

環境対応を実現する自動車部品

Automobile Parts for the Environment

工藤 茂 Shigeru Kudo

エネルギー・自動車部品事業本部 自動車部品事業戦略部マーケティングセンタ

地球温暖化が深刻化している中、その要因となっているCO₂は、世界的規模での規制が始まっている。CO₂排出源の要因の一つである自動車においては、各自動車メーカーでのCO₂削減対応の動きが活発になってきた。具体的には、燃費向上のための車体の軽量化が有効であり、自動車部品の寄与度は大きい。また、環境対応として、省エネの観点から自動車で発生するエネルギーをコントロールする動きや、使用材料における有害物質規制から環境に配慮した材料の使用が進んでいる。

当社でも従来から自動車部品の生産を行ってきたが、上記の環境対応を実現すべく開発・製品化を積極的に進めている。本報では、当社の自動車部品における軽量化、熱マネジメント、環境対応材料の開発および製品化状況について報告する。

Since global warming has become a serious problem, regulation of CO₂ emissions has been introduced globally as a main solution to the problem. CO₂ reduction programs of automotive manufacturers are becoming more active, since cars are one of the main CO₂ emission sources. As actual activities, weight reduction is an effective measure to improve fuel efficiency of cars, and automotive parts will take a great part in this solution. On the other hand, energy generation control to save automotive energy consumption, and the use of environmentally friendly materials to comply with regulations on hazardous substances are proceeding.

Our company has been manufacturing various kinds of automotive parts, and we are aggressively developing new products to achieve solutions to the environmental issues mentioned above. This report gives an overview of the R&D and manufacturing situation of automotive parts for weight reduction, thermal management and environmentally friendly materials.

1 緒言

近年の環境への関心の高まりの中で、各自動車メーカーでの燃費向上の動きが活発化している。これは、欧州を中心として進む世界的な燃費規制の強化が理由である。地球温暖化の要因となっているCO₂の排出源の一つである自動車においては、各国でCO₂排出規制の指標が出され、特に欧州において厳しく、CO₂排出指標値は2015年の130 g/kmから2020年ごろには95 g/kmまで下がる。これは、年平均4%減であり、この推移で燃費規制が強化されると、2030年には60 g/kmと大変厳しい数値になる可能性もある。

今後、ハイブリッド車(HEV)や電気自動車(EV)等の次世代環境対応車が増えることが予想されるが、政府の「次世代自動車戦略2010」によれば、2020年での新型車でのガソリン車の比率は80%以上、2030年で60~70%と依然高く、ガソリン車のCO₂排出量をどこまで下げられるかが課題となる。仮に、2030年でのガソリン車普及率70%、HEVのCO₂排出量をガソリン車の2/3として、ガソリン車のCO₂排出量は2020年で104 g/km、2030年で72 g/kmとなる。これを燃費に換算すると、2015年は18.0 km/Lとして、2020年で22.4 km/L、2030年で32.2 km/Lとなる。このハードルをクリアするための燃費向上策としては、パワートレインの向上と車両の軽量化の二つがある。燃費向上への寄与率は軽量化が1/4と推定し、図1に示すように1.0 km/Lの燃費向上には一般的に約100 kgの軽量化が必要になるので、軽量化としては、2020年で110 kg減、2030年で356 kg減の試算情報もある¹⁾。ただし、今後の安全・快適装備の質量増加も考慮すると、軽量化目標はさらに高くなる可能性は大きい。

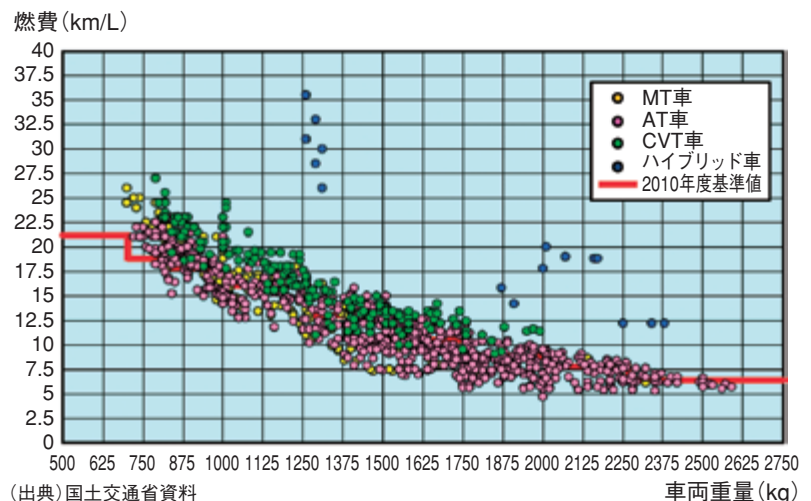


図1 10・15モード燃費と車両重量の関係

Figure 1 Relationship between 10·15 mode fuel consumption and automobile weight

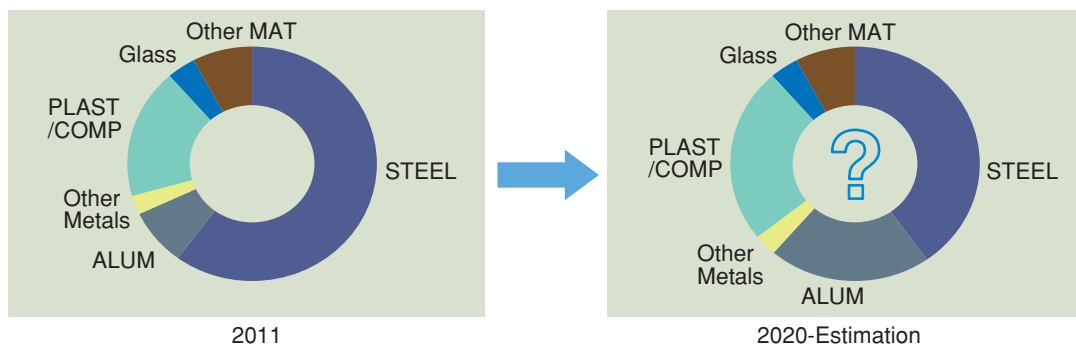
また、省エネ対応として、自動車が発生するエネルギーを積極的にコントロールする技術も開発されてきている。

一方、部品として使用される材料の有害物質規制が進んでおり、ELV(廃自動車理事会指令)、RoHS(特定有害物質使用制限指令)、REACH(化学物質とその使用の管理規則)が欧州先行で実施されている。米国でもカリフォルニア州、ワシントン州で銅使用規制が出され、2021年1月1日以降は銅含有量5 wt%以上、2025年1月1日以降は銅含有量0.5 wt%以上の摩擦材の販売および新車への組み付けが禁止となる。この動きは米国全体に拡大し、EPA(アメリカ環境保護庁)、ECOS(州環境評議会)およびMEMA(アメリカ自動車部品工業会)等が銅規制に関して2015年1月に同内容にて合意した。

上記の背景をもとに、本報では当社の自動車部品である樹脂成形品や焼結材での軽量化対応、熱マネージメント製品、および摩擦材での有害物質対応について紹介する。

2 軽量化対応製品

自動車材料の構成比は、OICA(国際自動車工業連合会)の調査では依然として鉄系が主であるが、軽量化の観点から、将来は鉄系に置き換わり、樹脂、アルミ等が増えると予想している(図2)。



(出典)OICA(国際自動車工業連合会)資料: Steel Perspective for The Automotive Industry

図2 欧州車の素材構成

Figure 2 Composition of materials of an average European automobile

アルミはマグネシウム、銅、亜鉛等を添加して強度を高めたアルミニウム合金のことだが、比重が2.7と軽く(鉄は7.8)、表面にできる酸化皮膜のため耐食性に優れ、熱伝導率が高く、铸造性が良いなどの特徴がある。ただし、最高荷重に到達した後の伸びが鋼板に比べて著しく小さいため成形性に課題がある²⁾³⁾。また、重量当たり鋼板の3倍程度といわれる価格も課題となる。また、マグネシウム合金も注目されていて、比重は1.8であり、熱伝導率が高く、電磁波遮蔽能が高いなどの特徴があるが、大気中での発火、耐食性の低さ、加工の難しさおよび価格の面で採用のハードルは未だ高い⁴⁾。

非金属材料の代表と言えるプラスチックは合成樹脂、あるいは単に樹脂といわれ、自動車分野では、繊維強化プラスチックも樹脂として取り扱われている。樹脂は軽い材料(比重は0.9~2.5)であり、形状の出しやすさと価格の面で内外装部品、エンジンルーム内の機能部品、エレクトロニクスシステム、燃料システム、安全システム、さらには駆動系・シャシー系の一部にも採用されている。

当社でも部品の樹脂化として内装品のインストルメントパネルやコンソールボックス、外装品の樹脂バックドアやバンパー、エンジンルーム内の機能部品として樹脂ギヤ、およびエレクトロニクスシステム品としてインバータユニットの電力パワー回路を構成するハウジング⁵⁾等が採用されている。

一方、材料置換以外の方法として高性能化による製品のダウンサイジングや薄肉化による軽量化手法がある。当社では、粉末冶金の技術により、エンジン部品のダウンサイジング化への貢献としてターボチャージャー部品や軸受、バルブガイド、バルブシートが採用されている。

本報では、軽量化対応製品として、内外装品の樹脂バックドア、エンジンルーム内機能部品の樹脂ギヤ、粉末冶金製品によるダウンサイジングについて以下に詳細説明する。

2.1 内外装品⁶⁾

当社は、内外装製品の樹脂化では長年の実績があり、内外の多くのカーメーカーに採用いただいている。中でも樹脂バックドアはバックドア本体とガラスおよび部品を組み合わせたバックドアモジュールとして2001年の採用開始以来、特性向上に努めており、従来の鋼板バックドアに対して、軽量化、造形自由度の向上、部品の統廃合でのメリットが大きい。図3に鋼板バックドアと樹脂バックドアの部品点数比較を示す。



図3 バックドアの樹脂化による効果
Figure 3 Effectiveness of back door resinification

バックドアは高強度、高剛性の他に、疲労および振動耐久性、後面衝突安全性、冷熱サイクル後の寸法安定性、耐クリープ性、高い外観品質が要求される。従来の鋼板バックドアは、インナーパネルとアウターパネルをヘム加工および溶接によって接合する構造で要求性能を満足させていた。

樹脂バックドアは、剛性および強度は基本的にはインナーパネルで持たせる。図4に示すように⁷⁾、インナーパネルは、従来から構造材として用いられていたSMC (Sheet Molding Compound: 樹脂、充填材等を混合した樹脂ペーストをガラス短繊維に含浸させたシートを、加圧加熱し硬化させた成形法) 材よりさらに比剛性・比強度の高いガラス繊維を増やしたガラス繊維強化PP (ポリプロピレン樹脂) の射出成形材を使用。アウターパネルには、耐熱性および外観品質に優れたPP (ポリプロピレン樹脂) 射出成形材を使用している。

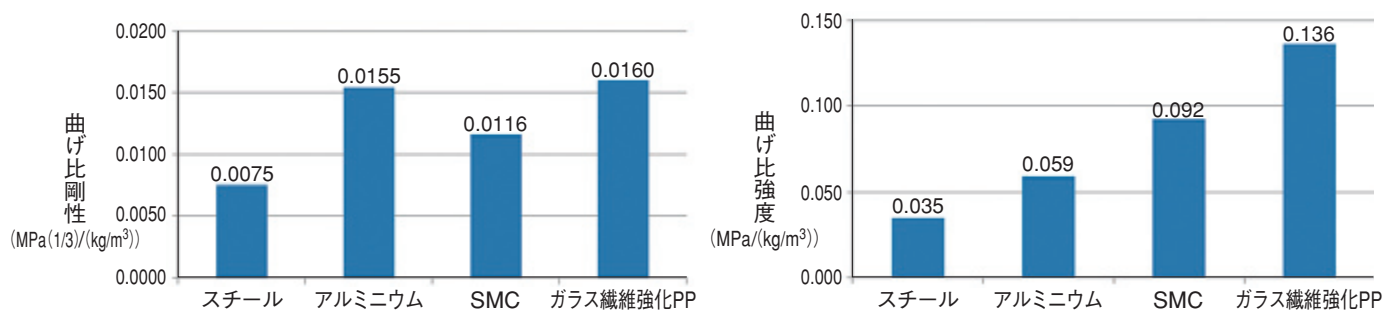


図4 インナーパネル材質の選定
Figure 4 Selection of materials for inner panel

樹脂バックドアは、要求性能を満足させるための設計が重要である。当社は、CAE解析によるシミュレーション技術を活用し、構造の最適化を実施している。図5にインナーパネルの反り解析事例を示す。反り対策前後での構造解析値と実際に成形型を製作して試作評価した結果を示すが、解析値と実測値は良く一致している。反り対策のために設定したリブ等が反り低減に効果があることが確認できた。これらの技術により、当社樹脂バックドアは、鋼板バックドアに対し30%の重量減を達成した。

今後は、パネルの薄肉化や素材の検討によりさらなる軽量化および商品性の向上を図る。

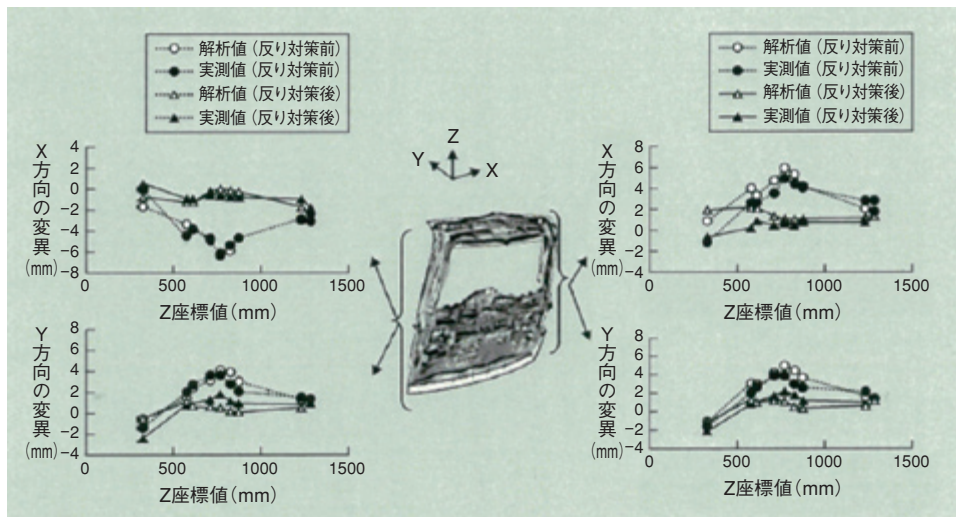


図5 ガラス繊維強化PP製インナーパネルの反り解析
Figure 5 Warpage analysis of the inner panel made of glass fiber reinforced PP

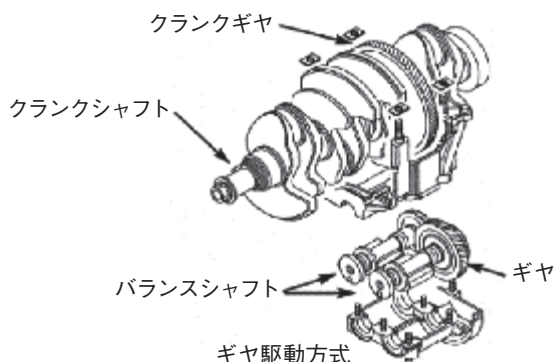
2.2 樹脂ギヤ⁸⁾⁹⁾

エンジンルーム内の機能部品の軽量化として、2000年にバランスシャフト用の樹脂ギヤを量産開始した。図6にバランスシャフト機構の駆動方式を示すが、バランスシャフト機構とは、4気筒エンジン特有の2次の振動を打ち消すために設けられており、アンバランスマスを持たせたシャフトがエンジン回転数の倍速で回転する機構である。ギヤの歯に発生する応力対応や寿命、ギヤ同士の噛み合い時の静粛性が課題であった。

図7に樹脂ギヤ単体を示す。ギヤの樹脂化にあたり、使用樹脂としては強度と使用温度の耐熱性を考慮し、ポリアミノアミド樹脂を使用。使用する硬化剤の検討により高温の強度を向上させた。また、樹脂単独では強度が持たないため補強繊維を使用するが、検討した繊維をポリアミノアミド樹脂と複合して樹脂ギヤを作製し性能を測定した。表1に示すように、PBO(ポリパラフェニレンベンズオキサゾール)繊維複合材はアラミド繊維複合材より強度、弾性率が劣る。また、炭素繊維複合材は強度や弾性率は高いが、相手鋼ギヤの歯面を攻撃し、鋼ギヤの歯面を摩耗させてしまうことが分かった。これより、補強繊維としてはアラミド繊維が最適と判断した。また、繊維も長繊維ではなく短繊維を用いることで強度向上を図った。

また、ギヤ同士の噛み合い時の静粛性に関しては、製品の寸法精度向上が対策として検討され、歯切り加工時の加工方法を検討した。従来のホブカッタによる歯切り加工を切削油を使用しないドライ条件で実施するが、多数歯による不連続加工のため加工精度向上追及が難しいことから、加工目詰まりおよび生産性の点でシェービングカッタによるシェービング加工を用いることにし、加工条件を検討することにより加工精度向上を図った。

今後は、補強繊維や組成の検討によりさらなる高強度化を進め、他の部位でのギヤの樹脂化へ用途拡大を図る。



(出典) 広田民郎著「エンジンパーツこだわり大百科」P75,78(グランプリ出版(2004))

図6 バランスシャフト機構
Figure 6 Mechanism of balance shaft system

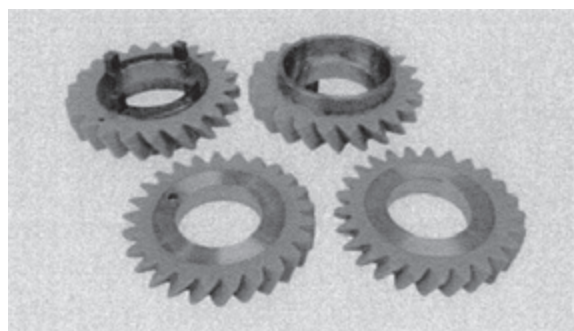


図7 樹脂製バランスシャフトギヤ単体品
Figure 7 Resin balance shaft gears

表1 複合材料の機械的特性
Table 1 Mechanical properties of composite material

試験項目	単位	炭素繊維複合材料	PBO繊維複合材料	アラミド繊維複合材料
曲げ強度	MPa	580	190	220
曲げ弾性率	MPa	30,000	6,000	7,000
圧縮強度	MPa	400	150	270
アイゾット衝撃強度(ノッチ無)	J/m	650	420	500

樹脂：ポリアミノアミド樹脂 基材配合率：50 vol%

2.3 粉末冶金製品^{10)~12)}

粉末冶金は、原料となる金属粉末同士を焼結という現象にて結合させて素材や部品を作る材料加工法であり、図8に示される基本工程にて製造される。特徴として、高融点金属や合金の製造が可能、金属・非金属の複合材料の製造が可能、互いに溶け合わない金属同士の複合材料の製造が可能、多孔質のコントロールが可能、および工程が単純で経済性に優れることが挙げられる。成形・焼結によって最終製品の形状またはそれに近い形状が得られ、かつ合金の組成や材料の組織の面で自由度をもっているため、一般の鋼材では得られない特性も発現可能である。

高強度焼結材は、焼入れ性の高い合金元素の添加と添加方法の最適化により、その機械特性を向上させてきた。また、粉末冶金には金属粉末を原料とするため、製品中に気孔と呼ばれる小さな孔が多数分散しており、それらが機械特性を低下させるという課題があった。当社は、気孔を減少させる高密度化技術を開発し、この高密度化技術と材料技術を組み合わせて鋼材に匹敵する強度の材料を実用化した。これにより、部品の薄肉化が可能となった。高強度焼結材を適用した自動車部品の一例を図9に示す。

耐熱・耐摩耗焼結材として、粉末冶金における材料設計の自由度の高さを生かし、使用環境に合致した、さまざまな材料を開発している。さらに焼結時の材料拡散を促進させるため、焼結中に生じる液相量を制御する技術を確認し、従来に無い高い特性を有した製品を供給している。一例としては、高Cr材は、約20%Cr鋼鋼材に面積比で約30%の炭化物を微細かつ均一に分散し、700℃以上の高温環境下においても優れた耐摩耗性・耐酸化性を示す(図10)。この材料は、ダウンサイジング過給ガソリンエンジンに採用されている。

粉末冶金技術特有の材料特性を生かし、今後も自動車部品の軽量化、小型化に貢献する製品展開を図る。

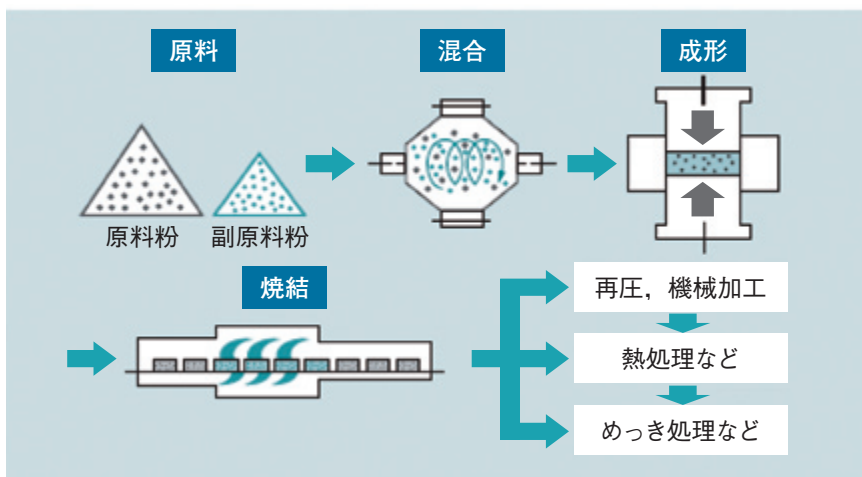


図8 粉末冶金の製造工程
Figure 8 Manufacturing process of powder metallurgy



図9 高強度材料を適用した焼結部品
Figure 9 Products made from high strength sintered material

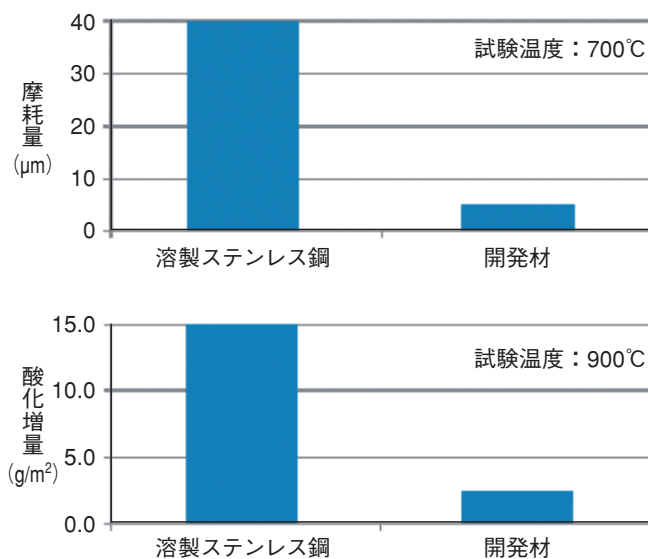


図10 開発材の耐摩耗性・耐酸化性
Figure 10 Anti-wear and anti-oxidation properties of developed material

3 熱マネジメント製品

自動車の省エネルギー対応の一つとして、環境から受ける熱や、自動車内で発生する熱をいかにコントロールすることも重要な技術となる。当社では、遮光、遮蔽、断熱の観点から外光・室内光の透過率制御が可能な調光フィルムを生産中である。また、エンジンから発生する廃熱を利用して電気エネルギーに変換する熱電変換材を開発した。これらについて以下に詳細説明する。

3.1 調光フィルム¹²⁾¹³⁾

当社は、米国RFI社(Research Frontier Inc.)から導入したSPD(Suspended Particle Device)技術を基に、独自の機能性材料、ポリマー合成技術、およびフィルム塗工技術を活用し、調光エマルジョンおよびフィルムの量産を開始した。調光フィルムの原理を図11に示す。対向する透明電極に交流電圧を印加することによって、調光粒子を電界方向に配向させ、濃青色から透明に切り替えるアクティブ型の調光フィルムである。この調光フィルムは、ヘイズ(フィルムの透明性に関する指標で、不透明になる曇り度合いを示す)が小さく、可視光透過率を無段階で調整でき、さらに消費電力が少ないという特徴がある。調光フィルムを接着層を介して合わせガラスの中間に配置した調光ガラスの構造を図12に示す。自動車のルーフへの適用時の熱マネジメント効果を図13に示す。簡易的な太陽近似光照射実験でのシミュレーションでは、電圧を印加した透明時においても、頭髮をイメージした黒色紙表面温度が透明ガラスに比べ10℃低下し、電圧オフ時にはさらに表面温度が低下していることから、ルーフに適用した場合には快適性と省エネルギー効果を提供できる。

開発した調光材は電圧オフ時に濃青色であるが、今後は、室内デザインに適合させやすい黒・グレー系無彩色フィルムなどの開発を進めている。

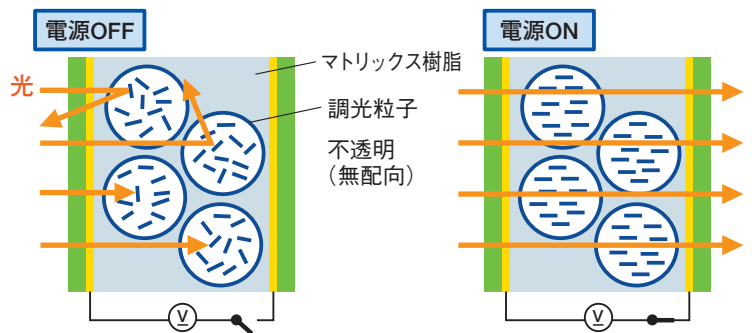


図11 調光フィルムの動作原理

Figure 11 Fundamental driving mechanism of light control film

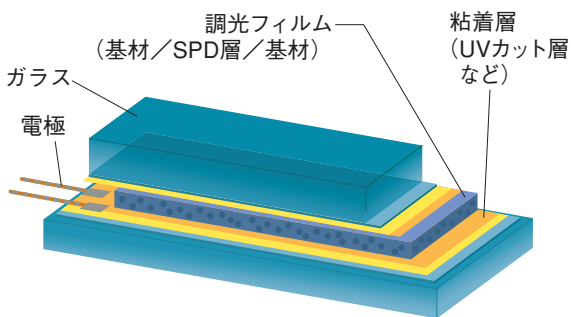


図12 調光ガラスの構造

Figure 12 Structure of light control glazing

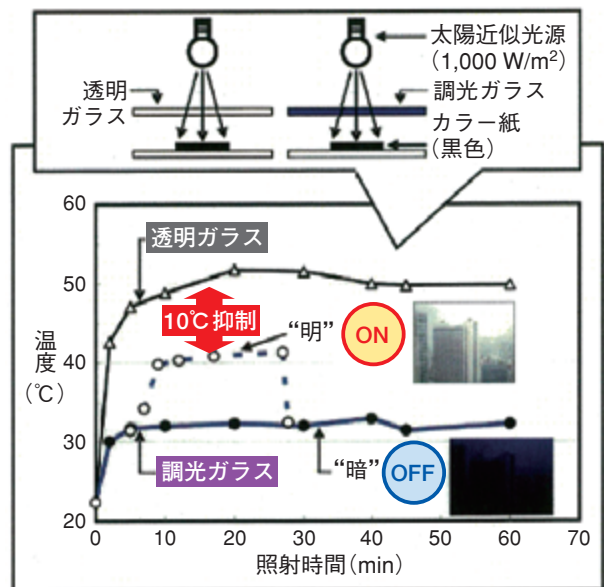


図13 調光ガラス太陽近似光照射実験結果

Figure 13 Surface temperature of black paper during the sunlight simulator test

3.2 熱電変換モジュール¹⁴⁾

熱電変換は、熱電半導体に温度差を与えることで生じるゼーベック効果を利用し、熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換する発電方法である。熱電変換モジュールは、p型とn型の素子を電極で直列接続する構造が一般的である。特に高温用では、

接合部にかかる熱応力の緩和や部材間の拡散による劣化の防止が実用化の鍵となる。当社では、これまでにSiGe素子を使った高温用モジュールを開発した(図14)。これは粉末冶金技術で製造したSiGe素子とモリブデン電極を特殊な方法で接合してモジュール化したものである。また、さらなる高性能化を目的に、素材開発を行っており、SiGe素子とMg₂Si素子を使用したモジュールでは、温度差620℃で最大1,000 mW/cm²の出力を得ている。この値は、従来型SiGeモジュールの1.7倍である(図15)。

本熱電変換モジュールは、自動車の廃熱を電力で回生し、燃費を向上させる技術として大いに期待されており、今後は、さらなる高性能な素子の探索や大型化に向けたモジュール製造技術の開発を進め、実用化をめざす。

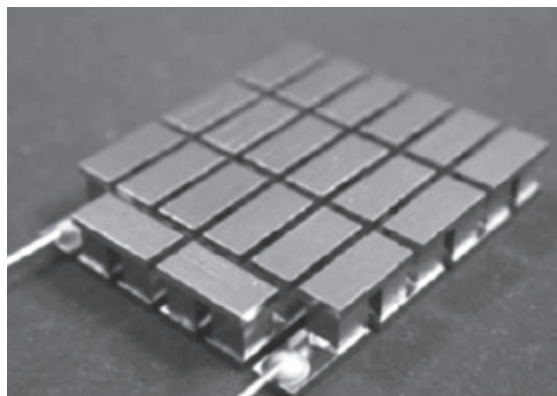


図14 高温用SiGeモジュール
Figure 14 SiGe thermoelectric modules for high temperature

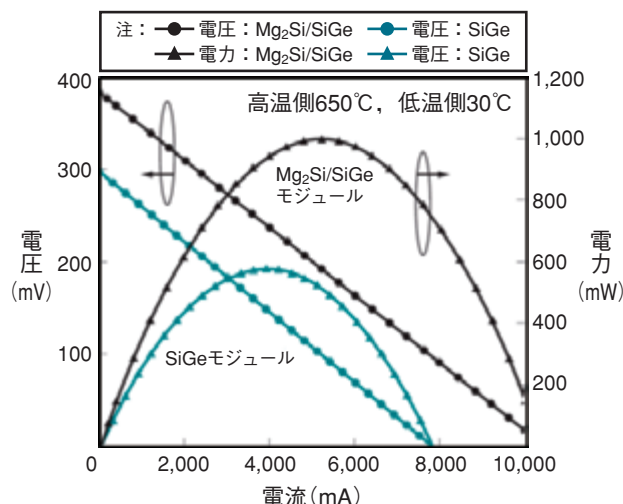


図15 2対モジュールの電流電圧特性
Figure 15 Electric current and voltage properties of two pairs of modules

4 有害物質対応製品

4.1 銅フリー摩擦材

自動車用ディスクブレーキパッドは、ブレーキシステムに組み込まれ、ブレーキ時にピストンにより車と共に回転する鋳鉄ロータに押し付けられ、その時発生する摩擦力により自動車を制動させる部品である。ブレーキパッドは、金属繊維、無機・有機繊維、十数種の摩擦調整剤を樹脂により固めた摩擦材を鉄製のプレートに接着したものであり¹⁵⁾、金属繊維として銅繊維を使ったものがブレーキング時の低ノイズや性能のバランスから20年程前から主流となり、近年では北米を中心に海外においても使用が拡大している。しかし、米国での銅規制の動きから銅フリー摩擦材の開発が急務となった。

銅フリー摩擦材については、各社が研究・開発中^{16)~18)}である。銅の機能とブレーキ性能への影響を図16に示すが、銅は高い熱伝導率を有し、高融点であり、また繊維形状で使用した場合、強度保持の機能に優れる。よって単純な置き換えでは高温や強度に関するブレーキ性能が悪化する。当社では、銅の影響を定量的に調査し、金属、無機系の複数素材で機能を補うことにより、銅フリーのブレーキパッドを実現した。銅フリー化により懸念される摩擦係数や耐摩耗性は、図17に示すように従来材に対し遜色なく、また剪断強度も同等であった。

銅フリー材は、各自動車メーカーが一部車種により採用され始めたが、今後は採用が加速すると考える。また、車両重量の軽重や速度重視のスポーツ車等の車のカテゴリーや自動車メーカーによってはブレーキパッドに対する要求性能が異なる場合もあり、摩擦材の組成や製造方法の改良による高性能化がさらに進むと予想される。

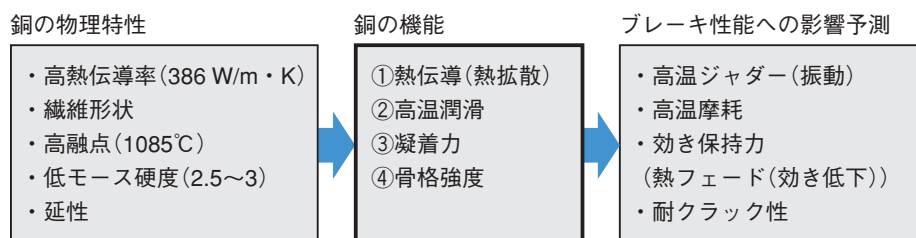


図16 銅の機能性とブレーキ性能への影響予測
Figure 16 Estimate of influence of copper properties for brake performance

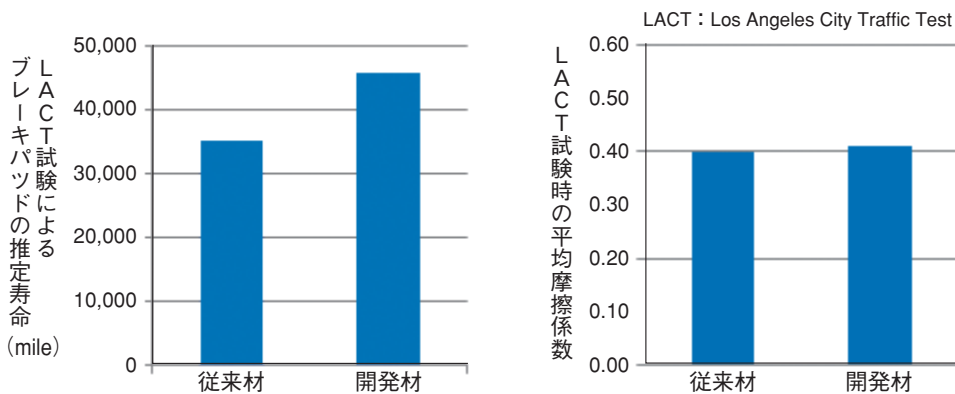


図17 銅フリーブレーキパッドの摩擦特性
Figure 17 Friction properties of the new copper-free brake pad

5 結 言

市場は「環境」抜きには語れない時代となった。自動車においても従来の性能を損なうことなく「環境」に対応するという難しい課題をクリアすることが必要となり、各国の規制期限に対して時間的余裕がない状態になりつつある。将来的にも移動手段としての自動車の位置づけは変わらず、このような中で自動車を構成する自動車部品の役割は大きい。従って、優れた技術や研究開発のスピード化により、自動車の環境対応に大いに寄与することが可能である。当社は、前述の技術・製品や、今後の技術開発力により、環境対応を実現する自動車産業の発展を通じて社会に貢献していく所存である。

【参考文献】

- 今西大介：2030年輕量化のシナリオ，Nikkei Automotive, pp.52-57(2015-9)
- 高 行男：自動車素材の変遷，一般社団法人日本自動車工業会 JAMAGAZINE, 2006年3月号
- 櫻井健夫：自動車用アルミニウム合金板材の技術動向，神戸製鋼技報，59, pp.121-127(2009),
- 三井物産戦略研究所：自動車構造材の軽量化と多様化，戦略研レポート，2014.7.28
- 伊藤哲夫：「環境・安全・快適性能」を実現する自動車部材，日立化成テクニカルレポート，No.55, pp.47-50(2013-1)
- 岩田輝彦，他：自動車用樹脂バックドアモジュール，日立化成テクニカルレポート，No.44, pp.21-26(2005-1)
- 鈴木繁生：プラスチック成形加工学会講演資料，2015.7.17
- 橋本康行，他：高強度樹脂ギヤ用材料の開発，新神戸テクニカルレポート，No.16, pp.10-15(2006-2)
- 杉山匡夫，他：アラミド繊維強化樹脂ギヤの精度向上技術，新神戸テクニカルレポート，No.19, pp.35-42(2009-2)
- 筒井唯之，他：最近の粉末冶金技術とその応用製品，日立化成テクニカルレポート，No.54, pp.13-21(2011-9)
- 石井 啓：自動車における環境・省エネ技術動向と粉末冶金技術の対応，日立化成テクニカルレポート，No.55, pp.51-54(2013-1)
- 石井利昭，他：自動車の電動化・クリーン化に貢献する高機能材料，日立評論，Vol.95, pp.49-55(2013-05)
- 東田 修，他：アクティブ型調光ガラス用フィルム，日立化成テクニカルレポート，No.49, pp.7-10(2007-7)
- 工藤 真，他：再生可能エネルギーの活用を支える革新材料，日立評論，Vol.95, pp.24-29(2013-05)
- 原 泰啓，他：ブレーキ用高摩擦係数ディスクパッド，日立化成テクニカルレポート，No.41, pp.45-48(2003-7)
- Poh Wah Lee, et al：Development of Cu-Free Brake Materials, SAE technical paper 2012-01-1787(2012)
- 服部恭輝，他：日清紡ブレーキ(株)，摩擦材，特開2013-245338, 2013
- 伊丹絵里，他：曙ブレーキ工業(株)，摩擦材，特開2013-076058, 2013