

棒線商品の開発動向

Trend in Products Development of Bar and Wire Rod

越 智 達 朗^{*(1)} 西 田 世 紀^{*(2)} 杉 山 昌 章^{*(3)} 高 橋 淳^{*(4)}
Tatsuro OCHI *Seiki NISHIDA* *Masaaki SUGIYAMA* *Jyun TAKAHASHI*
 樽 井 敏 三^{*(5)}
Toshimi TARUI

抄 録

新日本製鐵の棒線商品の開発動向について概説した。地球環境問題を契機にして、棒鋼・線材分野においても、鋼材の高機能化、高強度化、工程省略等が強く求められている。このような鋼材に対する多様なニーズに対応して、各種新商品の開発に取り組んでいる。特殊鋼棒線、高炭素鋼線の開発動向、および当該分野の開発を支えるナノオーダーの解析技術の最近の成果について紹介した。

Abstract

Outline of trend in development of steel bar and wire rod products is guided. There is a certain tendency towards better function or higher strength of steel products, fewer manufacturing process from customers' needs with increasing importance of global environment preservation. To satisfy these requirements, Nippon Steel has been keeping on supplying new products of high performance. Authors introduce several examples of developed bars and wire rods of special steel, high carbon steel wires and the latest nano-level materials characterization techniques which supports microstructure control of these products.

1. 緒 言

地球環境問題を契機にして、環境負荷物質の低減、自動車の軽量化、燃費の向上、熱処理の簡・省略化等が大きな課題になっており、これに対応するために、棒鋼・線材分野においても、鋼材の高機能化、高強度化、工程省略等が強く求められている。新日本製鐵では、鋼材に対するこれらの多様なニーズに対応して、各種新商品の開発に取り組んでいる。本報では、特殊鋼棒線、高炭素鋼線の開発動向、および当該分野の開発を支えるナノオーダーの解析技術の最近の成果について述べる。

2. 特殊鋼棒鋼・線材の開発動向

特殊鋼棒鋼・線材の主な用途は自動車用のエンジン部品、駆動系部品、足回り部品であり、“走る、曲がる、止まる”という自動車の基本性能を支えている。これらの自動車部品は、通常、棒鋼、線材から鍛造や切削加工により所定の形状に加工された後、熱処理により必要な強度を付与する工程で製造される。そのため、特殊鋼棒鋼・線材の要求特性としては、最終的な機械部品としての“部品性能”の確保と同時に、上記の種々の加工工程に耐え得る“加工性能”が求められる。このような自動車部品向けに部品性能と加工性能を経済的合理性に基づいて両立する特殊鋼技術は、海外に比較して我

が国が遙かに先行している。自動車駆動系部品用途として必要不可欠な浸炭用鋼に関して、過去20年間の世界の開発動向を文献調査した結果、鋼材開発の比率は、日本70%に対して欧米14%と圧倒的に日本が高い。特に高強度化についての研究開発は、ほとんど日本の独断場である。

従って、品質、経済性の視点で世界の最先端を行く今日の日本の自動車産業の発展は、我が国の特殊鋼の技術的優位性の下支えが大きな役割を果たしてきたといっても過言ではない。日本の自動車産業の海外立地が加速する状況のなかで、特殊鋼についても現地材適用の指向が出てきているが、品質、経済性の視点で現状よりも後退した鋼材を適用することは、日本の自動車産業の退歩を招きかねない。そのため、引き続きグローバルな舞台で日本の自動車産業の技術的優位性を担保するためには、必然的に品質、経済性に優れた日本の特殊鋼材の継続的なグローバル供給が不可欠と考えられ、日本の鉄鋼メーカーによる新鋼材開発の重要性は、益々増加していると言える。

現在、自動車用特殊鋼棒鋼・線材に要求されている課題は、高強度化、工程省略、環境負荷物質の低減(非鉛化等)の三点である。高強度化は、地球環境保全の観点からの自動車軽量化による燃費向上、自動車エンジンの高出力化、ユニット共通化による部品点数の削減やコスト低減等の多様なニーズによる。また、自動車部品の製

* (1) 室蘭技術研究部 部長 主幹研究員 工博
 北海道室蘭市仲町12 〒050-8550 TEL:(0143)47-2650

* (2) 君津技術研究部 主幹研究員

* (3) 先端技術研究所 解析科学研究部 主幹研究員 工博

* (4) 先端技術研究所 解析科学研究部 主任研究員 工博

* (5) 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員

造においては、上記の通り、通常、鍛造の前後に引き抜き、切削等の二次加工工程を、また焼鈍、焼入れ焼戻し等の種々の熱処理工程を必要としている。そのため、コスト削減、省エネルギー、環境負荷低減の視点から熱処理省略、切削省略(ニアネットシェイプ化、チップレス化)の指向が強い。

これらの特殊鋼棒鋼・線材の機能向上を支えるキーマトラジーとして、非金属介在物制御、析出物制御および変態・組織制御が挙げられる。非金属介在物制御は、ばね鋼の高強度化、軸受鋼の高寿命化、快削鋼の非鉛化等に関する主要シーズ技術である。それぞれの所要特性の発現を図るために、酸化物、硫化物の組成・形態制御が引き続き検討されている。

析出物制御は、結晶粒制御と析出強化の二つの視点から適用されている(図1)。熱間鍛造非調質鋼、浸炭歯車用鋼、ばね、ボルト等のほとんどの自動車部品において、強靱化、高疲労強度化、低歪化、遅れ破壊特性改善等を目的としてオーステナイト粒の細粒化が指向されている。図2は浸炭粗大粒防止鋼の開発の一例であるが、結晶粒制御の基本は、最終の熱処理工程でピン止め粒子としての析出物を微細分散することであり、製造工程一貫での析出物制御が重要である¹⁾。なお、熱間鍛造非調質鋼では、粒内フェライト変態核としての組織の微細化にも析出物制御を活用している(図3)²⁾。

次に、析出強化は、熱間鍛造非調質鋼のように、熱間鍛造後の冷却過程での γ/α 相界面析出による析出強化と、ボルト鋼、ばね鋼の焼き戻し過程での析出強化の二つのケースがある。ともに高強度

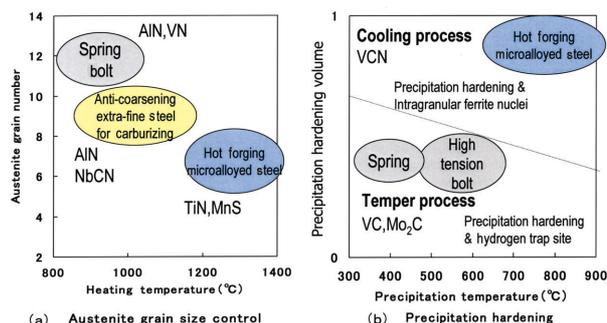


図1 特殊鋼棒線における析出物の活用

Application of various precipitates to special steel bar and wire rod products

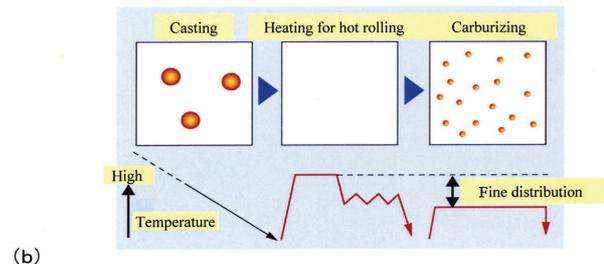
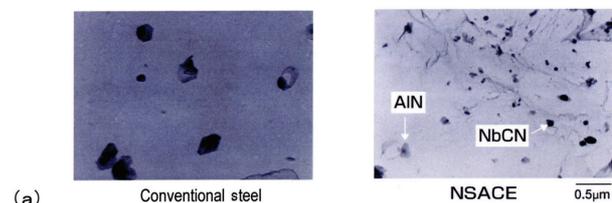


図2 ピン止め効果を最適化した浸炭粗大粒防止鋼(NSACE鋼) Anti-coarsening extra-fine steel for carburizing which optimized the pinning effect for the suppression of grain-coarsening

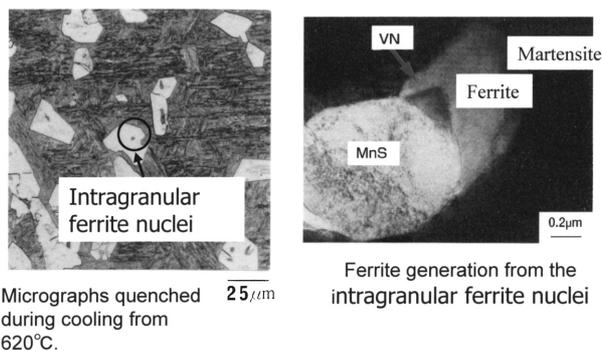


図3 粒内フェライト変態による組織制御
Microstructure of intra-granular ferrite transformed at compounded particles

化、高耐久比化、焼き戻し軟化抑制、遅れ破壊特性改善のための水素トラップサイト³⁾等を狙いとして、これまでも種々の取り組みがなされてきたが、今後も新たな技術展開が期待される。

変態・組織制御は、熱間鍛造非調質鋼の高靱性化、冷間鍛造用鋼の軟質化、焼鈍省略等のキーマトラジーである⁴⁾。制御鍛造による結晶粒微細化、材質制御等の部品製造工程に立ち入ったプロセスイン型の開発が今後注目される。また、チップレス化のニーズは引き続き強く、ニアネットシェイプ鋼の開発は主要課題の一つである。

次に、地球環境負荷低減等の視点から、現在最もニーズの強い自動車部品高強度化のキーマトラジーは、粒界強化である。特殊鋼棒線が適用される自動車部品の大半は焼き戻しマルテンサイト組織が用いられており、当該分野で着目されている粒界強度は旧オーステナイト粒界の粒界強度である。ばねの衝撃破面、ボルトの遅れ破壊破面、また歯車、シャフト等で適用される浸炭材、高周波焼き入れ材の疲労破面、静的破壊破面は、通常、粒界割れを呈している。従って、これらの部品では、粒界強化を図って粒界割れを防止すること、或いは粒界割れのままの場合でも、粒界強化そのものが部品の高強度化に直結する。

図4は、高強度ボルトにおいて、粒界強化等により粒界割れを防止し、遅れ破壊特性を改善した例である⁵⁾。B添加は粒界強化の基本的手法として、表面硬化部品等で着目されているが、これは図5のオーグエレクトロン分光分析(Auger Electron Spectroscopy: AES)解析に示したように、旧オーステナイト粒界において、BとPのサイトコンペティションにより、実質的にPの粒界偏析量が低減した効果による⁶⁾。また、図6は、細粒化によりPの粒界偏析量が低減した結果を示す。細粒化がやはり粒界強化すなわち高強度化の基本であり、各部品ともに結晶粒の更なる微細化が今後の高強度化研究の中核の一つと言える。その他、粒界セメントタイトの形態制御、焼き戻し温度との関連等、粒界強化に関する幅広い取り組み、展開が期待

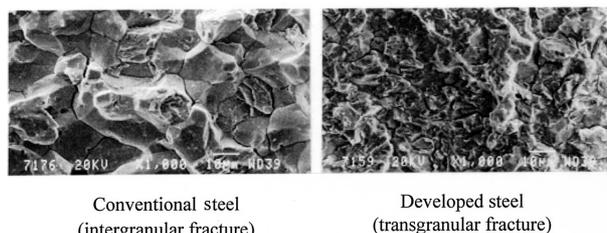


図4 高強度ボルトの遅れ破壊破面
Delayed fracture surface of high tensile strength bolt

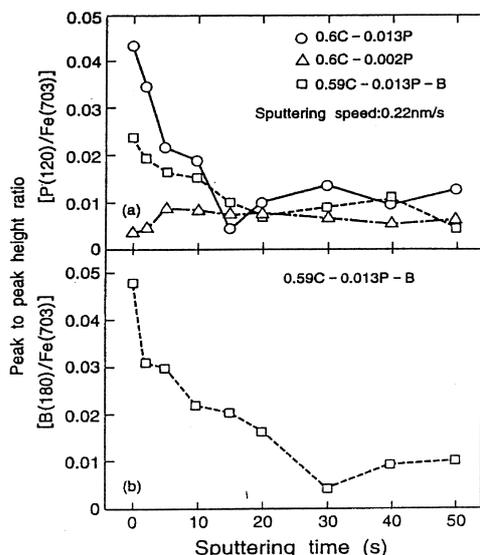


図5 中炭素マルテンサイトの旧オーステナイト粒界におけるP,Bの粒界偏析挙動(AES)

Grain boundary segregation behavior of P and B at the pre-austenite grain boundary of middle-carbon martensitic steel

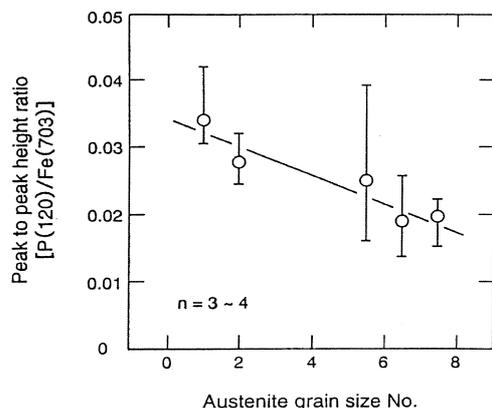


図6 粒界Pの偏析量と γ 粒度の関係(AES)

Relationship between γ -grain size number and the amount of segregation of P in the grain boundary

される。

また、近年の自動車のエンジン・駆動系ユニットの構造変化に伴い、自動車部品に求められる特性も変化してきている。例えば、ディーゼルエンジンの普及に伴うコンモンレール部品の高機能化、オートマチック車の多段化にともなう遊星歯車機構での低歪化、耐ピッチング特性の重要性の増加、Continuously Variable Transmission (CVT)の普及によるプーリーに求められる高温浸炭性等の諸課題である。これらの部品は通常表面硬化鋼が用いられる。表面硬化法としては、浸炭、窒化、高周波焼入れの3種類の代表的な方法があり、それぞれ硬さ分布、強度特性、歪、生産性において、一長一短がある。高強度化については、各種表面硬化法の最適適用と複合熱処理化、更には複合ショットピーニング等の表面改質処理の活用が今後期待される。また、低歪化については、鋼材-歯型設計-加工-熱処理一貫での歪発生要因の明確化、特に熱処理時の冷媒、冷却条件の影響解明、歪シミュレーション技術の精度向上等が期待される。

3. 高炭素鋼線材の開発動向

高炭素鋼線材は鉄鋼メーカーで製造された後、伸線加工メーカーで伸線加工、パテンティング処理などの二次加工が施されて高強度鋼線となる。最終の鋼線の直径によって、その製造方法の違いから高炭素鋼線材は大きく二つのグループに分けられる。PC鋼線、橋梁用重鉛めっき鋼線、ロープ等に用いられる3~7mm径の鋼線を製造する10~14mm径の太径線材と伸線加工の途中にパテンティング処理が必要となるスチールコード、ソーワイヤ等の主に0.15~0.35mm径の極細線の製造に用いられる5.5mm径の細径線材である。

3.1 太径線材

太径線材は、環境問題に対する取り組みが世界規模で高まる中、伸線加工メーカーにおいても鉛パテンティング処理(LP)の廃止が進み、線材の熱間圧延の直後にLP相当のパテンティングを行う直接パテンティング線材の採用が進んでいる。直接パテンティング材の使用は、鉛使用に対する環境対策の負荷を無くするだけでなく、伸線加工メーカーでの工程省略に伴う製造費用の低減も見込まれる。新日本製鐵におけるDLP線材は溶融塩を用いた直接パテンティング処理^{7,8)}で、LP相当の強度が鋼成分の調整無しに得られる事から、君津製鐵所では1985年の設備導入以降、約20年間で線材製品の大部分がDLP線材に置き換え可能となっている。直接パテンティング材の使用が進むと共に、二次加工工程まで含めた一貫での品質管理は従来以上に重要度が高まり、研究開発においても鋼材設計からワイヤ製品に至る一貫の技術開発が必要となっている。

本誌に紹介する7mm径1800MPa級橋梁用鋼線、2300MPa級PC鋼線の開発においても、厳しい品質特性を確保するため、東京製網(株)、鈴木金属工業(株)、住友電工スチールワイヤ(株)と共同研究でそれぞれ取り組んだ結果、得られた成果である。高強度化のニーズは一層高まっているが、その取り組みは、直接パテンティング線材を前提にした鋼材設計とそれに適した直接パテンティング設備の研究開発にある。

また、高強度化の際に忘れてならないのが、遅れ破壊の問題である。伸線加工したパーライト鋼は一般に遅れ破壊に強いと考えられているが、強度が極めて高い領域⁹⁾に入ってきているため、遅れ破壊の観点から基礎研究を押し進める必要がある。

3.2 細径線材

次にスチールコード用などの細径線材は、中国での自動車生産の拡大に伴いその使用量が増加する見込みでグローバルな競争に拍車がかかっているが、線材に求められる基本特性は今後も高生産性化と高強度化の二つが重要である。高生産性化する上で最も必要な事が、伸線加工ならびに撚り線加工における低断線化、理想的には無断線化である。その他、高生引き線化や高速伸線などのより厳しい伸線条件に耐えられる事である。これらの要望に対して新日本製鐵は、線材の非金属介在物、偏析、脱炭、機械的性質、線材組織などの厳しい品質管理を行い、ユーザーの厳しい要望に応えられる努力を続けている。鋼材開発だけでなく、二次加工の分野でも新日本製鐵の線材特性をユーザーが引き出すための技術開発^{10,11)}を行っている。

高強度化においては、新日本製鐵は図7に示す様な過共析鋼線¹²⁾の開発や図8に示すデラミネーション抑制技術^{11,13)}などを開発してきた。新日本製鐵が過共析鋼線材を発表してから12年が経過するが、スチールコード全体の使用量に占める90Cクラスの線材の使用

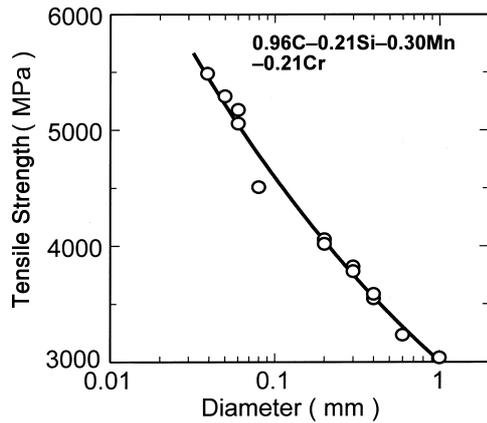


図7 過共析鋼線の線径と強度の関係

Relationship between diameter and tensile strength of hypereutectoid steel wires

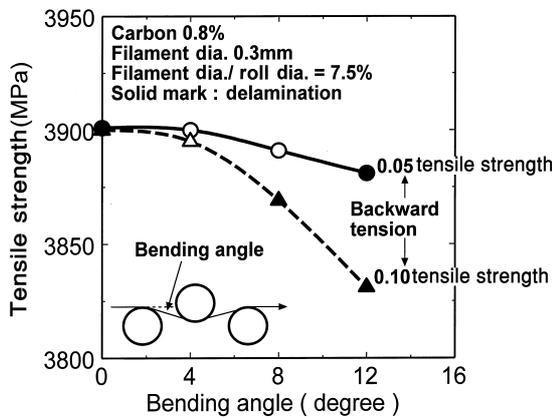


図8 極細鋼線の引張強さ、デラミネーションに及ぼすロール矯正加工の影響

Effect of roll bending on tensile strength and delamination of fine filament

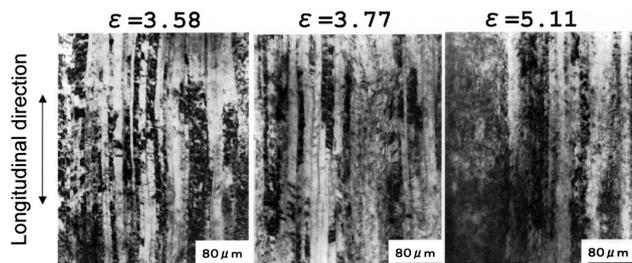


図9 0.96%C鋼線のTEM組織(ε:伸線加工歪)

TEM micrographs of 0.96% carbon steel wires (ε: drawing strain)

量はまだ僅かである。その一方で、80C材を使用した二次加工技術は進歩している。90C材の適用が拡大する技術的な環境は十分に整ったと思われ、今後の適用拡大に期待したい。

図9にパーライト鋼を伸線加工して得られる透過電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope: TEM)組織を示す。加工量の増加に伴いセメンタイトが不明瞭となり、ラメラ構造も不明瞭となる。この様な強加工パーライト鋼の材料科学には大きな進展が見られる。セメンタイトを強加工するとセメンタイトが分解しフェライト中の炭素量が増加する事^{14,15)}が判った事をきっかけに、大学を中心としてセメンタイトの物性の明確化¹⁶⁾、パーライト鋼中のセメン

タイトとフェライトの応力分配の測定^{17,18)}などによる強加工したパーライト鋼の強化機構に対する取り組みが進められ、多くの知見が得られている。タイヤの軽量化ニーズから高強度化の要請が一層高まっているため、実験室研究で得られている強度域を実用化するための技術開発と並行して、更なる高強度化の研究開発¹⁹⁾が必要である。

4. 棒線商品の高度化を支える解析技術

棒線製品のグローバル化が進展する中で、ユーザーニーズが多様化し、製品開発に要求される技術課題も相反する課題がますます重畳し、複合化している。例えば、軽量化のために単純に材料の高強度化を求めるだけでは、延性や変形能との両立、また種々の環境への耐食性や他材料との融合性を併せて満足させることは困難である。このような技術課題を克服していく時に、材料が本来持つ物性を明らかにし、様々な現象を物理モデルで記述していくことも重要な選択肢の一つである。材料科学の視点で真実を知ろうとした場合、現象を解析できる分析技術の範囲内で得た事実に基づいて真実を解明しようとするので、製品の進歩と共に常に高度な解析技術の開発が行われている。以下に、棒線の製品開発を支える解析技術の進化の側面について、概略を紹介する。

4.1 透過電子顕微鏡による微細組織解析技術の進歩

橋梁用鋼線やスチールコードは、基本的にはパーライト組織という同じ組織から成り立っている。高強度で延性に優れたピアノ線と同じ組織である。そしてそれらの強度は、パーライト組織を構成するフェライトとセメンタイトのラメラ構造の微細化で造り分けられている。ラメラ組織の間隔は線径が5mmの橋梁用鋼線では50nm前後、線径が0.2mm前後となるスチールコードでは10nm前後の微細組織となるため、そのラメラ組織の解析には、ナノレベルに電子線を絞ることが可能な電界放射電子銃を備えた透過電子顕微鏡が必要になる²⁰⁾。

一方、伸線過程において、パーライト組織がどのように変形していくかを知ることは、その後のスチールコードの延性を考える上で重要である。この時、伸線方向断面はラメラ構造の組織がそのまま伸展していくので、むしろ伸線直角方向断面の変化を理解しておくことは興味深い。ところが、例えば0.2mm径の細線となると、容易にその伸線直角方向断面組織を薄片化することは困難になる。数本を束ねて樹脂埋め込みをしてその複数の断面組織を同時に薄片化する方法が以前は検討されていたが、この方法では、透過電子顕微鏡で観察可能な薄片になる過程で、細線がはずれ落ちてしまうことが多かった。この課題に対して、抜本的な解決法を与えたのが、集束イオンビーム加工装置内に取り付けたマイクロサンプリング法の開発である²¹⁾。

図10(a)に集束イオンビーム(Focused Ion Beam: FIB)装置内で観察した走査イオン顕微鏡(Scanning Ion Microscopy: SIM)像を示す。0.2mm径の細線であっても、数十μm領域を観察すれば平坦な試料と変わらない大きさの次元となり、図10(b)に示すように、目的とする箇所の伸線直角方向断面をFIB装置内に入れたマニピュレータで抽出することが可能になる。FIB加工装置は、走査電子顕微鏡と類似の装置であるが、電子線源の代わりにGaイオン源を用い、電界レンズを用いてGaイオンビームを試料の特定位置に集束し、スパッタリング原理で特定領域を加工し、目的とする形状の試料を得る加工法である。なお抽出する試料上部には、Gaイオンビーム照射によ

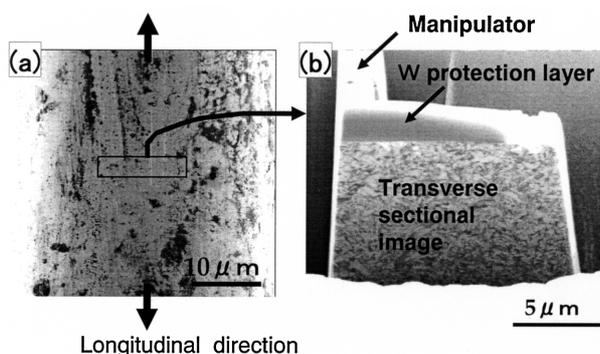


図10 0.3mm径スチールコードの伸線直角方向断面組織の電子顕微鏡試料作製手順
(a)FIB装置内で観察箇所の特定, (b)マイクロサンプリング法による伸線直角方向断面組織の抽出

TEM sample preparation procedure using FIB micro-sampling, especially from the transverse sectional view of steel cord with 0.3mm in diameter

(a)Decision objective area by scanning ion microscope observation
(b)Pick up transverse sectional portion using manipulator for micro-sampling

るダメージを防ぐ目的で薄くW保護膜をFIB装置内で形成させる。SIM像は結晶方位に関連したチャンネルコントラストを有するので、伸線過程で変形を受けたパーライト組織の概略を調べることができる。

より詳細にはさらにGaイオンビームを利用して $0.2\mu\text{m}$ 以下に薄片化して、図11に示すような透過電子顕微鏡像により解析する。写真上で黒く見える部分が主にセメント層部分であり、伸線直角方向断面では伸線によりかなり湾曲した組織を呈していることが判る。また写真中央右には、せん断変形を受けたような部分も存在し、線径全体を通じて均一に伸線加工が施されているかどうかを解析することができる。また伸線時の加工発熱効果などを考える場合、線材の中央部と周辺部の組織を解析することも重要であるが、このような新しいマイクロサンプリング法を用いた電子顕微鏡技術の進展でそれらも可能になりつつある。

一方このFIB法では、電解研磨法の際に見られるような金属種による選択的なエッチングが起こり難いので、プラスめっきを施した層と鋼線部の界面構造なども、透過電子顕微鏡で詳細に観察できるようになった。図12はそのようなめっき層と鋼線部の界面を示す伸線方向断面組織の透過電子顕微鏡像である。めっき界面の区別がわかりにくいほど鋼線とプラスめっきの接合性は良い。写真では、ラメラ組織の部分がパーライト組織であり、斜めに双晶構造を有する

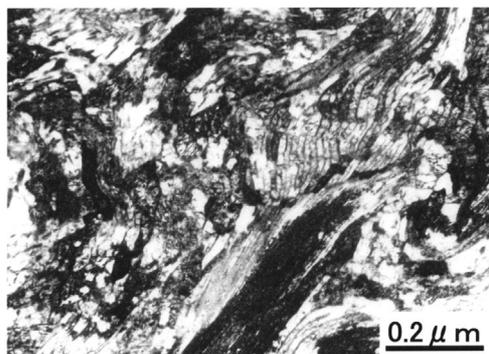


図11 スチールコードの伸線直角方向断面TEM組織
Transverse sectional TEM micrograph of fine steel cord

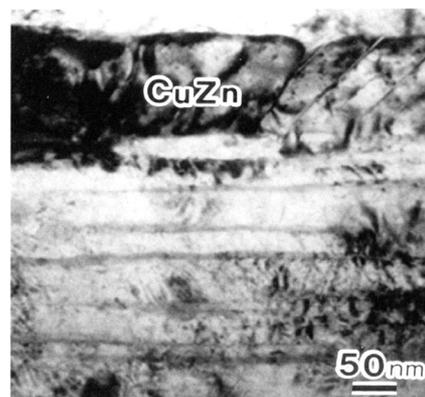


図12 スチールコードのプラスめっき界面TEM組織
TEM micrograph of brass plating interface of fine steel cord

部分がプラスめっき層である。FIB加工法の特徴としては、さらに金属や樹脂を区別することなく均一に加工することができるので、スチールコードをタイヤゴムと組み合わせて加硫処理をした後の微細な組織変化などを観測することも可能であろう。

このように材料間の区別にあまり依存しないFIB技術と、さらに特定領域をピンポイントに狙って抽出しながら薄片化できるFIBマイクロサンプリング技術の開発と進歩により、スチールコードだけではなく、窒化処理を施した棒鋼自動車部品、さらには高強度ボルトなどの複雑形状部に対しても透過電子顕微鏡やアトムプローブマイクロアナライザーによる微視的な組織解明が可能になった。

4.2 アトムプローブ法を用いた原子レベルの解析技術の進歩

FIB技術と透過電子顕微鏡法により、見たい観察部位に対して比較的困難を有することなく透過電子顕微鏡用の試料作製が可能になった結果、これまで見ることができなかった部位に対する微視的知見の蓄積はさらなる高度な解析技術を求める方向に進んだ。即ち、高強度化の技術開発のために、材料現象に対する徹底的な解明が必要になってきた。そこでは時には、原子レベルの材料解析が要求される。そこで、試料の実空間での原子分布に関する情報を得ることができるアトムプローブ装置に対して、原子レベルの分解能で可視化できる三次元化の技術革新を狙い、装置の導入及び関連する解析技術開発を開始した。現在、エネルギー補償器等の採用により質量分解能が向上し、より実用的になり、構成元素約100万原子の空間位置をマッピング像として可視化できるようになった²²⁾。

例えば、窒化処理により表層を硬化させる技術があるが、自動車用部品の一つでCrとCuを添加した鋼に軟窒化を施した場合に、新しい複合析出現象が見出された²³⁾。窒化処理前は母材の鋼材硬度として $100\text{HV}_{0.1}$ 程度であったものが、窒化処理により表層部では $700\text{HV}_{0.1}$ 程度まで硬化した。硬度ピークに近い表面から $160\mu\text{m}$ 深さの領域を狙って透過電子顕微鏡観察をすると、図13に示すように、 $\{001\}$ 面に沿った $6\sim 10\text{nm}$ の線状コントラストが観察された。電子回折図形には、この線状に垂直に鋭いストリークが観察され、それらが $\{001\}$ 面上に析出した板状析出物であることが判明した。

幾つかの析出物について電子線を 1nm 径に絞り元素分析を行うことにより、Cr窒化物であると同定できた。電子顕微鏡観察では、多数の板状窒化物の析出物が認められ、これらの存在により硬化していることが判ったが、更にアトムプローブ用の針状試料を作製し、その実空間での原子分布状態を調べることで、これらの板状窒化物はしばしば析出Cuを伴い複合析出していることが判明した。

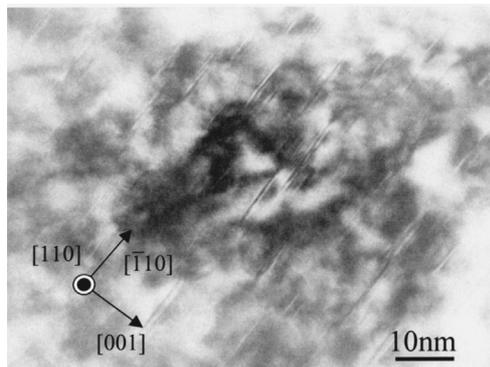


図13 軟化窒化処理後の表面下160 μm領域のTEM組織
TEM micrograph of inner region at 160 μm depth from the surface in nitriding steel

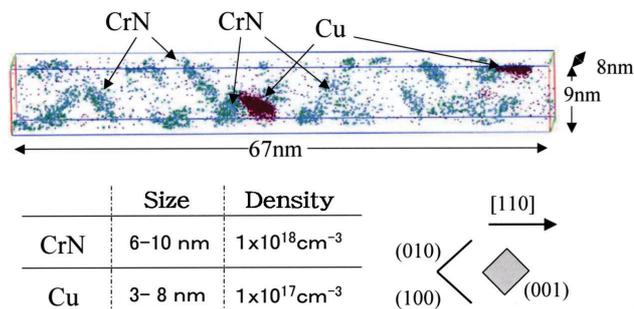


図14 軟化窒化処理後の表面下160 μm領域の三次元原子マップ
3-dimensional elemental map in region at 160 μm depth from surface in copper-added nitriding steel. Measurement direction is [110]. Size and densities of each precipitates calculated by 3-dimensional measurement are listed

三次元アトムプローブ測定による元素マッピング像を図14に示す。原子マッピング像でも(010)面と(100)面に沿って伸びて観察されているのがCrN析出物である。三次元アトムプローブ法の特徴として、検出効率は50%程度であるが元素選択性がほとんど無い条件で観測できているので、そこでの原子数計測や析出物計測がそのまま固溶量や析出物密度に換算させて見積もることができる。これより、 10^{18} オーダーの高い密度のCrNと、 10^{17} オーダーのCu析出物が存在することが解析できた。特に系統的に深さ方向でのアトムプローブ法による解析から、窒化熱処理中に析出したCuを核として、CrNが優先析出していることが判った。これらの密度分布はそのまま表面層の硬化量に反映されるため、この窒化処理時における析出物の生成・成長過程を観測することが非常に重要であった²⁴⁾。

4.3 今後の展望

各種棒線に対する要求ニーズが高まり、高強度化と共に延性の確保、また水素に起因する脆性破壊抑制など、困難な課題解決に対する基盤的研究が必要となり、必然的に最先端の解析技術の適用ニーズが高まっている。実用材料を扱う限りは、全体の組織変化から、原子レベルの微視的变化に至るまでを一貫して現象解明する必要が

あり、ナノレベルの計測技術は進歩するものの、メゾスコピック領域での特定領域試料抽出技術の開発が要求された。FIB技術に代表される技術開発の構築により、材料組織学的には一貫して理解されるに至った現在、新たに、アトムプローブ法による三次元の原子マッピング技術の実用鋼への展開が精力的に行われている。高度な鉄鋼製品の開発と最先端の解析技術の開発はまさに車の両輪のように対をなして進展し、明日の棒線製品の開発を支えている。

5. 結 言

棒鋼・線材分野における鋼材の高機能化、高強度化の要求に対して、新日本製鐵の新商品開発の取り組みを述べた。需要家からの鋼材に対する要求は、年々高度化してきている。鋼素材の製造から二次加工、最終部品の製造までの一貫した工程の中で、鋼材の特性を最大限に引き出す取り組みが、今後益々重要になってくると考えられる。今後とも、関係先と連携を密にし、新日本製鐵の技術先進性・総合力を発揮した商品開発を推進し、需要家の期待に応えていきたい。

参考文献

- 久保田学, 越智達朗: 新日鉄技報. (378), 72(2003)
- Ishikawa, F., Takahashi, T., Ochi, T.: Metall. Mater. Trans. 25A, 929(1994)
- 久保田学, 樽井敏三, 山崎真吾, 越智達朗: 新日鉄技報. (381), 57(2004)
- 越智達朗, 高田啓督, 久保田学, 蟹澤秀雄, 内藤賢一郎: 新日鉄技報. (370), 11(1999)
- 山崎真吾, 久保田学, 樽井敏三: 新日鉄技報. (370), 51(1999)
- 越智達朗, 蟹澤秀雄, 佐藤洋, 渡邊忠雄: 鉄と鋼. 83, 665(1997)
- 矢田浩, 森俊道, 村上雅昭, 富永治朗, 落合征雄: 製鉄研究. (310), 264(1982)
- 松岡京一郎, 富永治朗, 井上哲, 佐野正義, 佐田野豊, 本田三津夫, 田嶋欣太郎, 柳謙一: 製鉄研究. (315), 94(1984)
- Tarui, T., Maruyama, N., Eguchi, T., Konno, S.: Struc. Eng. Int. 12, 209(2002)
- 佐藤洋, 田代均, 岡潔, 佐々木正司: 新日鉄技報. (343), 91(1992)
- 田代均, 西田世紀, 樽井敏三, 大橋章一, 佐々木正司, 中村謙一, 吉江淳彦, 出町仁: 新日鉄技報. (370), 39(1999)
- Ochiai, I., Nishida, S., Tashiro, H.: Wire J. Int. 26(12), 50(1993)
- 高橋稔彦, 大橋章一, 樽井敏三, 浅野敏之: 新日鉄技報. (347), 22(1992)
- Lunguillaume, J., Kapelski, G., Baudelet, B.: Acta Mater. 45, 1201(1997)
- Read, H.G., Reynolds, W.T., Hono, K., Tarui, T.: Scripta Mater. 37, 1221(1997)
- 梅本実, 土谷浩一: 鉄と鋼. 88, 117(2002)
- 諸岡聡, 鈴木徹也, 友田陽, 塩田佳徳, 神山崇: 鉄と鋼. 91, 28(2005)
- Kanie, A., Tomota, Y., Torii, S., Kamiyama, T.: ISIJ Int. 44, 1952(2004)
- 樽井敏三: 第188・189回西山記念技術講座. 東京, 日本鉄鋼協会, 2006, 141p
- 杉山昌章, 池松陽一, 重里元一, 高橋淳: ふえらむ. 110, 42(2005)
- Ohnishi, T., Koike, H., Ishitani, T., Tomimatsu, S., Umamura, K., Kamino, T.: Proc. the 25th Int. Symp. for Testing and Failure Analysis. Santa Clara, California, 1999, 449p
- Cerezo, A., Godfrey, T.J., Sijbrandij, S.J., Smith, G.D.W., Warren, P.J.: Rev. Sci. Instrum. 69, 49(1998)
- Takahashi, J., Kawasaki, K., Kawakami, K., Sugiyama, M.: Proc. of 49th Int. Field Emission Symp. Graz, Austria, 2004
- Takahashi, J., Kawasaki, K., Kawakami, K., Sugiyama, M.: Surface and Interface Analysis. 38, 232(2006)