

# 高強度の最先端をいく 棒鋼・線材(5)

強度や加工性を高めるために、炭素以外にクロムやモリブデンなどの元素を加えて合金化し、特殊な熱処理用に結晶組織を制御している鋼材を「特殊鋼」という。今号では最先端技術が集積した自動車の進化を支える「特殊鋼棒鋼・線材」の高機能化の取り組みや、有害物質規制などの環境対策に適應する材料開発への挑戦を紹介する。

## 鋼材の高強度化が 自動車の進化を支える

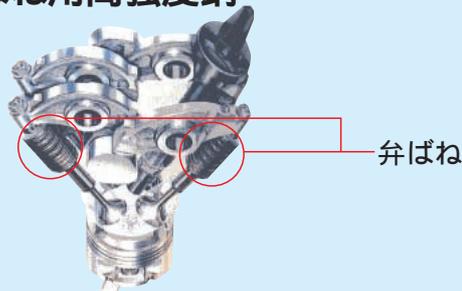
「特殊鋼棒鋼・線材」を使った自動車部品の中で、特に、素材となる鋼材に最高の品質が求められるものが「弁ばね」だ。弁ばねはエンジンの吸気と排気を調整する弁を動かす精密ばねで、耐久性が要求され、ハイグレードの高強度線材で作られる。市販車で1分間に数千回、レースカーでは2万回開閉する弁を動かしている(写真1、図1)。

従来の弁ばね用鋼では、強度を維持するためにばねの巻き数も多く太かったが、高強度化することで細くなり巻き数も減り、弁ばねが小形化、軽量化した(写真2)。その結果エンジンの小型化が可能になった。また、弁ばねの高強度化で、エンジンの内部にかかる弁ばねが動く際の摩擦による損失が減少した。このようにエンジン機能が高効率化され軽量化されることで、燃費向上と環境保全に寄与することができる。さらに、エンジンの小型化によってエンジン上部に歩行者と衝突した際の衝撃吸収スペースを確保することも可能となった。

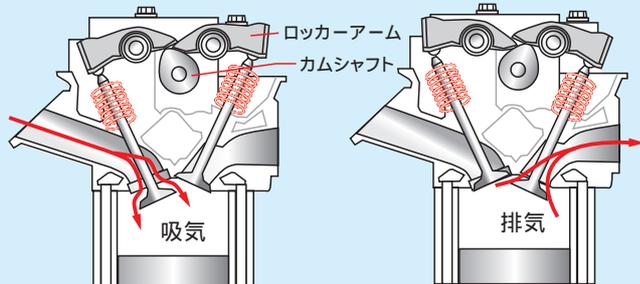
新日鉄では、新たな「弁ばね用高強度鋼」を開発した直後に、最も過酷な使用環境に置かれる国内外の各種レース用に開発商品を提供し、その性能を立証した。現在、この弁ばね用鋼はレースに不可欠な鋼材となっており、多くのレースカーで活躍している。さらに近年では、こうした技術開発や高い品質が評価され、新日鉄の弁ばね用線材は、自動車メーカーからの絶大な信頼を得ている。

### 弁ばね用高強度鋼

写真1



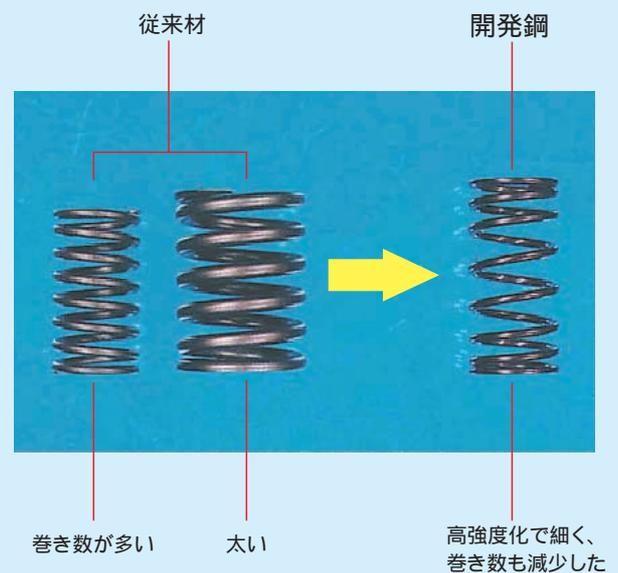
### エンジンにおける弁ばねの機能 図1



カムシャフトの上がった部分によってロッカーアームが押されて、吸気バルブが開く。

カムシャフトが回転して排気側のロッカーアームが押されて、排気バルブが開く。

### 弁ばね/従来材と開発鋼の比較 写真2



巻き数が多い

太い

高強度化で細く、巻き数も減少した

ミクロンオーダーでの介在物制御がポイント

ディーゼルエンジンの「コモンレール」(写真3)など環境対応の目的から装備される新たな部品への採用も進んでいる。従来、エンジンの回る速度に合わせて燃料噴射圧力を制御するディーゼルエンジンは、始動時に不完全燃焼しやすく、黒いすすが出ていた。

すすさえ出なければディーゼルエンジンは燃費も良い。すす防止のための「コモンレール」は、燃料を1,800気圧(1万8,000mの深海の水圧に匹敵)で貯めて、エンジン回転数に依存せずに最適な圧力で燃料を供給する機能を持つ。

「コモンレール」は燃料の噴射タイミングと噴射圧力を自由に設定することが可能で、回転の少ない始動時でも完全燃焼し、すすが出ることがない。これは超高压に耐え得る高強度鋼材を提供することで実現した製品で、現在では、多くのディーゼルエンジン車に搭載されるようになった。

## 「日本刀」と同じつくり込みの「歯車」

車の速度やエンジンの回転数などに応じ、変速比を切り替えるミッション(オートマチック、マニュアル)や、近年増加傾向にある無段変速機CVT(Continuously Variable Transmission)はまさに特殊鋼の塊だ(写真4)。構成部品である多くの歯車や、プーリー(滑車: シーブとシャフトで構成)には、代表的な特殊鋼である浸炭用鋼が使われている。

「浸炭」(本企画2006年3月号参照)とは、約950 に加

熱し、表面から炭素を拡散させ焼入れし、表面層0.5~1mmの組織を非常に硬いマルテンサイトに変えて硬度を高める熱処理だ。その強度は表面で引張強度約2,500MPaと極めて高く、一方内部は表面強度の半分以下と柔らかい。すなわち、表面は硬く歯車が噛み合っても磨耗しにくく、かつ内部は衝撃が加わっても壊れない粘りを持つ。これは、芯となる柔らかい鉄と表面の硬い鉄を張り合わせた日本刀の原理と同じだ。

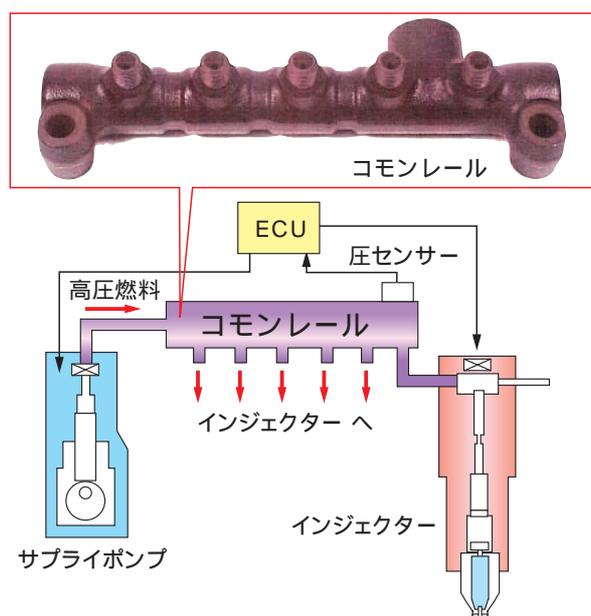
歯車は噛み合いをスムーズに行い、適切な動力伝達を行うために、形状精度が極めて重要だ。しかし、一般に強度を付与するために不可欠な浸炭によって、鋼の組織が変化して鋼材の体積が変わり(歪み)それが大きいとギアが噛み合うときに振動などの不具合が出る。そのため、寸法精度の厳しい歯車は、熱処理後に所定の形状に研磨(歯研)しなければならない場合がある。鋼の化学成分などにバラツキがある部分の歪みが大きくなるが、新日鉄ではその歪みを抑えて歯研を不要にする品質のつくり込みを実現している。

また、CVTは金属ベルトとプーリーの摩擦によって変速比を連続的に変化させる動力伝達部品である。直径を変化させることが可能な2つのプーリーの組み合わせによって駆動力の伝達比を変える仕組みのため、歯車を使ったミッションと異なり、無段変速になるのが特徴だ。

しかし、ベルトとプーリーの摩擦で動力伝達を行うため、円錐型のシーブは極めて高い耐磨耗性が求められ、歯車に比べ表面硬化層をより深くする1,000 を超える温度での浸炭処理が行われる。新日鉄は1,000 以上でも品質低下のない、高温浸炭用鋼を開発し、CVT向けに生産している。

## コモンレール用高強度鋼

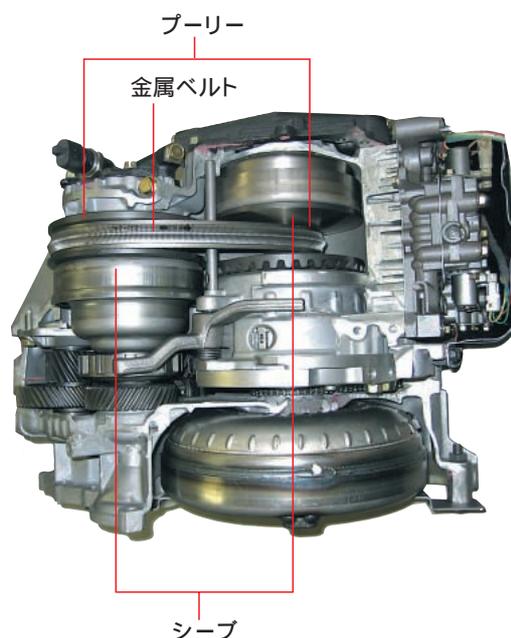
写真3



高压化した燃料を蓄え、各インジェクターへ均一に供給する。電子制御で燃料の噴射圧力、噴射時期、噴射期間(噴射量)をきめ細かくコントロールすることで、理想的な燃焼を実現。

## ベルトタイプのCVT

写真4



段階のない連続的な変速を実現。変速ショックがなく、スムーズな走り、燃費向上にも寄与。

## 環境対応への挑戦 「非鉛快削鋼」の開発

現在、世界的に鉛や6価クロムなどの有害化学物質の使用規制が強化されつつある。自動車部品に使われる特殊鋼では、車体を支え乗り心地を良くする「シャーシ」(写真5)や油圧用の部品(写真6)に使われる機械構造用の棒鋼製品に、微量ではあるが一部「鉛」が含まれているものもある。

「シャーシ」は、機械構造用部品であるため、高強度でありながら削りやすさなどの加工性が求められ、軟らかく溶けやすい鉛はその特性を高める物質として活用されてきた。油圧用部品はシャーシほどの強度は必要ないが、複雑な形状に削れ、かつ表面がきれいで滑らかでなければならない。表面精度が低いと油漏れなどを起こすため、やはり鉛の加工性の良さが重宝されてきた。

人体に有害な鉛には規制がかけられつつある自動車では、バッテリーや電気部品など鉛の含有量が多いものに規制がかかっている。しかし、自動車用構造部品については含有量が微量なため、鉛に対する規制が最も厳しい欧州でも規制対象外だ。その背景には、欧米では鉛なしで、鉛含有の快削鋼に匹敵する鋼材を開発・製造することが難しいという現実もある。

では、なぜ鉛があると削りやすくなるのだろうか。また、本当に鉛を代替できる金属や物質はないのだろうか。単純に鉛を抜くと加工(切削)に倍の時間がかかるため、

生産性を著しく低下させてしまう。鉛は他の金属に比べて融点が低い(約600℃)。そのため切削しているミクロンオーダーでの先端部は、摩擦による発熱で鋼中に鉛が溶けている状態になる(写真7)。固体の中に溶けた物質が微量でも混ざっていると、潤滑効果が生まれ加工しやすくなる。鋼材の中に潤滑油がビルトインされているようなものだ。

また、こうした軟らかい物質がないと、切削後に鉋屑のように切り屑の塊ができやすい。長い切り屑ができる、削っている母材や工具を疵付ける可能性があるうえ、母材に付着した場合は作業者が除去作業を行わなければならない(写真8)。そのため、切り屑は細かく分散され自然に除去されることが好ましい。その点、鋼材表面に鉛の液体が均一に分散されていると鋼が脆くなり、切削時に切り屑が細かくなって母材に残らず表面を疵付けることもない。

新日鉄では、世界をリードする形で「鉛を使わず鋼材の加工性を高める」ことに挑戦し、「非鉛快削鋼」を開発・実用化した。ポイントは鋼中で均一に分散し、融点が低く比較的脆い物質の探究にあったが、研究の結果、微細なマンガンの硫化物(MnS)をベースに、新たな材料開発への挑戦が始まった(写真9)。

しかしマンガンの硫化物だけでは、削り方によって効果が不十分なケースがあり、鉛を代替する万能選手にはなれない。そこで、鋼を脆くする特性を持つ特定の微量元素をさらに添加するなど、緻密な「材料設計」を行って、目的とする性能を達成することに成功した(図2)。

### シャーシを構成するナックル 写真5



ナックル：シャーシを構成する一部品でボディとタイヤをつなぐ

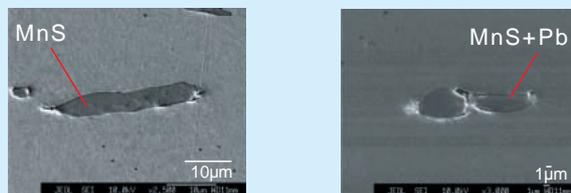
### 自動車用油圧部品例 写真6



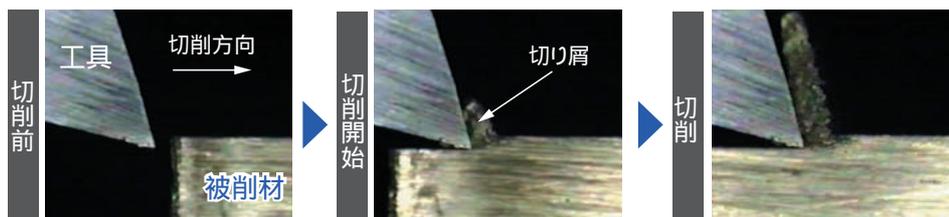
### ミクロンオーダーで鋼に溶けている鉛 写真7



### 鋼中に分散するマンガンの硫化物 写真9



### 切り屑の生成 写真8



さらに、安定的な品質を大量生産する際の技術のポイントは、微量元素の均一微細分散である。それを達成するのは極めて難しいが、新日鉄ではこれまでのさまざまな材料および製造技術の開発の中で、そうした技術やノウハウを十分蓄積しており、これらの集大成により微量元素の微細分散技術を確立し、「非鉛快削鋼」を実用化した。

## 機能性で大きな付加価値を生み出す「鉄」

最近の新たな動きとして、環境対策と燃費向上のためにさらなる普及を目指す「ハイブリッド車」での特殊鋼棒鋼・線材の採用が増えている。

回転力を電気に変える発電機や、電気を動力にする（交流から直流に変換する）インバータ、力を分配する新たなギアなど、電気関連の装置・部品が増え、エンジンシステムのスペースが大きくなるため、従来は専用の車体を使用していた（図3）。しかし、最近ではコストダウンを志向して、ガソリンエンジン車として使われていた一般車体に搭載する事例が増えている。従来と同じスペースにさまざまな装置・部品を載せるためには個々の部品のコンパクト化が不可欠だ。そこでも特殊鋼棒鋼・線材の活躍の場が広がっている。

過酷な加工を受け、しかも最終的な部品として高い形状精度だけでなく、熱処理などで強度を付与する機能

材料としての役割は、経済性も含めて考えれば鉄以外の材料で代替することができない。

逆に言うと、特に日本では、加工性を併せ持つ高強度の特殊鋼棒鋼・線材が製造できるため、コスト高なアルミ合金などを使わなくても強度と軽量化を両立することができる。それを実現するキーは、鋼中の異質な不純物である介在物を極限まで除去する製鋼技術などの「材質のつくり込み」だ。欧米ではこうした鉄鋼製品が少なく、軽量化のためにアルミ合金の使用量が増えてコストも上がる（図4）。

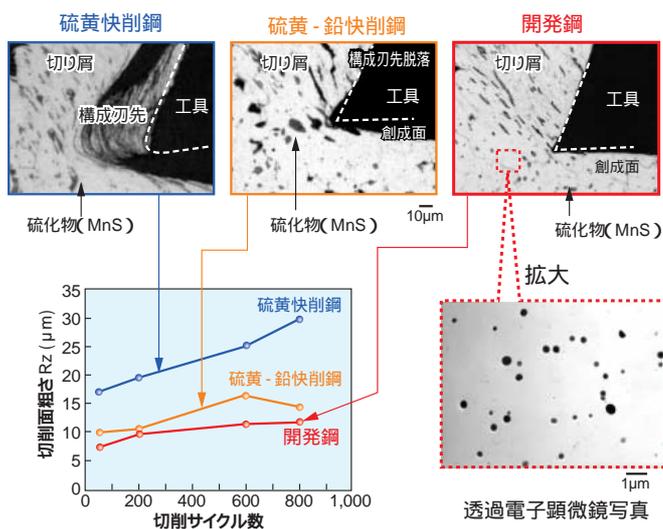
今回は、高い品質を実現する「材料設計」のノウハウと「組織・材質制御技術」のポイントを紹介するとともに、今後の「特殊鋼棒鋼・線材」の技術的方向性を展望する。



監修 棒線事業部室蘭製鉄所  
製品技術部部长  
蟹澤 秀雄（かにさわ・ひでお）

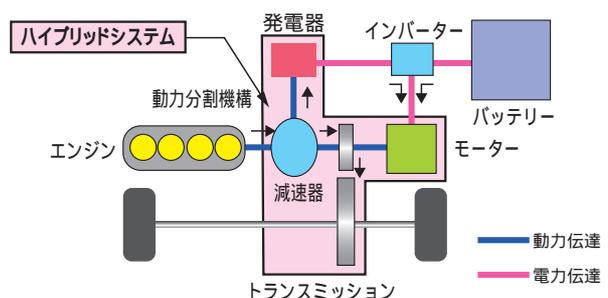
プロフィール  
1955年生まれ。東京都出身。  
1978年 入社。  
一貫して特殊鋼棒鋼・線材の研究開発に従事。  
2002年 室蘭技術研究部部长。2006年より現職。

## MnS微細化での被削性向上の例 図2

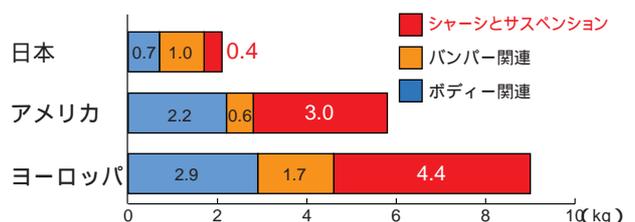


硫黄添加量を増加させると同時に、MnSを微細分散させて被削性を向上させる。数μmから数十μmの大きさのMnSだけでなく、0.1μmオーダーのMnSを分散させることで、耐久性に劣る高速度鋼工具でもSUM24L相当の工具寿命と表面粗さが得られ、良好な仕上げ面精度を非鉛快削鋼で実現した。

## ハイブリッドシステム例 図3



## 日米欧における自動車1台当たりのアルミニウムの使用量比較 図4



優れた特殊鋼棒鋼・線材を採用することができる日本車は、欧米に比較してコスト高となるアルミ合金の使用量を抑制できる。