解説 Review 説

自動車用鉄鋼材料の現状と今後の展望

馬来義弘 *

Current Status and Future Trend of Automotive Ferrous Materials

Yoshihiro Maki

Synopsis

In order to survive a severe competitive environment that now faces automotive industry, the companies are required to solve, with speed and sincere efforts, the issues of enhanced charm of vehicle as a merchandise and environmental coping, that may interfere each other. In the present paper, automotive materials technology, which is one of key technologies to solve the above issues, especially those related to ferrous materials including mainly sheet steels and structural steels, has been briefly reviewed, and prospect and expectation for next stage technology was described as well with inclusion of personal view. With the efficiency of research and development investment evaluated more tightly than before, important points to be taken into account in the course of research and development with respect to automotive materials have also been

1 . はじめに

はじめに自動車業界は、国内景気の低迷による販売台数の減少、グローバルな観点での業界再編成の動き、などの厳しい競争環境の中に置かれている。この競争に勝ち残るには、クルマに求められる機能、すなわち“お客さまにより魅力的な自動車をリーズナブルな価格で提供する”と同時に“人や社会、環境に対して与えるマイナス影響を最小限にする”ことをスピーディにかつ真摯に実現していくことが求められている。

そこでここでは、自動車の商品としての魅力の追求と環境問題への対応という、ある意味では相反する面も有する課題に視点をおきつつ、課題解決のキーテクノロジー

のの一つである自動車用材料、中でも使用量の大部分を占めている鉄鋼材料の現状と今後の展望についてふれてみたい。

2 . 自動車の主な構成材料の推移

はじめに自動車用材料の全体像を把握するため、主な構成材料のこれまでの推移と今後の予測について概略を述べる。

まず国内の普通・小型乗用車の材料構成比率の現在までの推移を図1に示す¹⁾。この図から明らかなように、主役の鉄の構成比率はここ25年間減少傾向が続いている。ただし、鉄全体としては減少傾向にはあるものの、高張力鋼板や防錆鋼板などの付加価値を高めた鋼板の比

1998年9月4日受付

* 日産自動車（株）総合研究所 材料研究所長（General Manager, Materials Lab., Nissan Motor Co., Ltd.）

図1 自動車の主な構成材料の推移
率は高まってきている。

アルミニウムについては、1980年代後半から最近にかけて軽量化による車の高性能化が進められ、エンジンブロックやラジエータのアルミ化だけでなく、一部の車種でアルミ展伸材や鍛造材の部品適用なども進んだ結果、急速に使用量が伸長するに至っている。

樹脂については、1980年代半ばまでは大変高い伸び率を示していたものの、1990年代に入ると伸びの停滞が続いている。この理由としては、車室内の目に見える部分のほとんどが既に樹脂材料に代替されていることから容易に推測できるように、樹脂ならではの部品が現状の技術レベルでは残り少なくなって来たことがあげられる。

一方、将来の材料構成推移予測の代表例として、Michigan大学のDelphi- で実施された北米生産乗用車の材料使用量増減予測の結果を表1に示す²⁾。

今後の燃費規制動向による変動要因はあるが、全体的な傾向として鉄の比率は更に減少を続けるものの主役の地位は相変わらず確保している。アルミニウムの使用量は引き続き着実に増加するものと予測されており、また樹脂についても、アルミニウムよりも若干伸びは低い

表1 北米生産乗用車の材料使用量増減推移予測

	現行車重量 (kg)	材料使用量増減推移		
		2005年		
		2000年	30 mpg	35 mpg
CAFE値シナリオ	27.5 mpg	27.5 mpg		
鋼	788.3 kg	-3 %	-6 %	-10 %
鑄鉄	184.2	-10	-15	-20
アルミ	82.6	10	15	25
樹脂	111.1	5	10	15
銅	19.1	-1	-5	-10
亜鉛	15.0	-2	-5	-6
マグネ	2.3	50	90	175
ガラス	40.4	0	0	0
セラミックス	0.9	0	8	10
粉末冶金	12.2	5	10	12
ゴム	60.8	0	0	-1

技術の進展などにより新規部品への適用拡大が図られるであろうとの予測である。またマグネシウムについては、現状の使用量は少ないものの、軽量化効果の大きな金属として今後部品適用が急速に進展する可能性が高いことを示している。

3. 自動車用鉄鋼材料の現状と今後の展望

表1に示したように鉄の構成比率は徐々に低下していくものの、安価で使いやすい鉄の主役の座は当面揺るがないものと思われる。そこで重要となるのが、主役である鉄をいかにしてうまく使いこなすかということである。鉄は材料としての歴史も古く、既に完成された材料であるように思われがちであるが、材料開発はもちろんのこと、工法開発もセットで考えると、まだまだ研究開発が必要とされる部分も多く残っている。そこでこの章では、鋼板、構造用鋼、ステンレス鋼、焼結合金、の現状を概括すると同時に、今後の展望と期待について私見を混じえて記述したい。

3.1 鋼板

3.1.1 高成形性鋼板、高張力鋼板

(1) 車体用高成形性鋼板、高張力鋼板

1990年代に入りCAFE規制強化の動きに連動し、既存の自動車用鋼板のかなりの部分がアルミや樹脂に代替されるのではないかと危機感をバネとして、各種高強度鋼板の開発が盛んに進められた。中心となる車体用鋼板の更なる軽量化に対しては、図2に示す方策が考えられたが、多くの制約条件を克服する必要があった³⁾。

図2 車体パネルの軽量化シナリオと制約条件

車体外板パネルのうち、サイドパネルとクォーターパネルには、降伏応力が低くかつ r 値の高い超深絞り用鋼板が使用されている。また部品点数を削減するため、例えばサイドとクォータの両パネルを一体化し6部品を1部品としたような大物部品の一体成形もなされている⁴⁾。さらに今後の超深絞り用鋼板として、 r 値で3.0超、伸び60%超の特性が期待されている。またドアやフードには、耐デント性（耐へこみ強度）向上を目的に焼付硬化性鋼板が使用されている。しかしクォーターパネルなどの大物部品は、まだ成形性の限界から焼付硬化性鋼板はほとんど使用されておらず、できるだけ低い母材降伏点の材料で常温時効硬化しにくくかつ焼付硬化量80～100 MPaを有する材料の開発が期待される。一方、内板パネルは一般に厳しい塑性加工が行われることが多いことから、成形性と軽量化を両立させるために390 - 440 MPa級高 r 値の高成形性高張力鋼板が使用されはじめている。

フロントサイドメンバーやボディサイドメンバーは、近年の米国、欧州、日本の衝突安全に関する法規制強化やお客さまの要求レベル高度化への対応のため、高張力鋼板の適用が盛んに検討されている。高張力鋼板の場合、図3に示すように軟鋼板に比較すると静動比＜高速引張試験のTS / 静的引張試験のTS＞が低下するするため⁵⁾、

図3 最大塑性流動応力の静動比と静的引張強さの関係

実際の衝突時である 10^3 / secレベルの高速変形時のエネルギー吸収量は静的引張強度の向上代に比べるとかなり低下してしまう。ここ数年この静動比を高めた鋼板の開発が盛んに行われ、引張強さ590 MPa級で静動比1.4程度の残留オーステナイト(TRIP)鋼板やデュアルフェーズ(DP)鋼板の実用化が進められている。ある試算によれば、

従来の370 MPa級・静動比1.2の鋼板では板厚2.0 mmが必要なフロントサイドメンバーが、590 MPa級・静動比1.4のDP鋼板を使用した場合は板厚1.7 mmで済むと推定され、約15%の軽量化が可能となる⁶⁾。

ドアガードバーやインバクトビームのような側面衝突時の安全性向上が求められる部品については、これまで1470 MPa級の電縫鋼管が主流であったが、最近では1200 MPa級の鋼板製のものも使用されている。また1200 MPa級で非熱処理型の溶接鋼管で焼付硬化性により曲げ変形時の吸収エネルギー量を向上させた鋼板も提案されている⁷⁾。またバンパーのレインフォースメントとしても980 - 1200 MPa級の鋼板が使用されている。

1000 MPaを超えるような超高強度鋼板の場合、使用方法を間違えると遅れ破壊が生じる可能性がある。この遅れ破壊の防止には水素トラップサイトを制御することが必要で、炭化物の制限⁸⁾や残留オーステナイトの制限⁹⁾がなされている。また鋼板側の改良だけに頼るのではなく、部品加工時の冷間加工率の制御や部品そのものの応力集中係数の制御などきめ細かな配慮をすることが必要とされている。

材料そのものの高強度化だけに頼るのではなく、テラードブランクや部品の局部熱処理による強化技術など、素材のハイブリッド化や成形後に鋼の特性を引き出すような工夫も盛んに行われている。テラードブランク法は当初は材料歩留り向上などのコスト低減を目的とした適用が多かったが、今後は軽量高性能車両の製造方法として更なる適用拡大が期待される¹⁰⁾。局部熱処理による強化技術の適用例としては、高周波焼入れによるセンタービラーレインフォースメントなどの強化や¹¹⁾、レーザー焼入れによるフロントサイドメンバーの強化などが報告されている。中でもレーザー焼入れによる部材の部分強化手法は、車体部品以外にも広い応用範囲が考えられ、今後更に検討が進むものと思われる。

またレーザーは車体溶接への応用も進んでおり、既に一部ではルーフの接合に実用化されている。レーザー溶接は連続溶接のためスポット溶接に比較すると接合強度が高いだけでなく、車体剛性も高められるメリットを有する。特にYAGレーザーは、溶接ロボットと組み合わせることにより車体の3次元連続溶接が可能であることから、今後の発展が大いに期待される。

なお、車体用鋼板の項の最後にULSAB (Ultra-Light

表2 ULSABホワイトボディ試作結果

	比較車	参照車	目標値	ULSAB(1)	ULSAB試作	対比較車
ホワイトボディ重量(kg)	271	250	200	205	203	-68
ねじり剛性(Nm/deg)	11531	13000	13000	19056	20800	9269
曲げ剛性(N/mm)	11902	12200	12200	12529	18100	6198
1次固有振動数(Hz)	38	40	40	51	60	22
部品点数(個)	195	200		169	158	-37

Steel Auto Body) プロジェクトについても述べておきたい。ULSABプロジェクトは、現在既存の最先端の技術を用い、部品相互の相関性まで考慮した車両全体にわたる軽量化設計 (Holistic Design) を行うことにより、剛性や衝突安全性を損なうことなく鋼製ホワイトボディを軽量化・低コスト化できることを実証することを目的としている。実際の試作ホワイトボディは、高張力鋼板の積極的な採用、テーラードブランク鋼板の大量採用、レーザー溶接の多用、などにより、表2に示すように、比較車に比べて約25%の軽量化を達成している¹³⁾。剛性も同等以上、衝突安全性も確保されており、またコストもある前提条件のもとではあるものの、ポテンシャルとして従来の車体構造に比べて必ずしも割高にはならず製造可能との試算もなされている。ULSABはこのまま実用化するにはまだまだ検討を要する点はあるものの、近い将来の車体構造、材料、工法の方角性を示すという意味では評価される成果が得られているものと思われる。

(2) シャシー用高張力鋼板

シャシー用高張力鋼板の代表例として、ホイール用とサスペンションアーム用の鋼板の現状と今後の進展について述べる。

従来ホイール用に用いられてきた熱延鋼板は、ほとんどが590 MPa級以下の強度レベルであったが、近年軽量化への対応のため780 MPa級の高強度熱延鋼板が使われ出している。この780 MPa級の高張力鋼板を用いたホイールは590 MPa級の高張力鋼板を用いたホイールに比べて約10%の軽量化を達成しており¹⁴⁾、今後ホイール以外の他のシャシー部品などの軽量化に向けての適用拡大が期待される。

サスペンションアーム類には2.6 mm - 3.2 mm厚の熱延鋼板を打抜き加工、各種成形加工、溶接 (アークorスポット) して使用される。また軽量化のために穴広げ加工性の良い490 - 780 Mpa級の高張力鋼板の適用や、打抜き後の疲労限を高める打抜き法や液圧バルジ加工の適用なども検討されている。特に液圧バルジ加工は、軽量化とコスト低減を両立させる加工法として、シャシー部品だ

けでなく広く適用検討が進むものと思われる。

3. 1. 2 防錆鋼板

(1) 車体用防錆鋼板

現在使用されている防錆鋼板の代表的な例を図4¹⁵⁾に示す。これらの防錆鋼板の中でも日本では図5¹⁶⁾に示すような変遷を経て、現在は合金化溶融Znめっき鋼板 (以下GAと記す) と薄膜有機複合鋼板 (以下Duraと記す) が主に用いられている。また海外ではこの他に厚目付純Zn電気めっき鋼板や純Zn溶融めっき鋼板も使用されている。

	純Znめっき鋼板	Zn-Ni合金電気めっき鋼板	2層Zn-Fe合金電気めっき鋼板	合金化溶融Znめっき鋼板	薄膜有機複合鋼板
めっき層構造	Zn	Zn-11%Ni	Zn-80%Fe Zn-15%Fe	Zn-10%Fe	有機樹脂 クロメート Zn-11%Ni
めっきプロセス	電気めっき 溶融めっき	電気めっき	電気めっき	溶融めっき	電気めっき

図4 実用化されているめっき鋼板

図5 防錆鋼板の変遷

GAは目付け量としては一般的には45 - 60g/m²程度のもものが多く用いられており、Zn-10%Fe層の上層に、主にカチオン電着塗装時のクレーター防止とプレス成形時のすべり性改善のため、80%Fe-Zn層あるいは99%Fe-P層めっきを施した2層タイプも使用されている。しかしこの2層タイプはコストアップに繋がることから、カチオン電着電圧の精密制御、Zn-Fe合金層の性能向上、潤滑処理の開発、などの単層化の検討が進んでいる。

DuraはZn-Ni合金電気めっき層20 - 30g/m²の上にクロメート層50mg/m²、樹脂層1ミクロン厚を有するめっき鋼板である。このDuraは、防錆性能、成形性、溶接性のバラ

ンスに優れ、特に合せフランジ部で内部の電着塗装しにくい部位での耐食性に効果を発揮するが、単層GAに比較すると海外での調達性（特にコスト）の面で不利な要素がある。

車体用防錆鋼板は、鉄鋼メーカーでの表面処理鋼板の生産設備や、自動車メーカーでの防錆の考え方や製造設備との関係もあり各種の防錆鋼板が使われてきた。しかし今後は、極低炭素鋼板の技術進展なども考慮すると、焼鈍とめっきが一体になった安価で海外調達性に優れた単層GAへの統合が加速していくものと思われる。しかし現状の単層GAは2層GAやDuraに比較すると多少問題が内在しているのは前述した通りであり、今後更なる合金化被膜の特性向上技術の確立が強く要望される。

(2) 燃料タンク用防錆鋼板

車体用防錆鋼板以外の防錆鋼板の代表例として、最近環境対応の面で注目を浴びている燃料タンク用防錆鋼板についても述べておきたい。日本では燃料タンク用として多層プラスチックとPb-8%Sn合金めっき鋼板（以下ターンシートと記す）が主に用いられている。

多層プラスチックは形状の自由度が大きいという長所を有するが廃棄物リサイクルの問題がある。一方ターンシートは、1996年4月から廃車シュレッダーダスト中に含まれるPbの規制値が以前の1/10の0.3 ppmに強化されたことに伴い、通産省がバッテリーを除く新型車のPb使用量を2000年末までに現状の1/2、2005年末までに1/3にする数値目標を設定したことにより、ターンシートから非Pb系めっき鋼板への代替の動きが一挙に加速しつつある。ターンシートならびに非Pb系代替候補材料の代表例を図6¹⁷⁾に示す。

Al-10%Siめっき鋼板はドイツや日本の一部車種で使用されているが、まだ生産上の課題も多いとされている¹⁸⁾。米国ではアルコール含有燃料や劣化ガソリン対応の観点から図6の中のドロロフォーム（商品名）¹⁹⁾が多く使用されているが、樹脂層が10ミクロンと比較的厚いことか

<div>Pb-8%Sn 40g/m²</div> <div>Ni 1g/m²</div> <div>Fe</div>	<div>Al-10%Si 30g/m²</div> <div>Fe</div>	<div>Chromate 50-150mg/m²</div> <div>Zn-12%Ni 20g/m²</div> <div>Fe</div>	<div>Lubricant Al-rich Epoxy Paint 10 μm</div> <div>Chromate 10mg/m²</div> <div>Zn-12%Ni 30g/m²</div> <div>Fe</div>
Turn Sheet	Al-Si Coated	Thick Chromate Coated ZnNi	Prepainted (Dorriform)

図6 燃料タンク候補材の皮膜構造

ら溶接上の問題が生じ易いとされており、最近日本でもこの樹脂層に改良を加えた製品が開発されている。いずれにせよ、脱Pbという環境問題をきっかけとして、ターンシート代替材料として各種の鋼板が開発されてきているが、製造上の問題を含めてまだ改善を進めて行く必要があるものと思われる。中でもコスト、グローバル調達性の両面で有利なAl-Si系めっき鋼板の改良に対する期待が大きい。

3.2 構造用鋼

3.2.1 非調質鋼

(1) 熱間鍛造用非調質鋼

非調質鋼を大別すると図7²⁰⁾に示すように、熱間鍛造

図7 非調質鋼の種類

用非調質鋼、冷間鍛造用非調質鋼、直接切削用非調質鋼に分類される。この中の熱間鍛造用非調質鋼のうち、基本型非調質鋼はクランクシャフトやコンロッドなどのエンジン部品、ホイールハブやロアアームなどの足回り部品を中心に現在非調質鋼の中でも最も多量に使用されている。しかしこの基本型非調質鋼は調質鋼に比べ衝撃値が低く、衝撃荷重がかかる部品への適用には限界があった。そこで開発されたのが高靱性型非調質鋼で、これはナックルアームやフロントアクスルビームなどの足回り部品に多く用いられている。また高強度型非調質鋼は、非調質鋼部品の軽量化や合金鋼を調質して使用されている部品のコスト低減を目的として開発されており、高耐力、高疲労強度が要求されるコンロッドや足回り部品に使用されている。高強度・高靱性型非調質鋼は、引張強さが900 Mpa以上でかつ優れた衝撃特性が要求される部品への適用を狙って開発されたもので、ナックルスピンデルなどの足回り部品の他に高性能エンジンのコンロッドにも使用されている。

なお、最近基本型非調質鋼のVを抜いた炭素鋼ベースの低廉型非調質鋼も開発されている。この低廉型開発鋼はC量は0.4%に抑えてCrを0.2%から0.3%に増量添加した

ものである．図8²¹⁾に示すように本開発鋼をクランクシ

図8 フィレットロール荷重とピン疲労強度の関係

ャフトに適用した場合，硬さはV添加の基本型非調質鋼に比較すると当然HRCで10程度低下するものの各部の必要強度の詳細を明確化し，例えばピンおよびジャーナル部の疲労強度はフィレットロール加工条件の見直しで対応するなどの手だてを打つことにより解決している．従来，材料原低といえは，強度など性能低下のない材料への変更があくまで基本であったが，これは設計 生産のサイマルな連携によってスペックを見直すことにより解決できた良い事例であり，今後はこのようなサイマル的な材料開発が大きな効果をあげていくものと思われる．

(2) 冷間加工用非調質鋼

冷間加工後の再加熱焼入れ・焼戻し処理の省略を可能とした冷間加工用非調質鋼として，冷間鍛造用非調質鋼と冷間圧造用非調質鋼がある．

冷間鍛造用非調質鋼は，冷間鍛造性を低下させるC，Si，Sの量を低減し，冷間加工時の加工硬化と，冷間鍛造性に影響が少ないBを添加して高周波焼入れ性を改善することにより必要な強度特性を確保するとともに，冷間鍛造前の球状化焼なまし処理も省略可能としている．この鋼は既にリアスピンドルなどの足回り部品に使用されている．

冷間圧造用非調質鋼は，冷間圧造性を改善するためにC量を低減し，更に高Mn化により低炭素化による強度低下を抑えたもので，非調質ボルト用線材とも呼ばれ，7T - 10Tのスタッドボルトや7 - 8TのUボルト，六角ボルト

に一般的に用いられている．

(3) 直接切削用非調質鋼

直接切削用非調質鋼は，中炭素鋼にV少量添加と制御圧延を施すことにより，圧延のままの状態焼入れ・焼戻し処理材と同等の強度特性を確保している．最近のこの鋼の興味ある適用例としてステアリングラックがあげられる．従来ステアリングラックは，S40Cなどの調質した炭素鋼材を切削加工し更に高周波焼入れを施す工程が一般的で，強度と生産性の両立が難しく非調質鋼化が困難とされていたが，表3に示すように，C，Mn，Cr，V量の組み合わせを最適化²²⁾することによりこの両立を可能とし非調質鋼化を実現している．

表3 ステアリングラック用切削型非調質鋼の化学組成

	C	Si	Mn	Cr	V
開発鋼	0.40	0.25	1.10	0.50	0.15
S40C	0.40	0.25	0.70	-	-

3.2.2 高強度鋼

(1) 歯車用高強度鋼

歯車の高強度化に対する要求は大きく分けて，疲労強度，衝撃強度，および面圧強度の3つがあげられる．このうち疲労強度と衝撃強度については，高強度歯車用鋼の開発やハードショットピーニング技術の進展，などによりここ15年間で大幅な向上が図られてきた．

高強度歯車用鋼としては各種の鋼が開発されているが，いずれの鋼もSCM420比較でSi，Mn，Crを低減してガス浸炭焼入れ時の粒界酸化を抑え，Pを低減して粒界強度を高めるとともに，NiやMoを添加・増量して浸炭層の靱性を向上させ，それらの相乗効果として靱性および疲労強度を向上させる考え方を採用している．図9に高強度歯車用鋼をデフギヤに適用した場合の衝撃強度向上例を示す²³⁾．

図9 デフギヤ衝撃試験結果

このように，浸炭歯車の歯元強度が飛躍的に向上した

ことにより、次なる課題は面圧強度すなわち耐ピッチング性向上に移行してきている。この面圧強度向上に対する取り組みとしては、二硫化モリブデン系などのコーティングが一般的であるが、処理費が高コストとの問題がある。そこで、材料による面圧強度向上技術として、炭化物形成による表面硬さ向上および焼戻し軟化抵抗向上を目的にSCr鋼比較でCr、Siを増量添加した耐高面圧歯車用鋼が開発されており²⁴⁾、図10に示すように二硫化モリブデン被膜にほぼ匹敵する特性を有することが報告されている。しかしこの面圧強度に関してはまだ十分に解析しきれていない面もあり、耐高面圧鋼、熱処理技術、歯車の表面加工技術、などの組み合わせによる、更に一段高いレベルの耐高面圧歯車用鋼の開発が強く期待されている。

図10 歯車ピッチング試験結果

(2) 高周波焼入れ軸用高強度鋼

高周波焼入れ軸の代表的な部品としては、トランスミッションのシャフト類やドライブシャフトがある。これらの部品はC量0.45%程度の炭素鋼が使われていることが多い。高周波焼入れシャフトの高強度化（振り疲労強度向上）には硬化層深さを深くすることが最も効果的であるが、炭素鋼の場合は高周波焼入れ性が不十分なため、得られる硬化層深さに限界があるなどの問題があった。そこで素材硬さを上げることなく高周波焼入れ性を向上させるB添加した高強度高周波焼入れシャフト用鋼が開発された。またこのB添加により衝撃強度も併せて向上するという報告もされている²⁵⁾。この鋼は既に一部の車種で採用されており、一ランク小型のシャフトの適用が可能とのことから、高周波焼入れ軸の高強度化の最も有

効な手段として今後採用が拡大していくものと思われる。

(3) スプリング用高強度鋼

自動車用スプリング用鋼の高強度化の代表例としては、エンジンバルブスプリングとサスペンション用コイルスプリングがある。バルブスプリングは、ピアノ線、オイルテンパー線がほとんどであり、中でも耐摩耗性、耐へたり性に優れたシリコンクロム鋼オイルテンパー線材SWOSC-Vを焼入れ・焼戻しにより強度調整した後、低温焼鈍、ショットピーニング、ホットセッチングを実施したものが多く、高強度化の例としては、非金属介在物の微細化と量の低減、ショットピーニング条件およびスプリングの断面形状の最適化を図ることにより疲労強度を20%向上させ、その結果として15%の軽量化が達成されたとの報告がなされている²⁶⁾。なお、一部の高出力エンジンの高回転化のニーズに対して、チタン合金系材料の適用研究が進められている。

サスペンション用コイルスプリングとしてはこれまでSUP7が多用されてきたが、高い操安性と良好な乗り心地の両立のため、スプリングの線径、巻数の低減のニーズが高まってきた。このニーズに対応するため、Ni、Mo、Vなどを添加して強度アップした1200 - 1300 Mpa級の高強度スプリング用鋼が開発され²⁷⁾一部の車種に適用されている。しかしこのスプリング用鋼は、Ni、Mo、Vなどを添加していることからSUP7材に比べるとコスト高になっているため、今後は強度低下なくコスト低減する材料および加工法の開発が期待される。

(4) 軸受用高強度鋼

軸受けに関しては、最近異物混入油潤滑下でも長寿命化が可能な材料の開発が進み、鋼の超清浄化、化学成分の最適化、浸炭窒化処理の組み合わせ、などにより各種長寿命軸受けが開発されている。鋼の清浄化の面ではほぼ上限に達していることもあり、軸受けの飛躍的な長寿命化や耐高面圧化はなかなか難しい状況ではあるが、部品の小型化を可能とするこれらの材料開発に対するニーズは引き続き強く、鋼の化学成分と表面改質技術の組み合わせなどによる更なる性能向上が強く望まれている。

(5) トロイダルCVT用高強度鋼

構造用鋼の高強度化の最後に、まだ研究開発中の技術ではあるが今後の発展が期待される技術として、トロイダルCVTとトロイダルCVT用高面圧鋼について述べてお

きたい。トロイダルCVTは次世代の無段変速機として期待されており盛んに研究開発が行われている^{28)~30)}。このトロイダルCVTの心臓部を模式的に示したのが図11である。すなわち入力インプットディスクに入り、そ

図11 トロイダルCVTの変速メカニズム

こからトラクションオイルを介して、インプットディスク パワーローラー アウトプットディスクと伝達されタイヤへと出力される。この際パワーローラーと両ディスクの間には最大ヘルツ圧力で3 Gpa以上にもなる高面圧がかかることから、このトロイダルCVTを成立させるためのキーテクノロジーの一つがパワーローラーおよび両ディスク用高面圧鋼の開発（熱処理、表面加工技術、などを含む）である。現在のところ、このパワーローラーおよび両ディスクは非金属介在物の量と大きさを厳しく制御した肌焼鋼に長時間浸炭あるいは浸炭窒化処理を施したものが基本となっているが、トロイダルCVTの今後の高トルク化や小型化のためには、一層の高面圧対応可能な材料および工法のスピーディな開発が望まれている。

3.3 ステンレス鋼

(1) 排気系部品用ステンレス鋼

近年乗用車排気系部品においては、高出力化に伴う排気ガス温度の上昇、排気凝縮水による腐食防止、排気系の熱容量低減、などを目的に、耐熱鋳鉄やAlめっき鋼板からステンレス鋼に集約されつつある。図12³¹⁾に排気

図12 排気系材料に影響をおよぼす今後の動向

系材料に影響を及ぼす今後の動向を示すが、このステンレス鋼の使用量増加傾向は今後も継続するものと思われる。

エキゾーストマニホールドは、これまで主として球状黒鉛鋳鉄やニレジスト鋳鉄が使用されてきたが、排気ガス温度上昇によりステンレス鋼パイプや薄肉鋳造ステンレス鋼製の適用が増加している。パイプ材としては、熱疲労特性に優れているNb含有SUS430J1L系やSUH409Lのフェライトステンレス鋼が用いられている。今後排気ガス規制がより厳しくなるに伴い、排気ガスの温度低下を極力防いで触媒反応を助ける二重管構造の薄肉パイプ、特に内管用薄肉耐熱ステンレス鋼管の開発が望まれている。ステンレス鋼は、18Cr - 微量Nb系などの材料が使用されており、パイプ製に比べて形状および材質の設計自由度が大きく高温強度面でも優れているが、コストが比較的高いという問題があり、今後の製造面を含めた大幅なコスト低減が期待される。

マフラーは、以前はAlめっき鋼板が主に用いられており、排気ガス規制後に排気凝縮水対策として、SUS409L程度の低級ステンレス鋼が利用され始めた。その後耐食性に優れるSUS430J1L、436L、436J1Lが開発され主に用いられるようになり、耐食性問題はほぼ解決されていると言える。今後の課題としては、ディーゼルエンジン車の排気ガス規制による排気凝縮水の影響把握（必要があればその対策）、耐食性が同等で更にコスト低減可能な材料の開発、などがあげられる。

触媒担体用ハニカムは、排気ガス規制強化および燃費向上への対応のため、従来のセラミックス担体に替わって、ステンレス鋼製のものが一部の車種に搭載されてきている。材料としては、熱容量が小さく熱衝撃性に優れたFe-20Cr-5Al系に耐酸化性を向上させるために微量の希土類元素などを添加しているものが使われている。さらにコスト低減のため、Cr、Al添加量の低減、さらに13Cr-Si系低級ステンレス鋼の検討も行われている。このステンレス鋼製メタルハニカムの最大の課題はコスト低減であり、競合相手のセラミックス担体も薄肉化が図られてきている中で、加工法を含めてセラミックス担体とのコスト差をできるだけ無くすることが望まれている。なお、残りのフロントパイプとフレキシブルパイプに関しては、今後の発展が期待されるアイテムとして、フロントパイプは薄肉二重管、フレキシブルパイプは高温塩害

対応のSi-Mo含有オーステナイト鋼などがあげられる。

(2) 排気系部品以外のステンレス鋼

排気系部品以外にステンレス鋼が使われている代表的部品としては、エンジンバルブ、モール類、電磁式燃料噴射弁、などがあげられる。

エンジンバルブについては、吸気系はマルテンサイト系耐熱鋼のSUH11系が大半を占めており、排気系はSUH35、SUH36のオーステナイト系耐熱鋼が主に使用されているが、Cuなどの添加によって強度特性を確保したNi低廉材の採用が拡大しつつある。なお、エンジンバルブについては、Ti合金、Ti-Al系金属間化合物、セラミックスなどの軽量化材料の適用も検討されているが、量産車に適用するにはまだまだコスト面で大きな壁を乗り越える必要がある。

モール材については、耐候性が重視されるため18Cr系にCu、Moなどを添加して耐食性を改良した材料が主流になっている。アンテナ材については、耐食性に加えて高い溶接性と成形性が要求されるため、SUS304などのオーステナイトステンレス鋼が使用されている。このモール材やアンテナ材に関しては、コストと性能のバランスから考えると、当面は現行材料のまま推移するものと思われる。

電磁式燃料噴射弁については、ハウジング、コネクタ、コアなどの電磁バルブ部品には13Cr系電磁ステンレス鋼が、またボディバルブ、ニードルバルブなどのバルブ部品にはSUS440Cが主に用いられている。この電磁式燃料噴射弁の大きな課題は大幅なコスト低減であり、電磁部品は小型化と冷間鍛造化、バルブ部品は研削工程の省略と冷間鍛造化の検討が進められている。またエンジンの直噴化に伴う噴射圧の増大や燃料中に含まれるS量の低減などによる摩擦・摩耗対応のための表面処理の検討が必要とされている。

3. 4 鉄系焼結合金

日本の自動車に使われている焼結部品の量は、1980年代初頭の3 kg/台レベルから最近では6 kg/台以上と順調に伸びてきている。しかし今後とも使用量が順調な伸びを示すかどうかについては、競合技術の進展を考えると予断を許さない状況であると思われる。そこで、自動車部位ごとの鉄系焼結合金の現状と今後の展望を以下に示す。

エンジン部品としては従来より、バルブシート、バル

ブガイド、カムフォロア、スプロケット、プーリー、などの動弁系部品にFe焼結合金が用いられてきた。バルブシートはその要求特性からこれまではFe系焼結合金の独壇場であったが、最近アルミヘッドにCu合金を直接レーザークラッドする手法が開発され一部車種に採用されている³²⁾。このレーザークラッドバルブシートはエンジン特性向上のメリットもあり、今後とも徐々に採用拡大が進むものと予想される。この流れに対抗するためには、焼結バルブシートの薄肉化や工法を含めた低コスト化の一層の努力が必要であろう。スプロケットでは、焼結接合手法を用いてアンダーカット部を有するスプロケットを機械加工レスで製造する手法が開発され一部の車種で採用されている。このスプロケットは従来部品に比べて約20%のコスト低減と20%以上の軽量化が達成されたと報告されており³³⁾、焼結接合技術の他部品への適用拡大が期待される。更に近年は動弁系以外に、コンロッド、ベアリングキャップなどの主運動系部品への応用が広がってきている。しかし今後の主運動系へのFe焼結合金の適用拡大については、焼結化による低コスト化と高強度化による軽量化のどちらを優先させるかという、自動車メーカーの考え方によるところが大きく予測が難しい。

トランスミッション部品では、シンクロハブやハブタービンが代表的な部品としてあげられる。ハブタービンは、初期にFe系焼結合金製であったものが、入力が増大などにより球状黒鉛鑄鉄製に材料変更されていたものが、最近になって高強度焼結合金や多段成形の開発によって再度Fe系焼結合金製へと移行してきている状況である³⁴⁾。

その他のシャシー系や車体系部品の中で興味深いものとして、最近生産量が急増しているアンチロックブレーキシステム（ABS）のセンサーローターがあげられる。このセンサーローターは当初純鉄系の焼結材にメッキを施したものが多かったが、最近ではステンレス系の焼結材が主流になってきている。現行ABSシステムではステンレス焼結センサーローターの競争力は非常に高いが、現状に安心することなく小型・低コストを狙った新型ABSの開発動向にも充分注意して対応策を打って行くことが必要であろう。このようなセンサー類への焼結材の利用は、粉末冶金技術の材料設計の自由度の高さを生かし、形状を工夫することにより加工レス化を実現していけば、今後増加していくものと思われる。

4. おわりに

今回は紙面の都合もあり、鉄鋼材料の中でも鋼板、構造用鋼、ステンレス鋼、焼結合金に絞って論じてきたが、今回述べることができなかったアルミ、マグネ、樹脂、などに関しても、それぞれ今後の研究開発に対する期待は大きい。一方、企業を取り巻く厳しい競争環境の中で、研究開発投資効率を高める努力が従来以上にシビアに求められている。そこで自動車用材料全般に関して、今後研究開発を進めて行く上で留意すべきポイントとなると思われる項目を以下に順不同に列挙する。

(1)お客さまの視点での明確なコストパフォーマンスの高さ

* 性能向上とコストdownの両立があくまで基本。性能同等の場合は明確なコストdownが必要。圧倒的な性能向上がある場合のみ若干のコストupを許容。

(2)材料 部品 自動車、各メーカー間の一層のサイマルテニアスエンジニアリング、コンカレントエンジニアリングの推進

* 小回りの利く気心の知れた国内メーカー重視から、技術&コスト&調達の競争力に優れたグローバルメーカー重視への転換。

* 潜在ニーズをベースとした待ち伏せ開発の積極的活用。

(3)材料の改良（各社特有材料の多用）に依存したモノ造りから、標準化材料を使いこなす技術体質への転換

* 材料種類の統合&削減およびグローバルな観点での標準化の推進

(4)共存と競争、選択と集中の観点からの新材料開発アイテムの厳選

* 新材料開発より既他社採用材料適用の重視。

* 新材料開発はグローバル標準になる可能性の高いものに絞り込み資源を集中。

* リサイクル、Toxic、LCAの可能な範囲での先取り。自動車産業も、従来のように個々の企業が思い思いに地球環境問題や社会環境問題に対応してだけでなく、企業間の連携はもちろんのこと、平等な立場での産・官・学の連携による知恵のネットワークに立脚した取り組みが大変重要になってきている。我々も、相互に英知をインテグレーションするという精神を忘れず、前

述した研究開発を行う際のポイントに充分留意し、社会やお客さまの役に立つ自動車用材料の研究開発を今後とも鋭意進めて行きたい。

(文 献)

- 1) 日本自動車工業会：1998日本の自動車工業，(1998)，52
- 2) Michigan Univ：Delphi - ，**3**(1996)，43
- 3) 細谷佳弘：材料フォーラム予稿集，[自動車技術会]，(1997)，17
- 4) 武智 弘：自動車材料シンポジウム，[自動車技術会，日本鉄鋼協会]，(1995)，1
- 5) E. Nakanishi et al.：SAE Technical Paper，No.980953，(1998)
- 6) 日経メカニカル，No.527 (1998)，62
- 7) 岩谷二郎ほか：神戸製鋼技報，**47**(1997)，42
- 8) 細谷佳弘ほか：NKK技報，**145**(1994)，33
- 9) 山崎一正ほか：鉄と鋼，**83**(1997)，753
- 10) K. Nonomura et al.：IBEC'97，Body Assembly & Manufacturing，(1997)，17
- 11) 柴田真志ほか：まてりあ，**37**(1998)，525
- 12) 北村 充ほか：CAMP - ISIJ，**8**(1995)，1427
- 13) ULSAB日本委員会：材料フォーラム予稿集，[自動車技術会]，(1998)，1
- 14) 森田正彦ほか：まてりあ，**37**(1998)，513
- 15) 徳永良邦ほか：まてりあ，**34**(1995)，699
- 16) 金丸辰也：第138・139回西山記念講座，[日本鉄鋼協会]，(1991)，169
- 17) 岡本篤樹：第167・168回西山記念講座，[日本鉄鋼協会]，(1998)，31
- 18) 須藤俊太郎：工業材料（臨時増刊号），**45**(1997)，No.11，94
- 19) H. N. Hahn et al.：SAE Technical Paper，No.971006，(1997)
- 20) 中村守文：材料フォーラム予稿集，[自動車技術会]，(1996)，20
- 21) 岡田義男：電気製鋼，**69**(1998)，49
- 22) S. Nakamura et al.：SAE Technical Paper，No.970515，(1997)
- 23) 岡田義男：電気製鋼，**63**(1992)，41
- 24) 吉田 誠：自動車技術会論文集，**27**(1996)，125

- 25) S. Nakamura et al : SAE Technical Paper , No.960315,(1996)
- 26) 吹沢一徳ほか：電気製鋼，**63**(1992), 50
- 27) 飯久保知人ほか：電気製鋼，**57**(1986), 33
- 28) M. Nakano et al : SAE Technical Paper , No.922105,(1992)
- 29) 町田 尚ほか：日本機械学会論文集，**59**(1993), 1154
- 30) H. Kumura et al : CVT'96 Yokohama Proceedings,(1996), 135
- 31) 富士川尚男：材料フォーラム予稿集，[自動車技術会]，(1997), 61
- 32) M. Kawasaki et al : SAE Technical Paper , No.920571,(1992)
- 33) 藤木 章ほか：日産技報，**35**(1994), 96
- 34) 日経メカニカル，No. 478(1996), 57