

© 1992 ISIJ

展 望

自動車の軽量化へのアプローチ

柴 田 新 次*

Approach to Automotive Weight Reduction

Shinji SHIBATA

1. は じ め に

日本における自動車産業の歴史は、約 50 年であるが現在では世界最大の自動車生産国にまで成長している。

その間には、安全・排出ガス浄化・低騒音化などの法規制や '70 年代後半のオイルショックなどさまざまな局面を乗り越えて現在に至っている。

自動車は、高機能化・高性能化などのために車両重量が増加しており高出力化を確保する上で軽量化が常に重要なテーマとなってきた。そして、これまでも鋼板の高張力化及び鋼材の高強度化を始めアルミニウム、樹脂などの採用もなされてきた。

近年、地球規模の環境保全が全人类的な課題となっており、自動車に対して従来以上の燃費向上・排出ガス浄化・低騒音化などが望まれている。

2. 自動車の軽量化と燃費向上

地球規模の環境問題のうち、地球温暖化に対しては、大気中の CO₂・フロンなどの温室効果ガス濃度の増加が懸念されている。これら温室効果ガス濃度の影響度・温暖化メカニズムなどについては未解明な点もあるが、温室効果ガス濃度の低減がさまざまな観点から議論されている。

自動車において CO₂ を低減するためには自動車の燃費を向上する必要がある。燃費を向上するためには、図 1 に示すように単体効率を向上する手法と走行抵抗を低減する方法があり、走行抵抗を低減するための 1 つの方法として車両重量の軽量化をあげることができる。図 2 に車両重量と燃費との関係を示す。図 2 より車両重量の低減により燃費の向上が期待できることがわかる。軽量化の方法としては、最適設計・部品小型化など設計面での対応と軽量材料への置換・高強度化などの材料面からの対応が考えられる。また、単体効率の向上に対してはエンジン燃焼改善・伝達効率の向上のほかに摩擦損失

の低減が有効であり、そのためには運動部品の軽量化が必要である。特に運動部品の場合、わずかな重量軽減にても燃費向上に有効であることが知られている。

近年、米国にて CAFE 規制法案が議論されており、日本においても自動車のエネルギー消費効率改善が検討されている。このような状況において、これからますます燃費向上技術の検討が必要となることが予測され、そのためには材料による軽量化によるところが大きであると考えられる。

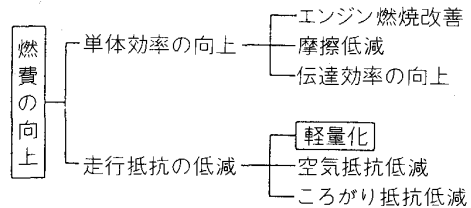


図 1 燃費向上技術

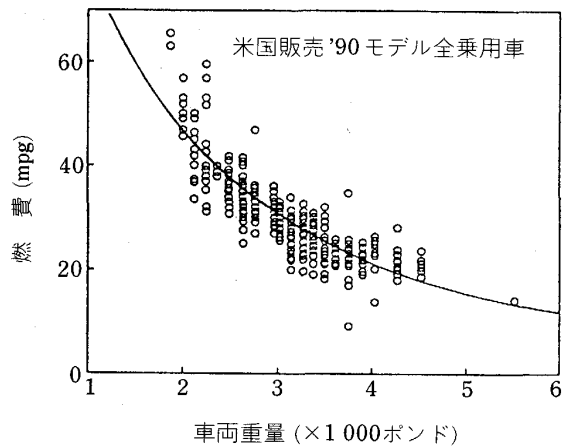


図 2 車両重量と燃費

平成 4 年 2 月 5 日受付 平成 4 年 6 月 5 日受理 (Received on Feb. 5, 1992; Accepted on June 5, 1992) (依頼展望)

* トヨタ自動車(株)第 1 材料技術部金属材料室室担当員 (Material Research & Development DIV. I, Toyota Motor Corp., 1 Toyota-cho Toyota 471)

Key words : steel ; aluminium ; stainless steel ; steel sheet ; automotive.

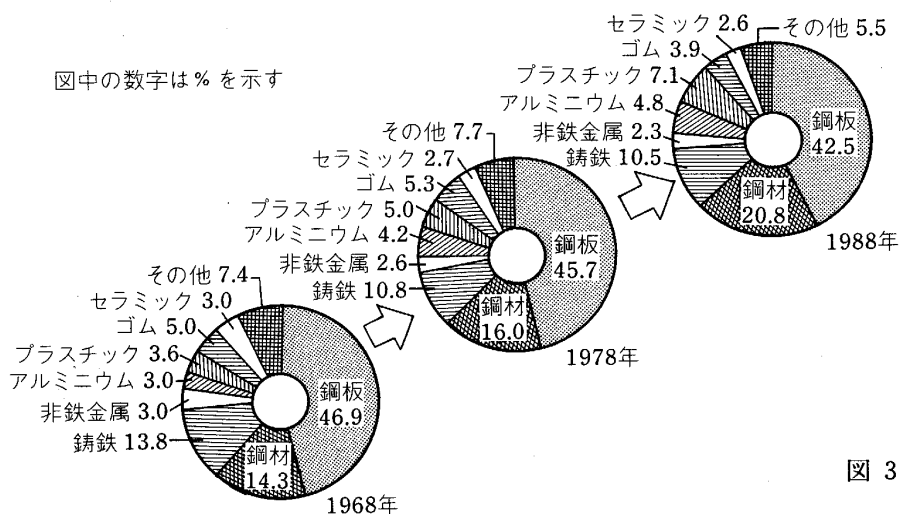


図 3 車両材料構成の推移

3. 自動車における軽量化への取り組み

自動車に使用している材料の構成比率は、年代とともに移り変わっておりその例を図3に示す。鉄鋼材料は、鋼板がやや減少しているが鋼材が増加しており、鉄鋼材料全体としては車両重量の約75%を占めている。そして、アルミニウム・プラスチックなどの材料は軽量化ニーズに対応して増加している。

しかし、車両重量を比較するとこれら軽量材料が増加しているにもかかわらず重量増加しており、燃費向上を図るための軽量化がいかに難しいかが理解できる。

3.1 ボデー部品の軽量化

ボデー部品は冷延鋼板・熱延鋼板・高張力鋼板などの鋼板類からなり、現在では防錆鋼板の使用比率が約40%となっている。

鋼板部品の軽量化は、これまで主として高張力鋼板による薄板化によってなされてきた。図4に高張力鋼板の使用部位を示す。フード、ドアなどの外板類では、薄板化に対して張り剛性を考慮しつつ耐デント性を保持し、なおかつプレス成形性を確保するために、プレス成形時には降伏応力が低くその後の塗装焼付工程において降伏応力が上昇する焼付硬化型鋼板(BH鋼板)が使用されている。また、メンバ類については高張力鋼板化によりプレス成形性が難しくなることから、深絞り性に優れたr値の高い高張力鋼板などが使用されてきた。

軽量化効果の大きな部品としては、バンパ、インパクトビームなどの高強度部材が挙げられる。これらの部品は、衝突特性が要求されることからバンパリインフォースでは引張応力が120kgレベルの高張力鋼板が使用され、インパクトビームでは150kgレベルの熱処理用鋼管が実用化されている。

鋼板部品の軽量化には、高張力鋼板のほかに軽量積層鋼板がある。軽量積層鋼板は、鋼板と鋼板の間に樹脂を挟み込んだ構造をしており板厚構成を代えることにより

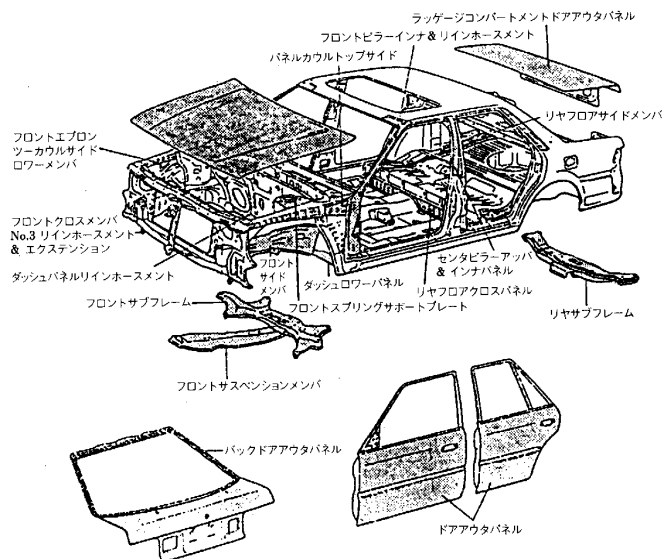


図 4 高張力鋼板の使用部位

高い軽量化効果を得ることが可能である。また、軽量積層鋼板は軽量化効果を得るとともに重量当たりの剛性の高い材料であることから、高張力鋼板による薄板化が進んだ現在なお一層の軽量化に対して有効な材料である。図5に軽量積層鋼板の実用化事例を示す。

現在、自動車に用いられている鋼板は高い防錆性能が要求されることから、合金化溶融亜鉛めっき・2層型めっきなどが施された防錆鋼板が多く使用されている。

今後、鋼板部品の軽量化をはかるには鋼板板厚を薄くする必要があり、板厚を薄くすると防錆性能を確保することが難しくなる。そこで板厚を薄くしても防錆性能を確保できる材料が必要となる。近年、Cu・Pを含有した鋼板で素材そのものの耐食性が優れた耐腐食性鋼板が実用化され始めており、今後の鋼板部品の軽量化に対して有望と思われる。

ボデー部品の軽量化に対して、アルミニウムの採用が

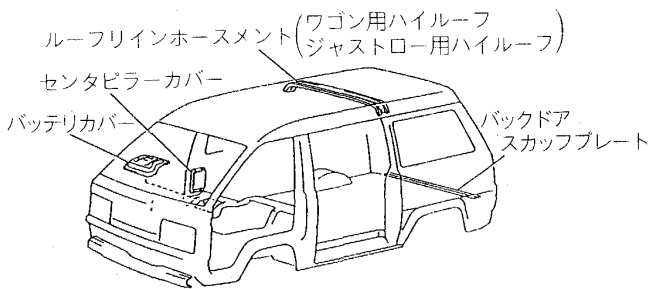


図5 軽量積層鋼板の使用部位

進行しつつあり、鋳物・鍛造品・板材などのさまざまな形態にて使用される。従来、鋼板の溶接構造品であったボデーメンバ類をアルミニウム鋳物で一体成形することにより軽量化を図ったり、バンパーリインフォースにおいてはアルミニウム押出材で造ることにより強度剛性を確保しつつ軽量化を図っている。また、ボデー外板においてもアルミニウム板材にて実用化された事例があり、アルミニウムを多用している例としてマツダサバンナ RX-7 および GM コルベットなどがある。そして、1990年に販売されたホンダスポーツ NSX に至ってはオールアルミニウムボデーとなっている。

さらに軽量化が期待される材料にマグネシウムがあるが、アルミニウムと比較してもコスト、強度、耐食性が不利であるとされており、ボデー部品への実用化には至っていない。

3.2 エンジン部品の軽量化

エンジン部品の軽量化は、燃費向上に対して非常に効果があることから、材料面からも鉄鋼材料、アルミニウム、マグネシウム、チタン、MMC などの金属材料以外にセラミックス、樹脂などの非金属材料についても検討がなされている。

はじめに、エンジン部品のうちの動弁系部品の軽量化について述べる。動弁系部品には、バルブ、バルブリフタ、バルブスプリング、シム、コッタなどがあるが、重量としては、バルブ、バルブリフタ、バルブスプリングの3部品の比率が大である。図6に、動弁系部品の構成と構成比率を示す。

バルブは、エキゾーストバルブにて最高温度が850°C以上に、またインテークバルブでも500°C近くになることから材料としては耐熱鋼が使用されている。バルブの軽量化手法としては、バルブ軸を細くしたり軸部を中空化するなどがあり、軸部を中空化し内部にナトリウムを封入したNa封入中空バルブを使用している事例がある。そして、さらなる軽量化を目指してエキゾーストバルブではセラミックスが、インテークバルブではチタンが注目されており、軽量化効果としては現在の耐熱鋼バルブと比較して、セラミックスバルブで約60%、チタンバルブで約40%軽量化が可能と言われている。

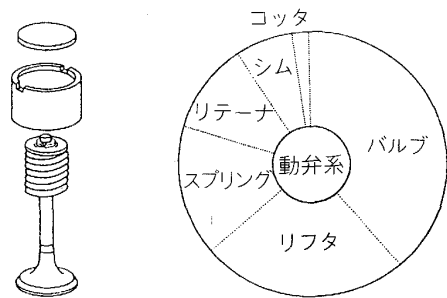


図6 直打式動弁系部品の重量比

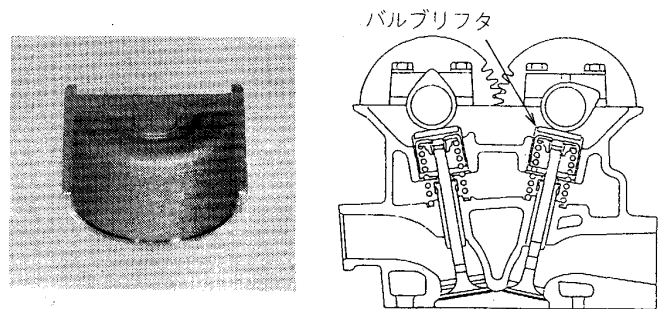


図7 アルミ合金製バルブリフタ

バルブリフタは強度、耐摩耗性が必要なことからこれまでは浸炭焼入焼戻鋼が使用されているが、近年アルミ合金鍛造製のアルミバルブリフタが実用化されている。本体には高強度アルミニウム合金 (Al-Si-Cu) が用いられ、シリンダヘッドと摺動する外周部には耐摩耗性に優れたFe-C溶射を実施している。アルミバルブリフタは、鋼製のものと比較して約40%の軽量化を図ることができる。図7にアルミ合金鍛造製バルブリフタを示す。

バルブスプリングは、高疲労特性が要求されることからシリコンクロム鋼オイルテンパー線が使用されており軽量化に対しては、シリコンクロム鋼をベースとした成分検討及び表面処理方法の検討によりバルブスプリングの高強度化が図られている。そして、鋼以外の材料としては鋼以上の強度を有する高強度チタン合金が有望である。チタン合金は、弾性係数が鋼の約2分の1と小さいため、鋼スプリングと同等のばね定数とするにはバルブスプリングの巻き数を大幅に減らすことができ、バルブスプリングの小型化ができ、約60%の軽量化が期待できる。

次に、運動部品の軽量化のうちコンロッドについて述べると、従来機械構造用鋼であるS55Cが使用されてきたが、近年、鋼の高強度化が検討されマンガン鋼の改良により疲労強度を20%向上することができ、約10%の軽量化が図られている。そして、さらなる軽量化に対してはアルミニウム粉末合金、チタン合金、MMCなど

が挙げられており、MMC では、鋼と比較して 30% 以上の軽量化の可能性を秘めている。

ここまでは、エンジンのうちでも燃費向上に対してより効果のある動弁系部品、運動部品について述べてきたが、次に、エンジン部品において重量割合の高い部品の軽量化の動きについて述べる。

エンジン重量のうちの 60% は、シリンダヘッド、シリンダブロック、クランクシャフト、カムシャフト、エキゾーストマニホールドの 5 部品にて占められており、これら重量部品の軽量化が重要となる。

シリンダヘッドは、1960 年代よりアルミニウム合金が使用されているが、シリンダブロックはこれまで鋳鉄が主に使用されており、シリンダブロックはエンジン部品重量の約 20% 近くを占めていることから軽量化への期待が大である。欧米においては、既にアルミニウム合金 (A390 合金) にてオールアルミブロックが実用化されており、日本ではシリンダボア部に鋳鉄スリーブを使用したアルミブロックが主体であるが、さらなる軽量化にはオールアルミブロックが必要である。なお、シリンダブロックのアルミニウム化に対してはオイルパンにもアルミニウムを採用することにより軽量化を図るとともに剛性を高め静粛性向上が可能となる。

なお、アルミニウムよりもさらに軽量化が可能な材料としてマグネシウムがあり、エンジン部品への適用としてはシリンダヘッドカバーでの事例がある。

また、エキゾーストマニホールドについては、これまで鋳鉄が使用されていたが、燃費向上の点より排気温度が上昇したことから耐熱鋳鋼およびステンレス鋼が使用されるようになった。ステンレス鋼製のエキゾーストマニホールドは耐熱性の向上とともに軽量化が可能であり従来の鋳鉄では、肉厚が 5 mm であったのに対して 1.5 ~ 2 mm とすることができ約 50% の軽量化が図られた。写真 1 に耐熱鋳鋼製エキゾーストマニホールドとステンレス鋼製エキゾーストマニホールドを示す。

3.3 足廻り部品の軽量化

足廻り部品には、鋼鍛造品及び鋳鉄品が多くみられ、

材料による軽量化手法としては鋼板化及びアルミニウム化が考えられ、特にアルミニウムの適用ではかなりの軽量化が期待される。アルミニウムの適用事例としては、アッパーアームへのアルミ鍛造品適用の例をみると、これまでの鋼鍛造品に対して実に 40% の軽量化を可能とした。

また、懸架ばねにおいてはこれまで使用していたばね材に対して引張応力を 130 kgf/mm^2 とすることにより、ばねの線径及び巻き数を減少することが可能となった。その結果、鋼の高強度化により軽量化 30% を達成した事例がある。写真 2 に高強度懸架ばねを示す。

4. 今後の軽量化に対する材料への課題

自動車の軽量化に対して、現在までの取り組み状況について紹介してきたが、さらに一層の軽量化が必要な状況にある。設計面及び生産技術面での軽量化検討についての努力は進めてゆくが、やはり、これまでも増して材料面に期待するところが大きい。しかし、自動車における軽量化ではコストでの制約が厳しく、自動車に適用できる軽量化材料の開発を進める必要がある。

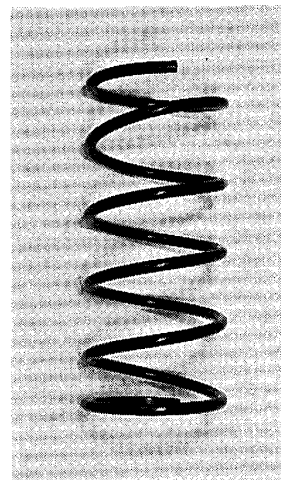
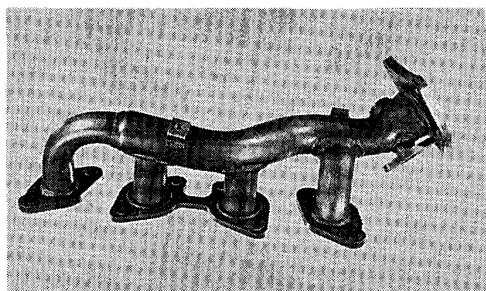
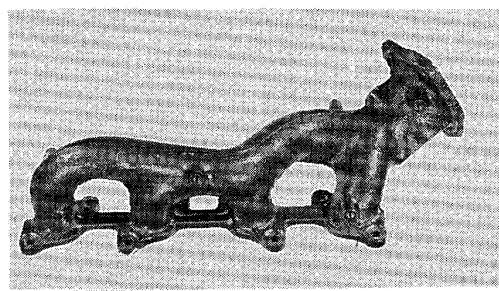


写真 2 高強度懸架ばね



(1) ステンレス



(2) 鋳鋼

写真 1 エキゾーストマニホールド

では、ここで自動車用軽量化材料における材料への課題について次に述べる。自動車部品の軽量化のためには材料の高強度化および軽量材料の適用などの軽量化手法があり、鋼板、鋼材、鋳物などの鉄系材料とアルミニウム、マグネシウムなどの軽量材料では各々課題を抱えている。

4.1 鉄系材料における軽量化への課題

鋼板は、自動車のボデーに多く使用されており軽量化に対して薄板化が進んでいる。そのような現状においてさらなる軽量化を図るためには強度向上が必要であるとともにプレス成形性の確保が重要となる。材料強度とプレス成形性は従来から得られている概念からいえば、相反する関係にあり、これまでの考え方を打ち破るような高成形性高張力鋼板の開発が必要である。さらに言えば成形性向上においてどのような特性を向上させるかについて従来の特性に捕らわれず、新しい概念を構築することが必要であろう。

ボデー外板においては、強度向上だけで鋼板薄板化を図ることは難しい。なぜならば、現状においてすでにかなりの軽量化が図られており鋼板薄板化をさらに進めると、張り剛性、部品製造時の取扱いが問題となる。そのためには、これまでにない剛性の高い、高ヤング率鋼板が必要である。しかし、ヤング率は材料によりほぼ決まっております。鋼板にてヤング率を変えるにはかなりの難しさがあるものと思われる。

また、鋼板薄板化を図ったときにどの部分が部品として強度上の最弱部位になるのかを把握し、その部分をいかに強度アップするか対応策を打つことが重要となる。

鋼材は、足廻り部品に使用されており鋼板と同様に軽量化のためには材料強度を向上させ、肉厚を薄くすることが必要となってくる。鋼材を使用している部品では、切削加工が必要であり、材料としては被削性が要求される。被削性も材料強度の向上において悪化する傾向にあることから、快削性に優れた高強度鋼がこれまで以上に必要となってくると考えられる。

鋳物については、軽量化のために最小肉厚をさらに薄くする必要があり、鋳造方法によるところが大きい。また、高強度鋳物、高耐熱鋳鋼などが今後進展してゆくと、先に述べた鋼材と同様、快削性が重要になるであろう。

ステンレス鋼は、排気系部品・エンジン部品に使用されており軽量化が必要とされている。軽量化のために薄板化をすると制振性が懸念される。また、燃費向上の点より排気温度の上昇が考えられ、ステンレス鋼の耐熱性向

上は必須とされている。ステンレス鋼は鉄鋼材料のうちではコストが高いことから使用部位の拡大につれて、低コスト化の要求が強くなっている。

耐熱鋼は、主にエンジンバルブに使用されており燃費向上の点からバルブの軽量化が必要である。そのためには、耐熱鋼の高耐熱性・高強度化を図るとともに被削性に優れた材料の開発が必要となる。

4.2 軽量材料における課題

軽量化に期待される材料として、アルミニウム、マグネシウムなどの鉄より比重の小さいものがあり、先にも述べたように既に実用化された事例がある。しかし、今後の軽量化において、これら軽量材料の使用を拡大してゆくためには鋼に比べて非常に高い材料コストの低コスト化が最大の課題となる。

また技術面から考えると、アルミニウムでは板材の場合、高成形性、溶接性などの製造性を向上した材料ができれば、アルミニウム板材の適用範囲が格段に広がるであろう。また、鍛造材、鋳造材では鋼と同様に強度向上が期待されている。

アルミニウムよりさらに比重の小さい材料であるマグネシウムについては、自動車の一部の部品において実用化されているが、さらなる実用化のためにはコスト・性能面での今後の材料改良が必要である。

5. おわりに

自動車における軽量化では、航空機などと異なりコストについての制約が大きく、そのためにこれまでは鉄鋼材料による軽量化が進展していた。しかし、近年さらなる軽量化が叫ばれており、アルミニウムに代表される軽量材料の検討が進みつつある。

今後、自動車の軽量化を進めるためには、材料の持っている特性を生かした使い方が重要となるであろう。そのためには、コスト・軽量化・強度特性などすべての面からより効果的な材料選択を実施しなくてはならない。

しかし、これまで自動車用材料の主体であった鉄鋼の分野においても、これまでにない新しい鉄鋼材料を開発することにより、今後とも自動車用材料の主流と成りえるであろう。そのようなことから、鉄鋼材料における画期的な材料の開発が行われることを期待したい。

文 献

- 1) 石川秀雄: 材料とプロセス, 4 (1991), p. 1760
- 2) 石川秀雄: 科学と工業, 63 (1989), p. 444
- 3) 林 壮一, 友田隆司, 中小原武, 下田健二, 本杉勝彦: 日本金属学会会報, 29 (1990), p. 250