

FRPによる省エネEV用カウリングの試作

高橋正則・神谷 怜・竹田修一郎・渡慶次 直
仲野淳史・川島尚也・三浦貴志

1. はじめに

筆者らは、省エネEVを試作し、レースに出場する機会を得た。省エネEVレースは、「性能の同一なバッテリーでどれだけ長い距離を走れるか」を競うレースである。

今回、省エネEVの試作において、空気抵抗の軽減策として車体にカウリングを取付けることにした。軽量かつ高強度であり、デザインの自由度が高いなど、カウリングの材料としてFRPは最適であると判断した。

FRP (Fiber Reinforced Plastics) は、ガラス繊維強化プラスチックと訳される。我が国で使用され始めて、40年余りの年月が経っている。FRPは、軽量かつ高強度であるという特徴から、ヨット、ボートなどの船舶、自動車の外装備品、ヘルメット、浴槽、公園の遊具等々の、様々な分野で使用されている。しかし、FRPの成形技法は、あまり一般的でなく、美しい仕上がりの製品を作る技法は、専門家のノウハウとして明らかにされていない部分が多い。筆者らは、限られた知識で、試行錯誤しながらFRPカウリングを試作した。本稿では、FRPによるカウリング試作の概要と競技車両の概要について紹介する。

2. FRPの概要

複合材料であるFRPは、繊維で強化されたプラスチックである。この場合のプラスチックとは不飽和ポリエステル樹脂のことで、「ガラス繊維の絡み合いを強固にする接着材」や「製品の平滑面の構成」の役割をする。

FRPに使用されるガラス繊維には用途に応じて数種類ある。代表的なものとして、ガラスクロス(図1)、ガラスマット(チョップド・スラント・マット)(図2)がある。前者は、ガラス繊維を縦横に交差して織ったもので、引っ張り強度が強いのが特徴である。織り目が柔らかく曲率の小さな角部に適している。ただし、三次元的な曲面には馴染みにくい。後者は、約50mmにせん断されたガラス繊維を方向性なく散らしたものを結合して布状にしたもので

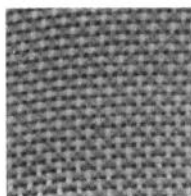


図1 ガラスクロス

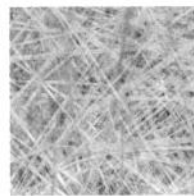


図2 ガラスマット

ある。曲面の型に馴染み易く、作業性が良好である。

一方、プラスチックとなる不飽和ポリエステル樹脂は液状である。そこに約1%の割合で硬化剤(過酸化メチルエチルケトン：通称パーメック)を混入することで、化学反応によって固体化させる。樹脂の硬化時間は、作業時の温度で大きく変化する。作業時間と硬化時間を調整するために、硬化促進剤や硬化遅延剤が使用されることもある。また、積層の最後の層については、樹脂の不完全硬化によるベタつきを防止するために、流動パラフィンを約1%の割合で混入する。これによりパラフィン分が表面層となり内部層が硬化する。なお、樹脂が硬化するときには、60~90℃に発熱するので注意しなければならない。また、ポリエステル樹脂や溶剤のアセトンは、臭気が強いのので換気の良い場所で作業しなければならない。

現在FRPは、より高強度を求めて材料も多様化しており、繊維については炭素繊維、アラミド等があり、樹脂についてもエポキシ樹脂やビニールエステル樹脂などがある。しかし、それらは、材料コストが高く特殊な設備を必要とする場合があり価格や技術的に一般的ではない。

3. 製作の工程

FRP成形法も製品の用途、大きさ、製造個数によって様々であるが少数製作の場合、安価な設備・型材料で成形ができるハンドレイアップ法が一般的である。積層の際に使用する用具を図3に示す。

ハンドレイアップ法の工程概略を図4に示す。製品形状と同じ原型を製作し、そこに離型処理を行いガラス繊維と樹脂を積層する。樹脂硬化後、離型をして原型の反転型ができる。その反転型に離型処理を行い、ガラス繊維と樹脂を積層する。反転型から離型をすると製品ができる。

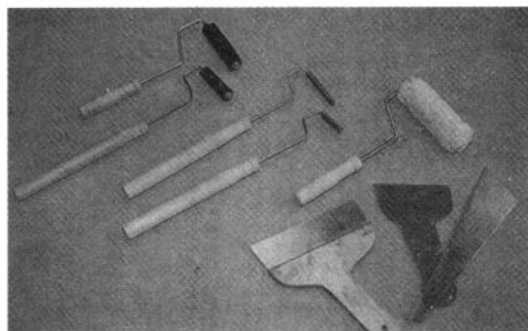


図3 積層用具

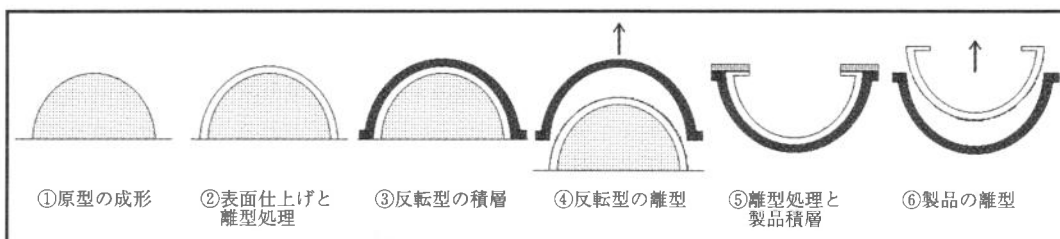


図4 ハンドレイアップ法の工程概要

4. 原型の成形

原型を製作するときには、製品までの工程を全て念頭において製作しなければならない。フレー

ムの取付け、上下の分割面、離型時の抜き勾配、材料の選定など製作者のアイデアが問われる場面でもある。

原型に要求される材料としては、「樹脂によって溶解，変形等を起こさない性質であること」「加工が容易であること」などが挙げられる。原型の材料として利用されるものに、木材や石膏がある。しかし、曲面の加工性を考慮して硬質発泡ウレタンを主材として使用することにした。原型の上下分割面を合板で作り（図5）断面形状を荒加工したウレタン・ブロックをウレタン用ボンドで接着した（図6，7）。断面罫書き線に合わせてスムーズな曲線になるようにウレタンを削った（図8）。更に，原型表面の凹凸を確認するためと，発泡ウレタンの巣穴を埋めるために，ポリエステル・サーフェーサーを塗布した。表面の凹面には，ポリエステル・パテを付けて修正した（図9）。この段階で原型形状が出来上がる。そして，原型表面に白色のゲルコート樹脂を約0.5mmの厚みで塗布した。ゲルコート樹脂は，型または製品の表面となる樹脂層に使われるもので，積層用のポリエステル樹脂よりも強度が高く，表面の光沢・平滑性を得るためや，型や繊維層の保護のために使用される樹脂である。ゲルコート樹脂硬化後，耐水サンドペーパー（＃400～＃1000）で面研ぎをして，更に表面をコンパウンドで研磨した（図10）。この原型の表面状態が製品の表面肌の光沢を左右する。

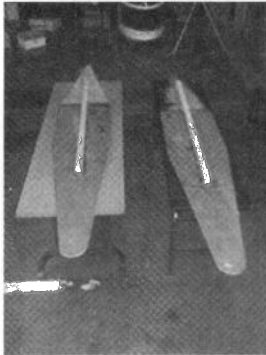


図5 上下分割面の合板

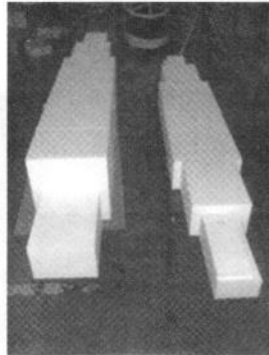


図6 硬質発泡ウレタン

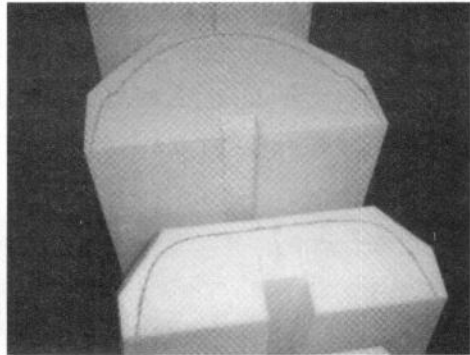


図7 断面形状の罫書き線

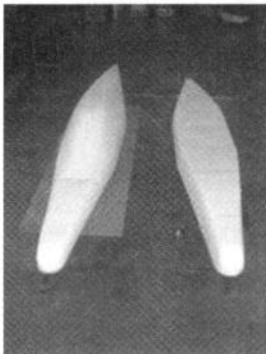


図8 ウレタン研削後

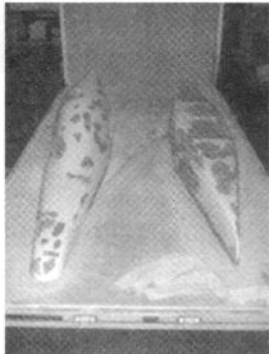


図9 パテ修正



図10 ゲルコート塗布・表面研磨後

5. 反転型の成形

反転型の積層をする前に、原形に離型処理をする。これは、積層する樹脂が原型に接着して離型不能になるのを防止するためである。原型に自動車用ワックスを10回繰返し塗り込んだ。更に離型を確実にするために、その上からPVA（ポリ・ビニール・アルコール）を塗装ガンにより塗布をした（図11）。PVAは水溶性の液体で、水で希釈して塗装ガンで塗布し、乾燥するとビニール膜ができるものである。

PVA乾燥後、ゲルコート樹脂を約0.5mmの厚みで塗布した。原型には、白色のゲルコート樹脂を塗布したので、反転型表面になる方は、塗布ムラの確認のために、黒色のゲルコート樹脂を使用した。ゲルコート乾燥後、反転型の積層をした。ガラスマット450g/m²を5プライの積層で、強度が必要な箇所は10プライとした。積層は、型表面に、ポリエステル樹脂を含浸用ローラーで塗り、その上から、約30×30cmに裁断したガラス・マットを置いて行く。更にその上から、ポリエステル樹脂を塗り、脱泡ローラーで、丹念に空気を抜いていった。この作業を積層する回数繰返し行う（図12）。硬化剤が混ぜられた樹脂は、20～30分程でゲル化が始まるので、敏速な作業と作業者の連携が必要となる。

樹脂硬化後、反転型を原型から離型した（図13）。本来、原型がそのままの状態でも離型しなければならないが、今回の試作では、離型のきっかけが上手くできなかったので、原型を壊して、反転型のみ残すことにした。この点については、抜き勾配の不足、型の分割等のアイデアが必要でなかったか等の反省点が上げられる。



図11 PVAを塗布した状態



図12 FRPを積層した状態

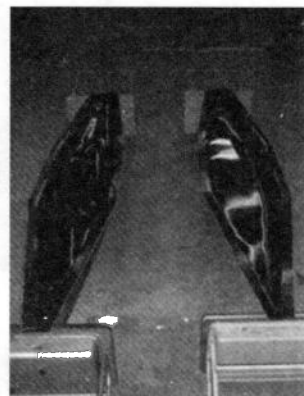


図13 反転型

6. 製品の成形

反転型にワックスを使用し離型処理を行った。更に、離型のきっかけを作るために、反転型の数箇所にφ4mmの穴を開け、セロハンテープで型面を塞いだ。これは、離型時に穴から圧縮空気を吹込み、離型のきっかけを作るためである。更にこの上から、PVAを塗布した。

製品用のゲルコート樹脂を約0.5mmの厚みで塗布した。ここでも、塗布ムラが確認できるように、反転型と反対色の白色ゲルコート樹脂を塗布した。

ゲルコート樹脂乾燥後、離型処理を行った合板を反転型に取り付け、フランジ部の積層から始めた。フランジ部については、短冊状に裁断したガラスマクロス180g/m²を使用した。その後、ガラスマット450g/m²を反転型の上に1プライ積層した(図14)。樹脂が硬化した後、製品を壊さないように、慎重に離型した。

離型した製品は、白色のゲルコート面が平滑であり、原型表面が再現されていた。そして、フレーム取付部、スクリーン部等の加工、塗装を行った。

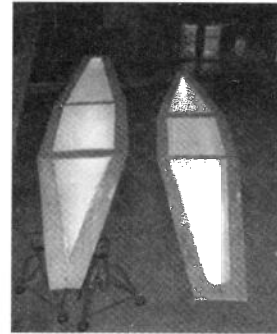


図14 製品の積層

7. 車両概要・レース結果

完成した省エネEVを図15に示す。諸元を表1に示す。この車両で、Econo Power in GIFUとエコデン・レースに出場した。参加レースにより車両規定が異なるため、同一車両であるが電気回路やモーターの構成が異なる。

前者のレースでは、平均速度18.94km/h(5位/完走21台)で、後者のレースでは平均速度15.73km/h(18位/完走79台)の結果であった。もっと好成績をおさめると思っていたのだが、練習不足やデータ不足、チームとしての未熟さがレースの結果として現れたものと思う。

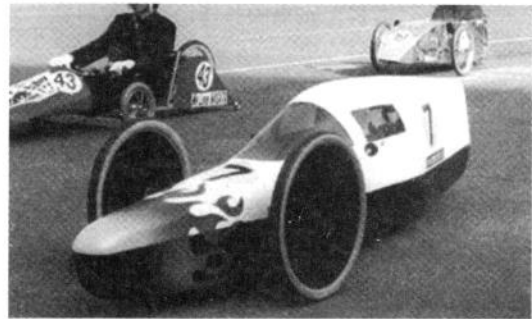


図15 省エネEV

表1 省エネEVの諸元

	<i>Econo Power in GIFU</i> 仕様	エコデン仕様
全長 (mm)	2540	←
全幅 (mm)	700	←
全高 (mm)	590	←
ホイール・ベース (mm)	1300	←
トレッド (mm)	650	←
車両重量 (kg)	22	←
フレーム	アルミ・スペースフレーム	←
ボディ	GFRP	←
タイヤ	競技用スリック 20X1.75 (ミシュラン社製)	←
ステアリング機構	アッカーマン・ジャント式	←
ブレーキ装置	自転車用キャリパ 2系統	←
モーター	DCブラシレス24V-60W (特殊電装社製)	DCブラシ15V-80W (マクソン社製)
スピードコントロール	PWM制御 (特殊電装社製)	PWM制御 (浪越エンジニアリング社製)
回生制動	無	有
駆動機構	チェーン1段 (11:87)	チェーン1段 (10:90)
バッテリー	FT 4 L-BS (3.2Ah/10h) 2個	GTX 5 L-BS (4Ah/10h) 1個

8. お わ り に

試行錯誤の結果、美しく軽量なカウリングに仕上げることができ、FRPの魅力に少しふれることができた。FRPなどの複合材では、強度と軽量の両立が可能である。今回は、カウリングのみの試みであったが、試作を通して得たノウハウをもとに、FRPを構造材としたモノコック・ボディの試作をしたいと考えている。

このような、省エネEVの試作・レース活動は、地球温暖化などの環境問題が取りざたされ、排気ガスを出さない自動車が注目されているなか、身近な検討材料として最適である。限られたエネルギーを有効利用するための技術は、モーターや電気回路の高効率化や回生制動など今後の課題として多く残されている。引き続きこのような活動を行っていきたいと考えている。

最後に、車両試作にあたり多大なご協力やご理解を頂いた相庭誠夫講師、森 光弘氏、遠山 壽氏、吉田豊彦講師、市川邦彦講師に謝意を表します。また、ご指導を頂いた教職員の各位に謝意を表するとともに、本車両製作に多大な研究助成金を賜った中日本自動車短期大学学友会に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 西側通雄, 清水啓司, 横井隆治, 佐藤幹夫, 高行男: “省エネEVの試作” 中日本自動車短期大学論叢, 第29号, 1999, p.37-44.
- 2) 浜素紀 著: FRPボディとその成形法, グランプリ出版, 1998
- 3) 後藤卒土民 著: わかりやすい実践FRP成形, 工業調査会, 1998
- 4) 大橋且典 著: “ヨットのできるまで” KAZI, 第66号, 蛇社, 1994-2, p.22-44.
- 5) 江口倫朗 著: “ボディのデザイン・製作と太陽電池”, Sonet Systems, 第50号, ソーラーシステム研究所, 1992, p.57-64.
- 6) 昭和高分子株式会社: 耐食FRPの手引, 昭和高分子株式会社