自動車用材料の研究開発動向

鈴木 茂 樹*

Materials Innovation for Forthcoming Automobile

Shigeki SUZUKI (Toyota Motor Corporation, Toyota-Cho, Toyota, Aichi, 471-8572 Japan)

Currently more than 850 million vehicles are used all over the world, we are facing many environmental issues such as tail pipe emission or global warming by carbon dioxide. For the measures of these issues, reducing emission by catalyst with minimum noble metals has been forwarded strongly. Lightening by materials substitution, such as high strength steel, aluminum, magnesium and plastic, has been everlastingly forwarded with the advance of materials technology. For the sustainable development, it is also important to minimize the dependence on fossil oil. We Toyota have introduced bio-plastic to mass production model in 2003. Bio fuel has been introduced some countries and Toyota will continue to develop new technologies for bio fuel. Automobiles with new power sources such as hybrid vehicles, electric vehicles or fuel-cell vehicles are strongly expected to introduce widely in the market. Safety is also the key word for forthcoming vehicle. Toyota has been developing “pre-crash safety system” that includes alarming system by monitoring driver’s face direction or brake assist system. To realize this expectation, innovative development of materials is a key to the evolution of future automotive technologies. Nanotechnology, Biotechnology and Information technology will be the breakthrough fields that will revolutionize mature industrial technologies.

Key Words : Nanotechnology, Biotechnology, Hybrid Vehicle

1. 自動車を取り巻く環境と課題

化石燃料を利用した内燃機関を動力源とする自動車が発明されて100余年が経過し、全世界での自動車保有台数は2004年に8.5億台を越えている。さらに中国市場の拡大等により、2020年には12億台、2030年には現在の2倍の16億台規模が予想されており、自動車の利便性を活用した社

会が急速に世界各地に広がりつつある (Figure 1)。

このような急速な自動車の利用拡大によって、二酸化炭素 (CO₂) の排出による地球規模の温暖化や、排気ガスによる都市での大気汚染等の環境に関する課題、交通事故といった安全に関する課題、更には大量生産大量消費がもたらす資源やエネルギー枯渇化に関する課題、などが懸念されている。特に地球温暖化は、これに伴って氷の融解による海面上昇や大気循環の変化に伴う暴風雨の増加など、大規模な気候変動を危惧する声が高まっており、喫緊の課題と言える。

自動車が、これからも移動の利便性と快適性を提供する交通手段として発展するためには、上記のような課題を克

世界の自動車保有台数の推移と予測

Figure 1 Trend of number of automobiles in the world

*トヨタ自動車株式会社第1材料技術部(〒471-8572 豊田市トヨタ町1番地)部長。昭和50年、名古屋大学工学部卒業。同年トヨタ自動車株式会社。専門は、高分子材料、塗料。

服し、人や環境に配慮した取り組みが不可欠である。また、人が車を所有したり運転したりすることにより、心の豊かさを実感できるようなより魅力ある商品を開発し提供する必要がある。具体的には、動力性能や乗り心地の向上、カラーやスタイルに代表される意匠性の向上、更にはすべての人に対して、あるいは様々な使用環境において移動の自由度を高めることのできるようなモビリティの提供等が挙げられる。

このように社会の持続的な発展のためには、人や環境への負荷を最小限に抑えながら、自動車の魅力を最大限に高めて行くことが必要である。

2. 地球に優しい取り組みの現状と期待

2.1 排出ガスの浄化

1960年代の公害問題や1970年の米国マスキー法制定以降、排気ガス浄化技術の開発は現在に至るまで競い合っており、排ガス浄化に関しては触媒の担う役割は極めて大きく、当社ではガソリンエンジン用の三元触媒、窒素酸化物(NO_x)吸蔵還元型触媒、またディーゼルエンジン用として、パティキュレート除去用触媒(DPR)等を開発し量産車に導入している。今後排ガス規制強化への対応のみならず更なる浄化性能を向上させるためには、触媒のメカニズムや構成材料の役割をより一層解析し理解を深

Figure 2 Exhaust gas regulation and catalyst technologies

大気中 CO_2 濃度の推移

Figure 3 CO_2 concentration in atmosphere.

めた上での材料開発が不可欠である (Figure 2)。

2.2 CO_2 の削減

18世紀の産業革命以降、大気中の CO_2 濃度は急激に上昇しており、可能な限り CO_2 排出を低減させることが求められている (Figure 3)。

自動車の CO_2 排出は、80 %以上が走行段階とされている。そのため、車両の軽量化やハイブリッド技術といった新動力源の導入による走行段階の燃費向上や、植物を由来とするバイオ燃料の活用による化石燃料使用量の削減などの対応が強力に進められている (Figure 4)。

2.2.1 軽量化

鉄鋼系材料は、資源入手が容易でリサイクル性に優れることから、依然として自動車重量の約70 %を占めている。よって鉄鋼系材料で軽量化に寄与できること、具体的には高強度材料の開発や材料の最適配置、また熱処理や接合といった生産技術の開発等を徹底的に進める事が求められている。高強度材料に関しては、近年特に衝突安全性向上の観点からボデー外板パネルやピラー、サイドインパクトビーム、バンパーリニアフォース等への高強度鋼(ハイテン)の適用が急速に進みつつある。ハイテンは1990年代より導入が進み、積極的な材料の開発に伴い強度が飛躍的に向上しつつある。一方で高強度化は加工性が悪化する傾向があるため、使用される部位に応じた材料選定が行われているのが現状であり、高強度でありながら生産性の高い材料への期待は大変大きい。

鉄鋼系材料の高強度化に伴う軽量化が進む一方で、軽金属等への置換も進められている。アルミニウム合金は、比重が2.7程度と鉄の約1/3で軽量化の効果が期待でき、更にコストやリサイクル性のバランスに優れることから、軽金属の主流と言える。アルミニウム合金の主体は鋳造材であり、寸法精度や生産性に優れるダイカストにより、エンジン、ミッションケース等の大物部品への導入が進み、更に足まわり部品にも採用が拡大してきている。近年はボデー外板への採用も見られるようになったが、更なる適用拡大には、材料特性の向上や加工技術の向上、またコスト低

自動車の CO_2 排出量

Figure 4 CO_2 consumption from the life of a vehicle.

減が鍵と言える。

マグネシウム合金は比重が1.8でアルミニウム合金の2/3と軽く、古くから軽量材料として注目されてきたが、耐食性や耐熱性の観点から、ブラケット類やステアリング芯金等、比較的小物で熱負荷の小さい使用環境に限られていた。しかしながら希土類などの合金元素の添加によって耐食性や耐熱性向上技術が進み、更に安価な地金の調達が可能になってきたことから、オイルパンやトランスミッションケース等使用環境の厳しい部位、あるいは大物部品への適用も始められている。軽量化の効果が大きいだけに、更なる耐熱性や耐食性の向上、生産技術の向上、またコスト低減技術が進むことによる使用拡大の期待が大きい。

樹脂は形状自由度が高く、一体成形による部品点数削減にもメリットのあることから、内外装部品での採用が着実に進んでいる。外装部品では、バンパー、フェンダー、スポイラー等が挙げられる。内装部品ではインストゥルメントパネル、ドアパネル、ガーニッシュ類、更にはシートに至るまで、概ね目につく部品はほぼ樹脂化されている。材料の観点では、物性、成形性、価格、リサイクル性からポリプロピレン(PP)を代表とするオレフィン系の材料が主流と言える。今後、複雑なボデー形状など意匠性向上の要求から、外板への使用も徐々に進むことが予想される。また、カーボン繊維強化樹脂(CFRP)といった軽量高強度材料や、ポリカーボネート系材料のガラス等への採用も、軽量化の一環で進むことが期待される。

近年、急速に調達や生産のグローバル化が進み、その傾向は拡大の一途である。上記のような材料の適用拡大には、グローバルな調達性や種類の統一といった検討が不可欠である。鉄鋼系やPP等の既存の実績ある材料と競い合いながら、材料開発や導入促進が進められることが期待される (Figure 5)。

2.2.2 高効率化

自動車には、エンジン、トランスミッションといった動力発生及び伝達部品があり、これらの性能向上が低燃費化に対して効果が大きい。エンジンの燃焼効率向上の例では、

エンジン回転数に応じたバルブタイミングの適正化(Variable Valve Timing), 燃料のピストン内直接噴射(Direct Injection), アイドリングストップ等が挙げられる。トランスミッションでは, きめ細かな変速が可能となるよう, 4 速から 5 速, 6 速, 8 速といった多段化, あるいは CVT 化といった技術が挙げられる。

摩擦・摩耗に関する課題としては、一つは低フリクション化、即ち摩擦抵抗の低減が挙げられる。具体例としては、ピストンやクランクシャフトといったエンジン部品の運動に伴うエネルギー損失を軽減させる低粘度オイルの開発等である。もう一つは伝達効率の向上、例えば変速機内でのクラッチ材やCVT構成材料の摩擦特性の向上が挙げられる。

自動車には、上記エンジン、トランスミッションといった主要部品以外にも極めて多くの可動部品が使用されている。それら各々に対して、摩擦・摩耗を考慮したシステム開発や、使用される環境に即した摺動部材やオイル、グリース等の材料開発や選定が必要である (Figure 6)。

2.2.3 新動力源

京都議定書が批准され、大幅なCO₂削減が求められている中で、新動力源への期待は極めて大きい。当社は、COP3京都会議が開催された1997年にハイブリッド自動車

自動車におけるトライボロジー関連部分

Figure 6 Major parts related to tribology

材料置換による軽量化／高強度化

Figure 5 Light weight or high strength parts

ハイブリッド特有のコンポーネント

Figure 7 Specific parts in Hybrid Vehicle.

(HV)「プリウス」の販売を開始した。「プリウス」は、専用の低燃費ガソリンエンジンと電気モーターの2つの動力源を走行状態に合わせて使い分けることで、エネルギーの消費を最低限に抑えるとともに、ブレーキ減速時に発生するエネルギーをバッテリーに回収して蓄え、再び発進するときに回収したエネルギーを再利用することで燃費を向上させている。その後も2003年に二代目「プリウス」を発売し、HVの販売台数は累計61万台を超えるに至った(2006年3月末)。更に2006年3月にはFR乗用車初のHVであるGS450hを発売¹⁾、2006年10月からは北米でのカムリハイブリッドの生産を開始し、お客様の様々なニーズに対応(適地・適時・適車)できるよう開発を進めている。HVに特有な部品は、電池、モータ、インバータが挙げられる。今後HVを更に普及させるためには、これら部品の小型軽量化や高性能化、また低コスト化が不可欠である(Figure 7)。電池に関しては、現在ニッケル水素電池が主流であるが、より小型で高出力化が期待されるリチウムイオン電池や更にそれを凌駕する二次電池への期待が大きい。モータの小型高出力化には、高電圧化と高回転化を伴うため、モータ構成材料の耐熱性、絶縁性等の向上が必要である。インバータに関しても、パワー半導体として使用される絶縁型バイポーラ・トランジスタは、大電流での高速スイッチングを要求されるため、高耐電圧・大出力・低

損失を維持向上しながら小型化が必要となる。

電気エネルギーの有効活用の観点では、当社ではプラグインHVを研究中である。プラグインHVとは、外部電力を活用して電池を充電し、電気自動車(EV)としてエンジンを使用せずに走行できる距離を拡大したHVである。短距離は原則EV走行、長距離・高速道路はエンジンとモータによるHV走行となる。プラグインHVの実用化に向けては、上記HVで述べた課題、特にEV走行距離を増やす必要があることから電池の課題解決が不可欠である(Figure 8)。

燃料電池自動車(FCHV)は、エネルギー利用効率が高く、排出物は電気エネルギーを得るための水素と酸素の化学反応による水だけであることから、究極のエコカーとして期待されている。FCHVの主なシステム構成は、燃料電池、モータ、水素タンク、二次電池であり、HVのガソリンエンジンを発電機の機能を持つ燃料電池に置き換えたものと言える(Figure 9)。当社では1992年よりFCHVの開発を始め、2002年12月のFCHV-4の日本および米国への納車を皮切りに、限定的ながらも販売を開始した。その後2003年にはFCHV-BUS2を東京都内で路線バスとして走行開始させ、また2005年の愛知万博で走行を行う等市場導入の規模拡大を着実にやっている。しかしながら、FCHVを本格的に普及させるためには解決をしなければならない課題が残存しているのが現状である。例えば燃料電池の耐久性、低温・高温での作動性、また、内燃機関自動車と同等の航続距離を確保すること等である。このような課題に対して世界的に様々な取り組みが行われているが、量産に供することのできる技術には至っておらず、画期的な材料開発が切望されている(Figure 10)。

2.2.4 エネルギーの多様化(バイオ技術)

過去のような安い原油価格が期待できない昨今、石油に依存しない社会の形成に向けて、植物由来樹脂や植物繊維強化樹脂の開発は極めて重要と考えられる。

カーボンニュートラルとは、植物が成長する際に吸収するCO₂量と、その植物を原材料として製造した自動車(部

プラグインHVのコンセプト

Figure 8 Concept of Plug-in Hybrid Vehicle

FCHV特有のコンポーネント

Figure 9 Specific parts in Fuel-Cell Hybrid Vehicle.

FCHVの技術課題

Figure 10 Major issues on Fuel-Cell Hybrid Vehicle

品)が使用済み車両として処理される際にサーマルリサイクル等で発生するCO₂量を比した時に、炭素(=カーボン)量としてはほぼ等価(=ニュートラル)であるという考え方である(Figure 11)(Figure 12)。この考え方に基づき、当社では2003年にバイオプラスチック製のスペアタイヤカバーを「ラウム」に採用した。自動車の樹脂材料には、適用される部位に応じて耐光性、耐油性、耐擦り傷性等が要求されるため、導入を促進させるためにはこれらの材料特性の更なる向上と、コスト低減を進めることが必要である。

バイオ燃料に関しては、世界的に導入が拡大傾向である。当社では、全てのガソリンエンジンで、バイオエタノール

10%混合燃料に対して、耐久性を中心とした技術的対応を完了した。また2007年を目処にブラジル市場にエタノール100%燃料に対応する車両を導入予定である他、米国市場への車両の導入も検討をしており、エネルギー多様化への備えを進めている²⁾。バイオ燃料は、地域性、即ち各国によって導入状況が異なるため、様々な燃料(濃度)に耐えしうる材料を含めた技術の開発が急務と言える(Figure 13)。

環境への配慮という観点では、1990年以降の使用済み自動車から発生するシュレッダーダストの不法投棄問題に端を発して法制化された拡大製造者責任の考え方に基づく自動車リサイクル法への対応も、新たな技術や材料を開発する段階から考慮することを忘れてはならない。当社では2001年に自動車リサイクル研究所を開設し、2003年以降新型車に対して部品の締結点数削減や金属/樹脂混在部品の削減等、解体性を考慮したリサイクル設計の考え方を導入している。また鉛、水銀、カドミウム、6価クロムについて使用禁止に向けた取り組みを進め、自動車工業会の定める自主目標を達成している。加えて車室内VOC(揮発性有機化学化合物)についても2007年度の新型車から削減の自主取り組みを行うことにしている。

バイオ技術開発の狙い

Figure 11 Biotechnology concept based on the carbon neutral idea

愛・地球博2005でのバイオプラ例

Figure 12 Bioplastic parts in Aichi EXPO 2005

燃料多様化に向けた材料の課題

Figure 13 Concerning parts for bio-fuels

3. 人に優しい取り組みの現状と期待

3.1 安全性向上

日米欧における交通事故死者数は、この数十年減少傾向を示している。日本においても、年間1万人を割って久しいが、数千人規模の死者が出ている現状は痛ましい限りであり、依然として多いと言わざるを得ない。当社は、モビリティ社会の究極の願いである「交通事故死傷者ゼロの実現」に貢献するため、駐車から事故発生の際の救出までの全運転ステージで、様々な安全システムを相互に連携させる「統合安全コンセプト」の基で、より安全な車両の開発を進めている³⁾。予防安全の観点では、事故発生の危険が高い状況でのプリクラッシュセーフティシステムの導入

事故ゼロに向けた取り組み事例

Figure 14 Schematic illustration of Pre-Crash Safety System toward zero traffic accident

を進めている。具体的には、前方障害物を感知するミリ波レーダやブレーキアシスト、最近ではGS450hに運転者の顔向きを検知するドライバモニターを導入、更に2006年9月に発売したLS460では、歩行者検知システムや、後方からの追突に対して後方車両への注意喚起とヘッドレストを最適位置に移動させることで衝撃を緩和するシステムを開発し導入した⁴⁾。将来的には、車-車間通信や、車-インフラ間の通信による安全システムの構築が望まれている (Figure 14)。

3.2 IT技術(Information Technology)

IT関連では、2002年にG-BOOKを市場に導入し、「安全・安心」、「アミューズメント」等を軸としたサービスを開始した。その後も渋滞予想機能を追加する等、人と社会の有機的な結合を目指した取り組みも積極的に進めている。

安全性やITに関する機能の追加が今後も続くことは疑う余地もなく、このことは自動車用電気/電子部品の進化とそれに伴う搭載数の増加を意味しており、更なる普及に向けて小型高性能化、低コスト化を実現できる材料(高密度、高効率、高速伝送等)の開発が望まれている。

3.3 快適性・意匠性

人が車に対して快適性を覚えるには、五感に依るところが大きい。ユーザが見て、触れて、聴いて、匂いで、喜びや感動を覚えるような室内空間、あるいはワクワクするような意匠の実現等、新たな付加価値の創出に対して材料が担う部分は極めて多い。塗料の例で述べれば、マイカ系の顔料に様々なコーティングを付与することで、真珠のような深みやこれまでにない発色が塗装技術の開発と共に実現されてきている。塗装への期待の中には、その美しさを永遠に楽しみたいという要求から、機能として「汚れ難い」、「傷がつきにくい」ことが求められており、防汚性向上、耐傷付き性向上に関しても開発が進められている (Figure 15)。また、防錆技術に関しては、当社では、従来のリン酸亜鉛系のメッキから、新たに緻密な被膜を構成し、耐酸/アルカリ性にも優れる酸化ジルコニウム系の材料を開発した⁵⁾。この被膜処理では、リンやニッケルを含まないため、廃液処理の観点でも優れており、今後順次採用を拡大する予定である。

4. 先端技術への期待

以上述べてきたように、自動車の抱える諸問題を最小限に抑えつつ、自動車の魅力を最大限に高めるには、材料の革新が不可欠である。特に、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、ITは、上記課題を解決するためのブレークスルー技術として期待されている。先端技術の例として、化学反応等が進行しているその場(in-situ)を観察する透過型電子顕微鏡(TEM)技術の開発や、発生現象等のシミ

パールマイカ顔料のバリエーション

Figure 15 Pigment design concept in paint

先端研究者との連携強化

Figure 16 Toyota's Open Call collaboration with leading-edge technology researchers

ュレーション技術の開発が進みつつある。このような技術の急激な進展に伴い、ナノサイズの現象をライブで観察、あるいは現象理解を飛躍的に進めることが可能となりつつあり、材料革新による技術のブレークスルーへの期待が大きく膨らんでいる。

技術をブレークスルーするためには、先端研究者との連携も不可欠である。当社は、以前より先端技術の共同開発公募を行っており、2006年度も「エネルギー貯蔵デバイス」、「メソ構造創製・機能発現」、「バイオマスの高度利用」、「車載センシング」の4領域に関して公募を行った⁶⁾。今後とも先端領域における開発を継続的に進めて行く予定である (Figure 16)。

5. お わ り に

化石燃料に頼らない循環型社会へスムーズにシフトするためには、大学や研究機関、また、国や各種業界の協力が必要である。当社としては、ハイブリッド技術を駆使し、化石燃料も大事に使いながら、究極の環境対応車に向かって材料開発を含めた様々な取り組みを行い、お客様に魅力のある車を提供して行く所存である。

以上、社団法人日本ゴム協会主催の第42回夏期講座(2006年8月)で講演した内容に関して概説した。自動車に極めて多種の材料から構成されることから大変複雑な内容ではあるが、各々について如何に材料が重要な役割を担っているかをご理解いただければ幸いである⁷⁻⁹⁾。

References

- 1) Toyota H/P, Shingatasya Gizyutsu Kouhou Shiryou, Lexus GS450h: http://www.toyota.co.jp/jp/tech/new_cars/lexus/gshv/index.html
- 2) Toyota News Release, Kankyou Taiou Gizyutu no Kaihatsu to Eco Car no Shizyou Dounyu wo Kyouka, June (2006): http://www.toyota.co.jp/jp/news/06/Jun/nt06_027.html
- 3) Toyota News Release, Anzen na Syaryou Kaihatsu heno Torikumi wo Kyouka, Aug. (2006): http://www.toyota.co.jp/jp/news/06/Aug/nt06_041.html
- 4) Toyota H/P, Shingatasya Gizyutsu Kouhou Shiryou, Lexus LS460: http://www.toyota.co.jp/jp/tech/new_cars/lexus/ls/index.html
- 5) Nakayama, T.; Hosono, H.: *Shikizai Kyoukai Shi*, **79**(9), 8 (2006)
- 6) Toyota H/P, Kenkyusya-Gizyutusu muke Zyouhou, Kenkyuu Koubo: http://www.toyota.co.jp/jp/tech/for_engineer/research_call/2006/index.html
- 7) Toyoda, T.; Yamada, T.; Moriya, H.; Etoh, H.; Fukuda, S.; Hara, Y.; Yoshida, M.; Yamamoto, N.; Takahashi, S.; Uchikata, H.; Okumura, E.; Fukazawa, T.: *Jidousya Gizyutsu*, **60**(8), 136 (2006)
- 8) Yoshida, S.; Suzuki, M.; Iwai, H.; Itoh, T.; Tsubouchi, T.: *Jidousya Gizyutsu*, **59**(8), 131 (2005)
- 9) Toyota Motor Corporation: *Toyota Technical Review*, 53, Aug. (2004)

日本語表記参考文献

- 1) トヨタ HP, 新型車技術広報資料, レクサス GS450h: http://www.toyota.co.jp/jp/tech/new_cars/lexus/gshv/index.html
- 2) トヨタ ニュースリリース「環境対応技術の開発とエコカーの市場導入を強化」(2006年6月): http://www.toyota.co.jp/jp/news/06/Jun/nt06_027.html
- 3) トヨタ ニュースリリース「安全な車両開発への取り組みを強化」(2006年8月): http://www.toyota.co.jp/jp/news/06/Aug/nt06_041.html
- 4) トヨタ HP, 新型車技術広報資料, レクサス LS460: http://www.toyota.co.jp/jp/tech/new_cars/lexus/ls/index.html
- 5) 中山隆臣, 細野宏: 色材協会誌, **79**(9), 8 (2006)
- 6) トヨタ HP, 研究者・技術者向け情報, 研究公募: http://www.toyota.co.jp/jp/tech/for_engineer/research_call/2006/index.html
- 7) 豊田武司, 山田敏行, 守谷英明, 衛藤洋仁, 福田晋作, 原裕一郎, 吉田正光, 山本尚孝, 高橋創一, 内潟寛, 奥村英二, 深澤恒典: 自動車技術, **60**(8), 136 (2006)
- 8) 吉田信, 鈴木正実, 岩井久幸, 伊東隆, 坪内隆浩: 自動車技術, **59**(8), 131 (2005)
- 9) トヨタ自動車株式会社: トヨタ・テクニカル・レビュー, 53, Aug. (2004)

*

*

*

*

*

本会発行出版物ご案内

ゴ ム 用 語 辞 典

B 6 版 400 頁
(1997.10 発行)

定 価	4,725 円 (税込)
会員価格	4,252 円 (税込)
送 料	450 円

〔 ゴム産業に係わる技術用語, 製品用語を幅広く収録したものです。収録用語約 4,500 語。 〕

* お申込の場合は、必要事項(送付先住所、勤務先、氏名、電話番号など)をご記入のうえ、FAX して下さい。

社団法人 日本ゴム協会 図書係あて
FAX 03 (3401) 4143