

FRP製小型電気自動車の成形及び性能評価に関する研究

日大生産工(院) ○網野 徹 日大生産工 坂田 憲泰
日大生産工 邊 吾一

1. 緒言

小型電気自動車 (以下マイクロEV) は全長2.5m以下、全幅1.3m以下、全高2.0m以下で、法定最高速度60km/h、定格出力が0.25kW~0.6kWの車室を備えた一人乗りの電気自動車である。市町村で登録が可能で車検、車庫は不要となっており、普通運転免許で運転が可能である⁽¹⁾。一般の電気自動車と比較して、維持費が安く、構造が簡単に行きわたるため現在、中小企業や大学等⁽²⁾⁽³⁾でも盛んに開発が進められている。

本研究では、材料に炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP) より安価なガラス繊維強化プラスチック (Glass Fiber Reinforced Plastics, GFRP) を使用し、当研究室にあるFRPの成形設備だけを用いてGFRPボディ製のマイクロEVを開発し、走行試験を行なった。また、GFRPはその母材のほとんどが枯渇資源である石油が原料であり、燃焼廃棄時のCO₂の排出、土壌廃棄では半永久的に土壌に残留するなどの問題を抱えている。リサイクル法として原料に戻し再利用するマテリアルリサイクル、セメント製造時の燃料とするサーマルリサイクルがあるが、高コストやCO₂が発生する問題がある。そこで環境負荷を軽減するため、天然繊維とバイオマス樹脂からなるグリーンコンポジットでボディシェルの試作を行なった結果について報告する。

2. ボディシェル

2.1 成形型

ボディシェルの成形に使用する型は低コスト、開発期間の短縮、廃棄物の再利用を考慮して廃棄されていた半円筒形のGFRP製埋没型貯水タンクを用いた。成形型の寸法は全長1740mm、幅1120mm、高さ480mmとなっている。

2.2 ハンドレイアップ成形

ボディシェルの成形には、ハンドレイアップ成形を用いた。はじめに、研磨した成形型の上からワックスで離型処理を行った。ワックスの塗布が不十分な場合、脱型が出来ず、成形品や成形型を損傷させる原因となる。また、ワックスの拭き取りが不十分な場合、次の工程で塗布するPVA (polyvinyl alcohol) やゲルコートを押弾原因となる。そのため、離型処理は処理ムラを無くすために5~6回行った。ワックスによる離型処理後、ワックス用スポンジを用いてPVAを塗布した。PVA硬化後、PVA層の上からアイボリー色のゲルコートを塗布した。ゲルコートの厚さが0.5mmになるように塗布量を600g/m²に設定し、スプレーガンを用いて塗布した。

ゲルコート硬化後、ハンドレイアップ成形を行った (Fig.1)。積層構成は、成形品表面からサーフェスマット/ガラスマット/ガラスロービングクロス/ガラスマットとし、樹脂には不飽和ポリエステルを使用した。不飽和ポリエステルは粘度が低い (0.1Pa・s) ため、積層時に樹脂が流れ落ちてしまう可能性がある。そのため、増粘剤を2.5wt%混入して使用した。また、フランジ部は脱型時にバール等で持ちあげられるため大きな荷重が掛るので、ガラスマットを他より1ply多く積層した。



Fig.1 Hand lay-up process

Fabrication and Performance Evaluation of Micro EV Made of FRP

Toru AMINO, Kazuhiro SAKATA and Goichi BEN

樹脂硬化後、成形品のフランジ部をパールで持ち上げ、成形型と成形品の間にコンプレッサーで水を圧入していき、PVA を溶かしながら脱型を行った。脱型後の成形品（ボディシェル上部）を Fig.2 に示す。

最後に、電気サンダーと耐水ペーパーを用いてトリミングを行った。本マイクロ EV では低コスト化と開発期間を短縮させるためにボディシェルの上下に同じ型を使用し、下側ボディシェルについても上側と同じ方法で成形を行った。上側ボディシェルと下側ボディシェルを組合せた寸法は、全長 1890mm、全幅 1120mm、全高 880mm で、重量は 226N となった。

3. フレーム

3.1 FW パイプの成形

運転手と車載する部品の重量を支えるフレームの構造を Fig.3 に示す。フレームは、ドライバーが座る上部フレームと、スロットルやバッテリー等の部品が搭載される下部フレームで構成されている。

フレームに用いる GFRP 製の中空パイプは、フィラメント・ワインディング (Filament Winding, FW) 法で成形した。FW パイプは軸方向から測定した巻き角度が小さいと成形時に繊維が滑り、設定通りの巻き角度にならないため、安定した作業性を得るためには、ヘリカル巻き角度は 20° から 50° の範囲を選択する事が望ましい⁽⁴⁾。そのため、当研究室保有の FW 成形機の精度とマンドレルの寸法 (外径:25mm) を考慮し、ヘリカル巻き角度は 22° とした。GFRP パイプの厚みの検討は後述の FEM 解析で行い、 $t = 2.8\text{mm}$ (内径: 25mm, 外径: 30.6mm) とした。

GFRP パイプの成形には当研究室の 3 軸の FW 成形機 (Fig.4) を用いた。繊維にはガラスファイバーロービング材、樹脂にはビニルエステル樹脂を用い、硬化剤を 1wt% 添加した。はじめに、外径 25mm のマンドレルを FW 装置に取付け、離型処理を行った。離型処理は処理ムラを無くすために 5 回行った。その後、FW 成形機のレジンバスに硬化剤を添加した樹脂を入れ、張力を掛けながら、巻き角度が 22° になるように樹脂を含浸させた繊維をマンドレルに巻き付けていった。パイプの厚みが FEM 解析で算出した 2.8mm に達した時点で成形を終えた。硬化は、回転硬化炉の中で 100°C、1 時間の条件下で行い、最後に脱型機を用い

てマンドレルから GFRP パイプを脱型した。

3.2 パネルの成形

シート、フロア、メカニカルスペースに設置するパネルは VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) で成形した。長さ 700mm、幅 600mm に切断したガラスロービングクロスを 7ply 積層し、樹脂には不飽和ポリエステルを用いた。樹脂の注入ポートは幅方向の繊維端部から 233mm と 467mm の 2 箇所とした。吸引ポートは中央部 (350mm) に配置し、吸引圧力は 96kPa とした (Fig.5)。



Fig.2 Upper body shell before trimming

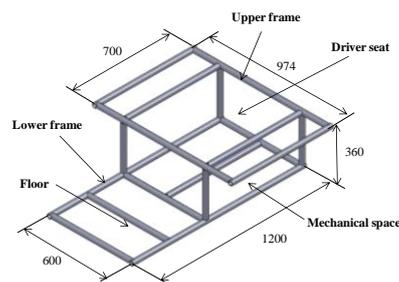


Fig.3 GFRP frame structure (unit:mm)

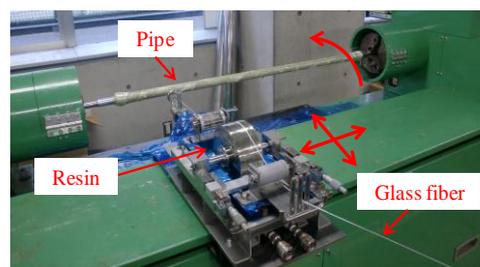


Fig.4 Filament winding

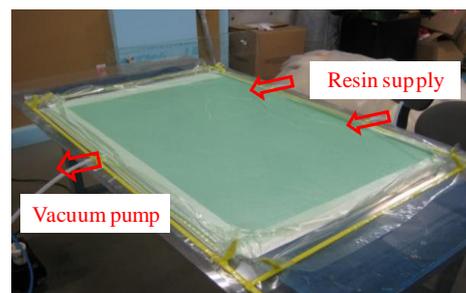


Fig.5 VaRTM process

3.3 接合方法

GFRP パイプの接合には接着材とオーバーレイを用いた。はじめに、FW で成形した GFRP パイプをダイヤモンドカッターで所定の長さに切断し、端部を 100 番~320 番の耐水ペーパーを用いて鞍型に研磨した。次に、鞍型に研磨したパイプの端面に構造用接着剤を塗布し、接合したが、接着接合だけでは走行時に生じる荷重に対して十分な強度が得られない可能性があるため、接着接合をした上からガラスファイバーロービングを用いてオーバーレイを行った (Fig.6)。

GFRP パイプとパネルの接合では、スタイロフォームでフィレットを作成し、その上からオーバーレイを行った。組立てが完了したフレームの寸法は、全長 1200mm、幅 600mm、高さ 360mm で、重量は 185N となった。

3.4 FEM 解析と実験結果の比較

フレームの解析モデルは車両の左右対称性を考慮してフルモデルの 1/2 モデルとした。解析に用いた弾性係数等の材料定数を Table 1 に示す。要素には積層材の解析に使用できる 4 接点有限ひずみシェル (SHELL181) を用い、境界条件はタイヤ結合部を単純支持し、対称部には対称拘束条件を定義した結果、節点数は 12201、要素数は 12330 となった。荷重はフロアにドライバー重量 800N、メカニカルスペースにバッテリー等の車載部品の総重量 600N を負荷した。解析結果は、最大たわみは 6.1mm でフレーム長の 0.5% となった。組立てたフレームの最大変位量を計測するために、静的負荷実験を行った (Fig.7)。固定はタイヤの取り付け部 4 箇所を単純支持とし、下部フレームの左端から 350mm の位置に 600N、下部フレーム右端から 250mm の位置に 800N の重りを負荷した。たわみの計測にはダイヤルゲージを用い、FEM 解析で最大たわみが発生した下部フレーム右端から 500mm の位置のたわみを計測した結果、最大たわみは 5.96mm となり、FEM 解析と実験結果は良好な一致を示した。

4. 車両組立て

下側ボディシェルとフレームは、下側ボディシェルの内面に設置したクランプと、側面中央付近に設置したフランジで固定した。また、フレームと下側ボディシェルの間に生じた隙間には発砲ウレタンを埋めた。

モータには、ブラシレス DC モータを用いたインホイールモータを左右の後輪に取り付けた。定格電圧 48V、最大出力 892.8W、最大トルク 64.3Nm となっている。バッテリーには、電圧 12V の鉛蓄電池を直列に 4 個接続し、満充電に要する時間は 100V 電圧で約 3 時間となっている。速度調整はモータコントローラーに取り付けてあるスロットルで行った。全ての部品を搭載した後、上部ボディシェルと下部ボディシェルをボルトで接合し、完成とした (Fig.8)。完成したマイクロEVは、寸法は全長1890mm、全幅1290mm、全高950mmで、車両重量は1900Nとなったが、この内約35%はバッテリーの重量となった。



Fig.6 GFRP overlay process

Table 1 Material properties of GFRP

GFRP pipe	Modulus of Elasticity	
	Longitudinal	45.1 GPa
	Transverse	12.7 GPa
	Sheer	4.71 GPa
Poisson's Ratio		
	Longitudinal	0.25
	Transverse	0.07
GFRP plate	Modulus of Elasticity	
	Longitudinal	24.0 GPa
	Transverse	24.0 GPa
	Sheer	4.20 GPa
Poisson's Ratio		
	Longitudinal	0.30
	Transverse	0.30

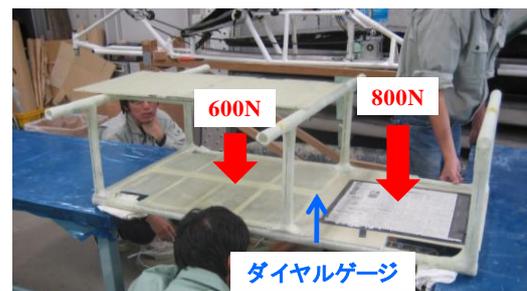


Fig.7 Static load test

5. 走行実験

開発したマイクロ EV の走行性能を確認するために、最高速度と一充電での走行距離の測定実験を行った。

最高速度は 100m の直線路での走行実験から求めたが、0～50m を加速区間とし、50～100m の通過時間から速度を計算した。ドライバー重量 645N で実験を行った結果、最高速度は 30.4km/h を記録した。

一回の充電で走行可能な距離を測定するために、大学構内の通路を利用して耐久走行実験を行った (Fig.9)。実験で走行したコースは、コーナーが 4 箇所ある一周 450m の平坦な周回路で、運転は重量が約 650N のドライバー 3 名が交替で行った結果、連続走行時間は約 2 時間で走行距離は 30km となった。以上の走行実験結果を踏まえた本マイクロ EV の緒元を Table 2 に示す。

6. グリーンポジット製ボディシェルの試作

2.1 節で用いた成形型円筒部の約 1/4 を使用して、グリーンコンポジット製のボディシェルの成形を行った。強化繊維にはケナフクロス、樹脂にはバイオマス由来不飽和ポリエステルを使用し、ハンドレイアップ成形を行った。脱型後の成形品を Fig.10 に示す。グリーンコンポジットは吸水性が高いため、水で PVA を溶かしながら脱型することは困難だが、成形型の側壁に穴を空け、ワックスによる離型処理を十分に行うことで脱型出来る見込みである。

7. 結 言

- 1) 研究室の設備だけを用いて GFRP ボディ製のマイクロ EV を開発する事が出来た。
- 2) ディシェルの成形型に廃棄されていた半円筒形の埋没型貯水タンクを利用し、FRP の様々な成形法を用いて開発を行った結果、約 6 ヶ月で成形から走行実験まで行う事が出来た。
- 3) 走行実験の結果、今回開発したマイクロ EV の最高速度は 30.4km/h、一回の充電で走行可能な距離は 30km であった。
- 4) ケナフクロスとバイオマス由来不飽和ポリエステルを使用しグリーンコンポジット製ボディシェルの試作を行なう事が出来た。

「参 考 文 献」 省略



Fig.8 Micro EV



Fig.9 Driving experiment

Table 2 Specifications

Dimensions	Length	1890 mm
	Width	1290 mm
	Height	950 mm
	Wheelbase	800 mm
	Tread front / rear	1180 mm / 1100 mm
	Ground clearance	100 mm
	Weight	1900 N
	Passengers	1
	Performance	Maximum speed
Charging time		8 h
Driving distance		30 km
Motor	Type	Brushless DC In-wheel electric motor
	Rated voltage	48 V
Battery	Maximum output	892.8 W
	Maximum torque	64.3 Nm
	Type	Lead acid
	Total weight	688N
	Total voltage	48 V



Fig.10 Body shell made of green composite