

自動車の軽量化

高 行男・浅野 威

1. はじめに

一般に機械装置には性能，コスト，質量（重量）などの間にトレードオフがあり，どこに重点を置くかで自ずとメインユーザーが決まってくる。自動車も例外ではなく，軽自動車には燃費，価格，とり回しなどのメリットを期待してユーザーは買い求め，高級車には快適な走行と高速域での動力性能にユーザーは期待して購入する。

しかし走る，曲がる，止まるの走行機能とは別に車体色であったり，ある時はシートのたたみ方であったり，性能というよりもデザインや使い勝手で販売数が伸びるケースも多々あって，むしろT型フォードの原初からそちらがメインとなってきた感もある。GMがフォードに勝った故事を紐解くとその感を強める。

セダンからワンボックス，SUVへの移行が始まって久しいが，これはボディ体格の拡大，タイヤ径アップ，シート質量アップなどを伴うことでもある。シートのたたみ方も乗車定員もワンボックス車形なども商品機能と言えるが，これら機能充実と質量が密接に関係している。本稿では，常に機能と質量のせめぎあい自動車設計されてきたことを概観する。

2. 自動車の機能と質量の関係

自動車の機能設計とデザインが密接に軽量化と関係を持つ。変速機は車両質量とエンジン出力で必用とする強度が決まり，それは変速機質量も自動的に決まることを意味する（図1）。実はエンジンにもボディにもサスペンションにも自動車の全ての部分に同じことが言えることがわかっている。例えば軽自動車は4輪であるが高級車は8輪であるかというやはり4輪であるし，

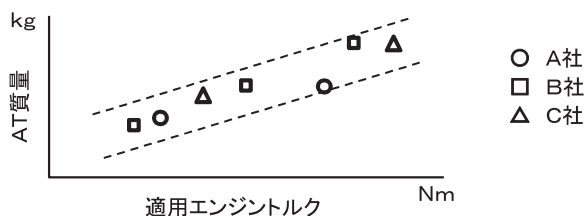


図1 AT質量と適用エンジントルク

ステアリングは全ての車種でひとつである。もちろんFR車のプロペラシャフトは一本だし、2WDであればデファレンシャル機構は1セットである。

かつて異なったランクの乗用車（ガソリンエンジン車）で各コンポーネントの質量割合を調べたことがあった。FF駆動の軽自動車と2Lクラス乗用車の比較であったが、タイヤであれ変速機であれボディであれ、全質量に占める各コンポーネントの質量割合は両者で同じという結果が出た（図2）。つまり走る、曲がる、止まるの機能に関係する部分は、全質量に比例しているというある意味当然の結果となった。例えばサスペンションは4輪をそれぞれ支えているが、その上下方向には質量を受け持ち、前後方向には慣性力による発進停止の入力を受け持っている。いずれも全質量で決まる入力であるから、サスペンション強度を保持する部材のサイズ（質量）が車両全質量の一定割合というのも納得できる。このように全質量が違っていても、各コンポーネントの占める質量割合はほぼ同じと言える。

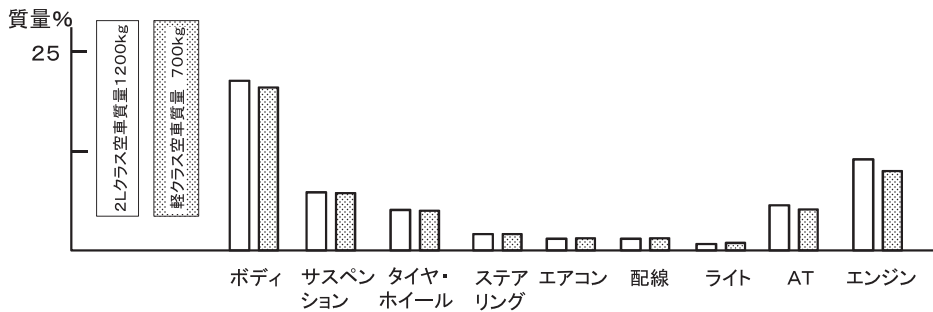


図2 各コンポーネントと車両質量の割合（2車種比較）

ただし、この比較は乗用車の間だけであって、これをトラック、建設機械などに広げると、それぞれの分野でまた違った数値、傾向が出てくるものと思われる。例えばトラックなどは、乗用車と比べると走行距離がはるかに長距離であることがわかっているから駆動系の強度もそれなりに確保しなければならないし、ダンプトラックからアルミパネルバンまで質量に大きな幅があると、車軸、シャシフレームなどが1種類でいけるのか、など興味の沸くことが多々ある。

EVについて見ると、鉛電池は実用性がなかったが、LiイオンバッテリーになってようやくEVとしてまとまった商品力が確保できてきたようである。そのバッテリー、モータ系の質量比がどのような相場になっていくのか、今後とも注目していきたいと思う。

3. 機能の向上と質量の関係

いつのまにか軽自動車まで電動ウィンドウが標準装備となった。パワーステアリング然り、ATまたはCVTの自動変速機も然り、NAVIもLEDランプもあらゆる装備が高級車から軽自動車まで、ということになっている。明らかに使って便利なもの、安全に資するものは標準装備

となっていく。まさに市場の要求するものである。一方では技術者の自己満足のようなものは廃れていった。デジタルメータであったりドライバ席のスライドドアであったり、派手なところでは各社がこぞって装備した後輪ステアの4WS機構、また盛大に油圧を駆使したアクティブサスペンションなど屍累々という感じもある。

当然ながら電動ウィンドウは各ドア内にモータを設置している。またパワステもかつては油圧機器を、現在は比較的大きなモータを設置し、LEDライトも車体姿勢により光軸を上下させるモータをライトの中に設置している。このように機能をアップさせるということはモータおよびリンク機構を伴うことでもある。手動変速機から自動変速機に積み替えると質量で倍、コストも倍ということになる。エンジンのカムを増やせば出力は上がっても質量もそれなりに増えるし、燃費改善でEGRを付けた時にはEGRバルブ、配管、クーラーなど質量アップとコストのアップを伴う。

実はこれらの装備の質量割合もだいたい相場が決まっていて、あとはそれを付けるかどうか、コストを価格に反映させて売れ行きが伸びるのか、頭打ちになるのか、その判断で採否が決められてきた。言い方は悪いが横並びの考え方である。他社から突出して装備すれば、価格が上がるかコストが厳しくなるかのどちらかである。しかし装備していなければその車が購入対象からはずされる不安がつきまとうので、常に市場の気配を読むという高度な判断がメーカーには必要とされる。技術者は常に技術の種を提供しておくが、それを採用するかどうかは市場ニーズに常に注目しているプロジェクトマネージャー、主査の仕事となる。

いずれのコンポネントも普及の順番は高級車が先頭になり、時間を経るにつれて大衆クラス、軽クラスへと展開が進むこととなっている。その結果として、現在の軽自動車はリッターカーを超える価格でNAVI、衝突安全まで装着されるに至っている。車両質量も900kg前後のものがあり、30年ほど前の1.5Lクラスセダンの質量を持つ。盛大にモータを装備したこと、トルボースタイルでボディ全体が大型化したことなどが影響している。排気量360ccで始まった軽自動車のエンジンがいまや660ccとなる所以である。

デザインの話で、外光をふんだんに取り入れるガラス面積の広い形態が、今で言えばインスタ映えがする形と言えよう。しかしある時にガラス質量を調べるうち、ガラス面積は狭いほうが軽量化になることがわかり驚いたことがあった。たしかに板金であれば厚さ0.6mm~0.5mmであるが、ガラスは5mm~4mmであり質量は増えることがすぐわかる(図3)。

ガラス製造工場を見学した際、工場の一角に代替材であるポリカーボネートの工場があったことが印象に残っている。素材は違っていても車体メーカーの要望に沿うようなカーブ、機能を持つ透明体を製造するという、機能主体の業態を目指していることが理解できた。街を走る乗用車のデザインにもガラス面積を狭くする工夫を感じるが多々ある。

ガラス面積縮小による軽量化例

図のように、幅1500mmのガラス窓を50mm縮小した場合の軽量化質量を確認する。

ガラス密度 2.5gr/cm³ 鉄板密度 7.9gr/cm³

ガラス質量 : 5 × 1500 × 50 × 2.5 / 1000 = 938gr

鉄板2枚質量 : 2 × 0.5 × 1500 × 50 × 7.9 / 1000 = 593gr

軽量化質量 : 938 - 593 = 345gr

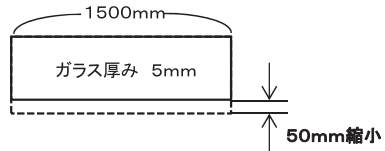


図3 ガラス面積縮小による軽量化

4. 軽量化のメリット

軽量化のメリットを若干述べておく。サスペンションは上に述べた通り上下方向の質量を支えているから、全体質量が減るとサスペンションそのものも強度を下げることができ、サスペンションの質量軽減となる。すると同じ加速力を得るにもエンジン出力が低くて済み、エンジンサイズが軽減される。軽量化により走行の転がり抵抗が減るが、その分燃費は向上する。それによってガソリタンクの大きさを減らすことができるかもしれない。この軽量化によりシャシーダイナモ上で燃費、排ガスを測る際に負荷するイナーシャ量の軽減が見込める(図4)。

つまり車両質量を軽減すればこのイナーシャランクが下がるため、加速時の燃料消費低減にてきめんに効くことから軽量化に努力をしている。ある車種のうち最も重い一種別だけ鉄チューブ(鋼管)に代えてCFRPのプロペラシャフトを採用した車があった。そのメリットは、数kgの軽量化により1ランク下のイナーシャが適用になるためである。

最量販のHEVでも燃費チャンピオンの種別にはLiイオン電池を採用している。装備を削った最低価格車種ではあるが、イナーシャランクを下げるためLiイオン電池を使用している。一方、高級類別にはNi水素電池を搭載して装備も充実させている。そのためモード燃費はチャンピオン種別には劣るが、HEVとしての高い燃費水準は保っている。このように軽量化はメーカーにとって熾烈な戦いでもある。

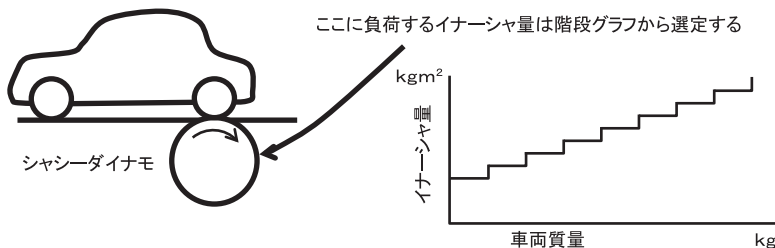


図4 燃費計測方法

5. 今後の軽量化の動向

かつてはトランスミッションケースを鋳鉄で作っていたが、筆者らが社会人となった1970年代には乗用車はほぼ全部がアルミケースであった。コストもかかり生産設備の投資も必要であるが、10kg単位の軽量化と生産工程の負担の軽さから一斉に移行していった。シリンダヘッドもかつては鋳鉄の時代もあったが既にアルミが常識であり、シリンダブロックもアルミに代替されている。

サスペンションは厚い板金と鋳鉄が基本であるが、一部にはアルミが採用されている。バネ下の軽量化のメリットを狙って高性能車にアルミの例が多くみられるが、そのままコストをかけることが許される車種でもある。

ボディについて見ると、オールアルミボディは1990年（ホンダ NSX）に登場し、アウディ A 8（1994年）や A 2（1999年）、テスラモデル S（2012年）などが続いている。

CFRP もボディに採用されているが、やはり軽量化のメリットが得られる高性能車であり、そのままコストも売価に反映できる車種と言える。CFRP は先行する航空機でも機体ボディに採用（ボーイング787, 2011年）され始めたばかりであり、まだ耐用年数は確定していないとか実際に補修が行われたことがないなど、まだ途上の材料のようである。かつては2本のフレーム材を車体の前後方向に並べ上から車室ボディをおろしてくるという構造が基本であった。しかし航空機のほうがアルミ板を円筒状につなげて構造材とするいわゆるモノコック構造をとったことをヒントに、乗用車も板金をつなげるモノコック構造に変っている。さて続けて乗用車も CFRP に変わっていくかは、生産性や補修など取り扱いに手慣れることが前提と思える。

主流の鉄板ボディも様々な工夫がなされている。20年ほど前に ULSAB（Ultra Light Steel Auto Body）と呼ばれる鉄鋼メーカーの復権を目指した取り組みがあった。アルミとの競合である。20年経った今でも鉄板がボディの中心に位置する。厚みの異なる薄板をビーム溶接してからプレス型にかけるテーラードブランク、加熱してプレスし易くしつつ冷却をコントロールするホットプレス、当然にハイテンと称される高張力鋼板は随所に採用されている。鉄鋼メーカーを見学した際、この40年程度でいかに張力（引張強さ）を上げてきたかの説明を聞くと、鉄のすごさを再認識する。

上述のように、自動車も機械部品の集合体であり、その軽量化は材料の進展に伴うことが主である。特に航空機のアルミ採用、CFRP 採用の動きをトレースしていることが明白であり、今後ともこの動向は変りがないと思われる。

内燃機関はEVに道を譲る勢いであるが、これはCO₂削減という政治的な動きが背景にある。本来ならHEVシステムで従来の倍の燃費を享受したらと思うこともあるが、もともとHEV対抗でディーゼルに傾倒した欧州のことであるから、EVと一足飛びに宣言するのも致し方ないかなとも思う。鉄、アルミ、CFRPの競合の視点から、EVのBMW i3（CFRPボディ、2013年）

の動向が注目される。

6. お わ り に

自動車の軽量化について材料や生産サイドの視点から想うことを述べた。車というものが一筋縄でいかないシロモノであることを理解する一助になれば幸いである。

軽量化と言ってもどこかの質量は削りどこは増やすか、トータルの判断が要る。すなわち他社と比べて突出していないか遅れていないか、一人よがりではなく市場に受け入れられる商品としてまともまっているかどうか、の判断が要る。軽量化もその範疇で考え抜くアイテムとなっている。生産サイドの業務において、質量も含めて車という商品を考えるプロジェクトマネージャー、主査と言われる立場は、技術を磨く立場と異なる苦労がある。

参 考 文 献

- 高 行男, 自動車を構成する3大材料とボディ, JAMAGAZINE, 日本自動車工業会, 47巻, 2013年
高 行男, アルミ VS 鉄ボディ, 山海堂, 2002年