

# CFRP を用いた車両製作

佐々木佳久・清水啓司・横井隆治・西側通雄

## 1. はじめに

近年、省エネルギーおよび環境性能の優れた自動車の開発が求められている。このような自動車を実現させるには、エンジンの高効率化および車両の軽量化が考えられる。軽量化の目的からアルミニウム合金、プラスチックおよび複合材料が使用されている。その中でもプラスチックは安全性や環境保全の点から期待されている。実際にプラスチック製フェンダー等が国内外のメーカーで使用されている。また、複合材料の中でも CFRP（炭素繊維強化プラスチック）は次世代自動車材料として注目されているが、実際の採用例は少ない。今後、大量生産可能な高速成形技術が確立することにより本格実用化が加速すると考えられている。

ソーラーカーにおいても、省エネルギーの点から軽量化が進められている。実際に国内の大会へ参加しているトップチーム（大学および高校）は、これまで用いられてきたスチールやアルミ製フレームから CFRP 製フレームへ変更している。その結果、軽量化を実現し記録が向上している。CFRP が高価な材料にもかかわらず使用されているのは、アルミ合金の溶接に比べ製作が簡単なこと、出場チームの製作技術の向上および入手が容易になったことなどがいえる。今後、価格の低下が実現できれば、多くのチームが CFRP を使用すると考えられる。

本稿では、2006年9月に行われた中日本自動車短期大学創立40周年事業「レバンテプロジェクト」の際に、CFRP を用いたソーラーカー（車名：Sol Levante）を製作したので報告する。

## 2. 車両の概要

車両の寸法等の仕様は、大会への出場を考慮し決定した。参考にしたレギュレーションは「DREAM CUP ソーラーカーレース鈴鹿」ENJOY クラスのレギュレーション（表1）である。

表2は ENJOY クラスに出場している5号車との比較である。ボディサイズは大幅に変更している。この理由としては、ソーラーパネルを追加できるように考慮したためである。これによりソーラーパネル出力を上げ、他のクラスにも出場することが可能である。最も大きな違いは、フレームに用いた材料である。スチール（図2の左）やアルミ材（図2の中央）から CFRP（図2の右）に変更した。これによりボディサイズが拡大したにもかかわらず、車両重量は10%の軽量化を実現することが出来た。また5号車ではフロント・タイヤが剥き出しだったものを、10号車

ではカウルで覆い空気抵抗の低減を図った。

表1 レギュレーション抜粋

クラス	DREAM	CHALLENGE	ENJOY
全 長	5,000 mm 以下	←	←
全 幅	1,800 mm 以下	←	←
全 高	1,600 mm 以下	←	←
車輪数	3 輪以上	←	←
車両重量	300 kg 以下	←	←
乗車定員	1 名	←	←
モータ	自由	←	←
バッテリーの種類	自由	鉛 (制御弁式)	鉛 (制御弁式)
ソーラーパネル出力	480Wを超え 制限は無い	480Wを超え 800W以下	480W以下

表2 車両諸元

		5号車	10号車 (Sol Levante)
全 長		3,600 mm	3,800 mm
全 幅		1,300 mm	1,600 mm
全 高		1,000 mm	930 mm
軸間距離		1,700 mm	1,880 mm
車輪間隔	フロント	1,000 mm	1,186 mm
	リ ア	—	—
車輪数		3 輪	3 輪
車両重量		200 kg	180 kg
乗員数		1 名	1 名
ボディー材質		GFRP	CFRP & GFRP
フレーム材質		アルミ角パイプ	CFRP



図1 ソーラーカーと遠征スタッフ

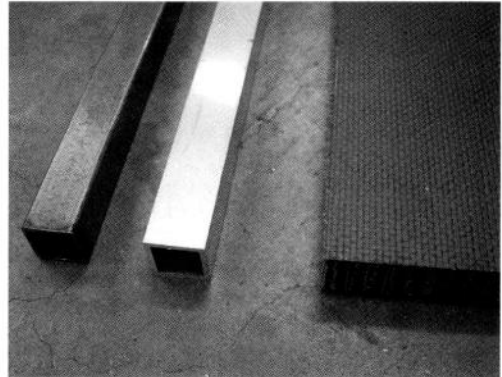


図2 フレーム材料

### 3. 繊維強化プラスチック (FRP) とは

繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastics) は通常 FRP と呼ばれる。FRP は繊維をプラスチックの中に入れて強度を向上させた材料のことである。

プラスチックは軽量ではあるが、弾性率が低く構造用材料としては適していない。そこで、ガラス繊維のように弾性率の高い材料との複合材料として、軽量で強度の高い (比強度の大きな) 材料として用いられる。強化材はガラス繊維、炭素繊維およびケブラーなどが用いられる。樹脂は不飽和ポリエステル樹脂およびエポキシ樹脂が用いられる。

成型方法としては、型に繊維骨材を敷き、硬化剤を混合した樹脂を脱泡しながら多重積層してゆくハンドレイアップ法やスプレイアップ法のほか、あらかじめ繊維と樹脂を混合したシート状のものを金型で圧縮成型する SMC プレス法、部材を大型の窯 (オートクレーブ) で焼く方法などがある。

今回、使用したのはガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂の複合材料 (図3) と炭素繊維とエポキシ樹脂の複合材料 (図4) を用いた。一般に前者を GFRP、後者を CFRP と呼ぶ。

CFRP は (株) ジーエイチラフトから販売されているサンドイッチパネルを使用した。名前の通りコア材 (図4 のハニカム材) を CFRP で挟んである。

表3 材料の機械的特性

材 料	引張強度 (MPa)	弾性率 (GPa)	比重
SCM435	930	200	7.8
SS400	400	200	7.8
S45C	570	200	7.8
A6063-T5	150	70	2.7
A6063-O	50	70	2.7
CFRP	500~750	50~100	1.6
GFRP	100~200	10~15	1.5



図3 GFRP

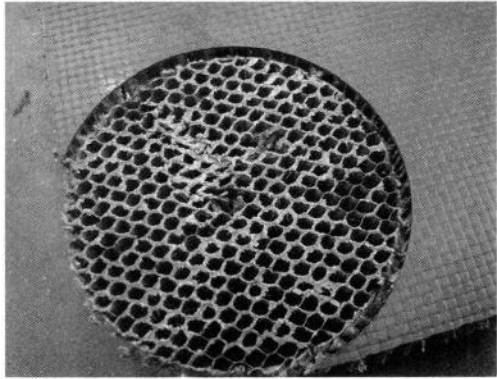


図4 CFRP

#### 4. サンドイッチパネルの接着

##### 4. 1 使用道具

材料をCFRPへ変更したことで製作工程が大幅に変わり、これに伴い使用道具も大幅に変わった。下記に記載したもの以外の道具も使用したが、材料の切断および接着に使用した道具をまとめた。

##### 4. 1. 1 CFRPの切断に使用した道具

- ・ケガキ針：線引きに使用。
- ・シャコ万力：材料の固定に使用。
- ・電動丸鋸：ダイヤモンドカッターを付けCFRPの切断に使用。
- ・ホールソー：CFRPをくり貫く際に使用。
- ・トリマー：CFRPをくり貫く際に使用。
- ・サンドペーパー：バリ取りに使用。
- ・カッター：カーボン生クロス（CFクロス）を切断する際に使用。
- ・角パイプ：材料を切断する際に治具として使用。

##### 4. 1. 2 CFRPの接着に使用した道具

- ・布ガムテープ：サンディング時のマスキングに使用。また、樹脂がつきにくいので離型材の代わりしても使用出来る。
- ・マスキングテープ：CFRPにケガキ針で線を引いても見えにくいいため、線引きとして使用。
- ・サンドブラastingガン：サンディングの際に使用。
- ・シャコ万力：材料やパイプの固定に使用。
- ・L型クランプ：材料やパイプの固定に使用。
- ・ハケ（木工・工作用）25mm および 40mm：

積層時など樹脂を塗る際に使用。大きいものを使用すると、刷毛にしみこんだ樹脂が無駄になるので、作業面積によって使い分けると良い。

- ・羊毛ローラ：面積の大きい部分に樹脂を塗る際に使用。
- ・鉄ネジローラ：脱泡に使用。
- ・スパイラルローラ：脱泡に使用。
- ・パテベラ：パネル断面の凹凸にパテを詰込む際に使用。
- ・コーキングベラ：樹脂の攪拌や塗る際に使用。
- ・容器（接着面大きいとき）：樹脂を混ぜる容器として使用。
- ・紙コップ（接着面小さいとき）：樹脂を混ぜる容器として使用。
- ・角パイプ：接合面の固定に使用。樹脂が付着しないようにマスキングをすること。
- ・カーボン生クロス（テープ状）：接合部の補強に使用。
- ・ゴム手袋：樹脂などから手を保護するために使用。
- ・樹脂：接着に使用。
- ・アセトン：脱脂や道具の洗浄に使用。
- ・フィラー：樹脂に混ぜることにより粘度を調整するために使用。

#### 4. 2 サンドイッチパネルのカット

寸法に合わせてケガキを行う。木材を切断する際に使用する電動丸鋸にダイヤモンドカッターをセットする。これを用いてカットするが、真直ぐ切断されていないと接着の際に苦労することになる。そこで、角パイプ等をケガキ線と平行にセットし、シャコ万力で固定をする。セットしたパイプに沿わせて丸鋸を進めていくと真直ぐカットできる。カット後は断面のバリをサンドペーパーで除去する。

カットする際、微小な炭素繊維の粉が出るため、肌を露出しないよう注意する。また、防塵マスクやゴーグルの着用も必要である。

#### 4. 3 カーボン生クロス(CFクロス)のカット

カーボン生クロス (CFクロス) とはカーボン繊維 (CF) の束を平織りしたものである。今回使用したものは1束あたりのCFの数が1000本(以下1K) および3000本(以下3K)を使用した。このクロスを帯状にカットするのだが、カット面に対して束が縦横になっているものを0/90°、斜めになっているものを±45°と呼ぶ。

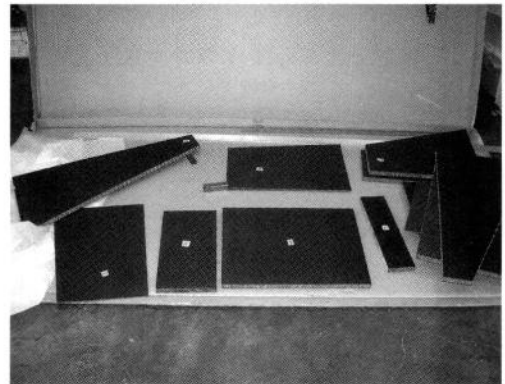


図5 カット後の材料



図6 クロスのカット

CFクロスはカッターを用いてカットする。カット幅は30mm, 50mm および 70mm である。カット後,  $\pm 45^\circ$  の帯は伸びやすいので注意が必要である。

#### 4. 4 樹脂

樹脂は WEST SYSTEM のエポキシ樹脂を使用する。接着の際の作業時間を知るために, 樹脂の硬化時間を計測する。今回, 室温 $24^\circ\text{C}$  で主剤100g に硬化剤を混ぜて計測したところ22分で硬化した。このとき反応熱が出るため, やけどをしないように注意をする。

樹脂は積層および穴埋めなど用途に応じてフィラーの量を調節して用いる。硬さの度合いを食べ物に例えると, 一番柔らかい状態がシロップ, 次にケチャップ, マヨネーズ, ピーナッツバター の硬さに調整して使用する。積層する場合はシロップ状, パテとして使用する場合はピーナッツバター状の硬さに調整し使用した。樹脂の詳しい使用方法について知りたい方は WEST SYSTEMS のホームページ (<http://www.westsystem.com/>) を参考にすると良い。

#### 4. 5 2次接着

##### 4. 5. 1 サンディング

樹脂の付きがよくなるようにサンディングする。布製のガムテープを使用しマスキングを行なった後, サンドブラストを行なう。エア圧が高いと凹みができてしまうので注意が必要である。作業後エアブローを行ない, 固く絞ったウエスで表面の砂を取り除く。今回はエア圧  $3 \text{ kg/cm}^2$  で行なった。

図7で使用している道具(サンドブラストノズル)がない場合は, サンドペーパーでも差し支えない。



図7 サンディング

##### 4. 5. 2 板の突合せ接着

フレームの底板となる部分(図8中央), 運転席の左右のパネル(図8左右)およびカウルのサイドパネルは2枚以上のパネルを接着して製作した。本来なら1枚の板であれば丈夫で軽量となるのだが, サイズが既製品外となるためこのような方法を選んだ。以下に接着の手順をまとめる。

- ・サンディング部(継目)をアセトンで拭き脱脂。
- ・樹脂を混ぜ下塗りをする。(サンディング部と継面に)
- ・樹脂にフィラーを混ぜパテを作る。

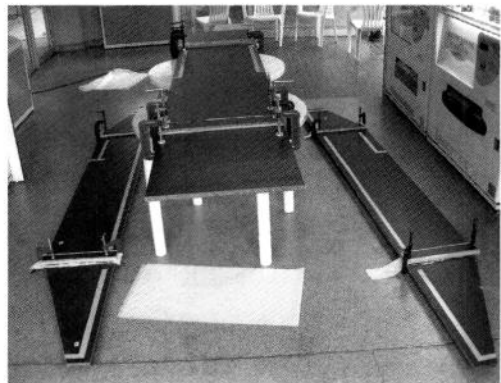


図8 接合後のパネル

- ・断面にパテを詰める。
- ・断面を貼り合わせる。
- ・角材とバイスで固定する。
- ・樹脂にフィラーを混ぜる。(シロップ程度の硬さ)
- ・サンディングした部分(継目)に刷毛で樹脂を塗る。
- ・継目へCF3K クロス0 / 90° (30mm 幅) を置き脱泡する。
- ・この上に樹脂を塗り, CF3K クロス0 / 90° (50mm 幅) を置き脱泡する。
- ・ピールクロスのをせ脱泡後に角パイプで押さえる。
- ・30℃の部屋で熱を加える。(温度は徐々に上げること) 2時間ほど熱を加え, 残り2時間予熱で除冷する。

この段階では継目の一面しか積層されてないので, 硬化後もう一方の面も積層を行った。その手順を以下にまとめる。

- ・継目からはみ出した樹脂をスクレイパーで取り除く。
- ・継目をアセトンで拭く。
- ・樹脂を下塗り後, フィラーを加え混ぜる。(シロップ程度の硬さ)
- ・継目へCF3K クロス0 / 90°を2 ply 行う。(1枚目30mm 幅, 2枚目50mm 幅)
- ・ピールクロスのをせ脱泡し角パイプで押さえる。
- ・30℃の部屋で熱を加える。

#### 4. 5. 3 板を直角に接着

フレームの立体的な構造を造るためには板の上に板を立てて接着を行う必要がある。大きな板を接着するため, 数名で作業を行わなければならない。それぞれの作業の進行度合いを確認しながら手際よく行う必要がある。作業を効率よく行うポイントとしてはクロスの積層作業をダンボールなどの平面で行い, これを接着面に置き脱泡をする。この方法は狭い場所など, 作業の行いにくい場合に有効である。以下に, 作業手順をまとめる。

- ・板を立てるところに, 突合せ接着したところがあれば盛り上がった部分を削る。
- ・接着面をアセトンで拭く。
- ・位置決めしやすいようにクロスを貼る反対側に角パイプを置き固定する。
- ・樹脂を下塗りする。(ローラとハケ使用)
- ・樹脂とフィラーを混ぜパテを作る。
- ・板を立てるところに多めにパテを塗る。
- ・断面にパテを詰める。
- ・板を合わせ上から押し, 固定する。



図9 2次接着の様子

- ・ 継目へパテで R をつける。
- ・ ダンボール上で CF クロスを積層する。(1枚目  $3K \pm 45^\circ$  の 30mm, 2枚目  $3K \pm 45^\circ$  の 60mm, 3枚目  $1K0 / 90^\circ$  の 70mm)
- ・ クロスを継目に貼る。
- ・ピールクロスのをせ脱泡し角パイプで押さえる。
- ・ 12時間以上放置する。
- ・ 反対側の継目にも積層したテープを貼り脱泡する。

これらの作業を繰り返し、フレームを完成させる。

#### 4. 5. 4 炉で熱を加える

今回は実行することが出来なかったが、接着のあとに熱を加えなければならない。熱を加えることによって樹脂の分子が配列を変え規則正しい架橋構造になる。結果、丈夫なフレームが出来上がる。熱を加える場合は徐々に温度を上げていかなければならないなど制約があるようだが、今後の製作を通じ報告したい。

### 5. お わ り に

今回、初めて取り扱う材料を使用して車両を製作した。短期間で製作という困難な問題もあったが、結果としては走行できる状態まで仕上げることが出来た。イタリアでの走行では接着面がはがれる等のトラブルも無かった。製作および走行に参加した学生達はチームワークの大切さ、ものづくり楽しさなど貴重な体験が出来たと確信した。

今後の課題としては、未完成の部分もあるので今後のレースを積み重ね熟成させること、この技術を省エネカー等にも応用すること、および更なる製作技術の向上などが上げられる。

おわりに、車両製作に際しご指導頂いた中日本自動車短期大学 OB の橋場寛氏に謝意を表します。また製作や遠征に参加した本科生の宮崎惇史君、森澤由江君、山本昂史君、満林貴由君、林俊介君、木下広一君および竹下徹君に感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 1) 西側通雄, 清水啓司, 横井隆治, 佐藤幹夫, 佐々木佳久, 高行男: ソーラーカーの試作 (第6報, 北海道走行用ソーラーカー), 中日本自動車短期大学論叢, 第34号 (2004) p.41-45
- 2) 佐々木佳久, 中山英夫, 中川実, 伊藤英修, 西側通雄: 「北海道一周ソーラーカーの旅」 走行日誌, 中日本自動車短期大学論叢, 第34号 (2004) p.121-130
- 3) 日本太陽エネルギー学会編: エコ電気自動車のしくみと製作, (株)オーム社 (2006)
- 4) 草川紀久: 自動車と高分子材料, (株)シーエムシー出版 (2006)
- 5) 門間改三: 大学基礎機械材料改訂版, 実教出版株式会社 (2001)