

グリーンコンポジット製小型電気自動車の設計及び製作

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

マイクロ EV はミニカー規格に基づいた全長 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、構造が簡単に行きため現在、中小企業や大学等²⁾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・生分解性樹脂からなるグリーンコンポジットでボディの製作を行った結果について報告する。

2. GFRP 製マイクロ EV³⁾

2.1 ボディシエル

2.1.1 成形型

ボディシエ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。

2.1.2 ハンドレイアップ成形

ボディシエルの成形には、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く原因となる。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。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かるので、ガラスマットを他より 1ply 多く積層した。

樹脂硬化後、成形品のフランジ部をバールで持ち上げ、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（ボディシエル上部）を Fig.1 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エルの上下に同じ型を使用し、下

Design and Fabrication of Micro EV Made of Green Composite

Toru AMINO, Kazuhiro SAKATA and Goichi BEN

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。

2.2 フレーム

2.2.1 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.2 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。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.3) 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。

2.2.2 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.4)。



Fig.1 Upper body shell before trimming

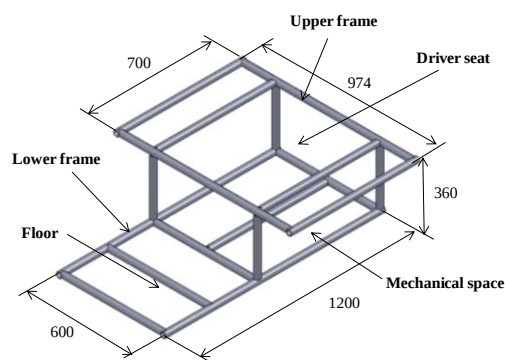


Fig.2 GFRP frame structure (unit:mm)

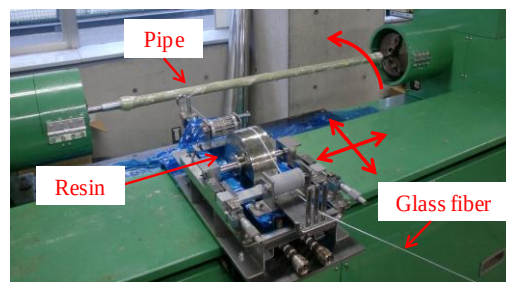


Fig.3 Filament winding

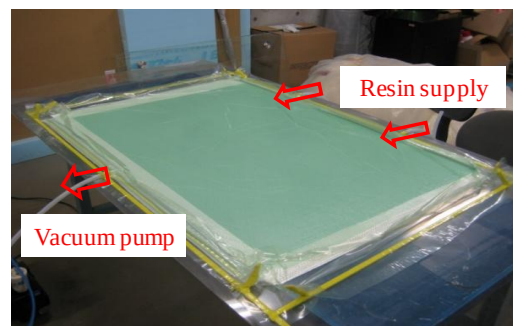


Fig.4 VaRTM process

2.3 走行実験

開発したマイクロ EV(Fig.5)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.6)。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 1に示す。

3. グリーンコンポジット製マイクロEV

3.1 ボディシェルの成形

環境負荷を軽減するためにグリーンコンポジット製のボディシェルの試作を行った。成形型には2.1.1節で用いた半円筒形のGFRP製貯水タンクを用い、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 (Fig.7)。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層の上からグリーン色のゲルコート塗布した。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。ケナフ繊維は吸湿性が高いため、樹脂の硬化不良が発生する可能性がある。そのため、ハンドレイアップ成形前の繊維を乾燥機に入れ、水分の除去を行った。積層構成はケナフクロスを3plyとしたが、フランジ部は脱型時にバール等で持ち上げられるため大きな荷重が掛るので、他より5ply多く積層した。

樹脂硬化後、成形品のフランジ部をバールで持ち上げ、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。脱型後の上側ボディシェルをFig.8に示すが、全長1890mm、全幅1120mm、全高480mmで、重量は177Nとなり、GFRP製のボディシェルより20%軽くなった。今後は本成形を応用して、Fig.9

に示すボディシェルを製作する予定である。次期型のボディは流線形で屋根があり、乗り降りが容易なデザインとした。また、モノコック構造となっているためさらなる軽量化と高剛性化が期待できる。



Fig.5 Micro EV



Fig.6 Driving experiment

Table 1 Specifications

Dimensions	Length	1890mm
	Width	1290mm
	Height	950mm
	Wheelbase	800mm
	Tread front/rear	1180mm/1100mm
	Ground clearance	100mm
	Weight	1900N
	Passengers	1
Performance	Maximum speed	30.4km/h
	Charging time	3h
	Driving distance	30km
Motor	Type	Brushless DC In-wheel electric motor
	Rated voltage	48V
	Maximum output	892.8W
	Maximum torque	64.3Nm
Battery	Type	Lead acid
	Total weight	688N
	Total voltage	48V

3.2 モノコックバーの成形

グリーンコンポジット製のモノコックバーの成形を行った。強化繊維にはケナフクロス、樹脂には PBS (Poly butylene succinate) を使用した。はじめに、幅 150mm, 厚さ 1.3mm のケナフ/PBS シートを引き抜き成形法⁴⁾で作製した。PBS は熱可塑性樹脂であるため、ケナフ/PBS シートは CFRP プリプレグのような中間材として扱うことができる。作製したケナフ/PBS シートを幅 15mm になるよう切断し、それを 10 枚重ね合わせ、200N の重りを掛けながら 170℃ の温度下で 1 時間保持した。成形後のケナフ/PBS 製モノコックバーを Fig.10 に示す。熱可塑性樹脂である PBS を使用しているため、モノコックバーの寸法は容易に変更することができる。今後、本成形手法を応用しケナフ/PBS シートを用いてモノコック構造を製作する予定である。

4. 結 言

- 1) 研究室内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) 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。
- 3) 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を成形する事が出来た。
- 4) ケナフクロスと PBS を使用しグリーンコンポジット製モノコックバーを成形する事が出来た。

「参 考 文 献」

- 1) 松村修二, 群馬大学次世代 EV 研究会の発足, 日本機械学会誌メカトップ関東, 日本機械学会誌, 第 113 巻, 第 1100 号付録(2010), p.9
- 2) 松村修二, 軽量化を目指したマイクロ EV と低炭素社会での役割, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会講演論文集(2009), p.171-172
- 3) 網野徹, 坂田憲泰, 邊吾一, GFRP 製マイクロ EV の開発と性能実験, 日本機械学会 M&M2011 カンファレンス, OS2310 (2011)
- 4) Y. Kawazoe, K. Sakata, G. Ben, “Development of FRTP sheet using biodegradable resin and plain - woven fabric of Kenaf

by pultrusion method”, Proceedings of the 36th symposium on composite materials (2011), 103-104.



Fig.7 Hand lay-up process



Fig.8 Body shell made of green composite



Fig.9 Design of body shell made of green composite

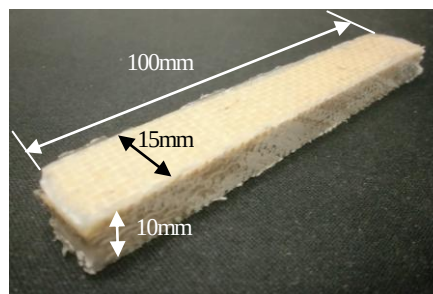


Fig.10 Monocoque bar made of green composite