> <li>・冷凍保存が必要である</li> <li>・不具合品は再加工が不可能</li> </ul>

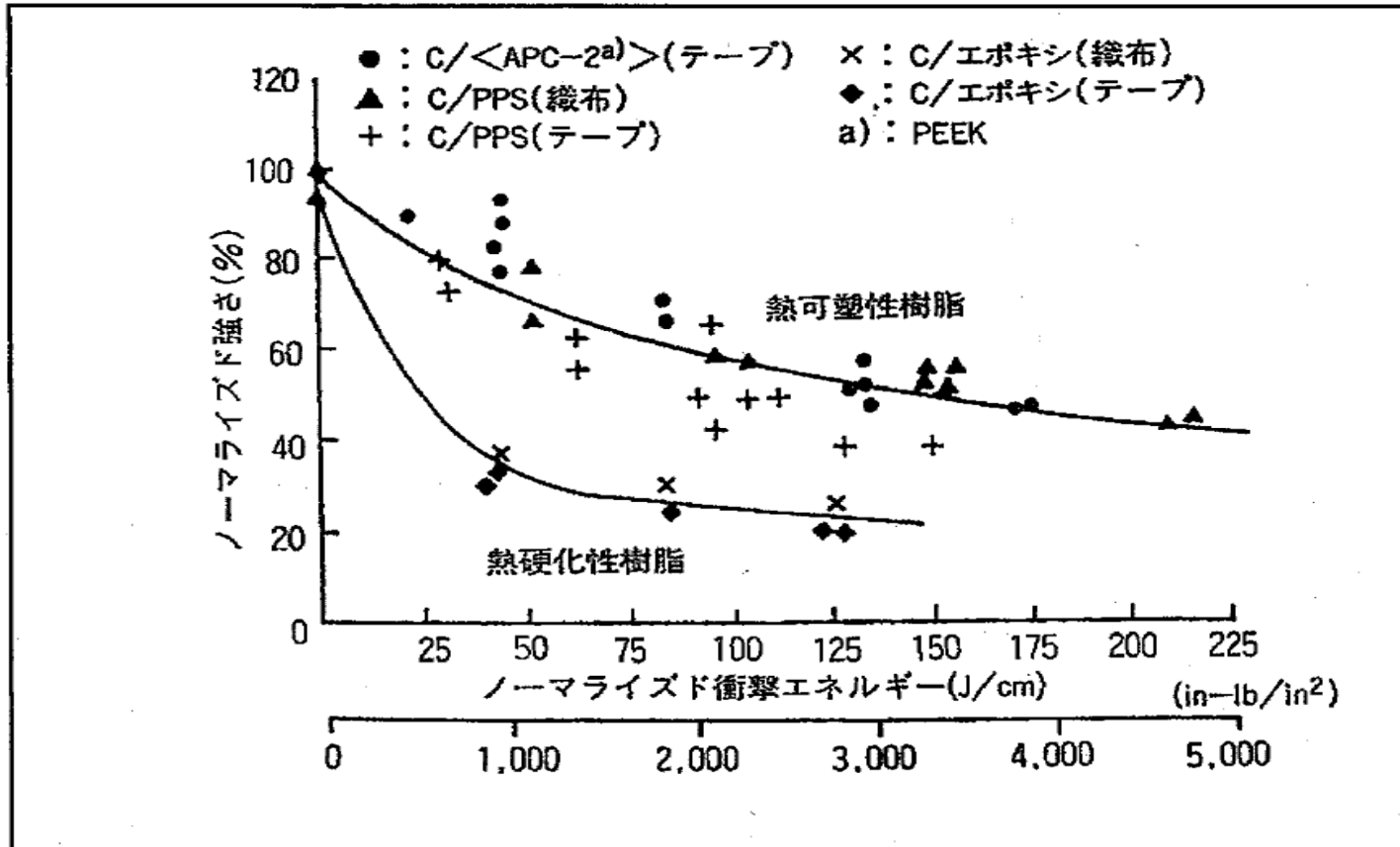


図 2.1.2-1 熱硬化性炭素繊維強化樹脂と熱可塑性炭素繊維強化樹脂の耐衝撃性比較<sup>3)</sup>

# 4. 1. 3, CFRTP 自動車部品への展開



フロントエンド



ロッカーカバー



エアバッグモジュール



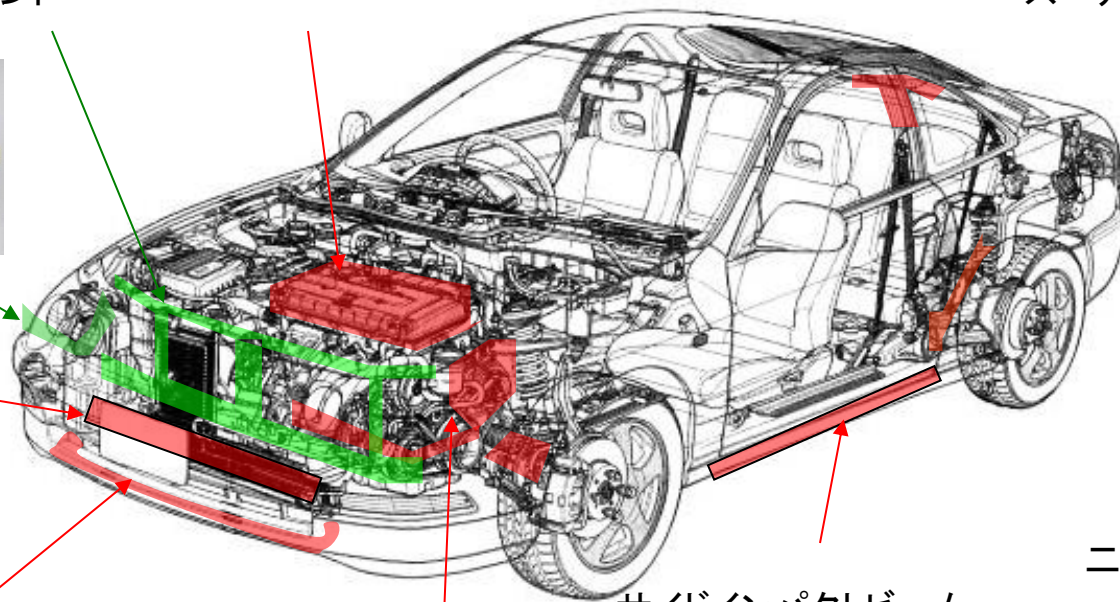
スペアタイヤハウス



ブラケット類



バンパービーム

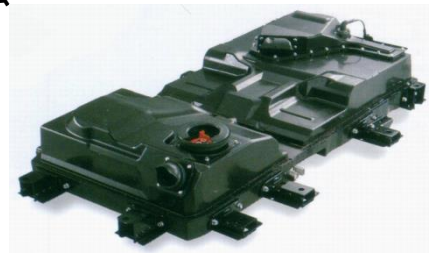


ロアアーム

エンジン周辺部品

サイドインパクトビーム

二次電池構造体



資料提供 ダイセルポリマー(株)殿

注 すべての採用事例ではありません。

# 炭素繊維の世界需要見通し

(車体に炭素繊維を使った東レの電気自動車の試作車)



出展: 東レプレス発表



## 、自動車への採用例(欧米:K2010出展車両)



KTM X-BOW (SUPERLIGHT): 785KG

AUDI 2.0TFSI engine 6段変速 搭載

モノコック重量(CF): 90Kg

(CF採用部位: UNDER FLOOR, BODY PANEL, WHEEL COVER)

# K2013出展(RTM成形)

エンゲル、クラウス共に展示実演しているものは市販車に搭載されている。

KraussMaffei RTM-Anlage RTM system

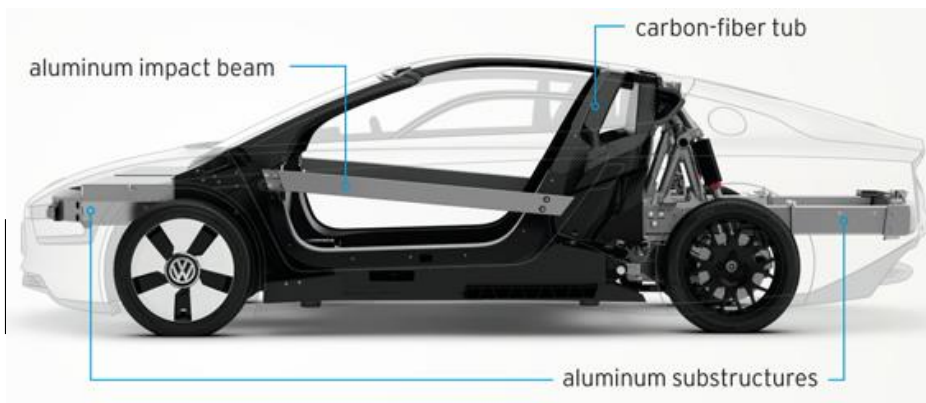


ENGEL V-duo 700 HP-RTM

資料提供 ダイセルポリマー(株)殿

## K2013出展例

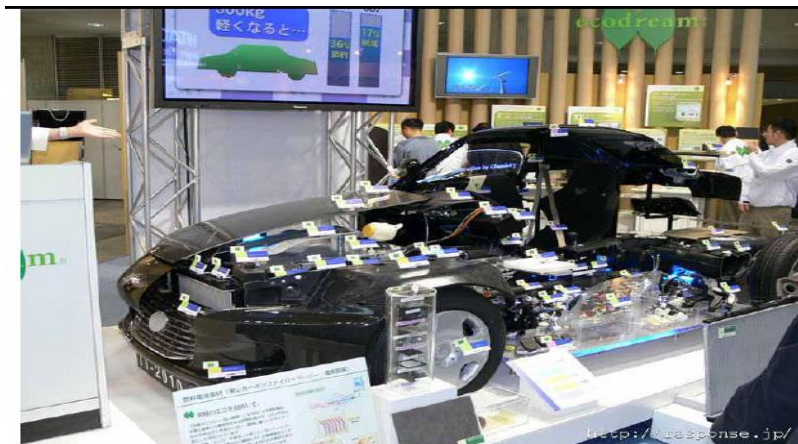
Volkswagen XL1コンセプトは800CCエンジンとモーターから成るPHEV、ボディ・パネルとドアをすべてCFRPにし、マグネシウム製のシャーシ、アルミ製クラッシュチューブ、カーボン・セラミック製ブレーキ・ディスクなど採用し車両重量は795kg、燃費はリッター111km。



資料提供 ダイセルポリマー(株)殿

## 2) 日本での採用例(2008モーターショー)

### STRUCTURE OF CF(CARON FIBER )MATERIAL



TORAY CO.



TOYOTA MOTORS[1/X]



KEIO UNIV.[ELIICA]



MAZDA [IBUKI]

### 3) 主なCFRP乗用車

表 主なCFRP採用車

社名	Lamborghini社	トヨタ自動車	McLaren Automotive社	Fiat社	日産自動車	Daimler社	富士重工業	BMW社
車名	Aventador LP 700-4	レクサスLFA	MP4-12C	Alfa Romeo 8C Spider	GT-R	Mercedes-Benz SL	インプレッサWRX STI tS	i3
外観								
適用部位	キャビン	キャビン	キャビン	外板、後部リッド	ラジエータ・コア・サポート	後部リッド内側	ルーフ	キャビン
工法	プリプレグ、RTM	プリプレグ、RTM、SMC	RTM	—	射出成形	RTM	VaRTM*	RTM
質量	145kg	193kg(キャビン、アルミ含む)	75kg	—	—	—	5kg	100kg(推定)
成形メーカー	内製	内製	—	Benteler SGL社(後部リッド)	カルソニックカンセイ	Euro Advanced Carbon Fiber Composites社	束レ	内製
発売	2011年	2010年	2011年	2009年	2007年	2012年	2011年	2013年
価格	3969万円	3750万円	2790万円	2650万円	869万4000円	917万円(欧州)	422万1000円	約400万円(推定)
生産台数	500~1000台/年	500台	1000台/年	500台	—	—	400台	数万台/年(推定)

\*図4参照

出展:日経AutomotiveTechnology, No. 30, 2012, 5

高価格車(レーシングカーを含む)が主体で、低価格帯への普及技術が課題

# LEXAS LFA での採用樹脂例 STRUCTURE

■ : Pre-preg (プリプレグ)  
■ : RTM (Resin Transfer Molding)  
■ : Aluminum alloy (アルミ合金)

■ : C-SMC (Carbon-Sheet Molding Compound)  
■ : G-SMC (Glass-Sheet Molding Compound)

## MATERIALS

C-SMC

G-SMC

PREPREG BY PRESS

RTM

ALUMINUM



K2013における展示例

CF部品例

東レ(炭素繊維によるコンセプトカー)

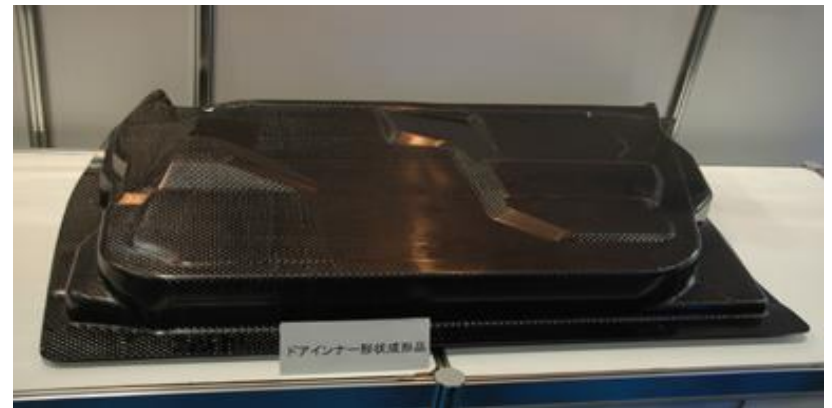


## 炭素繊維による車体部品(東レ)

SAMPLE PARTS EXHIBITED AT TECNOLOGY SHOW 2010

PLAT FORM FRONT SIDE(1.8m L × 1.6m W :WEIGHT:15Kg)

EPOXY RESIN TRANSFERD MOLDING



SIDE DOOR INNER PANEL  
BY RTM PROCESS





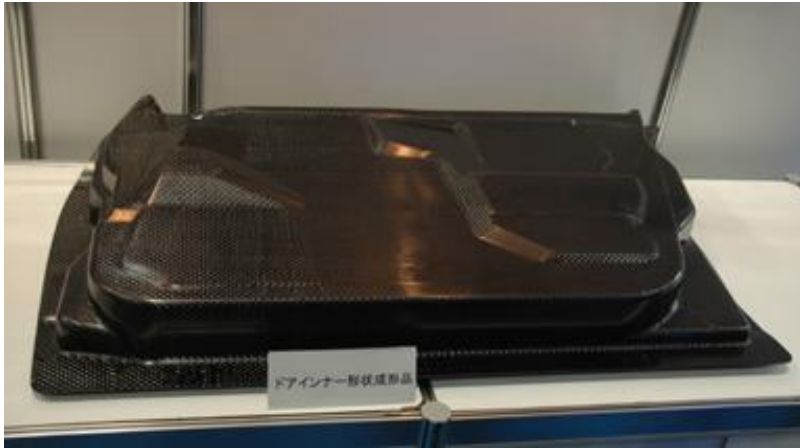
C-LFT

CF INSETED INJECTION MOLDING  
WITH PC RESINS

TORAY TORAYCA  
(PA6 BASE)



# SIDE DOOR INNER PANEL BY RTM PROCESS



DOOR INNER PANEL



SIDE SEAL



# 4, 1, 4 炭素繊維コンポジット採用における課題

1) 技術課題 金属などとの接触による電気腐食、  
強度メンバーに金属を併用、接合技術の開発

## アルミニウムと炭素繊維の複合使用



図1 トヨタ自動車「レクサスLFA」のカットモデル  
排気量4.8LのV型10気筒エンジンを前部に積み、後部の変速機との間をトルクチューブでつないだトランスアクスル方式を採用。ボディの骨格はCFRP (炭素繊維強化樹脂) 製である。全長4505×全幅1895×全高1220mm、ホイールベースは2605mm。

WEIGHT REDUCTION

CFRP:190Kg

ALUMINUM:290Kg

STEEL :340Kg

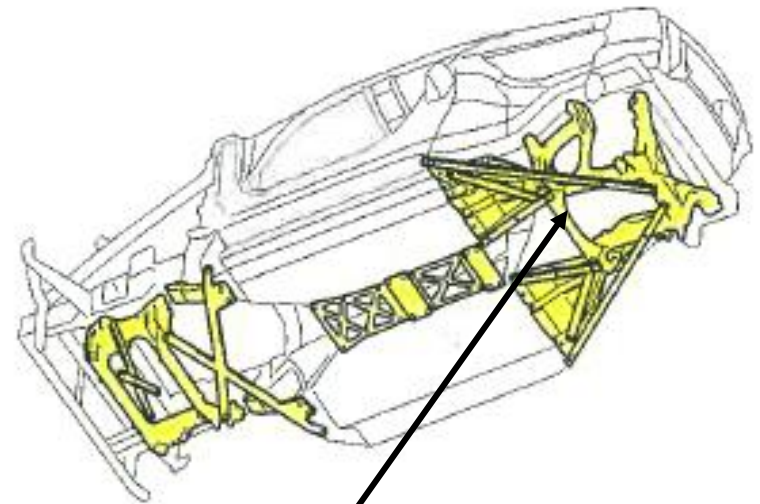


図8 ボディ剛性を高めるための補強材  
実際に走行した評価を基に、CAEで効果を解析して補強材を追加。

REINFORCEMENT BY  
ALUMINUM COMPOSITE

# CONNECTING METHOD BETWEEN CFRP AND ALUMINUM

表 CFRPと金属の特性比較

	材料	比強度 (MPa)	比剛性 (GPa)
CFRP	プリプレグ(エポキシ)	300	35
	ATM(エポキシ)	234	31
	C-SMC (ビニルエステル)	107	19
金属	アルミ合金	85	26
	高張力鋼	57	26



## 2) 価格競争力

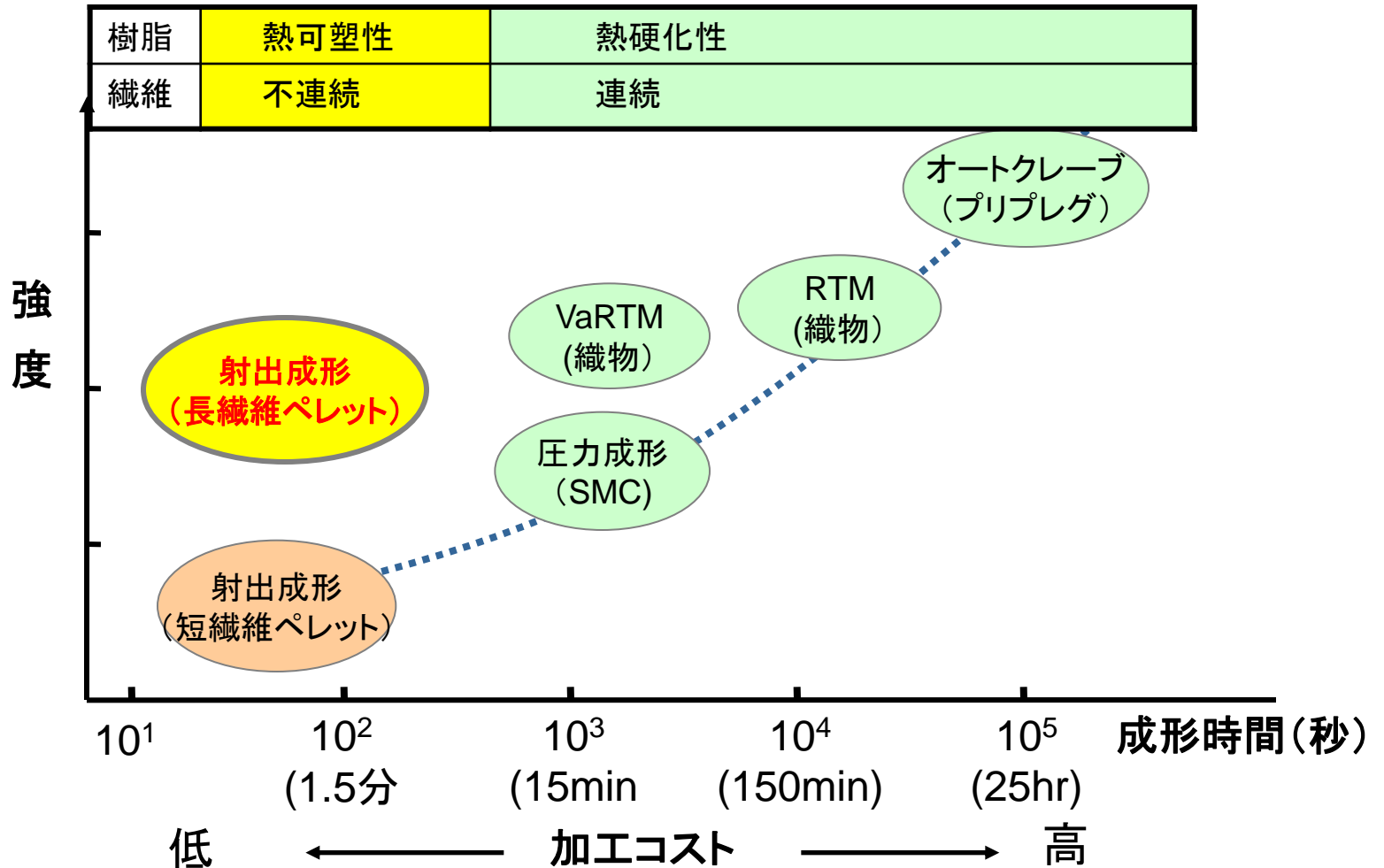
主な車両向け素材の現状比較

素 材	炭素繊維	鉄	アルミニウム
原材料	アクリル繊維	鉄鉱石	ボーキサイト
世界生産量 (07年)	3万 5000トン	13億 2198万トン	3804万 5000トン
価格(高品質品、 1kgあたり)	数千円	100円強	300— 400円
軽 さ	○	×	△
加工のしやすさ	×	○	△
リサイクル性	×	○	○
傷のつきにくさ	△	○	×
さびにくさ	○	×	△

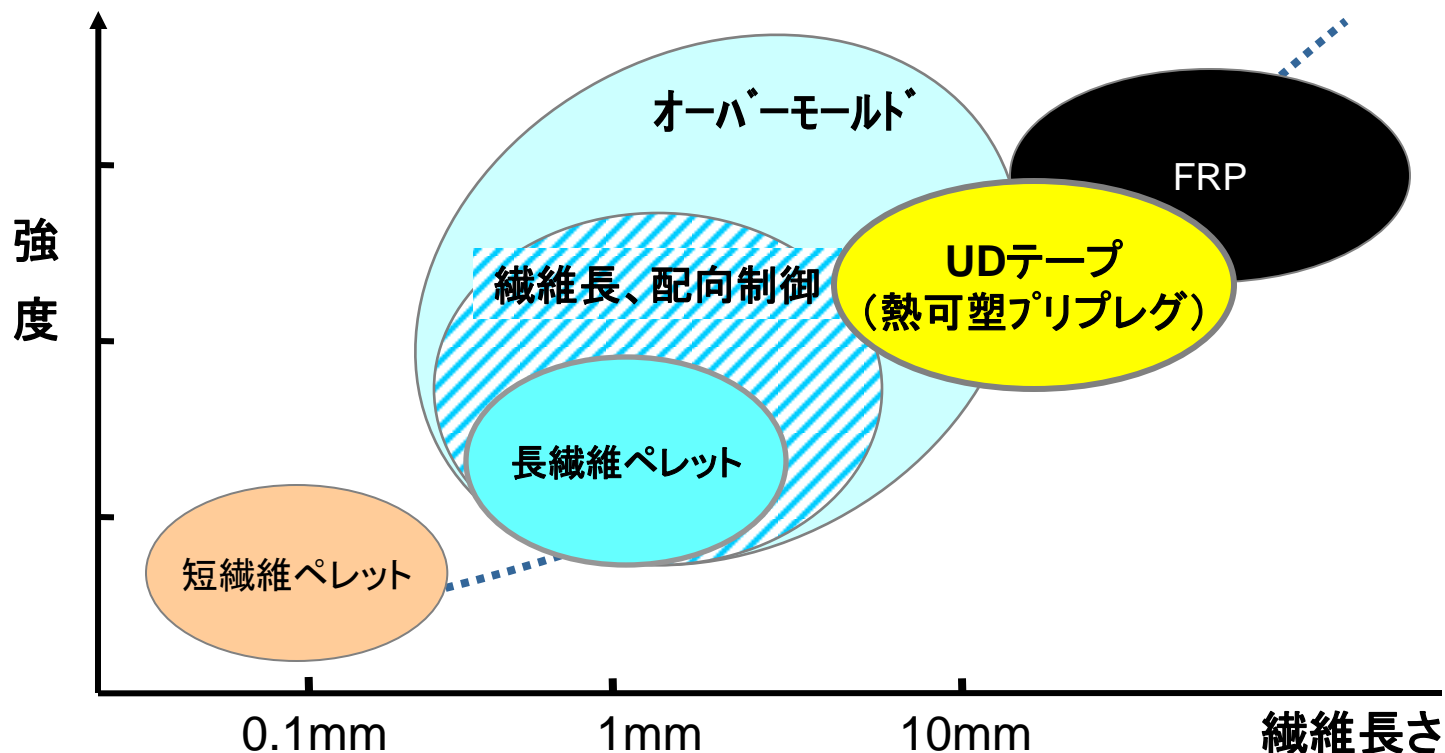
(注)素材の性能を3段階で評価

出展 日本経済新聞2008年7月24日

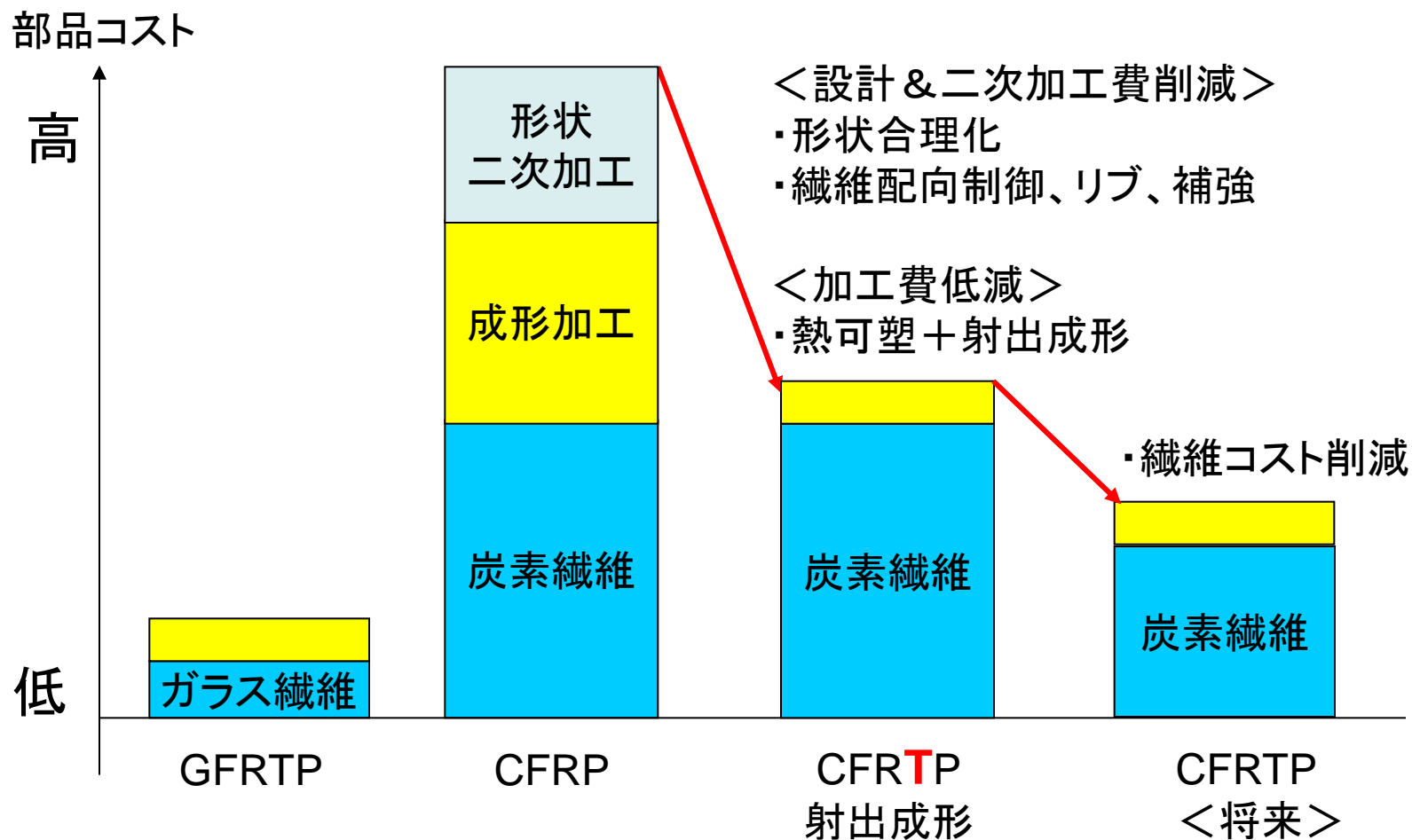
# 4. 1. 5, CFRPと各種成形法の比較



# 複合素材と工法



## 炭素繊維複合部品のコスト低減





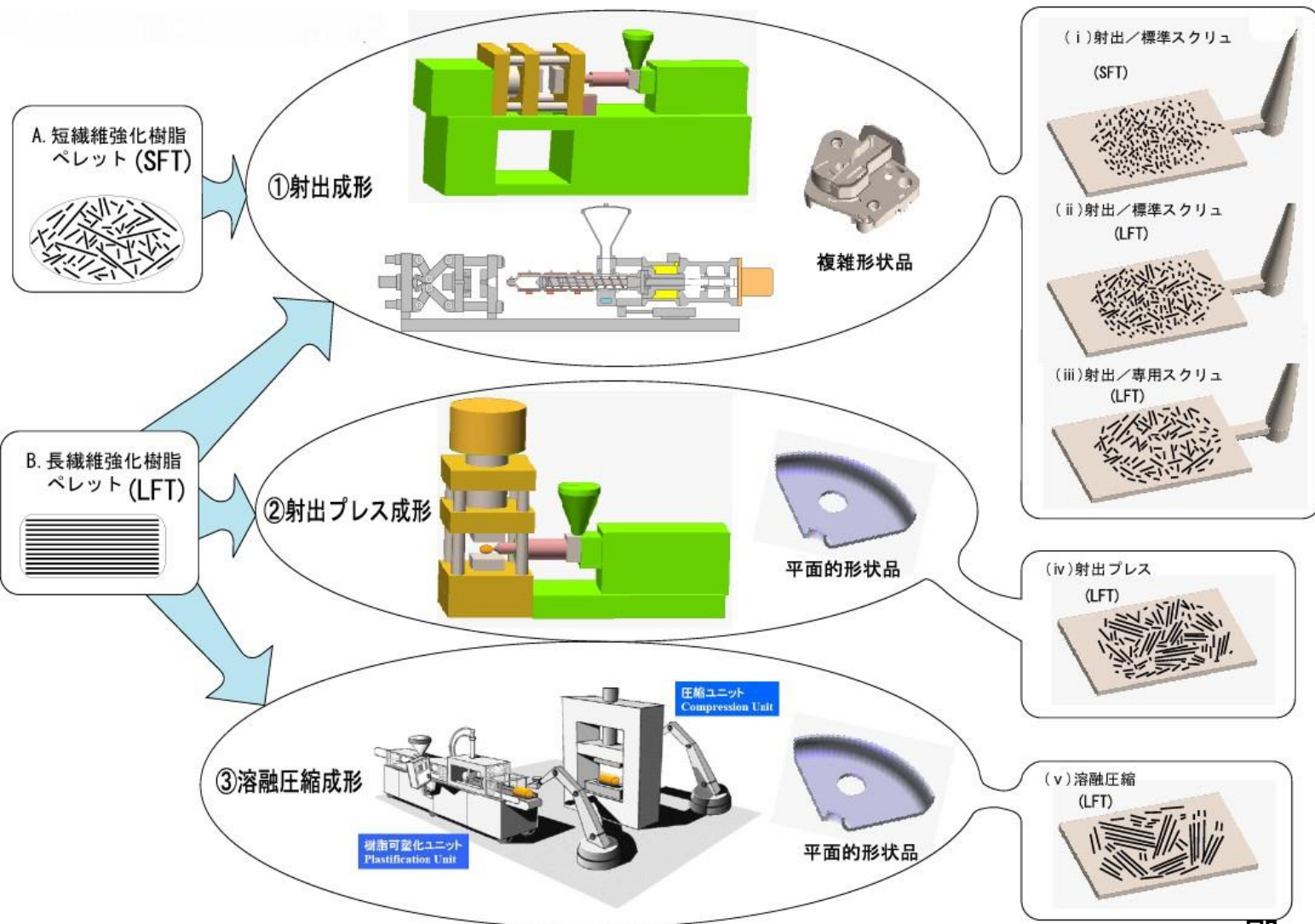
## 炭素繊維強化プラストロン®の設計コンセプト②

量産性の高い工法＝射出成形が使える熱可塑性樹脂

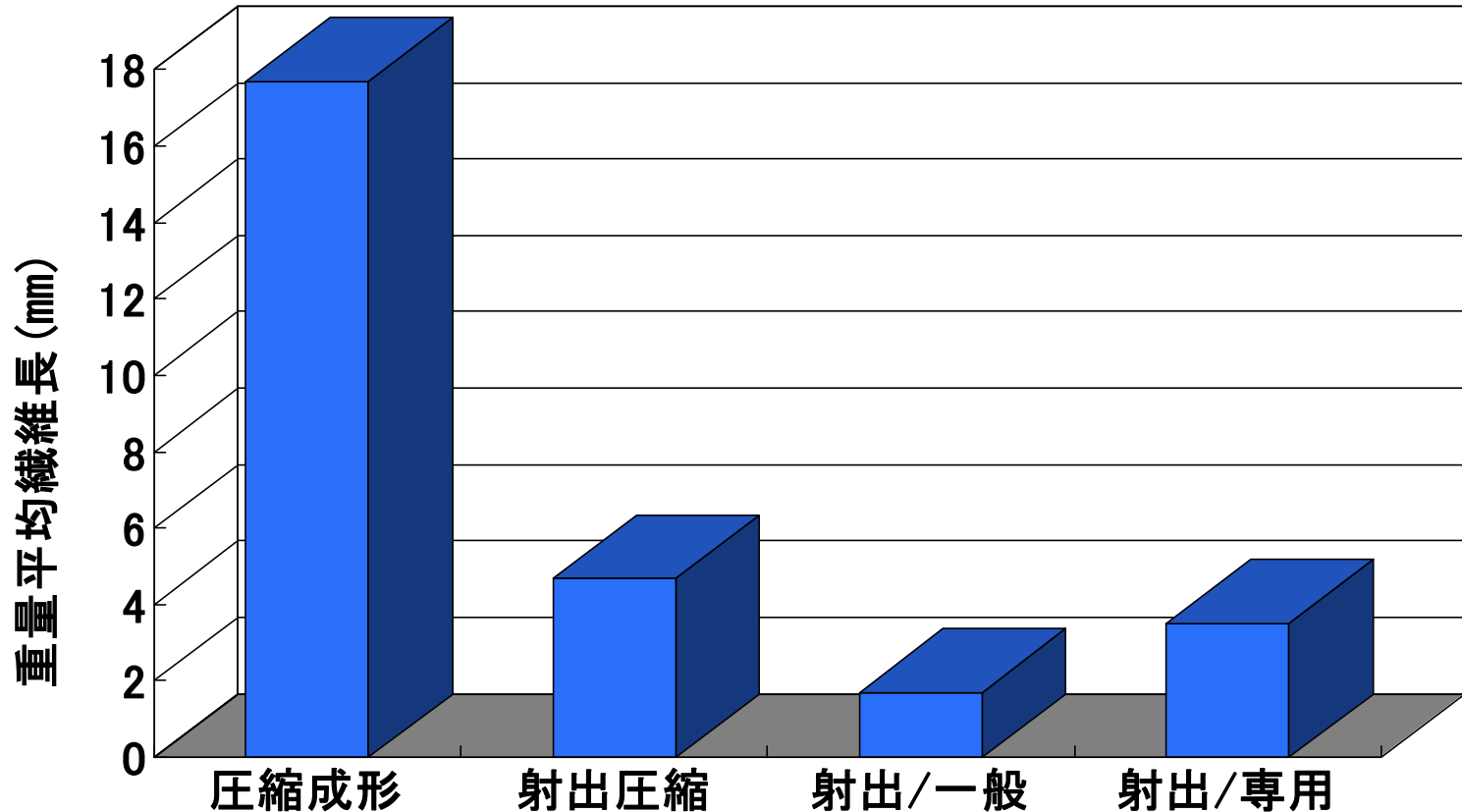
## 炭素繊維複合素材の工法比較

	ベース樹脂	加工性			設計形状の自由度	機械物性(強度)
		製造・加工	量産性	製造コスト		
CFRP	熱硬化性	プリプレグ ⇒高圧法など	×	×	△	◎
短繊維強化樹脂	熱可塑性	コンパウンド ⇒射出成形	◎	◎	◎	×
<b>長繊維強化樹脂</b>	熱可塑性	長繊維加工 ⇒射出成形	◎	◎	◎	○

# 成形工法と残存繊維長



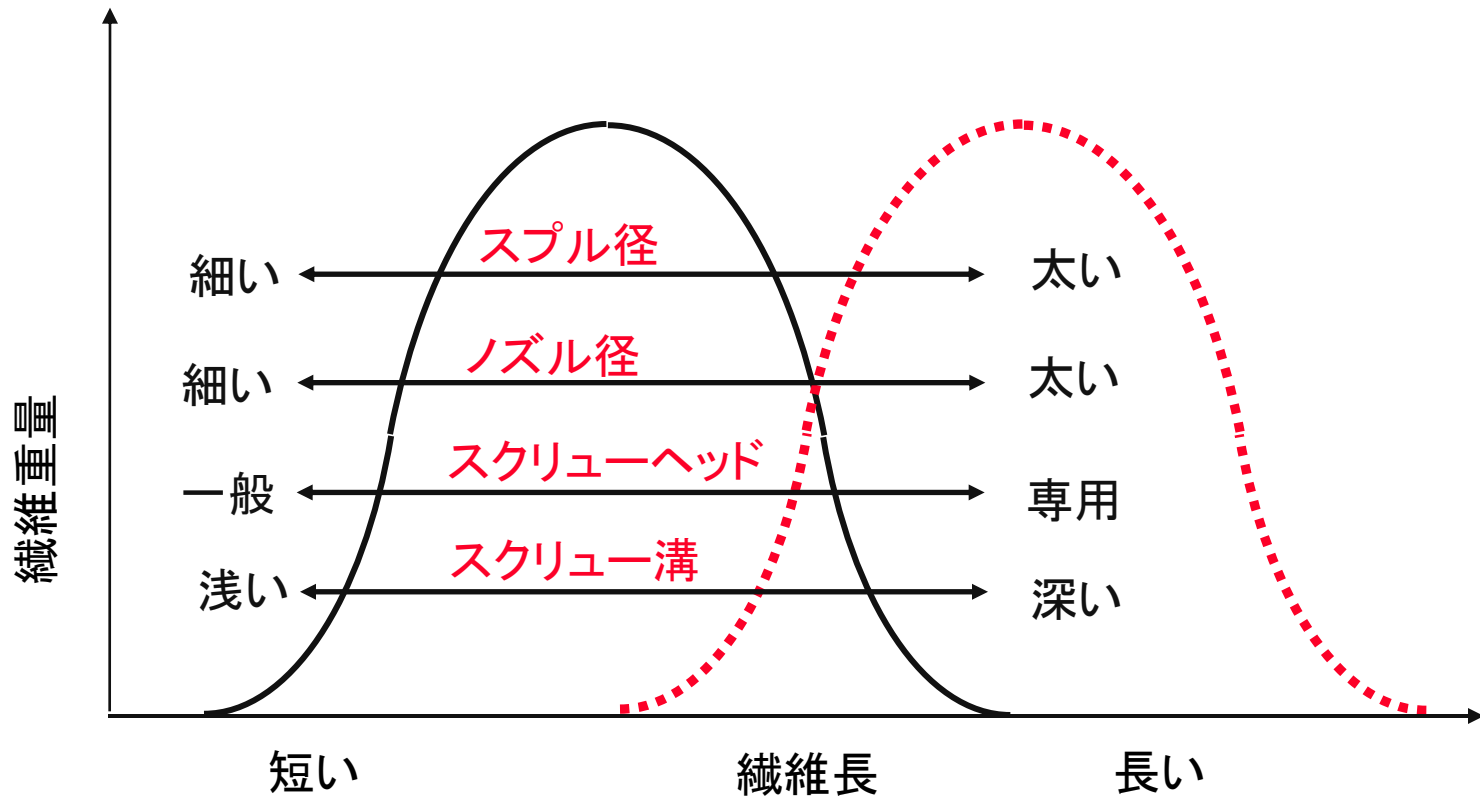
# 成形工法と繊維長



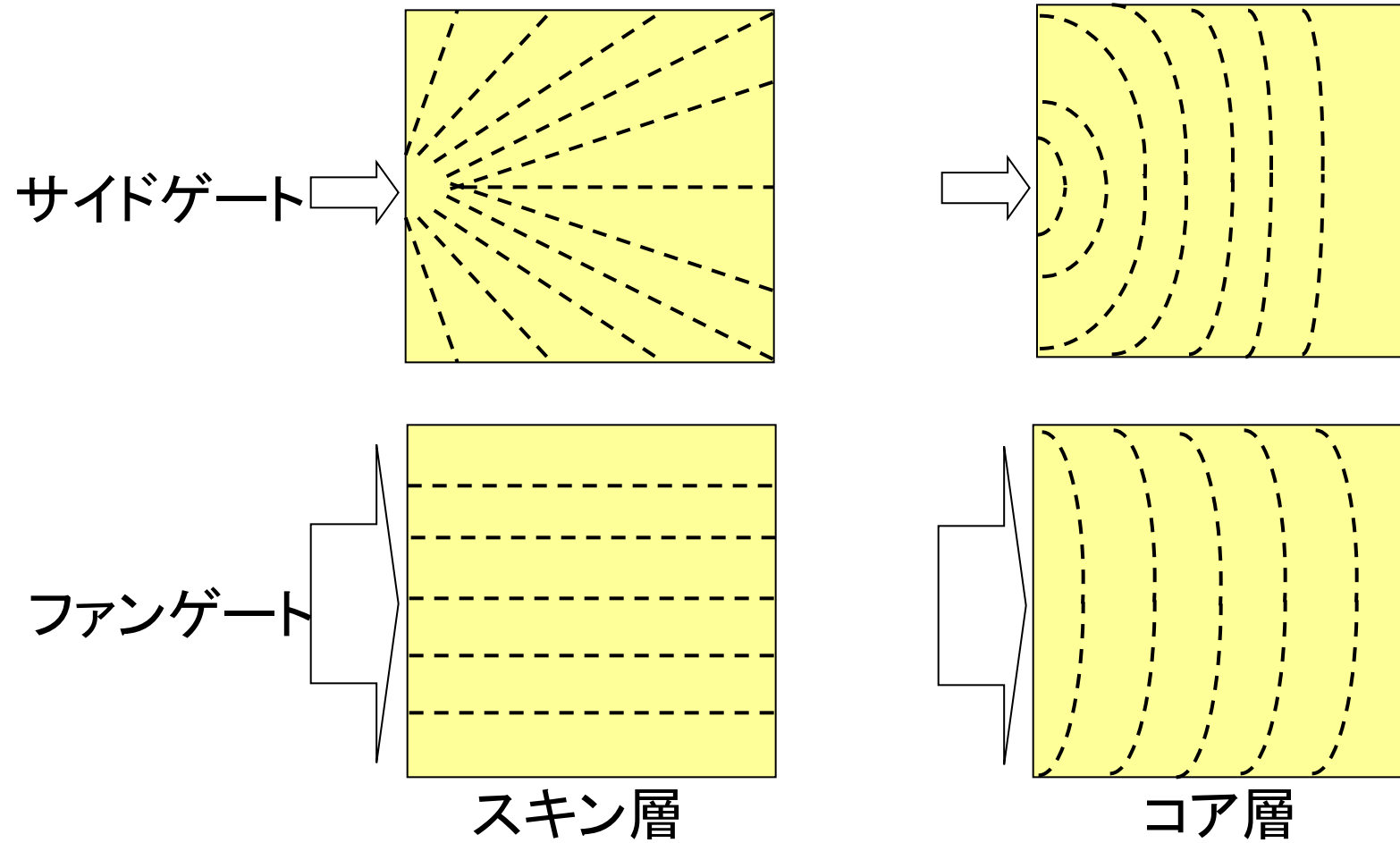
\* PP-GF40 (ペレット長さ48mm)での一例

# LFTの成形におけるポイント

成形機と繊維長の関係



# 樹脂流動と繊維配向



## 4. 1. 6, カーボンコンポジット成形 (K2013)

カーボン成形関係についてエンゲル、クラウス共にRTM工法の機械を展示実演していた。

RTM自体は周知の工法であるが、CFクロスの裁断、積層、プリフォーム、成形まで一貫した自動化を行ったことを強調していた。共に1サイクルは7分程度

使用樹脂は2液(主剤と硬化剤)熱硬化性樹脂(エポキシ?)

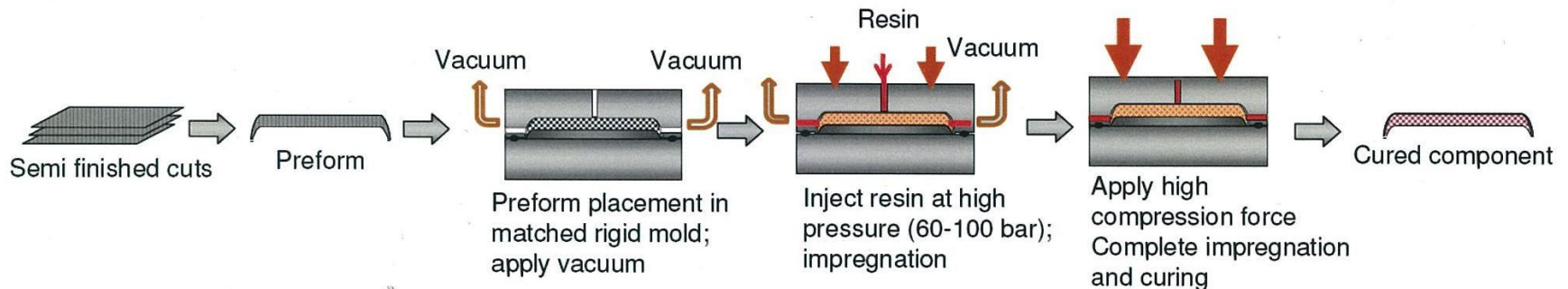
エンゲル、クラウス共にこの2液硬化性樹脂の混合注入機を備えている。

### ※RTM (Resin Transfer Molding)

炭素繊維布帛(クロス)を裁断して積層・腑形してプリフォームを形成

型内に配置し樹脂(主にエポキシ樹脂)を注入し含浸・硬化させる成形法

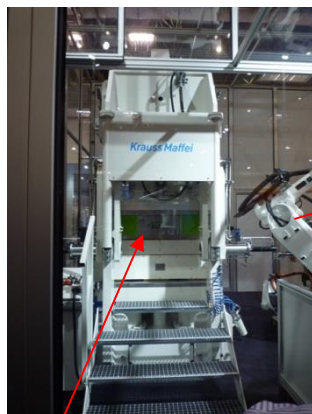
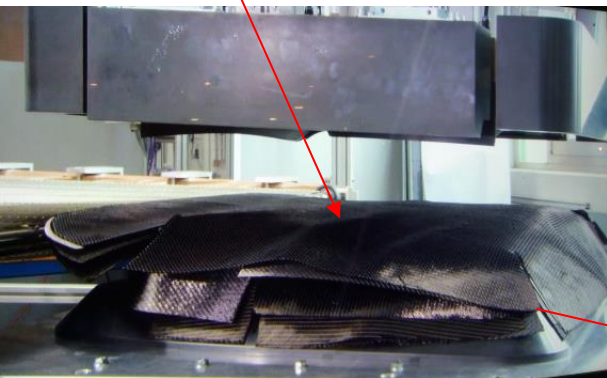
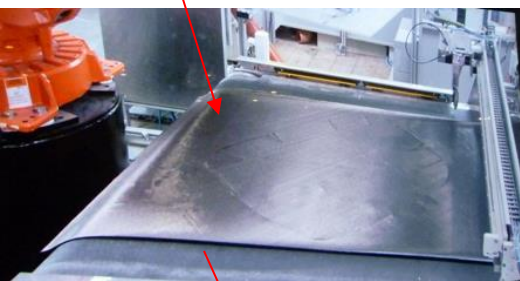
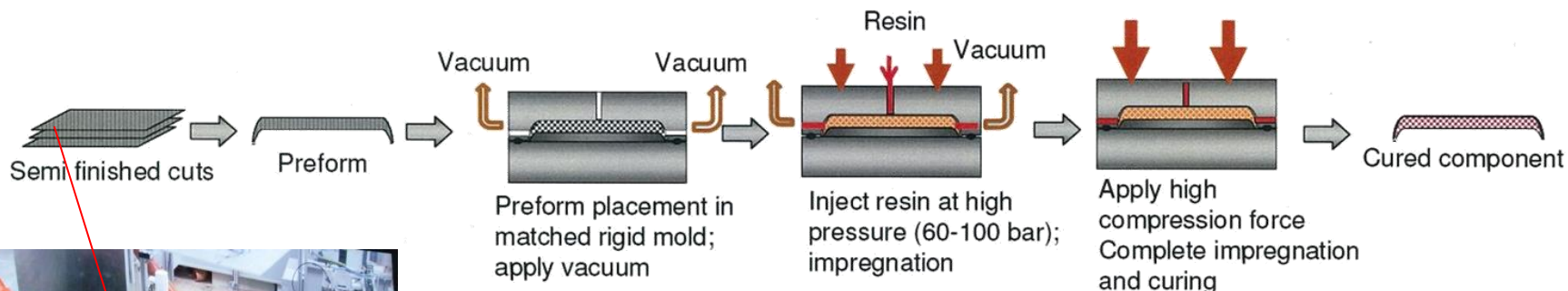
### High pressure injection RTM – HP-RTM



ENGEL、KraussMaffei 共にHP(high pressure)-RPM 樹脂注入圧力は6~10MPaと射出成形に  
比べれば1/10以下

# ■ : カーボンコンポジット成形

KraussMaffei RTM-Anlage RTM system  
High pressure injection RTM – HP-RTM

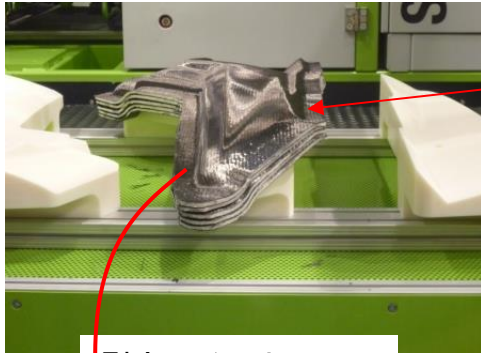


資料提供: 名機製作所殿

これをプラズマカッターでトリミングまで行っている

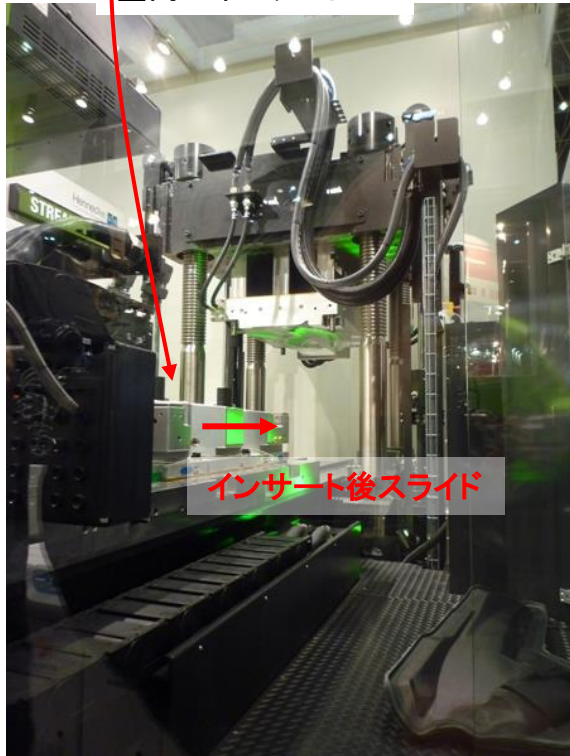
# ■ :カーボンコンポジット成形

ENGEL V-duo 700 HP-RTM

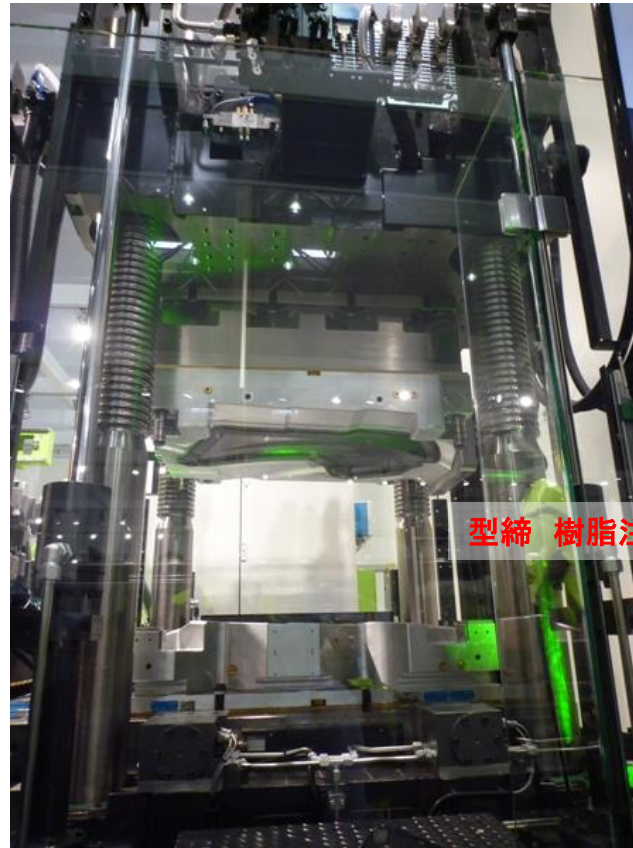


プリフォーム済みの  
GFクロス

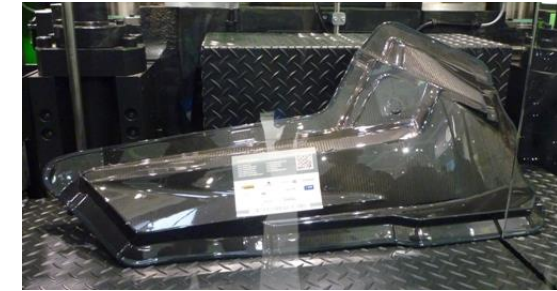
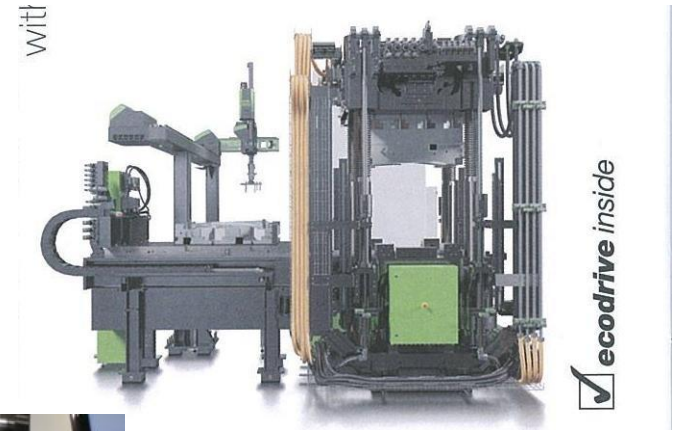
型内にインサート



インサート後スライド



型締 樹脂注入



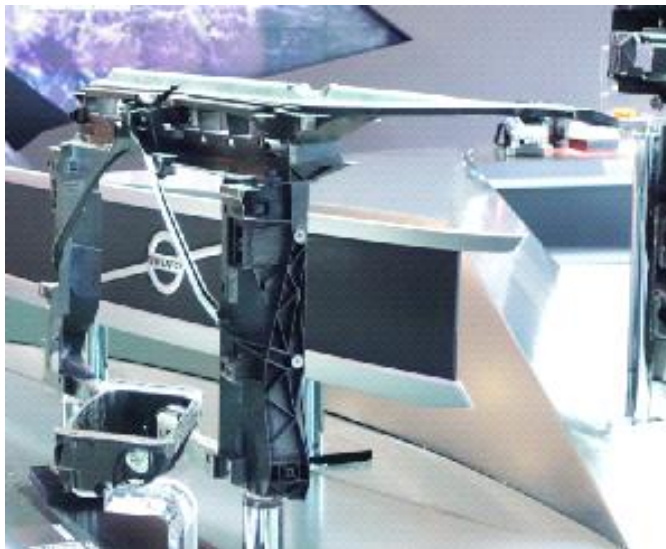
1サイクル  
380sec



## 2) 複合成形(インサート、オーバーモールド成形) 大型トラックのヘッドランプキャリア(PA6-sGF60)



Front End Module (PA6-sGF)



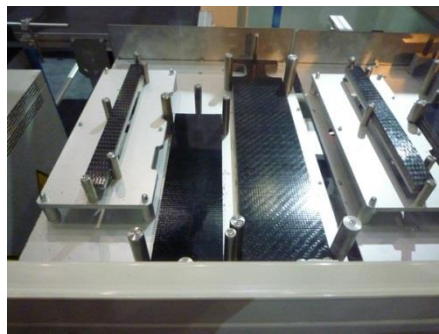
金属へのPA6-sGFアウトサート。接着剤Evonik

このGFコンポジットシートを加熱し、型内に挿入、腑形させそこに樹脂(PA6+CF)を成形してリブやボスを形作る成形法は ENGELの他 KraussMaffei、ARBURGにて実演展示している。

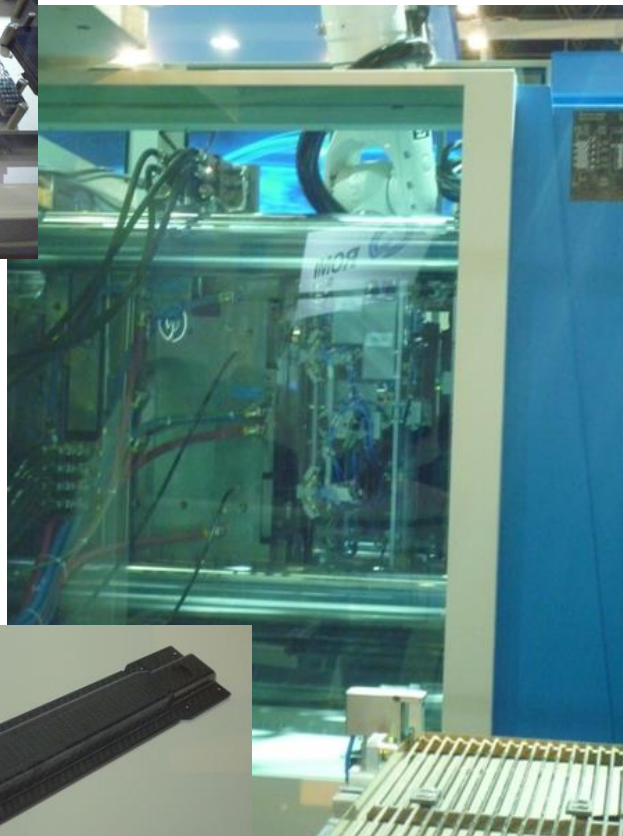
何れも車の軽量化、金属代替であり、自動車に採用されている。



ARBURG



KraussMaffei



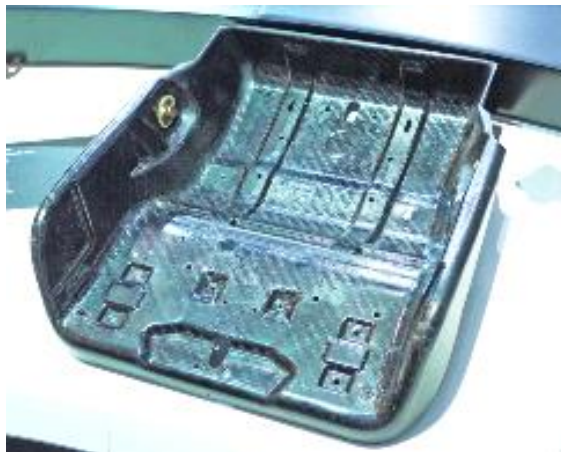
# LANXESS / Fiberform



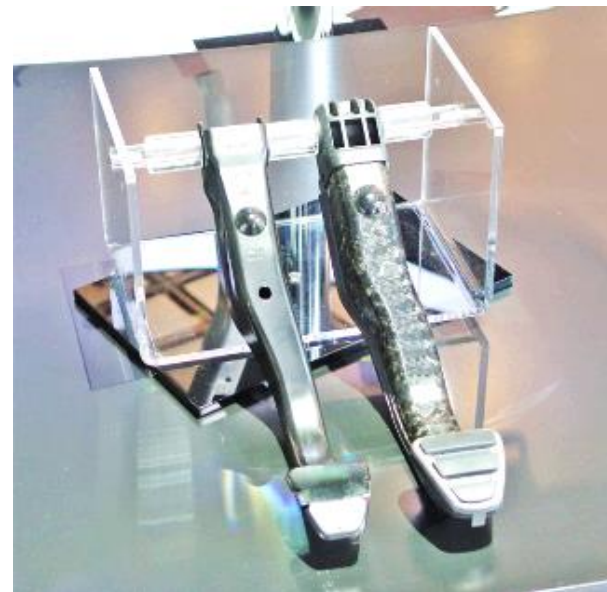
エアバッグモジュール(タカタ製) Tepex PA6-GFシートに Durethan DP BKV240 H2.0 (衝撃改良PA6+GF40で、copolymerの表示あり)をオーバーモールド。側面0.5~1mm厚みで重量は従来のPA6仕様に比べ1/3になった。



実部品ではなく、PA6-GFオルガノシートとPA6-GF40fでのリブ強度検証用サンプル。



Opel Astra OPCのフロントシートパン。



資料提供 ダイセルポリマー(株)殿

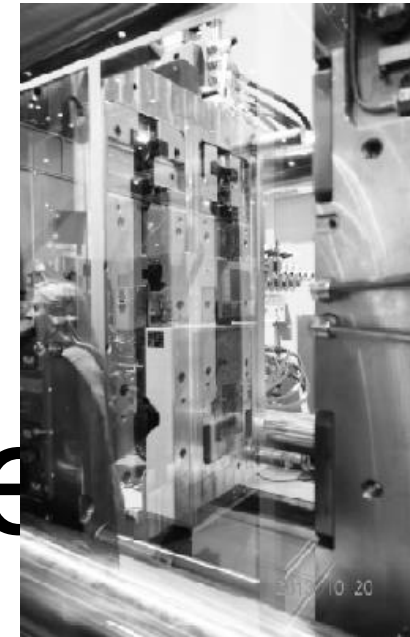
# LANXESS開発のFiber Formを使ったオーバーモールド実演

金型にセット

事前に切削されたオルガノシート



引き込み式のヒーターで余熱



シート+射出リブ+シートの三層構造



## Assembly:

- Use of semi-finished fiber composites with various thickness and fiber orientations
- Uniform heating of composites in a convection air, carousel conveyor oven
- Activation of joining interfaces with a fully integrated infrared heater element

## Reshaping, initial shaping, transferring and joining inside the mold:

- Multi-functional gripper for insertion, transfer and part removal
- Reshaping, partial over-molding and trimming of the components
- Hollow body structure due to a new pressurized in-line joining process

資料提供 ダイセルポリマー(株)殿

# Ultracom (熱可塑連続繊維シートと樹脂製系を組み合わせた工法。)

オルガノシートのプレス加工品。



オルガノシートをオーバーモールドしたシートパン成形品



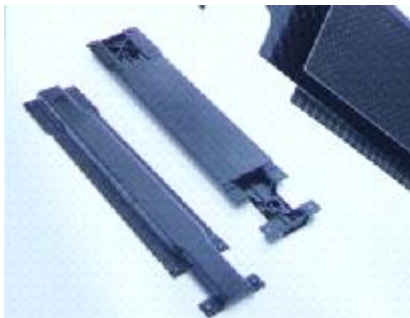
現代自動車のシート・バックレスト  
オルガノにPA6-sGF射出



資料提供 ダイセルポリマー(株)殿



UDテープやオルガノシートはすでに自転車用ヘルメットやスポーツシューズなどで採用有り。



「Fiberform application」としか表示されていないので、実部品ではくPA6-GFオルガノシートとPA6 - GF40fでの検証用と思われる。

同じ部品がKrauss Maffeiで成形実演されていた。



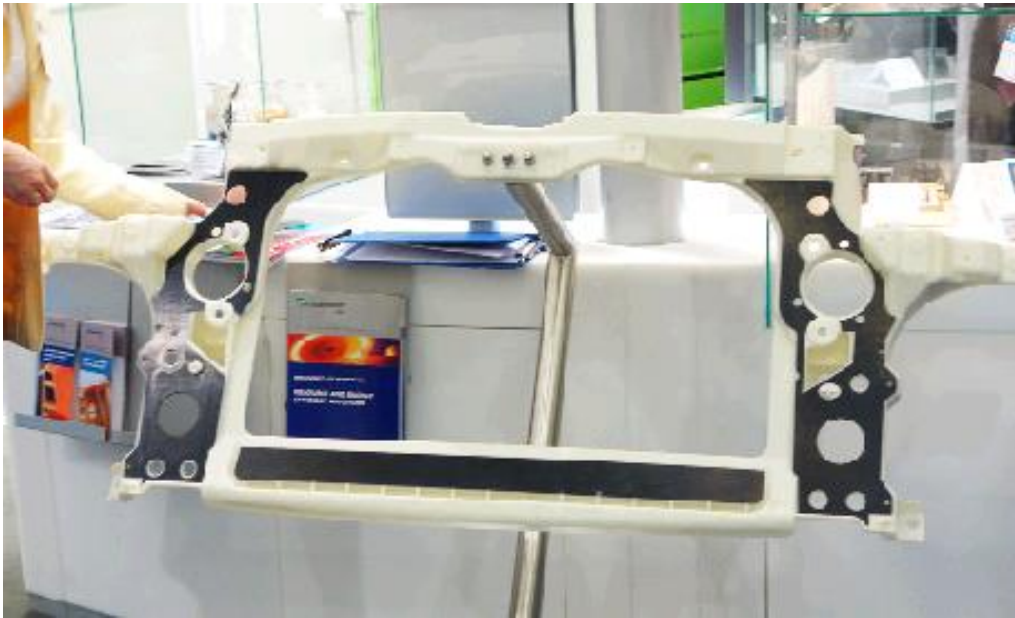
Broseのドアモジュールキャリア。触った感じでは板厚み0.5mmくらいのPP+GFシートにPP-LFTをオーバーモールド。通常のPP-LGFに比べて材料費が少ないのでコストはアップするはず。

資料提供 ダイセルポリマー(株)殿

# Fraunhofer

UDテープの応用技術開発の展示。UDテープ単体や、それを積層したUDシートを挿入することでより合理的な設計を目指すのが目的だが、素材から成形機、システム構築までのすべての技術開発を対象にしている。繊維はGFやCF、樹脂は様々なマトリックス選択が可能との表記。

写真はUDテープによるフロントエンドモジュールキャリアの補強例(FEM型は試作用で、KraussMaffeiでも同じ型とみられる成形品があった。)



成形前に切断加工されたUDシート(PPGF)



UDテープの賦形  
UDテープの賦形

資料提供 ダイセルポリマー(株)殿

# TECHNISCH UNIVERSITÄT DRESDEN (ドレスデン工科大学)



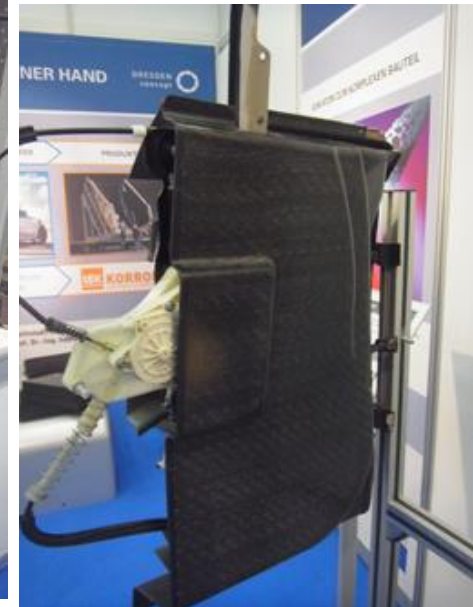
自動車アンダーカバー  
下は従来の金属。重量比較用



シートモーディング後、射出成形を行い、リブなどを立てて補強。



ドア内部  
耐衝撃のバーは金属だが、パネルはシートモーディング。



CFRPの OUTER ボデー、CFRTPによるアンダーボデーの展示  
Fraunhofer にあった UD 成形品が展示されていた。  
テーププレースメントは RELAY の表示。



# Krauss Maffei

## 成形機およびシステムメーカーの大手。

以前のプラスチック展示会では同社やHuskyなどが大型D-LFT(ダイレクト長繊維)が華々しく実演されていた、今回はそれらが無く、代わりにUDテープやオルガノシートとの組み合わせによる成形工法が目立った。

外板とルーフをCFRTP+PU+塗装で作ったコンセプトカーとルーフ断面



賦形したあとのシート

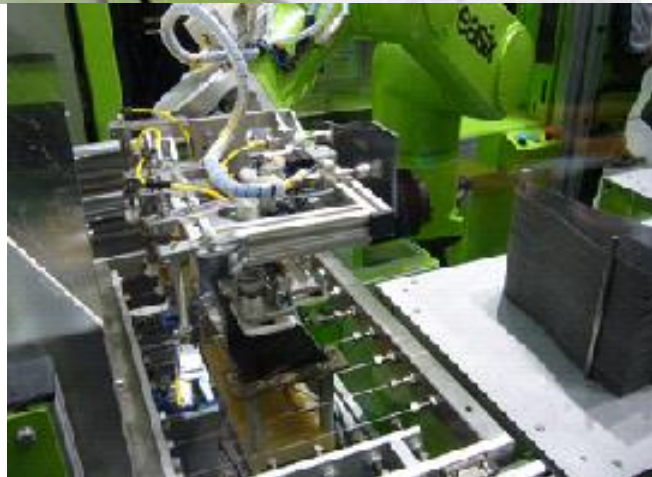
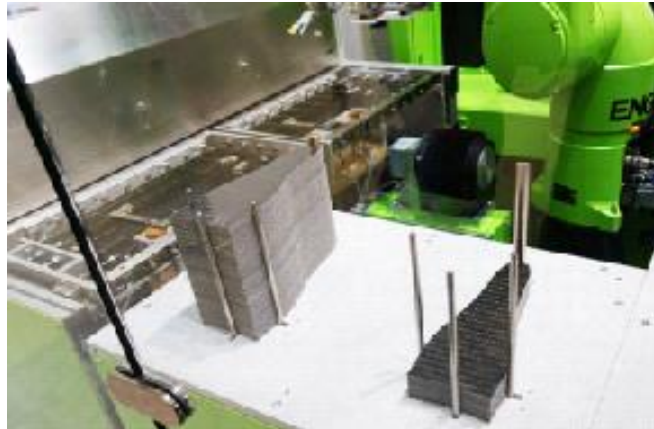
塗装後のシート



### 3) 成形機 (K2013)

## ENGEL

INSERT200は金型のみ縦型にした成形機で、Bondlamine製PA6 - GFオルガノシートと組み合わせたブレーキペダルの射出成形実演。金型にはZF社の表示ラベルが貼られていたがまだ量産は先。事前に切り取ったオルガノシートをヒーターで余熱し、インサーとして成形。



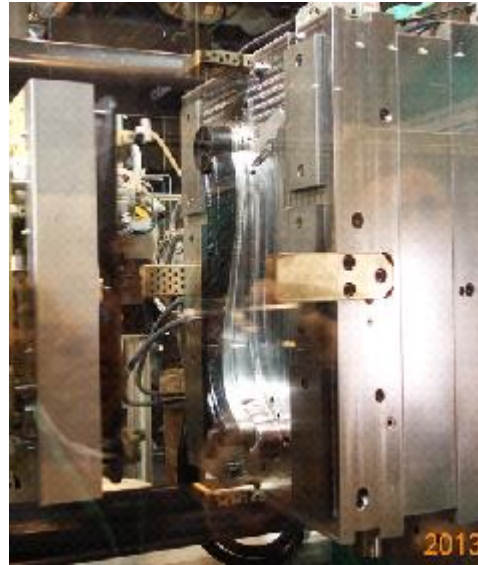
遠赤ヒーターでシートを加熱



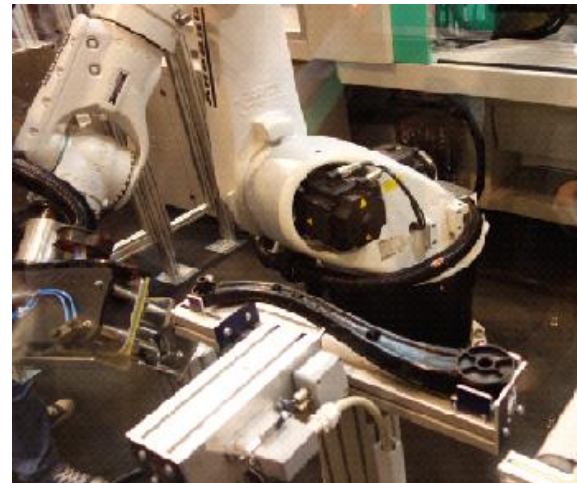
ロボットの後ろにある金型にセット

# Arburg

PP+GFのオーバーモールド実演。材料はLanxess。自社開発ロボットは写真が取りづらいほど高速で動く。

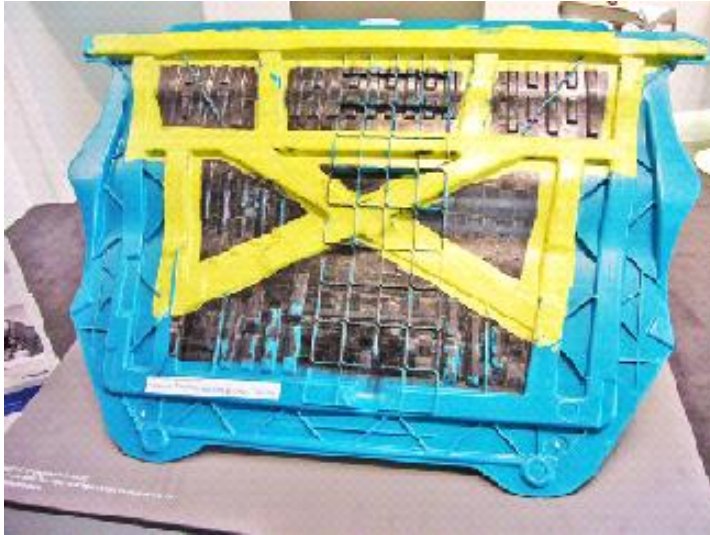


右上がヒーター。

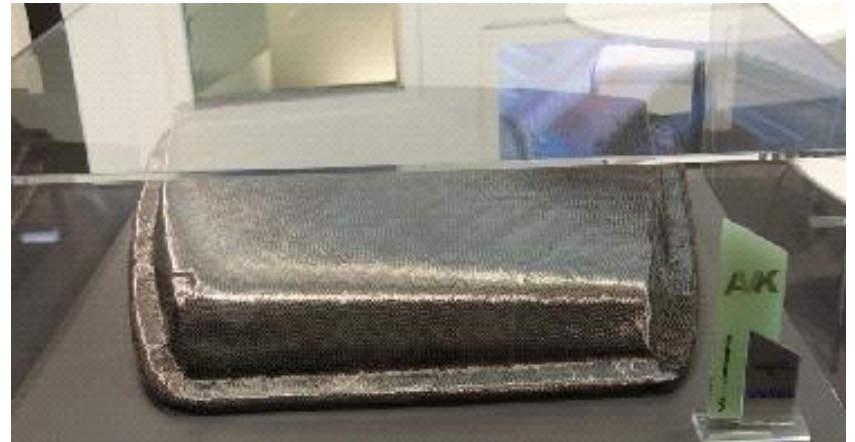


# Diffenbacher

欧州では高名な大型プレス機を軸にした装置、システムメーカー。  
展示は無くビデオのみで、UDテープ、ガラスマットをインサートした  
ボデーアンダーカバーのプレス成形品など展示。



UDテープ、ガラスマットをインサーとしたPP製ボデーアンダー  
カバー



オルガノシートの賦形

# Fraunhofer / 中空RIM

RTM(熱硬化の注入成形)で、中空成形品を作る工法開。



Gas Assist Injection Mold

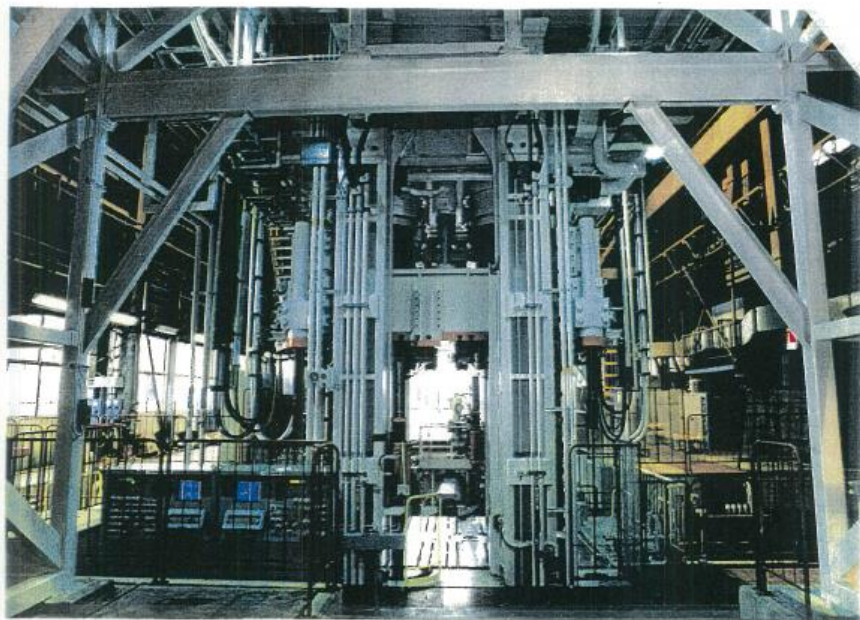
# 多機能成形機(名機製作所)

**SEPICS-300**  
**MEIKI**

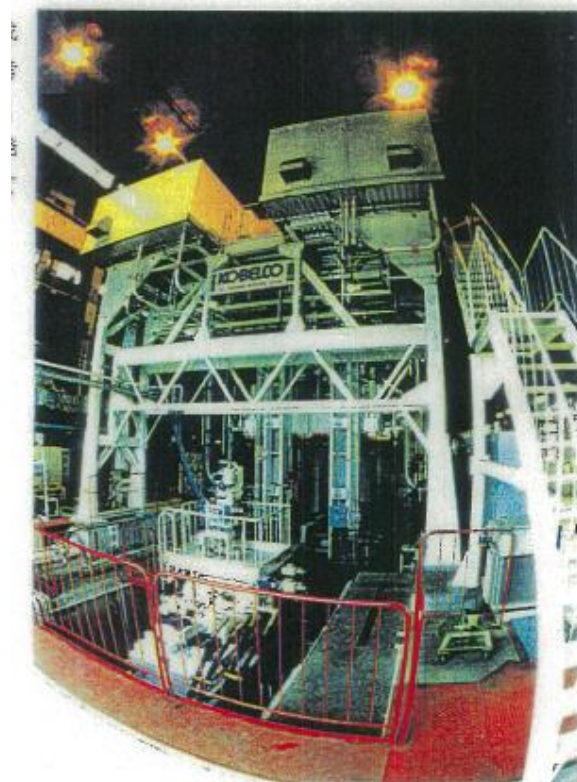


2012/09/26

# 自動車部品成形大型樹脂加工機械例(神戸製鋼所)



VFP5000 複合成形機



複合機能成形機(型締め力5,000トン、テーブル寸法3,500×4,000mm)



熱硬化性樹脂直接供給成形プレス



大型自動車部品用射出成形機

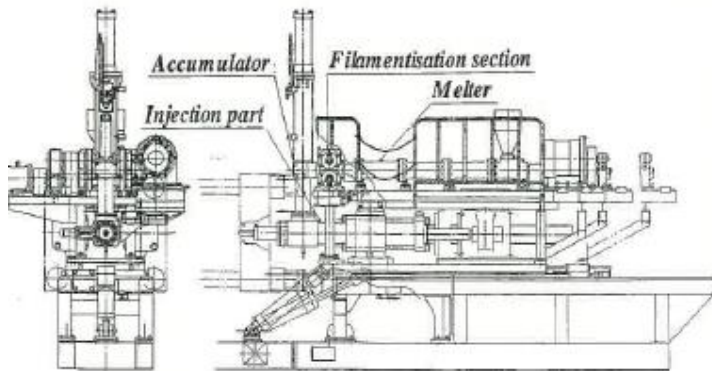


Fig.1 New moulding machine (CCM) for LFRTP pellet except clamp unit.

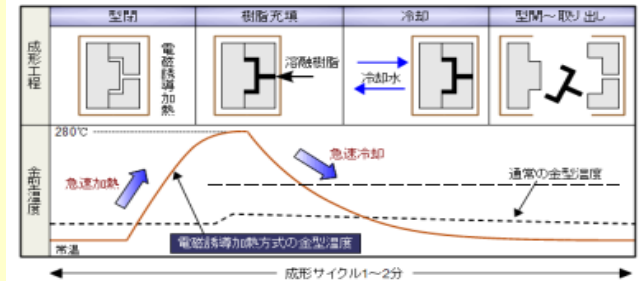
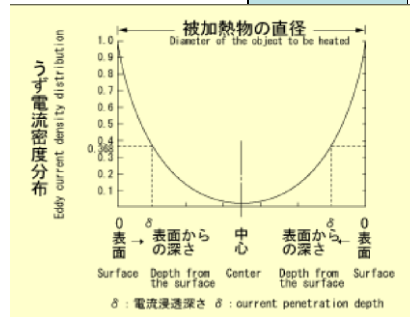
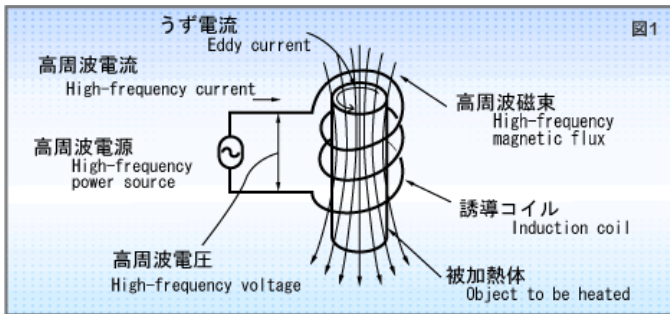
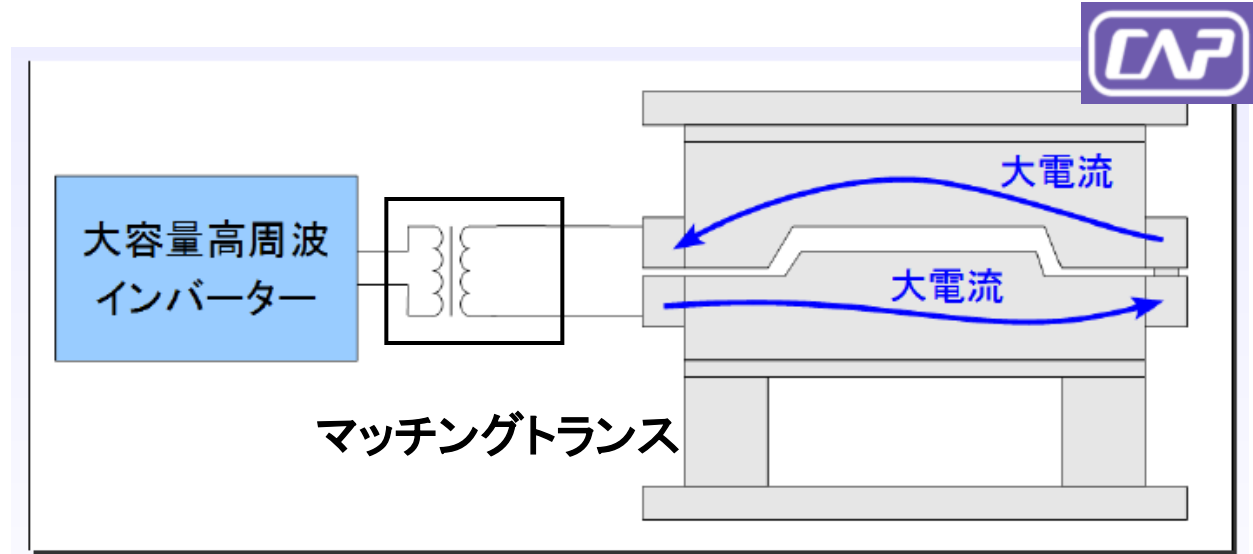
CCM装置(熱可塑性LFT用ユニット)



# プレス技術; 高速・均熱金型温調技術

金型表面の温度を制御⇒材料の成形性を飛躍的に向上

- 高速加熱; 大容量高周波インバータ+とマッチングトランス
- 冷却; 水冷



## 4. 2、マルチマテリアル化、海外の動き



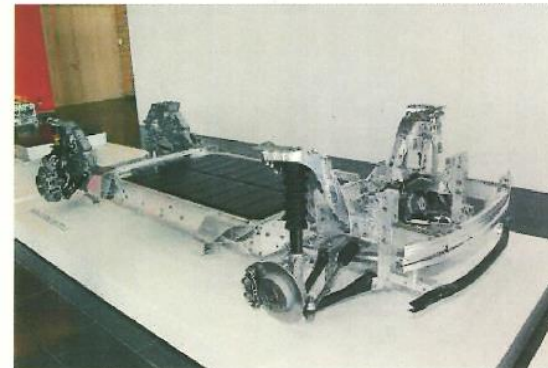
大都市内移動用EVのBMW i3コンセプト



車体上部のCFRP製ライフ・モジュール



CFRP製の車体パーツは人が軽々と持てる重さ



車体下部のアルミ製フレームを用いたドライブ・モジュール

BMW i3、i8 CFRPによるライフモジュールとアルミボデーの採用)



BMW i3 CFRPに寄るライフモジュール

# DRESDEN大学コンセプトカー

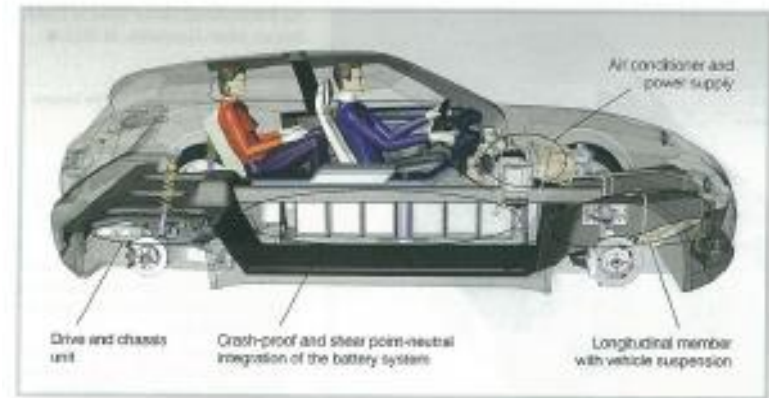


Fig. 3. Vehicle structure of the iEco electric car

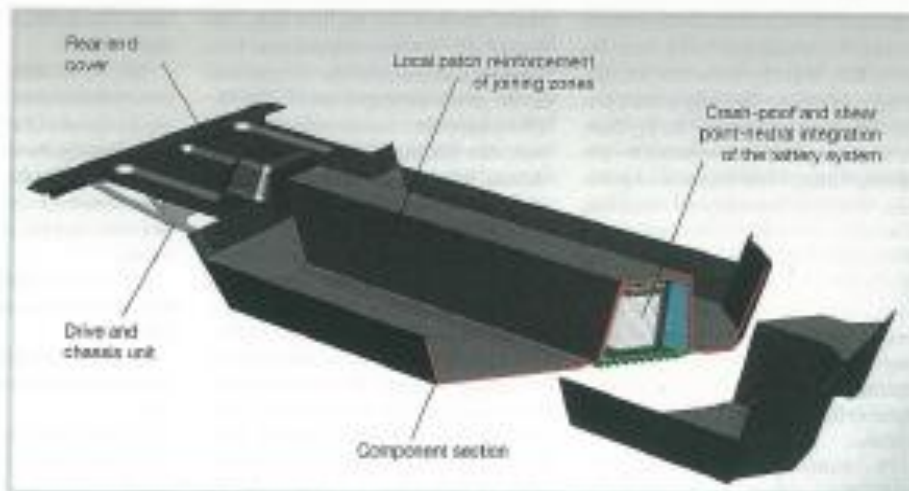


Fig. 4. Floor group of the iEco electric car

車体重量6~700kg

高張力鋼とCFによる  
マルチマテリアル

出展; Kuststoffe international 9/2012 p47-50

# 米国におけるプロジェクト(エネルギー庁)

## Carbon Fiber Material Metrics – 2025 and 2050

U.S. DEPARTMENT OF  
**ENERGY**

Energy Efficiency &  
Renewable Energy

2010

2025

2050

- Carbon Fiber Cost ~ \$9/lb

- Carbon Fiber Cost ~ \$3/lb

- Poly acrylonitrile precursors:
  - <2/1 yield
  - low throughput
  - high emissions

- New precursor chemistries:
  - >2/1 yield
  - high rate conversion
  - low emissions

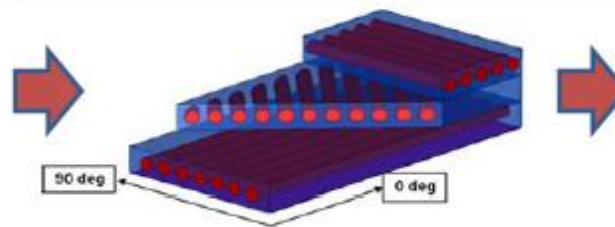
- Precursor - 100% petroleum based

- Stable conversion at temperatures 800-1500°C

- Precursor based on 100% recyclable materials
- 100% sustainable process for making & using CF materials with emissions reduced by 80% compared to 2010

# Carbon Fiber Composites Material Metrics – 2010 & 2050

	2010	2025	2050
Utilization	<40K LDV/yr No use HDV	5% of vehicle mass	15-25% of vehicle mass
Cost	\$12/lb	<\$5/lb	<\$2.5/lb
Modeling		Predictive with CAE & FEM	
Design		50% of theoretical limits	
Raw materials		Non-petroleum based materials (precursors, fibers, resins)	
Joining		Joining technology for CF-CF and CF-metal at cost & time ~steel design	
Recycling		100% recycled, 25% renewable precursor 25% reduced carbon footprint	100% recycled 50% renewable precursor 75% reduced carbon
Repair	0% detection 0% repair	100% detection 25% repair	100% detection 50% repair



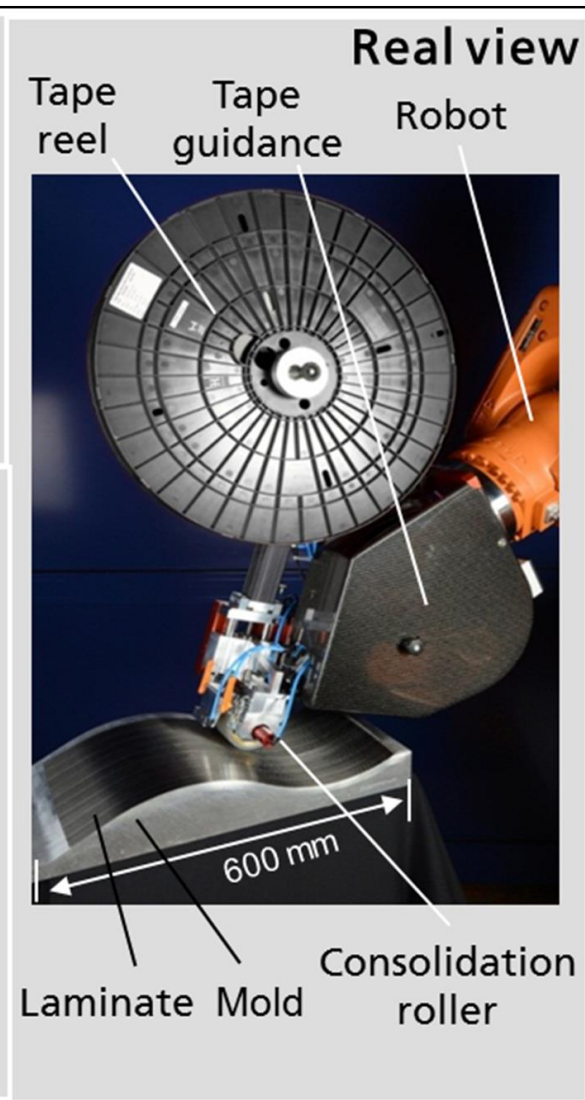
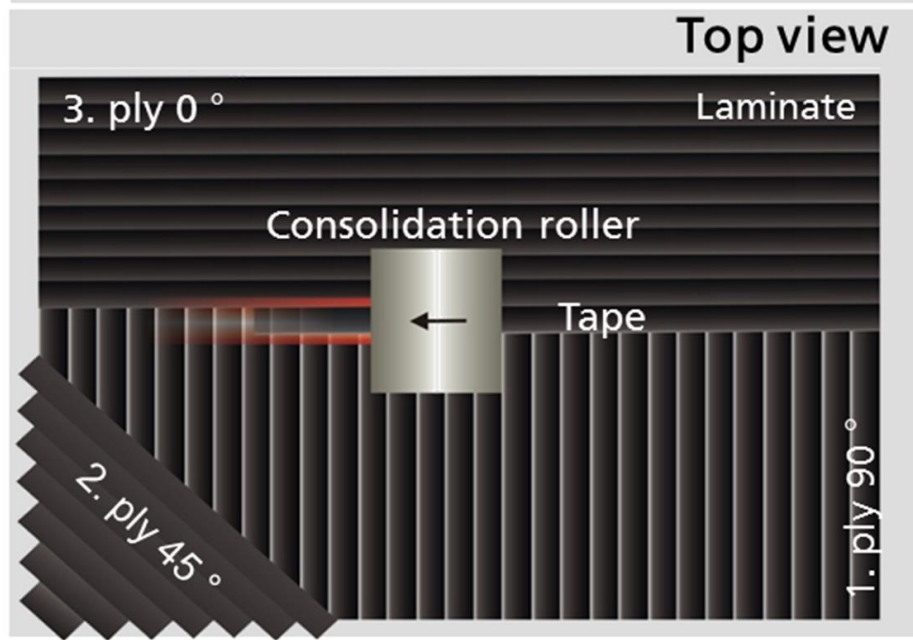
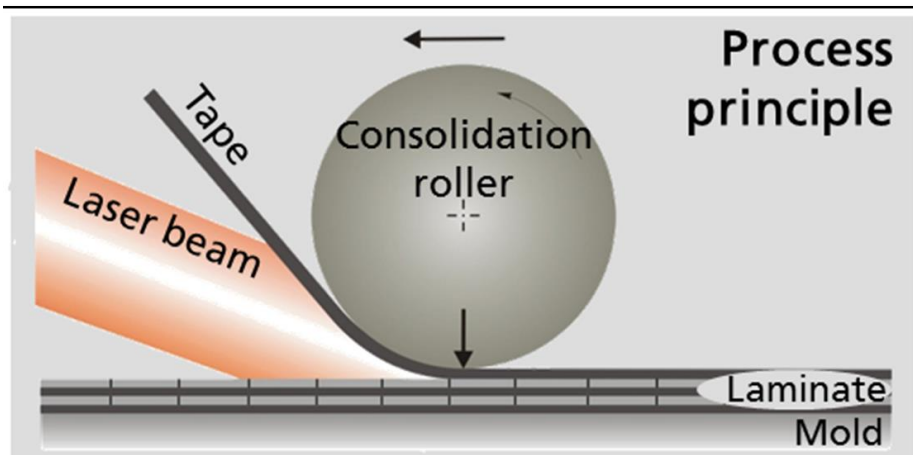
## 欧州の輸送機器用複合材開発プロジェクト

プロジェクト	テーマ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
HIVOCOMP	量産自動車複合材																
TAPAS	航空機熱可塑複合材																
INFCOMP	液注入成形複合材																
IMAC-Pro	航空機複合材																
FUTURA	自動車用素材と生産技術																
MOMENTUM	輸送機用複合材の普及																
SuperLightCar	環境対応軽量自動車																
ITool	織編物複合材シミュレーション																
TECABS	車体用CFRP開発																

注：年表の欄の網掛けは、プロジェクト期間である。

出展：東レ経営研究所；平成23年度経済産業省委託調査

# レーザーによるUDテープ加工





## 6. 終わりに

- 1) 自動車の排気ガス削減による地球環境の改善は急速に推進される。
- 2) 内燃機関→ハイブリッド→電気自動車→(燃料自動車)と自動車形態は変化していくが、軽量化の問題は大きい。
- 3) ハイブリッド自動車以降は搭載バッテリー重量の増加が避けられず、車体重量の低減での対応が必要である。
- 4) 軽量化の検討は、鉄、アルミ、マグネ、プラスチック、CFの順番で検討されるが、プラスチックは体積で40%、重量で10%を占める状況で今後ともに増加すると考えられる。
- 5) 強度部材として、炭素繊維の使用も増加すると考えられる。
- 6) 品質、生産性、コストがテーマとなる。プラスチック、CFはコストが課題。
- 7) 地球環境対応として、エコプラスチック、植物由来樹脂の採用が増加する。採用に当たっては、特に生産性の検討改良が必要である。
- 8) 欧米で進められているコンソーシアム体制による開発方式の長所を取り入れた開発方式の検討が必要。

以上

ご静聴ありがとうございました。