

# 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

Trends in Environmental and Energy-saving Technology for Automobiles and Corresponding Developments in Powder Metallurgy

石井 啓 Kei Ishii

自動車部品事業本部 粉末冶金事業部 粉末冶金開発部

中国およびインド、東南アジアを中心とする新興国でのモータリゼーションにけん引され、全世界の一次エネルギーの需要は、2030年には現在より40%増加し、石油の60%が自動車で消費されると予測されている。そこで、自動車メーカーは環境負荷の低減と化石燃料消費を最小限に抑えるために、環境・省エネ自動車の開発を加速しており、それに伴って、当社の粉末冶金製品も、お客さまの環境自動車開発に対応した製品が増えている。本報告では、自動車全般の動向と自動車メーカーの環境自動車の取り組みについて簡単にレビューし、後半で当社の粉末冶金製品の対応事例を概説する。

The motorization of society in China, India, Southeast Asia, and other emerging nations is driving a global increase in demand for primary energy. In 2030, this demand is predicted to be 40% greater than at present, with 60% of petroleum consumption predicted to be for automobiles. To decrease the environmental burden and minimize fossil fuel consumption, automobile makers are accelerating the development of environmentally friendly and fuel-saving automobiles. In response, more and more of our powder metallurgy products are supporting our customers' development of environmentally friendly automobiles. This report briefly reviews overall trends in the automobile industry and efforts by automobile makers to create environmentally friendly automobiles, while in the second half outlines examples of Hitachi Chemical powder metallurgy products that support these efforts.

## 1 緒言

自動車の普及・発展は、移動と輸送の手段を提供することにより、私たちの生活に利便性と豊かさをもたらしてきた。その一方では、化石燃料を大量に消費し、都市の大気汚染や温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の主要な排出源となり、地球環境へ大きな影響を及ぼしている。日本国内においては、京都議定書に基づき、地球温暖化対策として1990年度比で6%の削減が2008年より始まり、さらに2013年以降は、2020年に向けた各国の削減目標値の設定が義務付けられている。わが国全体のCO<sub>2</sub>量の17%が自動車から排出されており、その削減対策は一段と重要になってきている。

国際エネルギー機関“World Energy Outlook 2010”<sup>1)</sup>の報告によれば、全世界の一次エネルギーの需要は、これからのさらなる努力を怠れば2030年には現在より40%増加し、その主要因は、モータリゼーションの加速が著しい中国およびインド、東南アジアを中心とする新興国での石油消費の増大である。その中で、自動車が消費する石油は60%を占めると予想されている。

このような状況の中、自動車メーカーは、国際市場での生き残りをかけて、環境自動車に関連する技術開発への取り組みを加速している。

## 2 自動車市場の変化

### 2.1 自動車市場の二極化とさらなる成長

グローバルでの自動車市場推移は、2009年に中国が1,379万台を記録し、北米市場を追い越した。その時日本国内は800万台を下回った。今後は、欧州・日本・北米ではこれ以上の増加は見られず、先進国と新興国の自動車市場の二極化を呈しながら、中国およびインドなどの新興国市場の著しい伸びが予測されている。そして、乗用車だけで見ても、2010年には5,800万台、新興国伸張のけん引によって2020年には7,200万台、2030年には1億台を超える予測がなされている<sup>2)</sup>。

### 2.2 自動車の動力源の変化<sup>2)</sup>

日本は、先のコペンハーゲン合意(COP15)を受け、2020年に温室効果ガスを1990年度比25%削減する目標を提示した。そして、2008年のリーマンショックにより化石燃料は高騰し、さらに3.11震災時の原子力発電所事故により火力発電依存傾向が強まり、自動車用化石燃料の価格高値が続いている。これを契機として、ハイブリッド車(HV, PHV)、燃料電池車(FCV)、電気自動車(EV)などの開発が加速する一方で、従来の化石燃料エンジンの低燃費化も以前より増して注目されている。ガソリンエンジンは130年、ディーゼルエンジンも90年以上の長い自動車開発の歴史の中で、さらなる燃費改善の余地が多く残されているのは驚きである。

### 3 環境・省エネ自動車技術の動向

近年の環境・省エネ自動車の開発は、(1)従来の内燃機関の燃費向上、(2)省エネと環境保全を両立するEV、HV(PHV含む)、FCVなどの次世代動力自動車の開発、の2つの開発の流れが並行して進められている。表1に自動車における燃費改善技術動向と対応する粉末冶金製品を示す<sup>3)</sup>。主なキーワード技術は、軽量化、低フリクション、耐熱耐摩耗、断熱、低損失高効率の磁気部品であり、それらに対応する粉末冶金製品が環境自動車の開発に貢献している。

表1 自動車の燃費改善技術動向と粉末冶金製品の対応

Table 1 Technology trend of fuel economy improvement in the automotive industry 関連度 ◎強い ○弱い

自動車のシステム	環境・燃費改善技術	対象となる自動車				主な対象粉末冶金製品
		Gasoline	Diesel	HV(PHV含)	EV	
エンジン系	フリクション低減	○	○	○		構造用部品全般
	マルチバルブ(4バルブ)	◎	◎	○		バルブガイド、バルブシート
	可変動弁機構	○		◎		可変動弁機構部品
	電磁動弁機構	○				耐摩耗部品、焼結磁気部品
	直噴燃料噴射	◎				高効率インジェクタ用磁気部品
	多段燃料噴射		◎			高効率インジェクタ用磁気部品
	ミラーサイクル機関	○				
	排気ガス再循環(EGR)		◎			耐熱材料(ブッシュ)
	熱マネ(冷却損失低減)	○	◎	◎		断熱ポーラス金属部品
	熱マネ(熱電熱回生)	○	○	◎		熱電変換モジュール(システム)
ダウンサイジング・ターボ	◎	○			耐熱耐摩耗部品	
軽量部品	◎	◎	◎		高強度薄肉部品、樹脂複合部品	
補機系	電動パワステ	○	◎	◎	◎	モータ・コア(圧粉磁心)
	充電制御	○	○	○	○	
駆動系	アイドルニュートラル制御	○	○	○		
	自動変速機(AT)多段	○	○	○		インターナルギア、遊星機構部品
	自動変速機(AT)ロックアップ	◎	◎	◎		
	自動無段変速機(CVT)	◎	○	◎		インターナルギア、遊星機構部品
	セミオート変速機(AMT)	◎	○	○		シンクロ機構部品
	デュアルクラッチ変速機(DCT)	◎	◎	○		摩擦材料、クラッチ部品
燃料系	代替燃料(バイオマス燃料)	○	○			耐摩耗材料(バルブシート)、燃料ポンプ軸受
	アイドルストップ	◎	○	○		長寿命低フリクション軸受、高疲労強度ギヤ
EV、HVモータ	低フリクション、高効率モーター			○	◎	低損失モーターロータ
EV、HV電源制御系	高効率インバータ、低損失磁気部品			◎	◎	低損失磁気部品(リアクトル)

### 4 環境自動車への粉末冶金技術の対応

#### 4.1 従来の内燃機関自動車(化石燃料)の燃費向上

##### ●ターボチャージャー用部品(ダウンサイジング・ターボ)

自動車の環境対応技術の一つとしてターボチャージャー(以下T/C)の採用によりエンジンの小型化を図ったダウンサイジングエンジンの適用が拡大している。T/C用部品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鋼をベースとした材料が使用されている。焼結材料においては、材料設計の自由度の高さにより、さらなる性能向上を図ることが可能である。新たに開発された高Cr焼結材は、より高温環境下での使用を想定して開発された材料である。図1は高Cr焼結材EW-50の金属組織を示す。EW-50は約20%Cr鋼基材に面積比で30%のCr炭化物が微細かつ均一に分散した材料であり、700℃以上の高温環境下でも非常に優れた耐摩耗性、耐酸化性を示し、現在T/C部品への採用を展開中である<sup>4)</sup>。

##### ●小型・軽量部品

焼結材料の高強度化により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可能となる。高強度を得るための材料開発として、焼入れ性の高い合金元素の添加や、これら合金元素の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。添加元素には安全性、リサイクル性やコストを考慮した材料開発が必要であり、従来のNi系から安価な元素であるCr系に置き替わる新しい材料の開発が進められている。また、高密度化技術との組み合わせにより、溶製鋼に匹敵する焼結材料も実用化されている。図2に高強度材料を適用した自動車部品を示す<sup>5)</sup>。

##### ●低摩擦係数軸受(ISS用スタータ用軸受)

自動車の燃費向上技術としてアイドルリングストップ・システム(ISS)の搭載が拡大している。アイドルリングストップは、車速が一定速度を下回るとエンジンを停止させ、再びアクセルを踏み込むとエンジンを起動させるシステムである。そのため、スタータモーターにおいては、従来以上の耐久性とエンジンを再起動させた時の騒音の発生を抑制させる必要がある。スタータモーターに用いられる軸受には静粛性の向上のため、材料中に固体潤滑剤を分散させた銅系焼結軸受を開発し、摩擦係数および摺動音を低

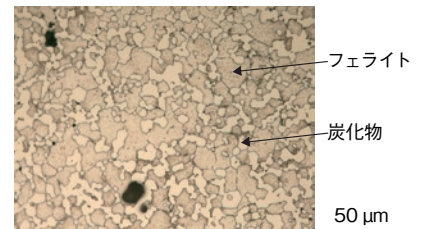


図1 高Cr耐熱耐摩耗焼結材料EW-50材の金属組織

Figure 1 Microstructure of high Cr content sintered material "EW-50" with high heat and wear resistance

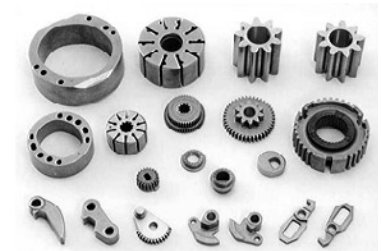


図2 高強度材料を適用した自動車用焼結部品

Figure 2 Sintered Products applied high strength material for automobiles

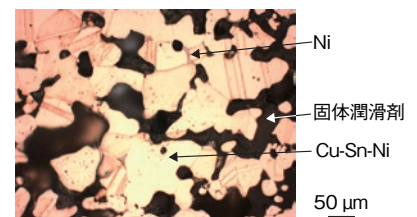


図3 低摩擦係数軸受KCR-1材の金属組織

Figure 3 Microstructure of low friction bearing material "KCR-1"

減した。図3にスタータモーターに使われている焼結含油軸受(KCR-1)の金属組織を示す。本材料は、モーターの信頼性向上および低騒音化に寄与している<sup>6)</sup>。

#### ●ディーゼルエンジン・インジェクタ用磁気部品(クリーン・ディーゼル)

ディーゼルエンジンの排ガス浄化には、燃料噴射弁を高速かつ高精度に開閉する機構が必要であり、そのソレノイド用磁気部品(ステータ・コア)に圧粉磁心を適用している。圧粉磁心は、100 μm程度の磁性粉末の表面を電気的に絶縁した原料粉末を圧粉成形し、焼結しないで使用される材料であり、交流磁場内での鉄損(熱損失)を低下させることが可能な材料である。図4は圧粉磁心材料の構造を示す。一般的に使用されている磁性材料(ソフトフェライト)は高周波領域でも鉄損が小さいが、磁束密度が低いため部品が大型になる欠点がある。また、電磁銅板の場合は磁束密度は高いが、高周波領域では鉄損が大きくなり適用できない。圧粉磁心はこれらの両磁性材料の欠点を補うことが可能である。図5は圧粉磁心材を適用したディーゼルエンジンのコモンレールシステム用インジェクタに使用されている電磁弁用ステータ・コアを示す<sup>7)</sup>。

#### ●FFV用動弁系部品

FFV(Flexible Fuel Vehicle)エンジンは、ガソリンからの代替燃料であるバイオエタノールや天然ガスなどを燃料として使用するため、燃焼がクリーンである一方、バルブシートとバルブの金属接触の発生頻度が高く、凝着摩耗が発生しやすい環境となる。そのため、バルブシートには高い耐摩耗性が要求される。FFV用のバルブシート材として開発したEH-51Hの金属組織を図6に示すが、基底に分散させる硬質粒子の種類や添加量の最適化および固体潤滑相の分散によって耐凝着性を向上させており、優れた耐摩耗性を発揮する<sup>8)</sup>。

#### ●エンジンの断熱用ポーラス金属部品

近年、自動車の燃費を向上させるための各種熱マネジメント材料に注目が集まっている。当社では、従来の粉末冶金法では作ることができなかった超高気孔率のポーラス金属を開発した。図7にSUS316L(オーステナイト系ステンレス)製ポーラス金属の例を示す。大小二種類の気孔を有する二元細孔構造を特徴とし、最大95%の気孔率を設定することができる。大きな気孔が連続した開気孔タイプは熱交換材料として、気孔を独立させた閉気孔タイプは断熱材として使用することが可能である。後者の閉気孔タイプの材料は、内燃機関内の温度を維持し、エンジンの高効率燃焼に寄与することができる。

### 4.2 次世代動力自動車への対応

#### ●HV, EV用磁気部品(モーターコア)

粉末冶金法で作られる磁気部品は、三次元の磁気回路を容易に構成できる特徴を有していることから、自動車の電動化に伴う磁性材料のニーズへの対応に最適である。焼結体の直流磁気特性は、主に材料組成、焼結体密度および結晶粒径により決定づけられる。純鉄の焼結体は高い磁束密度を示し、この磁束密度は純度と密度に強く関係し、高純度の鉄粉を用いた高密度焼結体は高磁束密度を得ることができる。図8は、HV用モーターのローターコアで、外周部に純鉄の焼結磁心が用いられている。内側部分はモータートルクを直接シャフトに伝達するため高強度が必要となり、Fe-Ni-Cu-C系材料で構成し、焼結拡散接合により一体化している<sup>9)</sup>。

#### ●HV, EV用磁気部品(電源用リアクトル)

昇圧機能を搭載したHV/EV用に搭載されるインバータ用リアクトル・コアには、ヒステリシス損を低減した損失の少ない材料が求められている。ヒステリシス損の低減には、高温の熱処理によるゆがみの除去が有効であり、原料粉末表面の皮膜

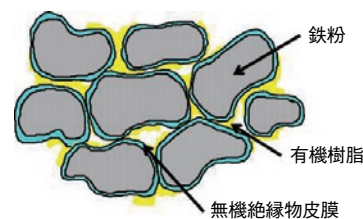


図4 圧粉磁心材料の構造  
Figure 4 Schematic structure of soft magnetic components (SMC)



図5 ディーゼルエンジンのインジェクタ用ステータ・コア  
Figure 5 Fuel injector stator core of diesel engine

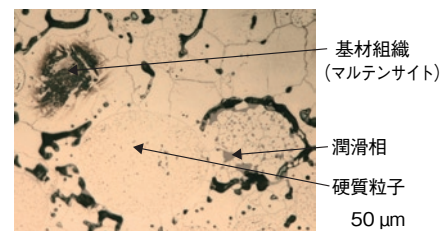


図6 FFV用バルブシート材の金属組織  
Figure 6 Microstructure of valve seat material "EH-51H" for FFV

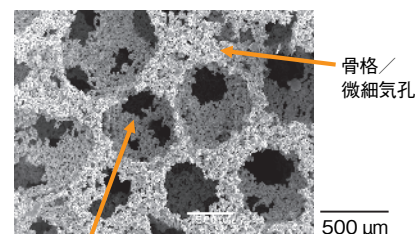


図7 ポーラス金属の二元細孔構造  
Figure 7 Dual porous structure containing coarse and fine pores of porous metal

に用いられる耐熱樹脂の高温安定化の開発が必要である。図9にHVリアクトル・コアの外観を示す。このコアは、高磁束密度と低損失を両立させることによりHV/EVのみならず、太陽光発電、エコキュート、風力発電などの電源インバータへの搭載も可能であり、自動車と非自動車分野で幅広い適用が期待されている。

### ● 廃熱回生用熱電変換モジュール

熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換することができる熱電変換技術は、シンプルな構造と設置のし易さから自動車や工業炉の廃熱回生技術として期待されている。粉末冶金法により作製することにより、熱電材料の高性能化に必要な結晶粒微細化による熱伝導率の低減(フォノン散乱)が可能となる。それらを低環境負荷材料であるSiGe、Mg<sub>2</sub>SiおよびMn<sub>1.8</sub>Siで実現し、実用域の性能指数であるZT=1.0以上の熱電素子開発をめざしている。図10に気密ケース入り熱電変換モジュールを示す。気密ケースに減圧封止することで、モジュールとケースの接触熱抵抗が低減されるとともに高温酸化や腐食雰囲気での使用を可能としており、自動車の廃熱を電力へ回生し、燃費を向上させる技術として大いに期待されている<sup>10) 11)</sup>。

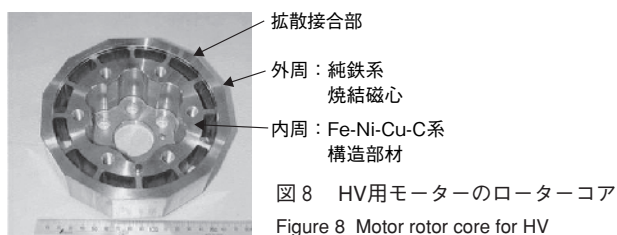


図8 HV用モーターのローターコア  
Figure 8 Motor rotor core for HV

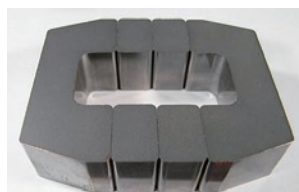
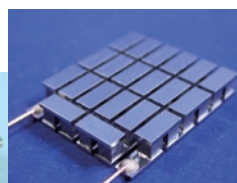
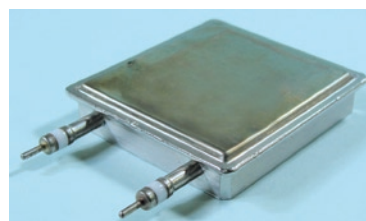


図9 高耐熱皮膜を施したHV用リアクトル・コア  
Figure 9 Reactor core for in-car inverter system using heat-resistant film



SiGeモジュール (内部)

図10 SiGe熱電変換モジュールと気密ケース入りモジュール  
Figure 10 SiGe thermoelectric and encapsulated modules

## 5 結 言

自動車市場は、これまでの長い歴史において幾度かの試練を乗り越えながら成長してきた。今後も、新興市場での伸長に合わせ生産地と生産方式を変化させながら成長を続けると同時に、化石燃料自動車の低燃費化技術が極限まで追求され、そして、HV、EVなどの次世代動力車に大きく変革していく時代が、これから20年の自動車の歩みであると考えられる。自動車部品のサプライヤーである当社は、改めて自動車の目的である「快適に速く」「意のままに安全に」「地球に優しく」というキーワードを考え、これからの自動車技術開発のニーズをいち早く察知して、市場に喜ばれる新商品開発をしていきたい。

### 【参考文献】

- 1) IEA資料 <http://www.iea.org/weo/2010.asp>.2010
- 2) 経済産業省「次世代自動車戦略2010」平成22年4月発行
- 3) 2010年度乗用車等の燃費基準 <http://www.meti.go.jp/feedback/data/iscar00j.html>, 経産省, 国交省, 2010年
- 4) 河田英昭, 眞木邦雄: “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(2007) pp.2-8
- 5) 筒井唯之: “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(2008) pp.2-6
- 6) 柳瀬剛: “高負荷条件で使用可能な青銅系軸受の開発”, 日立粉末冶金テクニカルレポート, No.6(2007) pp.22-26
- 7) 石原千生, 濱野礼, 濱松宏武, 赤尾剛: “ディーゼルエンジン向けインジェクタ用電磁弁部品の開発”, 粉体および粉末冶金, 第59巻, 第5号(2012) pp.249-253
- 8) H.Kawata, K.Maki: “Development of High Performance Valve Seat Insert Materials for Heavy Duty Engines”, SAE Technical Paper 2006-01-0394
- 9) 浅香一夫, 石原千生: “軟質磁気部品・材料の技術動向”, 日立粉末冶金テクニカルレポート, No.4(2005) pp.5-9
- 10) Jinushi, Okahara, Ishijima, Shikata, Kambe, Progress in Powder Metallurgy (2-Volume set): proceedings of the PM2006 powder Metallurgy World Congress, “DEVELOPMENT OF THE HIGH PERFORMANCE THERMOELECTRIC MODULES FOR HIGH TEMPERATURE HEAT SOURCES”
- 11) 伊藤, 地主, 石島: 第九回日本熱電学会学術講演会(TSJ2012)講演概要集: “有限要素法に基づく熱電モジュールの発電シミュレーションと発電性能に及ぼすp-n素子形状の影響”