

高強度の最先端をいく 棒鋼・線材(4)

新日鉄が製造する棒鋼・線材製品の約4割は、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「特殊鋼」だ。前号まで紹介してきた「高強度鋼線」に引き続き、普通鋼とは化学成分や結晶組織が異なる「特殊鋼棒鋼・線材」のモノづくりの世界を3回にわたって取り上げる。今号では、「特殊鋼棒鋼・線材」の用途や特徴、技術的ポイントを紹介する。

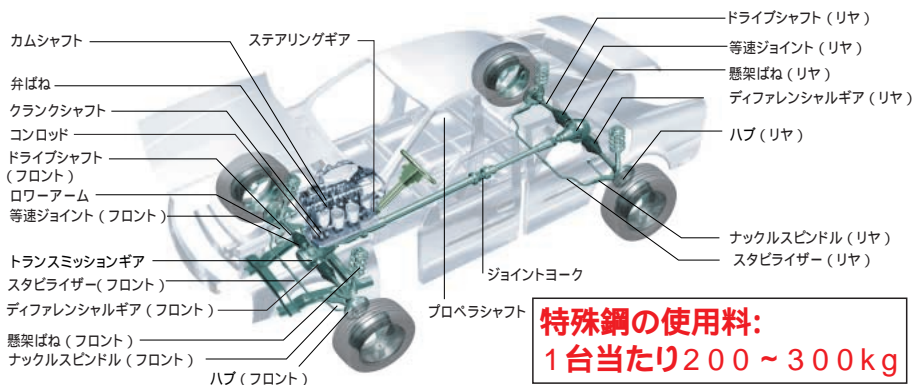
「見えない機能」で 自動車の基本性能を支える

「特殊鋼棒鋼・線材」の主な用途は自動車用部品だ。その多くは二次加工メーカーを通して自動車メーカーや自動車用部品メーカーに提供され、最終的に自動車関連分野、およびブルドーザーなどの産業機械分野の最終製品を支えている。

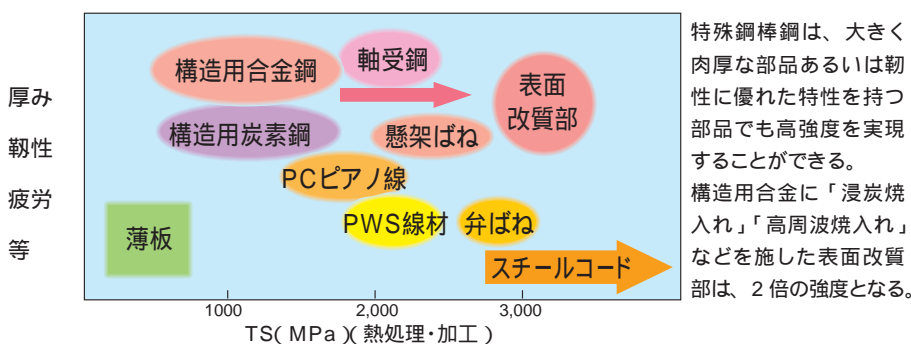
棒鋼は切断した棒状の鋼材製品として、線材は糸巻き状に巻いた「バー・イン・コイル (bar in coil)」の形でユーザーに提供される。「バー・イン・コイル」は二次加工メーカーで解きほぐされた後、自動車のさまざまな部品用に所定の長さに切断されるため、材料の無駄が出にくく歩留が良い。また、糸巻き状でコンパクトなことから運搬も効率的だ。

「特殊鋼棒鋼・線材」の最大の特徴は、「見えないところで自動車をしっかり支える」機能にある。自動車が本来持っている「動く、曲がる、止まる」といった基本性能は、「特殊鋼棒鋼・線材」から作られる多様な重要保安部品で成り立っている(図1)。その量は自動車1台当たり200~300kgだ。何か不具合があれば重大な事故につながるため、品質、特に「強度」に対する性能要求は厳しい。自動車のボディに使われる薄板製品は車両のスタイルや乗員の居住空間といった「見える機能」を支える

自動車の部位と特殊鋼棒鋼・線材部品の機能 図1

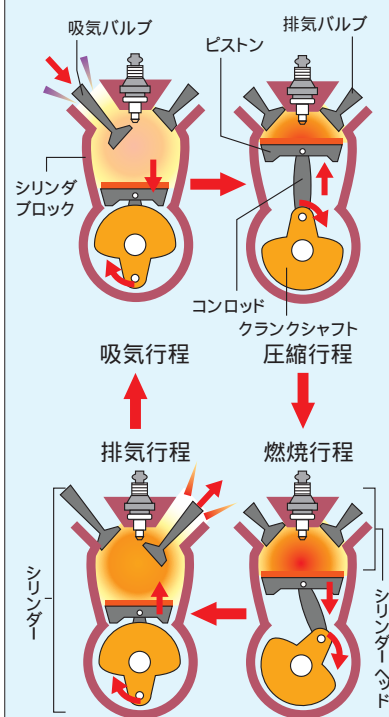


特殊鋼棒鋼・線材の強度レベル 図2



特殊鋼棒鋼は、大きく肉厚な部品あるいは靱性に優れた特性を持つ部品でも高強度を実現することができる。構造用合金に「浸炭焼入れ」「高周波焼入れ」などを施した表面改質部は、2倍の強度となる。

エンジン動力のメカニズム 図3



のに対し、特殊鋼棒鋼・線材製品は「見えない機能」に対する高い信頼性が求められる（図2）。

複雑な形状を作り上げる優れた「加工性」

最終製品としての自動車用部品に求められる「高い強度」に加えて、優れた「加工性」が問われることも「特殊鋼棒鋼・線材」の大きな特徴だ。

自動車のエンジンは、「シリンダー」の中に送られたガソリンが爆発・燃焼し、その反発力で移動する「コンロッド」の上下運動を、「クランクシャフト」が回転運動に替えることで自動車を走らせているが（図3）その仕組みを「特殊鋼棒鋼・線材」から作られたさまざまな形状の部品が支えている（写真1）。

例えば、「クランクシャフト」（写真2）は、鉄鋼メーカーで製造した直径約80mmの「特殊鋼棒鋼」から作られている。二次加工メーカーでは、まず加工しやすくするために約1,200℃に加熱して、鋼焼きを焼くように金型でプレスする（熱間鍛造）。すると、金型から少しはみ出した余分な材料（バリ）が付いた状態で、クランクシャフトの原型となる形状ができる。バリは無駄になってしまう部分だが、鋼材を最終的に正確な部品形状にするためには欠かせない。最近ではその量を減らす冷間と温間域の「精密鍛造技

術」も開発・実用化されている。

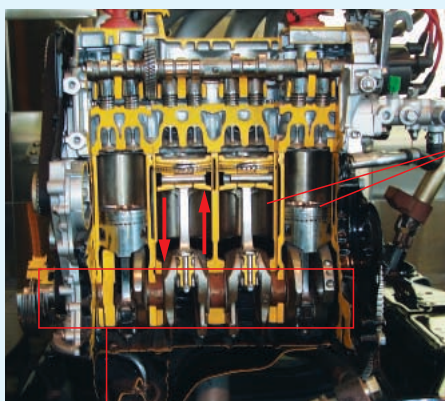
その後、バリを取り除いて、回転体としての精密な動きを可能にする「機械加工」を施す（図4）。クランクシャフトは、両端面が回転するとともに「ベアリング」の軸受けとなるため、機械加工では特に、抵抗なくスムーズに回転させる「表面精度」が重要になる。しかも、回転体でありながら複雑な形状に仕上げることが必要であり、さまざまな工具を駆使した精密加工が行われる。その過程で、部品が回転する際の摩擦をやわらげる潤滑油を入れる穴も開けられる（図5）。

削ったり、穴を開けたりするためには鋼材が「軟らかく」なければならぬが、最終的に完成した自動車部品には硬くて強い材質が求められる。こうした相反する性質を部品製造の各工程で発揮させることが、「特殊鋼棒鋼・線材」の特徴であり、材料開発の難しさだ。さまざまな自動車部品に加工された後は、自動車ボディなどに使われる「高強度鋼板（ハイテン）」の2倍以上の強度を確保する必要がある。

自動車部品の製造コストの中で素材が占める平均的割合は平均で2割程度で、熱間鍛造だけで最終部品となるものが約3割、トランスミッションや弁ばねなど加工度が高いものは1割未満だ。それだけに加工コスト、特に切削コストのウエイトが高い。二次加工メーカーでの加工工程を省力・効率化する材料開発は自動車業界にとって大きなテーマであり、鉄鋼メーカーの新たな材料技術が果たす役割は大きい。

エンジンの断面

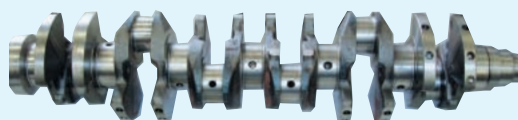
写真1



シリンダー

クランクシャフト

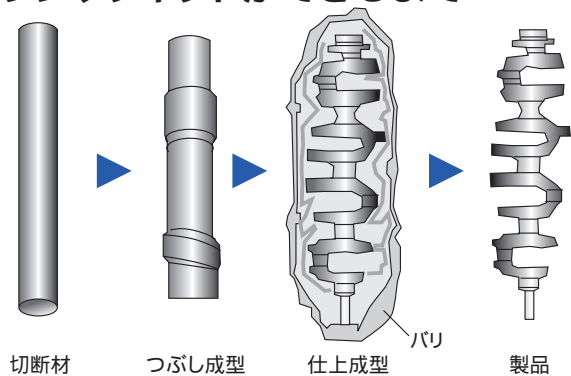
写真2



燃料が燃焼して得られたピストンの上下運動を回転運動に変える。形状が複雑なのは、各シリンダーの点火順序がずれているため。

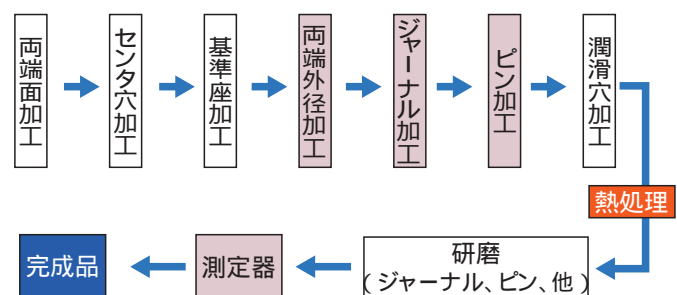
クランクシャフトができるまで

図4



クランクシャフトの機械加工の詳細

図5



強度と加工性を両立させる 多様な「熱処理」

「特殊鋼棒鋼・線材」に求められる相反する特性を実現するキーは、機械加工の前に行われる「熱処理工程」にある。部品製造の過程で、加工前の鋼材を軟らかくし、加工後には硬くするためのさまざまな熱処理が施される。適用部品によっては、さらに表面を硬くしながら内部の靱性（粘り強さ）を高める特別な熱処理を行い、硬いが粘りがあって壊れにくい「強靱」な特性を持たせている（図6）。

当然ながら、部品の種類によって素材となる鋼材に求められる特性もさまざまだが、同じ部品でも、二次加工メーカーごとに異なる製造方法・工程に適應する個別の特性バランスが要求される。例えば、部品表面の強度を高めるための熱処理（焼入れ）では、最表面だけに約1,000 の高周波誘導加熱を施し、その後水冷やし焼入れを行う「高周波表面焼入れ」や、約600 の環境下でアンモニアガスを熱分解し、鋼中に鉄より5～6倍硬い窒化物を微細に分散させて鉄組織の隙間を埋めて強度を高める「軟窒化」などの方法があり、それぞれに適した鋼材提供が求められる（図7）。

また、「クランクシャフト」などの大きな部品は、1,200 に加熱して熱間鍛造されるが、「等速ジョイント（CVJ）」（写真4）の構成部品である「アウターレース」などの小さな部品では、さらに製造方法が異なる。「等

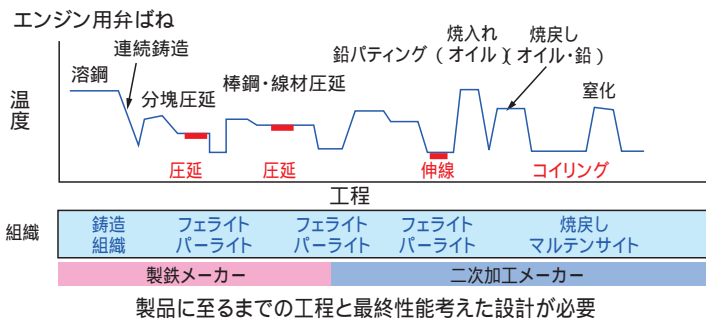
速ジョイント」は、前輪駆動車や四輪駆動車などのタイヤに回転運動を与えつつ、タイヤを左右に曲げる関節のような機能を持つ（図8）。その重要部品でラッパの形状をした「アウターレース」は、棒鋼を1,000 以下の温間で鍛造した後、常温（室温）で金型に入れて大きな力で変形させていく（冷間鍛造）。

「熱間鍛造」では加熱によって鋼材表面に鉄の酸化物（スケール）ができるため、鍛造後にそれを除去する必要がある。また熱による膨張・収縮があり、鍛造だけで極めて高精度な形状に仕上げることが難しく、鍛造後にミクロンオーダーの機械加工が必要になる。一方、「冷間鍛造」は力だけで少しずつ変形させていくため所定の寸法を得やすく、熱源や機械加工が不要なことから省エネルギーにもつながる。現在ではそうしたメリットを前提に、「冷間鍛造」による部品製造が増えている。

外国車はなぜ「重い」のか？ 自動車の小型・軽量化をリードする 日本の特殊鋼技術

現在増加しつつある「冷間鍛造製品」には、材料開発の技術的ハードルがある。常温の硬い状態で大きな力をかけて変形させると鋼材への負荷が大きくなり、無理やり加工すると割れてしまう。割れの原因となる鋼材内部の小さな欠陥や表面疵がない鋼材を作らなければならない。世界中でこのような過酷な加工に耐え得る鋼材を製

製品に至るまでの熱履歴および組織変形例（弁ばね）図6



焼入れ方法の違い

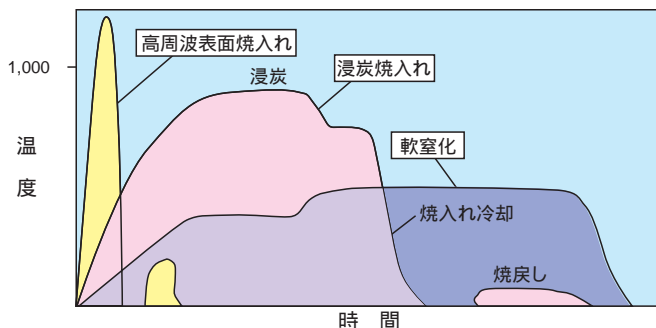


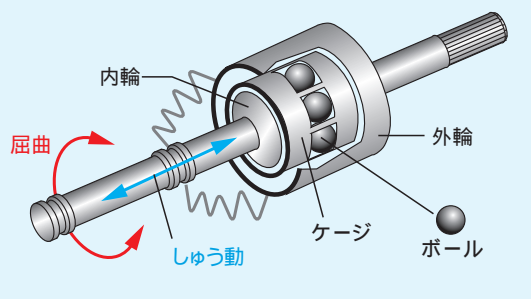
図7

等速ジョイント

写真4



等速ジョイントのメカニズム 図8



造できるのは、新日鉄をはじめとする一部の日本の鉄鋼メーカーだけだ。そのため、現在自動車メーカーの生産体制がグローバル化する中で、海外で現地調達できる棒鋼・線材製品は熱間鍛造用の鋼材が中心となっている。

また、棒状で提供される熱間鍛造用鋼材は1本ずつ表面検査が行われ、表面に疵がある場合は全体を削って表面を整える必要がある。しかし、比較的小さい部品用の鋼材は、糸巻き状のバー・イン・コイル（直径5.5～60mm）で提供されるため、死角によって表面全体を検査することができない。

そこで新日鉄では、溶鋼段階（製鋼）での化学成分のコントロールや、圧延時の圧下力、冷却速度を制御する「材質の造り込み」によって、検査を不要にする表面の清浄度を実現するとともに、過酷な冷間鍛造に耐える高品質なバー・イン・コイルを提供している。特に1つの金型で10～20万個の部品を製造する際の安定した鋼材品質は、海外の鉄鋼メーカーでは真似することができない。

現在、自動車1台に約25kg使用される「ボルト」は冷間鍛造で作られているが、新日鉄では、余肉を最小化したスリムなボルト形状に加工できる冷間加工能の優れた各種「ハイテンボルト」を開発・提供し、高い評価を得ている（写真5）。ボルトを高強度・小形化することで、車体重量を軽量化して燃費を向上させることができる。また、ミッションやシャーシ部品の高強度化・小形化が可能な各種高強度鋼材も提供している。

日本のように高強度鋼材を手に入れない海外の自動車メーカーは、同じ強度特性を確保するためには大きな部

品を使わなければならない、その結果、車体が重く大きくなる。海外の自動車メーカーが軽量化を志向するときには、特殊鋼部品の重量をカバーするためにミッションケースを高価な軽い他材料に置き換えるなど、周辺部品の軽量化にコストをかけている。

「重量」と「性能（トルク）」「価格」のバランスが最適な日本の自動車は、高強度化によって車体をコンパクトにできる「特殊鋼棒鋼・線材」の先進技術が支えている（図9）。

近年、車体の軽量化が進み、自動車全体で見ると鉄鋼製品の使用量は減少しているが、重要部品を支える「特殊鋼棒鋼・線材」の使用比率は増加しており、さらに今後、安全性の向上などを目指す上で不可欠な鋼材製品になっていくだろう（図10）。

今回は、自動車技術の進化や環境対策へのニーズに応える「先進の特殊鋼棒鋼・線材技術」を紹介する。



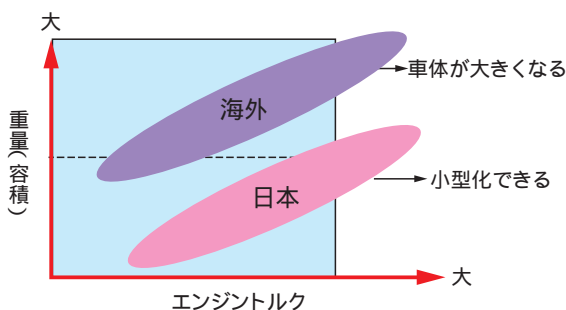
監修 棒線事業部室蘭製鉄所
製品技術部部長
蟹澤 秀雄（かにさわ・ひでお）

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 室蘭技術研究部部長。2006年より現職。

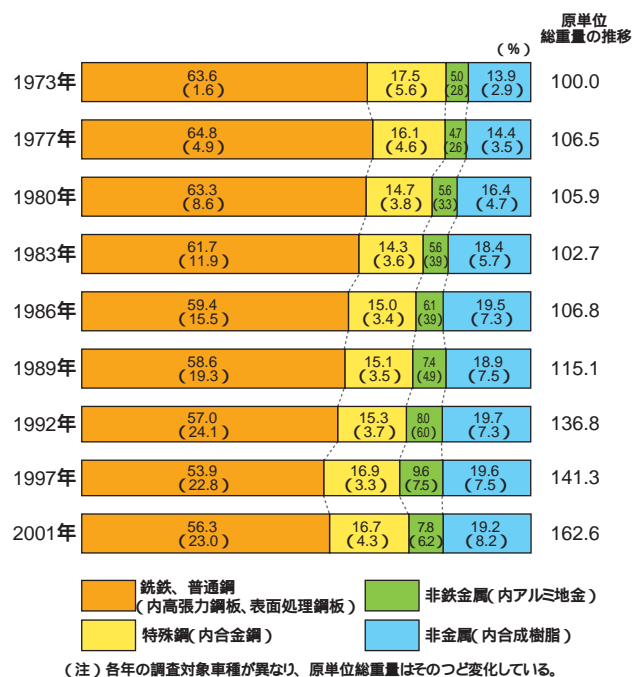
自動車に使われるボルト類 写真5



エンジントルクと車体重量の相関 図9



自動車構成材料比の推移 図10



(注) 各年の調査対象車種が異なり、原単位総重量はそのつど変化している。

出典：日本自動車工業会