

大型外装樹脂部品の少量生産技術の開発

Development of Small-scale Production Method for Large-size Exterior Plastic Parts

西山 公人* 江井 良治*
Kimito NISHIYAMA Ryouji EI
加藤 良幸* 石橋 一穂*
Yoshiyuki KATO Kazuho ISHIBASHI

要 旨

本開発は大型外装樹脂部品の少量生産技術の開発を目的として、特装車であるポップアップルーフ仕様車を例に各種少量生産技術を試みた内容について報告するものである。従来少量生産の開発に適用されていたが、高品位な大型外装部品には適用されていなかったRTM(RTM; Resin Transfer Molding)法を以下の手法にて寸法精度と剛性強度を向上させ大型外装樹脂部品の生産へ適用した。

- (1)高精度化を目的としたアフターキュア(After-cure)処理の採用
- (2)低投資化を目的とした金型レス部品の採用
- (3)軽量高剛性化を目的としたアルミニウム矩形中空材、成型発泡スチロール芯材、ハイブリッドプリフォーム(Hybrid Pre-form)材の採用
- (4)強度アップを目的とした細いガラス繊維径FRPの採用を実施し結果大幅な投資及びコストの削減を達成した。あわせて分別回収への配慮も行い接着を多用しFRPのリサイクル性をも向上させた。

ABSTRACT

This paper includes the report on the development of small-scale production method for large-size exterior plastic parts of vehicle when it was applied to the production of the pop-up roof specification of specific vehicle.

The RTM (Resin Transfer Molding), which is conventionally applied to a small-scale production in a development, was not applied to the production of large size exterior plastic parts which requires high grade quality.

To use RTM, we tried to:

- (1) employ after-cure to produce in high accuracy,
- (2) use parts which are produced without mold as many as possible to reduce investment,
- (3) use rectangular extruded aluminum hollow beam, formed styro-foam core material and hybrid pre-form material to make products light and stiff, and
- (4) use fine glass fiber filled FRP (Fiber Resin Plastic) to increase the strength.

These measures have resulted in great reduction of investment and cost. Also, many parts of FRP are jointed by bonding so that after used up, they are capable of group collection to be recycled.

1. はじめに

少量生産車である特装車の開発においては、省資源、省エネルギー、少ない工数、短期開発でしかも最少投資リスクで時代の変化に俊敏に対応する少量生産の開発手法の研究が不可欠である。今回の適用例においては、少量生産から投資額最小化によるコストダウンを第一目標としさらに省資源、省エネルギーという目的をも達成すべく開発を進めた。従来FRP成型法の一つである中大量生産車向けのシートモールディングコンパウンド(SMC; Sheet Molding Compound)法による大型外装樹脂部品の開発に関しては、各種研究報告^{1), 2), 3)}がなされてきた。しかしながら、少量生産車向けの大型外装樹脂部品の開発に関しては従来余り注目がなされていなかった。そこで、本開発では前記少量生産開発でしかも投資額最小化によるコストダウンに適し

た少量生産技術としてFRP成型法の一つであるRTM法に注目し、大型外装樹脂部品の少量生産に適用するための手法を検討しその効果を実証したものである。

本開発においては、ステップワゴンの特装車であるフィールドデッキ(通称)の大型外装樹脂部品を例にとりその少量生産技術に関する適用研究を行った。その実証例を本開発にて実施した各種手法を交えて論述する。

2. 大型外装樹脂部品

大型外装樹脂部品の機能要件として以下の事項があげられる。

- (1)関連部品との組み付け精度に耐え得る十分な寸法精度及び形状保持性を持つ。
- (2)必要な荷重に耐え得る十分な強度剛性を持つ。

*栃木研究所

- (3) 外観商品性の関連部品との比較にも耐え得る十分な塗装品質を持つ。
- (4) 車体の軽量化をも考慮され十分に軽量化されている。
- (5) 成型材料が安価で品質が安定しておりかつ市場流通性がよい。

前記機能要件を満足する大型外装樹脂部品の成型法としては、

- (1) 強化スチレン系のABS樹脂等と比べてもはるかに比強度が高く、
- (2) ポリプロピレン系の樹脂等と比べ塗装性も良好で、
- (3) 他のエンジニアリングプラスチックと比べてはるかに安価で市場流通性の良い、

ガラス繊維を強化材とする複合材料であるFRP材を用いた成型法が考えられる。そこで本開発では、大型外装樹脂部品としての開発例を特装車であるポップアップルーフ仕様車にとりその成型法の適用研究を行った。ここで本開発例のポップアップルーフ車とは、アウトドア又はオートキャンプでの就寝等を目的としたルーフ上に開閉式のロフト (Loft; 屋根裏部屋) を持つ車の事である。本開発で適用したステップワゴンの特装車フィールドデッキ(呼称)においては、ポップアップルーフに車体上にロフトとしての機能を持たせると同時に前後の樹脂カバーと繋がりボディと一体になる流麗なフォルムもその特徴としている。

外観及び構造の概略図をFig.1, Fig.2及びFig.3に示す。

本開発における大型外装樹脂部品には以下の機能要件が必要となる。



Fig.1 View of field deck in open



Fig.2 View of field deck in close

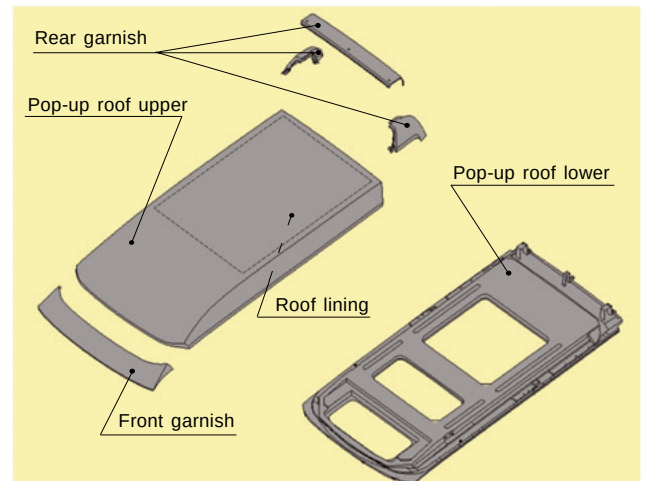


Fig.3 Structure components of pop-up roof

- (1) 2.55m×1.26mのステップワゴンのルーフと同等の大きさを持ちながらも大型外装樹脂部品として、前後の部品との組み付けに耐え得る十分な寸法精度及び形状保持性を持つ。
- (2) 樹脂部品でありながら大人二名の就寝時の荷重に耐え得るだけの十分な強度剛性を持ち、乗降時の繰り返し衝撃荷重にも耐え得る。
- (3) 外装樹脂部品として十分な塗装品質を持つ。
- (4) ルーフ上への搭載部品であるため低重心化に配慮し十分に軽量化されている。

3. 少量生産手法の比較選定

今回の開発においては、従来からある大量生産技術をスケールダウンし少量生産するのではなく投資額最小化によるコストダウンを第一目標として新しい少量生産車の手法を開発し量産することを目的とした。樹脂成型法別の償却費と生産台数を指標モデル化したものをインジェクション成型法、SMC法、RTM法、及びハンドレイアップ法(HLU; Hand Lay Up)の4成型法別にFig.4に示した。Fig.4からも数千台という生産台数設定における償却費の比較では、4成型法の中でRTM法の投資コスト面での優位性がわかる。

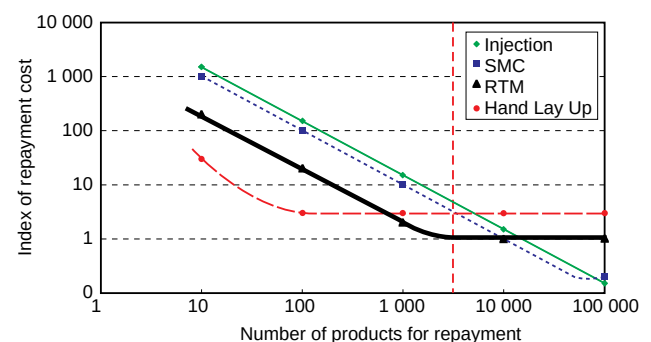


Fig.4 Repayment cost and number of products by molding method

3. 1. RTM法作業工程

RTM法は以下の6工程が基本である。その作業工程の一部をFig.5に示す。

- (1) プリフォームを製品形状に合わせて作成する
- (2) 凹型にゲルコートを施す
- (3) そこに(1)で成型したプリフォームを被せる
- (4) その上に凸型のをせボルト等で型締固定する
- (5) 型の適切な位置に開けた穴から硬化材の入った樹脂を低圧力で注入する
- (6) その後暫くそのまま放置して型内で固め硬化させる。



Making pre-form of product shape



Putting the pre-form

Fig.5 Product view of RTM method

RTM法の概略をFig.6に示す。FRP成型法の一つであるハンドレイアップ(HLU)法、スプレーアップ(SPU; Spray Up)法、シートモールディングコンパウンド(SMC)法、バルクモールディングコンパウンド(BMC; Bulk Molding Compound)法、真空成型法、及びインジェクション成型法等を検討し、各々の少量生産時における樹脂成型法別の比較表をTable 1のように作成し検討した。Table 1は過去の事例等を基に手法別の比較表として作成したものである。輸送機器としての複合材料(FRP)に関するユーザー側の共通認識をまとめた参考文献⁴⁾をもとに作成したFRPの一般的な特性をTable 2に示す。今回の開発においては少量生産台数及

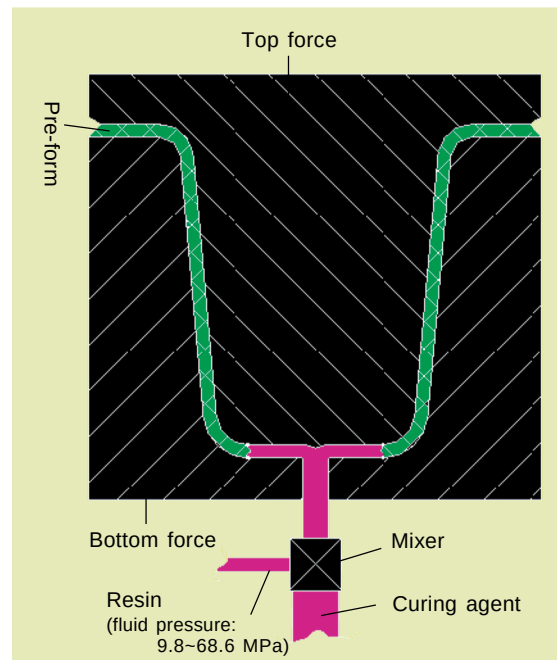


Fig.6 Outline of RTM ⁵⁾

Table 1 Comparison of manufacturing method in small size product

Classification	Save Energy & Resources	Total cost	Investment	Productivity	Design freedom	Strength
Method						
Hand Lay Up Method (FRP)	Good	Fair	Good	Poor	Fair	Fair
Spray Up Method (FRP)	Good	Fair	Good	Fair	Good	Poor
Sheet Molding Compound Method (FRP)	Good	Poor	Poor	Good	Good	Good
Bulk Molding Compound Method (FRP)	Good	Poor	Poor	Good	Good	Fair
Resin Transfer Molding Method (FRP)	Good	Good	Good	Fair	Fair	Fair
Vacuum Moulding (ABS)	Fair	Fair	Good	Fair	Poor	Poor
Injection Moulding (ABS)	Poor	Poor	Poor	Good	Good	Fair

び前記大型外装樹脂部品の特性からFRP成型法の一つであるRTM法を採用した。少量生産におけるRTM法については生産性、設計自由度、剛性強度の面で自動車の大型外装樹脂部品としては不十分であったため以下の手法を用いてこれらの問題点を解決した。

4. 寸法精度の向上手法

4. 1. アフターキュア処理

アフターキュア処理とは、大型外装樹脂部品に必要な組み付けに耐え得る十分な寸法精度及び形状保持性を持つように脱型後の変形防止及び製品寸法ばらつきの吸収を目的とし寸法精度・形状を補正する治具等を用いた成型後の加熱処理した工程のことである。本開発においては、アフターキュア処理を積極的に採用し形状及び寸法精度アップを試みた。これは複雑な形状では型内での収縮率が不均一となり、その形状が型内で保持されないためデータと製品との間に差異が生じるためである。本開発においては成型

Table 2 FRP general characteristic and issue analysis

	General Characteristic	Analysis Of Issue
Cost & Investment	Die costs (investment) : Too cheap Material costs : Expensive Processing costs : Expensive Total costs : Cheap	Considerable range of variation depending on the molding method. Few economies of scale and post-process working costs are high. Variable costs are higher than fixed costs.
Weight & Gravity	Specific gravity ; 1.4 (FRP) 2.70 (Aluminium) 7.87 (Steel Plate)	FRP's specific gravity is lower than that of aluminium The standard sheet thickness ratio for these three materials FRP : Aluminium : Steel plate = 1 : 1.5 : 1.75
Strength	Impact strength in the flexible range is high. Impact strength in the plastic range is low. Reinforcing by means of overlays and the like is possible.	Strong possibility of destruction by rupturing at high impact levels in the plastic range. Reinforcements increase costs since they must be done in a post-process.
Design freedom	High degree of design freedom and three dimensional shapes can be used. The subjective sense of quality and sense of elegance are lower than in ordinary plastics.	The material will not be used in high-end products.
Repair & Maintenance	Difficult to repair surface scratches and other damage.	Few dedicated repair plants. Repair cost is expensive
Assembly	The number of assembly processes can be reduced by integration.	Currently, dimensional precision in individual products is poor. Large amount of labor involved in making adjustments.
Thermal expansion	The thermal expansion coefficient is on par with those of steel and Al. Almost no expansion or contraction.	The material is not easily affected by temperature conditions, making it easier to control gaps.

後前記処理にて車体との合わせ部にあらかじめ補正量を設定しシール性を向上させた。RTM製大型外装樹脂部品(ロアーフ)をアフターキュア処理等により下方に補正し車体(ルーフ)との合わせを向上させた物をFig.7に示す。アフターキュアの時間、温度及び拘束方法追い込み量等は製造上の環境形状等の要因が大きく、その開発過程の中で最適値を選択した。

本開発においては以下の処理条件にてアフターキュアを行なった。

処理温度；40℃－60℃

処理時間；0.5時間－1時間

この後さらに常温まで0.5時間－3時間の冷却時間をとった。

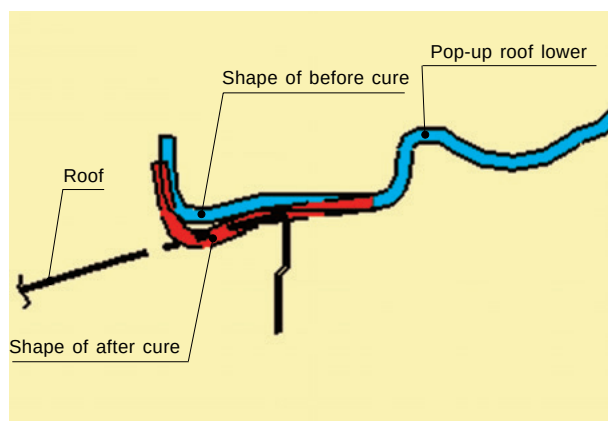


Fig.7 Shape of before and after-cure

4. 2. 打ち抜き素材の使用

本開発ポップアップルーフのルーフライニングは形状追従の良いラミネートペーパー(Laminate Paper)の特性を生かし打ち抜き素材をそのままポップアップルーフの形状に合

わせることで、成型型を省略し従来の成型ルーフライニングに対して60%の型費削減をはたした。また樹脂クリップと芯金入りトリムを併用することにより耐冷湿熱老化による撓み変形を押さえた。Fig.8は、樹脂クリップと芯金入りトリムによるルーフライニングのポップアップルーフへの取り付け状態を示した図である。

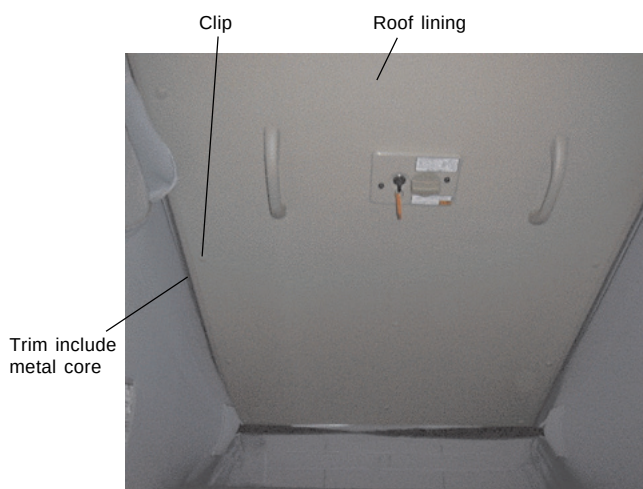


Fig.8 Roof lining of making by punching die

5. 剛性及び強度の向上手法

5. 1. 成型発泡スチロールによる商品性及び剛性向上

本ポップアップルーフ車のフロントルーフガーニッシュの芯材には、商品性及び剛性向上の目的から一部フロントバンパーの芯材にも使用されている発泡スチロール材をルーフ形状に合わせて成型しそれをサンドイッチ構造として使用した。本開発においては軽量且つ安価、低投資にて製作可能な低倍率発泡の成型発泡スチロール材を使用した。その断面構造図をFig.9に示す。

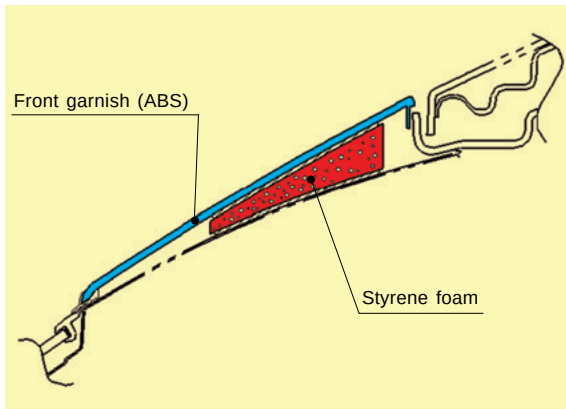


Fig.9 Reinforcement of styrofoam member

5. 2. 軽量高剛性補強材による剛性向上

軽量化及び強度剛性向上また形状の安定化及びリサイクルを目的として、軽量高剛性の矩形中空アルミ押し出し材をポップアップルーフにオーバーレイ(Over Lay)結合しFRP部品の補強材兼形状保持材として採用した。その構成をFig.10に示す。Fig.10にRTM製大型外装樹脂部品(ロアルーフ)に矩形中空アルミニウム押し出し材をオーバーレイ結合しウェイトの増加を最少に押さえ強度剛性を向上させた物を示す。また同時に低投資かつ軽量の発泡スチロールを芯材としてオーバーレイすることにより、断面2次モーメントをオーバーレイ前の断面2次モーメント225mm⁴から7869mm⁴に大幅に向上させ剛性向上をも図った。発泡スチロールを芯材としてオーバーレイする前後での断面2次モーメントを比較すると製品の撓み量測定から大幅な寄与が確認された。Fig.11は、ロアルーフに発泡スチロールを芯材としてオーバーレイ結合し剛性を向上させた実施形状を示した物である。

5. 3. ハイブリッドプリフォーム

RTM法は、Fig.5に示すようにあらかじめプリフォーム(Pre-form)を製品形状に合わせて成型しそれを型内に配置し

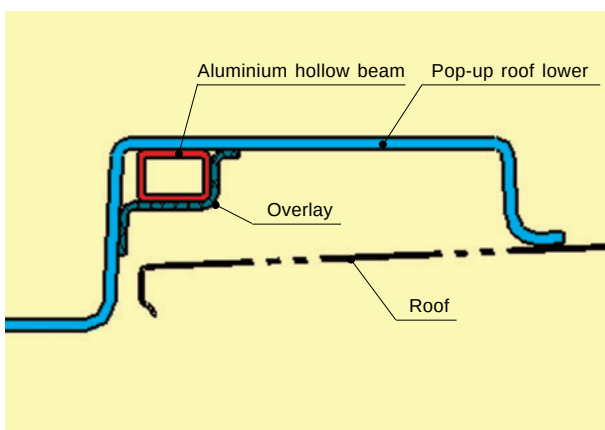


Fig.10 Reinforcement of extruded aluminum hollow beam

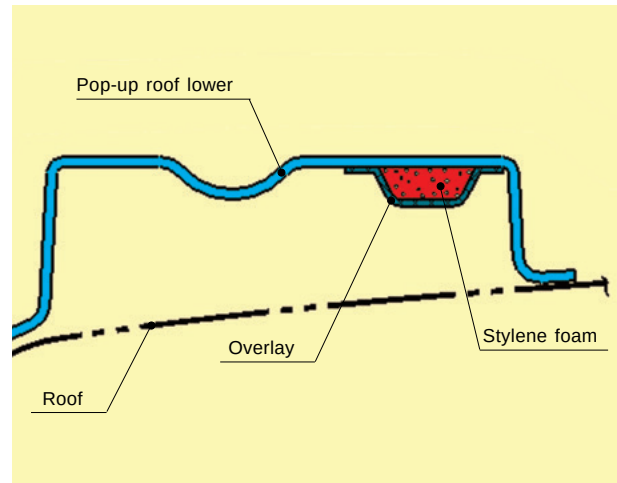


Fig.11 Increase of moment of inertia of area by styrene form

マトリックスを注入し成型する方法である。また、RTM法におけるプリフォームとはそのFRP製品の強度剛性を確保する目的を担った強度部材(ガラス繊維集合体)である。RTM法で作られたFRP製品は、プリフォーム単体の基本的な性状に影響を受け易い。そこで、本開発においては少量生産設定から毎回人の手加工で作られ作業者の技能、経験の影響を受け易いプリフォーム材の性状に注目した。FRP製品の強度剛性アップと品質平準化を目的として面剛性の必要な部分は高価だが品質が安定均一化しており剛性の高いガラスマットを、一般部は安価で自由度の高いウェビング(ガラス繊維を接着剤にて結合硬化させたもの)を用いる事によりコストダウンと軽量化を行いハイブリッド(複合)構造として強度剛性を確保した。樹脂の厚肉化による重量アップを図ることなく安定した剛性アップが図られることを製品の歪みを測定することにより確認した。

5. 4. 界面からの剥離防止手法

参考文献⁵⁾は繊維表面積/繊維断面積(1/μm)を剥離の指標として表わしており、一般にFRPの界面からの剥離はガラス繊維径が細いほどその表面積が増して強度が増す。本開発では均一な繊維によって構成される仮想モデルを想定し、ガラス繊維径の繊維剥離に対するパラメーターとして以下の繊維径に対する単位質量当たりの繊維表面積の値を考え繊維径を決定した。

繊維半径; r, 繊維長; L, 繊維数; n, 繊維の比重; ρとし、繊維のマトリックス界面からの剥離強度は繊維とマトリックスとの接触面積(繊維表面積)に比例すると仮定すればその繊維径に対する単位質量当たりの繊維表面積の関係は以下の式にて表される。

$$Ln 2 \pi r / Ln \rho \pi r^2 = 2 / \rho r$$

2/ρrはガラス繊維径の繊維剥離に対する指標として考えられ、その繊維径とパラメーターの関係を指標モデル

化した物をFig.12に示す。本指標よれば細いガラス繊維を使用した場合同じ質量のガラス繊維を使用した場合と比べて界面からの剥離強度は大幅に向上することがわかる。そこで本開発では前記内容を考慮し、細い繊維径にて界面からの剥離強度を満たしつつマトリックスと混ざり得る最適の繊維径を設定した。

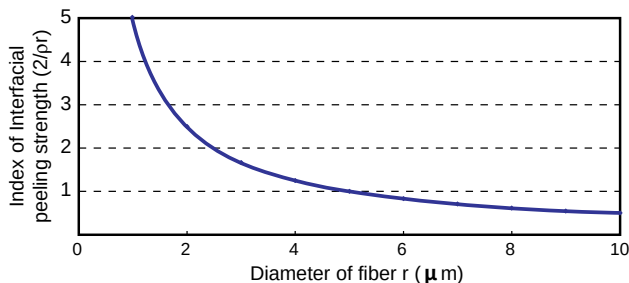


Fig.12 Relation of diameter of fiber and interfacial peeling strength

6. 分別回収のための取り組み

廃FRPの再資源化とエネルギー回収について研究報告⁶⁾やSMCリサイクル技術については研究報告⁷⁾等がなされきているが、現在廃却FRP製品の大半は潰して埋め立てる廃却処理となっておりFRPのリサイクル処理は大きな課題となっている。そこで本開発においてはサーマルリサイクル、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル等を考慮しそのリサイクル時の分別回収化が容易な様ブラケット類のオーバーレイを大幅に削減し接着剤を積極的に採用し接合を行った。

7. まとめ

本開発は少量生産車の大型外装樹脂部品の製造手法としてRTM法を採択してその改良手法を研究し

- (1)アフタキュア処理による精度向上
 - (2)ラミネートペーパーの打ち抜き使用による品質向上と投資削減
 - (3)成型発泡スチロール芯材による軽量化と剛性向上
 - (4)軽量アルミ材の採用による剛性向上
 - (5)ハイブリッドプリフォーム材の採用による軽量化と剛性向上
 - (6)界面からの剥離強度を考慮した繊維径の採用による強度向上
 - (7)接着ブラケットの採用によるリサイクル性の向上
- によって従来のHLU法、SMC法と比較して大幅なコストダウンと投資額削減を達成したものである。

本手法はステップワゴンの特装車であるフィールドデッ

キ(呼称)のポップアップルーフ仕様車の少量生産技術として適用した。

謝辞

最後に本研究発表に際して数多くの貴重な御助言ご協力を頂いた森六株式会社、ティ. エステック株式会社、中部工業株式会社樹脂製造課の皆様に対し深く感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 飯塚昭夫：車体樹脂材料の現状と将来，自動車技術，Vol.41, No.7, p.704-709(1987)
- 2) 野村孝夫ほか：自動車SMC外板開発の現状と将来，自動車技術，Vol.43, No.6, p.32-38(1989)
- 3) 鈴木正通：自動車樹脂部品の生産技術の動向，自動車技術，Vol.42, No.5, p.582-587(1988)
- 4) 小野昌孝，小川弘正：輸送機器としての複合材料，複合材料のおはなし(改訂版)，東京，日本規格協会，1998，p.61
- 5) 日本複合材料学会編：成型と複合化技術，複合材料の誕生，複合材料と界面，おもしろい複合材料のはなし，東京，日刊工業新聞社，1998，p.56-80
- 6) 中西洋一郎：廃FRPの再資源化とエネルギー回収，燃料及び燃焼第60巻，第7号，p.27-35及び第60巻，第10号，p.33-42
- 7) 稲生隆嗣ほか：SMCリサイクル技術の開発，TOYOTA Technical Review, Vol.42, No.2, Nov.(1992)

■ 著 者 ■



西山 公人



江井 良治



加藤 良幸



石橋 一穂