

(解説)

線材・棒鋼の課題と今後の取組

Tasks and Future Activities Related to Steel Wire Rod and Bar Products



平賀範明*1

Noriaki HIRAGA

High strength is one of the most important properties for wire rod and bar products. New steel has been developed to reduce CO₂ emission and thus contribute to the protection of the global environment. Recently, in response to the expansion of the automobile market in developing countries, cost reduction has also been required. This report describes the current tasks and future activities related to steel wire rod and bar products. Kobe Steel strives to respond to the many and advanced requirements of its customers.

まえがき＝特殊鋼材の大部分を占める線材・棒鋼は、自動車産業をはじめ産業機械や電気機器部品、土木建築など幅広い分野で使用されている。地球環境問題が世界的な最重要課題となり始めた1980年代後半から線材・棒鋼に要求される最も重要な特性は、部品の小型・軽量化を目的とした高強度化や部品の加工工程の省略、熱間加工から冷間加工への加工方法の変更などCO₂排出量削減を目的としたものである。これに加えて、環境負荷物質の排除や希少金属の使用量低減など、環境や資源保護に対する要求が強くなっている。また、自動車市場が大きく変化している現在、さらなる製造コストの低減が従来以上に重要な課題となっている。

本稿では、線材・棒鋼への変化・高度化する需要家からの要求に対応するための商品開発に関する現状の課題と今後の取組について述べる。

1. 線材・棒鋼に対する要求と市場の変化

特殊鋼線材・棒鋼の最大の需要家は自動車産業であるが、中国、インド、ブラジルをはじめとする新興国での自動車需要の大幅な増加により、自動車市場は世界規模で大きく変化している。北米、欧州、日本など先進国の自動車販売台数は、とくに2008年のいわゆるリーマンショック以降は各国政府の販売促進政策により一時的な販売量の回復はあるものの、基本的には減少傾向が続いている。一方、新興国における自動車販売台数は大幅に増加するとともに現地生産も進展し、2009年には中国が米国を抜いて世界最大の自動車生産・販売国となった。

こうした自動車市場の変化は、線材・棒鋼に対する市場からの要求にも変化をもたらした。すなわち、従来は高機能・高品質が最も強く求められていたが、現在はその要求の強さが相対的に低下し、新興国との競争や低価

格車に対応するための低コスト化要求が強くなり、さらには製造コストの安価な現地鋼材の採用が進んでいる。

しかしながら、自動車産業の最重要課題は地球環境問題への対応であることに変化はなく、CO₂排出量削減や環境負荷物質排除は線材・棒鋼に要求される特性として今後とも重要である。このため、高機能・高品質と低コストの二極化が進むことになると考えられる。

また、CO₂排出量削減に向けた取組のなかで、自動車の動力源も大きく変化し始めている。当面はガソリン車が主流であることに変化はないが、近年ハイブリッド車（以下、HVという）や電気自動車（以下、EVという）が増加しているなか、とくに電池の技術革新が進展して寿命やコストの改善が図られた場合、その普及は大幅に進むものと予想されている。

HVやEVは、従来のガソリン車に比べて線材・棒鋼を使用する原単位が減少する。とくにEVでは、1台あたりに使用される特殊鋼線材・棒鋼の重量が3割以上も減少すると考えられている（表1）。

わが国の特殊鋼線材・棒鋼は、その最大の需要家である自動車産業の市場の変化に伴い、国内需要の減少、海外への需要の流出、鋼材使用量の減少という外部環境の変化のなか、高強度化による軽量化、工程省略といった高機能な鋼材の開発を継続しつつ、品質を含めたトータルコストで海外材に打ち勝っていくことが大きな課題となっている。

さらには、自動車産業に過度に依存することを回避し、原子力発電や太陽光発電、風力発電といったエネルギー分野、あるいは海洋開発などの新たな市場開拓や新商品の創出が今後の新たな課題になっていくものと考えられる。

*1 鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部

表1 動力源変更による特殊鋼原単位の変化¹⁾
Table 1 Consumption of special steel

| | Grade | Parts | Consumption of special steel (kg/car) | | |
|--|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | | Gasoline engine ^{*1} | hybrid engine ^{*2} | Electric vehicles ^{*3} |
| Existing | Valve spring steel | Valve spring, Transmission spring | 1.4 | 0.7 | 0 |
| | Suspension spring steel | Suspension spring | 9.6 | 9.6 | 9.6 |
| | Cold heading quality | Cold heading parts (Bolt etc.) | 85.3 | 82.8 | 73.5 |
| | Bar | Crankshaft | 49.4 | 39.5 | 0 |
| | | Connecting rod | 6.6 | 5.3 | 0 |
| | | Gear, CVT etc. | 79.3 | 58.2 | 32.1 |
| | Bearing steel | Bearing | 5.2 | 5.2 | 5.2 |
| | High carbon steel | Tire cord | 10.5 | 10.5 | 10.5 |
| Others | Piston ring etc. | 0.6 | 0.5 | 0.1 | |
| New | Bar | Transfer gear etc. | 0 | 14.6 | 0 |
| | | Gear for electric vehicles | 0 | 0 | 16.8 |
| | | Motor | 0 | 0.4 | 0.4 |
| Total weight (kg) | | | 247.9 | 227.3 | 148.2 |
| Weight change rate compared with gasoline engine | Wire rod | | 100% | 97% | 88% |
| | Bar | | 100% | 87% | 37% |
| | Total | | 100% | 92% | 60% |

^{*1} Researched by Special Steel Association of JAPAN in 2001

^{*2} THS system

^{*3} In-wheel motor system

2. 線材・棒鋼の現状と課題

本章では、当社における線材・棒鋼の主力商品であり、高機能性と高品質が要求されるばね用線材、冷間圧造用線材、高炭素鋼線材、および自動車用棒鋼について品種別に現状と課題を述べる。

2.1 ばね用線材

自動車用エンジンに使用される弁ばねは、従来から高強度化による軽量化によって動弁系のフリクションロスを低減し、燃費向上が図られてきた(図1)。とくにその動きは日本において顕著であり、欧米系自動車メーカーへと拡大されてきた。まず、鋼材の高強度化に向けて、合金元素量の適正化と欠陥感受性の増加に対応するため、非金属介在物の低減・無害化が進められてきた。また加工技術においては、窒化やショットピーニングなどの表面改質技術の開発が進められてきた。今後もこの動きは進むものと考えられる。しかしながら一方で、CO₂排出量削減の手段として最近ではHV化やEV化などの新動力源の活用が進展している。HV用エンジンは、従来よりも低排気量かつ低回転数のタイプが多くなることが予想され、従来の高強度化から耐へたり性を重視するなど要求される特性が変化することが考えられる。一方、弁ばねとほぼ同様のコイルばねが使用されているクラッチ・ダンパ用のばねは、変速機が多段化に伴い、使用個数が増える傾向がある。このため、高強度化による軽量化が引続き要求されるものと考えられる(図2)。

足回り部品である懸架ばねにおいても、燃費向上や車内居住性向上のために高強度化によるばねの軽量化・小型化が進められるとともに、耐腐食疲労特性に優れた鋼材が開発されてきた。当社においても最大せん断応力が1,200MPa級以上の鋼材としてUHS1900、1970の開発・量産を進めてきた。さらに、添加合金元素を低減しつつ同等の強度と耐腐食疲労性を備え、かつ圧延でのフェライト脱炭の抑制を容易にして製造コストの低減を可能とし

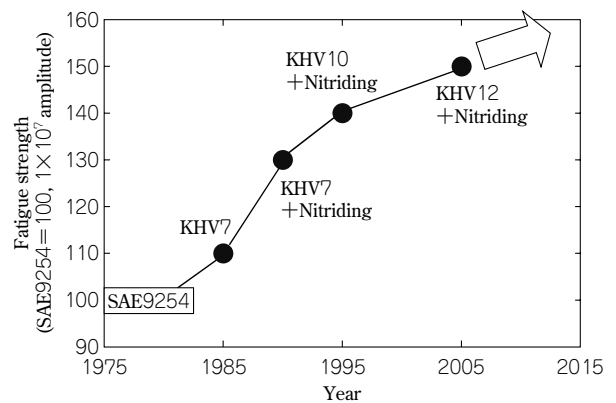


図1 弁ばね鋼高強度化のトレンド

Fig. 1 Trend of valve spring steel development

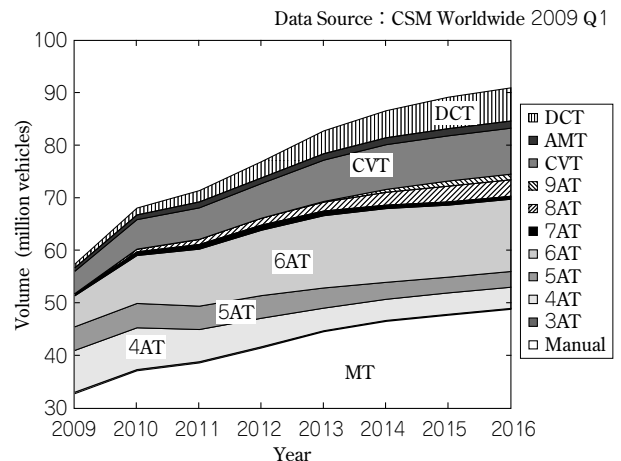


図2 変速機システムの変化予想

Fig. 2 Expectation of transmission system

た鋼材(ACROS1950)を開発し、2010年より量産を開始した。しかしながら、懸架ばね用鋼材は、高強度・高耐腐食疲労性が要求される一方で、新興国向けの低価格車用として海外での現地調達も可能で安価な規格鋼(たとえば、SAE9254)への回帰が進展し始めている。

2.2 冷間圧造用線材

冷間圧造用線材の代表的用途であるボルトは、引張強

表 2 ボルトの製造工程例と使用素材例²⁾
Table 2 Examples of bolt manufacturing process and steel used

| JIS Property Class | Min. Tensile Strength (MPa) | Examples of production processes | Examples of steel used |
|--------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 4.8 | 420 | R → Dr → CH | SWRCH8A |
| 6.8 | 600 | R → Dr → CH | SWRCH22A |
| 8.8 | 800 (d ≤ 16) 830 (d > 16) | R → As → Dr → CH → H | SWRCH40K/48K |
| | | R → Dr → CH → H | SWRCHB323,526 |
| | | R → Dr → CH | Non-heat-treated wire rods |
| 10.9 | 1,040 | R → A → Dr → As → Dr → CH → H | SCr440,SCM435 |
| | | R → Dr → CH → H | SWRCHB323,526 |
| | | R → (A) → Dr → CH → H | New boron steel |
| 12.9 | 1,220 | R → A → Dr → As → Dr → CH → H | SCM435 |
| | | R → As → Dr → As → Dr → CH → H | SCM440 |

R : Rolling, A : Annealing, As : Spheroidizing annealing
H : Quenching and tempering, Dr : Drawing, CH : Cold-heading

さが 400MPa から 1,200MPa を超える広範囲な強度クラスに分類されている。表 2 にボルト製造工程例と使用素材例を強度区分別に示す。

強度区分 4.8~6.8 のボルトでは、低炭素鋼 (0.25mass %C 以下) ベースの冷間圧造用炭素鋼 (JIS SWRCH 線材) が主に用いられている。また、需要家によるボルト製造工程の指定などの特別な場合を除き、製造工程が簡略化されている。このクラスのボルトはとくに高い品質は求められないため、低コスト化の目的から新興国での現地生産品を中心とする海外の鋼材を採用する動きが活発化している。

強度区分 8.8 のボルトでは、従来中炭素鋼系 (0.40mass %C 程度) の SWRCH 線材が使用されていたが、現在では軟化処理が省略できる低炭素鋼ベースのボロン鋼 (JIS SWRCHB 線材) が主に使用されている。さらに、軟化処理および焼入れ・焼戻し処理を省略した非調質ボルト用線材の使用も増加してきている。

強度区分 10.9 のボルトでは、主にクロム鋼やクロムモリブデン鋼などの低合金強靱鋼が使用されてきた。しかし近年、素材の低コスト化とボルト製造工程の簡略化を目的に、ボロン鋼を採用する動きが活発化している。

強度区分 12.9 のボルトではクロムモリブデン鋼が主に使用されており、焼入れ・焼戻し処理が行われる。さらに遅れ破壊発生の危険を回避するため浸りん規制が盛り込まれている (JIS B 1051)。この浸りん対策として、ボルト圧造時の加工性を高めるため使用されたりん酸亜鉛皮膜に代えて、りんを含まない (非りん系) 潤滑皮膜剤が使用されている。非りん系の潤滑剤の代表例として石灰皮膜が挙げられるが、近年、石灰皮膜よりも潤滑性能や耐食性に優れた皮膜剤の開発が進められ、既に実用化されている。

強度区分 12.9 を超えるボルトでは、通常の低合金鋼では遅れ破壊を起こす可能性が極めて高く、JIS 規格には規定されていない。それでも耐遅れ破壊性を改善した高強度ボルト用鋼材が特殊鋼メーカ各社より提案され、実用化されているが³⁾、コンロッドボルトやシリンダーヘッドボルトなど使用される箇所は限定的である⁴⁾。

今後、低コスト化の要望はよりいっそう高まり、安価な海外材の使用、ならびに低廉化および製造工程省略・

簡略化が可能なボロン鋼や非調質線材の採用が増加していくと考えられる。一方、自動車メーカの海外進出とともにボルトの現地調達化が進むなかで、世界各国の規格を採用する動きもあり、国際規格を考慮した対応も必要である。また、高強度ボルトは遅れ破壊発生の危険性があり、適用されている箇所は限定的である。遅れ破壊発生機構の解明は重要である。さらに、遅れ破壊発生の有無を明確に判断することができる基準 (評価法) を設け、需要家が安心して使えるようにすることも大きな課題である。

2.3 高炭素鋼線材

高炭素鋼線材の代表的な用途としては、自動車用タイヤの補強材として使用されるスチールコードが挙げられる。自動車の燃費向上のためにタイヤにも軽量化が求められ、使用するスチールコード量の削減に向けた高強度化が進められてきた。最近では、引張強さが 4,000MPa に近い素線も実用化されつつあり、量産されている鉄鋼材料のなかでは最高強度を有している。また、高強度化だけでなく、環境問題への対応として需要家での工程省略・省エネルギーを可能とする線材の要望が高まっている。当社でもそうした線材の開発に取り組んできており、本誌においても後の記事でご紹介している。

一方、スチールコードはこれまで、タイヤやコンベヤベルト、ホースなどのゴム補強材として主に使用されてきており、ここ数年は精密切断加工用のソーワイヤとしての需要が急増している。とくに、地球温暖化の問題から、従来の化石燃料からクリーンエネルギーへの転換が進められているなか、小規模での設置が可能な太陽光発電が全世界で飛躍的に進展している。太陽光発電に用いられる太陽電池にはシリコンウェーハが広く使われており、そのシリコンインゴットを切断するためのソーワイヤの使用量が世界規模で大幅に増加している。また、切断ワークの歩留りを向上するためには細径化が必要であり、スチールコードと同様に高強度のワイヤが求められている。しかしながら、ソーワイヤの線径は、φ0.08~0.20mm と極めて細く、高強度化に伴う断線を防止するためには、非金属介在物のさらなる低減が必須となる。

スチールコードやソーワイヤなどの極細線以外での高炭素鋼線材の用途としては、ワイヤロープやコンクリー

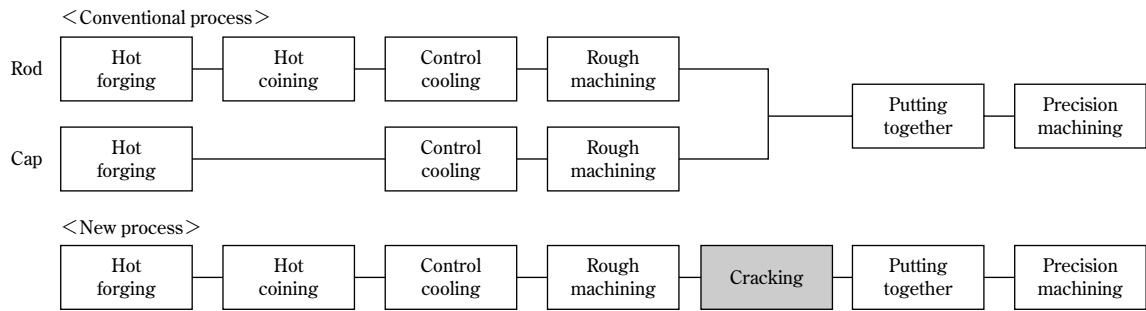


図3 コンロッドの製造工程
Fig. 3 Manufacturing process of connecting-rod

ト補強用のPC鋼より線がある。これらの商品においても同様に、クレーンや構造物の軽量化の観点からの高強度化が進んでいる。とくにPC鋼より線については、従来よりも高強度のコンクリートが使用されるようになったことに伴って高強度のPC鋼線が必要となり、従来のJIS規格品を上回る商品が既に使用され始めている。

2.4 自動車用棒鋼

自動車のエンジンやシャシ部品の多くは、熱間鍛造成形後に調質処理や切削加工を施して製造されている。調質処理の省略が可能な非調質鋼の開発がこれまでに多数行われ、既に多くの部品に採用されている⁵⁾。

最近では、原価低減やCO₂排出量削減を目指した新工法の採用も盛んである。たとえばコンロッドの製造においては、ロッド部とキャップ部を一体成形した後に破断分離させるかち割り工法(図3)が広く採用されている。このように、大型および複雑形状部品を対象とした冷間鍛造化に取組む動きも始められている。これに伴い、かち割り性や変形能に優れた鋼材の開発も進められている⁶⁾。また、エンジンの高出力化や軽量化に伴う高疲労強度鋼や高耐力鋼のニーズが強い一方で、希少金属を極力排除する動きもある。高価で希少な合金に頼らずに優れた特性を有する鋼材の開発が必要である。

自動車の変速機や差動装置に用いられる歯車は、肌焼鋼に浸炭熱処理やショットピーニング加工を施して製造されている。これらのユニットが燃費に与える影響は大きく、小型・軽量化の強い要求がある。ユニットを小型化するためには歯幅や軸間距離を低減する必要があり、これまでに多数の高強度鋼が開発・採用されている。また、表面硬化熱処理方法(浸炭窒化、真空浸炭、高濃度浸炭、軟窒化)やショットピーニング技術の進歩によって、歯元曲げ疲労強度が大幅に向上しており、今後はピッチングと称される歯面疲労強度の向上が課題となる。

一方、HVやEVの進展に伴い、歯車の使用環境の変化による損傷モードの変化が予測されており、これに対応する鋼材の先行開発が必要となろう。さらに、高強度化とともに切削加工が難しくなっていることに加え、快削元素として用いている鉛は欧州環境規制などで使用できなくなる可能性が高い。このため、加工技術や鉛フリー快削鋼の開発がますます重要になると考えられる。

3. 今後の取組

冒頭で述べたように、最大の需要家である自動車産業

における市場変化に伴って国内生産が減少するなか、わが国の特殊鋼線材・棒鋼に対しては高機能・高品質と低コストという相反する要求が寄せられている。そうしたなか、新興国で現地調達される鋼材とコスト競争した場合には、為替やコスト構造の問題で当社に勝ち目はなく、海外へ流出する需要を追い求めて新興国で鋼材を生産するしか対処法は考えられない。しかしながら、海外生産の進展が著しい鋼板と異なり、線材・棒鋼の場合は現地での需要の絶対量が少ないために現地生産の採算性は極めて低い。また、技術流出に伴うブーメラン効果により、さらに国内需要の流出を招く可能性がある。こうしたことから、海外での特殊鋼生産の可否は判断が難しいところである。

今後も線材・棒鋼の商品開発を進める上での最大の課題は、やはり高機能・高品質の追求である。コストに対しては鋼材そのものの製造コストを低減するのではなく、添加合金の低廉化、部品加工の工程省略や鋼材と工法を組合せた部品製造におけるトータルコストの低減を追求することが重要である。鋼材メーカー自身の工法の研究がさらに必要となろう。

高機能な鋼材において最も重要な機能は、将来ともに高強度化による軽量化であろう。近年の自動車部品において、より低比重な軽合金や樹脂材料の比率が増加しているとはいえ、鋼材がその大半を占めていることにほとんど変化はない。また、現在はコスト最優先で製造されている新興国の自動車であっても、安全装備の義務化や衝突安全性基準の強化、快適性の向上などのためにいずれ自動車重量は増加するとともに、CO₂排出規制もさらに厳格化されることは容易に想像される。

さらに、ガソリン車などの内燃機関は、軽量化がそのまま燃費向上とCO₂排出量低減に結びついたが、今後増加するであろうHV・EVにおける軽量化は、直接CO₂を低減する効果は軽微である。しかしながら、高強度材は最もコストのかかるモータや電池の小型化を可能とし、コスト削減効果が大きく、EV車の普及に大きく貢献することが期待される。

そうした高強度化を進めた場合に、靱性や延性など鋼材特有の特性だけではなく、高強度化の進展の妨げとなる欠陥感受性の増大が大きな問題となることから、表面および内部の微細欠陥を撲滅することが重要となる。

表面欠陥に対して当社は、ブルーム連铸機における最適ロールプロフィール設計や2次冷却の均一緩冷却化、

鋼片検査工程における疵（きず）検出精度と自動疵取機能の向上，圧延工程におけるパススケジュールの適正化による圧縮ひずみの均一化などの作り込み技術の向上によって大幅な品質向上を図ってきた。ppm オーダでの欠陥を排除するためには今後，さらなる疵低減技術の向上に加えて，二次加工技術と組合せた無欠陥鋼線の開発などが必要となる。

また，内部欠陥に対しては，当社は弁ばねやスチールコード用線材において硬質介在物が生成しないような組成域に介在物組成を制御する介在物形態制御で大きな成果を挙げた。今後は ppm オーダでの欠陥を撲滅していくために，耐火物などを起因とした外来系の介在物を低減するとともに再現性の高い介在物の評価技術・検査技術の開発が重要となる。

むすび＝線材・棒鋼に対する要求は，自動車産業をはじめとした産業界のグローバル化によって多様化している。近年，新興国とのコスト競争が新たな課題となってきたが，わが国の特殊鋼業界が最も得意とする高機能・高品質の追求により，需要家とともにこの困難な課題を克服し，さらなる産業界の発展に尽くしていきたい。

参 考 文 献

- 1) 社団法人特殊鋼倶楽部調査委員会：平成 8 年度特殊鋼の部門別消費実態調査結果報告書（1997）。
- 2) 並村裕一：特殊鋼，Vol.48, No.2（1992），p.19.
- 3) 松山晋作：鉄と鋼，Vol.80, No.9（1994），p.679.
- 4) 萩原良敏ほか：HONDA R&D Tech. Rep., Vol.4（1992），p.98.
- 5) (株)アイアールシー：自動車部品 200 品目の生産流通調査 2010 年度版，（2010），p.50.
- 6) 阿南吾郎ほか：R&D神戸製鋼技報，Vol.56, No.3(2006)，pp.44-47.