自動車の軽量化を支える材料開発動向

丸 山 正 明*

1. は じ め に

2004年6月1日付けの日本経済新聞は1面で、「日産自動車が今後5年間に開発する新型乗用車の車両質量を5~10%軽量化する」と報じた。自動車の燃費を改善する有効手段の一つである車両質量の低減は、車両質量を10%軽くすると、燃費が約5%改善される。車両の軽量化を含めた燃費改善手段によって、乗用車の全車種で燃費改善を図る計画と伝える。

日産が低燃費車の開発に力を入れる動機は、低燃費車をうたい文句に今後も繰り広げられる世界市場での激しいシェア争いに勝ち抜くためである。同社は低燃費車として、従来のガソリン・レシプロ・エンジン搭載車を改良し、スーパー・ウルトラ・ロー・エミッション車(SU-LEV, 極超低公害車)を開発し市販している実績をすでに持っている。ハイブリッド車並みの極超低公害車をガソリン・レシプロ・エンジン搭載車で達成し注目されている。

2. 衝突安全対策などで次第に重くなる車両質量

現在、続々と発売される新型車は、車両質量の軽量化対策を何も施さないと、次第に重くなってしまう。その理由は、新型車開発の度に衝突安全性の向上や操縦性向上を図るために車両に補強材などを追加して車両剛性を高め、衝突時の衝撃エネルギーの吸収・分散機能を高めているからである。さらに、カーナビゲーションやパワーウィンドウなどの便利装備・装置を備えることが増え、車両質量を増やしているからである。カーナビゲーションなどを通じて車外と相互に情報通信することが次第に普通になるため、便利装備・装置は今後ますます充実していく。その分だけ、その質量を増やして

いくと推測されている。

日本で発売された乗用車の同一車種での車両質量を大まかに分析すると、1960年以降の約30年間にわたる期間では、10年ごとに約100 kg ずつ重くなっていることが分かる。ただし、新型乗用車の発売の中には、車格が上級車に移行する節目の度に、搭載するエンジンの排気量が次第に大きくなっていくため、同一車種ではあっても同じ車格同士での比較にはなっていない。日本の乗用車の平均車両質量が約10年ごとに100 kg ずつ重くなっていることは、日本のモーターゼーションの成長の軌跡そのものを示し、日本経済の高度成長を反映している。言い換えれば、日本人の生活水準の向上を反映している。この点では、日本の自動車産業が欧米と肩を並べるようにまで成長した現在、1960年代以降の30年間の車両質量の変化と、1990年代後半以降の変化は質が異なってきた。2000年以降も、材料選択の工夫を重ねて、車体を大幅に軽量化した新型車がいくつか登場し、車体軽量化の余地がまだあることを示している。

図1に車両質量を約30 kg 増に抑えたトヨタ自動車の新型「プリウス」を、図2に車両質量を約230 kg 軽量化した富士重工業の新型「レガシィ」をそれぞれ示す。新型「プリウス」は、約170 kg 分の軽量化対策を施し、車両質量の増加分を約30 kg 増に留めた。両車ともに、大幅な軽量化の成果を上げた典型例として話題を集めた。

3. 国を超える自動車メーカー同士の資本提携

最近10年間は、日本の自動車メーカーが発売した新型車では、車格が上級車に移行することによる車両質量の増加が実質的にほとんど無くなった。日本の車のグレード分けが成熟したためだ。すでに述べたように、車両質量が増える理由は、年々厳しくなる日欧米各国の衝突安全規制に対応する車

* 日経 BP 社編集委員室編集委員(〒102-8636 東京都千代田区平河町2-1-1)
Trend of Material Development for Vehicle in Japan; Masaki Maruyama (Nikkei Business Publications; Inc., Tokyo)
Keywords: automobile, vehicle, choice of material, engineering, weight reduction
2004年7月2日受理

図1 車両質量を約30 kg 増に抑えたトヨタ自動車の新型「プリウス」。新型開発で170 kg の軽量化対策を施した(2003年9月発売開始)。

図2 車両質量を230 kg 軽量化した富士重工業の新型「レガシィ」(2003年5月発売開始)。

両改良と便利装備・装置の進化・増加による車両質量の増加が主な原因になっている。日欧米での国を超えた激しい車の販売競争に勝ち抜くために、車の高性能化と環境対策に励んでいる反映である。

一方、日本の自動車産業は国を超えた国際市場での動向に左右される時代を迎えている。日欧米の各自動車メーカーの国を超えた合従連衡(がっしょうれんこう)が盛んになり、自動車メーカーの再編がここ10年間に激しく進んだ。日本の自動車メーカーも、多くが欧米の自動車メーカーと資本提携し、日欧米で共通した車台(「プラットフォーム」と呼ばれ、エンジンや変速機、車体構造部などの車の基本性能を決める主要機構)を基にした新車開発を盛んにしている。車台の共通化によって、巨額にのぼる新車開発投資額をできるだけ抑えて、収益を上げる協力体制を強めている。

日欧米の各自動車メーカーの競合に、今後大きな影響を与えるのは中国市場だろう。2010年までに、中国の車生産台数は1000万台を超えると予測されている。中国が本格的なモーターリゼーションを迎え、2010年には世界最大の車生産国に成長するとみられている。日欧米の複雑に資本提携した自動車メーカー同士が、巨大な中国市場でどうシェアを取るかは、今後の生き残り競争の勝敗を決めるだろう。そして、中国の自動車メーカーがどう成長するかも、自動車の国際市場に大きな影響を与えるだろう。中国市場で売れる車をつくるには、材料選択を的確に行うことが求められる。

4. 材料代替による軽量化は成熟技術に

車が高性能化することによる車両質量の“自然増加”分を

相殺しながら、今後5年～10年間、車両質量を5～10%軽量化達成するのは、実は至難の業である。というのも、過去10年以上にわたって、車両質量の軽量化が綿々と図られ続け、ある程度成熟した技術になっているからである。車両を構成する主な材料ごとに、その適用事例の動向をみてみよう。1980年代から本格化した材料代替による軽量化対策がかなり進み、既に多種多様な材料を車に巧みに適用していることが分かる。

鋼板では、引張強さが340 MPa以上の冷間圧延鋼板の高張力鋼板を車体に採用し、軽量化を図ることは、ある程度限界に達している。プレス成形によって、車体部位の形状をつくり、溶接して部位に仕上げる過程を経るものは、高張力鋼板の適用による軽量化は既に限界を迎えているからだ。成形時に降伏強さがやや低くて、塗装焼き付け時に降伏強が高まるベークハード型の高張力鋼板もあまり採用実績を伸ばしていない。

今後、高張力鋼板の適用で話題を集めるのは、一つはテールブランク材であり、もう一つは超高張力鋼板だろう。テールブランク材は、板厚や鋼板の種類が異なる鋼板同士をレーザー溶接し鋼板の適材適所化を図るものである。YAG(イットリウム・アルミニウム・ガーネット)レーザー溶接などを用いた鋼板溶接技術の進歩によって、板厚が異なる鋼板を1枚の鋼板に接合したテールブランク材をつくり、プレス成形で部位形状に仕上げる。本来、構造的にそれほど力がかからない部分があって板厚が薄くても済む場合でも、1回のプレス成形で当該部位形状をつくるために、板厚の厚い部分に合わせた鋼板を用いていた。これに対して、板厚が異なる2枚あるいは3枚をレーザー溶接で1枚に接合したテールブランク材を用いることで、無駄な板厚の使用を避けることが可能になった。また、下側は表面処理鋼板である亜鉛メッキ鋼板を、上側に普通鋼板を用いる組み合わせのテールブランク材も登場している。テールブランク材は、鋼板の適材適所をきめ細かく実施することで、鋼板コストを下げ、軽量化を図ることを目指している。

超高張力鋼板は、引張強さ590 MPaや780 MPa、980 MPaなどの従来の高張力鋼板より強さが一段と高いもので、車体の構造部材(骨格部)のピラーなどの補強材に採用され始めている。超高張力鋼板は成形できる形状の制限から、適用できる部位は単純形状の構造材に限られるが、今後も採用実績を伸ばしていくと予想されている。トヨタが2003年9月に発売した新型ハイブリッド車「プリウス」のセンターピラーには、引張強さ980 MPaと440 MPa 超高張力鋼板をテールブランク材として用いている。このセンターピラーに1470 MPaの超高張力鋼板の補強材を組み合わせ、側面衝突安全性を高めている。

特に、これまで車体かけられるコストの点から、高張力鋼板の採用比率が小さかった日本の軽自動車での採用が急に増え始めている。軽自動車での衝突安全対策を高めるためである。

5. 適材適所化が成熟したアルミニウム合金

アルミニウム合金は、適材適所化が既になりに進んでいる。質量の大きい部位・部品では、ガソリン・レシプロ・エンジンのエンジンブロックのアルミニウム合金化が進み、従来の鋳鉄製からの代替が進んでいる。同時にエンジンのヘッド・カバーやオイルパンのアルミニウム合金化も進んでいる。

アルミニウム合金製エンジンブロックに挿入する鋳鉄製スリーブの代わりに、アルミニウム合金の複合材料を適用するオールアルミニウム合金製エンジンブロックも既に実用化されている。しかし、一部のスポーツカーでの採用に留まっており、採用実績は増えていない。技術開発面では挑戦的な高度な内容だったが、事業面では高コストを打破できず、一部車種での限定的な採用のままになっている。

アルミニウムメーカーが期待した車体部位では、エンジンフード(フロントパネル)やトランクリッド(車体形状によってはバックドア)の通称“フタもの”と呼ばれる部位でのアルミニウム合金化が進んでいる。主な車体構造を鋼板製の部位でつくり、構造面での力学的な寄与が小さいエンジンフードやトランクリッドをアルミニウム合金化するのは、接触電位による“電食”対策が施しやすいからである。鋼とアルミニウム合金の接触箇所を樹脂などを挟むことで絶縁する手法によって、電食対策を施す。このほかに、車体部位ではフロントフェンダーやルーフなどのアルミニウム合金化が進んでいる。またごく少数だが、後席側のドアに採用したケースも登場済みである。

エンジンフードなどの車体部位へのアルミニウム合金製の採用は、高級乗用車やスポーツカーなどの車両価格が高い乗用車に限られているのが実情である。しかし、日本の高級車の一部では、車体へのアルミニウム合金の採用が定着し、高付加価値を示すツールとしての地位を確立している。日本の乗用車も車両価格が100万円前後から1000万円近いものまでと、かなり幅広くなっている。「大衆車」や「スモールカー」と呼ばれる量販車と高級乗用車を、それぞれ異なる材料選択基準でつくることは当たり前になっている。

エンジンや車体部位以外の用途としては、ブレーキキャリパーやステアリングナックル、バンパーの補強材、ホイールなどの様々な部品にアルミニウム合金が採用され、各部品の軽量化達成手段として既に実績を上げている。

6. 樹脂化による軽量化も一段落に

熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂を含む各種の樹脂も、アルミニウム合金と同様に適材適所化が既になりに進んでいる。1980年代は、鋼などの金属部品からの材料代替の主役を務めた樹脂も、樹脂化できる部位・部品では代替し尽くした段階に入っている。

大型部品では、燃料タンクやバンパー、エンジンの吸気マニホールドの樹脂化が進み、定番化している。ブロー成形によって樹脂製の燃料タンクの形状をある程度自由に設計できるようになった結果、本田技研工業が発売する小型車「フィ

ット」では、運転席・助手席の下に燃料タンクを配置することで、トランク容積を広げ、室内空間を広げるなどの軽量化以外の効果を上げている。バンパーの樹脂化は、マテリアルリサイクルの先行事例として注目を集めている。樹脂製部品の中では、比較的大型部品であるために、部品の元の樹脂原料に戻すマテリアルリサイクルで採算が取れる可能性があり、それを実証する廃品の部品回収・マテリアルリサイクル体制を構築し実践中である。

バンパーのフロント部(フェイスア)は、1990年代に鋼板製からポリウレタン製に代替し、さらにPP(ポリプロピレン)系樹脂に代替された。各自動車メーカーがそれぞれにリサイクル性を考慮し、各社ごとにいくらか異なるPP系樹脂を採用しているために、自社内でのマテリアルリサイクルしできない。また、廃棄バンパーの回収コストの低減もまだ課題である。

7. 新車開発の企画段階から材料メーカーと連携

鋼からアルミニウム合金への材料切り替えなどの重い材料から軽い材料に代替する軽量化手法は、ある程度成熟技術化している。こうした状況の中で、車両質量の軽量化は依然として大きな開発テーマであるだけに、工夫を凝らすしか手がない。しかも、軽量化を目標とした材料代替では部品コストの上昇は基本的には認められないという厳しい制限の範囲で、工夫を凝らすことになる。

最近の工夫の一つはハイドロフォーム成形法という加工法と組み合わせた事例である。例えば、車両の構造体(骨格)の一部であるフロント・サブ・フレームやリア・サブ・フレームと呼ばれる部位に、アルミニウム合金製が採用され始めている。従来の鋼板製に比べると、アルミニウム合金の方が当然大幅に軽く、30%程度の軽量化が達成できる。フロント・サブ・フレームやリア・サブ・フレームは従来、鋼製は鋼板をプレス成形し溶接してつくっていた。これに対して、まず鋼のハイドロフォーム成形が北米向けの輸出車で実用化された。さらに一層の軽量化を求めて、アルミニウム合金製パイプをハイドロフォーム成形によって所定の形状に成形する開発に成功した。

部品コストの上昇は認められないということは、材料コストの上昇を認めないということではない。アルミニウム合金製パイプをハイドロフォーム成形する場合も、部品コストが下がることもある。加工コストの低減や部品一体化による組み立てコストの低減を図ることで、部品コストは総合的に下がることもあるからだ。以上のように、各部品の加工法や組み立て法まで踏み込んだ設計をすると、材料代替による軽量化がまだ可能である。材料代替による軽量化を実現させるためにさまざまな工夫を凝らす。軽量化をいくらかでも進化させるには、自動車メーカーと部品メーカー、材料メーカーが新型自動車の開発構想の段階から、連携して一緒に車両の軽量化を図るしか手が無くなっている。企画・設計時までさかのぼって、工夫を凝らさないと、材料代替の解が浮かび上がらない時代を迎えている。