平成30年9月1日　第67巻第5号（通巻698号）　年6回奇数月1日発行　ISSN 0495-7644

特殊鋼

2018
Vol.67 No.5
9

The Special Steel

特集／最近の自動車用材料のトレンドとマルチマテリアル化

一般社団法人　特殊鋼倶楽部

特殊鋼

9 目次 2018

【特集／最近の自動車用材料のトレンドとマルチマテリアル化】

Ⅰ．マルチマテリアル化の背景と動向
…… 日鉄住金総研㈱　高橋　健治　2

Ⅱ．カーメーカーにおける材料技術の進化
1．自動車の軽量化に対する鉄鋼材料への期待
…… トヨタ自動車㈱　嬉野　欣成　8
2．自動車軽量化に貢献する材料の開発、採用動向
…… 日産自動車㈱　林　孝雄　11
3．自動車のマルチマテリアル化と異材結合技術
…… ㈱本田技術研究所　豊田　裕介　15

Ⅲ．部品メーカーにおける新素材へのチャレンジ
1．足回りへのチャレンジ…… 日本発条㈱　山本屋健二　日本発条㈱　住吉　功　19
2．電装部品へのチャレンジ…… 日立金属㈱　相牟田京平　日立金属㈱　端場登志雄　22
3．自動車車体骨格のマルチマテリアル化とそれを支える異種金属接合技術
…… ㈱神戸製鋼所　鈴木　励一　㈱神戸製鋼所　内藤　純也　25

Ⅳ．素材メーカーの取組み
1．アルミニウム合金の自動車への採用動向と将来展望
…… ㈱神戸製鋼所　櫻井　健夫　29
2．自動車部品としてのマグネシウム合金の利用状況
…… (一社)日本マグネシウム協会　小原　久　34

【編 集 委 員】

委 員 長　井上幸一郎（大同特殊鋼）
副委員長　渡辺　豊文（中川特殊鋼）
委　　員　杉本　　淳（愛知製鋼）
〃　増田　智一（神戸製鋼所）
〃　西森　　博（山陽特殊製鋼）
〃　浜田　貴成（新日鐵住金）
〃　大矢　耕二（大同特殊鋼）
〃　洲崎　恒年（日新製鋼）
〃　正能　久晴（日本金属）
〃　殿村　剛志（日本高周波鋼業）
〃　戸塚　　覚（日本冶金工業）
〃　古谷　　匡（日立金属）
〃　福田　方勝（三菱製鋼）
〃　阿部　　泰（青山特殊鋼）
〃　池田　正秋（伊藤忠丸紅特殊鋼）
〃　岡崎誠一郎（UEX）
〃　池田　祐司（三興鋼材）
〃　金原　　茂（竹内ハガネ商行）
〃　平井　義人（平井）

3．モーターサイクル用コンロッドへのチタン合金の適用
…… ヤマハ発動機㈱　久保田　剛　38
4．樹脂、複合材料…… 帝人㈱　帆高　寿昌　41
5．自動車とファインセラミックス
…… （一社）日本ファインセラミックス協会　矢野友三郎　45

“特集”編集後記…… ㈱神戸製鋼所　増田　智一　61

●一人一題：「人が育つということ…」… 愛知製鋼㈱　深津　和也　1

■業界の動き …… 48
▲特殊鋼統計資料 …… 51
★倶楽部だより（平成30年６月１日～７月31日）…… 55
☆特殊鋼倶楽部の動き　57
◇お知らせ　第235・236回西山記念技術講座　59
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部　会員会社一覧　60

特集／「最近の自動車用材料のトレンドとマルチマテリアル化」編集小委員会構成メンバー

役　名	氏　名	会　社　名	役　職　名
小委員長	増田　智一	㈱神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 課長
委　　員	大矢　耕二	大同特殊鋼㈱	特殊鋼ソリューションパートナー部 副主席部員
〃	戸塚　　覚	日本冶金工業㈱	ソリューション営業部 部長
〃	福田　方勝	三菱製鋼㈱	技術開発センター
〃	金原　　茂	㈱竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺　豊文	中川特殊鋼㈱	鉄鋼事業部 技術部長

一人一題

「人が育つということ…」

愛知製鋼㈱
参与　トヨタ営業部長　深津和也（ふかつかずや）

今回、お話しさせて頂く内容は「人材育成」に対する個人的な思いです。何らかの参考になれば幸いに存じます。まず経験上、私自身が思っていることから申し上げますと、「人が育つということは…」本人のエネルギーに対しその人がどれだけ向き合うかによって決まるような気がします。本人のエネルギーとは、①刻々と変化するやる気 ②過不足のある能力 ③家庭環境 ④健康状態 ⑤友達のエネルギー などが大きな要素であると考えています。それらのエネルギーに目を背けるのではなくて、しっかり向き合った時にはじめて人が育つ入り口に立っているのではないかと感じます。そして、その準備が出来ている人と、そうでない人では大きな違いが生じると思います。

私は21年間（横浜４年＋大阪17年）、バスケットボールの指導者として多くの子供達の育成に携ってまいりました。趣味と言ってもいいかと思います。現在、大阪府吹田市で小学生60名（３～６年生）を教えています。クラブチームの監督として地域の皆様には大変お世話になっています。そのチームを正式に指導するのは、土曜日の午前中の週一回のみです。他に小学校と保護者の方々の協力で、平日の朝と放課後に週二回ほど練習しています。練習時間が極めて少ないですが、そこそこ勝てるチームに育っています。指導方針の骨子は、強くなりたいかどうかをチームメンバーの子供達に任せることです。正式な指導が週一回しかないところがポイントで、好奇心旺盛な子供達は必死に限られた練習の前に、一週間分の自主トレメニューを相談に来ます。各自に考えてもらい、自分の出来ること出来ないこと、やってみたいプレーなどを書いてもらい相談に乗ります。一人で考える約束です。もちろん、友達の意見を求めることはOKしています。長く子供達と接している私の経験では、しっかり丁寧に紙に書き内容がより具体的な子供が比較的に上手くなるということですが、それだけでは持続しないケースも多く見受けられます。指導する側との良いキャッチボールがどうしても必要になります。子供ながらに、高い志で自分と向き合った結果は尊重してあげたいと思いますが一人で決めたことの中には、合理性のない内容も多く含まれています。そこを丁寧にかつ適切にアドバイスしないと、本人に合った効率的な練習メニューになりません。当然、子供達といっぱい遊びながら信頼関係を構築することが前提であり大切です。そのようなことを21年も繰り返していますと、「人が育つということ…」の要素はそれぞれが自分としっかり向き合い、悩みながら自ら決めることが極めて重要だと感じます。後悔はあっても次に繋がりますし、言い訳は出来ないところが特にいいと思います。

現在会社では、志が高く若い部下の皆さんに支えられています。また特殊鋼業界におきましては、特殊鋼倶楽部名古屋支部長を拝命し若手、中堅、幹部などさまざまな階層における人材育成に携らせて頂いております。大切な特殊鋼業界の未来ある若者達が、自ら持つエネルギーとしっかり向き合い多くの方々に支えられながら、のびのびと育って行かれることを切に望みます。

〔(一社)特殊鋼倶楽部　名古屋支部　支部長〕

最近の自動車用材料のトレンドとマルチマテリアル化

特集

Ⅰ．マルチマテリアル化の背景と動向

日鉄住金総研㈱
産業技術部　高橋健治（たかはし　けんじ）

まえがき

CO_2による地球温暖化問題に端を発して、近年、自動車の環境対応、燃費向上のために、軽量化の動きが高まっている。自動車の軽量化の手段として、素材性能の向上、材料置換、部品点数削減などがあり、車体に関してはこれらに加えて新たな製造工法の採用や接合方法の変更などの手段が挙げられる。従来単一の材料が用いられてきた自動車用材料について、部品全体ないしその一部分を高張力鋼板（ハイテン）、アルミニウム、チタン、マグネシウム、樹脂、繊維強化複合材などの他素材へ転換してきた。直近はそれら複数の材料を併用したりすることで軽量化や諸特性・機能向上を実現する材料の適材適所適用、マルチマテリアル化による軽量化が注目されている。

パネルや骨格材等の構造部材では新構造材料技術研究組合（ISMA）や戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）を中心とした国家プロジェクトにより、上述の各軽量化素材の研究開発が盛んに行われている。一方、エンジン、動力伝達、足回り系の部品では材料置換等による軽量化は従来から可能なところから、個別企業・グループ単位で軽量化の取り組みが進められてきた。そのためパワートレイン等のマルチマテリアル化の全体動向は見えづらい状況にある。

本稿では、自動車を取り巻く環境の変化およびマルチマテリアル化による軽量化の動向について、構造部材およびパワートレイン（エンジン回り）における動向を概観する。

◇　自動車を取り巻く環境と対応の方向性

近年の自動車軽量化の動向は、排出ガスに含まれる二酸化炭素（CO_2）が地球温暖化の大きな要因となっていることから車両を軽量化しCO_2排出量の削減を目指していることにある。

1．CO_2排出規制とパワートレインの動向

2015年のCOP21において合意されたパリ協定では、“長期目標に関して全球平均気温上昇を産業革命前に比べ２℃未満に十分に抑え、また1.5℃に抑えるような努力を追求する”ことが謳われており、各国においても自動車のCO_2排出規制やCO_2を排出しないEV（電気自動車）やFCV（燃料電池車）等のZEV（Zero Emission Vehicle）導入促進策が講じられている。我が国においても第４次環境基本計画（2012年）では、2030年度に2013年度比26％削減を掲げるとともに、目指す方向性を示す長期的目標として2050年度に80％削減を掲げている。

各国のCO_2排出量規制値を**図１**[1)]に示す。2015年時点での120～170CO_2-g/kmレベルから当面目標となる2030年における規制値は欧州の67gが一番低い値である。今後数年では欧州の2021年値95g、韓国の2020年値97gが積極的な値である。因みに日本のJC08モードベースで2030年EU規制値67gの実現には約35km/ℓの燃費が、2021年規制値95gには24.4km/ℓの燃費が必要である。これに加

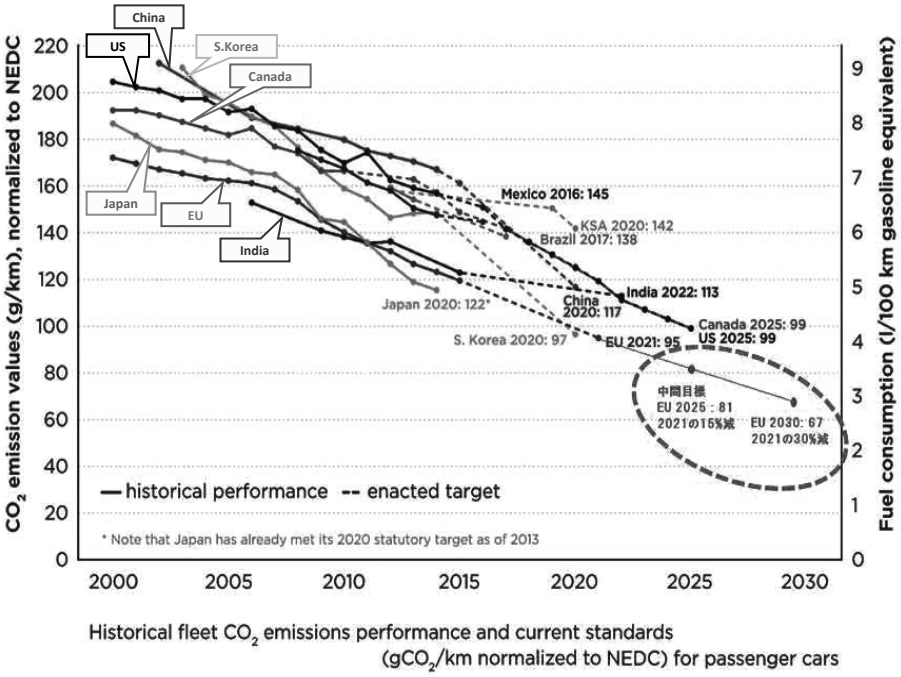


図　1　各国のCO_2排出規制（ICCT資料2014.12.3をもとにNSRIが新たな情報（2017年に見直された2025年以降のEU目標値）を追記）

え、特に欧州では2040年以降のエンジン車の販売禁止が打ち出され、米国の一部の州（カリフォルニア州など12州）ならびに中国ではZEVあるいはNEV（New Energy Vehicle）と呼ばれる環境車の導入が義務付けられている。これらの環境変化を受けて、自動車メーカーではパワートレインをはじめ、軽量化技術の開発が進められている。

また、これらの環境変化に対応するため、パワートレインの多様化が進んでいる。2017年版国際エネルギー機関（IEA）による2050年までのパワートレインの予測（**図２**[2)]）によれば、2040年においても内燃機関を搭載する自動車は84％を占め、一方、電動技術を有する自動車は51％を占めると予測している。ここで電気と内燃機関の双方を有するハイブリッド車が35％、内燃機関のみが49％、残り16％がZEVになるとみている。「これは**図２**の下段に示すように2012年版の予測から後退しているように見えるが、電動化は着実に進むとみている。何れの場合においても燃費改善や航続距離改善のためには軽量化が必要であり、普遍の課題と言える。」

２．自動車産業の対応

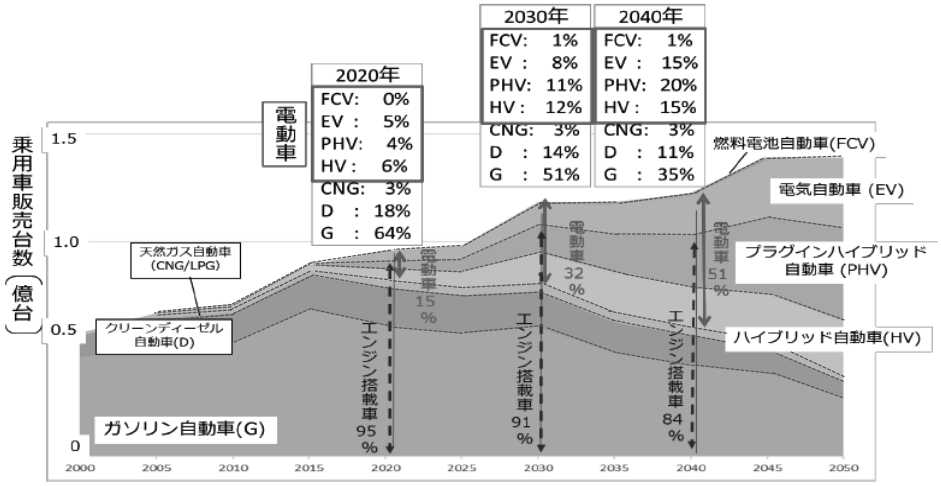
CO_2排出量の削減に向け、自動車産業では内燃機関の効率向上やパワートレインの多様化、車両の軽量化、走行抵抗の低減等様々な対応が進められており、特に軽量化はパワートレインの種類に依らず重要な課題となっている。自動車の走行抵抗のうち転がり抵抗など質量に比例する抵抗低減には車両重量の軽減も効果がある。上記抵抗以外にもホイール、ナックルキャリアなどバネ下の軽量化やコンロッド、ピストン等の往復運動系部品の軽量化は効果がある。

車両重量の軽量化には現行材料の性能向上による薄手化、および金属や非金属系材料等の軽量化材料を併用するマルチマテリアル化が進みつつある。パワートレイン関連では耐熱性の比較的低い部材では鉄系から非鉄金属化が、さらに樹脂への転換が起きている。また、プロペラシャフトの複合材料化（CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic）が起きている。

◇　構造部材のマルチマテリアル化の動向

自動車は概ね車体関連（構造部材と内装部材）、パワートレイン関連（エンジン関連とドライブトレイン関連を含む）、足回り関連（サスペンショ

IEAパワートレインの多様化シナリオ（2017年、平均気温上昇の▲2℃達成ケース）



自動車新時代戦略会議（第1回）資料_経産省2018.4.18
（IEA「Energy Technology Perspectives 2017」に基づき作成）

IEAパワートレインの多様化シナリオ（2017年、2012年予測の変化）

年 / パワートレイン	2020		2030		2040	
	2012予測	2017予測	2012予測	2017予測	2012予測	2017予測
ZEV（FCV/EV）	2%	5%	10%	9%	23%	16%
PHV・HV	14%	10%	42%	23%	57%	35%
ICV（CNG/D/G)その他	84%	85%	48%	68%	20%	49%

自動車新時代戦略会議（第1回）資料_経産省2018.4.18
（IEA「Energy Technology Perspectives 2017」に基づき作成）

図　2　IEAによる2050年までの自動車パワートレイン多様化の予測（2017年）及びIEA予測の変化（2012年／2017年）について

ン、操舵・制動等)、電装品・その他の４分類に大別され、その重量比率は44%、25%、22%、９%とされる[3)]。

構造部材はシャシー等の骨格部材とドア材等外板と呼ばれるパネル部材からなっており、構造材料の軽量化は、輸送機器が排出するCO_2削減に最も有効な手段であるとして、世界中で検討されている。

１．構造材料の技術開発の国内外の取り組み

諸外国における自動車用構造材料の技術開発は各国で特徴ある研究開発が進んでいる。例えば、米国は個々の材料の性能改善やマルチマテリアル化技術に加え、モデリング・シミュレーション技術に関する国家プロジェクトを実施しており、欧州は材料開発プロジェクトに加工や設計技術も加え、自動車メーカーがコンソーシアムを立ち上げて共同開発を進めている[4)]。

我が国においては、構造材料の高性能化、軽量化をめざし、経済産業省、内閣府、文部科学省がそれぞれ分担しながら研究開発を進めており、特に自動車用構造部材の開発はISMAを中心に産学官が連携して高張力鋼板、アルミニウム、チタン、マグネシウム、CFRPなどの素材とそれらのマルチマテリアル化に欠かせない接合技術等の研究開発が進められている。

自動車用構造材料の技術開発課題には、各材料固有の課題と、接合のように材料間にまたがる課題がある。現在多用されている鋼材に関しては薄肉軽量化と衝突エネルギー吸収の両立を可能にする高強度・高靱性化が、適用拡大しているアルミニウムは更なる軽量化に向けた高強度化、既存材料とのコスト面での競争力強化が、一部高級車等で適用が始まったCFRPはコスト低減及び生産性向上に向けた製造法開発、金属との異種材接合時

の熱変形や電蝕対策が必要とされている。

２．構造部材のマルチマテリアル化

図３は構造部材の部品別の材料採用状況を各種情報から整理したものである。衝突安全性確保に関わるピラー等の部材を中心に鋼板のハイテン化・超ハイテン化（>980MPa）が進み、ハイテン化比率が高まっている[5)]。一方、ルーフ材やフード材等衝突安全性に影響の少ない部位ではアルミニウム化、更にはCFRP・樹脂化が進みつつある。フェンダーやバックドアへの樹脂の適用も始まっている。試作段階ではあるが、シャシーの熱可塑性CFRP一体成形技術も開発されている。

軽量化材料採用は常にコストと性能、軽量化効果のトレードオフであり、各部材でのコスト低減は常に求められている。

◇　パワートレインのマルチマテリアル化の動向

エンジンを中心とした高温、高圧下で高速回転する厳しい環境で使用される部位は、高い耐久性と信頼性が必要とされる最重要保安部品であり、特殊鋼が有する優れた機能特性が活かされる領域であるが、このような領域においても軽量化ニーズはある。

エンジン及び吸排気系、燃料供給系等パワートレインの軽量化、マルチマテリアル化は従来から

No.	部品名	材料・鋼種	新素材・技術動向
1	フード	鋼板→ハイテン	アルミ、樹脂・CFRP
2	ルーフ	鋼板→ハイテン	アルミ、樹脂・CFRP
3	ドア	鋼板→ハイテン	アルミ、樹脂・CFRP
4	バックドア	鋼板→ハイテン	アルミ、樹脂・CFRP
5	フェンダー	鋼板→ハイテン	アルミ、樹脂
6	トランクリッド	鋼板→ハイテン	アルミ、樹脂・CFRP
7	サイドパネル	鋼板→ハイテン	
8	メンバー	鋼板→ハイテン	アルミ
9	フロア	鋼板→アルミ	アルミ、CFRP
10	ピラー	鋼板→ハイテン・超ハイテン	アルミ、CFRP
11	シル	鋼板→ハイテン	
12	ルーフレール	鋼板→ハイテン・超ハイテン	
13	ダッシュパネル	鋼板	
14	フューエルオープニングリッド	鋼板	樹脂
15	バンパー	鋼板→ハイテン・超ハイテン	アルミ、樹脂（PP）・FRP
16	シャシー	鋼板→超ハイテン	アルミ、CFRP

出所：各種情報をもとにNSRIが整理

出所：NEDOマルチマテリアルシンポジウム発表資料「革新的新構造材料等研究開発について」(2015)

図　３　自動車構造部材のマルチマテリアル化の動向（各種情報をもとにNSRIが作成）

自動車メーカー、部品メーカーによって進められてきた。パワートレインユニットの主要部品とその材料の動向を**表１**に示す。

１．鉄鋼からアルミニウムへの動き

アルミニウムは自動車分野では鉄鋼に次いで多く使われている金属で、鉄に比べて密度が1/3と小さく、軽量化に大きなメリットがあり、早くから自動車用材料として採用されてきた。かつて鋳鉄製であったシリンダーヘッドカバー、シリンダーブロック、エンジンケーシング等、アルミニウムが使える部分は殆どアルミニウム化されている。

また、アルミニウムは伝熱特性が良好であることから各種ケーシング等、放熱が必要な部位への適用も進んでいる。シリンダヘッドをはじめ、フライホイールやコンバータのハウジング、トランスミッションやモーターのケース類、タイミングチェーン等のカバー類に広く採用されている。

２．エンジン周りを中心としたアルミニウムから樹脂化への動き

エンジン燃焼室およびその周辺は高温と強い振動が加わる過酷な条件であるため、ほぼ金属材料が中心となって使用されている。しかし、エンジンからやや離れた、耐熱性や強度がエンジン近傍ほど必要とされない部分では樹脂への転換が進んでいる。その中でも150℃～250℃の比較的温度が高い部分では、スーパーエンジニアリングプラスチック（スーパーエンプラ）といわれているPAI（ポリアミドイミド）、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）やPPS（ポリフェニレンサルファイド）、PES（ポリエーテルサルフォン）といった樹脂が採用されている。また、シリンダーヘッドカバー、エンジンケーシングをはじめとして、ター

表　1　パワートレイン主要部材のマルチマテリアル化の動向（関連展示会および各種情報をもとにNSRIが作成）

No.	部品名	材料・鋼種	新素材・技術動向
1	シリンダーヘッド・カバー	鋳鉄→アルミ合金ダイカスト	樹脂（PA）
2	シリンダーブロック	鋳鉄→アルミ合金ダイカスト	CFRP
3	シリンダーライナー	鋳鉄	ライナーレス/溶射
4	エンジンケーシング	鋳鉄→アルミ合金ダイカスト	樹脂（熱硬化性PC）
5	カムシャフト	構造用炭素鋼	中空化、焼結品
6	吸排気バルブ	耐熱鋼、耐熱合金鋼	セラミックス・チタン
7	弁ばね	ピアノ線材他	高強度化/▲4割
8	ガスケット	ステンレス鋼	
9	燃料噴射装置	ステンレス鋼	
10	ピストン	アルミ合金	
11	ピストンリング	高硬線材、ステンレス鋼他	DLCコーティング
12	コンロッド	構造用合金鋼（非調質鋼）	中空、断面薄肉化(H型→I型)
13	クランクシャフト	構造用合金鋼（非調質鋼）	
14	オイルコントロールバルブ	アルミ合金	樹脂（PES）
15	オイルパン	薄板、アルミニウム	樹脂（PA）
16	ターボロータ/インペラー	Ni合金、Ti合金/アルミ合金ダイカスト	セラミックス（窒化ケイ素）/CFRP
17	タービンハウジング	耐熱鋳鉄	樹脂（PA）
18	インテイクマニホールド	鋳鉄→アルミ合金⇒樹脂	樹脂（PA）
19	エキゾーストマニホールド	ステンレス鋼、耐熱鋳鉄	
20	排ガス浄化装置	ステンレス鋼	樹脂（PA65+GF）
21	マフラー	ステンレス鋼、耐熱鋼	チタン/樹脂（PA66+GF）

ボハウジング、インテイクマニホールド、オイルパン等においてもアルミニウムから樹脂への置換例がある。

３．軽金属、複合材への転換

パワートレインユニット部品へのマグネシウムやチタンの軽金属やCFRP等の複合材の適用は使用環境やコストの点で高級車やレーシングカー等が中心で限定的である。マグネシウムはエンジンブロック、ピストン、オイルパン等、チタンはコンロッドや吸排気バルブ、マフラー等への適用事例がある。また、CFRPのシリンダーブロックへの適用やGFRPのマフラーへの適用検討例もある。

一方、従来から多くのパワートレイン部材で使用されている鉄鋼材料もその性能向上により、カムシャフトやコンロッドにおける部材の中空化や薄肉断面化等構造変更による軽量化に貢献している。

本稿では構造部材とパワートレイン部材のマルチマテリアル化の動向に焦点を当てたが、ドライブトレインや足回り関連部材等、他の部材についてのマルチマテリアル化による軽量化も進みつつある。

む す び

自動車を取り巻く環境の変化およびマルチマテリアル化による軽量化の動向について、構造部材およびパワートレインにおける動向を概観した。軽量化はドライブトレインや足回り関連部材等においても進みつつあり、今後も軽量化ニーズに後押しされてマルチマテリアル化は進むと考えられる。その進展に備え、既存部品向けでこれまで培ってきた素材技術（製造・加工・プロセス）を活かし、素材そのものの更なる機能向上を追及（耐熱、耐圧、耐衝撃、耐疲労強度等）及び他素材との接合技術への取り組み強化が重要である。さらに、従来の材料供給を主体とした素材メーカーに止まらず、設計・構想段階から完成車・自動車部品メーカーと共同開発を進めるなど一層の協力関係深化などがより必要になると思われる。

また、注目度が高まっている自動車の電動化によりエンジンをはじめとしたパワートレイン関連部品は消滅あるいは機構変化に伴い、より過酷な性能を要求される可能性がある。一方で、モーター、電池、インバーター等新たな部品も加わり、車体重量の増加による軽量化ニーズも増すことが予想されるので、今後の電動化進展を見据え、ユニット・部品の小型・軽量化に資する技術の開発も並行して進める必要がある。

最後に、本稿執筆に際しては日鉄住金総研㈱客員研究員の浜田満氏に多大なるご協力とご示唆をいただいたので謝辞を表したい。

参 考 文 献

1）ICCT: Improving the conversions between the various passenger vehicle fuel economy/CO2 emission standards around the world、2014. 12. 3
2）経済産業省：自動車新時代戦略会議（第１回）資料、2018. 4. 18
3）経済産業省：「金属素材競争力強化プラン」、2015-06
4）NEDO:「構造材料分野の技術戦略策定に向けて」、TSC Foresight Vol. 25（2018）
5）ICCT: Light-weighting technology development and trends in U.S. passenger vehicles、WORKING PAPER 2016-25

Ⅱ．カーメーカーにおける材料技術の進化

1．自動車の軽量化に対する鉄鋼材料への期待

トヨタ自動車㈱
無機材料技術部　金属材料室　室長　嬉野欣成（うれしの よしまさ）

◇　自動車を取り巻く環境と軽量化ニーズ

20世紀の著しい産業発展は、石油の大量消費に支えられており、今日もなお石油エネルギーに大きく依存している。将来石油が枯渇する不安、またCO_2排出増加が要因の一つとされる温暖化から地球環境を守るため、各産業で石油依存を脱却する技術開発が取り組まれている。

トヨタ自動車（以下トヨタ）では「クルマづくりを通して社会に貢献する」を理念として、革新的かつ高品質な製品とサービスの提供を念頭に、持続可能な社会を実現するため、化石燃料の消費が少なく、CO_2排出量の少ないモビリティが必要と考えてきた。1997年12月に世界初となる量産ハイブリッド車（以下HV）を発売して以来、全てのカテゴリにHVをラインアップした。今では約80の国と地域で販売しており、世界累計販売台数は2017年には1,000万台以上を達成した。またトヨタは、燃料電池車としてMIRAIを市場導入し、より良い社会の実現に取り組んできた。

2015年10月には、「トヨタ環境チャレンジ2050」を策定。環境負荷を限りなくゼロにし、さらには、ゼロにとどまらない「環境への貢献」を目指すため、トヨタは成し遂げるべき下記の６つのチャレンジを挙げている（**図１**）。

◇　軽量化の価値と材料の役割

軽量化に伴うメリットは、まず燃費向上が挙げられる。**図２**に、車両重量とCO2排出量の関係をガソリン、ディーゼル、ガソリンハイブリッドに

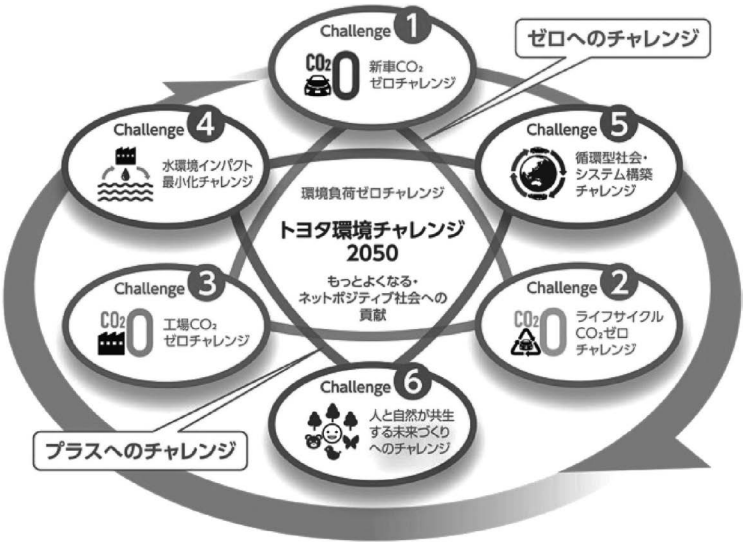


図　1　トヨタ環境チャレンジ2050

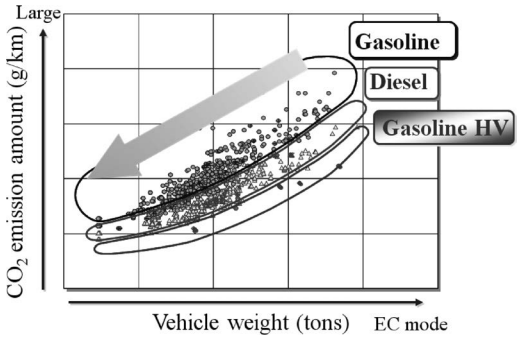


図　２　車両重量とCO2排出量の関係

ついて示す。ハイブリッドユニットを選択することによってCO2排出量が大きく削減できることがわかる。一方で、いずれのパワートレーンにおいても車両重量とCO2排出量には強い相関があり、軽量化がCO2排出量低減に大きな効果を持っていることがわかる。

一方で、衝突性能などの車両安全に関する規制強化の動きが各国ではじまっている。車両安全性能の向上対策を行うと車両重量は増加することとなる。燃費向上と車両安全向上は背反関係にあるため、安全性能を確保した上で燃費向上を実現する軽量化手法が求められている。

さらに、最適な構造、材料の選択による車両上部の軽量化により、車両の低重心化を図ることで車両運動性能向上が可能である。

◇　軽量化に対する鉄鋼材料開発の取組み

昨今自動車の軽量化に対して、アルミやマグネ、CFRPといった軽量材の活用が増加しているが、鉄鋼材料の使いこなしは引き続き重要と考えている。鉄鋼材料は、重くて錆びやすい等の欠点を持ちながら、資源として豊富で、機械的特性、成形性、加工性、リサイクル性、コストなどの優位性から、機械構造用材料としてこれまで最も多く使われてきており、その傾向は今後も続くと思われる。以下では、車体に使用されるハイテン材、ユニットに使用される特殊鋼の軽量化に対する開発事例を紹介する。

１．車体の軽量化への取組み

車体の軽量化については、ハイテン材の適用が進んでおり、特に骨格部材においては、乗員保護の観点よりエネルギー吸収部材、変形制御部材、

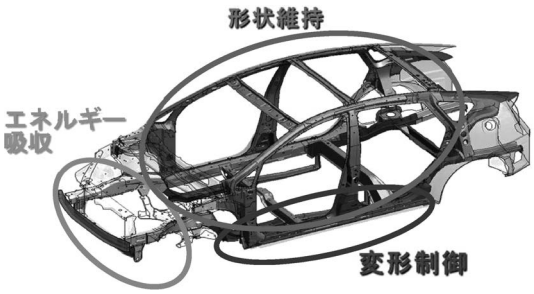


図　３　車体の衝突要求特性

形状維持部材に分類し、それぞれに異なる強度の鋼種を使い分けている（**図３**）。

近年においては冷間超ハイテンの活用に加えて、鋼板を加熱後、プレスと同時に焼入れし、一般的な鋼板の約４～５倍の引張強度を保有する超高張力鋼板「ホットスタンプ材」により、板厚を薄くしても通常の鋼板をしのぐ強度が確保できる部材を活用している。

ホットスタンプ工法の改良により、Bピラー、ロッカといった複雑な形状の部品へ高強度材料を適用する事が可能になったおかげで、先代プリウスのホットスタンプ材使用範囲が３％だったのに対し、４代目は19％へと大幅に拡大し、強固なボデーで安全性を確保しつつ、軽量化を達成する事が出来た。

２．ユニットの軽量化への取組み

2-1.　コネクティングロッド

コネクティングロッド（以下コンロッド）はピストンとクランクシャフトを連結し、ピストンの往復運動をクランクシャフトの回転運動として伝達する機能を有する。したがってコンロッドのような運動部品の軽量化は、その部品だけに留まらずクランクシャフト等周辺部品の軽量化、また振動・騒音、摩擦損失の低減にも影響し、非常に大きな効果をもたらす。

コンロッドには燃焼時の爆発力・鞭打力および回転の慣性力が付加されるため、高い座屈強度と疲労強度が要求される。コンロッド用鋼は強度と生産性の観点からフェライト組織とパーライト組織で構成され、強度を向上させるには、軟質なフェライト組織の改善が必要である。

一般的にはパーライトの割合を上げるもしくはパーライト組織単層の手法が採用されるが、これ

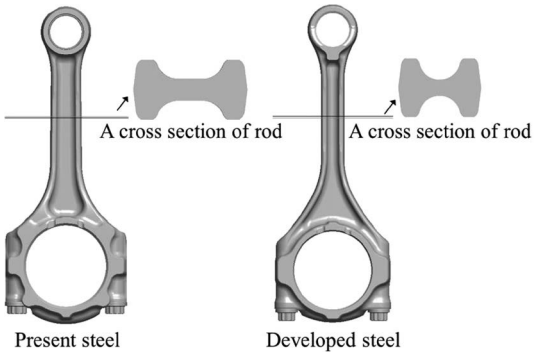


図　4　コネクティングロッドの軽量化事例

は被削性の低下を招く。

新たに開発した材料は炭素量、バナジウム量の最適化により、被削性に悪影響を及ぼさないフェライト率及び硬さの最適化から、高強度化し、コンロッドのコラム断面の減少から、重量で約17%の軽量化を達成した（**図4**）。

2-2. 歯車

歯車はトランスミッションやディファレンシャルの中に数多く組み込まれ、エンジンからの動力をタイヤに伝達する重要な部品の一つである。歯車は常にエンジンの出力向上、効率化の目的のため、高強度・小型化の要求に曝されている。

歯車用鋼の例として硬さ、冷間鍛造性、浸炭時の粗粒化防止に配慮し、成分・プロセス条件を最適化し、低サイクル疲労強度を高めた材料を開発した。これにより４ピニオンを２ピニオン化でき、ユニット構造を簡素化する事により、サイズダウンとデフユニット許容トルクの向上を達成している。

◇　特殊鋼に対する今後の期待

これまでに述べて来たように、自動車においての軽量化は永遠の課題であり、重量の大部分を占める鉄鋼材料の高強度化への期待は大きい。特に、他への代替材料が見当たらない特殊鋼の高強度化は将来のユニット軽量化において材料開発への期待は今後も高い。一方で、自動車生産のグローバル化は、90年代の予想をはるかに上回るスピードで進められている。ユニット部品も例外ではなく、車両生産とは比べられないまでも現地生産への移行が着実に進められている。生産のグローバル化と材料開発の間には大きなジレンマが存在し、時として、グローバル化が材料開発の妨げとなることがある。グローバル化への対応や位置づけを明確にした材料開発が必要となる。

最後に、特殊鋼の高強度化に伴い浮上する課題に対する要素技術開発への期待について述べたい。鉄鋼材料の高強度化は、金属疲労における切欠き感受性や、遅れ破壊における水素脆性の悪化をもたらす事が多い。金属疲労と遅れ破壊は、古くから知られている破壊現象であるが、今日においてもなお、その撲滅にはほど遠いというのが実情である。自動車の部品においても、これら二つの破壊現象が、軽量化の阻害要因の一つになることが多い。これら二つの破壊現象は、その破壊強度のばらつきが大きいのが特徴で十分な安全率を確保する事が必要となるからである。これらの破壊現象のメカニズムが十分に解明され、適切な対策手法が確立される事が望まれる。

2．自動車軽量化に貢献する材料の開発、採用動向

日産自動車㈱
材料技術部　林（はやし）　孝雄（たかお）

◇　自動車を取り巻く環境

内燃機関による自動車が発明されて130年が過ぎ、大きな変革期を迎えている。自動車の普及により生活は便利に、豊かになると同時に、様々な課題をもたらしてきた。石油などのエネルギー危機、CO_2排出による地球温暖化、交通渋滞、交通事故が主なものである。これらクルマ社会がもたらしたネガティブなインパクトを低減し、永続可能な社会を構築していくための様々な取り組みがなされている。

日産自動車ではニッサン・グリーンプログラム2022[1]としてCO$_2$排出量を2050年に2000年比90％低減する長期ビジョンと2022年に40％低減する目標を掲げ、EV，HEV電動化車両の開発を軸にパワートレーン効率向上、車両の軽量化を目指している。

本稿では車体軽量化を中心に、各社が取り組んでいる材料、工法技術の開発、採用動向について述べたい。

◇　鋼　板

車両質量のうち、最も大きな割合を示す車体の軽量化は最重要課題の一つである。鉄鋼メーカー、プレス部品メーカー、自動車メーカーは、強度とプレス成形性を併せ持つフェライト－マルテンサイト二相鋼（Dual Phase鋼）の590、780、980MPa級ハイテン（高張力鋼板）[2]とその適用技術を開発、板厚ダウンによる軽量化を進めてきた。さらなる高強度化は延性の低下、つまりプレス成形性悪化をもたらすトレードオフ課題（**図1**）に直面するため、これをブレークスルーするイノベーションが開発されている。

1．ホットスタンピング

加熱した鋼板を金型でプレスし、型を閉じたまま冷却焼き入れする工法で、成形自由度の拡大と引張強度1500MPaを可能とする。鋼板プレス成形部品では最高強度を得られる工法であり、各社車体の構造部品への採用が拡大している。

部位によって板厚分布を持たせるTRB（Tailor Rolled Blank）[3]、異なる材種、板厚をレーザー溶接し、強度を作り分けるTWB（Tailor Welded Blank）[4]、金型の温度制御により部分的に延性を持たせるSoft-zone工法[5]など、応用技術が展開している。また引張強度2,000MPaの高強度化[6]も進んでいる。

課題は高額な生産設備投資、コストアップであ

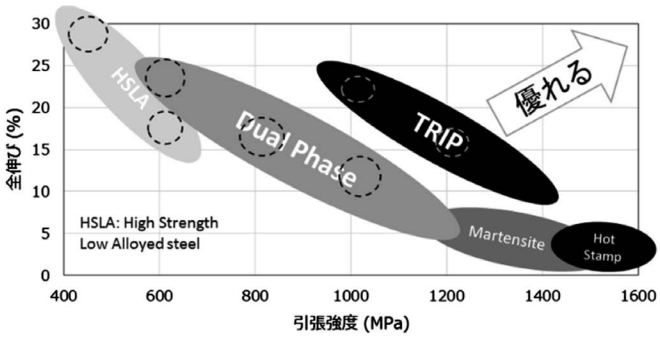


図　1　各種ハイテンの強度と延性の関係

る。プレス後の硬い製品のメカトリム加工で生じる残留応力による遅れ破壊の懸念があるため、レーザートリム加工が主流である。原価低減のため、遅れ破壊を回避する工法の実用化が待たれる。

２．高成形性超ハイテン

Dual Phase鋼では980MPa以上になるとプレス成形性に限界があった。このため残留オーステナイト組織の加工誘起変態（TRIP; Transformation Induced Plasticity）を活用した新たな980MPa[7]、1,180MPaハイテン[8]が開発され、サイドメンバー、センターピラーなど難成形部品に採用されている。割れ、しわのシミュレーション予測に加え、機械的性質ばらつき、金型剛性を加味した高精度なスプリングバックの予測技術、炭素量が高いTRIP鋼の溶接部周辺の脆化を抑制するスポット溶接条件が実用化に至ったブレークスルーである。

さらなる高強度と延性を両立した第三世代ハイテンが各国で開発中であるが、材料を使いこなすプレス、溶接技術の開発が重要である。

◇　アルミ板

自動車メーカー各社はハイテンの次の軽量化方策としてアルミ板適用を進めている。フード（ボンネット）から始まり、フロントフェンダー、ドアなどカバーパーツに広がっている。これらは車体骨格との溶接が不要なため技術的には比較的容易である。

深絞り性が求められるインナーパネルにはプレス成形性の良好な5000系（Al-Mg）合金が、耐デント性（局所荷重に対するへこみにくさ）の求められるアウターパネルには、電着塗装後の焼き付け温度を活用したベークハード機能を有する6000系（Al-Si-Mg）合金が主に用いられる。

軟鋼板より機械的性質が劣るアルミ板は、深絞り、ヘム加工部位では割れ、ドアエンボス、キャラクターライン周辺では歪が懸念であり、形状の緩和とプレス加工技術により成立させている。さらなる高強度とプレス成形性を併せ持った6000系合金や7000系合金の開発例が出てきている。

最近では車体全体をアルミ化する事例（ジャガーランドローバーなど）、車体構造の一部をアルミ化する、いわゆるマルチマテリアル車体の事例（アウディ、キャデラックなど）が増えている。技術的にはスチールとアルミの異種材料の接合があるマルチマテリアルの難易度が高い。上記車体技術に適用されている新しい接合技術について解説する（**図２**参照）。

（１）SPR（Self Piercing Rivet）：リベット自らアルミ板、鋼板に穴をあけながら口開きして２枚、３枚の板を接合する工法である。口開いたリベットの先の噛み合い代（インターロック量と呼ぶ）により、接合強度を確保する。

（２）FDS（Flow Drill Screw）：ねじを回転、穴をあけながらめねじを切って締め付ける工法である。SPRやスポット溶接のように板の両側から挟み込む必要がないため、シルのような管や押出材の閉断面構造に対して一方向接合が可能である。

（３）EJOWELD：スチール製のリベットが回転

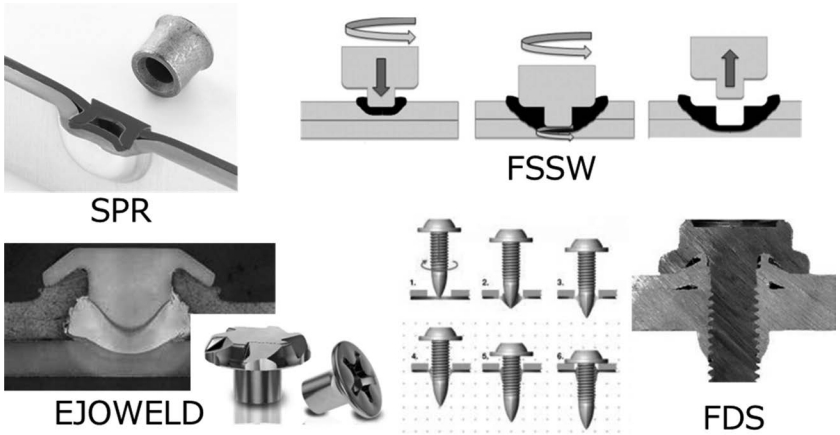


図　２　各種接合工法

しながら上板のアルミを貫通、圧入し、下板の鋼板と接合される技術である。リベットと鋼板の接合は摩擦圧接と同じ原理であることからFEW（Friction Element Welding）とも呼ばれる。

（4）FSSW（Friction Stir Spot Welding）：英国溶接研究機関TWIが発明したFSW（Friction Stir Welding；摩擦撹拌接合）は線溶接であるが、これを点溶接にしたものである。

（5）RSR（Resistance Spot Rivet）：事前に穴をあけたアルミ板側にスチール製のリベットを差し込み、鋼板との間で抵抗スポット溶接することで、アルミ板と嵌合される技術である。現有溶接設備を用いてマルチマテリアル車体を生産できる利点がある。

（6）EASW（Element Arc Spot Welding）[9]：事前に穴をあけたアルミ板側にスチール製の中空形状エレメントを差し込み、中空部にアーク溶接材料を鋳込むことで、スチールエレメント～鋼板間で溶接され、アルミ板と嵌合される工法である。

鋼板車体ではスポット、レーザー溶接にほぼ集約されているが、アルミ車体では数多くの接合技術が開発されている。これらは発展途上にあり、接合強度、量産品質安定性、コスト・設備投資低減、等更なる向上が期待される。

異種材料接合では鉄に比べ電位が卑なアルミが液中に溶け出し板厚減少が加速する「ガルバニック腐食」にも気を付けなくてはならない。防止には、鋼板とアルミの接触間に接着剤を塗布し絶縁する、接触面に水が触れないようにシールする、等の設計的な工夫が必要である。

◇　アルミ鋳物

シリンダブロックなどで用いられているアルミダイカスト鋳物が車体、シャシー部品に適用拡大しつつある。背景には、合金設計と高真空ダイカスト技術により高い延性を有する材料が開発されたこと、複数部品を一体化できること、剛性や強度が必要な部位にリブや肉厚変化を持たせる最適設計が可能なこと、が挙げられる。これらの利点を活かし、サスペンションメンバー、ストラットハウジング（**図３**）[10] に加え、車体ピラーやルーフレール、シルとの結合点に適用した高剛性車体事例が増加している。

さらなる拡大のために、ダイカスト後の部品熱処理を省略、簡略化して、同等の機械的性質を発現する合金設計や工法開発、スクラップベースの２次合金地金の活用などコスト削減技術が期待される。

◇　マグネシウム

マグネシウムを用いた自動車部品の軽量化はダイカスト鋳物が中心である。複雑形状を一体成形可能な鋳物の利点を活かし、鋼管に鋼板ブラケット部品を溶接した構造のステアリングメンバーを一体成形する事例はいくつか報告されている。またトランスミッションケース、シリンダヘッドカバー、シリンダブロック、シートフレーム部品、車体構造部品の一部に採用されている事例も報告されている。

一方、溶湯からストリップキャスターで直接コイルを製造する方法によるマグネシウム板がシートバックに用いられている[11]。今後の適用拡大が期待される。

マグネシウムの自動車部品への適用の主な課題は、耐食性、ガルバニック腐食、高温強度（クリープ特性）である。これらを解決しつつ、製品

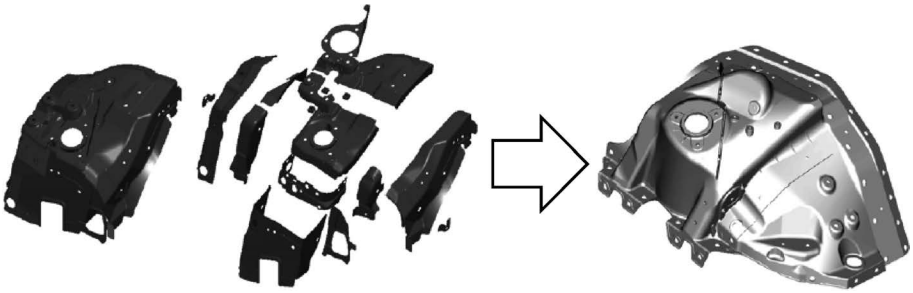


図　３　ストラットハウジング　鋼板→アルミ鋳物部品一体化事例

質量とコストアップを最小化する材料、工法、設計技術が適用拡大の推進力になると考える。

◇ 樹 脂

1．PP（ポリプロピレン）およびコンポジット（複合材料）

PPは機械的性質、コストに優れ、炭酸カルシウム、タルク、ガラス繊維などの強化フィラーを入れて耐衝撃性、耐傷つき性の要件を達成可能なことからバンパー、インストパネル、ドア内装トリムなど数多くに採用されている。

大物部品でのPPコンポジット適用事例はバックドアである。鋼板からの置換による軽量化もさることながら、射出成形による形状自由度が長所である。第一世代はアウターPA/PPEの射出成形、インナーGMT（Glass-Mat reinforced Thermoplastics；ガラス長繊維強化マット）のプレス成形であったが、現在はアウターPP射出成形、インナーLFT（Long Fiber reinforced Thermoplastics；ガラス繊維強化PP）の射出成形に進化、コストが削減されている[12)]。

また、樹脂射出発泡成形技術がサイドシルプロテクター、サイドガーニッシュなど外装部品に採用されており[13)]、今後のPPによる軽量化方策として期待されている。

2．CFRP（炭素繊維強化プラスチック）

BMW i3が量産車で初めてCFRPを車体構造に採用したことは有名である。これは熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維積層板に樹脂を注入し加熱プレスするRTM（Resin Transfer Molding）工法などで作られた。オートクレーブ法より短時間で安価な技術であり、BMW7シリーズにも採用されている。今後熱可塑性樹脂を用いたさらなる短時間プロセス化、コスト低減がCFRP用途拡大のキーである。

む す び

軽量化に貢献する自動車用材料として、鋼板、アルミニウム、マグネシウム、樹脂、コンポジット材料の開発、採用動向について概略を説明、今後の拡大にキーとなる技術課題について触れた。一車種当たりの生産台数が年間数万台から数十万台である自動車産業ではコスト低減が普及の鍵であり、これまでの材料開発の歴史はこれらを追求したものであるといっても過言ではない。コスト低減には材料特性の改良、進化だけではなく、部品製造工法技術の改善や変革、材料・工法を活かす設計技術の向上との組み合わせが極めて重要である。自動車会社の材料技術者としてこれらの技術イノベーションを推進していきたい。

参 考 文 献

1）日産自動車ウェブサイト“Nissan Green Program 2022”
2）塩崎ほか、自動車技術会学術講演会前刷集、81-04（2004）、25-28
3）Mubeaウェブサイト
4）ArcelorMittal product catalogue “Laser welded blanks for hot stamping”、“Steels for hot stamping – Usibor® and Ductibor®”
5）Great Design in Steel 2016、P. Belanger、Gestamp
6）ArcelorMittalウェブサイト “New generation PHS”
7）Hayashi、S. et al.、SAE Technical Paper 2018-01-0625、2018
8）Kondo、T. and Ishiuchi、K.、SAE Technical Paper 2014-01-0991、2014
9）陳、鈴木、神戸製鋼技報、Vol. 67 No. 1（Mar. 2018）
10）金指ほか、軽金属、Vol. 59、No. 3（2009）、148–153
11）POSCOウェブサイト
12）日立化成テクニカルレポートNo.44（2005-1）
13）日立化成ウェブサイト　ニュースリリース

3．自動車のマルチマテリアル化と異材結合技術

㈱本田技術研究所　四輪R&Dセンター
第9技術開発室　第4ブロック　主任研究員　マネージャー　豊田裕介（とよだ ゆうすけ）

◇　はじめに　―自動車を取り巻く環境―

現在自動車業界は100年に1度の大転換期といわれている。

電動化、コネクティビティ、自動運転など新しい技術が台頭し、地球規模でのお客様の多様化と社会環境の変化に対応すべく、自動車OEMは競争が激化している。

これらの技術によって自動車の在り方の転換が議論され、従来の売り切りの販売形式に加え、シェアリングやリース・レンタル形態の変化など、様々な所有の形が提案されている。

あわせて国際連合が提唱している2050年に向けた完全循環型社会の実現には、克服しなければいけない課題が山積みとなっている。また、各分野の製造企業も長期的な循環型社会への環境取組みの基本方針を提示し、対外発信している。本田技研工業も**図1**に示すように「Triple Zero（トリプルゼロ）」のコンセプトのもと「環境負荷ゼロ社会」の実現を目指している。

電動化の普及ひとつをとっても、モーター磁石やバッテリーセルに使われている希少元素の削減・廃止が出来る技術を確立する必要があり、今後、適用の増加が想定されるバッテリーの回収やリユース・リサイクルが大きな課題となっている。回収やリユース・リサイクルは官民での仕組みづくりと自動車業界全体での技術構築が急務である。この様な観点から、将来に向けた材料技術は、環境負荷への低減を念頭においた研究開発が不可欠である。

自動車の所有形態の変化は、耐久消費材としてのクルマの生涯期間見直しや、リデュース、リユース、リサイクルの3Rを考慮した製品にすることを余儀なくされる為、自動車の企画設計段階で明確なコンセプトによる開発が必要である。

製造技術においても、IoTを活用した生産管理、CFRP（炭素繊維強化複合樹脂材料）による車輌生産、3Dプリンタとしてよく知られているAM（Additive Manufacturing：アディティブ・マニュファクチャリング）の検討例等が発表されている。AMは航空宇宙産業等の多品種少量生産では、適用例が増加している。これは、従来の除去加工および変形加工による製造方法では出来なかった自由度の高い機能設計を可能にする付着加工である

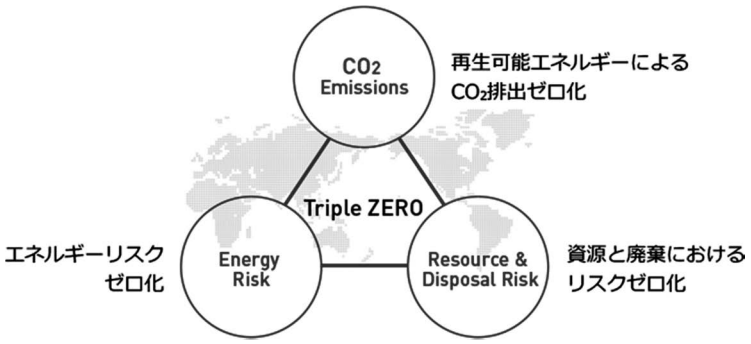


図　1　本田技研工業　トリプルゼロの考え方
（Honda SUSTAINABILITY REPORT 2016より）

ところが大きい。将来、AMのハイサイクル化技術や原材料粉末の低コスト化が確立されれば、自動車等への大量生産製品に活用が拡大すると考えられる。

このような背景の中、本稿では自動車向け材料技術の進化について、マルチマテリアル化に焦点をあてて紹介する。

◇　自動車のマルチマテリアル化

ここ数年、マルチマテリアルという言葉がよく使用されるが、そもそも自動車等の工業製品は、適材適所を基本として設計されていることから、自動車が誕生した19世紀末からマルチマテリアル設計であると言える。

では何故近年マルチマテリアル化が注目を浴びているかを考察すると、ひとつの構造部材でのマルチマテリアル化、ハイブリット化が進んだことが起因していると考える。つまり自動車のボディ骨格、サブフレーム等のシャシー大物構造体で、要求特性の箇所ごとに必要な材料・形状（製造制約含む）を付与した設計がなされ、製品化されている。

この背景には、時代ニーズである環境燃費・衝突安全・乗り心地やレイアウト性など商品性向上や、新たに付加される予防安全技術やコネクティッド技術の装備により、車輌重量は増加の一途を辿っていることが挙げられる。重量増への対応手法には、これら機能と軽量化の両立、軽量化技術の費用対効果向上が課題となっている。

この様な課題の中で、マルチマテリアル化はひとつの解として注目を集めている。マルチマテリアル車体構造が達成できるようになった主な技術要素を、以下に示す。

A）異材の接合／接着技術および電食防止構造の進化

B）各種材料について、市場環境での耐久劣化保証の考え方が整理され、技術構築が進んだこと

C）異材間の線膨張差を克服する中間材の設定、構造および製造プロセスの工夫（製造および使用環境履歴による熱応力）

D）CFRP（炭素繊維複合強化樹脂）等の高機能・高性能樹脂材料との組合せを選択できる技術と工業的な準備が整ってきたこと

これらの観点をふまえて、マルチマテリアル化技術の適用例を以下に解説する。

①HONDA　NSX

2016年に北米を皮切りに発売された新型NSXは、次世代のスーパースポーツカーとして「New Sports eXperience」のコンセプトのもと、以下に示す考え方で開発された。

◆人間中心…パッケージ、爽快視界、視認性インターフェース

◆機能美…スタイリング、空力マネージメント

◆瞬時反応…高剛性、エモーショナルな反応、加速性能

◆HONDA DNA…衝突安全性、品質、信頼性

◆精密な職人技…高精度、高効率

そして、このコンセプトを達成する一要素として、車体には軽量高剛性なスペースフレーム構造のマルチマテリアルボディが採用された。

図２にNSXボディ骨格の材質と構成を示す。図からわかるように、6000系の閉断面のアルミニウム押出をメインビーム類に多用し、ビーム同士や骨格パネルとの結合部にはアルミニウム鋳物による高剛性継ぎ手を採用している。継ぎ手のアルミニウム鋳物は、３次元的なリブ構造や中空構造であるため高いボディ剛性に寄与しており、部品数は23点にもなる。その内の６点は大物の薄肉中空一体構造を実現するために、新開発のアブレーションキャスティング（Ablation Casting）を適用した。本技術は水溶解性の大物砂型を用いて鋳造された後、凝固が完了する前に砂型ごとシャワー水冷することで、急冷による微細で高品質な組織を得ると共に、脱型を同時に完了する画期的な鋳造法である。高品質で高靭性な鋳物が得られることから、対象継ぎ手部品に衝突ロードパスとしての機能を保持させることが可能となった。

視界周りにあたるフロントAピラーおよびルーフ外周には、高強度・高剛性な熱間３次元曲げ（3DQ）の急冷超高張力鋼管と高強度鋼板を配置することで、小断面による爽快な視界と高い安全性能を両立した。アルミニウムスペースフレームを基本として、視界周りに鉄鋼技術を採用した考え方こそ、適材適所であるマルチマテリアル化の醍醐味といえる。

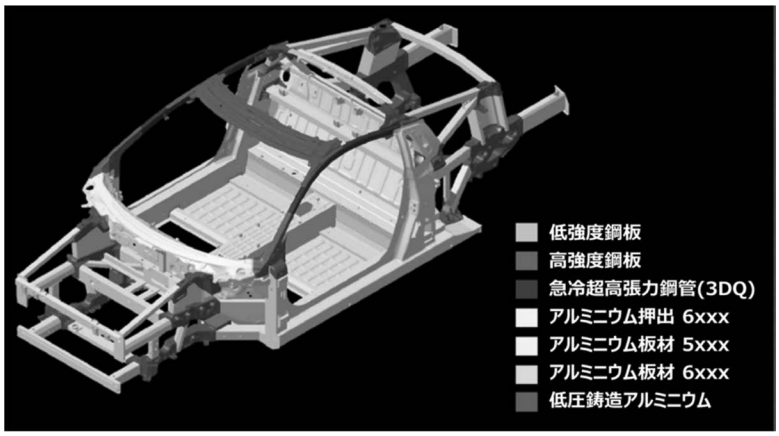


図　2　HONDA　NSXのマルチマテリアルボディ骨格

また、スペースフレームを覆う外板および蓋物構造体等も、様々な以下の材料で構成されている。

5000系アルミニウム…フードおよびトランクの内板

6000系アルミニウム…フード外板、ルーフ、ドア

7000系アルミニウム…ドアビーム

熱可塑製樹脂…インテークガーニシュ

SMC（Sheet Molding Compound）…フェンダー類、トランク外板

その他…FRPフロア、マグネシウムフューエルリッド

マルチマテリアルボディ部品の結合には、５種類の溶融接合法と、６種類の機械締結が採用されている。基本的にはアルミニウム骨格部分には、材質特有の熱変形影響を最小限に抑制する接合手法選定と構造工夫がされ、異材間の結合には機械締結が多用されている。あわせて機械締結は、クランプ冶具等の投資を最小限にするために、基準固定にも使用している。

異材間では、鋼板側にEDコートを施した後、アルミニウムとの間に接着シーラー類を挟んだ状態で機械締結される。また、各々の機械締結で用いられるファスナー、リベット、ナット等はそれぞれの結合手法に適した防錆表面処理が施されている。

②ハイブリットサブフレーム

鋼板のプレス溶接部品とアルミニウムのダイカストの２部材をFSW（Friction Stir Welding：摩擦撹拌接合）で結合したハイブリットサブフレームを2013年モデルのアコードから適用し、構造は

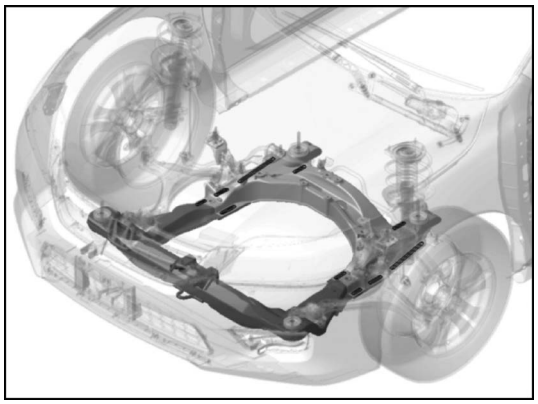


図　3　鋼板とアルミニウムのハイブリットサブフレーム

多少違うが現在も2018年モデルのアコードで生産を継続している。サブフレームとは**図３**に示すように、ボディと足廻り部品をつなぐ役割と、内燃機関等のパワープラントやステアリングギアボックスを保持する役割を持つ大型のシャシー構造部品である。

軽量化とエンジンバリエーション違いによる構成部品変更を最小限にすることを目的とし、ハイブリットサブフレームを採用した。

摩擦撹拌接合は、イギリスの溶接機関であるTWI（The Welding Institute）が1991年に開発した固相接合技術である。プローブと呼ばれる突起部を形成したツールを高速回転させ、重ね合わせた被接合体に加圧することで、摩擦発熱により接合部を軟化・塑性流動させることで結合する。この状態のまま線状に動かすことで、重ね継ぎ手の

線接合が可能となる。

本技術は非溶融接合であることから入熱量が少ないため、鉄とアルミニウムの異材間で適用した場合に、接合強度を著しく低下させる金属間化合物の生成を最小限にすることが可能となる。よって、高強度で信頼性の高い結合が得られる。

異材間の電食を防止する対応としては、鋼板へカチオン塗装を施すと共に、鋼板とアルミニウムダイカスト部材間の重ね継ぎ手界面に、シーラーを挟んでFSW接合することで、接合部を止水構造とし高い防錆性能を担保している。

また、接合時のクランプ位置や接合箇所、接合順序を工夫することにより、入熱で発生する部品にかかる残留応力を低減している。これにより、実車入力から伝播するサブフレームへの振動における疲労強度信頼性が向上している。

◇　マルチマテリアル化技術の課題

今後さらにマルチマテリアル構造を拡大するための課題としては、組み合わされる軽量材や異材結合（結合手法自体および電食対応）の費用低減が重要であり、その上で製造CO_2の削減と異材接合部材の分離性の向上（リサイクル性・易解体性）が必要となる。

現在、本技術は様々なカーメーカーにて一部の車種へ展開されているが、メインストリームのグローバルな大量生産機種に適用拡大していくことを考えると、製造および廃却時の環境負荷低減を避けては通れない。

自動車の機能や耐久性を担保するためには、異材間にて信頼性の高い接合・接着を目指す反面、将来の循環型社会の実現に向けては、リサイクル性の向上も同時に求められる。この相反することを両立するブレークスルーには、更なる材料と製造の研究開発と構造設計技術、部品リユース等も含めた新しい自動車の姿を検討することが重要である。

◇　鉄鋼材料の技術進化に期待すること

ここまでマルチマテリアル化を題材に述べてきたが、コストパフォーマンスが高く製造CO_2排出量が比較的に少ない鉄鋼材料は、成分、加工、熱処理により様々な性能特性を引き出せることから、今後も構造部材の本流であることは間違いない。**表 1** に、各種材料の製造CO_2原単位を示す。本データは、自動車のライフサイクルCO_2計算方法として、（社）日本自動車工業会が提案している。

鉄鋼材料が、機能向上や更なる高強度化を自動車に展開するには、成形加工性・溶接性の担保、伸びや靭性、耐食性との両立など対処しなければいけない課題は多い。特に高強度鋼の遅れ破壊／水素脆性といった問題には、材料開発と自動車の使われ方・構造の双方からの研究開発が不可欠である。

あわせて、様々な材料との組合せによるマルチマテリアル化への対応として、その基本骨格となる鉄鋼材料は、高効率な異材との接合技術を駆使した応用性および親和性が期待される。

表　1　材料33分類のCO_2排出原単位と歩留り率

No.	素材名	原単位 [kg-CO2/kg]	歩留まり [%]
1	鋳鉄	1.18	47.1%
2	熱延鋼板	1.59	60.2%
3	冷延鋼板	1.71	60.2%
4	亜鉛めっき鋼板	2.01	60.2%
5	炭素鋼，合金鋼	1.08	56.8%
6	ばね鋼	3.14	56.8%
7	ステンレス鋼	3.14	60.2%
8	アルミ新地金	9.22	65.8%
9	アルミ再生地金	0.313	65.8%
10	アルミ板（展伸材）	11.0	60.2%
11	アルミ押出材	10.2	60.2%
12	銅線	2.72	100.0%
13	亜鉛合金	5.13	100.0%
14	鉛	2.10	100.0%
15	白金類	2,838	100.0%
16	PP（ポリプロピレン）	1.49	93.3%
17	ABS	3.50	93.3%
18	PA（ナイロン）	4.63	93.3%
19	PC（ポリカーボネート）	9.22	93.3%
20	PVC（ポリ塩化ビニル）	1.46	93.3%
21	PE（ポリエチレン）	1.53	93.3%
22	PUR（ポリウレタン）	3.77	93.3%
23	PET（ポリエチレンテレフタレート）	4.13	93.3%
24	PBT（ポリブチレンテレフタレート）	4.82	93.3%
25	SBR（スチレンブタジエンゴム）	4.21	93.3%
26	EPDM	2.73	93.3%
27	天然ゴム		93.3%
28	塗料	3.73	75.0%
29	ガラス	1.73	70.0%
30	電子部品材料		100.0%
31	エンジンオイル，ATFなど	0.636	100.0%
32	LLC（ロングライフクーラント）	1.59	100.0%
33	HFC-134a	3.01	100.0%

出展（社）日本自動車工業会　2011年

Ⅲ．部品メーカーにおける新素材へのチャレンジ

1．足回りへのチャレンジ

日本発条㈱　ばね生産本部
企画設計部　次長　山本屋（やまもとや）　健（けん）　二（じ）

日本発条㈱　ばね生産本部
開発部　主査　住（すみ）　吉（よし）　功（いさお）

まえがき

地球環境保全に対する社会的な要請から、各カーメーカはそれぞれに燃費の向上に取り組んでいる。その取り組みは動力源の効率化と車体重量の軽量化とに大別できる。我々部品メーカは部品の軽量化を通じてカーメーカに協力している。本稿では、乗用車用の足回り部品として広く採用されている圧縮コイルばね（以下、コイルばね）を例に軽量化への取り組みについて紹介する。

コイルばねの最も重要な特性は「ある長さにコイルばねを圧縮するために必要な力（指定荷重などと呼ばれる）」と「コイルばねをある状態からさらに1mm圧縮するために必要な荷重（ばね定数、剛性などと呼ばれる）」の２つである。これら指定荷重とばね定数の２つの特性をまとめて以下では「基本特性」と表記する。一方で、足回り部品として使われるコイルばねは変形と復元を繰り返すことを前提として耐久性を加味して設計される。この変形の度合いは「ひずみ」さらには「応力」として正規化される物理量で表現される。コイルばねを軽量化する、ということはすなわち、基本特性と耐久性能を満足させつつ許容されるコストの範囲内でより軽いコイルばねを設計・製造することである。コイルばねの軽量化には、次の３つのアプローチがある。

1．材料の高強度化：コイルばねの寿命は、使用時に発生する応力に大きく依存する。同じ基本特性を有するコイルばねでは、許容応力を大きくとるほど軽量化できることが一般的に知られている。したがって、許容応力を高くしても要求される耐久性を満足させられれば軽量化できる。

2．材料の効率的な活用：１本のコイルばねでも局所的に見ると、ばねとしてたくさん働いている部分と、あまり働いていない部分がある。こうした「無駄な部分」を削減する・排除することで軽量化できる。

3．高い「剛性／比重」の材料への置き換え：材料そのものの比重が小さければ軽いコイルばねとなることは直観的に理解しやすい。例えばレース車用にチタン合金製のコイルばねがすでに実用化されているが、本稿では繊維強化樹脂（FRP）の例を紹介する。

以下では、それぞれのアプローチによる軽量化について述べる。

◇　材料の高強度化

足回り用ばねは、その大半がばね鋼と呼ばれる鉄鋼材料を原材料としており、強い軽量化ニーズにより、今もなお軽量化を達成するための鋼材や加工方法の開発が進められている。ここでは足回り用コイルばねの鉄鋼材料と加工法の開発について紹介する。

乗用車の足回りにコイルばねが採用され始めたのは1970年代であり、SUP6という材料、許容応力900MPaの材料でそれまで主流であった重ね板ばねからおよそ1/2から1/3の軽量化を達成する大きな変化であった。その後も、製鋼技術や加工技術の発展と共に大幅な軽量化が達成されてきた。

1970年代半ばから1980年代にかけて高Si鋼のSUP7やSi-Cr鋼のSAE9254などが開発、規格化され、許容応力は1,000MPa、14％以上の軽量化を実現した。その後、加工技術として温間セッチング*1や温間ショットピーニング*2が実用化され、許容応力が1,100MPaまで引き上げられた。

1980年代後半になると、従来のばね鋼規格からは全く異なる成分系や発想による材料が開発された。これは足回りコイルばねの10年以上の市場実績より、コイルばねの許容応力の向上には、（1）高強度化による高い耐久性、（2）耐へたり特性、（3）腐食耐久性および耐遅れ破壊特性を考慮したバランスに優れた成分設計が必要なことが明らかとなったためである。高強度化による高い耐久性と耐食性や耐遅れ破壊特性との両立は、その要求特性の性質上相反するものであるが、低C鋼にNi、Cu、Ti、V、Mo、B、Nb添加などの有効性が認められ、ダブルショットピーニング技術などと合わせて許容応力1,300MPaで使用可能な材料が開発された。これにより軽量化率は、45％以上とSUP6に比べておよそ半分にまで軽量化される技術が確立された。しかしながら、これら特殊開発鋼はNiやV、Moなどのいわゆるレアメタルを添加するため、材料自体は高価なものであったため、自動車市場の成熟に伴い、軽量化ニーズに加えて低コスト化が強く要求されるようになった。これらの多様なニーズのもと、材料設計技術はますます進化し、1990年代後半から2000年代には低C鋼にNi、Cu、Cr、Tiなどを微量添加することで優れた強度と耐へたり性、耐食性、耐遅れ破壊特性を実現した材料が開発された。許容応力1,200MPaながら、それまでの高強度材料に比べて大幅な低コスト化を実現しており、世界中の多くの市場で採用されるに至った。

現在は低コストを維持しながらも許容応力1,300MPaを実現する省合金の材料も開発され、熱処理、ショットピーニング法に加えて高級な厚膜塗装などと合わせて1,300MPa級以上の許容応力を達成する製品も開発されて量産車へ採用されている。また、日系カーメーカのグローバル化に伴って世界中に工場が新設され、現地での部品や材料の調達ニーズが増しており、近年は現地の鉄鋼メーカからSAE9254などの規格鋼を購入して、加工法や塗装技術などで1,300MPa超級のコイルばねを生産する会社が多く、鉄鋼材料を用いた軽量化の取り組みは今後も様々なニーズに答えるべく多様なチャレンジが継続されるであろう。以上の軽量化の変遷を**表1**にまとめる。

◇　材料の効果的な活用――中空材を用いたコイルばね

乱暴な言い方をすれば、圧縮コイルばねは「3

表　1　コイルばねの軽量化変遷

	許容応力（MPa）						
	900	1000	1100	1300	1200	1300	1300超
鋼種	SUP6	SUP7 SAE9254	SUP7 SAE9254	独自特殊鋼	独自特殊鋼	独自特殊鋼	独自特殊鋼 あるいは 規格鋼
加工法	シングルSP	シングルSP	温間セッチング 温間SP	温間セッチング 温間ダブルSP	温間セッチング 温間ダブルSP	温間セッチング 温間ダブルSP	温間セッチング ストレスSP 厚膜塗装
材料径（mm）	12.9	12.5	12.1	11.4	11.7	11.4	＜11.0
質量（kg）	2.95	2.52	2.15	1.61	1.81	1.61	＜1.475
質量比（％）	100	85.4	72.9	54.6	62.0	54.6	＜50
年代	1970年	1970年半ば から 1980年初め	1980年初め から 1980年半ば	1980年後半 から 1990半ば	1990年後半 から 2000年代	2000年代 から 2010年代	2010年半ば から 現在

*1　セッチング：ばねに過荷重をかけて、あらかじめ変形させることにより、使用時のへたり（ばねが変形して車の車高が下がる現象）を改善する技術。
*2　ショットピーニング（SP）：1mm以下の小さい鋼球を高速で鋼材表面に投射することで疲れ強さを向上させるための圧縮残留応力を付与する表面改質技術。

次元的に折り畳まれたねじり棒ばね」である。そのため、材料の断面を見ると中心部に近いほどほとんど歪んでおらず（したがって復元力を発揮しておらず）、表面に近いほど大きく歪んでいる（復元力に貢献している）。そこで、「あまり貢献していない真ん中の部分をくり抜いてしまう」というアイデアが容易に思い浮かぶ。実際、コイルばねとは別の足回り用ばね部品であるスタビライザではすでに1980年代には中空化が実現している。

このようにコイルばねの「中空化」のアイデアは古くからあったが、コイルばねに適したサイズ（概ねφ10～15mm程度）の高品質パイプ材の製造が難しいこともあり、スタビライザに比べて大きく遅れていた。しかしパイプ材生産技術の進歩により、コイルばねに適用可能なレベルのパイプの入手が現実的になってきた。

そこで我々はパイプ材を用いた「中空コイルばね」を設計・試作し、耐久性などの基本的な評価を含めた活動を繰り返し行い、その開発を完了した。試作・評価したコイルばねは、比較対象となる「基本特性、耐久性が同等の中実コイルばね」と比較して3.7kgから2.7kgへと27％の軽量化を達成している。なお、コイルばね製造工程は、パイプ材端末部の処理が追加される他はすべて既存の熱間成形工程がそのまま流用できることを確認済みである。残る課題はパイプの量産化とコスト低減である。次項の繊維強化樹脂の例と合わせて軽量化の事例を**表２**にまとめる。

表　２　中空パイプ材およびFRP材を用いた軽量化事例

材料	ばね鋼*3	ばね鋼（パイプ）	ガラスFRP	カーボンFRP
材料径（mm）	14.9	15.4×3.2	25.8	23.5
質量（kg）	3.7	2.7	1.8	1.2
質量比（％）	100	73	49	35

*3　ばね鋼の許容応力は表１の1,300MPaクラスの材料、加工方法を指す。

◇　高い「剛性／比重」の材料への置き換え

FRPコイルばねはすでに海外で一部の乗用車に用いられており、その軽量化効果も大きいため、大きな注目を集めている。我々の開発活動でも実用に耐えうる材料および工法開発を行い、**表２**に示すように大きな軽量化を得られることを確認している。FRP素材は軽量、高剛性であるものの、その許容応力は鉄鋼材料に対して著しく低く、そのまま置き換えるとなると素材径を大幅に大きくする必要がある。車種によってはコイルばねの外径側、内径側に対して厳しいスペース制約があることも珍しくないこと、また、その材料および製造コストは鉄鋼材料に比べて数倍から10倍以上と高価であること、FRP素材に対するリサイクル問題など多くの課題もあるため、現状は鉄鋼材料と同様のコスト、部品構成の延長で単に置き換えられるものでない。

しかしながら、その軽量化効果は非常に大きく魅力的であるため、今後は単純な置き換えではなく、FRP材を用いた足回り機構の開発や、鋼材と組み合わせたマルチマテリアルとしての適用検討が進められていくと予想される。

◇　今後の展望

今後も自動車足回りのばねにはさらなる軽量化が要求されるであろう。また、その達成にはより高強度な鋼材または高強度化を達成するための加工法の開発に加え、中空化や複合材料との組合せによる、つまりマルチマテリアル化の開発が一層進むことは想像に難くない。

2．電装部品へのチャレンジ

日立金属㈱
グローバル技術革新センター　相牟田　京平（あいむた　きょうへい）

日立金属㈱
グローバル技術革新センター　端場　登志雄（はば　としお）

まえがき

地球環境保全のため、世界各国でCO_2排出量規制の目標が設定されている。近年では、規制に積極的な欧州のみならず中国、インドなどにおいても燃費や排出ガスの規制が強化されている。これら規制に対応するため、自動車業界では各社、車両の電動化に向けた開発を加速している。日立金属株式会社では、自動車分野ではピストンリング、CVT（Continuously Variable Transmission）ベルトなどの内燃機関向け金属部品と各種鋳造部品を主力製品としてきた。一方で、今後の進展が予想されるHEV（Hybrid Electric Vehicle）、EV（Electric Vehicle）などの電動化自動車（xEV）に対応するため、**図１**に示す電動化に対応した製品を開発している。本稿では、xEVの重要構成部品である駆動モータ、インバータ向けの技術開発の取り組みについて紹介する。

◇　駆動モータ

車両内の居住空間の拡大や燃費・電費向上のため、駆動モータには小型化、軽量化と高効率化が求められている。車両駆動用モータとして、高出力密度化が可能な永久磁石埋め込み式のIPM（Interior Permanent Magnet）同期モータが採用されている。駆動モータ向けIPM同期モータの主要な部品としては、ネオジム焼結磁石および平角エナメル線が挙げられる。

ネオジム焼結磁石

ネオジム焼結磁石は、磁気特性に優れており、高出力密度化が求められるHEV/EVなど駆動モータ向けIPM同期モータに広く用いられている。大電力で駆動されるモータ内で磁石は高温環境にさらされるため、磁力の不可逆な低下（高温減磁）が生じやすい。これを避ける為、従来駆動モータに使用されるネオジム焼結磁石にはジスプロシウム（Dy）、テルビウム（Tb）などの重希土類元素を添加して高保磁力化されていた。これら重希土類元素は資源が偏在しており、供給リスクを低減することが課題である。

この課題に対し、我々は添加する重希土類含有量を大幅に削減したネオジム焼結磁石の開発に成功した（**図２**）。従来結晶粒の微細化によって保磁力が向上することは知られていた。我々は保磁力向上に大きく影響する主相粒子間の粒界相に着目して粒子間の磁気的相互作用と磁区反転起点を低減することで、結晶粒を微細化することなく重希土類添加量の低減を実現した。本技術を適用した

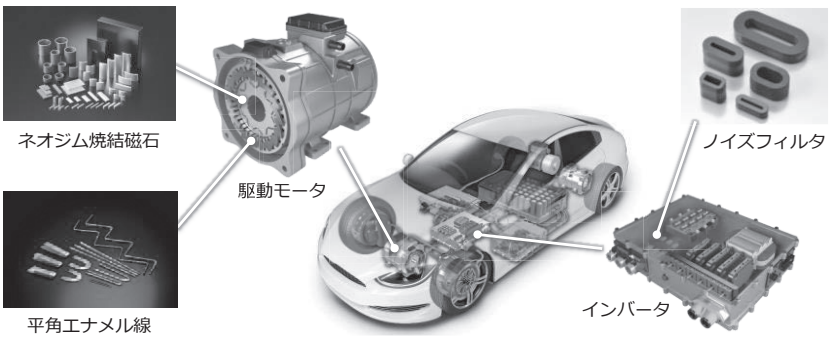


図　1　日立金属における電動化対応製品の例

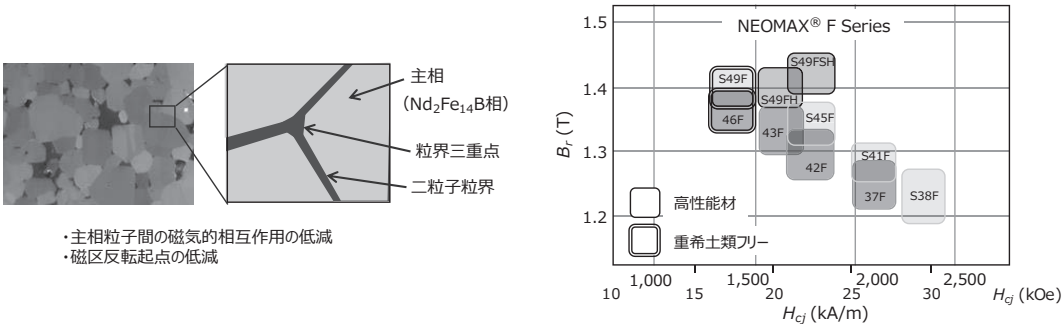


図　2　ネオジム焼結磁石の粒界制御（左）とDyフリー磁石の特性（右）

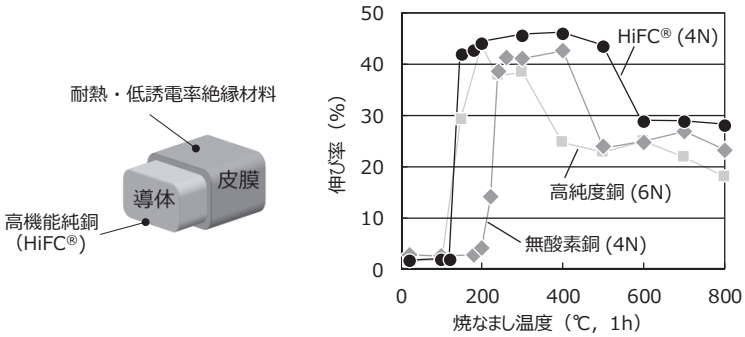


図　3　平角エナメル線の構造（左）と高機能純銅HiFC®の伸び特性（右）

磁石を「NEOMAX® Low Dy Series」としてラインアップし、2014年４月に市場投入した。その後、2015年には高性能グレード材にも展開し、従来の「NEOMAX® Standard Series」と残留磁束密度（B_r）、保磁力（H_{cJ}）が同等で、Dyを質量比で約２％削減した。さらに、2017年にはこの技術に改良を加えることにより、これまでの高性能材を上回る特性を重希土類フリーで実現し、ラインアップを拡大して「NEOMAX® F Series」とした。今後も重希土類元素の使用量を削減した高性能材のラインアップを拡充していく。

平角エナメル線

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、巻線の高占積率化に適した平角巻線の採用が広がっている。一方で、高出力化に伴い駆動の高電圧化が進み、巻線間の空隙部での部分放電による被覆ダメージの問題が顕在化している。部分放電を抑制するには被覆の厚膜化が必要となるが、厚膜化は占積率を低下させてしまう。

これら課題に対し、我々はエナメル材の樹脂骨格を変性し、極性低減により低誘電率化を図った巻線を開発した。部分放電抑制に必要な皮膜の厚みは誘電率の低下とともに薄くなるので、高駆動電圧設計でも高い占積率を確保出来る。また、導体の銅には、優れた柔らかさとTIG（Tungsten Inert Gas）溶接性の安定化が期待できる高機能純銅HiFC®（Hitachi Fine Copper）を開発した。HiFCは、溶解した電気銅にチタンを微量添加することで、銅中の硫黄や酸素といった不純物を捕捉、無害化し、銅生地を高純度化させた素材である。銅生地の高純度化により、HiFCは高純度銅（6N）のような特性を示す。導電率は101％IACS（International Annealed Copper Standard）以上を示し、TIG溶接性にも優れ、水素脆（ぜい）化も起こさない。一方で、微小なチタン化合物が銅生地中に分散していることで、再結晶組織での結晶粗大化を抑制でき、広い焼きなまし温度範囲で高い伸びを示すとともに屈曲特性にも優れた導体となる（**図３**）。本製品は、加工性が優れているため生産性の向上が期待でき、また皮膜が薄くコイル断面に占める導体の割合が高いためモータの小型化への貢献が期待できる。

◇　インバータ

EVに欠かすことができない部品のひとつとして、電力を直流から交流に変換し、モータを駆動するインバータが挙げられる。これらには大きな出力とともに限られたスペースに設置する必要が

あり、高いパワー密度が求められる。インバータの体格は内部のリアクトル、コンデンサ等の受動部品に大きく依存しているが、必要なインダクタンス、キャパシタンスの値がスイッチング周波数に反比例することから、高周波化により大幅な小型化が可能になる。現在、多く使われているスイッチング周波数帯は、Si半導体素子の損失の問題で10kHz以下が中心であるが、今後、SiCやGaNなどの次世代低損失半導体の登場により10－100kHzにシフトすることが予想される。一方、インバータの主要部材であるリアクトルは、スイッチングによって内部の磁心材料（軟磁性材料）から損失（鉄損）が発生し発熱する。この損失は周波数の１～２乗に比例して増大するため、高周波スイッチングに対応した低損失磁心材料が求められる。さらに、スイッチング周波数の増加によってスイッチング時のノイズ成分も高周波化するため、ノイズフィルタに使用する磁心材料には、広い周波数帯域で高いインピーダンスが求められる。このように、車載向けの電力変換に使用する軟磁性部品は、用途によって要求される性能が異なる。今回は、ノイズフィルタに使用する軟磁性材料である、ナノ結晶軟磁性材料FINEMET®を紹介する。

FINEMET®は、特殊な組成で作成したアモルファスリボンを熱処理することで得られるナノ結晶軟磁性材料である。 その組織は、均一微細な10nm程度のbcc Fe-Siを主相としその粒界に残留アモルファスが存在している。これによって、従来の結晶質軟磁性材料では成しえなかった、高飽和磁束密度B_sと高比透磁率μ_rを実現している。インピーダンスは比透磁率に比例するため、FINEMET®はノイズフィルタ用磁心材料として非常に優れた材料といえる。**図４**にFINEMET®リボンの外観と、比透磁率の周波数特性を示す。ノイズフィルタ用磁心材料として一般的な材料であるソフトフェライト対比、すべての周波数領域で高比透磁率が得られている。これはインピーダンス設計値を一定とした場合、コイルを小型化できることを意味しており、FT-3K50Tの場合、ソフトフェライトと同等の特性が得られる体積は約1/2となる。2017年に開発したFT-3K10Q材は、FT-3K50T材を超える特性が得られており、さらなるノイズフィルタの高性能化、小型化への寄与が期待されている。

むすび

本稿では自動車分野の電動化に対応した日立金属の製品として、駆動モータ用ネオジム焼結磁石、平角エナメル線およびインバータ用軟磁性部材の特性を述べた。自動車の電動化への動きは今後も加速することが予想され、さらなる高性能化に向けた新材料の開発が求められている。また、環境対応のためには電動化だけでなく、内燃機関の高効率化、車両の軽量化に向けた材料・部品の開発も必須となる。自動車に求められる環境性能の変化を捉え、駆動モータ用部品やエンジン・排気系部品、足回りまで幅広い分野の開発力と技術力を通じて、地球環境保全へ貢献していきたい。

参考文献

1）日立評論 Vol. 99 No. 05 538-539（2017）
2）日立評論 Vol. 99 No. 05 550-551（2017）

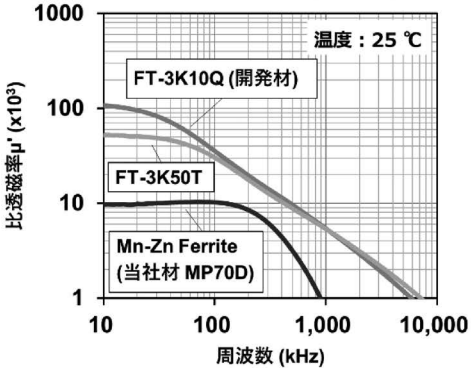


図　４　ナノ結晶材料FINEMET®リボンの外観（左）と比透磁率の周波数特性（右）

3．自動車車体骨格のマルチマテリアル化とそれを支える異種金属接合技術

㈱神戸製鋼所　技術開発本部
自動車ソリューションセンター　鈴木励一（すずき れいいち）

㈱神戸製鋼所　技術開発本部
自動車ソリューションセンター　内藤純也（ないとう じゅんや）

まえがき

地球環境保護対策としての炭酸ガス排出量抑制を目的とした燃費規制が各国で益々厳しく強化される一方、自動車事故に対する安全強化、コンピュータ化の進展、EVやハイブリッド車に必要な電池の搭載などでむしろ車重が重くなっていくという相反性の環境に置かれており、世界の自動車メーカーは車体軽量化の技術開発とその実用化に取り組んでいる。

車体骨格の軽量化への取組みに関しては、対象部材に応じた最適素材を組み合わせる、“マルチマテリアル化”手法が欧米を中心に広がっているが、量産車における車体骨格用素材の主役は高強度鋼板（以下、ハイテン）とアルミ合金である。ハイテンについては、シャシー用途では高々590～780MPa級が実用上限となっているのに対し、ボディ用途では既に1,470MPa級まで実用化が進んでいる。マルチマテリアル構造実現の大きな課題が異種素材の接合技術であることはよく知られているが、鋼材の超ハイテン化はさらに増して接合を難しくしている。

本稿では、ハイテンとアルミ合金の比率と車体骨格重量の関係の試算結果、および当社が開発中の超ハイテンとアルミ合金の異種金属接合技術の一例について紹介する。

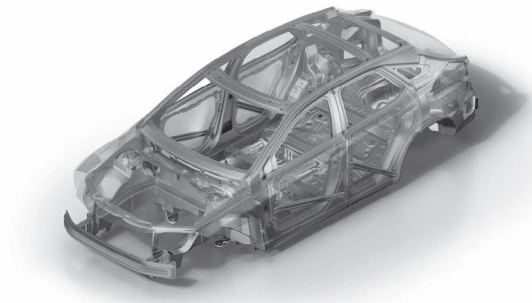
◇　鋼材とアルミ合金を活用したマルチマテリアル化による軽量効果試算

マルチマテリアル化による車体の軽量効果については、欧米の軽量化プロジェクト[1)、2)]で試算された事例があるが、同一車体で適用材の比率と軽量化効果の関係性を試算した公知事例は、著者らの知る限り多くない。本稿では、同一車体を対象に鋼材とアルミ合金の比率を変化させた軽量化設計を行い、軽量化効果と部品点数削減効果を試算した結果を紹介する。

軽量化設計のベースとなる車体は、EセグメントのSUVとした。車体設計の要件は、(a) 衝突解析で各部位の侵入量を評価し、主要な衝突基準でGood評価となること、(b) 車体全体のねじり剛性、曲げ剛性を動剛性で評価し、それぞれ50Hz、40Hz以上となることとした。**図１**に車両の主要諸元、車体骨格図および材料構成を示す。ベースとなる車体はオール鋼製で引張強度590MPa級のハイテンを約40%、引張強度980MPa以上の超ハイテンを約15%適用している。

このベース車体からの軽量化を検討するにあたって、異なる方針のもとで４パターンの軽量化設計を行った。ケース１は非鉄素材と比較して低コストである超ハイテン材を最大限活用したケース、ケース２、３はアルミ押出形材およびダイカスト材の適用による部品点数低減を狙いながら、鋼材とアルミ合金を混在させて軽量化を狙ったケース、ケース４は最大限アルミ合金を活用し、衝突要件の厳しい部位のみに高強度鋼材を適用したケースである。

軽量化検討の結果について、縦軸を車体重量、横軸にコストイメージとして**図２**に示す。また、**図２**中に各ケースの鋼材とアルミ合金の使用重量比率を鋼材の強度クラス別、アルミ合金種別に示す。当社の試算では、ケース１の超ハイテン材の積極的な活用によって12%（53.5kg）、ケース２、３のマルチマテリアル化により22～24%（106.1～



主要諸元 SUV (E segment)	
全長	4826 mm
全幅	1885 mm
ホイールベース	2785 mm
全高	1710 mm
車体重量	2150 kg

材料構成	比率 (%)
< TS590MPa steel	41.4
≧ TS590MPa steel	40.7
≧ TS780MPa steel	12.5
hot stamping steel	4.5
Aluminum Extrusion	0.8

車体骨格重量	456.4 kg
部品点数	243

※ドア、フード除く

図　1　ベース車体の骨格図、主要諸元、および、材料構成

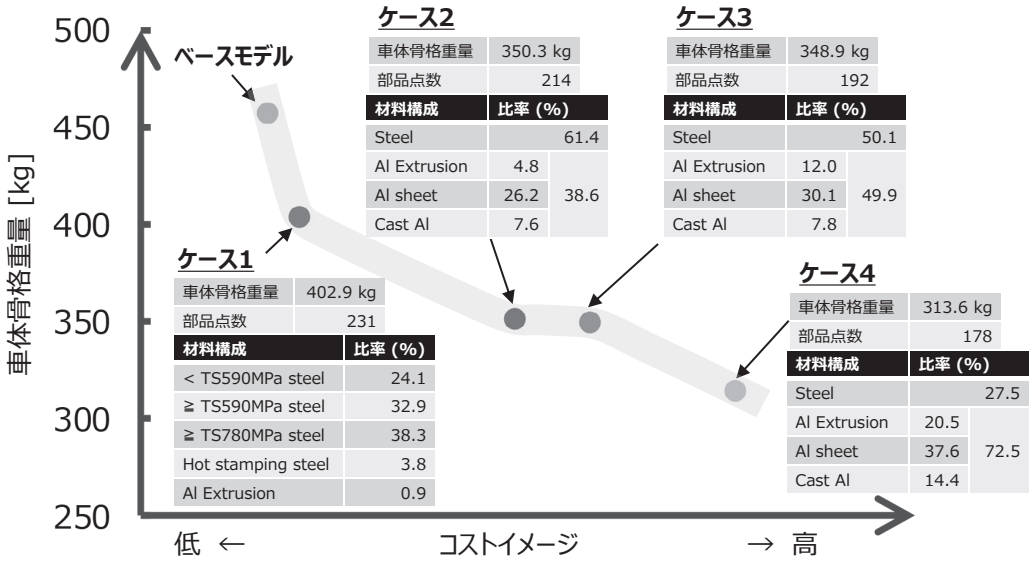


図　2　軽量化検討結果

107.5kg)、アルミ合金の積極使用により、33%(142.8kg) の軽量化効果が期待できる結果となった。

ただし、**図2**に示す通り、軽量化に伴うコストアップは避けられない。材料コストは言うまでもないが、プレスや接合といった加工コストもアップする。本検討の素材には一部、開発中の素材を含んでいるが、さらなる軽量化とコスト抑制のための新素材の実用化に向けた取組みも必要である。

◇　異種金属接合法

1．異種金属接合の課題と実用化されている接合法

鋼材同士の接合法は、ほとんどが溶接である。ボディ骨格では主に抵抗スポット溶接法、シャシーではアーク溶接法といった違いはあるが、どちらも高温で母材同士を溶融させて金属結合させる機構である。しかし、鋼とアルミ合金に溶接を

試みても、著しく脆い金属間化合物が生成してしまい、接合はできない。そこで、両者を溶融混合させずに、形状的拘束や摩擦力を締結力とする機械的接合法が異種金属接合の主力として用いられている。**図３**に主な自動車用異種金属接合法の一覧を示す。詳細説明は省略するが、最も普及しているかしめ機構のSPR（Self Pierce Riveting）は車一台あたり2,000点以上、貫通ネジ機構のFDS（Flow Drill Screw）は700点以上使われている車もある。

２．接着剤の動向

異種素材の接合におけるもう一つの課題は、電食（ガルバニック腐食）である。異なる金属が接すると局部電池が形成され、片方の金属が選択的に腐食進行する現象である。鋼とアルミ合金の場合では後者が腐食する。電食を防ぐ現実的な手段は、水分を接合面に寄せ付けないことである。上述の現在実用化されている多くの機械的接合法は点接合なので、水密（シール）機能がない。そこで、接着材を界面あるいは表面に塗布したうえで、機械的接合を行うハイブリッド接合法が電食も考慮した事実上の異種金属接合法となっている。なお、接着材はシール機能だけでなく、無論、接合法としても有用である。面接合なので、特に高いせん断強度が発揮される。塗布状態の品質管理、長期間や低温時の品質保証といった不安感はあるが、樹脂も含めたマルチマテリアル構造の進展に伴い、接着剤の適用量は増大している。

３．超ハイテン鋼板とアルミ合金の異材接合法[3)、4)]

前項で示したように、比較的安価で軽量化効果が得られる超ハイテンを積極適用した上でアルミ合金化が進むとすると、超ハイテンとアルミの異種金属接合が必要となる。しかし、従来の機械的接合法では超ハイテンを塑性変形させたり、貫通させたりすることが難しくなっている。一方、接着材は無論超ハイテンにも適用可能であるが、せん断強度と直交方向である剥離強度が低いという短所があり、継手強度が接着材頼みということにもならない。そこで、当社は独自に超ハイテンとアルミ合金の強固な接合ができる異種金属接合法「エレメントアークスポット溶接法（EASW）」を開発した。**図４**にメカニズムを示す。中空形の鋼製エレメント（リベット）をアルミ合金板に挿入し、ガスシールドアーク溶接によって鋼製溶接ワイヤをエレメント中空部に供給して鋳込むことで、鋼製エレメントと下板鋼板を強固に溶接し、アルミ合金板を挟み込むことで締結状態と為す。鋼板を塑性変形させる必要がないので、超ハイテンでも接合することが可能である。以下にこの他のEASWの特徴を示す。

①せん断・剥離を問わず、接合強度が従来の異

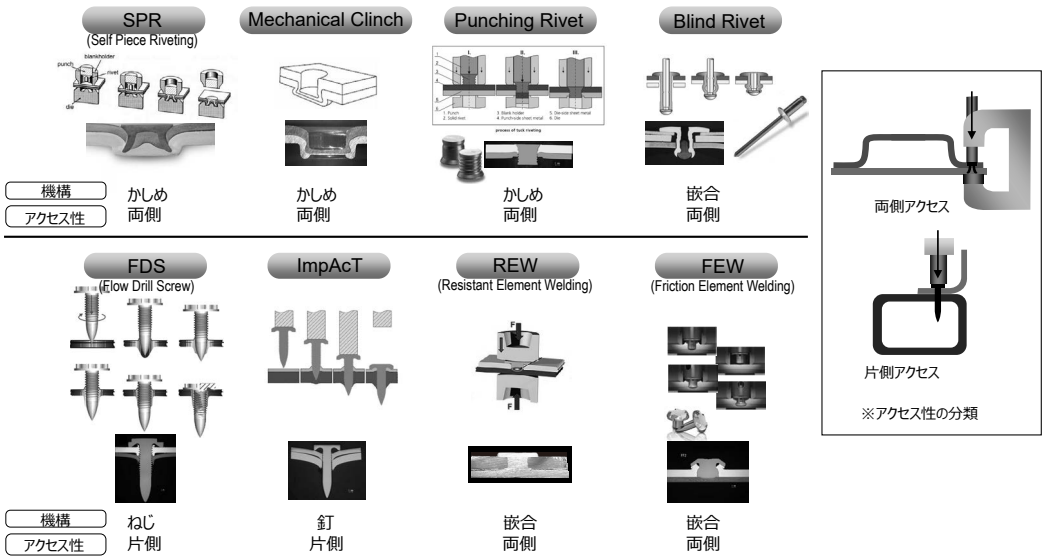


図　３　実用化されている自動車構造用異種金属接合法

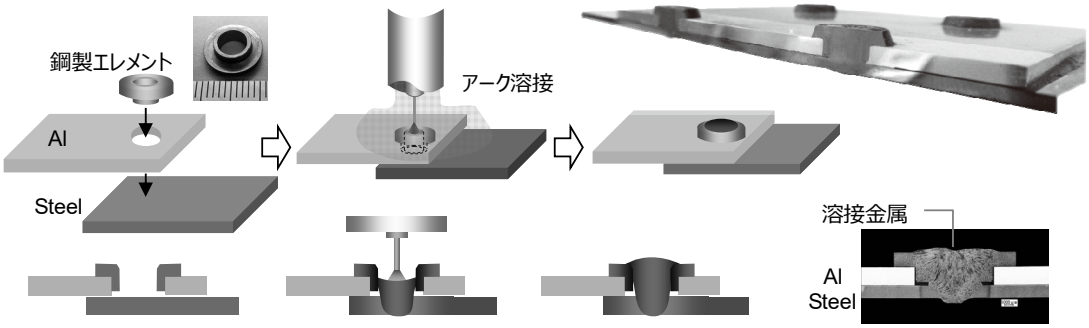


図　4　EASWの基本的メカニズム

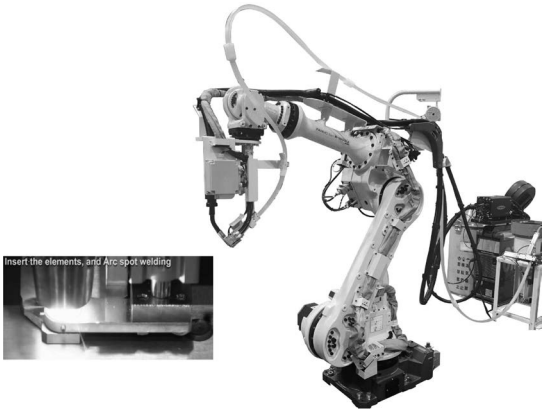
材接合法と比べて高い。

②母材を両側から挟む必要がなく、片側から接合できるので適用範囲が広い。

③アルミ／鋼／鋼といった３層構造も接合可能。

④簡便なため、補修用途にも適用可能。

EASWの自動車生産ラインでの実用化を目指し、必要な機構であるエレメントの位置検出と挿入、アーク溶接を自動的に行うためのロボットシステムを(株)ファナックと共同開発している。最近、その試作品を公開した。**写真１**に外観と溶接時の様子を示す。



写 真 1　EASW用ロボットシステム（試作版）と、溶接時の様子

む す び

自動車軽量化の必要性は法規制の観点からも待った無しであり、対応手段としてマルチマテリアル化の流れは必然である。だが、日本はマルチマテリアル車体の実用化で欧米に大きく後れており、さらに、実現に必要な異種金属接合や接着材塗布といった機器メーカーのプレーヤー不在という実態でもある。自動車産業は国力を表すとも言える産業であることから、マルチマテリアル化への取組について、産官学、異業種、サプライチェーン間の連携といった大きな取組が期待される。

参 考 文 献

1）Jens Meschke: ALIVE Final publishable summary report、30、Nov. 2016

2）Tim Skszek、Jeff Conklin、David Wagner、Matt Zaluzec: Multi-Material Lightweight Vehicles、June 11、2015

3）鈴木励一：自動車のマルチマテリアル化と異材接合技術の実態、「溶接技術」2017年１月号（2017）

4）Reiichi Suzuki、et al.: Dissimilar metals Joining Process using GMAW has High strength and One side access characteristic、and the Automation robot system、International Institute of Welding、Doc.XII-2390-18、July、2018

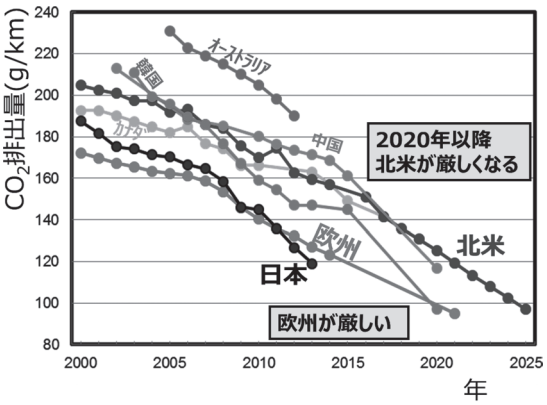
Ⅳ．素材メーカーの取組み

1．アルミニウム合金の自動車への採用動向と将来展望

㈱神戸製鋼所
アルミ・銅事業部門　櫻井健夫（さくらい たけお）

まえがき

自動車は、年々厳しくなる排ガス規制への対応、また、安全性の向上（衝突安全、歩行者保護性能）や走行性・快適性の向上、自動化技術の進展（自動制動、自動運転）等消費者ニーズへの適合に伴う車両重量の増加に対応するため軽量化が大きな課題となっている。特に、排ガス規制に関しては、地球環境に対応するためCO_2やNO_X等の排出量を厳しくする傾向があり、**図1**[1]に示すように欧州では、2015年に130g/km以下に削減することを義務付けた。さらに、2021年には95kg/km以下を目標とするといわれている。日本国内でも、欧州並みの厳しい規制になる。また、北米におけるCAFE規制（燃費規制：企業平均燃費）は、2008年では27.5MPG（11.7kg/L）であったのに対し、2020年には38.0MPG（16.6km/L）という欧州並みに厳しくなるといわれている。このような背景から、排ガス規制に適合するため、自動車の低燃費化が必須となっている。低燃費化については、国内外でHEV、EV、PHV等パワートレインの開発が進められているが、これらは、車両総重量の増加が伴うためボディの軽量化が有効な手段と考えられている。軽量化対策は、従来使用していた鋼板を高強度化したハイテン材を適用し板厚を減少する等により検討されてきたが、より軽量な材料に置換することが検討されている。自動車の軽量化に貢献する材料として、アルミニウム合金（以下、アルミ合金）、チタン合金、マグネシウム合金等の非鉄金属材料、あるいは、CFRP等の樹脂材料の開発が進んでいる。なかでも、アルミ合金は、



出典：icct(The international council on clean transportation)

図　1　国別の排気ガス規制

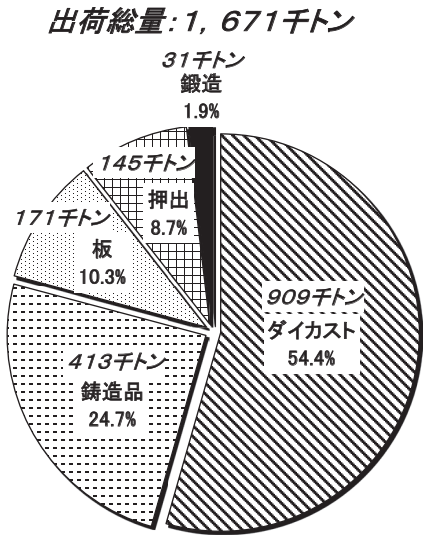


図　2　自動車部品用途別アルミ合金の需要構成（2017年度）

従来の鋼板に比べ比重が約1/3ということから注目されており、様々な部位に使用されるようになった。2017年の自動車に適用されているアルミ合金の需要構成を**図２**に示す。アルミ合金が適用されている部位は、シリンダーブロックやトランスミッションケースなどの鋳物製品が約80％であり、板、押出、鍛造等の展伸材は合わせても20％程度であることがわかる。近年では、フード、トランク、ドアなどのボディパネルなどにアルミ合金板が使われるようになった[2)～5)]。また、アルミ合金特有の押出加工品がバンパーレインフォース等に採用され、また、アルミ合金鍛造品が足廻り部品等に適用されている。このような背景から自動車部品に多く使われるようなったアルミ合金についてボディシート用板を中心とした採用動向と開発状況について解説する。

◇　自動車ボディシートのアルミ合金板の開発状況

日本国内での自動車ボディシートへのアルミ合金板の適用の歴史を**図３**[6)]に示す。市販車としてボディにアルミが最初に採用されたのは1985年にマツダ（株）RX-7（一部グレードのみ）である。この後、85～90年前半にかけスポーティ車や高級セダンを中心に進展した。以降、バブル崩壊とともにボディシートのアルミ化が衰退するが、1999年頃から地球環境問題への対応のため、自動車軽量化を目的に様々な部位へアルミ合金板が採用された。2000年以降は、環境への対応を目的に従来の少量生産車以外に量産車種に採用されるようになった。採用部位はフードが多いが、トランクリッドやバックドア等にも適用されている[6)、7)]。以降、自動車ボディシート用アルミ合金板の開発状況につき詳細を解説する。

◇　ボディシート用アルミ合金板の開発状況

自動車パネル用として要求される特性は**表１**に示すように多岐にわたり、これらを満足させるために、材料開発が進められ、合金・プロセス技術開発、成形技術、接合技術、解析技術等の要素技術の開発が重要となる。**表２**は、代表的な自動車パネル用アルミ合金板の化学成分と機械的性質を示す。自動車パネル用アルミ合金板は、5000系合金と6000系合金がある。

5000系合金は、アルミにマグネシウム（以下マグネ）を添加した合金である。**図４**は、アルミの材料特性に及ぼすマグネ添加量の影響を示す。マグネの添加量の増加とともに引張強度、耐力、伸びともに増加する傾向があり、成形性を必要とする部位にはマグネの添加量が多い合金（例えば、A5182、A5022、A5023など）が使用される。一方、5000系合金は、**図５**に示すように歪導入とともにストレッチャ・ストレインマーク（以下SSマーク）が発生するという欠点もある。よって、SSマークを抑制した開発材もあるが、アウター材に適用する際は、プレス時の歪導入量を検討する必要がある。

6000系合金は熱処理型合金で、自動車の製造工程にある塗装焼付の熱処理工程において強度が増加するベークハード性（以下、BH性）を有することから、耐デント性の向上による薄肉軽量化が可能な材料として国内外で自動車パネル材の主流となっている。塗装焼付工程における加熱条件は各国で若干異なり、欧米では180℃～200℃と比較的高温であるのに対し、日本は低温・短時間の処理（170℃×20分）となっている。アウターパネルは、このような条件下で高い強度（耐力）を要求されるが、従来材では十分な強度（耐力）を得られなかった。しかし、低温・短時間で高BH性の研究開発が進み**図６**に示すように、予備時効処理

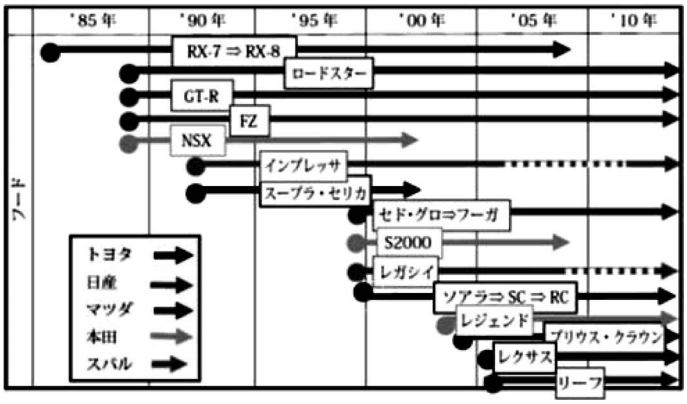


図　３　国内の自動車パネル材のアルミ合金板適用の歴史

表　1　自動車パネル用アルミ合金板の機械的性質

合金		機械的性質			主使用国				備考
合金名	代表組成（wt%）	引張強度（MPa）	耐力（MPa）	伸び%	日本	米国	欧州	中国	
5022（O）	Al-4.5Mg-0.3Cu	280	125	28	○				以前は日本国内で採用されてた主流合金 AAに合金登録された
5023（O）	Al-5.5Mg-0.3Cu	285	130	33	○				
5182（O）	Al-4.5Mg-Mn	280	130	26	○	○	○	○	国内外で内板に使用
5754（O）	Al-3.1Mg-Mn-Cr	200	105	25		○	○	○	主に欧州。北米で内板に使用
6111（T4）	Al-0.8Mg-0.9Si-0.7Cu	280	165	29		○			米国の主要合金
6014（T4）	Al-0.7Mg-0.6Si	210	110	28			○	○	欧州の主要合金
6016（T4）	Al-0.4Mg-1.2Si	210	110	28			○	○	欧州の主要合金
6022（T4）	Al-0.6Mg-1.2Si	230	120	28	○	○			米国アルコアの開発合金 日本国内でも採用

表　2　自動車用材料の要求特性

項目	要求特性
機械的性質	引張強度、耐力、伸び、ヤング率、n値、r値
加　工　性	張出性、絞り性、延びフランジ性、曲げ性（ヘム含）
接　　合	溶融溶接、抵抗スポット溶接、機械締結、接着
耐　食　性	耐孔食性、糸錆性、耐SCC性（遅れ破壊）
意　匠　性	形状凍結性、塗装密着性、鮮映性

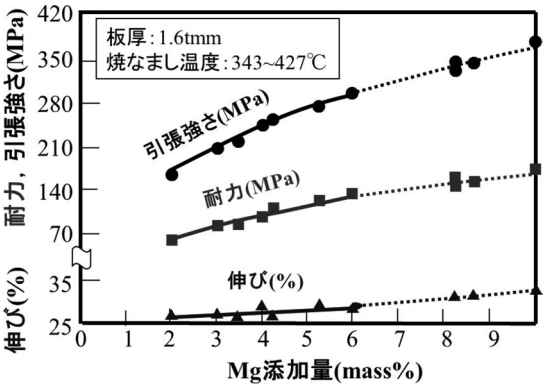


図　4　アルミの機械的性質に及ぼすマグネ添加量の影響

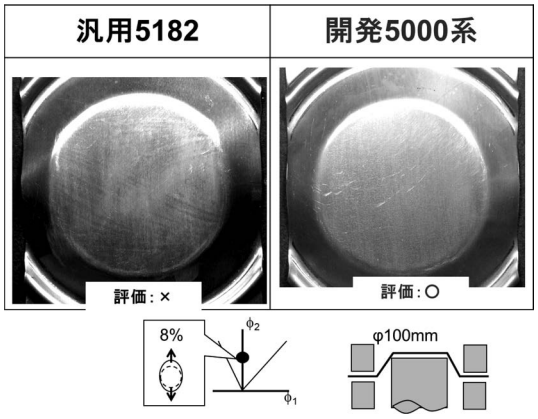


図　5　5000系合金のひずみ付与によるストレッチャストレインマーク発生状況（汎用材と開発材との比較）

を行うことで低温BH性を得ることが可能になった[8)~10)]。さらに、復元処理でも低温・短時間処理で高BH性が得られると報告されている[11)~15)]。

6000系合金の強度（耐力）は、**図7**に示すように時効処理において生成する微細析出物（中間相$\beta'-Mg_2Si$）の析出状態（サイズと密度）に依存する。その状態は、主添加元素であるMgとSiの添加量や熱処理条件（時効処理条件）が重要となる。高強度（高耐力）を得るためには、**図6**の開発低温BH材のように析出物を微細かつ高密度にする必要がある。これは、主添加元素Siを過剰に添加することで得ることができる。従って、実用化されている自動車ボディシート用アルミ合金板は過剰Si型となっている。

6000系合金は、室温に長時間放置すると自然時効し、耐力が増加する。この耐力の増加は、プレ

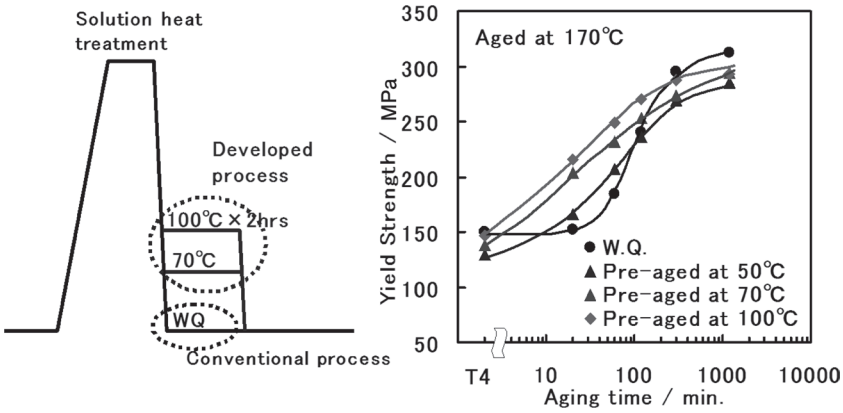


図　6　6000系合金のBH性に及ぼす予備時効の影響

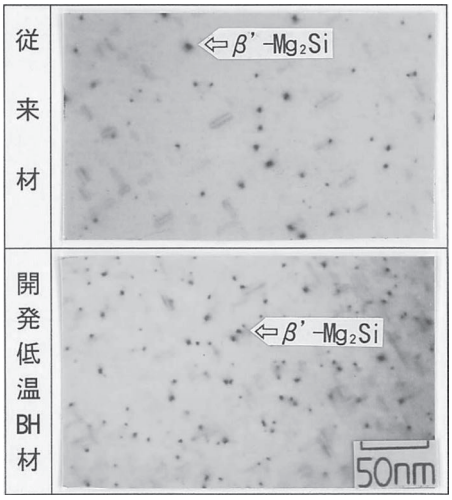


図　7　6000系合金の人工時効処理後のTEM組織観察結果

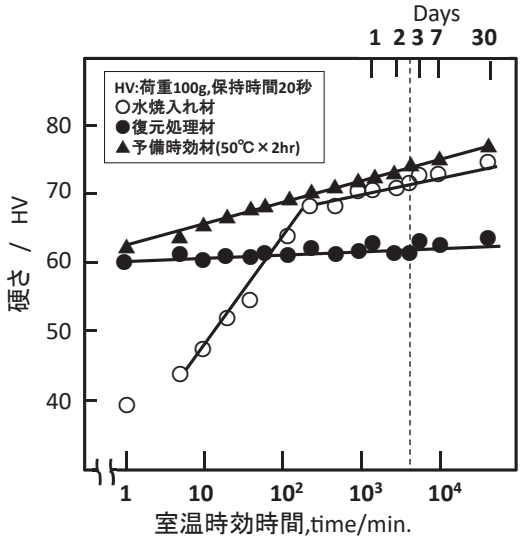


図　8　6000系合金の室温時効に及ぼす熱処理条件の影響

ス成形や曲げ等加工性の低下要因となる。このような室温時の変化を抑制するための研究開発も進められ、復元処理や安定化処理が効果的であるといわれている。**図8**に示すように復元処理は、熱処理後、数時間経過しても硬度変化は非常に小さい[15)]。

アルミ合金板の成形は、鋼板に比べ劣るため、アルミに適した成形・加工技術などの周辺技術の開発が進められている。**図9**は、代表的な自動車パネル用アルミ合金板と軟鋼板の応力－ひずみ曲線（模式図）を示す。アルミ合金板の引張強度と耐力は、軟鋼板とほぼ同等であるが、伸びが低い。特に、最高荷重に到達した後の伸び（局部伸び）が鋼板に比べ著しく小さい。アルミ合金板は、局部変形が小さく、限界荷重に到達すると破断して

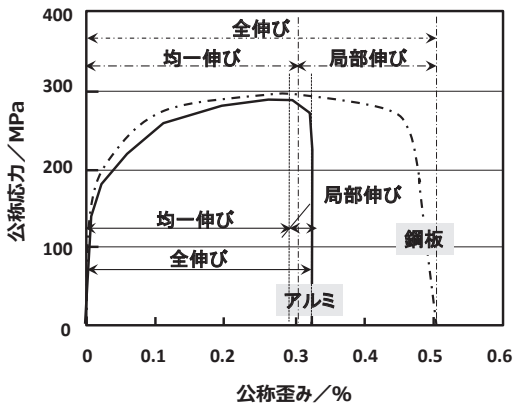


図　9　アルミ合金板と軟鋼板の応力ひずみ曲線（模式図）

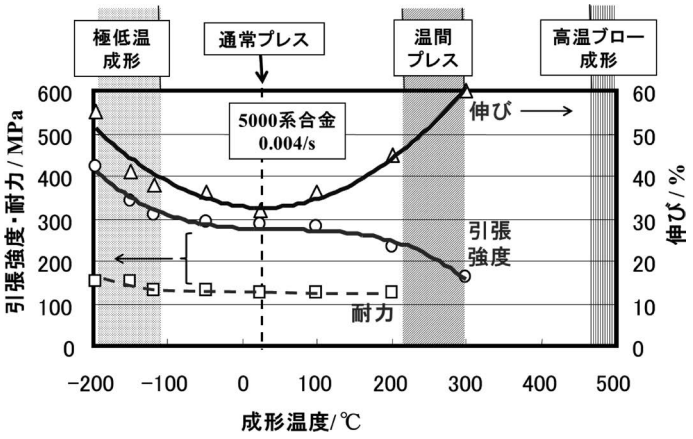


図　10　5000系合金の機械的性質に及ぼす成形温度の影響

しまう。これが、アルミ合金板と軟鋼板の成形性の相違の原因の一つである。

アルミ合金板での成形限界を向上するための技術として、塑性変形の温度依存性を利用する方法も検討されている。すなわち、常温での変形と比較して高温あるいは低温で伸びが著しく高くなるといったアルミ合金特有の特性を利用した手法がある。**図10**は、5000系合金（Al-Mg合金）の機械的性質に及ぼす温度の影響を示す。アルミ合金板材の高温域での高い延性を利用した高温ブロー成形法は、鋼板を凌ぐ加工形状を得ることができることから一部の部品に実用化されているものの加工時間が長いため、量産車への適用が困難である。しかし、生産技術の適性化を検討することにより加工時間を短縮化し、実用化した例があった（例えば本田技研工業（株）のレジェンドのトランクリッドなど）[16]。

◇　今後の自動車へのアルミ合金の将来展望

自動車へのアルミ合金適用は、今後、環境問題への対応や安全性・快適性の向上に対応するための技術として継続し進展するものと考えられる。ボディシート材としては、すでに30年が経過し最近では量産車のフードに適用されるようになった。今後、さらにそれ以外の部位への拡大のため、生産技術を含めた材料開発とともに、成形加工技術の発展、溶接・接合等要素技術の開発が必要となる。また、単純に鋼板からアルミ合金への素材変更による軽量化メリットだけではなく、さらにプラスαの付加価値が求められるようになる。アルミ合金の低コスト化は大きな課題となっている。自動車パネル等に使われているアルミ合金板は、現在、新地金から製造・生産されている。アルミ合金板が自動車パネル等に多用されるようになれば、アルミの持つリサイクル性に優れる点を活かし、自動車部品に使用された板などのアルミ合金をまた自動車部品として活用することを将来技術として考える必要がある。リサイクル材をいかに使いこなすことができるかが課題となると考える。そのためには、合金開発や成形技術開発において数値解析技術の発展が必要になるであろう。このように、アルミ合金は、その特性やメリットを生かした技術も発展途上にあり、自動車の軽量化とともに地球環境にやさしい材料として注目され、拡大・発展を続けていくことが期待できる。

参 考 文 献

1）icct（The international council on clean transportation）HPより．http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards
2）自動車アルミ化委員会　アルミニウム Vol. 9、No. 46（2002）25
3）自動車アルミ化委員会　アルミニウム Vol. 10、No. 54（2003）150
4）自動車アルミ化委員会　アルミニウム Vol. 10、No. 54（2003）150
5）自動車アルミ化委員会　アルミニウム Vol. 11、No. 58（2004）163
6）自動車のアルミ化技術講習会　2016　前刷り集
7）自動車アルミ化委員会　アルミニウム Vol. 13、No. 63（2006）25
8）高木、増田、他　神戸製鋼技報 Vol. 54、No. 3（2004）42
9）林　軽金属　Vol. 55、No. 8（2005）371
10）櫻井、大家、他　第87回軽金属学会秋期大会講演概要（1994）185
11）佐賀、他　第87回軽金属学会秋期大会講演概要（1994）187
12）佐賀、佐々木、菊池、他　軽金属　Vol. 53、No. 11（2003）516
13）斉藤、他　第83回軽金属学会秋期大会講演概要（1992）65
14）内田、吉田　軽金属　Vol. 46、No. 9（1996）427
15）櫻井、大家　第91回軽金属学会秋期大会講演概要（1996）175
16）柴田　アルトピア　Vol. 35、No. 4（2005）

2．自動車部品としてのマグネシウム合金の利用状況

(一社)日本マグネシウム協会
専務理事　小原（おはら）　久（ひさし）

◇　マグネシウムとは

マグネシウムは、比重が1.74と鉄の1/4.5、アルミニウムの約2/3と構造用金属材料の中で最も軽量であり、資源も世界的に豊富に賦存し構造用金属材料元素としてはアルミニウム、鉄に続いて３番目に多い。このためマグネシウムは、鉱石（マグネサイト、ドロマイトなど）だけでなく海水（0.13％含有）からも生産することができ、日本国内で自給可能な数少ない金属である。因みに、海水中に含有されるマグネシウムは、1,820兆トンと計算されており、資源としては入手し易く無尽蔵な金属材料と言える。

マグネシウムは、アルミニウムとほぼ同時期の1808年に英国の電気化学者H.Davyにより発見され、1886年にドイツにおいて商業生産が始まり今に続いている。たが、長い歴史の中で金属の持つそれぞれの特性により、現在では需要量に大きな差が生ずることとなった。

しかし、最近の環境対策や省資源・省エネルギー対策の必要性から、マグネシウムの構造用金属材料の中で最も軽量である特性が注目され、マグネシウム製造プロセスの見直しやマグネシウムの軽量性を活かした機械的性質や加工性、耐食性の向上のための研究開発と実用化が世界的に進められている。

１．マグネシウムの性質と特性

マグネシウムの金属材料としての一般的な特性は、以下の通りである。

（１）物理的性質　マグネシウムの密度は1.74、融点は650℃と、アルミニウムとほぼ同程度である。溶解潜熱は重量当たりでは368kJ/kgと大きいが、容積当たりでは少ない値となっている。比熱も同様で重量当たりでは1.025kJ/kg・Kと大きい値を示すが、容積当たりではアルミニウムや鉄に比べ最も低い数値となる。そのため、少ない熱量で溶解することができ、一方では凝固時には速く固まるという特徴がある。線膨張係数は27.0×10^{-6}で、鉄の２倍以上大きい。因みに、マグネシウムの熱伝導度は156W/m・℃、比抵抗は42nΩ・mで、アルミニウムの約1.6倍である。

（２）機械的性質　マグネシウムの機械的性質は、純マグネシウムでは引張強さ98MPa、伸び５％、硬さ30程度であるが、実際にはアルミニウム（Al）や亜鉛（Zn）、マンガン（Mn）、その他の元素などを添加し、マグネシウム合金として機械的性質を改善して使用することが普通である。

（３）化学的・電気的性質　マグネシウムは反応性に優れた金属のため、四塩化チタンの還元剤やグリニアル反応の触媒、鉄鋼の脱硫剤、球状黒鉛鋳鉄の接種剤などとして使用される。また、一般に、腐食し易い金属とみられているが、大気中では鉄より優れ、大部分のアルカリ及び多くの有機化合物に耐えることができるが、塩素イオン、酸、塩類の存在する雰囲気では耐食性は良くない。

マグネシウムは、電気化学的に非常に卑な金属であり、実用金属の中では最も低い標準電極電位であり、高い起電力を有する。

（４）その他の特性　一般にマグネシウムの特性としては、振動吸収性、切削性、耐くぼみ性、電磁波シールド性などが挙げられる。マグネシウムの振動吸収性は、合金添加成分により性能に大きな差があるが、転位型に分類され付加応力が大きいほど振動吸収能が大きくなる。切削性では、所用切削動力が軟鋼の1/6、アルミニウムの約1/2と少なくてすむ性能を持っている。電磁波シールド性では、マグネシウムは良導体のため広い領域に渡り電磁波の遮蔽が可能となっている。また、最

近では人体で安全に分解・吸収される生体吸収性医療機器材料としても注目されている。

２．マグネシウム合金の種類と特性

マグネシウムを構造材用途に使用する場合、他の金属元素を添加しマグネシウム合金として使用する。通常、圧延板材や押出棒材、ダイカストやマグネ射出成形などの鋳造に用いるマグネシウム合金は、一般にアルミニウム（Al）、亜鉛（Zn）、希土類（RE）、ケイ素（Si）、マンガン（Mn）、ジルコニウム（Zr）、リチウム（Li）などの元素を組合せて添加し、目的に応じた特性を確保する。

代表的なマグネシウム合金としては、例えばマグネシウムにAlとZnを添加したAZ系合金、AlとMnを添加したAM系合金、AlとSiを添加したAS系合金、AlとREを添加したAE系合金、LiとAlを添加したLA合金、更には優れた高強度を実現するため日本で開発したYとZn添加のWZ合金などがある。

これらマグネシウム合金の一般的な特性としては、以下のことが挙げられる。

①十分な軽量化が可能。比重が他の構造用金属材料に比べ小さく、製品厚さも0.5mm程度まで薄肉化できる。

②高比強度、高比剛性、高靭性などの特性が得られる。

③電磁波シールド性がある。特別な処理をしなくても電磁波による雑音などが防止できる。

④熱伝導性や比熱により、優れた放熱特性が得られる。

⑤リサイクル可能なことである。約650℃で溶解できることから再生に要するエネルギーも少なく、製造に要した最初のエネルギーの５％程度で再生できる。

◇　マグネシウム需要と鉄鋼材との関係

表１に、マグネシウムの国内における需要推移を紹介する。日本国内のマグネシウム需要量は、年間ほぼ４万トン強で推移している。日本ではマグネシウムを生産していないことから、全量海外からの輸入に依存しており、その殆どが中国からの輸入となっている。

この内、ダイカストや展伸材などとして使用される構造材需要は、最盛期１万トンを超える勢いがあったが自動車部品製造企業の海外移転とともに縮小し、現在は６千トンから７千トン程度で推移している。

表　1　国内における純マグネシウムとマグネシウム合金の需要推移

（単位：トン）

	2014	2015	2016	2017	2018 予測	18/17 予測 %
ダイカスト	5,800	5,800	5,300	4,800	5,000	104.2%
鋳物	70	70	70	70	70	100.0%
射出成形	300	300	400	480	500	104.2%
展伸材	700	750	750	770	800	103.9%
その他合金	200	230	200	230	230	100.0%
構造材小計	7,070	7,150	6,720	6,350	6,600	103.9%
アルミ合金添加	21,000	20,800	21,500	22,000	22,200	100.9%
鉄鋼脱硫	5,500	5,600	5,500	5,500	4,500	81.8%
ノジュラー鋳鉄	2,725	2,200	2,500	2,600	2,600	100.0%
チタン製錬	420	1,000	800	600	700	116.7%
添加剤小計	29,645	29,600	30,300	30,700	30,000	97.7%
化学・触媒	1,800	2,200	2,100	1,800	2,200	122.2%
防食その他	1,200	1,200	950	990	1,000	101.0%
輸出	575	1,158	600	227	300	132.2%
合計	40,290	41,308	40,670	40,067	40,100	100.1%

国内の最大のマグネシウム需要部門はアルミニウム合金への添加材であり、２万トンを超す規模となっている。マグネシウムを添加したアルミニウム合金は、主にLNG運搬用タンクや、ビール缶などの蓋材、最近では自動車ボディーパネル材などに使用されている。

さて、鉄鋼材料とマグネシウムの関係であるが、マグネシウムは鉄鋼関連の分野でもかなり使用されており、例えば鉄鋼脱硫需要は高炉などでの脱硫剤として使用され、その特性から寒冷地などで使用されるパイプライン用鋼管や残滓の発生量を抑制するために使用されている。また、鋳鉄の靭性を向上するためノジュラー鋳鉄向けとして黒鉛球状化接種剤などとしても使用されている。最近では、鋼板の耐食性を向上するため表面処理鋼板向けの添加成分としても採用されている。鉄鋼関連で使用されるマグネシウムは、７千トンから８千トンに及びアルミ合金添加に次ぐ第２位の需要量となっている。

世界のマグネシウムの状況は、2017年の生産が122万トンでその内中国の生産が84％を占め、需要は97万トンでその内アルミ合金添加38万トン、自動車向けダイカスト合金29万トン、鉄鋼脱硫12万トンなどとなっている。将来の世界マグネシウム需要の見通しとしては、自動車分野での成長が大きく期待され10年後には約160万トンに近づくものと予想されている。

◇　自動車の軽量化とマグネシウム部品

異常気象の発生により世界的に大きな問題となっている地球環境の温暖化を抑制するため、自動車燃費の向上や排気ガス規制の実施が世界各国で提案されており、特には排気ガスを発生しない電気自動車、プラグインハイブリッド車、燃料電池車などの導入が検討され、積載する電池の高容量化や高機能化が活発に検討されている。

一方で、自動車の走行性能の向上や自動運転、電子機器によるコネクテッド化など高機能化への期待が高まっており、新たな部品装着による自動車重量の増加も懸念されるところである。このため、**図１**に示すようにドイツのVW社では各種軽量化材料による自動車軽量化効果を評価しているが、マグネシウム合金はアルミ合金より軽量効果が大きくCFRPに近いことが判る。

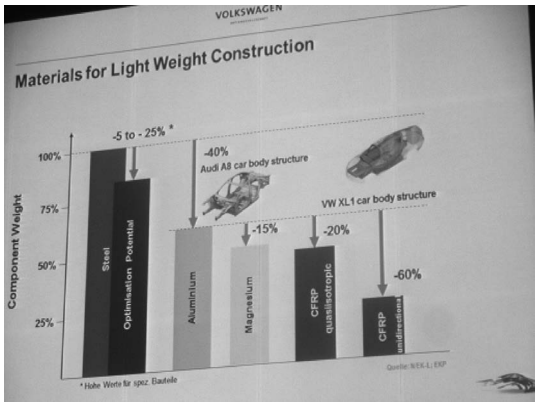


図　1　VW社が発表した材料代替による軽量化効果

2020年以降に欧米で適用される自動車の排気ガス規制に対応するためには、従来からの自動車部品の軽量化だけでなく自動車車体も含めた総合的な軽量化が必要となっており、これまで欧米を主体にエンジン・トランスミッション・インスツルメントパネル類にマグネシウム合金が広く採用されてきたが、今後は更に適用範囲が広がり自動車車体の軽量化のためのマグネ化も実施検討されている。**図２**に、最近の自動車車体マグネ化の実例を紹介する。

また、世界最大の自動車生産国である中国においても環境対策は重要な課題となっており、中国汽車工程学会が発表した省エネ・新エネルギー自動車の導入技術ロードマップによれば、**表２**に示すように自動車のアルミ化は勿論であるが、自動車へのマグネシウム合金の利用も大いに増加することが期待されている。

巻末ではありますが、マグネシウムの記事掲載をご提案いただきました編集諸氏並びに事務局関係各位の皆様に感謝申し上げます。

中国で試作された24人乗り、8mの電動バス
（マグネシウム合金ZTM630C、ZK61を226kg、押出形材、板材。鉄鋼、アルミに比べ、780kg、110kg軽量化）

リア・ハッチバックドア・インナーパネル
（マグネシウム合金AM60B、6.8kg、部品点数を７→１に削減、約50％の軽量化）

ルノーEOLABコンセプトカー、ルーフにマグネシウム合金圧延材AZ31を採用
（1Lで100km走行、車体重量400kg、ハイブリッド車）

図　２　最近の自動車部品のマグネ化

表　２　中国汽車工程学会による省・新エネルギー自動車の導入技術ロードマップ

	2020年	2025年	2030年
自動車の年間生産、販売台数	3,000万台	3,500万台	3,800万台
省エネ車の年間販売台数	30％（2015年と比較）	40％増	50％増
新エネ車の年間販売台数	７％（2015年と比較）	15％増	40％増
車体重量軽量化目標	10％（2015年と比較）	20％	35％
高強度鋼	600MPa超のAHSS鋼の適用50％	第３世代鋼の適用30％	2,000MPa超鋼を一定量採用
アルミニウム	190kg／台	250kg／台	350kg／台
マグネシウム	15kg／台	25kg／台	45kg／台
CFRP	2015年比50％価格低下で、一定の採用あり	更に50％コスト削減し２％適用	更に50％コスト削減し５％適用

3．モーターサイクル用コンロッドへのチタン合金の適用

ヤマハ発動機㈱　パワートレインユニットコンポーネント統括部
材料技術部機能評価グループ　久保田（くぼた）　剛（つよし）

まえがき

モーターサイクルでは、運転手が車体のバランスを取りながら乗車する必要があることから、4輪自動車以上に軽量化要求が大きい。軽量化を行う手段は種々あるが、エンジン中で回転駆動している部品の小型化・軽量化は、それを内包しているエンジンの小型化、さらにそれを積んでいる車体の小型化にも繋がるため、車体全体の小型軽量化に波及する。

たとえば、エンジン内で混合気の燃焼圧力を回転運動に変換する役割を持つコンロッド（**図1**右）の場合、これを軽量化することで、その慣性力とバランスを取って回転運動している大型部品であるクランクシャフトの小型軽量化に繋がる。クランクシャフトが小型化されると回転半径が小さくなるため、それを収めるエンジンの必要容積が小さくなり、エンジン全体が小型になる。エンジンが小さくなると、車体でそれを収容する必要容積が小さくなり、車体全体が小型で軽量になる。

コンロッドを軽量化する方策としては、材料の疲労強度を向上させて断面積を小さくすることが有効である。小型軽量化要求が高いモーターサイクルでは、一般的な4輪自動車用とは異なる高疲労強度材料として、肌焼き鋼の浸炭焼入れ焼戻し材を用いることが多い。一方で、鋼を用いてこれ以上の軽量化を図ることは難しいため、古くより更なる軽量化策として、鋼より比重が小さいチタン合金の採用が各所で試みられてきている[1)、2)]。しかしチタン合金は材料コストが高い上、製造課題や機能課題が大きく、これまではレース用車両や数百台レベルの少量生産かつ高価格なモデルで採用されるのみであった。本稿では、これを1万台レベルの量産モーターサイクルに対して適用した事例[3)]（**図1**）について、上記それぞれの課題への対応策を解説する。

◇　材料コスト課題

コンロッドにチタン合金を適用する場合、6Al-4Vチタン合金（ASTM B348 Gr5、以下Ti-6Al-4V）を用いることが多い[1)、2)]。この合金は古くからコンロッド以外にも一般的に使われているが、高価で市況影響を受けやすいVの添加が課題であった。そこで**図1**の事例では、安価な元素であるFe等を活用し、Ti-6Al-4Vと同等の強度を得ながら機械加工性や熱間鍛造性を向上させた材料として、5Al-

図　1　量産モーターサイクルに適用されたチタン合金製コンロッド

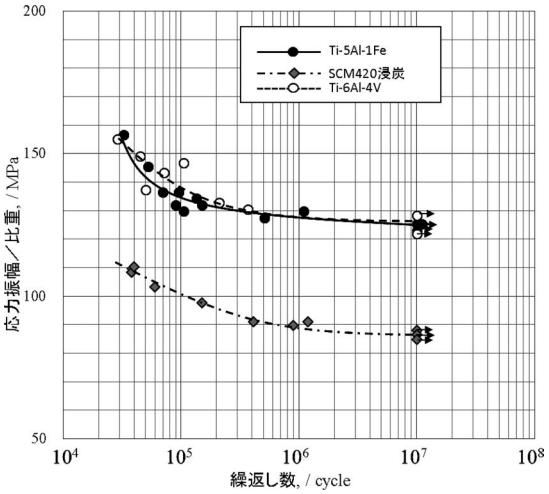


図　２　比疲労強度の比較

1Feチタン合金（以下Ti-5Al-1Fe）[4] を用いている。

前述の通りコンロッドの質量には疲労強度が関わるため、チタン合金による軽量化には、比重に対する疲労強度の比（比疲労強度）が重要である。これを従来のモーターサイクルでよく用いられているSCM420浸炭焼入れ焼戻し材（以下SCM420浸炭）と比較した結果を**図２**に示す[5]。Ti-5Al-1Feの比疲労強度はTi-6Al-4Vとほぼ同等であり、SCM420浸炭より44％高い。

◇　製造課題

コンロッドは、素材から熱間鍛造と機械加工を経て成形される。チタン合金は鋼に比べて両加工ともに加工性が悪く、量産性を阻害するとともにコスト上の課題にもなっている。

熱間鍛造について、今回用いたTi-5Al-1Feでは、Ti-6Al-4Vに対してAl添加量を低くすることで熱間変形抵抗を低くしている[4]。その結果、Ti-5Al-1Fe のβ変態点を考慮した比較的低い鍛造温度においても、SCM420と同様の熱間鍛造手段での成形が可能となっている[3]。

また、熱間鍛造および機械加工工程を大幅に削減するために、大端破断割り工法（以下FS工法）を、チタンコンロッドとしては世界で始めて採用している[3)、5]。この工法による加工工程を、従来のコンロッドとの比較として**図３**右に示す。

コンロッドは、クランクシャフトに組付け可能とするために、**図３**左に示すような２部品（キャップおよびロッド）で構成される。FS工法では、これを２部品が繋がった状態で一体として熱間鍛造し、そのまま一体で機械加工を行う。機械加工工程の途中で２部品を分離する「破断割り」工程を実施し、キャップとロッドを脆性的に破断する。破断後には、脆性破断面（**図３**左）を活用した位置決めですぐに組付け、再び一体で仕上げの機械加工を実施する。

FS工法では破断分割で脆性破断面を得る必要があるため、靭性が低く、その結果疲労強度が比較的低い材料（たとえば高炭素鋼、非調質鋼、焼結鍛造用鋼など）を用いることがこれまでは多かった。これらの材料に対してチタン合金は靭性が高いため、FS工法の適用は不可能と考えられてきたが、破断時の温度とひずみ速度を調整することにより、本工法の適用が可能になっている[3]。

この工法を採用することにより、キャップとロッドの２部品を１部品として熱間鍛造できるため、鍛造工数の削減が可能となると共に、高価な

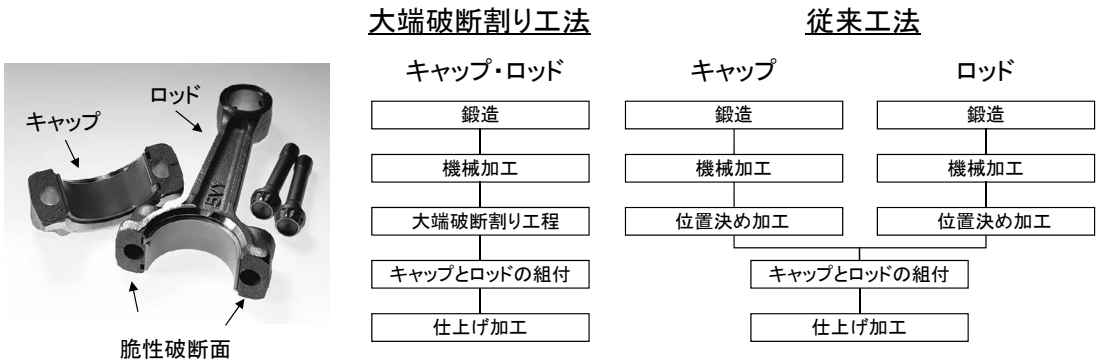


図　３　FS工法の加工工程の比較と脆性破断面

チタン素材の歩留まりが向上する。また、機械加工も全工程を１部品で行うため、通常に比べて工程数を約2/3に削減できる。さらに、キャップとロッドの組立て時の位置決めには高い加工精度が必要で、研削工程が必須となるが、チタン合金製コンロッドではこの工程が量産性を阻害していた。本工法では位置決めを脆性破断面で行うため、位置決めのための研削加工を省くことができ、チタンコンロッドの量産機種向けの生産が可能になった。

◇　機能課題

使用中にコンロッドが回転の慣性力により引っ張られると、クランクシャフトとの組付け部周辺が弾性変形し、クリアランスが小さくなることで摺動ロスが大きくなる。従来のコンロッドでは、組付け部を構成する２部品であるキャップとロッドの間ですべりが発生し、変形量が大きくなる傾向があった。特にチタン合金を適用する場合には、鋼に比べて弾性係数が小さいことから変形量が大きくなりやすい。この対策としてチタン合金製コンロッドでは、キャップとロッドの組付け部周辺の断面積を大きくする必要があった。

しかしFS工法を適用した場合、キャップとロッドの間が脆性破断面（**図３**右）になるため、ここでのすべりが小さくなり、変形量が小さくなる[6)]。そのため、組付け部周辺の断面積を従来より小さくでき、軽量化が可能になっている。

また、チタン合金の熱伝導率は鋼と比較して30％以下であるため、摺動熱がこもり易く、他の金属と反応して凝着磨耗を起こし易い。そのため、コンロッドにチタン合金を適用した場合、クランクシャフトやピストンピンとの接触部で摩擦係数が大きくなるとともに、場合によっては磨耗や凝着などの不具合が発生する。

従来のチタン合金製コンロッドでは、この対策のために銅製のブッシュを用いたり、モリブデンなどの溶射を行っていたが、これらは部品点数の増加によるコストアップに繋がったり、比重が大きいため軽量化の阻害要因になっていた。

この課題に対しては、チタン合金向けの各種表面処理をコンロッドの機能の視点で評価選定し、ドライコーティングの一つである窒化クロムのアークイオンプレーティングを採用している[3)]。これにより、コスト低減をしながら、従来のチタン合金製コンロッドよりも軽量化が可能となっている。

む す び

以上のように、材料上、加工上のコスト低減と量産性向上の工夫により、チタンコンロッドの量産機種向けの展開が可能となり、**図１**の事例では2018年現在で累計10万本以上の生産が行われている。

また、機能上の課題に対しても工夫を行うことで、鋼製コンロッド比だけでなく従来のチタン合金製コンロッドに比べても軽量化が可能となった。**図１**の事例では、従来のSCM420浸炭製コンロッドに対して20％の軽量化を実現している。

参 考 文 献

1）萩原好敏、高橋恭、村上敦、丸井勇治、“二輪車用軽量チタンコンロッド”、Honda R&D Technical Review、2: 229-237、1990

2）大隅弘、伊藤健、野々川賢一、水野賀之.、“YZF-R7”、Yamaha Motor Technical Review、28: 22-25、1999

3）Kubota、T.、Doi、K.、Murakami、T.、Kojima、Y.、and Miura、T.、“Development of Fracture-split Connecting Rods made of Titanium Alloy for Use on Supersport Motorcycles”、SAE Int. J. Engines、9 (1): 483-490、2016

4）藤井秀樹、前田尚志、“新日鐵住金（株）の独自チタン合金”、新日鐵住金技報、396: 16-22、2013

5）鈴木貴晴、久保田剛、橘内透、浅野峰生、高橋一浩、““World 1”の二輪車軽量化技術開発”、軽金属、67-2: 50-56、2017

6）Kubota、T.、and Yamagata、H.、“Lightweight and High Strength Connecting-Rods using Titanium and Steel”、FISITA 2006 Yokohama Conf. F2006M033、2006

4．樹脂、複合材料

帝　　人　㈱
モビリティ部門・部門長　帆高寿昌（ほたかとしあき）

まえがき

昨今の自動車業界の世界的な燃費規制強化に伴う車体の軽量化要求に対し、透明性・耐衝撃性・耐熱性などに優れたエンジニアリングプラスチックであるPC樹脂をガラス窓の代替として実用化するため、帝人は自ら素材技術と加工技術の両面から開発を進めて自動車メーカーに提案することで樹脂グレージングの普及に努めてきた。

◇　自動車グレージングに求められるPC樹脂の特性

1．耐候性・成形耐熱性の改良

欧州では2000年頃からリアクオーター窓やサンルーフなどにPC樹脂製の樹脂グレージングが採用されているが、その理由としては、透明性、耐衝撃性、耐熱性を活かした車体の軽量化やデザインの自由度、周辺部品との一体化・モジュール化などが挙げられる。帝人においてはヘッドランプレンズカバーなどに対して、PC樹脂の特徴を活かしつつ、耐候性を付与したPC樹脂「パンライト耐候グレード」を展開してきた。このパンライト耐候グレードを樹脂グレージングに展開する上で重要な課題としては、パノラミックルーフやバックドアウインドウなど、樹脂グレージングの大型化に伴う成形機内での過酷な熱履歴に耐え得るだけの十分な成形耐熱性の向上が挙げられる。すなわち、樹脂グレージング部材はヘッドランプレンズカバー部材と比較して成形時の射出容量が一桁大きくなるため、成形温度が高くなる、成形サイクルが長くなるなどにより、シリンダー内で非常に過酷な状態にさらされることから成形耐熱性を更に高める必要があった。そこで帝人では添加剤レベルからの成形耐熱性向上を図ることで大型成形に耐え得るPC樹脂組成物を開発。PC樹脂が本来持つ特性（透明性、耐熱性、耐衝撃性など）を損なうことなく、過酷な成形状態においても品質安定性と量産性の両立が可能な新規耐候グレードを確立して市場に展開している。特に樹脂グレージングはその全てが意匠面であるため、樹脂劣化に伴うシルバーなどの発生を極限まで抑制することが求められることから、PC樹脂に添加する安定剤・離型剤・UV吸収剤を含めた全ての添加剤に対して成形耐熱性を改良した組成設計を施している。

2．熱線遮蔽性能の付与

帝人ではパンライト耐候グレードをベースに、PC樹脂が持つ本来の優れた透明性を活かしつつ、赤外線を吸収する特殊無機微粒子を独自の分散化技術を用いてコンパウンドすることで日射熱取得率を高めた世界最高性能を有する熱線遮蔽PC樹脂を開発。将来的な環境規制への対応を見据えたパンライト熱線遮蔽グレード「AM－1100ZV」シリーズを市場に展開している。このAM－1100ZVシリーズは可視光線透過率を出来る限り低下させることなく日射熱取得率を高めたことで、光を透過して熱を遮蔽することが可能である。AM－1100ZVシリーズを用いた樹脂グレージングは明るい光を取り入れるとともに、太陽光による車内温度の上昇を抑制可能であることから、エアコン効率を高めて消費電力を抑制することで燃費・電費改善効果に寄与でき、既に鉄道車両向け樹脂グレージングに展開されている。

◇　自動車グレージングに求められる耐久性の向上

1．自動車樹脂グレージング向けハードコート技術

PC樹脂による自動車窓を実現する上での課題が耐久性（耐候性・耐傷付性）の改善である。耐傷付性を改善する方法としては、アクリル系やシリコーン系の硬化被膜をPC樹脂表面に形成するハードコート技術が開発されているが、現在主流になっているのは、以下の２種類の方法である（**図１**）。

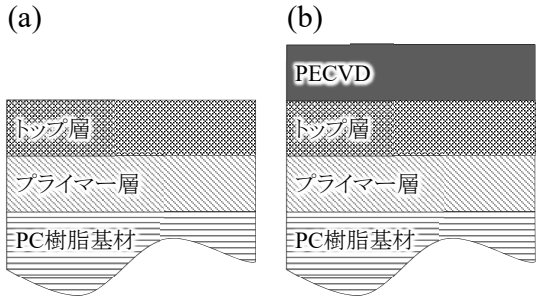


図　1　自動車樹脂窓向けの（a）２層タイプのシリコーン系ウェットコート膜の構成と（b）ドライコート膜の構成

（a）ウエットハードコート技術：シリコーン系ハードコートを塗布・熱硬化し、シリコーンの硬化被膜を形成する方法

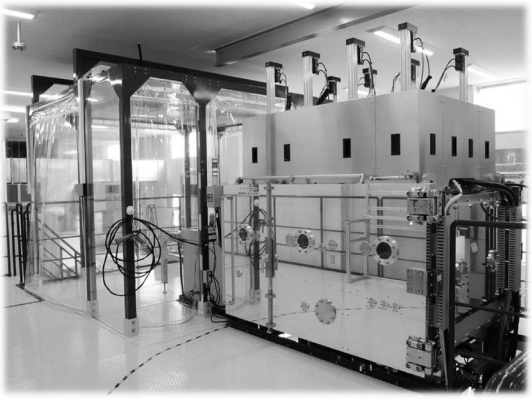
（b）ドライハードコート技術：プラズマCVD（化学的気相成長法）によりガラス同等の被膜を形成する方法

２．帝人におけるウエットハードコート技術

自動車樹脂グレージング用のハードコート（以下HC）は耐摩耗性と耐候性に加えて高度な耐熱性・耐水性や伸縮応力に対する高い靭性が求められるため、これまで自動車の耐用年数を満足し得るHCはなかった。帝人では耐久性と耐熱性に優れたトリアジン系の紫外線吸収剤（以下UVA）をHC膜中に最大限に配合できるように多元共重合熱硬化型アクリル樹脂の共重合組成比を独自に工夫して両者の相溶性を最適化した。このプライマー膜の上に無機系金属微粒子を分散化した熱硬化型シリコーン系HC膜を積層することで上記特性を満たすDMTシリーズを開発した。このDMTシリーズは従来のHCに比べて特に優れた耐熱性を有し、130℃での使用環境下にも耐え得る。

３．帝人におけるドライハードコート技術

帝人では、ウエットコートでは到達できない高度な耐傷付き性を実現するために、2005年から月島機械株式会社とともにプラズマCVD法による樹脂グレージングの開発に取り組んできた（**写真１**）。その結果、高精度かつ均一に成膜条件を制御できる容量結合型平行平板プラズマ方式の特長を活かすことで樹脂グレージングに最適な多層構造を見出し、耐傷付き性・耐候性・界面密着力をバランス良く実現した「パンライト ハードコート



写 真 1　PECVDパイロット装置（松山事業所R&Dセンター）

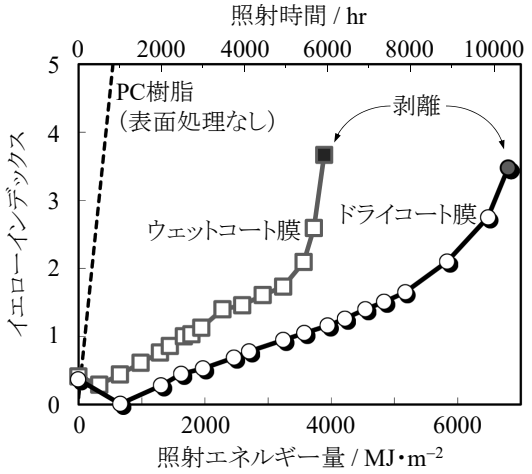


図　2　キセノンアークランプ式耐候性試験機によるドライコート膜、ウェットコート膜およびPC樹脂（表面処理なし）の耐候性評価。指標としてイエローインデックスを用いた。
条件：照射強度、180W·m^{-2}；ブラックパネル温度、63℃；120min毎に18min降雨

DMT200α」を開発した。このDMT200αはテーバー1,000回転で⊿H≦２％を満たすとともに、耐久性は従来のウエットハードコートに比べて約２倍に向上させることが可能である（**図２**）。樹脂グレージングのように屋外環境下で使用される材料は、一般的に紫外線・酸素・水・熱の４つの劣化因子の影響を受けるといわれている。ウエットハードコート膜には、金属酸化物無機微粒子の紫外線吸収剤（UVA）や、ベンゾトリアゾール骨格やトリアジン骨格を有するUVA等が配合されており、紫外線による劣化を抑制している。しかし、

表　1　樹脂窓用ハードコート積層体DMT200α（ドライコート）とDMT200（ウェットコート）の基本特性（参考値）

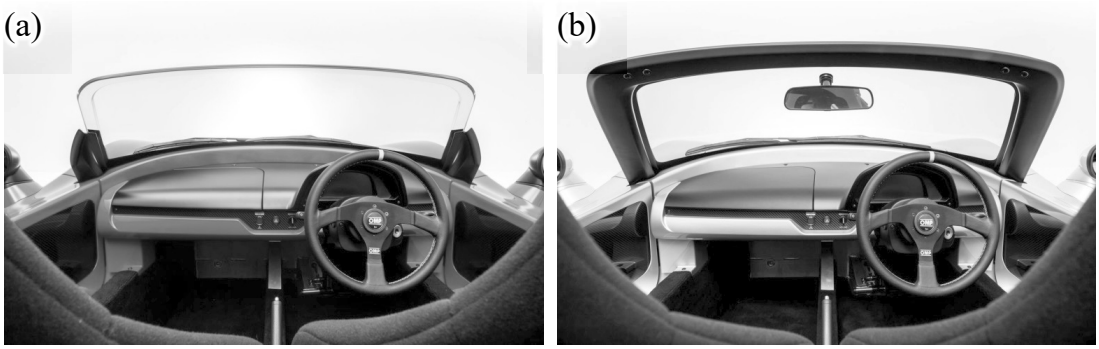
特　　性		測定条件／測定方法		DMT200（ウェット）	DMT200α（ドライ）	EU Standard（ECE R43、rigid plastic）	American Standard（FMVSS、ANSI AS2）
光学特性	可視光線透過率	A光源（5mm厚のPCシート）	%	90	90	＞70	＞70
	ヘーズ	A光源（5mm厚のPCシート）	%	＜0.5	＜0.5	－	要求なし（AS4aのみ＜１％）
耐傷付き性	テーバー摩耗⊿ヘーズ	ASTM D1044；車外側 CS-10F、1,000cycle	%	５～７	0.5～1.5	＜２	＜２（車内外両面）
		ASTM D1044；車内側 CS-10F、100cycle	%	0.4	0.3	＜４	－
	鉛筆硬度	JIS K 5600-5-4		F	H	－	－
	動摩擦係数			0.40	0.26	－	－
耐久性 ①外観変化 ②塗膜剥離	耐沸水性	5hr浸漬		良好	良好	－	－
	耐熱性	110℃×1,000hr		良好	良好	－	－
	耐湿性	50℃/95％RH×240hr		良好	良好	－	－
	ヒートサイクル	－30℃×1hr/100℃×1hr インターバル15min		良好	良好	－	－
	キセノンアークランプ式耐候性試験	JIS K 5600-7-7 180W·m^{-2}、BPT 63℃ 120min毎に18min降雨	MJ·m^{-2}	3,800	6,500	500	306

ゾル－ゲル法で形成された熱硬化性シリコーン樹脂のトップ層は比較的隙間の多い膜質のため、酸素や水が熱硬化性アクリル樹脂で形成されたプライマー層にまで浸透し、酸化劣化や加水分解によってダメージを与える。一方、プラズマCVD法はガスバリア膜の成膜手法の一つとしても知られているが、樹脂グレージング向けに開発したドライハードコート膜も優れたバリア性を有しており、この特性が酸素と水が下地層のウエットハードコート膜へ浸透することを抑え、耐候性の大幅な向上に結び付いたと考える。このようなプラズマCVD法によるドライハードコート膜で表面処理をしたPC樹脂積層体 DMT200αの基本特性（代表値）を示す。比較として、ウエットハードコート膜で表面処理をしたPC樹脂積層体 DMT200（テーバー摩耗1,000回転後の⊿H≦２％を要求されない自動車窓）の基本特性と、ECE R43のクラスLとANSI Z26.1のカテゴリーAS2で求められる耐傷付き性の基準値も示した（**表１**）。従来のウエットハードコートと比べて、プラズマCVD法によるドライハードコート膜はPC樹脂の持つ優れた光学特性などを維持したまま、耐久性（耐傷付性と耐候性）を大幅に向上していることがわかる。

◇　市場実績化

帝人では、京都大学発のEVベンチャーであるGLM株式会社（以下「GLM」）が製造するスポーツEVである「トミーカイラZZ」向けPC樹脂製のピラーレスフロントウィンドウの協働開発において軽量化に加えてガラスでは発想できなかったピラーレス化による視認性の向上というマルチファンクショナルな新たな価値を創出した。

このピラーレスフロントウィンドウを実現するために製品厚みを自在に変えることのできる樹脂の特徴を活かし、無機ガラスでは達成不可能な偏肉厚構造を採用することで耐風圧荷重に対する強度面を最適化した。本部品は帝人の保有する部品設計技術、高機能素材技術、射出プレス成形技術、そしてプラズマCVDドライハードコート技術を駆使することで実現、2017年の「人とくるまのテクノロジー展2017」において、PC樹脂製ピラーレスフロントウインドウを搭載した新車両として初公開、このPC樹脂製フロントウィンドウは、高い耐摩耗性と優れた耐候性を有し、2017年７月から適用される新しい自動車保安基準を満たすとともに、PC樹脂製のピラーレスフロントウィンドウとする



写 真 2　GLMトミーカイラZZの（a）運転席側景色（ピラーレスFW）と（b）運転席側景色（通常Aピラー有）

ことで従来のガラス窓とAピラーの組み合わせに比べて36％の軽量化を実現、自動車の走行性能の向上に寄与するとともに、フロントガラスとAピラーが一体化した透明な樹脂窓は視界を遮るものがなく、安全確保と爽快なドライビングに貢献できると考える（**写真２**）。

む す び

帝人では、2018年４月にマテリアル事業統轄直下組織として「モビリティ部門」を新設、配下に「樹脂グレージング部」を配置、軽量化 “DAKE JA NAI” プラスα（新たな価値創出）によるマルチファンクショナルな顧客価値を提供することで、お客様の『新しいドライビング体験』をデザインする企業という意味的価値の追求のもと、機能的価値の上に情緒的価値を実現することで樹脂グレージングの更なる普及による持続可能なモビリティ社会の成長に貢献していく所存である。

5．自動車とファインセラミックス

(一社)日本ファインセラミックス協会
専務理事　矢野（やの）　友三郎（ともさぶろう）

◇　世界市場の４割を握る日本のファインセラミックス

ファインセラミックスは、鉄やアルミなど金属、樹脂（高分子）と並ぶ３大材料のひとつとして、今日の産業基盤を支えている。セラミックスの長所は、**表１**のように耐熱性、耐摩耗性、耐腐食性等において他の材料と比べて優れている。

また、セラミックスは、日本がグローバル市場の４割（米国は３割）を占める数少ない強い材料である。**図１**は、ファインセラミックスの生産額の推移を示したもので、昨年度は日本のファインセラミックスの生産額は、過去最高の2.7兆円（対前年度比：7.6％増）となり、生産量、技術とも世界をリードしている。米国の市場調査レポートでは、今後のグローバル市場は年率6.3％（2017年～2024年）の成長を見込んでいる。

表　1　三大材料の相対的比較

	セラミックス	プラスチック	金属
硬度	高	低	中
融点	高	低	中
耐熱性	大	低	中
耐摩耗性	大	小	中
耐薬品性	良	良	難
軽量性	中	大	小
耐衝撃性	難	良	良
成形加工性	難	良	良

もともとセラミックス自身の歴史は古く、有田焼や瀬戸焼などに始まる従来の陶磁器を中心とした伝統的な技術を継承して、今日のファインセラミックスへと発展した。ファインセラミックスは、従来の天然素材のセラミックスに比べ、高純度の人工原料を使い、耐熱・耐摩耗で小型、軽量等に優れている。そして、日本の優れた品質管理・生産管理等が加わり、世界をリードするに到っている。

ファインセラミックスは、オールドセラミックスに比べ新しい機能や特性（耐熱性、絶縁性、耐薬品性など）を持つことから半導体、自動車、産業機械などの幅広い分野で使われている。スマートフォン、液晶テレビといった電子機器に欠くことのできない積層セラミックコンデンサも、このファインセラミックスで作られたもので、どこにいても情報が取り出せたり、快適で安全なドライブを楽しむことができるのも、このファインセラミックスのお陰だ。日本は電子・電子機器用など小型・軽量な機能材料のファインセラミックスが得意であるのに対し、米国は航空宇宙、医療、軍

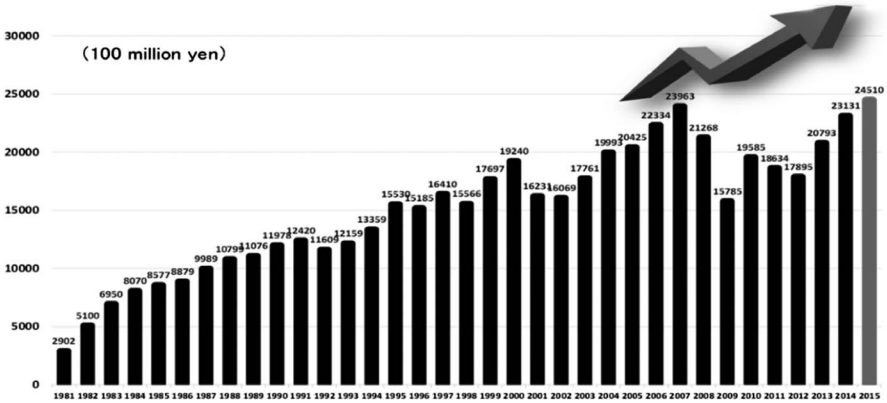


図　1　ファインセラミックスの生産額の推移

事など耐熱・耐摩耗の構造材料を得意とする。

◇　自動車とファインセラミックス

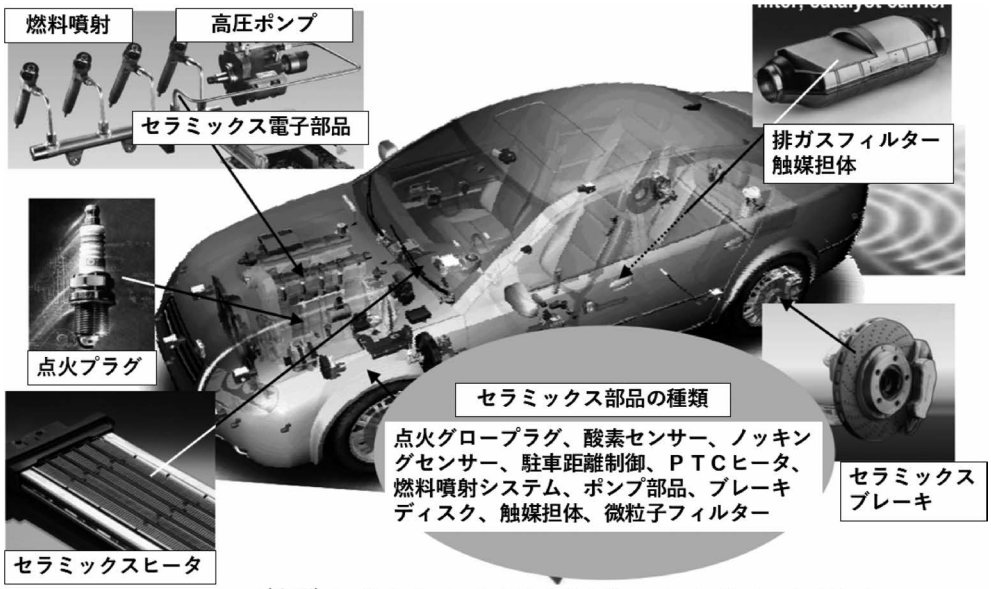
過去、自動車のフレーム、外板、エンジンなど多くの部品は鉄鋼材料が用いられ、その後、耐食、耐摩耗、耐熱性など特別な仕様にセラミックスが採用されてきた。自動車者関係は、1980年代のセラミックスフィーバーでのセラミックガスタービンエンジンを思い出すが、当時はセラミックスを使いこなす技術はまだ未成熟であった。このフィーバーを転機にグロープラグ、ターボチャージャロータなど金属材料に比べ高温耐熱性に優れる点のセラミックス部品が次々と実用化された。ターボチャージャーの窒化ケイ素セラミックス製ローターの搭載は画期的に加速性能を大きく改善した。また、環境問題の排ガス浄化では、ガソリン車におけるO2センサーのジルコニアと触媒担体のコーディエライト、そしてディーゼル車のDPFでは炭化ケイ素というセラミックスが重要な役割を果たしている。特に、微細な気孔をコントロールする材料技術とハニカム構造体の加工技術を含めた製造技術は素晴らしいものがあり、新しい排ガス規制の欧州Euro6（2017年）、China6（2020年）への期待は大きい。

現在、自動車の中には数多くのセラミックス部品が採用されている。**図２**のように主な用途は、排ガスフィルタ、エンジン点火プラグ、セラミックスブレーキ、酸素センサーなど耐熱性、耐久性に優れたセラミックスの特徴を生かした車部品から伝送部品までその用途は幅広い。

最近はクルマの電装化率が向上しエンジン制御、エアコン制御などで車に搭載されるECU（電子制御ユニット）が増加し、90年代初めには積層セラミックコンデンサの数は30個程度だったものが、現在、車一台あたり1,000～3,000個の使用に及んでいる。

◇　自動車新時代とセラミックスソリューション

今年４月、経済産業省は自動車新時代の到来を先取りして「自動車新時代戦略会議」を発足した。これまで地球温暖化に代表される環境、エネルギー、資源問題に対応するクリーンエネルギー自動車に向けた軽量化や電子化から、次世代自動車としてADAS（先進運転支援システム）、電気自動車、自動運転と進化し、今日では自動車をモビリティとして捉える。IoTやAIを活用した自動車のモビリティ化は、部素材サプライヤーにもたらすインパクトは大きくセラミックスソリューション



（出所）Institute for Applied Material, Ceramics in Mechanical Engineering

図　２　自動車で使われるセラミックス部品

への寄与大である。

具体的には、電気自動車への転換は車体の軽量化が今まで以上に重要な意味を持つ。また、電池の技術が急速に進化し電池の技術開発と量産化を巡りグローバルな競争が激化し、今日注目されている全固体リチウムイオン電池のセラミックスである。更に、2020年からの5G時代を踏まえて、IoT化の波はクルマにも到来しスマホやクルマを経由したデータを利用した多様なモビリティサービスが登場する。これを支えるのは日本が高いシェアをもつセラミックス電子部品である。自動運転対応の促進から今後のADAS市場は、年率20％と二桁成長が予想され、自動車におけるセラミックス部品が電子化にとって不可欠なものとなり新たな領域にシフトしてきている。構造材料については、米国では航空機材料としてCMC（セラミックス複合材料）や光学用透明セラミックスの採用が進むが、自動車への導入にはコスト面での難しさが残るが、製造プロセスで大きな技術革新が生まれればCFRP（炭素繊維強化プラスチック）と同等の材料となりうる。

自動車産業は、日本の経済・雇用を支えてきた屋台骨で、産業競争力・イノベーション力を如何に維持強化し、電動化、自動運転、環境等の課題解決に向かうためには、素材転換だけでなく車両設計と統合したブレークスルーや開発の生産性革新に向けたセラミックスと自動車メーカとの共同研究による作りこみが求められる。

日本がセラミックスで積み上げてきたものは大きく、世界市場の４割を確保し戦う武器は多く持っている。一方で、世界を見ると四輪車の販売台数はインドがドイツを抜き、日本に続く世界４位の自動車市場へと成長している。欧州委員会はGDPに占める製造業の割合を2020年までに20％に高め、コスト削減競争でなく、高付加価値化の競争に取り組むべきとして欧州の先進製造とHorizon 2020（欧州の研究開発・イノベーションの枠組みプログラム）を推進中である。2017年２月、欧州製造業者団体は、欧州委員会、欧州議会に対して「野心的EU産業戦略に関する共同宣言」を提出し、その共同宣言の中で、現下の主要国の産業政策「Make in India（インドで作ろう）」、「Made in China 2025（中国製造2025）」、「America First（アメリカ第一主義）」に言及し、世界における欧州のリーダーシップをアピールしている。また、世界規模での競争のなかでビジネススピードが加速し、かつ、国境はBorderless、人材はagelessとgenderlessに向かい、まさに“Change everything without wife and kids”の様相で、毎日が運動会である。

今後、もう一度原点に立ち返って、日本の素材の強さをどのように使いこなし、どう世界で稼ぐかとグローバルレベルでのマネジメントと日本の特徴を生かした材料間のポートファーリオを考えなければならない。

業界のうごき

碓井鋼材、部品販売ネットワーク構築へ 本社、静岡、群馬、茨城の拠点網を活用

碓井鋼材は、自社の拠点網を生かした取引先との連携強化により、部品販売ネットワークの構築を図る。「『構造用鋼を扱う鋼材屋』から『構造用鋼を主体に、鋼材を媒介とするサービス屋』」（碓井達郎社長）への変貌を目指す。

碓井鋼材の営業・物流網は本社を中心に３支店が扇状に広がり、各々で地区の部品メーカーと取引がある。拠点間の連携を密にして取引先の情報を共有し、地域の枠を超えて部品メーカーの加工機能を活用することで、最終ユーザーの部品調達・原価低減ニーズに的確に応える。碓井鋼材がコーディネート機能を発揮することで、部品メーカーの受注増、業績向上にも寄与することができる。

部品販売ネットワーク構築を進めるには取引先の特徴を熟知する必要がある。データベース作りの過程で営業担当者が優れた事例に学び、互いに刺激し合うことで、個々のレベルアップにつなげる。（７月３日）

三和特殊鋼、新型超硬帯鋸盤を導入 切断速度２倍で生産効率化

三和特殊鋼は、切断加工の効率化を図るため、新型の帯鋸切断機を１基、本社近隣の東田町倉庫に設置した。新設した切断機は大東精機の新商品「SGAⅢ430CNC」で導入第１号機。８月に本稼働に入る予定。今回の高速切断機の設置に伴い東田町倉庫の切断機１基を本社倉庫に移設。本社倉庫の老朽化した切断機を１基廃棄した。

大東精機製の帯鋸切断機としては、初めて超硬鋸刃を使用。また切断した鋼種・面積・個数・サイズや切断機の稼働時間、稼働率などを記憶するデータ管理機能を搭載。データをUSBメモリで出力し、パソコンなどに取り込める。

新設機は430ミリの丸材、角材の切断が可能。同社は難削材のSKD61の200～300ミリ径を主に切断する。「新設機は、高速で稼働状況が詳細に把握できるので、加工の生産効率化に役立てていきたい」（勝野茂社長）としている。（７月27日）

名古屋特殊鋼子会社、鍛造能力増強 工場棟新設、フォーマー増設

名古屋特殊鋼の子会社、北陸精鍛（本社・石川県かほく市）は、冷間鍛造品の生産能力を大幅に増強した。自動車関連製品の需要拡大に対応して、４棟目となる工場棟を新設するとともに大型パーツフォーマーを増設した。

北陸精鍛は2012年、名古屋特殊鋼がグループ化した冷間鍛造品メーカー。自動車関連を中心とする中～大物の異形・中空製品を得意とし、中部地区ユーザーとの取引を拡大している。2016年に月産30万個で受注したステアリング関連製品に対し、受注後ユーザーが相次いで増産を要請。製造能力が不足することに加え、既存設備の停止リスクも考慮した上でフォーマーの増設を決めた。

また置場スペース確保のため旧事務所棟の位置に新工場を建設して同型の保有設備を移設し、事務所棟を耐震性能に優れたものへリニューアルする。（６月５日）

野村鋼機が兵庫に新拠点、12月開設 熱間工具鋼の加工・物流強化

野村鋼機は兵庫県加東市に熱間工具鋼の加工・物流を担う営業拠点を開設する。「ひょうご東条ニュータウンインターパーク」に兵庫支店を開設し、産業機械・航空機関連を中心とする熱間工具鋼の大型加工や、西日本における構造用鋼の物流・切断機能を担う営業拠点とする。敷地約１万平方メートルに建屋約5,000平方メートルを建設し、大型５面加工機などを導入する。12月に稼働開始する予定で、取得済みの土地代を含む総投資額は15億円。

兵庫支店は西日本の構造用鋼の中核物流拠点も兼ねる。広島支店は構造用鋼在庫を兵庫支店に全面移管してユーザー向けの熱間工具鋼の加工販売に集中し、将来は機械加工設備を増強する。

兵庫支店の第１期投資で導入するのは、加工棟に大型５面加工機、横中ぐりフライス盤、縦型マシニングセンターなど機械加工設備４台、大型切断機４台、倉庫棟に切断機４台。（６月７日）

ハヤカワグループ「アロイ・テック」 アルミ鋳造品、加工・検査体制を強化

ハヤカワカンパニーのグループ会社で精密アルミ鋳造部品メーカーのアロイ・テック（本社・茨城県行方市）は、製品鋳造後の加工、検査体制を強化する。今年度内にフライス盤を導入して切削機能を高めるとともに、数量増に対応して各種検査機器を新設。2015年の上工程強化に続く投資を通じて対応力を高め、更なる増産を目指す。

アロイ・テックは産業機械や大型二輪、電力関連ユーザー向けのアルミ合金鋳造品を製造する。近年、日軽エムシーアルミ製造の高剛性アルミ合金「DX80」素材のロボット向け製品の引き合いが増加傾向にあるが、製品形状の複雑化で従来の切断機では加工が難しいケースがあった。素材の硬度が高いことから多くの加工時間を要していたこともあり、フライス盤の導入を決めた。

アロイ・テックは2015年、大型鋳造機と溶解炉を増設し上工程の能力を引き上げている。（６月27日）

業界のうごき

マクシスコーポレーション 建機部品の物流体制を拡充

マクシスコーポレーションは建機部品の物流体制を拡充する。2018年度下期に広島営業所（広島市）で倉庫を新設するのに続き、来夏完成予定で札幌営業所（北海道江別市）の倉庫を拡張する。建機部品の在庫・即納体制を拡充して販売強化を進める。鋼材部門では北関東営業所・鋼材物流センター（栃木県佐野市）の切断体制を強化する。生産性向上などを狙いに、2018年内に超硬丸鋸盤１台を更新し、2019年初に帯鋸盤１台を増設する。

広島営業所は、広島市の広島自動車道・広島西風新都IC近くに倉庫を開設する。現在は主に西日本物流センター（名古屋市）や東日本物流センター（茨城県土浦市）から配送対応しているが、広島に在庫・配送拠点を置くことで中国・四国・関西地区への即納対応を強化する。鋼材物流センターの切断体制拡充は顧客ニーズへの対応強化が狙い。（７月５日）

ヤマト特殊鋼、新潟に営業・加工拠点 地場密着で機械加工品展開

ヤマト特殊鋼は７月、新潟県阿賀野市に特殊鋼の営業・加工拠点を開設する。主要顧客が工場再編を含めて新潟で一部製品の生産を拡大していることに対応し、機械加工品の地場密着サービスを高める。主に甲府営業所（山梨県中央市）から加工設備や在庫を移管し、業務を開始する。土地・建屋を含む投資額は２億5,000万円。７月11日に現地で竣工式を行う。

大手ユーザーが甲府から新潟へ一部製品の生産シフトを進める中、甲府営業所で供給対応してきたが、きめ細かいサービス体制を整えるとともに増量要請に応えるため、新潟に拠点進出する。主な設備は切断機２台、プレーナー１台、横型両頭フライス盤２台、NC旋盤２台、汎用旋盤２台、フライス盤１台。

甲府営業所は最近の事業規模の約４割を新潟営業所に移管するが、地場需要に密着した高付加価値サービスの強化に引き続き取り組む。（６月22日）

秋山精鋼、新ステンレス磨棒鋼を開発 硬度・耐食性・加工性が向上

秋山精鋼は新鋼種のステンレス磨棒鋼「ASK3900」を販売開始した。大同特殊鋼の高窒素マルテンサイト系ステンレス「DSR40N」線材を同社が初めて使用。高い硬度と耐食性とともに快削性や冷間加工性にも優れる鋼種として、主に精密機械部品や医療機器など細径の需要分野へ拡販する。

ASK3900はSUS440C並みの硬度を持ち、耐食性はSUS630と同等水準。焼き入れ前の加工での切削性や冷間加工性はSUS440Cより優れる。

オーステナイト系ASK8000の販売を進める中で、より硬度や耐食性を求める需要家ニーズが多かったため、新鋼種の販売開始に至った。試作品在庫では丸径３～16ミリのサイズに対応。今後は径20ミリ径以下を中心SUS440Cに代わる用途として拡販する方針。

秋山社長は「歯科用冶具関連の用途で４、５社の引き合いが来ている」としており、「細径分野を中心に数年後に月10トンほどを安定的に販売したい」と見込んでいる。（６月18日）

神戸製鋼所が高炉操業で新技術 転炉スラグ活用しコスト削減

神戸製鋼所は、高炉操業で生産コストを減らせる国内初の新技術を開発した。リサイクル用途が限られている製鉄副産物の転炉スラグを活用し、高炉内の通気性を改善。通気性を保つために必要なコークスの使用量を減らすことでコストを低減する。加古川製鉄所で実用化する方向で最終調整しており、導入時期などを詰めている。

神戸製鋼が開発したのは「転炉スラグの羽口吹き込み技術」。転炉スラグを微粉状にして高炉の羽口から微粉炭とともに炉内へ吹き込む。昨年10月末に休止した神戸製鉄所の第３高炉に適用し、安定操業を維持しながら一定のコスト削減効果を確かめた。

適用期間は2016年４月から同高炉を休止した2017年10月末までの約１年半。今後はより大型となる加古川の高炉で実用化の準備を進める。転炉スラグの活用により高炉で使用するコークスを減らし、コスト競争力を強化する。（７月６日）

山陽特殊製鋼、極超高清浄度鋼を開発 新製造プロセスで介在物を低減

山陽特殊製鋼は、ベアリングなど転がり部品の長寿命化が一段と図れる極超高清浄度鋼の製造プロセスを開発した。「SURP」（サンヨー・ウルトラ・リファイニング・プロセス）と呼ぶ新プロセスは、鋼の割れなど疲労を起こす鋼中の介在物を従来プロセスより更に低減・小径化でき、高清浄度化を一段と高められる。各種部品の小型・軽量化が進む中で、重荷重や過酷な潤滑環境下で長期安定稼働が求められる高速鉄道、風力発電機、産業機械などに使う転がり部品の設計上の高信頼性化やメンテナンスフリー化ニーズに対応できる。

今回開発したSURP方式は、従来のSNRP方式を更に発展させた。SNRPでの製造条件と介在物の関係を追究し、介在物の低減・小径化技術であるSNRP方式に介在物組成制御技術をプラスしたことにより、鋼中への介在物の出現頻度の低減化などを可能にした。（７月19日）

業界のうごき

新日鉄住金の棒線事業ブランド ユーザーと共同で情報発信

新日鉄住金の棒線事業ブランド「SteeLinC」（スティーリンク）の展開で、新たな動きが加わった。従来はサプライヤー側の情報発信に限られていたが、エンドユーザーが自社製品のアピールに同ブランドを活用する動きが始まっている。

第一弾は「シモンズベッド」。シモンズの富士小山工場（静岡県）では、マットレスの中核部材であるポケットコイルの全量に、新日鉄住金・君津製鉄所の線材を日鉄住金SGワイヤ・習志野工場で加工したベッドスプリング用特殊鋼線を使用している。マットレスの機能や耐久性に対して、特殊鋼線の品質安定性は重要な意味を持つ。

シモンズのショールームや販売店舗に掲示されているポスターには「鉄鉱石からマットレスまでつながっているから高品質・安心」と大書され、「素材×工法」一体のSteeLinCブランドがユーザー製品の高い信頼性を支えている様子を示している。

（6月21日）

大同特殊鋼、機能・磁性材料を強化 中期計画策定、設備投資950億円

大同特殊鋼は2020年度を最終とする新中期経営計画を策定した。EV化やロボット化などで事業環境が大きく変化する中、機能材料・磁性材料部門への投資を拡大して、特殊鋼鋼材部門を抜いて売上高トップにするポートフォリオ改革を実施。徹底したコストダウンや生産性向上による事業基盤強化策を推進し、2020年度に連結売上高5,800億円、営業利益470億円、純利益300億円、ROS8%、ROA7%、ROE9%とする計画。3年間で950億円（工事ベース）の大規模設備投資を実施する。

ステンレス連続鋳造ラインの合理化（知多工場）、熱処理・冷間加工設備増強（星崎工場）、再溶解設備増強（知多・渋川工場）、高級帯製造能力増強（知多帯鋼工場）、粉末製造能力増強（築地粉末工場）などの増強を相次ぎ実施。磁石事業では専門研究所を開設するなど研究開発体制を強化、米国工場進出を進める。（6月7日）

日新製鋼、Nb添加の耐摩耗鋼板を開発 新ブランド「タフスター」立ち上げ

日新製鋼は、鋼板の母材中に硬質なニオブ（Nb）炭化物を微細に分散させて、耐摩耗性を飛躍的に向上させたNb添加鋼を開発した。一般的にNb添加は靭性や耐食性などの向上を目的とする。鋼中に分散した硬質粒子（Nb炭化物）により耐摩耗性を向上させた特殊鋼鋼板の商品化は業界初とみられる。加工時の柔軟性と加工後（熱処理後）の強靭性を両立できるのも特徴で、機械部品、刃物など幅広い用途で拡販を図る。熱処理後のビッカース硬さは600～750HV程度になる。

新開発のNb添加鋼と既存の合金工具鋼、高マンガン鋼を組み合わせ耐摩耗性に優れる特殊鋼の新ブランド「タフスター」を立ち上げた。耐摩耗鋼の新ブランドを立ち上げることで、独自の機能・特性を持つ特殊鋼製品の認知度アップと他社製品との差別化も図る。（6月29日）

日本精線、医療機器向けなど開拓 超高強度ステンレス鋼線開発

日本精線は、超高強度ステンレス鋼線「ハーキュリーEH（Extra Hard）」を開発し、需要の見込める線径0.10～0.35ミリの量産体制を確立した。

現行材の「ハーキュリー」は高強度かつ耐食性を要求される用途で使用され、広く認知されている。一方、電子部品・車載情報機器・医療機器の小型化が進み、素材のワイヤーでも細径化や高強度化のニーズが急増している。同社はハーキュリーに対して高度な加工技術を駆使し、加工誘起マルテンサイトの生成量を緻密にコントロールすることにより、ピアノ線B種並の引張強さを実現した。ピアノ線と比べると、防錆など後処理を含めたトータルコストで競争力がある。

ハーキュリーEHの用途開発では、ハーキュリーで強度特性を満たせないアイテム、ピアノ線B種で耐食性が不足するアイテム、熱負荷時にばねのへたり（形状変化）が問題となるようなアイテムへの展開を狙う。

（6月4日）

三菱製鋼、フィリピンでもばね生産 世界６極、供給網整う

三菱製鋼はフィリピン・マニラで自動車サスペンション用ばね及び電子・電気機器用線ばねの生産を開始する。北米（カナダ、米国、メキシコ）、中国、インド、欧州（ドイツ）にばねの海外生産拠点を持っており、今回のアセアン進出により、日本を含め世界６極からのグローバル供給網が整うことになる。

フィリピンでは100%出資子会社の「MSMセブ」で精密組立品、線ばね、プレス品などを生産しており、マニラに倉庫を置いている。この倉庫建屋を活用して自動車用巻ばね及び電子・電気機器用線ばねの生産を行う。今年10月から量産を開始する。

フィリピンでの拠点開設により、自動車サスペンション用ばねの海外拠点はカナダ、米国、メキシコ、中国、ドイツ、フィリピンの６拠点となる。電子・電気機器用線ばねについては需要が集積するマニラ地区でも生産を行うことにした。（6月21日）

文責：（株）鉄鋼新聞社

特 殊 鋼 統 計 資 料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼 種 別

（単位：ｔ）

年 月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合 計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
’16 暦 年	242,925	4,713,936	3,593,009	8,306,945	411,650	939,192	2,784,129	590,795	5,485,686	676,186	10,887,638	19,437,508
’17 暦 年	262,744	5,014,549	3,947,953	8,962,502	438,097	1,011,176	2,850,849	629,459	5,562,736	609,458	11,101,775	20,327,021
’16 年 度	246,763	4,786,841	3,677,564	8,464,405	424,465	951,774	2,803,875	602,844	5,496,896	657,374	10,937,228	19,648,396
’17 年 度	268,659	5,058,907	4,010,098	9,069,005	434,231	1,025,656	2,898,689	637,160	5,672,002	575,660	11,243,398	20,581,062
’17. 7- 9月	61,691	1,248,678	987,307	2,235,985	108,176	260,345	709,255	157,807	1,364,954	145,998	2,746,535	5,044,211
10-12月	70,341	1,263,666	1,004,185	2,267,851	112,789	254,594	742,928	157,477	1,417,277	141,752	2,826,817	5,165,009
’18. 1- 3月	70,870	1,285,892	1,016,164	2,302,056	106,812	254,213	765,443	159,122	1,465,352	131,191	2,882,133	5,255,059
4- 6月	69,786	1,325,708	1,025,402	2,351,110	111,727	259,731	736,597	168,272	1,459,353	139,793	2,875,473	5,296,369
’17年 5月	21,780	424,232	339,881	764,113	36,829	86,446	227,236	54,178	465,489	48,755	918,933	1,704,826
6月	23,211	423,245	341,978	765,223	35,625	87,838	208,565	58,513	453,780	47,467	891,788	1,680,222
7月	21,697	410,991	331,437	742,428	36,116	83,830	215,600	53,597	469,109	50,197	908,449	1,672,574
8月	19,070	412,465	316,988	729,453	35,234	84,957	246,038	50,577	437,021	48,209	902,036	1,650,559
9月	20,924	425,222	338,882	764,104	36,826	91,558	247,617	53,633	458,824	47,592	936,050	1,721,078
10月	22,974	427,686	343,071	770,757	37,201	86,089	260,625	54,070	465,179	45,738	948,902	1,742,633
11月	23,484	414,568	339,914	754,482	35,577	82,482	230,464	54,755	505,672	45,594	954,544	1,732,510
12月	23,883	421,412	321,200	742,612	40,011	86,023	251,839	48,652	446,426	50,420	923,371	1,689,866
’18年 1月	25,405	416,166	330,912	747,078	32,645	80,134	254,983	48,909	490,017	41,920	948,608	1,721,091
2月	22,269	413,700	329,122	742,822	34,205	84,183	246,564	52,284	466,132	42,438	925,806	1,690,897
3月	23,196	456,026	356,130	812,156	39,962	89,896	263,896	57,929	509,203	46,833	1,007,719	1,843,071
4月	24,591	431,808	346,133	777,941	35,531	85,313	242,146	52,231	470,100	51,271	936,592	1,739,124
5月	21,223	451,591	349,683	801,274	37,301	90,588	245,014	58,280	509,651	40,077	980,911	1,803,408
6月	23,972	442,309	329,586	771,895	38,895	83,830	249,437	57,761	479,602	48,445	957,970	1,753,837
前 月 比	113.0	97.9	94.3	96.3	104.3	92.5	101.8	99.1	94.1	120.9	97.7	97.3
前年同月比	103.3	104.5	96.4	100.9	109.2	95.4	119.6	98.7	105.7	102.1	107.4	104.4

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

形 状 別

（単位：ｔ）

年 月	形 鋼	棒 鋼	管 材	線 材	鋼 板	鋼 帯	合 計
’16 暦 年	309,707	5,756,252	989,696	4,173,511	2,001,827	6,218,161	19,449,154
’17 暦 年	345,018	6,272,447	1,112,835	4,249,655	1,716,315	6,648,155	20,344,425
’16 年 度	313,559	5,917,546	984,067	4,202,470	1,954,496	6,287,894	19,660,032
’17 年 度	347,415	6,340,621	1,168,193	4,199,478	1,780,457	6,761,726	20,597,890
’17. 7- 9月	90,841	1,532,307	301,849	1,069,880	381,691	1,675,956	5,052,524
10-12月	90,625	1,609,879	287,199	1,035,719	489,706	1,655,146	5,168,274
’18. 1- 3月	88,262	1,601,854	302,465	1,040,570	474,671	1,749,574	5,257,396
4- 6月	103,104	1,648,385	299,488	1,073,417	445,767	1,728,159	5,298,320
’17年 5月	24,514	539,243	84,823	360,133	123,087	573,997	1,705,797
6月	30,628	547,461	93,827	345,955	128,392	534,930	1,681,193
7月	28,042	507,452	104,789	353,466	119,777	560,019	1,673,545
8月	37,454	486,587	101,611	354,234	124,294	547,350	1,651,530
9月	25,345	538,268	95,449	362,180	137,620	568,587	1,727,449
10月	25,413	546,707	103,549	348,344	157,441	562,150	1,743,604
11月	26,488	543,097	92,161	340,262	173,474	557,999	1,733,481
12月	38,724	520,075	91,489	347,113	158,791	534,997	1,691,189
’18年 1月	24,783	503,655	106,730	336,364	161,704	588,826	1,722,062
2月	38,239	522,438	93,448	334,540	148,568	554,635	1,691,868
3月	25,240	575,761	102,287	369,666	164,399	606,113	1,843,466
4月	41,111	525,948	113,196	359,675	154,446	545,719	1,740,095
5月	23,311	562,037	101,462	361,223	154,804	601,090	1,803,927
6月	38,682	560,400	84,830	352,519	136,517	581,350	1,754,298
前 月 比	165.9	99.7	83.6	97.6	88.2	96.7	97.2
前年同月比	126.3	102.4	90.4	101.9	106.3	108.7	104.3

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売（商社＋問屋）の推移　（同業者＋消費者向け）

（単位：t）

年　月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合　計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
’16 暦年	318,284	3,793,728	4,159,973	7,953,701	249,025	502,736	3,043,035	167,359	100,734	40,543	4,103,432	12,375,417
’17 暦年	328,624	3,662,276	3,174,867	6,837,143	209,980	558,894	2,401,141	182,809	98,145	56,347	3,507,316	10,673,083
’16 年度	317,816	3,843,693	4,224,447	8,068,140	255,982	531,825	3,063,505	170,660	95,118	43,717	4,160,807	12,546,763
’17 年度	328,965	3,482,828	2,582,257	6,065,085	169,371	561,237	2,045,095	180,396	100,874	56,424	3,113,397	9,507,447
’17年 10月	28,979	277,714	170,883	448,597	11,705	47,226	140,848	14,961	8,920	2,897	226,557	704,133
11月	28,398	278,848	168,765	447,613	10,738	47,920	151,762	15,783	8,463	3,158	237,824	713,835
12月	29,260	265,263	160,609	425,872	8,597	45,725	133,012	14,952	9,080	9,077	220,443	675,575
’18年 1月	24,955	257,390	155,052	412,442	7,734	44,319	136,791	13,074	7,047	3,729	212,694	650,091
2月	26,994	267,234	163,721	430,955	10,781	45,594	140,333	14,933	8,668	3,957	224,266	682,215
3月	29,627	297,646	170,368	468,014	9,416	50,557	149,668	15,581	8,188	4,569	237,979	735,620
4月	26,906	286,104	165,514	451,618	9,821	47,220	138,136	14,591	8,954	3,939	222,661	701,185
5月	29,596	292,375	172,082	464,457	10,997	48,547	141,527	16,921	8,123	3,898	230,013	724,066
6月	27,900	305,901	188,982	494,883	10,983	54,654	143,329	16,821	6,755	4,480	237,022	759,805
前月比	94.3	104.6	109.8	106.6	99.9	112.6	101.3	99.4	83.2	114.9	103.0	104.9
前年同月比	98.7	92.6	51.2	70.8	88.2	120.2	56.4	104.2	98.3	105.0	69.8	71.2

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。
（注）平成30年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

（単位：t）

年　月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合　計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
’16 暦年	6,840	239,158	136,648	375,806	23,596	36,680	122,241	27,149	191,633	26,245	427,544	810,190
’17 暦年	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812
’16 年度	7,525	214,217	129,129	343,346	27,751	31,790	109,641	27,312	185,309	31,761	413,564	764,435
’17 年度	6,776	223,466	121,672	345,138	32,300	31,384	119,951	28,451	175,114	21,424	408,624	760,538
’17年 10月	6,472	251,052	136,053	387,105	34,643	32,781	126,329	29,851	191,332	28,986	443,922	837,499
11月	6,784	236,134	131,208	367,342	31,628	32,570	117,677	30,301	213,023	20,701	445,900	820,026
12月	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812
’18年 1月	8,868	245,602	134,453	380,055	33,832	33,324	132,474	29,620	211,156	23,253	463,659	852,582
2月	7,139	245,057	127,713	372,770	30,674	32,725	130,560	32,094	189,622	24,145	439,820	819,729
3月	6,776	223,466	121,672	345,138	32,300	31,384	119,951	28,451	175,114	21,424	408,624	760,538
4月	7,481	231,844	158,570	390,414	27,674	33,572	132,261	29,696	190,760	24,359	438,322	836,217
5月	6,384	251,722	164,620	416,342	30,037	33,345	128,110	32,255	199,089	21,979	444,815	867,541
6月	6,667	254,300	161,029	415,329	28,738	32,628	132,706	28,830	204,968	21,604	449,474	871,470
前月比	104.4	101.0	97.8	99.8	95.7	97.8	103.6	89.4	103.0	98.3	101.0	100.5
前年同月比	100.0	113.3	125.8	117.8	111.1	98.7	127.1	99.1	126.8	71.5	117.0	117.2

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移　（商社＋問屋）

（単位：t）

年　月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合　計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
’16 暦年	58,237	187,464	141,858	329,322	14,527	58,916	129,697	11,828	10,737	1,619	227,324	614,883
’17 暦年	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442
’16 年度	57,869	190,684	145,813	336,497	20,955	59,768	141,859	11,460	10,537	2,252	246,831	641,197
’17 年度	65,001	195,049	149,069	344,118	12,899	52,740	161,067	10,837	10,373	2,192	250,108	659,227
’17年 10月	55,392	176,640	138,536	315,176	12,403	54,606	138,789	12,755	10,264	1,805	230,622	601,190
11月	55,049	172,475	139,703	312,178	12,582	53,471	142,015	11,851	9,859	2,086	231,864	599,091
12月	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442
’18年 1月	56,918	180,738	144,204	324,942	8,003	50,290	149,549	9,889	10,137	2,340	230,208	612,068
2月	56,928	177,864	141,600	319,464	12,238	49,473	148,964	9,417	10,135	2,263	232,490	608,882
3月	65,001	195,049	149,069	344,118	12,899	52,740	161,067	10,837	10,373	2,192	250,108	659,227
4月	66,117	195,937	151,534	347,471	12,865	55,010	160,781	9,373	10,848	2,019	250,896	664,484
5月	66,347	195,003	153,283	348,286	13,384	60,366	163,202	9,677	10,831	2,545	260,005	674,638
6月	72,119	201,314	151,821	353,135	13,916	55,336	162,784	10,490	10,661	2,697	255,884	681,138
前月比	108.7	103.2	99.0	101.4	104.0	91.7	99.7	108.4	98.4	106.0	98.4	101.0
前年同月比	121.6	103.4	101.9	102.8	107.1	88.8	117.6	90.4	108.8	118.4	107.8	106.4

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。
（注）平成30年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸　出

（単位：ｔ）

年　月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼				その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
’16 暦 年	43,539	412,511	530,319	942,830	182,238	1,015,301	146,993	1,344,532	10,111	6,088,581	6,098,693	8,429,594
’17 暦 年	42,292	453,298	604,953	1,058,252	187,297	991,116	120,960	1,299,372	5,337	5,872,203	5,877,539	8,277,455
’16 年 度	44,566	429,850	558,646	988,496	188,175	1,022,853	137,846	1,348,875	9,298	6,153,697	6,162,994	8,544,931
’17 年 度	42,058	459,167	611,145	1,070,312	187,017	986,796	110,363	1,284,173	5,038	5,734,097	5,739,251	8,135,682
’17年 9月	3,284	38,942	54,791	93,733	15,548	77,006	9,533	102,087	234	460,892	461,126	660,230
10月	3,320	39,359	49,058	88,417	16,709	85,142	8,080	109,931	522	434,201	434,723	636,391
11月	3,238	34,163	48,578	82,740	14,735	84,359	6,860	105,953	514	534,479	534,992	726,924
12月	3,427	42,403	56,409	98,812	18,181	90,161	8,187	116,528	533	486,991	487,524	706,291
’18年 1月	2,974	32,313	44,636	76,949	13,978	79,911	6,384	100,274	334	482,357	482,691	662,887
2月	3,631	39,324	49,787	89,110	16,575	75,054	9,264	100,893	360	458,181	458,542	652,176
3月	4,096	45,894	60,333	106,227	17,200	92,492	6,894	116,586	462	482,661	483,123	710,031
4月	4,117	35,893	49,877	85,770	17,248	78,116	6,427	101,790	285	423,255	423,539	615,216
5月	3,822	39,822	45,678	85,500	16,404	82,642	7,324	106,370	244	528,649	528,893	724,584
6月	3,991	42,104	52,775	94,880	16,925	83,559	7,985	108,470	285	475,409	475,695	683,035
前 月 比	104.4	105.7	115.5	111.0	103.2	101.1	109.0	102.0	117.0	89.9	89.9	94.3
前年同月比	108.4	105.6	95.9	100.0	117.9	104.9	79.0	104.2	59.9	90.9	90.9	94.1

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸　入

（単位：ｔ）

年　月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼						快削鋼	その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管	計		高炭素鋼	合金鋼	計	
’16 暦 年	3,441	3,369	666	10,616	11,054	172,316	14,549	209,200	70	16,478	857,976	874,454	1,090,534
’17 暦 年	3,597	3,665	779	12,136	12,315	206,740	16,077	248,047	127	10,199	599,044	609,243	864,679
’16 年 度	3,179	3,551	643	11,306	11,294	173,146	14,752	211,141	64	15,748	767,618	783,366	1,001,302
’17 年 度	3,720	3,649	896	11,567	11,437	216,687	16,435	257,022	125	8,434	544,543	552,977	817,491
’17年 9月	359	357	43	1,266	1,169	15,436	1,181	19,096	16	215	25,274	25,489	45,317
10月	304	196	79	850	1,242	16,084	1,428	19,683	－	744	37,394	38,138	58,322
11月	338	331	46	1,175	1,261	18,168	1,095	21,745	13	490	36,220	36,710	59,137
12月	182	392	120	847	1,191	14,490	1,419	18,066	9	1,016	26,738	27,754	46,402
’18年 1月	310	288	121	803	757	14,786	1,250	17,716	－	272	26,425	26,696	45,011
2月	254	303	103	953	622	24,261	1,222	27,160	2	695	28,653	29,348	57,066
3月	345	357	59	875	774	17,742	1,548	20,999	8	230	30,088	30,318	52,027
4月	274	302	131	828	932	22,867	1,284	26,042	1	97	43,272	43,369	69,987
5月	470	185	100	1,072	719	20,648	1,523	24,061	67	1,007	29,158	30,165	54,947
p 6月	300	361	307	922	893	21,052	1,269	24,443	18	99	27,221	27,320	52,442
前 月 比	63.8	195.7	307.2	86.1	124.2	102.0	83.3	101.6	27.2	9.8	93.4	90.6	95.4
前年同月比	64.9	87.1	258.4	114.3	82.2	96.5	99.4	97.4	－	7.4	34.9	34.4	49.7

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。　　（注）p:速報値

関連産業指標推移

（単位：台）　　（単位：億円）

年　月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輌生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
		うちトラック		うちトラック		うちトラック	ブルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック			
’16 暦 年	9,204,702	1,201,073	4,634,033	383,959	4,970,258	808,302	－	154,214	109,243	10,437	102,600	56,089	12,500
’17 暦 年	9,690,674	1,219,741	4,705,848	368,407	5,234,165	832,195	－	178,930	113,932	11,460	101,431	50,328	16,456
’16 年 度	9,357,382	1,192,689	4,636,390	373,097	5,077,903	818,858	－	159,765	109,887	10,553	102,314	50,944	12,893
’17 年 度	9,683,262	1,224,728	4,786,909	362,966	5,197,109	832,361	－	182,533	116,204	11,544	101,451	49,284	17,803
’17年 9月	855,277	105,703	423,721	37,014	495,188	76,217	－	14,764	9,946	982	8,201	5,816	1,491
10月	831,078	103,260	411,277	30,469	372,469	60,732	－	15,609	10,561	1,018	8,419	3,001	1,407
11月	847,882	107,673	438,377	33,389	406,860	73,241	－	15,753	10,195	907	8,886	4,500	1,585
12月	797,843	99,899	433,390	29,700	394,253	63,022	－	16,015	9,569	851	8,060	4,383	1,659
’18年 1月	738,501	90,824	334,167	23,923	399,540	59,132	－	14,172	9,063	743	8,723	3,185	1,544
2月	857,122	106,794	416,546	29,133	473,876	70,962	－	14,795	9,641	813	8,910	3,972	1,552
3月	939,120	118,735	441,675	34,435	667,277	102,142	－	17,140	11,070	1,004	8,566	6,639	1,829
4月	777,670	100,438	432,137	29,268	r 366,156	60,094	－	15,483	9,693	736	9,431	3,393	1,631
5月	725,216	97,561	344,875	26,140	371,864	63,352	－	14,968	9,388	896	9,079	3,759	1,492
6月	－	－	412,156	34,540	453,765	77,522	－	16,112	10,741	1,064	8,276	4,944	1,593
前 月 比	－	－	119.5	132.1	122.0	122.4	－	107.6	114.4	118.8	91.2	131.5	106.7
前年同月比	－	－	96.9	106.2	95.0	97.2	－	98.4	101.3	88.2	102.9	98.0	111.4

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、
新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、
軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、
建設機械生産、産業車輌生産は『経済産業省生産動態統計』、
機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、
工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』
（注）r:訂正値

特殊鋼需給統計総括表　２０１８年６月分

鋼種別	項目＼月別	実数 (t)	前月比 (%)	前年同月比(%)	2015年基準指数(%)
工具鋼	熱間圧延鋼材生産	23,972	113.0	103.3	116.3
	鋼材輸入実績	300	63.8	64.9	97.2
	販売業者 受入計	33,672	112.9	121.1	124.7
	販売業者 販売計	27,900	94.3	98.7	106.2
	販売業者 うち消費者向	21,435	96.2	103.0	113.3
	販売業者 在庫計	72,119	108.7	121.6	122.1
	鋼材輸出船積実績	3,991	104.4	108.4	83.8
	生産者工場在庫	6,667	104.4	100.0	80.4
	総在庫	78,786	108.3	119.4	117.0
構造用鋼	熱間圧延鋼材生産	771,895	96.3	100.9	112.8
	鋼材輸入実績	20,944	108.5	43.3	60.3
	販売業者 受入計	499,732	107.4	73.4	76.5
	販売業者 販売計	494,883	106.6	70.8	75.7
	販売業者 うち消費者向	358,540	106.5	80.7	81.6
	販売業者 在庫計	353,135	101.4	102.8	100.4
	鋼材輸出船積実績	94,880	111.0	100.0	115.5
	生産者工場在庫	415,329	99.8	117.8	118.7
	総在庫	768,464	100.5	110.4	109.5
ばね鋼	熱間圧延鋼材生産	38,895	104.3	109.2	108.2
	鋼材輸入実績	361	195.7	87.1	88.6
	販売業者 受入計	11,515	100.0	287.9	54.3
	販売業者 販売計	10,983	99.9	88.2	52.3
	販売業者 うち消費者向	4,217	97.4	85.2	90.7
	販売業者 在庫計	13,916	104.0	107.1	114.0
	鋼材輸出船積実績	16,925	103.2	117.9	107.6
	生産者工場在庫	28,738	95.7	111.1	111.3
	総在庫	42,654	98.2	109.8	112.2
ステンレス鋼	熱間圧延鋼材生産	249,437	101.8	119.6	108.6
	鋼材輸入実績	24,443	101.6	97.4	168.9
	販売業者 受入計	142,911	99.3	56.0	57.0
	販売業者 販売計	143,329	101.3	56.4	57.0
	販売業者 うち消費者向	71,534	107.3	123.9	127.9
	販売業者 在庫計	162,784	99.7	117.6	119.1
	鋼材輸出船積実績	83,559	101.1	104.9	95.3
	生産者工場在庫	132,706	103.6	127.1	115.2
	総在庫	295,490	101.4	121.7	117.3
快削鋼	熱間圧延鋼材生産	57,761	99.1	98.7	112.6
	販売業者 受入計	17,634	102.4	114.7	124.7
	販売業者 販売計	16,821	99.4	104.2	116.9
	販売業者 うち消費者向	16,262	99.2	109.3	116.8
	販売業者 在庫計	10,490	108.4	90.4	77.5
	生産者工場在庫	28,830	89.4	99.1	103.9
	総在庫	39,320	93.8	96.6	95.2
高抗張力鋼	熱間圧延鋼材生産	479,602	94.1	105.7	116.2
	販売業者 受入計	6,585	81.2	104.2	64.0
	販売業者 販売計	6,755	83.2	98.3	66.4
	販売業者 うち消費者向	5,153	85.3	103.1	76.9
	販売業者 在庫計	10,661	98.4	108.8	97.2
	生産者工場在庫	204,968	103.0	126.8	108.1
	総在庫	215,629	102.7	125.8	107.5
その他	熱間圧延鋼材生産	132,275	101.2	97.8	95.6
	販売業者 受入計	54,256	93.0	105.2	133.9
	販売業者 販売計	59,134	112.8	118.9	145.9
	販売業者 うち消費者向	41,045	105.6	113.6	111.7
	販売業者 在庫計	58,033	92.2	89.9	109.2
	生産者工場在庫	54,232	98.0	85.7	78.4
	総在庫	112,265	95.0	87.8	91.8
特殊鋼鋼材合計	熱間圧延鋼材生産合計	1,753,837	97.3	104.4	111.5
	鋼材輸入実績計	52,442	95.4	49.7	64.5
	販売業者 受入計	766,305	104.4	73.6	75.3
	販売業者 販売計	759,805	104.9	71.2	74.7
	販売業者 うち消費者向	518,186	105.5	88.7	90.0
	販売業者 在庫計	681,138	101.0	106.4	106.9
	鋼材輸出船積実績計	683,035	94.3	94.1	106.2
	生産者工場在庫	871,470	100.5	117.2	110.9
	総在庫	1,552,608	100.7	112.2	109.1

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、
それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算

（注）1.鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。
2.総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

（平成30年６月１日～７月31日）

海外委員会

専門部会（６月５日）

①「アセアン・大洋州の特殊鋼需給動向」調査委託先の検討

②個別通商問題の対応

③その他

商社分科会

「貿易一般保険包括保険（鋼材）申込マニュアル」３団体合同説明会（６月19日）

演　題：①鋼材包括保険直接申込マニュアル初版

②一般案件申込要領

③2017年度３組合共有鋼材包括保険申込書記入例 2018年６月版

講　師：①②㈱日本貿易保険（NEXI）営業第一部　包括保険グループ　伊藤　実佳　氏

③(一社)特殊鋼倶楽部　業務部参与　内田　宏幸　氏

参加者：22名

市場開拓調査委員会

第１回調査WG（６月15日）

①「特殊鋼最終用途別需要実態調査」企画書の検討

②その他

説明会（６月27日）

演　題：自動車のマルチマテリアル化調査

講　師：日鉄住金総研㈱　産業技術部　研究主幹　髙橋　健治　氏

参加者：53名

説明会（７月３日）

演　題：最近の自動車産業の動向

講　師：(一社)日本自動車工業会　調査・電子情報システム室　室長　持田　弘喜　氏

参加者：50名

編集委員会

小委員会（６月26日）

11月号特集「ステンレス鋼及び耐熱鋼」（仮題）の編集内容の検討

委員会（７月５日）

11月号特集「ステンレス鋼及び耐熱鋼」（仮題）の編集方針、内容の確認

人材確保育成委員会

説明会（６月11日）

演　題：経営者セミナー「価格交渉に強い会社の作り方」

講　師：中小企業診断士　水口　和美　氏

参加者：62名

流通委員会

説明会（７月９日）

演　題：平成30年度第２・四半期の特殊鋼需要見通し

講　師：経済産業省　製造産業局　金属課　計画係長　中村　純也　氏

参加者：29名

［大阪支部］

定時総会（６月13日）

①平成29年度事業・収支報告

②平成30年度事業計画(案)・収支予算(案)・役員人事他承認

市場開拓調査委員会

説明会（７月９日、三団体共催）

演　題：最近の自動車産業の動向

講　師：(一社)日本自動車工業会　調査・電子情報システム室　室長　持田　弘喜　氏

参加者：90名

説明会（７月19日）

演　題：自動車のマルチマテリアル化調査

講　師：日鉄住金総研㈱　産業技術部　研究主幹　髙橋　健治　氏

参加者：54名

人材確保育成委員会

委員会（７月10日）

①新規立上げ委員会としての活動組織／内容の確認

②新規開催「工場見学会付新人研修」詳細検討他

説明会（７月２日、二団体共催）

演　題：経営者セミナー「価格交渉に強い会社の作り方」

講　師：中小企業診断士　水口　和美　氏

参加者：45名

［名古屋支部］

定時総会（６月８日）

①平成29年度事業並びに決算報告承認

②監査報告

③平成30年度事業計画並びに予算案承認

・講演会

演　題：ドラマH球場の外にある

講　師：中日ドラゴンズ　元チーフスカウト　法元　英明　氏

部会

構造用鋼部会（７月20日）

ステンレス鋼部会（７月24日）

工具鋼部会（７月27日）

市場開拓調査委員会説明会（７月３日）

演　題：自動車のマルチマテリアル化調査

講　師：日鉄住金総研㈱　産業技術部　研究主幹　髙橋　健治　氏

参加者：70名

三団体共催講演会（７月10日）

演　題：最近の自動車産業の動向

講　師：(一社)日本自動車工業会　調査・電子情報システム室　室長　持田　弘喜　氏

参加者：97名

定例講演会「最近の自動車産業の動向」の開催

去る７月３日（火）15時より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館802号室において定例講演会「最近の自動車産業の動向」を開催しました。

本説明会は当倶楽部・市場開拓調査委員会の2018年度事業として実施し、講師として一般社団法人 日本自動車工業会 調査・電子情報システム室 室長 持田 弘喜 氏をお招きしお話を伺いました。

説明の内容は、「Ⅰ．国内販売、生産、輸出、海外生産の状況」、「Ⅱ．主要国市場の動向」、「Ⅲ．自動車の電動化を巡る各国の動向と課題」、「Ⅳ．AI、IoT、ビッグデータの活用状況」、「Ⅴ．東京2020自動運転実証の検討状況」、及び「（参考）2018年３月期各社決算」でした。

持田氏の詳細かつ分かり易いご説明で約１時間30分程の説明会でしたが、参加された約50名の皆さんは、最後まで熱心に講師の話に耳を傾け、盛会の内に終えることが出来ました。

また、同講演会は、大阪７月９日・大阪鐵鋼会館、名古屋７月10日・ウインクあいちにて開催しました。なお、当日の資料は、会員専用ページの会員専用－イベントに掲載しています。

以下に会場の写真を掲載します。

【会場の様子（大阪・鐵鋼会館）】

【会場の様子（名古屋・ウインクあいち）】

「自動車のマルチマテリアル化調査」調査報告書の説明会開催

当倶楽部・市場開拓調査委員会の平成29年度調査事業として実施した調査の報告書説明会を下記の通り開催し、本調査を担当された髙橋講師の詳細かつ分かり易い説明で、盛会の内に終了いたしました。

当日、説明会に参加された方々にはアンケートを実施し、お聞かせいただいた貴重なご意見は今後の説明会に是非とも反映させたいと思います。多数のご参加を頂き、誠にありがとうございました。

日　時　平成30年６月27日（水）　15時00分～16時30分　参加者53名
場　所　東京都中央区日本橋茅場町「鉄鋼会館」701号室
講　師　日鉄住金総研（株）　産業技術部　研究主幹　髙橋　健治氏
内　容　１．調査の概要
　　２．自動車を取り巻く環境
　　３．過去の自動車解体調査のまとめ
　　４．ユニット別マルチマテリアル化動向
　　５．文献検索結果
　　６．ヒアリング結果
　　７．まとめ
他開催　名古屋会場：７月３日（火）「ウインクあいち」1102会議室　参加者70名
　　大　阪会場：７月19日（木）「鐵鋼會館」５・６会議室　参加者46名

以下に、会場写真を掲載いたします。

【会場の様子（東京・鉄鋼会館）】

お知らせ

第235・236回西山記念技術講座
特殊鋼棒線の技術開発と今後の展望

主催：一般社団法人日本鉄鋼協会　　協賛：一般社団法人特殊鋼倶楽部他

１．日時・場所

第235回 2018年10月17日（水） 9：00～16：50
名古屋：ウインクあいち10階1002会議室（名古屋市中村区名駅4-4-38）
第236回 2018年10月24日（水） 9：00～16：50
東京：エッサム神田ホール２号館３階大会議室（2-301）（東京都千代田区内神田3-24-5）

２．講座の視点

特殊鋼棒線は鉄鋼材料の中でも独特の機能を有する材料で、自動車をはじめとする輸送機器や産業機器、建設機械、工作機械等、幅広い産業分野の中核材料として使用されている。そのため、最終製品や部品の性能向上のための材料進化だけではなく、トータルコスト低減の為に製造工程における加工性の向上も求められ、日々進化を続けている。そこで、本講座では、特殊鋼棒線の最近の技術開発動向について、前半では各品種に共通する棒線圧延技術とユーザーでの最新適用技術動向について紹介いただく。また、後半では特殊鋼各品種の最近の開発動向と今後の展望について紹介いただく。特殊鋼棒線に関わる鉄鋼技術者・研究者はもちろんのこと、鉄鋼ユーザーにとっても有意義な会になることを期待する。

３．プログラム

１）	9：00～10：00	棒線圧延技術の進歩と今後の展望	早稲田大学名誉教授　浅川　基男
２）	10：00～11：00	Game Changeを起こす生産技術	日産自動車㈱　塩飽　紀之
３）	11：00～11：45	軸受鋼の最近の進歩	山陽特殊製鋼㈱　藤松　威史
４）	12：45～13：30	高炭素鋼線および高炭素鋼線用鋼材の進歩	新日鐵住金㈱　山﨑　真吾
５）	13：30～14：15	ボルト用鋼の最近の進捗	㈱神戸製鋼所　永濱　睦久
６）	14：15～15：00	非調質鋼の技術の変遷と最近の開発動向	愛知製鋼㈱　水野　浩行
７）	15：20～16：05	表面硬化処理用鋼の特徴と研究開発動向	大同特殊鋼㈱　井上　圭介
８）	16：05～16：50	自動車用ばね鋼の最近の開発動向	三菱製鋼㈱　山岡　拓也

〈司会者〉第235回　午前　植田　茂紀　大同特殊鋼㈱
午後　西村　公宏　JFEスチール㈱
第236回　午前　山﨑　真吾　新日鐵住金㈱
午後　西村　公宏　JFEスチール㈱

４．参加費（税込み、テキスト付）

会員（含協賛団体）8,000円、一般15,000円、学生会員1,000円、学生一般2,000円

５．問合せ先

(一社)日本鉄鋼協会 育成グループ
TEL：03-3669-5933 FAX：03-3669-5934　E-mail：educact@isij.or.jp
＊講座内容、交通案内等、詳細は日本鉄鋼協会ホームページをご参照下さい。
https://www.isij.or.jp/mu7viqm77

一般社団法人特殊鋼倶楽部　会員会社一覧

（社名は50音順）

［会　員　数］

（正　会　員）

製造業者	26社
販売業者	103社
合　計	129社

【製造業者会員】

愛知製鋼㈱
秋山精鋼㈱
㈱川口金属加工
高周波熱錬㈱
合同製鐵㈱
㈱神戸製鋼所
山陽特殊製鋼㈱
ＪＦＥスチール㈱
ＪＸ金属㈱
下村特殊精工㈱
新日鐵住金㈱
新日鐵住金ステンレス㈱
大同特殊鋼㈱
高砂鐵工㈱
東北特殊鋼㈱
日新製鋼㈱
日本金属㈱
日本高周波鋼業㈱
日本精線㈱
日本冶金工業㈱
日立金属㈱
㈱広島メタル＆マシナリー
㈱不二越
三菱製鋼㈱
ヤマシンスチール㈱
理研製鋼㈱

【販売業者会員】

愛鋼㈱
青山特殊鋼㈱
浅井産業㈱
東金属㈱
新井ハガネ㈱
粟井鋼商事㈱
伊藤忠丸紅鉄鋼㈱
伊藤忠丸紅特殊鋼㈱
井上特殊鋼㈱
㈱ＵＥＸ
碓井鋼材㈱
ウメトク㈱
扇鋼材㈱
岡谷鋼機㈱
カネヒラ鉄鋼㈱
兼松㈱
兼松トレーディング㈱
㈱カムス
㈱カワイスチール
川本鋼材㈱
北島鋼材㈱
クマガイ特殊鋼㈱
ケー・アンド・アイ特殊管販売㈱
小山鋼材㈱
佐久間特殊鋼㈱
櫻井鋼鐵㈱
佐藤商事㈱
サハシ特殊鋼㈱
㈱三悦
三協鋼鐵㈱
三京物産㈱
三興鋼材㈱
三和特殊鋼㈱
ＪＦＥ商事㈱
芝本産業㈱
清水金属㈱
清水鋼鐵㈱
神鋼商事㈱
住友商事㈱
住友商事グローバルメタルズ㈱
大同興業㈱
大同DMソリューション㈱
大洋商事㈱
大和興業㈱
大和特殊鋼㈱
㈱竹内ハガネ商行
孟鋼鉄㈱
田島スチール㈱
辰巳屋興業㈱
千曲鋼材㈱
㈱テクノタジマ
㈱鐵鋼社
デルタスティール㈱
㈱トーキン
東京貿易マテリアル㈱
㈱東信鋼鉄
特殊鋼機㈱
豊田通商㈱
中川特殊鋼㈱
中野ハガネ㈱
永田鋼材㈱
名古屋特殊鋼㈱
ナス物産㈱
南海鋼材㈱
日金スチール㈱
日鉄住金物産㈱
日鉄住金物産特殊鋼西日本㈱
日本金型材㈱
ノボル鋼鉄㈱
野村鋼機㈱
白鷺特殊鋼㈱
橋本鋼㈱
㈱長谷川ハガネ店
㈱ハヤカワカンパニー
林田特殊鋼材㈱
阪神特殊鋼㈱
阪和興業㈱
日立金属工具鋼㈱
日立金属商事㈱
㈱日立ハイテクノロジーズ
㈱平井
㈱フクオカ
藤田商事㈱
古池鋼業㈱
㈱プルータス
㈱堀田ハガネ
㈱マクシスコーポレーション
松井鋼材㈱
三沢興産㈱
三井物産㈱
三井物産スチール㈱
㈱メタルワン
㈱メタルワンチューブラー
㈱メタルワン特殊鋼
森寅鋼業㈱
㈱山一ハガネ
山進産業㈱
ヤマト特殊鋼㈱
山野鋼材㈱
陽鋼物産㈱
菱光特殊鋼㈱
リンタツ㈱
渡辺ハガネ㈱

“特集”編集後記

近年、自動車は環境負荷低減の要求が高まっており、部品の軽量化、動力の高効率化に加えて、ハイブリッド車や電気自動車等の新動力の開発が進められています。自動車用部品の軽量化のため、特殊鋼にも更なる高強度化が求められています。一方、最近は特殊鋼を他の素材に代替するマルチマテリアル化によって画期的な軽量化、高機能化を目指す動きもみられるようになってきました。そこで本特集は、自動車用材料技術に焦点を絞り、自動車メーカー様、部品メーカー様、鉄鋼以外を含む素材メーカー様の軽量化、マルチマテリアル化に関する取組みを紹介することとしました。

第一章では、日鉄住金総研㈱様にマルチマテリアル化の背景と動向を執筆していただきました。構造部材およびパワートレインの軽量化はいずれも鋼材の高強度化だけでなく、アルミニウム、樹脂を使いこなすための技術開発も進めてられおり、特に電動化の進展によって部品の更なる小型化、軽量化が加速していることが述べられました。

第二章では、自動車メーカー様に、軽量化、マルチマテリアル化について、各社様の考え方を執筆していただきました。その中で、軽量化のための鉄鋼材料の使いこなし技術、鉄鋼部品のアルミニウム合金への代替技術、更には、鉄鋼とアルミニウム合金を接合するための接合技術が課題であることが述べられました。また、各自動車メーカー様には、特殊鋼関係者の今後の課題として、各事象に関するメカニズムの解明、材料の使いこなすための革新技術の開発、特殊鋼への更なる可能性の追求が必要であることを、期待をもって述べていただきました。

第三章では、部品メーカー様目線による軽量化、マルチマテリアル化についての考え方を執筆していただきました。部品メーカー様は、自動車メーカー様の電動化動向を捕捉し、鉄鋼とアルミニウム合金の積極的な活用を検討されています。現在も使われている各材料について、高強度化および高機能化の開発を先行して進められている状況をうかがうことができました。

第四章では、鉄鋼材料以外の素材に関して、各素材メーカー様、あるいは学協会団体様に、自動車への各素材の適用状況について執筆していただきました。各素材メーカー様が、その適用部位拡大を目指して、鉄鋼材料と比較して軽量である長所を生かしつつ、製造プロセスの改善、新合金の開発を推進されていることが理解できました。

自動車用材料の軽量化、マルチマテリアル化は、各社が日々最新の技術開発を進めており、今後の自動車産業の成長、発展における重要なキー技術の一つです。各社様のご協力によって、興味深く豊かな内容の特集としてまとめることができました。執筆者の皆様、編集委員の皆様および事務局の皆様に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。誠にありがとうございました。本特集が特殊鋼を扱う各種ユーザー様において、今後の軽量化、マルチマテリアル化の理解を深めるための一助となれば幸いです。

〔㈱神戸製鋼所 線材条鋼商品技術部　増田（ますだ） 智一（ともかず）〕

次　号　予　告　11月号

特　集／高温で使用されるステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金

Ⅰ．総　論

Ⅱ．ステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金の高温用途

Ⅲ．会員メーカーの高温用途材料

１月号特集予定…実はすごいんだ、日本の特殊鋼

特　殊　鋼

第 67 巻　第 5 号
Ⓒ２０１８　年 9 月
平成30年８月25日　印　刷
平成30年９月１日　発　行

定　価　1,230円　送　料　100円
１年　国内7,300円（送料共）

発　行　所
一般社団法人　特 殊 鋼 倶 楽 部
Special Steel Association of Japan

〒103-0025　東京都中央区日本橋茅場町３丁目２番10号　鉄鋼会館
電　話　03(3669)2081・2082
ホームページURL　http://www.tokushuko.or.jp

編集発行人　小　澤　純　夫
印 刷 人　増　田　達　朗
印 刷 所　レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。