

自動車の電動化・クリーン化に貢献する 高機能材料

Material Solutions for Clean Engines and Electric Vehicles

石井 利昭

Ishii Toshiaki

川畑 将秀

Kawabata Masahide

筒井 唯之

Tsutsui Tadayuki

加藤 幸一

Kato Koichi

森下 芳伊

Morishita Yoshii

日立グループは、クリーン、安全、快適な自動車の実現を支える各種材料を開発している。エンジンのクリーン化技術では、製造性に優れた高耐熱鋳鋼や、粉末冶金技術を適用した高強度・耐熱・耐摩耗材が、低燃費のダウンサイジング過給エンジンの普及に貢献している。HEV向けには、インフラ用電線で培った技術により、高性能モータ用巻線材料や高信頼なハネス用コネクタを開発した。また、電動化関連コンポーネントでは、独自技術の電動ドア用挟み込み防止センサーや、ポリマー合成技術と塗工技術を生かしたアクティブ型調光フィルムが自動車のルーフやリヤサイドガラスに採用され始めている。

1. はじめに

持続可能な社会に向け、クリーンな自動車が求められている。CO₂排出量削減、省エネルギー化のため、HEV (Hybrid Electric Vehicle) やEV (Electric Vehicle) の市場の拡大と同時に、従来の内燃機関自動車のダウンサイジングエンジンの普及も進んでいる。自動車メーカー各社では、環境、安全、情報、快適を主なテーマに、自動車システムの電子制御化、電動化、軽量高効率化に取り組んでいる。その実現には、日立グループ内の広範な材料技術が大きく貢献している。

ここでは、自動車の燃費向上と排気のクリーン化技術、電動化を支える材料技術について述べる。

2. 燃費向上と排気のクリーン化技術

昨今の自動車のCO₂削減に直結する燃費規制および排出ガス規制に対応するため、HEVやEV、クリーンディーゼルターボエンジン、ダウンサイジング過給ガソリンエンジンなどの開発が進んでいる。特に、ダウンサイジング過給ガソリンエンジンは既存エンジンの改良であるため、HEVやEVと比較して開発期間が短く、開発コストも低い

こともあり、急速に普及している。

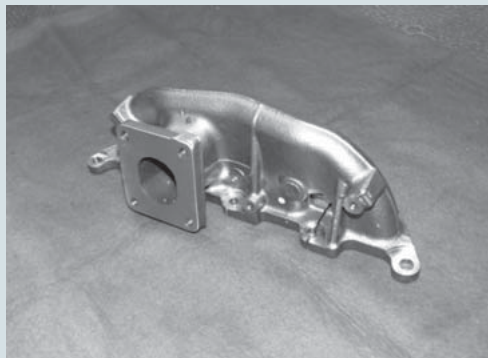
このようなエンジンシステムの実現には、高耐熱で軽量の金属材料が用いられており、それぞれ部品の要求仕様や形状に応じて材料が使い分けられている。ここでは、クリーンなダウンサイジングエンジン用材料技術として鋳鋼と粉末冶金（やきん）技術を紹介する。

2.1 ガソリンエンジン排気系用耐熱鋳鋼

ダウンサイジング過給ガソリンエンジンは、ディーゼルエンジンよりも排出ガスがクリーンなガソリンエンジンに対して、排気量を小さく（ダウンサイジング）し、過給と直噴を組み合わせ、かつストイキ（理論空燃比）燃焼させている。これによって通常走行の燃費を改善し、加速走行のように出力が必要な場合は過給で出力を補うことで、燃費と走りを両立するシステムである。その反面、排出ガスの最高温度は1,000℃程度にまで上昇し、自然吸気ガソリンエンジンやディーゼルエンジンよりも高くなる。排気系部品のエキゾーストマニホールドではメタル温度の最高温度は約900℃、タービンハウジングでは約1,000℃となる。従来の自然吸気ガソリンエンジンやディーゼルターボエンジンの排出ガス温度は低いため、エキゾーストマニホールドにはフェライト系の耐熱鋳鉄や単管パイプなど、また、タービンハウジングではオーステナイト系の耐熱鋳鉄が用いられてきた。しかし、これらの材料は、ダウンサイジング過給ガソリンエンジンに対しては耐熱特性が不足する。

日立金属株式会社は、このような状況の下で、耐熱特性、および铸造性などの製造性に優れた耐熱鋳鋼「HERCUNITE (Heat Resisting Cast Materials for Unit of Exhaust Parts)」を開発し、実用化してきた（図1参照）。

排気系用耐熱部材として必要な耐熱特性は、主に、耐酸化性、耐熱き裂性、耐熱変形性の3つである。耐酸化性は、



(a)



(b)

図1 | オーステナイト系の耐熱鋳鋼「HERCUNITE」製の部品例
「HERCUNITE」により、エキゾーストマニホールド (a)、タービンハウジング (b) などに要求される性能を実現している。

高温の排出ガスに曝（さら）されても酸化損耗を抑制する特性であり、耐熱き裂性は、エンジンのストップアンドゴーによる繰り返し加熱・冷却の熱疲労によって発生するき裂を抑制する特性である。また、耐熱変形性は、部品内の温度分布などで生じる熱応力で発生する変形を抑制する特性である。

鑄造性には、湯流れ性、耐引き割れ性、耐ガス欠陥性などがある。湯流れ性は、形状が複雑で、かつ肉厚が3 mm～6 mm 程度と薄い形状に溶湯を充填（じゅうてん）する特性であり、耐引き割れ性は、溶湯が充填され、凝固する際の凝固および固体収縮による引張応力によって未凝固部分に発生する割れを抑制する特性である。また、耐ガス欠陥性は、凝固時に放出されるガスが抜けきれず、鑄物製品内に残存する気泡を抑制する特性である。

HERCUNITEでは、合金元素の選定と添加量の最適化によって上述した耐熱特性と鑄造性の両立に成功し、ダウンサイジング過給ガソリンエンジンの普及に大きく貢献している。

2.2 低燃費に貢献する粉末冶金技術

2.2.1 特長

粉末冶金は、原料となる金属粉末の粒子どうしを焼結と

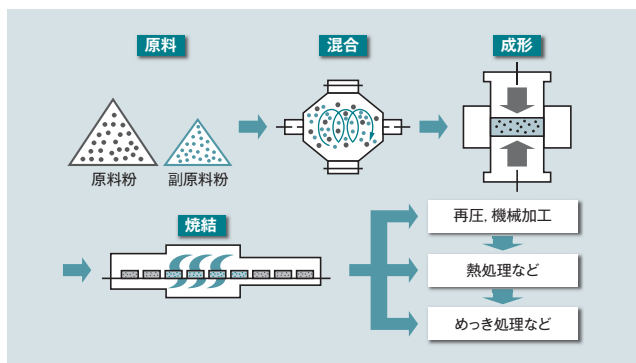


図2 | 粉末冶金の製造工程

原料となる金属粉末から粉末冶金製品ができるまでの工程を示す。

いう現象によって結合させ、素材や部品を作る材料加工法である（図2参照）。特長として、以下の5点が挙げられる。

- (1) 高融点金属や合金を作ることができる。
- (2) 金属・非金属の複合材料を作ることができる。
- (3) 互いに溶け合わない金属どうしの複合材料を作ることができる。
- (4) 多孔質材料を作ることができる。
- (5) 工程が単純で経済性に優れる。

これらの特長により、粉末冶金の利用範囲は多岐にわたり、現在、高度素形材産業において重要な役割を担っている。成形・焼結によって最終製品の形状（ネットシェイプ）あるいはそれに近い形状（ニアネットシェイプ）を得られるため、むだの少ない経済的な製法である。また、合金の組成や材料の組織の面で大きな自由度を持っているため、一般の溶製鋼（鋼材）では発現しない特性を得られるという、独自の特長を有している。

2.2.2 高強度材料

材料の高強度化によって部品の薄肉化が可能となり、小型化や軽量化に貢献することができる。粉末冶金においては、焼き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、その機械的性質を向上させてきた。特に、添加元素には安全性・リサイクル性・コストを考慮した材料開発が必要になってきており、従来のNi（ニッケル）系からCr（クロム）系に置き換わる新しい材料の開発を進めている。その一方で粉末冶金には、金属粉末を原料とするため、材料中に気孔と呼ばれる小さな孔が多数分散しており、それらが機械的特性を低下させるという課題があった。日立粉末冶金株式会社は、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溶製鋼に匹敵する強度の材料を実用化し、粉末冶金の適用範囲を拡大してきた。高強度材料を適用した自動車部品の一例を図3に示す¹⁾。

2.2.3 耐熱・耐摩耗材料

ダウンサイジング過給ガソリンエンジンの排気系部品に

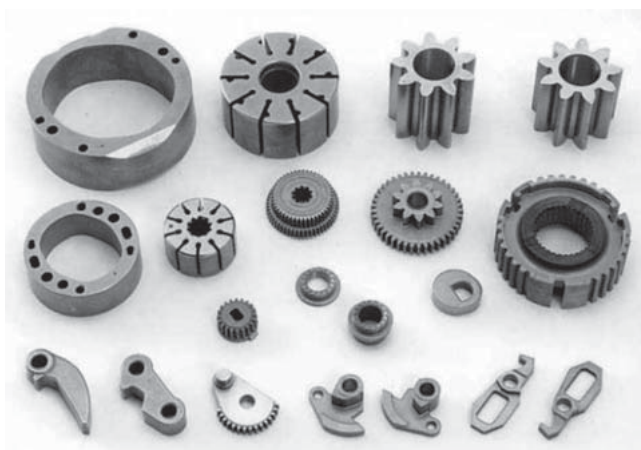


図3 | 高強度材料を適用した焼結部品
自動車用に適用されている粉末冶金製品の一例を示す。

においては、高温下での耐摩耗性が要求され、主にステンレス鋼などの高Cr鋼をベースとした耐熱・耐摩耗材料が使用されている。日立粉末冶金は、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。それらの特性をさらに向上させるため、焼結時の拡散を促進させる技術として、焼結中に生じる液相量を制御する焼結技術（液相焼結）を確立し、従来にない高い特性を有した製品を供給している。その一例

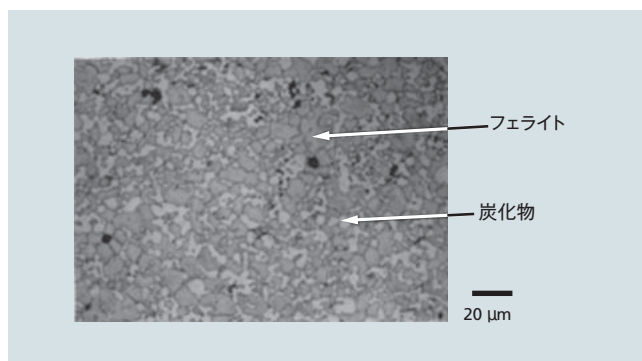


図4 | 耐熱・耐摩耗材料の金属組織
微細な炭化物が均一に析出しており、他工法では得ることが困難な組織である。

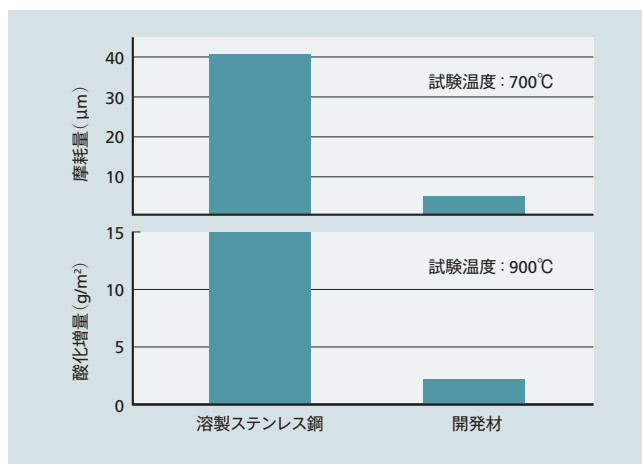


図5 | 開発材の耐摩耗性・耐酸化性
粉末冶金によって得られた開発材は、溶製ステンレス鋼に比べ、高温耐摩耗性と耐酸化性に優れることを示している。

である高Cr材は、約20%のCr鋼基材に面積比で約30%の炭化物が微細かつ均一に分散した特徴的な組織を有し、700°C以上の高温環境下において極めて優れた耐摩耗性・耐酸化性を示す²⁾ (図4, 図5参照)。この材料は、過給ガソリンエンジンに適用されており、信頼性と性能の向上に貢献している。

3. 電動化を支える材料技術

3.1 高性能モータ用巻線材料

HEVやEVの駆動モータには小型かつ高出力であることが求められるため、巻線の高占積率化とモータ駆動電圧の高圧化が進んでいる。

巻線の高占積率化に対応する巻線材料として、従来はエナメル皮膜表面の滑り性が良好で耐摩耗性に優れた高強度耐熱エナメル線が用いられてきたが、断面形状が丸いエナメル線では高占積率化に限界があるため、近年では平角断面のエナメル線が採用されることが多くなってきた。平角エナメル線では、導体のコーナー部も含んだ全周にエナメル皮膜を均一に形成することが、特性および信頼性の向上において重要な要素となる。そこで、皮膜の均一形成性に優れた新たなエナメル塗料と、その塗料に最適化した新たな塗布・焼き付け技術を開発することにより、従来になく均一なエナメル皮膜の形成を実現した。

一方、モータ駆動電圧の高圧化のためにインバータ制御が高圧化されると、サージ電圧による部分放電発生に起因する絶縁破壊の可能性が高くなる。部分放電による絶縁破壊を防止する手法としては、部分放電によるエナメル皮膜侵食を抑制することと、PDIV (Partial Discharge Inception Voltage: 部分放電開始電圧) をサージ電圧以上とし、部分放電自体が発生しないようにすることが考えられる。

前者に対しては、有機／無機ナノコンポジット絶縁材料を適用した耐インバータサージ性エナメル線を開発し、モータの信頼性向上に寄与してきた。この製品では、有機材料であるエナメル皮膜中にナノオーダーの無機粒子を均一に分散させており、部分放電によって発生した荷電粒子がその無機粒子を回り込むように有機材料に衝突する。そのため、沿面距離が長くなり、また、反射・散乱によって荷電粒子の衝突エネルギーが著しく減少し、エナメル皮膜の侵食が抑制される (図6参照)。

後者のPDIVを高くする手法としては、一般にエナメル皮膜を厚くすることが有効であるが、厚膜化した場合、エナメル皮膜の占める割合が大きくなり、占積率の低下につながる。そこで、同じ膜厚でもPDIVを高められる低誘電率の新規絶縁材料を開発することとした。材料の誘電率は次に記す(1)式で示されるClausius-Mossottiの式に従うた

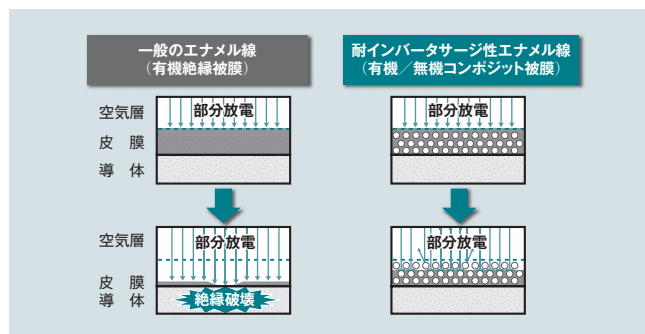


図6 | 部分放電侵食抑制手法の模式図

有機／無機コンポジット皮膜では、荷電粒子の衝突エネルギーが沿面距離の増大や反射・散乱によって著しく減少し、侵食速度を抑制できる。

め、モル分極率の低減、モル容積（自由体積）の増大を図ることで、低誘電率化することができる。

$$\epsilon \propto [1 + 2(P_m/V_m)] / [1 - (P_m/V_m)] \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 P_m :モル分極率

V_m :モル容積（自由体積）

開発にあたり、化学構造中のモル分極率に寄与する官能基に着目し、化学構造を見直すこととした。この官能基は耐熱性が高いという特徴を有するため、単純に官能基濃度を低減した場合、低誘電率化は図れるものの、同時に耐熱性が大きく低下する欠点があった。そこで、モル分極率を低減しても耐熱性の低下を最小限に抑えることが可能な化学構造を見だし、耐熱性を損なわずに低誘電率化を図った。

この開発で得られた低誘電率材料を被覆し、最外層にコイル巻線性を考慮した高耐外傷性自己潤滑ポリアミドイミドを被覆したエナメル線（KMKDF-24I）のPDIVは、日立電線株式会社の従来の汎用自己潤滑ポリアミドイミドエナメル線（AIW-A）のPDIVと比べて13%向上することを確認した³⁾。

3.2 HEV用軽量ハーネス

3.2.1 HEV用ケーブルのラインアップと特徴

HEV用のケーブルには、エンジン近傍の高温環境下での大電流に耐える高い耐熱性と、限定されたスペースにスムーズに配索できる可とう性（曲げに対する柔らかさ）が同時に要求される。さらに近年では、環境への影響を考慮し、塩素や臭素などのハロゲン元素を含まないハロゲンフリー耐熱ケーブルへのニーズも高まっている。

耐熱レベルはケーブル構成材料の耐熱性に大きく依存するものであり、独自の配合技術によって120℃～200℃までラインアップしている（図7参照）。

(1) 120℃耐熱ケーブル

架橋ポリエチレン系材料で構成される。

(2) 150℃耐熱ケーブル

エンジンルーム内での大電流通電に耐える耐熱性を有する。環境に配慮したハロゲンフリー被覆材料（A-PEX）で構成され、車両火災時の安全性を高めている。

耐熱レベル	品名	対応サイズ(mm ²)	ケーブル構造例	特徴
120℃	AEXEX-SB	3～70		絶縁体、シースに120℃耐熱の架橋ポリエチレンを使用している。
150℃ (ハロゲンフリー)	A-PEX-PEX	8～70		絶縁体、シースに耐熱性を150℃に上げたハロゲンフリー材料を使用し、エンジンルーム内での大電流通電に耐える。
200℃	A-LFF-F-SB	8～70		絶縁体、シースに「フロンレックス」を使用し、ATF、エンジンオイルなどの耐油性および耐熱性に優れる。
シース耐熱 100℃	AEXHV-SB	3～70		シースに耐熱ビニルを使用し、油から絶縁体を保護している。比較的安価である。
	A-PEX-SB	8～70		
	A-LFF-SB	8～70		

注：略語説明 ATF (Automatic Transmission Fluid)

図7 | HEV用シールドケーブルのラインアップ

耐熱温度、環境、コスト要求を考慮して各種ケーブルをラインアップしている。

(3) 200℃耐熱ケーブル

絶縁体とシースに、独自のフッ素ゴム被覆材料「フロンレックス」を使用している。ATF (Automatic Transmission Fluid)、エンジンオイルなどへの耐油性および耐熱性に極めて優れており、エンジンルーム内などの過酷な環境下でも安心して使用できる。

特に、環境に配慮した150℃耐熱のケーブルでは、エチレン系共重合体をベースポリマーとし、製造プロセスの最適化によって耐熱性と可とう性を高いレベルで両立した画期的な材料を開発し、絶縁体とシースに採用している。また、シースに耐熱ビニルを用いた安価品もラインアップしており、用途に応じたケーブルを提供している。

これらのケーブルは、いずれも大電流通電に必要な太径サイズにおいても柔軟性があり、複雑な配線レイアウトにも対応可能である。

3.2.2 小型・軽量化に貢献する接続技術

HEV用電源ハーネスの接続部には、ボルト締結による接続と着脱可能なコネクタが併用されている。HEV市場の拡大による生産台数の増加に伴い、ハーネスの組立工数を低減できる、取り付け作業性に優れたコネクタによる接続法が強く志向されるようになってきている。

従来のコネクタは、個々にばねが内蔵されたメス端子にオス端子を挿入する構造が多く採用されている(図8参照)。新たに開発した電源ハーネス用コネクタでは、メス端子とオス端子をともに平板形状とし、1つのばねで複数の端子に面圧を加えられる構造とすることで小型化を実現した(図9参照)。また、コネクタの接続後にばね力が加わる構造によって接続を容易にするとともに、ばね力を向上させることで高い耐振動性(ISO16750-3規格:耐振動性181 m/s²)を達成した。自動車の厳しい振動環境においても、安定した電気性能を維持することができる。

このように、耐熱性・柔軟性に優れたケーブルと信頼性・小型化を両立させたコネクタを組み合わせることにより、

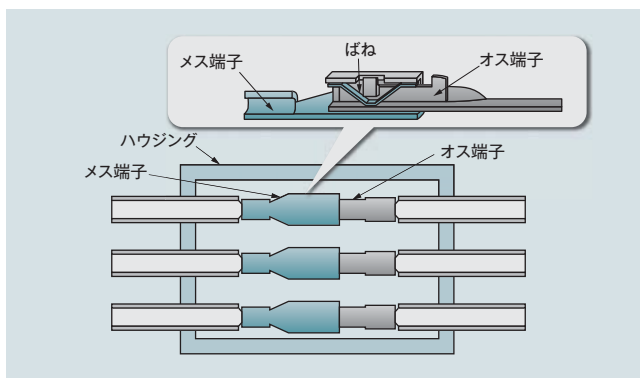


図8 | 従来コネクタの端子構造

メス端子内に内蔵したばねによって接触圧を加えている。個々のメス端子にばねを内蔵しているため、端子サイズが大きくなる。

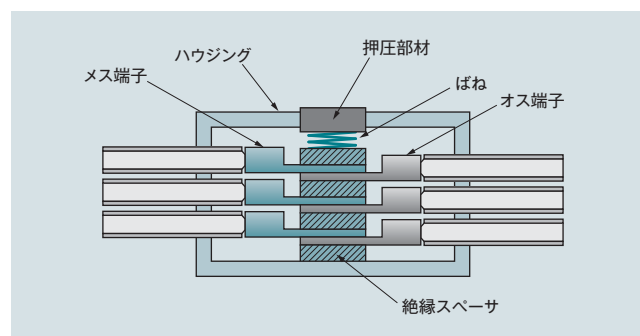


図9 | 小型コネクタの端子構造

オス、メス各平板状の端子を積層し、高荷重ばねで面圧を加えることで、小型でありながら高い耐振動性を備えている。

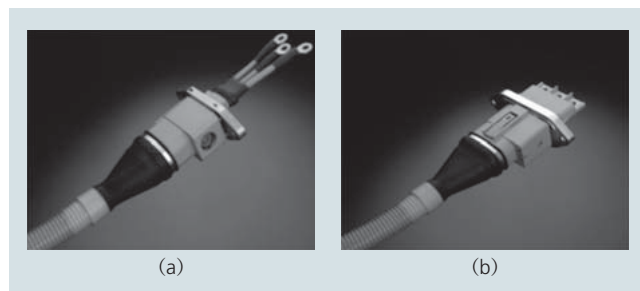


図10 | 電源ハーネス用小型コネクタ

ハーネスを接続する機器（モータ、インバータなど）の内部構造に応じて、ケーブル引き出しタイプ(a)と端子台タイプ(b)の2種類から選択できる。

これまで以上に取り扱い性に優れ、狭スペースでの配線が可能な電源ハーネスを提供している(図10参照)。

3.3 電動化関連コンポーネント

電動化を支える材料・コンポーネントには、上述のHEV用ケーブルのほか、リチウム電池システムやエンジン・変速機の制御装置用実装材料、インバータ用材料があるが、ここでは安全性や快適性の向上に貢献する、独自材料技術を用いたユニークな電動化関連コンポーネントを紹介する。

3.3.1 挟み込み防止センサー

日立グループは、ABS (Anti-lock Brake System) 用車輪速センサー、電動パワーステアリング用トルクセンサーなど、自動車の電動化を支える各種センサーを開発し、いずれも実車に適用されている。ここでは、日立独自の技術である電動ドア用挟み込み防止用センサーについて述べる。

挟み込み防止用センサーの構造および原理を図11に示す。このセンサーは電動スライドドアの側面に配置され、人体または物が接触してセンサーが押し潰れるとスイッチングによって開閉動作を停止する。

主な特長は、以下のとおりである。

- (1) センサー部全長において全方向からの検知が可能
- (2) 導電ゴムの中心に導体を配置しているため、長さ方向には安定した抵抗値を実現
- (3) 弾性ゴムおよび4条螺旋(らせん)構造により、配線

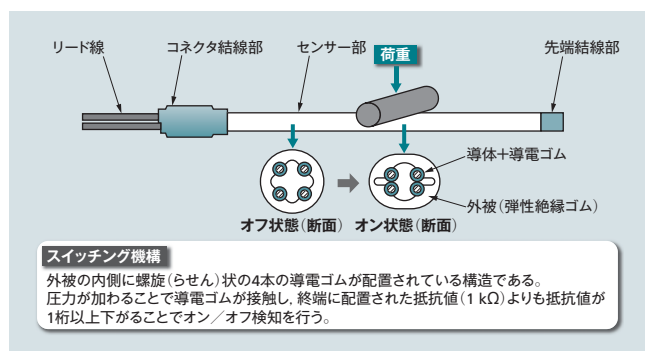


図11 | 電動ドア挟み込み防止用センサーの構造、原理

外被の内側に4本の螺旋（らせん）状導電ゴムを配置した構造である。外圧が加わった部分の導電ゴムが接触して低抵抗となるため、オン/オフ検知を行うことができる。

自由度が高く、個別仕様にも柔軟に対応

(4) 広い温度範囲で使用可能（-30℃～+80℃）

(5) 終端抵抗により、断線検知機能付きのフェールセーフ回路が可能

センサーを構成する導電ゴムと外皮絶縁ゴムは、以下のような要求特性を考慮して材料を選定した。

(1) 導電ゴム

最も重要な特性は低い体積抵抗率である。ベースゴムに導電性カーボンを添加していくと体積抵抗は低くなるが、コンパウンドの粘度が上昇して加工が困難になる。これらを両立するため、ベースゴム、カーボンの種類と添加量を検討して最適化した。

(2) 外皮絶縁ゴム

繰り返しのオン/オフ動作に対して、へたりや変形が生じない耐久性が必要とされる。また、応答性の面で柔軟であることも重要である。これらを満足するため、ベースゴムと充填剤を最適化した。

これらの材料の工夫により、低抵抗の導電ゴムと柔軟な外皮絶縁ゴムを組み合わせ、優れたスイッチング特性を得ることができた。このセンサーは、自動車用センサーとしてすでに多くの実績を有するが、そのほか各種自動開閉ドア、防犯用の侵入検知用センサーとしても有効であり、幅広い用途への展開を進めている。

3.3.2 アクティブ型調光フィルム

近年、断熱、遮光、遮蔽などの省エネルギー機能に加え、外光・室内光の透過率制御やプライバシー保護が可能な調光材のニーズが高まっている^{4), 5), 6)}。日立化成株式会社は、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。調光フィルムは、紫外線で硬化した調光エマルジョン層を対向する透明導電膜付きPET（Polyethylene Terephthalate）フィ

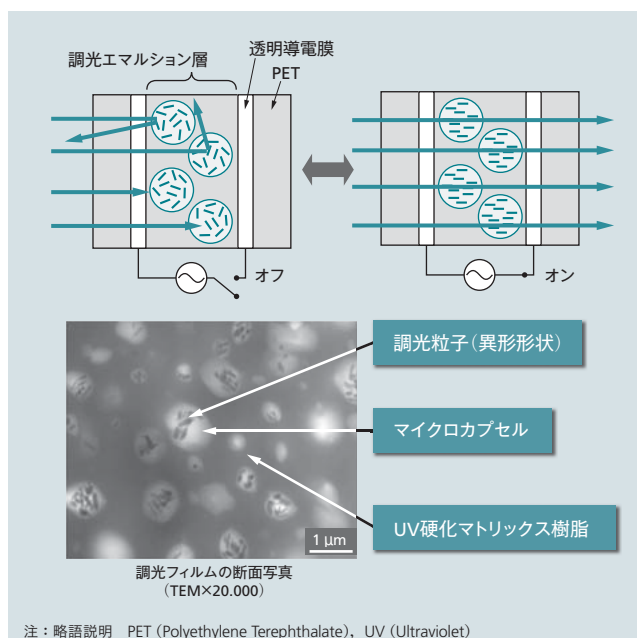


図12 | 調光フィルムの動作原理

交流電圧の印加によって異形状の調光粒子が電界方向に配向することで光の透過率を制御できる。

表1 | 調光フィルムの特性

低ヘイズ、低消費電力および低日射熱取得率により、省エネルギー効果が期待できる。

タイプ		濃色タイプ	淡色タイプ
膜厚		90～100 (μm)	60～70 (μm)
透過率	オフ	1 (%)	2～4 (%)
	オン (50 V/50 Hz)	25～35 (%)	50～60 (%)
	オン (100 V/50 Hz)	45～55 (%)	60～70 (%)
ヘイズ	オン (100 V/50 Hz)	≦6	≦6
消費電力	オン (100 V/50 Hz)	1.1 W/m ²	1.6 W/m ²
日射熱取得率*	オフ/オン (100 V/50 Hz)	0.44/0.69	0.47/0.72

*日本工業規格JIS R3106に準じた合わせガラスでの測定値

ルムで挟んだサンドイッチ構造である（図12参照）。対向する透明電極に交流電圧を印加することによって異形状の調光粒子の長軸を電界方向に配向させ、濃青色から透明状態に切り換えることがアクティブ型の調光フィルムの原理である⁷⁾。この調光フィルムはヘイズ^{※)}が小さく、可視光透過率を無段階に調整でき、さらに、消費電力が少なく日射熱取得率が小さいことから、省エネルギー効果を期待できる特徴を有している（表1参照）。

調光フィルムは、接着剤を介して合わせガラスの中間に配置した調光ガラスに加工される（図13参照）。調光ガラスは、調光フィルムの端部電極と接続された電源の交流電圧を調整することにより、可視光透過率を制御できる。また、合わせガラスの構成によっては可視光および熱線エネルギーを自由に制御でき、紫外線をほとんど透過しないため⁸⁾、自動車のルーフやリヤサイドガラスに適用され始め

※) フィルムの透明性に関する指標であり、不透明になる曇り度合い（濁度、曇度）を表す。

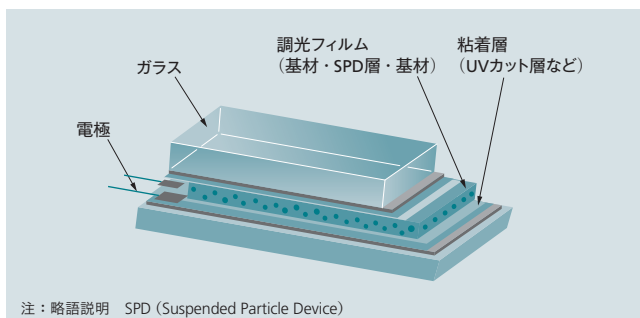


図13 | 調光ガラスの構造

調光フィルムは、接着剤を介して合わせガラスの中間に配置される。

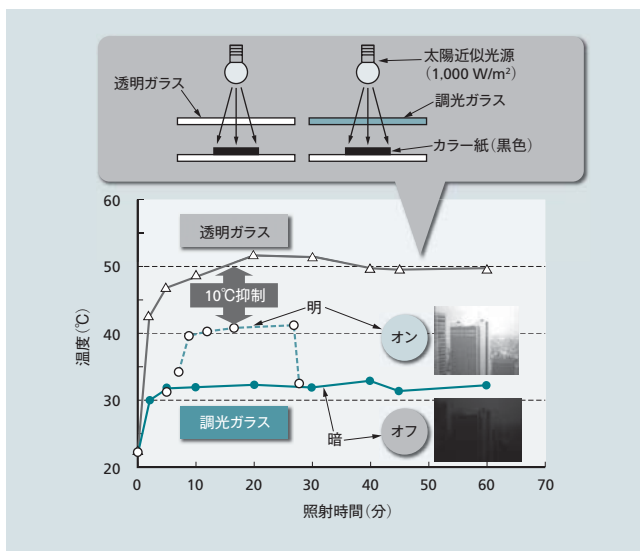


図14 | 調光ガラスの太陽近似光照射実験結果

透明時においても黒色紙表面温度を10℃抑制する効果がある。

ている。

自動車のルーフへの適用時の熱マネジメント効果を、簡易的な太陽近似光照射実験でシミュレーションした結果を図14に示す。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の表面温度は透明ガラスに比べて10℃低下し、オフ時で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と考えている。

開発した調光材はオフ時で濃青色であるが、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次世代調光フィルムのニーズが顕在化しており、現在、積極的に開発を進めている。

4. おわりに

ここでは、自動車の燃費向上と排気のクリーン化技術、電動化を支える材料技術について述べた。

日立グループは、自動車の電動化・クリーン化に貢献する材料技術として、ガソリンエンジン排気系用耐熱鋳鋼、

粉末冶金を用いた高強度材料や耐熱・耐摩耗材料、HEV・EV用軽量ハーネスを、また、電動化関連コンポーネントとして、センサー材料、アクティブ型調光フィルムを提供している。今後も、広い材料技術を生かし、次世代の高性能自動車の実現を支えていく。

参考文献

- 1) 筒井：構造材料の開発動向および今後の展望，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.7，p.2～6（2008）
- 2) 河田，外：耐熱・耐摩耗性焼結合金の最近の動向，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.6，p.2～8（2007）
- 3) 本田，外：EV/HEV駆動モータ用高PDIVエナメル線：日立電線，No. 32，p. 29～34（2013.1）
- 4) U.S. Department of Energy：Energy Efficiency and Renewable Energy, Building Technologies Program, “Technology Development in Support of Next Generation Fenestration”
- 5) 省エネを目指すスマートウィンドウの研究開発（米国），NEDO海外レポート，No.1060（2010.3）
- 6) 横山，外：省エネ型情報生活空間創生技術の技術戦略マップ，省エネルギー技術戦略2009，経済産業省 資源エネルギー庁 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，24～51（2009）
- 7) 東田，外：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，p. 7～10（2007.7）
- 8) M. Beevor: Smart Building Envelopes, 4th Year Project Report, University of Cambridge, Department of Engineering（2010.6）

執筆者紹介



石井 利昭

1989年日立製作所入社，日立研究所 材料研究センタ 有機材料研究部 所属
現在，車載電気電子機器の実装，材料技術開発に従事
工学博士，技術士（化学部門）
高分子学会会員，ACS会員



川畑 将秀

1989年日立金属株式会社入社，素材研究所 所属
現在，自動車用部品の開発に従事
日本鑄造工学会会員，日本鉄鋼協会会員



筒井 唯之

1987年日立粉末冶金株式会社入社，技術本部 材料技術部 所属
現在，粉末冶金材料の開発に従事
粉体粉末冶金協会評議員



加藤 幸一

1990年日立電線株式会社入社，自動車部品事業本部 自動車部品事業部 開発部 所属
現在，自動車用電装部品の研究開発に従事
電気学会会員



森下 芳伊

1984年日立化成株式会社入社，自動車部品事業本部 マーケティングセンタ 所属
現在，調光フィルムの製品開発に従事
高分子学会会員，応用物理学会会員