

CFRP による軽量フードおよびリアスポイラの開発

Development of Lightweight CFRP Hood and Rear Spoiler

山根 保夫*
Yasuo YAMANE

桜庭 智裕*
Tomohiro SAKURABA

要 旨

車体部品の軽量化を目的として、CFRP を用いたフードとリアスポイラを開発した。CFRP が軽量素材であることに加え、樹脂系材料の特徴である成形自由度の高さを生かし、アンダーカット形状および板厚変化部を一体化することで重量増加なしに部品機能の特性を発現した。フードでは、アルミニウム素材から CFRP への素材置換により空力用エアダクト部の一体成形、およびスキンとフレームの接着接合により全体の断面係数を上げることで約30%の軽量化を達成した。また、リアスポイラでは、SMC 素材から CFRP への素材置換により、多くの曲面で構成されたアンダーカット部をパーツ分割による接合を行わず中空一体成形することで、'93年モデルに比べて大型化しているにもかかわらず約40%の軽量化を達成した。

ABSTRACT

A carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) hood and rear spoiler were developed to achieve weight reduction in vehicle body parts. In addition to its low weight, CFRP has the high degree of freedom which is the molding characteristic of polymer materials. It has therefore been possible to integrate undercut areas with sections in which plate thickness varies to achieve the required functional characteristics with no increase in weight. Utilizing CFRP instead of aluminum for the hood has enabled integral molding of aerodynamic air ducts, and bonding of the skin and frame with adhesive joints has increased the section modulus of the entire hood, making it approximately 30% lighter. Forming the rear spoiler from CFRP rather than sheet molding compounds (SMC) has enabled the undercut section, composed of numerous curved surfaces, to be monolithic constructional molding without the necessity of joining separate parts. Thus, a reduction in weight of approximately 40% against the '93 model has been achieved, despite the increase in size.

1. まえがき

地球環境問題の対策につながる自動車の低燃費化において車体の軽量化は有効な手段である。車体の軽量化素材適用においては高張力鋼板適用率の向上が進められる一方、更なる低燃費または運動性能を商品力として重視した一部の少量生産車ではオールアルミボデーを採用し軽量化を果たしている。このような状況の中、ボデーパネルの樹脂化による軽量化も多くなされており、強化繊維を用いた外板として、ガラス繊維強化複合材料(GFRP; Glass Fiber Reinforced Plastics)の一つである SMC(Sheet Molding Compound)フード⁽¹⁾、少量生産向けの大型 GFRP 外板⁽²⁾、および、非強化材料を用いた外板として熱可塑性樹脂フェンダ⁽³⁾についての報告がある。今までの樹脂系素材は比弾性率が小さい分、アルミニウム素材に比べてその軽量化効果には限界があった。そこで、軽量化が最も重要な位置付け

となる航空宇宙分野あるいはレーシングカー分野では多く採用されている炭素繊維強化複合材料(CFRP; Carbon Fiber Reinforced Plastics)を適用することに着眼した。

しかしながら、量販車の分野で CFRP 素材を使った自動車部品への適用例は少なく、その軽量化効果、衝突安全性、耐久商品性能については未知の領域が多い。今回、少量生産車向け量販車にアルミニウム製をしのぐ軽量フードとリアスポイラを開発したので報告する。

2. 開発のねらいと考え方

自動車部品の軽量化のために効率的な素材として比弾性率に優れた材料の適用がある。Fig. 1に代表的な自動車用素材で、等価面剛性を得るための軽量化効果を示す。鋼板を100としたときに SMC は約40%、アルミニウムは約50%であるのに対し、CFRP では約67%の軽量化効果が期待

*栃木研究所

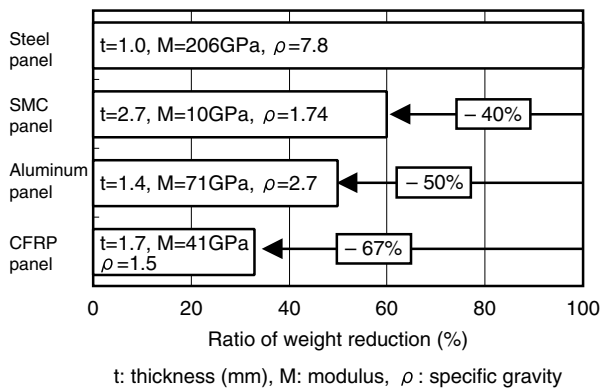


Fig. 1 Weight reducing effect with equivalent surface stiffness

できることを示している。なおこの図に用いた CFRP 板の弾性率は疑似等方積層板(面内における弾性率の等方性)⁽⁴⁾としての値である。

また、CFRP は形状自由度に優れた樹脂系素材である反面、破壊時には脆性を示す材料である。そこで、本開発にあたり以下の目標を設定した。

- 1) 空力用エアダクトを持つフード、およびアンダーカット部を多く持つリアスポイラのような複雑な形状に対しても、重量増加の要因となる他部品接合要素を追加することなく一体成形での軽量化を達成する。
- 2) 金属製と同等の衝突安全性能を確保する。
- 3) 金属製と同等の耐久性、商品性を確保する。

3. 材料特性

3.1. 材料仕様

成形素材には強化繊維であるカーボンファイバとエポキシ樹脂で構成された、HTA-3K 平織クロス W3101/Q195 と、織物内部に衝撃に強いアラミドファイバ(AF; Aramid Fiber)⁽⁵⁾を織り込んだ W3802/Q195(共に東邦テナックス(株)製)プリプレグ(強化繊維に樹脂を含浸させて半硬化状態にした中間基材)を使用した。

異方性材料である CFRP の繊維方向弾性率(E11)は、0°方向で最大値を示し 45°方向では約 10%程度の値となる。同様に、せん断弾性率(G12)も 45°方向で最大値を示し 0°、90°では約 10%程度の値となる。HTA-vf60%(体積含有率)での一例を Fig. 2 に示す。開発部品は全方向からの荷重入力が想定されるため疑似等方積層を基本構成とし、部品要求機能に合わせてクロス材の補強積層の追加を行なった。

3.2. 積層構成と材料特性

フードでは、軽量化目的の薄肉化と部品機能を両立させるために以下のような積層構成とした。

フードスキンは全 6 層の内、ワックス作業時などの面剛性の均一化を図るために CF クロス 4 層での疑似等方積層を基本構成とし、中間層には±45°方向に AF を織り込

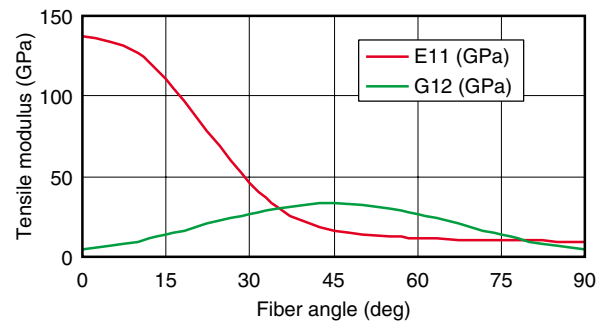


Fig. 2 Anisotropy of CFRP

だプリプレグを 2 層積層した。この積層構成は、±45°方向には強く、正面方向からの衝突入力に対しては壊れやすい構成となっており、AF 層は衝撃破損時の飛散防止の役目をはたしている。また、フードフレームは全 4 層の内、軽衝突での入力に対しては 0°および 90°の CF クロス 2 層で前後方向の強度を重視した積層構成とすることで対応し、フード開閉時のねじれ剛性は設計形状で最適化を図った。さらに、スキンと同様の目的で AF を織り込んだプリプレグを積層している。

リアスポイラでは全 4 層の疑似等方積層を基本構成としているが、中央ウィング部には空力によるたわみ方向に 0°、90°層を追加して剛性を高めている。

フードおよびリアスポイラの積層構成と基本性能を Table 1 に示す。

Table 1 Typical properties of several parts

		Hood skin	Hood frame	Rear spoiler
Stacking sequence		[±45/0,90/±45 (CF/AF)]S	[0,90/±45 (CF/AF)]S	[±45/0,90]S
0°, 90°	Flexural modulus (GPa)	30	26	45
	Flexural strength (MPa)	890	850	1300
±45°	Flexural modulus (GPa)	41	14	45
	Flexural strength (MPa)	1150	450	1300
Fiber content (vol %)		50	50	50

3.3. 積層ラップ部の材料特性

クロス織のプリプレグを用いる積層板では、その織物巾が約 1000mm であるため、その巾を超える部品を成形するにはプリプレグ同士をラップさせて物性の低下を避ける必要があるが、ラップ長をあまり長くするとその分材料の使用量が多くなり重量増加につながる。そこで、重量増加を最小限にするため 25mm 巾でラップ長を変化させたテストピースによる引張りせん断試験を行ない、ラップ長の最適値を求めた。積層の断面状態を Fig. 3、結果を Fig. 4 に示す。この結果より積層におけるラップ長は 10mm 以上、15mm 以下を設定した。

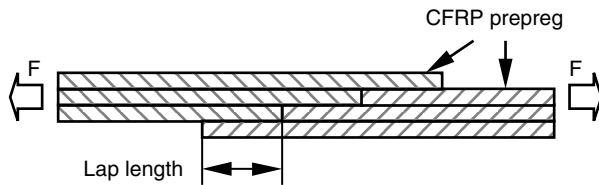


Fig. 3 Shearing testing

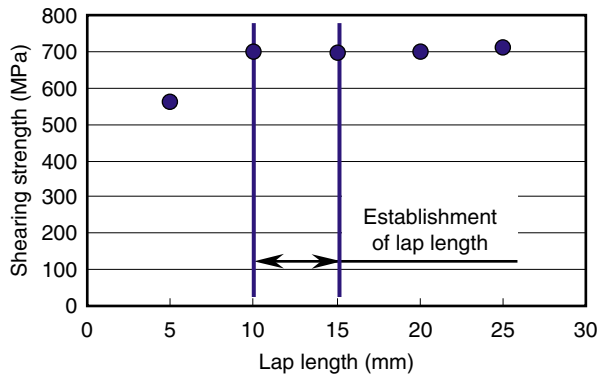


Fig. 4 Lap length vs shearing strength

3.4. 金具取り付け部のクリープ特性

積層構成の複合材料は、面外方向(面に対し直角方向)の熱膨張率が金属材料より大きいために、締結部に鋼製ボルトを使用する場合は熱クリープによるボルトの緩みが課題となる。Table 2 に金属材料と CFRP 積層板の熱膨張率を示す。

Table 2 Coefficient of linear thermal expansion

Material	CLTE ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Steel	$11.6 \times 10\text{E-}6$
Aluminum	$21 \times 10\text{E-}6$
CFRP (vf 50%)	(vertical) $40 \times 10\text{E-}6$
	(horizontal) $0.1 \times 10\text{E-}6$

CFRP 積層板の面外方向はアルミニウムの約2倍の熱膨張率となる。そこで、CFRP 積層板と量産アルミニウム製フードフレーム該当部の熱クリープ性能について、以下の実験により比較した。2.0, 2.9, 3.7mm厚に成形したCFRP 積層板を、締結部の面圧を下げるために部品に適用可能なサイズである $90 \times 25 \times 2.0\text{mm}$ のスチフナ板で挟み、M6 ボルトを規定トルクの上下限である $7\text{N}\cdot\text{m}$, $12\text{N}\cdot\text{m}$ で締付けた。また、比較として2.0mmのアルミニウム板を、直径18mm の M6 用ワッシャで挟み CFRP 板と同様に締付けた。その状態で両者に -40°C , 80°C の冷熱サイクル負荷を加え、ボルトの残留軸力を測定した。

実験に用いた CFRP の試験片を Fig. 5 に示す。また、締結部の代表例として CFRP フレームをアルミニウム製スチフナで挟み、ボルトにより固定するフードロック部の構造を Fig. 6 に示す。

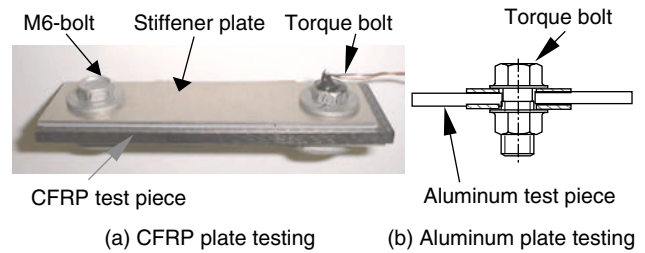


Fig. 5 Creep test piece

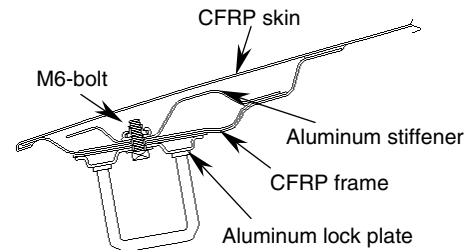


Fig. 6 Section of CFRP hood lock

Fig. 7 に実験結果を示す。CFRP 積層板およびアルミ板ともに1サイクルの負荷でほぼ初期クリープを終え、その後定常クリープ域に到達する。また、CFRP 積層板は厚いほど残留軸力は大きくなっており、これは積層板の表層部でクリープを吸収しているものと思われる。結果として、スチフナにより面圧を下げた CFRP 板は、締付けトルクの上下限でアルミニウム板より高い残留軸力を維持しており、2 mm以上の板厚であれば十分なクリープ強度をもつことが分った。

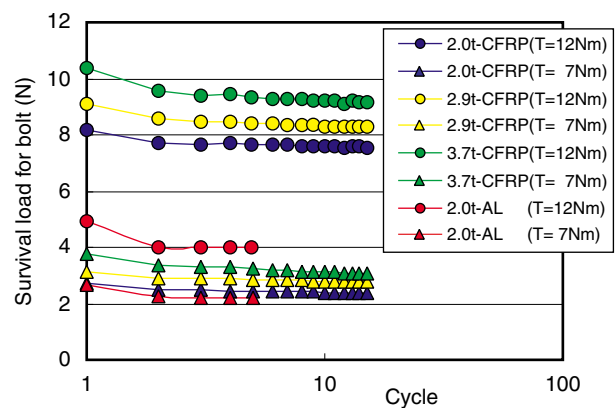


Fig. 7 Creep test results

4. 製法の検討

少量生産車向けの部品を作る製法としては、型費などを抑えられるハンドレイアップ法(HLU; Hand Lay Up)が有効である⁽²⁾。以下に HLU 法の一つであるプリプレグを用いたオートクレープ法(A/C; Autoclave)の手順について紹介する。

基本手順は以下の6工程からなる。その作業工程の一部を Fig. 8 に示す。

- (1) 規定の寸法に材料を切断するプリプレグ裁断工程
- (2) 離型処理した型にプリプレグを張り込む積層工程
- (3) 材料保持、型転写のためのバギング工程
- (4) プリプレグを加圧、硬化させる A/C 工程
- (5) 脱型工程
- (6) トリミング工程

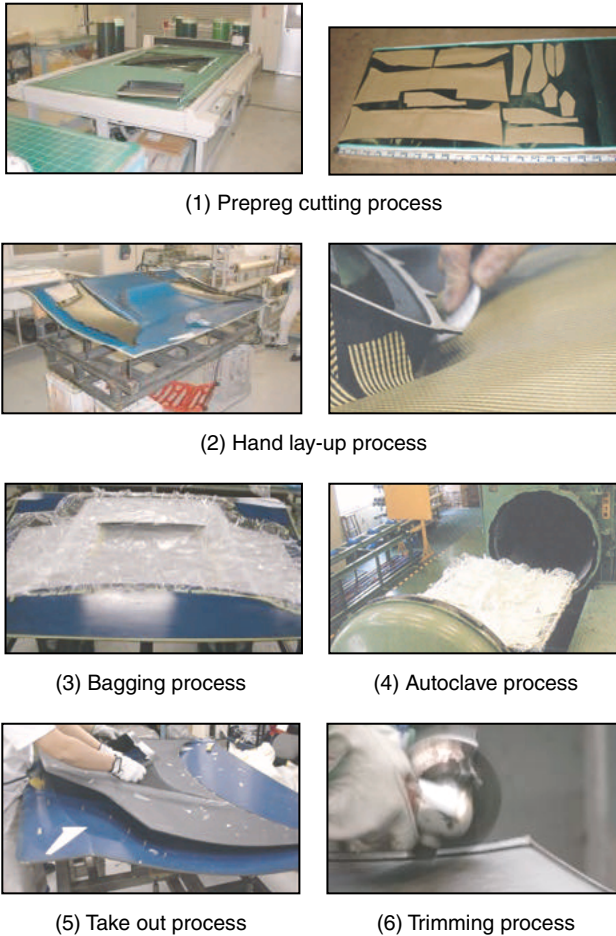


Fig. 8 A/C method

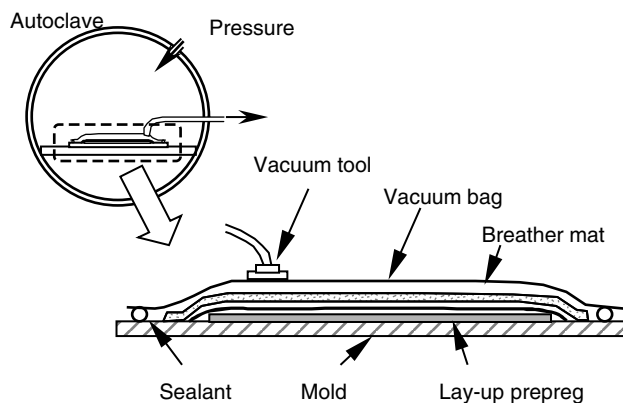


Fig. 9 Outline of A/C

Fig. 9 に A/C 法の概略, Fig. 10 に代表的な成形条件例を示す。一般的に A/C 法では薄いプリプレグを数枚積層して規定の厚さにするために、積層間に空気が残る場合がある。そこで積層されたプリプレグ全体を耐熱バッグフィルムで包み込み、内部を真空ポンプを用いて減圧しながら内部に残留した空気を除去し、加熱されたプリプレグの樹脂粘度が下がった時点で、A/C 内を加圧することで更に残留空気を微細化分散、または出来るだけ除去する。また、A/C 内圧力により材料を成型型に押付けることで転写性を上げることができる。

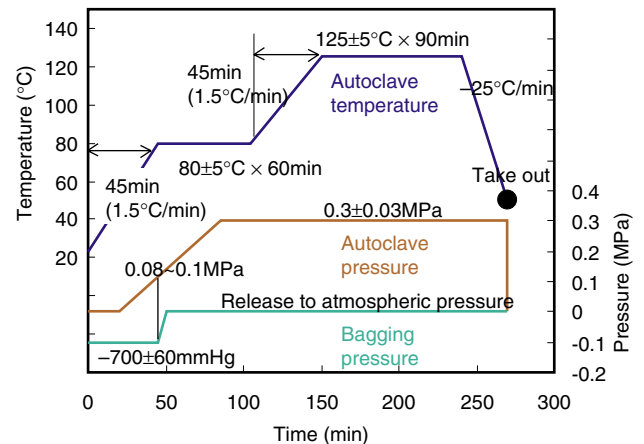


Fig. 10 Outline of cure cycle

5. 部品構造

5.1. フード

フードには軽量化をはじめ、押付けた際のペコ感や開閉時の剛性に関する商品性、および衝突安全性能などが要求される。

フードの基本構造を Fig. 11 に、完成品外観を Fig. 12 に示す。基本板厚は、スキン側が1.2mm、フレーム側が0.8mmで構成されている。また、ヒンジ、ロック部の金具取付け部は補強のため2.2mmに厚肉化している。金属製のフードに対し、スキンとフレームフランジをじかに接着することで全体の断面係数を上げる構造として軽量化効率の向上を図った。また、開発フードにはフロントダウンフォースを発生させるためにエアダクトがつけられている。従来の金属性フードにこのような穴をプレスであける場合、その外周に別物の樹脂部品を追加するのが一般的であるが、成型型を分割することで一体構造とし継ぎ目の無い美しい仕上がりとなり軽量化を両立させた。

また、フードには衝突時にキャビンへ侵入しないこと、および分断しないことが要求されるために、設定した部位で積極的に折り曲げる必要がある。しかしながら、CFRP はバネ要素としての特性を備えており、荷重入力に対して大変形とともに大きなエネルギーを蓄え、最終的にはもろく破

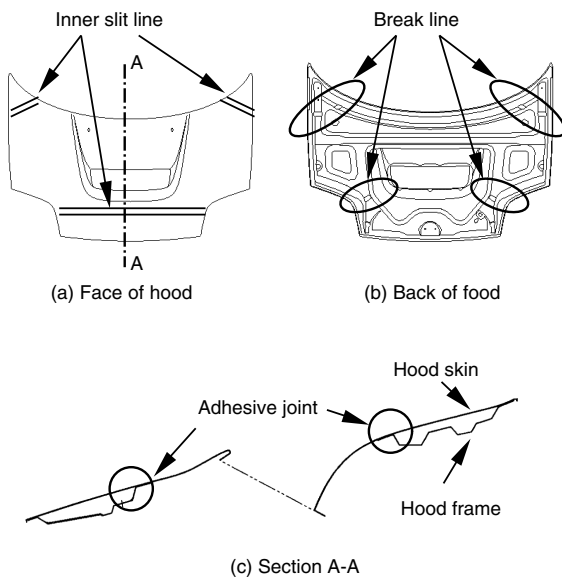


Fig. 11 Structure of CFRP hood



Fig. 12 External view of CFRP hood

壊する。したがって、フレーム側には金属製フードと同様に折れビードを配置して任意の個所で積極的に折る構造とし、また外観商品性上折れビードを配置できないスキン側には、フレーム折れビード付近のスキン積層の一部にスリットを入れ、該当部のスキン強度を作為的に弱めることで積極的に折る構造とした。また、スキン、フレームともに積層内部へ耐衝撃特性に優れる AF を積層したことにより、衝突時におけるフードの分断を防止している。

5.2. リアスポイラ

構造体を軽くするには素材物性の向上はもとより、接合に使われるボルト、接合フランジ、接着剤を廃止することも大きく寄与する。多くの微妙な曲面で構成されたリアスポイラにおいては、個々の部分パーツをつくり、つなぎ合わせて完成させるのが一般的である。しかしながら、パーツ数増加にともない接着部が多くなる分、重くなってしまう。本開発では、成型型を軽量でハンドリング性の良い FRP 製とすることで型の分割を容易にし、スポイラ成形品に対して接

合に要する重量の無駄を全て排除した中空一体構造にチャレンジした。

基本構造は、現在市販されているスポイラの多くに採用されているブロー成形構造をもとに本形状を CFRP で実現させた。この技術により、個別部品での接合構造では実現不可能なデザインを成立させ、空力特性の向上とともに斬新な意匠性を現実のものとした。

スポイラの基本断面構造およびインサートボルト部の固定状況を Fig. 13 に、完成品を Fig. 14 に示す。基本板厚は 0.8mm、ウィング部が 1.0mm で構成されており、車体への取付けボルトは成型型で位置決めしたあと、四角形のボルト頭部を成型基材ではさみ込む構造をとることで、抜け荷重、回転トルクに対する性能を保証している。

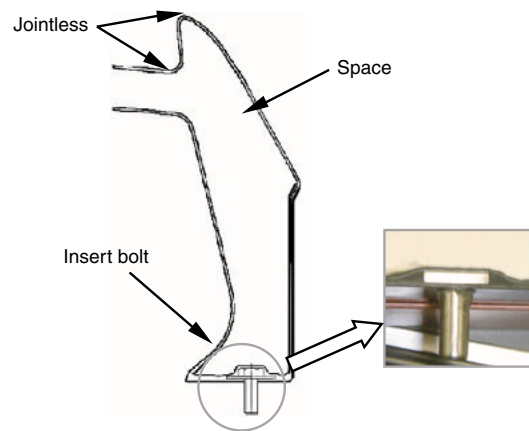


Fig. 13 Section of rear spoiler



Fig. 14 External view of CFRP rear spoiler

6. 部品性能

CFRP 製フード、リアスポイラは温度による寸法変化がほとんどないが、これらを取付ける車体側は熱膨張率の大きいアルミニウムで構成されている。そこで、環境の温度変化による合わせ建付けへの影響を確認するため、次のような実験を行った。代表としてフードの結果を示す。

高温側の条件として、赤外線ランプを用いてフードの表

面温度が 80℃付近となるように設定し、4 時間以上経過後の寸法変化量を測定した。また、低温側の条件として-30℃の雰囲気温度下で高温時と同様に寸法変化量を測定した。寸法変化の基準にはフェンダを用い 100mm ピッチのポイントを測定した。Fig. 15 にテスト状態と測定ポイントを示す。

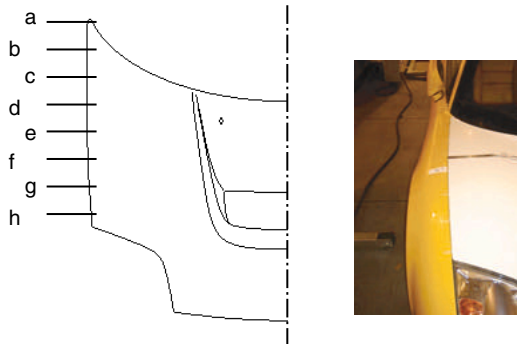


Fig. 15 Measurement points for dimension change

結果を Fig. 16 に示す。フードとフェンダ間での発生隙間は、高温時の最大隙間で 0.6mm(部位 h)，低温時においても 0.6mm(部位 f)程度であり、外観商品上問題とならないレベルであることが確認できた。

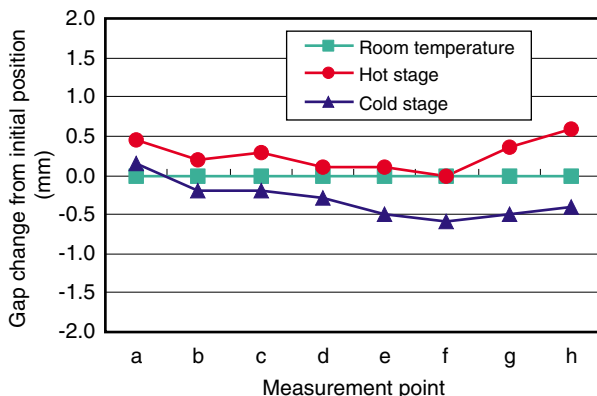


Fig. 16 Gap change in hot-cold cycle test of CFRP hood

7. まとめ

車体軽量化の一手段として CFRP 材料の異方性、および樹脂の形状自由度を生かした外装部品を開発した。フードの製品重量は 4.2kg でアルミニウム製に比べて 30%の軽量化を達成し、リアスポイラの製品重量は 93 年モデルの軽量 SMC 製に比べて大型化しているにもかかわらず 2.3kg に抑えることができ 40%の軽量化を達成した。

同時に本開発を通じて以下の知見が得られた。

- 1) 衝突安全に対しては、金属と同様にフレーム側の折れビード形状で破壊の起点を設定できるとともに、外観商品上において形状要素が取り入れられない個所につ

いては、積層構成の中にスリットを設定し材料の強度を作為的に弱くすることで、外観を損うことなく破壊の起点を設定できる。

- 2) 板厚方向で大きな熱膨張を示す積層材料であっても、金属ボルトによる機械締結の保証が可能である。

8. あとがき

炭素繊維複合材料は自動車部品の軽量化に絶大な効果を発揮する。少量生産車といえどもフラッグシップカーである 02 年モデルの NSX type-R に標準部品として搭載できたことは、自動車軽量化技術に対する大きな飛躍であると考えられる。今後はこの高価といわれて久しいカーボン素材でいかに効率良く生産し大量生産車に搭載できるかが大命題であるにとらえ、将来一般的な軽量素材として世に送り出せば幸いである。

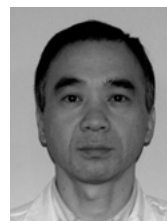
謝 辞

本開発にあたり、絶大なる御協力を頂きました東邦テナックス(株)、八千代工業(株)、はじめ社内外の関係者の方々に紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 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)
- (2) 西山公人，江井良治，加藤良幸，石橋一穂：大型外装樹脂部品の少量生産技術の開発，HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.173-178 (April 1999)
- (3) 竹内 淳：ボデーパネル用 ABS/PA6 ポリマアロイの開発，HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.1, p.183-188 (April 2000)
- (4) 福田 博ほか：第 5 章平板の面内問題・積層板の面内剛性，複合材料の力学序説，東京，古今書院，1989 年初版，p.91-98
- (5) 植村 益次ほか：第 1 章 素材と材料特性，FRP 構造設計便覧，(社)強化プラスチック協会，1994 年初版，p.1-12

■ 著 者 ■



山根 保夫



桜庭 智裕