

206 自動車産業展望と材料力学への期待

A Survey of Automotive Industry and Expectation for Strength of Materials

正 吉村達彦 (九州大学)

YOSHIMURA Tatsuhiko, Kyushu University
6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka

A Survey of automotive Industry till 2020 was performed at the view point of participation of Strength of materials. The automotive industries need big change in 20 years, and they will attain the target. Strength of materials will not be able to pull the trigger, but it is one of the important technologies which lead to successful changes from dawn to growth period. But each technological change need different technology of strength of materials. Then, the results will not be thought to be depended on the technology of strength of materials. Strength of materials must change itself.

Key words: Survey, automotive Industry, strength of materials, environment, safety.

1. はじめに

ここでは、機械学会で材料力学（材料力学部門）と言う範疇で扱われている技術分野（材料強度学、材料力学、破壊力学、応力解析学、信頼性工学等々）を総称して材料力学と呼ぶことにする。筆者は日本の自動車産業の発展に材料力学がどのように貢献してきたかについて、EFC13【1】で紹介した。その中で、「材料力学の技術は日本の自動車の黎明期から成長期にかけて、自動車構造の強度設計法を確立して行くことにより、大量生産の基盤を確立することに貢献してきた。生産台数の飽和期に入ると材料力学の技術もそれまでの技術のリファインに力が入るようになり、管理技術が重要になった。そして今は、そのブレークスルーが求められている」と述べた。この傾向は異なっており成長時期を迎えた、先進

各国で、それぞれの生産台数の成長に合わせて、展開されてきたように思う（図1）。このことは今後の自動車産業への材料力学の貢献を考える上で、重要である。即ち、いろいろな分野で生産量の変化を予測したとき、その黎明期から成長期にかけて、大量生産を可能にするという分野で材料力学の技術が必要となると思われるからである。

世界全体の自動車生産台数、及び、先進各国での自動車生産台数を見ると、それが急速に増えるという予測はない。従って、残念ながら自動車産業全体で、材料力学が中心的技術になる可能性は少ないと言って良いだろう。しかし、発展途上国の自動車生産台数は、先進各国がたどったように。黎明期から成長期に入ろうとしている国が多い。これらの国々では先進各国から技術導入をするとは言え、かつての日本のよ

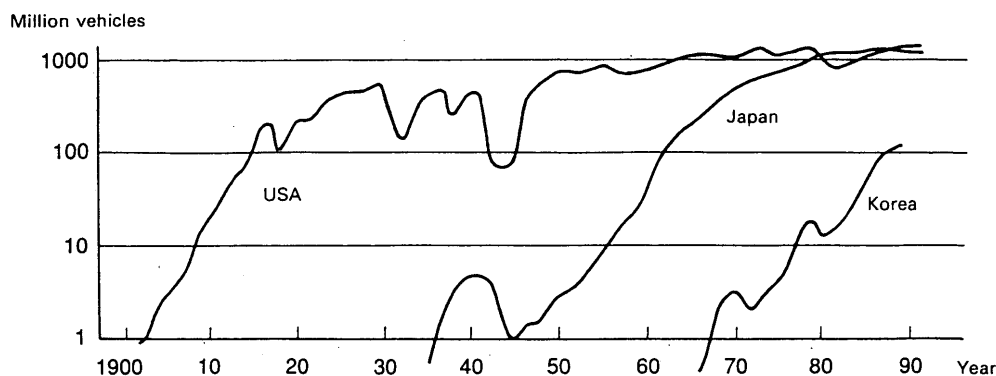


Fig. 1 Trend in the Number of Automobiles Produced in Japan, USA, and Korea

うに自国の技術開発を進めるはずであるから、これらの国々では材料力学は自動車産業の発展のキーを握る主要な技術の一つになるであろう。一方、先進各国では従来の自動車の概念をブレークスルーしたユニット、システムが開発されようとしている。それぞれのシステムの黎明期から成長期にかけては、やはり、材料力学は大量生産の基盤を作ること貢献（問題解決、設計標準・規格設定）するであろう。しかし、ここで活躍できる材料力学の技術は、そのシステム毎に特有の技術であり、材料力学と言うくくりでは呼ばれないかもしれない。一方、現在材料力学部門に登録されている材料力学の研究者のそれぞれの研究分野は専門性が強く、非常に狭い範囲に限定されてきたように思う。従って、自動車分野がこれから必要とする技術分野と、それぞれの研究者の研究分野が一致する確率は非常に小さくなってしまっている様に思う。

以下、筆者の予想する自動車の各ユニットの発展形態と材料力学の関連を推理してみたい。自動車部品はこれまで新しく生まれた耐久消費財の技術を広く取り入れて発展して来たとし、これからもそうして発展していくであろう。つまり、自動車を予測することは、耐久消費財全ての予測をしなければならないことになってしまうが、筆者にはとてもそのような情報もないし、能力もないので、自動車の主要なユニットに限定して考えたい。

2. 自動車産業を取り巻く環境の変化

まず最初に、自動車産業を取り巻くマネジメントの変化に着目してみたい。ここで大切なキーワードはグローバル化と開発期間の合理的短縮である。

主要先進国の自動車生産台数は上記のように飽和期を迎えており、今後、需要の増大が予想される発展途上国への進出は輸出と言う形ではなく、その国の工業の発展を支援しながら、現地で生産を進める形が一般的になるであろう。このような環境の下では、部品を全世界でなるべく共通化してコストダウンを図ることが重要になる。従って、何処でも調達できる一般的な材料で、その材料の特性を生かし切った設計が必要になるし、特殊な材料を採用する場合は、その材料の大量生産上での優位性を明確に評価することが必要である。これは従来の技術で言えば Stress-Strength Model により信頼度のレベルをさらに精度良く求めると言う技術に帰結するように見えるが、この延長上には正解はないように思う。現在、自動車で要求されている ppm オーダーの故障率から考えると、このレベルの故障は多くの要因が重なって起きることが多く、一つのパラメータに対して正確に故障率を計算してもあまり意味がない。問題の発生要因を早期に発見する事と、そのシステムの許容リスクレベルに応じたロバストなシステムを設計する手法が必要になってくる。

一方、開発期間の合理的短縮と言う面では、一般的には実施している実験の内、数値解析による判断が可能な部分は計算工学 (CAE) の技術を用いて、設計と同時にその評価を

行うという方向に移行しつつある。機構解析と有限要素法解析を組み合わせ、自動車にかかる負荷から、各部の Stress まで、一貫して求める手法が、さらに使いやすくなって、広範に使われるようになるであろう。しかし、機構解析、有限要素法等の計算工学で評価できるのは、Stress-Strength Model での Stress までで、Strength は従来の実験による評価に依存しなければならない。計算工学、即ち力学解析が Strength の分野にどれだけ入ってくるかは今後の重要な鍵になると思われるが、計算機に乗せられるような統一的な Strength の解析システムの開発は遅れており、個々の実験結果のデータベースに頼っているところが多く、Stress の精度に比べ Strength の精度が追いつかなくなっている。しかし、たとえ両者が精度良く求められるようになって、上記のグローバル化の問題（一つのパラメータについて Stress-Strength Model の精度をあげても問題は解決しない）は解決できないことになる。グローバル化と開発期間短縮の両者を解決するには、開発の初期に「問題の早期発見」を行うことが重要になって来るであろう。

今後の自動車を取り巻く環境の中で重要なキーワードは「安全」と「環境」である。

自動車の安全は衝突前の予防安全と衝突後の衝突安全の両面から技術開発が行われてきた。衝突安全技術は車両、及び関連部品の衝撃吸収エネルギーを増大させ、人体の移動をコントロールする事により、人体への衝撃を軽減すると言う、基本的には材料力学の原理そのもので達成されてきたが、材料力学研究者の貢献と言うより、FEM 解析技術の向上の寄与が大きかったように思う。衝突安全はこれまでの一律の法規を満足させる開発から、Car-to-Car のコンパティビリティ等を考慮した、よりきめの細かい安全対策が増えて行くであろう。さらに、搭乗者の安全確保から、歩行者の安全確保も配慮した安全対策に移行して行くであろう。日本の小型化技術は小型車でも搭乗者の安全を確保できる技術を完成させたが、歩行者の安全はさらに小型車での対策を難しくするであろう。画期的歩行者対策技術の創造を期待したい。

予防安全の面では ITS システムがどのような形で現実のものとなるかが最も注目される所である。現在の走行安定システム、ブレーキアシスト、車間距離保持システム、ナビゲーションシステム等はあくまでも運転者をアシストするシステムである。ITS も最初は運転者のアシストシステムとしてスタートする (2005 年) であろうが、何処かで自動運転システムとして変貌を遂げ (2020 年?)、全く新しい自動車の世界をスタートさせるであろう。これらの進展に合わせて、主要システムの脱油圧電子化が進展するであろう。ハードの面では油圧の「遊び」に近いフィーリングを得るために樹脂等の低弾性材料が使われることが多くなり、これらの材料を使用して高信頼性機械システムを設計する技術が必要になるであろう。ソフトの面では自動運転システムへの移行が、どのような信頼性条件が成立すれば可能なのか、リス

ク・ロバスト評価技術が必要になる。ITSの導入は、生涯自動車社会が成立するかどうかの鍵を握っており、高齢化社会の到来に合わせて大きな社会ニーズになるであろう。

環境の面では自動車製造から廃却までのライフサイクルエネルギーコストの問題、環境汚染の防止問題、化石燃料の枯渇対応問題、が大きな問題である。

自動車産業全体のリサイクル化では自動車の総リサイクル目標を持って、それをブレークダウンした個別の部品、工場毎に目標を達成していくことが、総リサイクル率の向上につながると考えてリサイクル率の向上に努めている。ライフサイクルエネルギーコストを考慮しての設計手法は試算の曖昧要素が大きく手法が確立しているとは言えない。個別最適のリサイクル社会は達成できるであろうが、全体最適のリサイクル社会に向けた活動が必要な時期に来ている。

環境汚染の防止と化石燃料枯渇対応は、効率が良く、しかも環境汚染のないパワートレーンシステムの開発と車両の軽量化がキーを握っている。これについては以下の各項で詳細に検討したい(図2~4)。

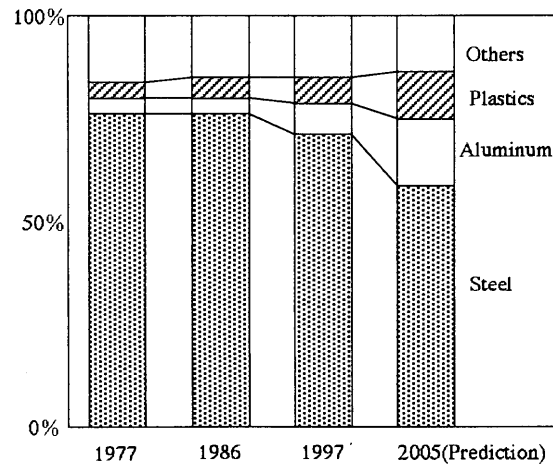


Fig. Composition of Materials of Automotives

3. パワートレーン

動力源の見地からは、燃料電池自動車の展開、既存の内燃機関システムの改良、両面で大きな変化が期待される。燃料電池車は2003年市場投入を目指して各社が鎬を削っているが、市販自動車用エンジンとして主要な地位を占めるのは2020年以降ではないかと言われている。大量生産製品として低価格で市場に提供するには越えなければならないハードルがいくつもある。材料力学との関連で注目しなければならないのは、システム構成材料への水素の影響と、低コスト化し、大量生産するための製造方法を含めた合理的設計法の提供であろう。化学プラントを小型にして自動車に積んだ様な燃料電池の状況は、電子部品が自動車に積まれたときに、信頼性の面で大きな変貌を遂げた状況を思い出させる。

一方、既存の内燃機関も環境保全目標の達成に向けて大きく変貌を遂げるであろう。まず燃料でCNG車が市場に投入され始めたが、従来からあるLPG、アルコール等を含め、水素燃料までいろいろな可能性が検討されている。機関の側では電子制御を用いたより高効率な燃焼システムの開発と排

Fig.3 Forecast of New Small Car Project

Firms	Engine Displacement	Market Introduction
A	800 - 850	2004 - 2007
B	1000 - 13000	2001
C	1000 - 13000	2002
D	1000 - 1500	2004

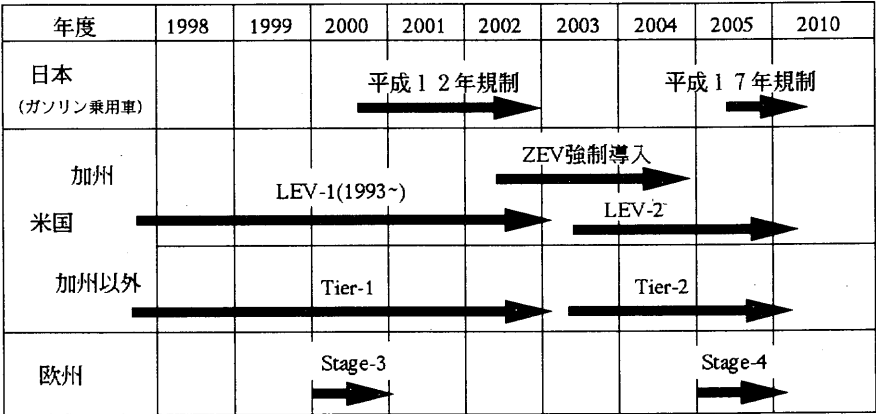


Fig. 4 Regulations for Emission of Automobiles

気浄化の後処理システムの改善が進められている。ディーゼルエンジンでは熱効率が高いもののスモーク（黒鉛）やパーティキュレート（粒子状物質）を排出することから、その対策が急がれている。ここでも電子制御を用いたより高効率な燃焼システムの開発と排気浄化の後処理システムの改善がキーになると思われるが、材料力学との関連では、より空燃比の高いディーゼルエンジンで、より小型の合理的エンジン構造を設計する技術は古くからのテーマであるが、新しい技術の開発が期待されるところである。

一方、燃料電池以外の電池を用いた電気自動車、電気システムと内燃機関システムを組み合わせたハイブリッド自動車も、その特徴を生かした分野で拡大して行くであろう。内燃機関から電気システムに変化する上で、材料力学上重要な変化は、機関の生涯回転数が $10^7 \sim 10^8$ から一桁以上増加する可能性があることである。この領域は多くの材料研究者の注目領域になっている。

機関からホイールに動力を伝える機構では、効率向上の面から脱油圧が徐々に進むであろうが、ここでも高強度材料を超長寿命域で、しかも大量生産部品に使う技術が求められるであろう。

4. シャシー

従来のサスペンションシステムはより簡素で合理的なシステムと複雑で制御システムを多用したシステムに2極分化して行くであろう。新しいシステムとしては、電気自動車実現に合わせてホイールインモーターシステムが実現するかどうか注目される。これは従来のサスペンションシステムとは全く違ったサスペンションの出現を導く可能性を持っている。

脱油圧と言う意味ではステアリング、ブレーキ等のパイプワイヤ化が実現するであろうが、信頼性をどのように考えて設計するかが、設計の鍵になる。そして、自動運転システムへ移行していく際、その実現の鍵を握っているのは車の曲がる、止まるを司るシャシ部品の信頼性如何にかかっている。

5. ボディ

シェルボディーのアルミ化、樹脂化が進むであろうが、2010年までに鋼のボディーに取って代わる様なことはない。製造工程が鋼向きにできていることもさることながら、アルミ、樹脂で設計しようとしたときに、鋼に比べ、材料力学の設計情報が少ないこともその一因である。つまり、鋼で経験してきた以上に、試験片での強度データがいくらあっても、実際の設計には役立たず、一つものをつくって実験すればその何倍もの役に立つ情報が得られると企業の設計者は思っている。しかし、大量生産をしたときの限界情報はそのどちらからも得ることは難しいのである。材料力学に関係深い技術でアルミボディーが拡大の可能性を握っている二つの技術は、アルミ鋳物と接合技術である。

内外装の樹脂はリサイクル目標達成の大きな鍵になってお

り、現在のところ目標達成に向かって着々と再利用体制が確立しつつある。このような観点からも、今後は特殊な樹脂材料は使いにくくなり、標準的な、グローバルに調達できる材料を材料力学の技術でいかに旨く使い切るかが求められるであろう。

自動車のアッセンブリーメーカーがユニット（モジュール）毎に発注先を決めて、そのメーカーが責任を持ってモジュールを開発するシステムをモジュール化システムという。モジュール化は自動車産業の構造を大きく変える可能性を秘めている。材料力学をはじめ機械工学の各種力学の自動車固有の技術の多くがアッセンブリーメーカーからモジュールメーカーに移転されなければならないが、そのためにはアッセンブリーメーカーのそれらの技術が移転できるような形に再度整理されなければならないだろう。

6. まとめ

以上、2010年頃までの自動車の変化と材料力学の関わりについて、思いつくままに書いてみたが、読み返すと、あれも抜けている、これも抜けている、と思いつくことが沢山ある。この様にこれから10年の自動車は変化の兆しがそこそこに見える面白い時代を迎えるであろう。その変化を導き、支える技術として、材料力学は大きな可能性を持っているが、変化を生み出そうとしている産業界の人々はその答えを出してくれるのが材料力学であるということにほとんど気がついていない。材料力学の研究者から積極的に働きかけて良い産学連携の姿をつくる必要があるし、材料力学自信もこれらの変化に対応できるよう変貌を遂げなければならないように思う。

なお、本報告の自動車産業の予測に関しては、山本菫一氏のもまとめられた「自動車関連抄録集」【3】に負うところが大きい。ここで感謝申し上げたい。

文献

- 1) T. Yoshimura, Fracture Mechanics: Applications and Challenges,ESIS publication 26p155
- 2) 永野昭義、豊田合成技報、Vol.42, No.1, 2000)
- 3) 山本菫一、自動車関連抄録集、No.42-45, 2000