超低燃費車用軽量アルミニウムボデー および樹脂外板の開発

齊藤政昭・伊藤祐邦・安永晋拓

(株)本田技術研究所

世界一の低燃費車を実現するために車両の大幅軽量化を目指し、モノコック構造とスペースフレーム構造の長所を併せもつアルミニウムハイブリッドボデー構造を考案。その一部のボデーパネルとバンパーフェイスには2種類の熱可塑性樹脂外板を開発した。これらにより従来の鋼構造ボデーに比べ1/2の軽量化と最高レベルの安全性能を達成した。

1. まえがき

21世紀、環境の時代を間近にした今、地球温暖化の対応に向けた低燃費要求は自動車に携わるものにとって急務の課題となっている。

この問題に対し、パワートレイン、車体双方でさまざまな取組みが進められており、米国ではPNGV (Partnership for a new generation of vehicles)、欧州では100 km/3 Lカーの開発などの中長期プロジェクトで内燃機関の効率改善、車体系の材料置換(スチール→アルミニウム、マグネシウム、樹脂など)を含めた大幅軽量化、さらに長期的には究極の環境性能を目指すFCEV (Fuel cell electric vehicle)などの研究が進められている。

今回、われわれはこの現実的な一歩として、当社の代表的低燃費車両のCIVICに対し、その燃費性能を2倍にして世界でもっとも燃費の良い車にするにはどのようにすればよいかを考えた。その結果図1に示すように、エンジン自体の効率改善、エネルギー回生技術、車体系の軽量化などではほぼ均等に1/3前後を分担することとした。この中で車体系の大幅な軽量化を実現するには、ホワイトボデーのアルミニウムや樹脂への材料置換が不可避であった。

本稿では、この超低燃費を実現したホンダINSIGHT用アルミニウムボデーおよび樹脂外板の開発について解説する。

図1 燃費2倍達成手法内訳(10.15モード)

2. 開発の目標

今回の軽量ボデーの開発において、超低燃費の実現とともにボデーに求められる基本性能の確保、トップクラスの安全性能実現、さらにコストを抑えるために、次に示す開発目標を設定した。

- (1) 大幅な軽量化: ボデー単体で50%低減(CIVIC 3ドア基準)
- (2) 高いボデー剛性
- (3) 最高水準の衝突安全性能
- (4) 投資および部品点数などの削減

3. アルミニウムボデーの開発課題

3.1 アルミニウムモノコック構造

1990年に開発されたアルミニウムボデーのホンダ

Masaaki SAITOH (株)本田技術研究所栃木研究所(321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢4630) チーフ・エンジニア、(写真左)工学修士、1975年日本大学大学院機械工学研究科修士課程修了、専門は機械工学、〈趣味〉登山、ドライブ
Sukekuni ITO 同上、チーフ・エンジニア、(写真中)1980年東京農工大学工学部工業化学科卒、専門は有機材料化学、〈趣味〉二輪
Kunihiro YASUNAGA 同上、アシスタント・チーフ・エンジニア、1985年九州工業大学工学部金属加工学科卒、専門は非鉄冶金、〈趣味〉テニス、ゴルフ

Development of Aluminum Body and Plastic Panels for the Most Fuel Efficient Vehicle

NSXでは、スチールボデーで使われるモノコック構造をそのままにアルミニウムに材料置換することで、40%の軽量化を達成している。

しかしながらこの構造はアルミニウム板材のプレス成形性、溶接性の制約などから生産タクト、部品点数、溶接点数が増加し、また金型投資が大きく少量生産ではコストが高くなることが課題であった。

3.2 アルミニウムスペースフレーム構造

近年のアルミニウムボデー構造に使われはじめたスペースフレーム構造はアルミニウム押出し形材を用いて軽量高剛性化を実現しようとするもので、モノコック構造に比べアルミニウムの特性をより広く活かすうる構造である。

しかしながら、われわれの検討結果ではスペースフレーム構造は、外板パネルや各種機能部品取付けのための締結部品などが必要となり目標コストが達成できないことがわかった。

4. 新型車体構造

4.1 アルミハイブリッドボデー構造

そこで、このモノコック構造とスペースフレーム構造の長所を活かし、アルミニウムの特質を最大限引き出すようにプレス成形、押出し成形、鋳造成形の3つの成形方法を最適に組合せて、剛性・衝突安全性といった性能とともにコスト・生産性を両立したアルミニウムハイブリッドボデー構造を開発した(図2)。

考え方は以下のとおりである。

- (1) 複雑な断面形状でも容易に成形可能な押出し形材の適用を拡大し最小重量で十分な強度/剛性を実現
- (2) 鋳造部品を継手に採用し結合剛性の向上と部品取付けなどの機能を集約し部品点数とコストを低減
- (3) プレス部品の適用を減らしコストを低減

4.2 ボデー骨格構造の特徴

骨格部材をストレートまたは曲率変化をきわめて少なくスムーズに通し、機能集約した鋳造継手部材を介し、または骨格どうしの直接結合により高効率な結合とした。これによりサスペンション入力や衝突エネルギーを効率よく受けとめ、荷重をボデー骨格全体に分散させる構造としている。

図2 アルミニウムハイブリッドボデー (INSIGHT)

4.3 部品点数、重量

上記の押出し形材と鋳造部品の採用により、アルミモノコック構造に比べ部品点数で15%、溶接点数で24%を削減し、ホワイトボデー単体重量では、CIVIC 3 ドア比較で47%の軽量化を達成した。

5. ボデー剛性・衝突安全性能

5.1 ボデー剛性

アルミニウムは鋼に比べてヤング率が1/3と低いため、押出し形材断面を入力の大い方向に厚く偏肉させ、骨格部材の剛性を確保した。

その押出し形材フレームを鋳造部品で十分な重ね代をもって剛性高く結合することにより、基準とした当社のCIVIC 3 ドア比較で、ねじり剛性で38%、曲げ剛性で13%の向上を果たした。

5.2 衝突安全性能

サイドフレーム先端やリアフレームの衝突エネルギー吸収部材はアルミニウム押出し形材の特性を活かした多角形リブ構造断面を採用した。矩形板の平均応力と板厚幅比の関係¹⁾より、板厚幅比を約4~5%とすることで安定的に圧縮崩壊させ衝突時のエネルギーを効率よく吸収できる断面設定とした(図3)。サイドフレーム先端部を例にとると、同重量相当のスチールボデーフレームに対し50%のエネルギー吸収増、重量37%減を実現できた。

前面衝突に対しては、サイドフレームを前後2分割とし先端部は安定的に圧縮崩壊し、後半部は屈曲して車体への侵入と衝撃を緩和するように先端部と後半部の異なる押出し形材を鋳造接手部材で結合する構造とした

5.3 衝突安全性能達成値

以上の構造により、衝突安全性能では、先に述べた大幅

図3 薄肉リブ付き断面のエネルギー吸収効果

な軽量化を実現しながら日、米、欧の法規速度を上回る 64 km h^{-1} 前面オフセット衝突テストや 55 km h^{-1} 前面フルラップ衝突テストをはじめとする高い社内基準をクリアした。

6. 材料・生産技術

アルミニウムハイブリッドボデーを具現化するために、アルミニウム押出し型材とアルミニウム大型鋳造継手を開発した。また一部の外板はアルミニウムでのプレス成形が難しく新規に樹脂材料および成形法の開発を行った。

ここでは鋳造継手と樹脂外板について説明する。

6.1 アルミニウム大型鋳造継手

キャビンの四隅に配したアルミニウム大型鋳造継手のうち、リアアウトリガーは深い箱形状で通常の鋳造製法では厚く重くなるため車体系骨格部材ではじめてチクソキャストを採用した。これはかくはん凝固させたビレットを再加熱し半熔融状態でダイキャストマシンにて鋳造する製法で、高品質鋳造・製品のニアネットシェイプ化・寸法精度の向上・金型寿命の向上などが可能である。製品の方案部、ランナ部のリサイクル化、製品機能に合わせた材料特性管理などの必要性から、ビレットの製造も内製化した。

従来のダイキャスト製法に対し 20% の薄肉化と軽量化、それに高強度、良好な溶接性を得た。

6.2 ABS/PA アロイボデーパネル

比剛性から考えるとアルミニウムがもっとも軽量化効果が大いだが、現状では成形加工の形状自由度に制限がある。車体空力性能を満足するデザインを実現するには、成形性に優れた樹脂材料を適材適所に使うことが有効であ

図4 樹脂外板適用部位

表1 ABS/PA ポリマーアロイの特性

基本物性項目	代表値
比重	1.1
引張強度	40 MPa
曲げ強度	60 MPa
曲げ弾性率	2,200 MPa
デュボン衝撃値	53 J (-30°C)
線膨張係数	$5 \times 10^{-5} \text{ cm/cm }^{\circ}\text{C}$

る。INSIGHT では 2 種類の熱可塑性樹脂外板（ボデーパネルおよびバンパーフェイス）を採用した（図 4）。

ボデーパネルとしてアルミニウム化に相当する軽量化を達成するために、製品裏面にリブを配置して剛性を確保しながら薄肉化を図ることとし、この検討材料を裏面に配置したリブによる表面への“ひけ”外観発生の少ない非晶性樹脂のアクリルニトリル/ブタジエン/スチレン系共重合体（以下 ABS）をベースに、ボデーパネルに求められる耐薬品性などを確保するために結晶性樹脂のポリアミド 6（以下 PA6）とのポリマーアロイとした。“ひけ”外観の定量的評価手法を用い、ABS/PA6 ポリマーアロイの組成比率を検討して、他社で実績のあるポリフェニレンエーテル/ポリアミド 66（以下 PPE/PA66）ポリマーアロイ以上の“ひけ”抑制効果を得た。

また、樹脂材料はアルミニウムに比較して環境温度変化に伴う寸法変化が大いいため、隣合う部品との合わせ隙間を大きくする必要があるが、耐衝撃性とのバランスを考慮しながら充填フィラの種類、粒径、添加量を検討した結果、外観商品性上許容できる寸法安定性を得、PPE/PA66 ポリマーアロイ以上の耐衝撃性を確保しながら低線膨張化を達成することができた（表 1）。

INSIGHT の ABS/PA6 ポリマーアロイ製フロントフェンダは、一般肉厚 2.5 mm、製品重量 1.17 kg で鋼板製に対して 45% の軽量化を達成した（図 5）。

6.3 高剛性 PP バンパーフェイス

当社のバンパーフェイスはウエイト、コスト、リサイクル性などの観点で早くから PP 素材に統一化してきた。これを軽量化するには PP 素材を高剛性化し薄肉化すればよいが高い耐衝撃性が要求されるため、剛性と耐衝撃性を

図5 INSIGHT 樹脂フロントフェンダ

図6 従来ゴム成分添加量と物性の関係

両立させるよう、ベースPPの高剛性化とゴム成分の最適化を図った。

最近のPPの重合触媒技術発達によるプロピレン側鎖(メチル基)を立体的に同一方向(*m*:メソ)に制御する技術を利用し、同一方向になる確率を表す立体規則性(タクチシシー: *mmmm*)を高めベースPPの曲げ弾性率を向上させた。図6は高立体規則性のベースPPと従来のゴム成分からなるPP素材の曲げ弾性率とアイゾット衝撃値の物性バランスを示すが、この組合せのままでは物性バランスの目標ゾーンに到達しない。ベースPPの立体規則性は0.98以上を目標にするとともに、ゴム成分には高分子量の高衝撃タイプを用いてその添加量を減らすことで物性バランスの向上を図った結果、曲げ弾性率1500MPa以上で、アイゾット衝撃値60Jm⁻¹以上の目標ゾーンをクリアする材料を得た(図7)。また単純なゴム成分の高分子量化は塗装密着性の低下を招くため素材のシンナー成分吸収量などを検討しゴム成分組成の改良を行い塗装性の向上を図った。

以上の結果、素材の弾性率が従来材比50%高くなった分バンパーフェイスを薄肉化(t3.8mmから3.4mm)し、18%の軽量化を達成した。

図7 高分子量ゴム成分添加量と物性の関係

7. 今後の材料の課題

7.1 アルミニウム

これらの開発の結果、冒頭に掲げた目標はほぼ達成できた。この軽量ボデーを今後適用拡大していくには、さらなる軽量化に向けたアルミニウム押出し形材、鋳造部材、板材の性能追求と併せて材料コストや成形コストを低減させる取組みが研究課題となるであろう。

7.2 樹脂

熱可塑性樹脂外板は他の軽量素材に比較して、優れた成形加工性からくるデザイン自由度や軽衝突に対する良好な復元性(カインドリ性)を有し、今後も適材適所に使われるであろうが、これをスチールやアルミニウムと同等に扱いやすい高外観素材とするために、低比重高剛性化、寸法安定性の向上などが研究課題となるであろう。

8. まとめ

以上述べてきたようにINSIGHTは、NSXで築いたアルミニウムボデー技術をベースに、押出し形材や鋳造部材を加えたアルミニウムハイブリッドボデー構造と樹脂外板技術により、軽量化と高剛性化、衝突安全性能の確保、コストの低減という当初の高い目標値を達成し、また完成車としての世界一の低燃費を実現することができた。

従来からの安全問題などに加え近年、地球環境問題からの自動車軽量化のニーズが高まっており、構造改良のみならず、アルミニウム、樹脂などへの材料変更も含めた軽量化が進行しつつあるが、今回開発した軽量ボデー技術が今後の軽量化への一助となれば幸いである。

文 献

- 1) T. Satoh, K. Takada: 96-S3-W-19, 15th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, pp. 518-524, Melbourne, Australia (1996).