

# 超軽量量産車実現のためのリサイラブル複合材料の開発と評価

## Development of recyclable composite materials for ultra-lightweight mass production vehicles

東京大学工学部 システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース 4年

学籍番号: 30739 氏名: 塩澤 大

指導教官: 高橋 淳 助教授

### 1. 序論

2005年2月、京都議定書が発効し、締約国はCO<sub>2</sub>の排出削減が義務付けられる。日本も例外ではない。しかし、現状ではCO<sub>2</sub>の排出量は増加しつづけている。中でも運輸部門、特に自動車によるCO<sub>2</sub>排出量の増加は著しい。さらに、今後中国やインドをはじめとする発展途上国のモータリゼーションにより、爆発的なエネルギー消費の拡大とCO<sub>2</sub>排出増加は、このままでは不可避である。この問題の解決策として、量産車の軽量化による燃費改善および車体材料のリサイクルが着目される。そこで、本研究では、超軽量量産自動車を実現するためのリサイクル可能な複合材料の開発と評価を目的とする。

### 2. 自動車用途材料の要求性能

#### 2.1 現行材料との比較

車体を軽量化するには、比強度、比剛性の高い材料が必要である。Table 1は、現行の軽量化材料と鉄の比強度、比剛性を比較した表である。

Table 1 The properties of various materials

	Specific strength	Specific stiffness
	Pa · m <sup>3</sup> /g	kPa · m <sup>3</sup> /g
Rolled steel sheet for structure	50.8 ~ 64.8	26.7
Cold-rolled high strength steel sheet	43.2 ~ 68.6	26.7
Hot-rolled high strength steel sheet	68.6 ~ 99.1	26.7
Hot-rolled ultra high strength steel sheet	99.1 ~ 186.8	26.7
Aluminum alloy	107.7	25.5
Magnesium alloy	154	24.7
Titanium alloy	216	25.0
GFRP ( Unidirectional material Vf=30% )	686.3	15.1
CFRP ( Unidirectional material Vf=30% )	1013	64.5
CFRP ( Quasi-isotropic material Vf=30% )	589.7	39.2
CFRP ( Quasi-isotropic material Vf=60% )	804.6	53.4

Note: All FRP's property is theoretical value and matrix is epoxy (MY720).

表から、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)が最も、軽量化ポテンシャルが高いことが分かる。CFRP 特にCFRTS(Carbon Fiber Reinforced Thermo Setting)は、鉄鋼の数倍~数十倍の比強度、比剛性を備え、鉄鋼に比べて大幅な軽量化が可能であるため航空機、F1等のボディ、テニスラケットなどに使用されている。しかし従来、CFRTSは、軽量で高性能な反面、コストが高い、成形に時間がかかる、リサイクルが難しいといった欠点があり、乗用車などの量産品には使用されていなかった。また、CFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics)はコストパフォーマンスに優れ、迅速成形やリサイクルが容易であるという利点を有するものの、CF界面との接着性や樹脂含浸性の悪さから、理論値の1/10~1/2程度しか特性が発現せず、自動車の構造材に用いるためには、大幅に改善する必要がある。本研究で扱うリサイクル材は、CF/エポキシ破砕材とPP(Polypropylene)を混練したものと、6ミリ裁断炭素繊維とPPを混練したものである。前者はCFRTSをCFRTPとして再利用する方法であり、後者はCFRTPの再成

形を想定している。マトリックスにPPを選定したのは、他のTPに比べ比重が小さく、大きな軽量化ポテンシャルに期待できると同時に、安価で、安定に大量生産可能で、成形やリサイクル経験も豊富であり、量産車用途の軽量材料として実現可能性が高いという点からである。

#### 2.2 リサイクル材料の要求性能

CFRPは、強化材のCFが高価な材料のため3Rすべきであり、3Rがシステムティックに出来れば、高寿命化等が影響して、安価に普及できる。しかし、これまでの諸研究で、3Rの実行はLCA的には環境負荷低減やコストに対する有用性は議論されているものの、実際にリサイクルを想定して、様々な実験を行ってみると、低い性能しか発現しないことが分かっている。

そこで本研究では、リサイクルした材料を自動車の車体材料として再度用いることを目的として、曲げ強度200MPa、曲げ弾性率20GPa(タンク類などの非構造部材ならば5~10GPa)以上の特性発現を目指した。

### 3. CFRPPの補強方法

#### 3.1 補強コンセプト

本研究では先に述べた2種類のリサイクル材を扱う。これらは、機械混練されて、繊維が短くなっているため、前述の目標値に対して強度が大幅に不足していた。そこで、本研究では、これらランダム材を中間層にし、その表面に、繊維の長手方向に高い物性値を有する、一方向シートを張り付けることで補強を試みた。

#### 3.2 補強理論

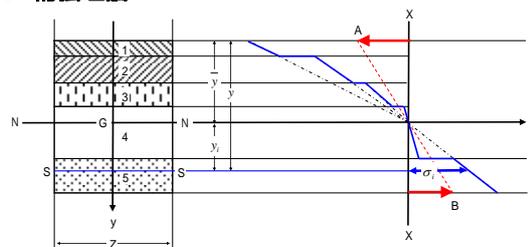


Fig.2 Combination rules of beams

Fig.2のような多くの材料からなる積層板において、中立軸N-Nにおける曲率半径を、i番目の材料の断面積をA<sub>i</sub>とすると、積層板の中立軸の位置  $\bar{y}$  は、

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i \int_{A_i} y dA_i)}{\sum_{i=1}^n (E_i A_i)}$$

また、I<sub>i</sub>をi番目の材料の中立軸に関する断面二次モーメントとすると、たわみ曲線の基本式は、

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{1}{\rho} = -\frac{M}{\sum_{i=1}^n (E_i I_i)}$$

る。本研究では、これらの式を用いて、強度、剛性の理論値と実測値の比較、解析を行った。

### 4. 試料作成方法および試験片寸法

プレス成形したランダム配向CFRPP板の表面に一方向連

続繊維 CFRPP シートを貼り付けることで、補強を行った。Table 2 に示すように作製した試験片の種類は 6 種類である。また、試験片寸法を Fig.3 に示す。

Table 2 Type of specimens

	Non-Reinforcement	Single-Side Reinforcement	Double-Side Reinforcement
recycledCFRP/PP			
CFRPP			

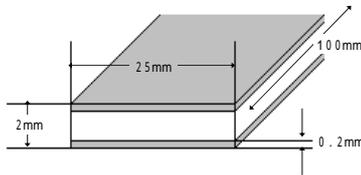


Fig.3 Schematic of the specimen with both sides reinforced

～ の中間層(混練前繊維長 6mm)および一方方向シートの炭素繊維は東レ製 T700SC-24K、～ の中間層には東レ CF/Epoxy 積層板を破碎、熱処理したもの(混練前繊維長 1m m ~ 10mm)を用いた。マトリクスには、PP J3000GP およびユームックス 1010 を用いた。各材料の物性値を Table 3 に、構成比を Table 4 に示す。

Table 3 Material properties in this study

	TYPE	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Elongation (%)	MFR
Carbon Fiber	T700SC-24K	1.8	4900	230	2.1%	
PP	J3000GP	0.9	40	2		30

Table 4 Composition ratio of materials

	CF		residual EP		resin taotal		PP		umex	
Material	Vol(cc)	Wt(g)	Vol(cc)	Wt(g)	Vol(cc)	Wt(g)	Vol(cc)	Wt(g)	Vol(cc)	Wt(g)
recycledCFRP/PP	14.4	25.92	1.6	1.92	32.00	28.80	25.14	27.94	6.86	0.86
CFRPP	14.4	25.92	-	-	33.60	30.24	26.10	29.33	7.50	0.91

試料の作製作業のうち、材料の混練を、混練抵抗測定装置ラポプラストミル(東洋精機製、10C100)で、その他の成型作業は全てホットプレス機、Mini Test Press-10(東洋精機製)で行った。成形温度は 230 。ポイド抜きを行った後、段階加圧法にて 5MPa、10MPa、20MPa、35MPa にてそれぞれ一分間加圧した。冷却方式は水冷。120 で 1 時間アニーリングを行った。

## 5. 試験

### 5.1 3点曲げ試験条件

支持スパン 80mm、クロスヘッドスピード 5mm/mim で行った。片面補強の試験片は、補強側が引張側になるよう試験を行った。

### 5.2 3点曲げ試験の結果および考察

3点曲げ試験の結果を、Fig.4、Fig.5 に示す。

#### 5.2.1 CFRP/PP における破壊挙動

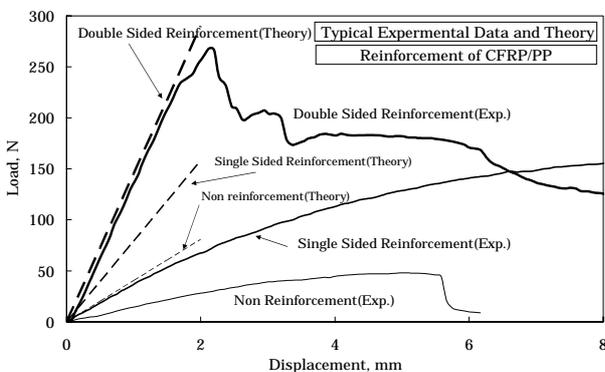


Fig.4 Load-Displacement curve (CFRP/PP)

補強なし: 引張側からき裂が入り、脆性的に破壊した。 片面補強: 破壊は、圧縮側の座屈から始まり、き裂が引張側へと進展した。また、一部でシートの剥離が、起きていた。 両面

補強: 破壊は、圧縮側シートの座屈・剥離が起きた。亀裂は、直ちに中間層を進展して引張側に達し、引張側シートの剥離を誘発した。

#### 5.2.2 CFRPP における破壊挙動

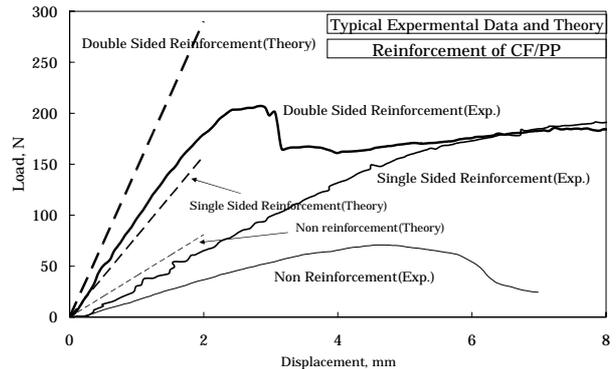


Fig.5 Load-Displacement curve (CFRPP)

補強なし: 引張側からき裂が入り、脆性的に破断した。 片面補強: 圧縮側の座屈が起こり、亀裂が引張側へと進展した。また、一部でシートの剥離が生じた。 両面補強: まず、圧縮側シートの座屈・剥離が生じ、片面補強と同じ負荷状態となり、その後は片面補強の場合に似た荷重 たわみ線図を描いた。

#### 5.2.3 考察

剛性、強度の計算結果を Fig.6 に示す。

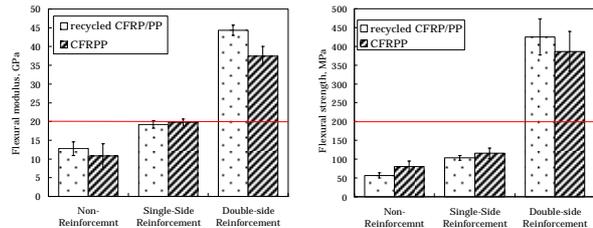


Fig.6 Modulus (L) and Strength (R)

特筆すべきは、補強なしの試験片が脆性だったのに対して、補強の結果、金属にみられる延性的な破壊挙動を示したことである。これによりピーク荷重後のエネルギーの吸収量が飛躍的に向上した。

両面補強では、ヤング率と強度が大きく目標値を越えた。また、ヤング率の理論値に対する発現率が向上している。

中間層が脆い CFRP/PP の方が、強度、剛性の補強効果が大きく、逆に中間層が柔らかい CFRPP では吸収エネルギーが大きく向上した。

両面補強と片面補強ともに、圧縮側シートから破壊が起きたことから、今後圧縮側により強い補強をすることで強度および吸収エネルギーの増加が期待される。

## 6. 結言

迅速成形に有利な短繊維ランダム配向 CFRPP と CFRP 破砕材のリサイクルを目的とした CFRP/PP の表面に、薄い一方方向シートを貼る簡便な手法を開発し、曲げ剛性、曲げ強度の改善に効果があることを確認した。また、一方方向シートの補強により、CFRP の短所であった脆性的破壊挙動が延性的に制御でき、エネルギー吸収量の大幅な改善に成功した。

今後の課題として、圧縮側の補強、表面荒さの処理、衝撃安全性の確認などが挙げられるが、本技術は、使用済み CFRP の有効利用および安価で迅速成形可能な CFRPP のクローズドリサイクルの実現に大きく寄与する技術である。

参考文献は、紙面の都合上省略する。