

# 特殊鋼

2018  
Vol.67 No.2

3

*The Special Steel*

特集／特殊鋼のミクロ組織のやさしい解説



# 特殊鋼

3

## 目次

2018

### 【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)
〃	福田 岳史 (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)

## 【特集／特殊鋼のマイクロ組織のやさしい解説】

### I. 総論

1. はじめに…………… 三菱製鋼(株) 福田 方勝 3
2. 鋼の熱処理とマイクロ組織…………… 九州大学 高木 節雄 5
3. マイクロ組織の観察法…………… 新日鐵住金(株) 谷山 明 10

### II. マイクロ組織各論

1. 炭素鋼…………… 大同特殊鋼(株) 山崎 歩見 15
  2. 快削鋼…………… 愛知製鋼(株) 杉本 淳 19
  3. 合金鋼…………… 新日鐵住金(株) 堀上 禎悟 21
  4. 軸受鋼…………… 山陽特殊製鋼(株) 杉本 隼之 26
  5. ばね鋼…………… 三菱製鋼(株) 蓑口 光樹 29
  6. 工具鋼…………… 日立金属(株) 宍道 幸雄  
…………… 日立金属(株) 松岡 禎和 31  
…………… 日立金属(株) 關山 孝明
  7. ステンレス鋼…………… 日新製鋼(株) 溝口太一郎 37
  8. マルエージング鋼…………… 日立金属(株) 大石 勝彦 42
  9. 耐熱耐食材料…………… 大同特殊鋼(株) 草深 佑介 43
  10. チタン…………… (株)神戸製鋼所 横地 恒平 49
- “特集”編集後記…………… 三菱製鋼(株) 福田 方勝 67

●一人一題：「離見の見」……………	ノボル鋼鉄(株) 三上 聡彦	1
-------------------	----------------	---

《 需要部門の動向 》(新年のご挨拶)

自動車工業……………	一般社団法人日本自動車工業会 西川 廣人	2
------------	----------------------	---

■業界の動き……………		52
▲特殊鋼統計資料……………		55
★倶楽部だより(平成29年12月1日～平成30年1月31日)……………		59
☆特殊鋼倶楽部の動き……………		60
「夢見る鉄」マスコットキャラクター愛称募集について……………		63
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧……………		66

特集／「特殊鋼のミクロ組織のやさしい解説」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	福田 方勝	三菱製鋼(株)	技術開発センター
委員	杉本 淳	愛知製鋼(株)	品質保証部お客様品質・技術室 主査
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 自動車・産機営業部 自産機CS室長 品質保証部
〃	浜田 貴成	新日鐵住金(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	宮崎 貴大	大同特殊鋼(株)	特殊鋼ソリューション部 東京第一ソリューション室 室長
〃	福田 岳史	日新製鋼(株)	品質保証・技術サービス部 普通鋼・特殊鋼品質保証チーム チームリーダー
〃	殿村 剛志	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 技術部(東京駐在) 課長
〃	戸塚 覚	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	古谷 匡	日立金属(株)	特殊鋼カンパニー 技術部 部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	平井 義人	(株) 平井	取締役 業務部長

## 「離見の見」



ノボル 鋼鉄(株) 三 上 聡 彦  
取締役 会長

今年、6回目の年男を迎え、いつの間にか後期高齢者の領域に入ろうとしている。本人はまだまだ若いつもりでいても、酒量が減り、運動神経が鈍り、ドライバーの飛距離も落ち、知らず知らずに衰えが始まっている。フェアウエーを颯爽と歩いているつもりでも、この寒い時期、気が付くとズボンのポケットに手を忍ばせ、背中を丸めて歩くことがある。

12年前、還暦を迎えた年、良い機会なので総合的な検査を行ったところ、成人病予備群との診断を受けた。一念発起し減量作戦を開始した。数か月断酒、食事内容に気を配り、毎朝体重計とにらめっこし、約半年で75キロから70キロに減量することに成功した。すっかり自信が付き、目標を更に65キロ以下に設定し、1年程でこの目標も達成することができた。

お蔭で体が軽くなり、数値は改善され、ゴルフのスコアは良化し言う事無し。本人は絶好調ながら、周りからは、特に久しぶりに会った同窓会仲間達からは、体調が悪いのではないかと噂される始末。背中がとても弱々しく、寂しく見えると忠告された。鏡で前ばかり眺めていて、自分の後姿は全く気が付かないものである。以後、多少減量を緩めこの10年、67キロ前後を何とかキープしている。

最近、DVDに収められた自分のスウイングをじっくり見る機会があった。「あれっ！こんなスウイングをしていたのか」と驚いた（自信過剰?）。人のスウイングを見て、「テンポが素晴らしい」「インパクトが決まっている」あるいは「スウェーをしている」「肩が回っていない」「ヘッドアップ」等々と客観的に見ることができるが、自分のスウイングの流れは本人にはなかなか解らないものである。

室町時代に能を大成させた世阿弥が記した「花鏡」の中に「離見の見」と言う言葉がある。舞う演者の観点を「我見」、舞を見ている観客の観点を「離見」。我見では、自分の目の前や左右を見ることができるが、後姿や演じている姿を見ることはできない。しかし、離見では、演者の目で見えないところまで見る事が可能。世阿弥は、舞うためには我見だけではなく、「離見の見」が必要であると説いている。つまり、演者は自分から見えているものだけではなく、観客の目を通して演じる自分の姿も見なければならないと言う教えだそうである。そうすることによって、美しい所作、芸の完成をとげるといふことで、演技や役に夢中になるだけではなく、冷静な目で自分の演技を客観的に捉える大切さを説いたもの。

男は背中では物を言うというが、歳を重ねるごとに自分の立ち居振る舞いについては冷静に「離見の見」で自分を見つめられるよう努めたいと思うこの頃である。



# 自動車工業

## 新年のご挨拶

一般社団法人日本自動車工業会 会長 さい かわ ひろ と 西川 廣人

皆様、新年明けましておめでとうございます。  
昨年を振り返ってみますと、米国の全需が一昨年までの水準を下回ってしまったものの、グローバルな事業環境としては比較的穏やかで順調な年であったと思っております。また、国内市場に目を向けましても、景気の底固さから堅調に推移しております。比較的順調な年であったということが私の実感でございます。

年初、世界的な保護主義の台頭が懸念されましたが、その中で昨年末には日本とEUの間で経済連携協定が妥結に至ったこと、また11カ国によりますTPPが大筋合意に至ったことは自動車業界にとりまして、また、日本の産業界にとりましても非常に大きな意味を持つ前進であったと思っております。これまでの政府関係者の皆様の多大なるご努力にあらためて敬意を表しますとともに、出来る限り早くの批准、発効を期待しているところでございます。

今年の経済環境についてですが、昨年12月に閣議決定されました「生産性革命」と「人づくり革命」を両輪といたします「新しい経済対策パッケージ」をはじめとする経済諸政策により、経済の好循環がさらに拡大をすることを大いに期待しております。

また米国におきましても昨年末成立いたしました税制改革法が米国経済の活性化に寄与するものと考えておりまして、堅調な事業環境が今年も続くと考えております。

自動車業界として、国内そしてグローバルそれぞれにおいて、直面する課題に精力的に取り組んでいきたいと考えております。

国内市場の活性化という点では、何をにおいても「税制改正」の課題でございます。来年度の税制改正では消費税率10%引き上げ時の対応、保有税の総合的な見直し等、極めて自動車業界にとりましても重要な局面を迎えます。自工会として従来から主張しておりますとおり、車体課税の簡素化、低減に向けて関係される皆様と連携して、一丸と

なって万全な体制で取り組んでいきたいと思っております。

一方、世界を見ますと、自動車の進化や技術の革新が加速をしております。電動化の潮流、あるいは自動運転・AI等の技術革新は本年も引き続き、大きな進展があると見ております。

日本のモノづくり、そして日本経済の持続的成長のために私ども自動車業界が果たすべき役割は大きいと十分認識しております。その役割を果たすためにも、先端技術の進化と普及で世界の業界をリードしていくことが非常に重要だと思っております。

この進化と革新を進める上で、各社における技術開発や個社間でのしのぎを削る競争が大きな原動力である一方、インフラ整備や先進的な交通ルール、システムの整備等、協調領域の取り組みが非常に大きな力になると考えております。

この協調領域の取り組みですが、見方を変えますと、国、あるいは地域間での競争という面もございます。日本が自動車技術、あるいは自動車の市場としての先進性を揺るぎないものにしていくために、この協調領域での取り組みがさらに重要度を増していくと見ております。

東京オリンピック・パラリンピックが開催されます2020年に向けて、世界に日本の先進性をアピールする大きなチャンスと考えており、自動車業界としても全体の取り組みを進めて参ります。

今年も着実に課題に対して取り組み、また将来への備えを進める年にしたいと考えております。

皆様方には、引き続き、ご指導、ご支援、ご鞭撻を頂ければ大変幸いです。

最後になりますが、この一年が皆様にとりまして、実り多く、幸多き年になりますよう祈念いたしまして私のご挨拶とさせていただきます。

ありがとうございました。

(平成30年1月5日 自動車工業団体新春賀詞交歓会での挨拶より)

特集

# 特殊鋼のミクロ組織のやさしい解説

## I. 総論

### 1. はじめに

三菱製鋼(株) 技術開発センター 福田 方勝

金属の組織には、肉眼や拡大鏡でみたときの組織（マクロ組織）と顕微鏡で見たときの組織（ミクロ組織）があります。マクロ組織は、鋼塊、鍛造材、圧延材などの欠陥（引け巣、割れ、収縮孔、気泡、非金属介在物、偏析）や樹枝状晶（デンドライト）の状況などを観察します。

ミクロ組織は顕微鏡により観察されます。金属材料の組織観察はイギリスのソルビー（H. C. Sorby）が始まりとされています。1864年、反射照明式の顕微鏡を考案し、切断した金属の表面を研磨、エッチングして観察し写真撮影することに成功しました。鉄鋼材料の分野において顕微鏡的研究を開拓したのはドイツのマルテンス（A. Martens）、フランスのオスモン（F. Osmond）で、その後、英、独、仏、米の冶金研究者が顕微鏡により鉄鋼材料の組織学的研究を行って種々の鉄鋼材料組織を命名しました。

光学顕微鏡による金属材料の組織観察は現在でも材料の特性を理解するための重要な手段です。最近では、顕微鏡自体の高性能化、自動研磨機の普及、撮影機器の高機能化など著しい進歩がありますが、ソルビーが開発した [研磨]→[エッチング]→[撮影] という一連の手順は、光学顕微鏡による金属の組織観察法として基本的には同じ方法です。

1950年以降は電子顕微鏡が普及して、分解能が高いことから原子レベルでの観察も可能になって

きました。最近の電子顕微鏡による観察は、単に微小領域を観察することだけではなく、その構成元素や結晶構造、結晶方位なども分析できるようになっています。

鉄鋼材料においてミクロ組織を観察する目的はいろいろあります。鉄鋼材料は熱処理によりその性質が大きく変化し、それはミクロ組織によって大きく影響されます。熱処理により目的とした組織が得られているか、介在物などの有害な組織が存在していないか、結晶粒の大きさはどれくらいか、などを観察します。

特殊鋼のミクロ組織では、フェライト（ $\alpha$ 、 $\delta$ ）、オーステナイト（ $\gamma$ ）、マルテンサイト（ $\alpha'$ ）、セメントタイト（ $\theta$ ）、パーライト、ベイナイトの6つの組織が特に重要です。フェライト（ferrite）はラテン語で鉄を意味するferrumが語源です。金属イオンを含む酸化鉄で磁性材料として利用されているフェライトとは直接の関係はありません。セメントタイト（cementite）は炭化鉄 $Fe_3C$ のことで、セメントのように硬いことから名づけられました。オーステナイト（austenite）、マルテンサイト（martensite）、ベイナイト（bainite）はその組織の発見者の名前のオーステン（W. Robert-Austen）、マルテンス、ベイン（E. C. Bain）がそれぞれ元になっています。また、パーライト（pearlite）は顕微鏡の反射光線に対して真珠のような色合いが現れ

ることから命名されました（ソルビーによる）。

金属材料の組織写真集として日本金属学会より1979年に発行された「金属組織写真集鉄鋼材料編」（西沢泰二、佐久間健人編）は現在絶版となつてしまいましたが、その目次の裏には、

*Seeing is believing*

と書かれています。観察することがいかに大事であるかが分かります。

#### 【マイクロ組織写真について】

マイクロ組織各論の組織写真は原則として、試料の縦断面の長手方向が横になるように示しています。また、組織写真中の倍率（ $\times 100$ 、 $\times 400$ など）は撮影時の倍率であり、編集・印刷の都合上、実際の倍率とは異なっている場合があります。したがって、実際の組織の大きさについてはスケール（目盛）を基準としてください。



## 2. 鋼の熱処理とミクロ組織

九州大学 工学研究院 材料工学部門 高木節雄  
たか き せつ お

### ◇ 熱処理とは

熱処理とは、ある材料で目的とする性能を得るために温度を制御するすべての行程を意味する。いかに良質の素材であっても、その後の熱処理が間違っていれば目的とする性能は得られない。構造用材料については、強度が重要視されることは言うまでもないが、一方で部材を製造する際の加工性や切削性なども具備すべき条件となってくる。これらの条件は用途によって大きく異なるため、同じ材料であっても、使用目的によって異なった熱処理が施される。では、熱処理を変えたとなぜ特性が変わるのであろうか？それは、部材を構成するミクロ組織が熱処理によって変化するためである。とくに、鉄鋼材料では、熱処理によって多様なミクロ組織が発現するので、本節では、特殊鋼を扱う上で知っておかねばならない相やミクロ組織について概説する。

### ◇ 鉄鋼材料の基本となる3つの相

材料を構成する基本物質のことを“相”という。鉄鋼材料の基本成分は鉄 (Fe) と炭素 (C) であり、Fe-C二元系合金では、図1の状態図に示すように、結晶構造がfccのオーステナイト ( $\gamma$ )、bcc

のフェライト、セメンタイト； $\text{Fe}_3\text{C}$  ( $\theta$ ) の三種の相が存在する。液相が凝固して生成するフェライトは $\delta$ 、 $\gamma$ から固相変態で生成するフェライトは $\alpha$ として区別される。純鉄は、1540°Cで $\delta$ として凝固した後、1400°Cにて $\gamma$ に固相変態する。さらに、温度が910°Cに達すると $\gamma$ は再び $\alpha$ へと固相変態し、その後は室温まで $\alpha$ として安定に存在する。一般に、固相から別の固相が出てくる現象を“析出”といい、凝固後に2回も固相変態する金属は鉄以外に見当たらない。C原子は、fccやbcc構造を形成するFe格子の隙間に入り込んで存在する。その状態を“侵入型固溶”といい、合金元素が侵入型で固溶した固体を侵入型固溶体という。炭素は $\alpha$ 中にはほとんど固溶できないが、 $\gamma$ 中には最大で2.1%まで固溶できる。 $\gamma$ が安定に存在できる領域を状態図中に斜線で示しているが、鉄鋼材料とは、高温に加熱することで $\gamma$ 単相となる鉄合金と定義されているので、Fe-C系については、2.1%までの炭素を含む合金ということになる。固溶しきれない炭素は $\theta$ として析出し、 $\alpha$ や $\gamma$ と混ざり合って存在する。鉄鋼材料は、熱処理によって、 $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\theta$ という3つの相の割合や大きさ、分布をマイクロあるいはナノレベルで制御したもので、これらの相が混ざり合ったものが“組織”と呼ばれている。

### ◇ オーステナイト ( $\gamma$ )

結晶構造が面心立方 (fcc) の鉄ならびに鉄合金はすべてオーステナイトと呼ばれている。CrやNiなどの元素は、原子の大きさがFeに近いためにfcc構造を有するFeと入れ替わって固溶体を作る (置換型固溶体)。置換型で固溶したこれらの元素は、炭素と同じように $\gamma$ を安定化する効果を有するため、多量のCrやNiを添加した鉄合金については室温でも $\gamma$ が得られる。たとえば、SUS304のような $\gamma$ 系ステンレス鋼は、高温域で安定な $\gamma$ を室温にまでもたらし材料とすることができる。物理的な性質としては、非磁性で熱伝導率が小さいという

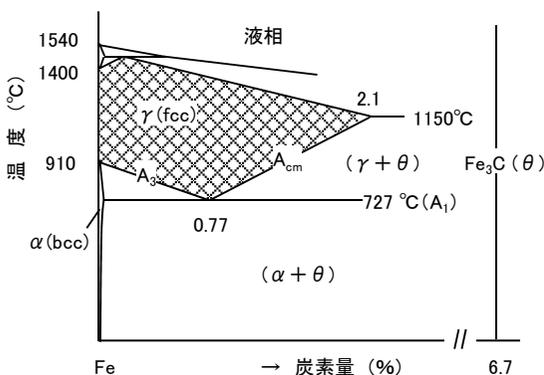


図 1 Fe-C系二元合金の状態図

特徴がある。炭素や窒素などの侵入型元素を含まない $\gamma$ は、軟らかくて加工性に優れている。 $\gamma$ は、Fe原子が最も密に詰まった構造となっているため、上記の3つの相の中では最も密度が高い。

#### ◇ フェライト ( $\delta$ ならびに $\alpha$ )

結晶構造が体心立方 (bcc) の鉄ならびに鉄合金はすべてフェライトと呼ばれる。 $\alpha$ は、軟らかくて加工性に優れた性質を有し、鉄鋼材料の基地相でもある。純鉄の $\alpha$ は、770℃以下の温度域では強磁性の性質を有する。金属の機械的性質は結晶粒径に依存して変化し、結晶粒が小さいほど降伏強度が高く、しかも延性や靱性にも優れるという特徴がある。鉄には、凝固後に2回も固相変態があり、その段階で自動的に結晶粒が微細化されるという利点がある。しかし、13%以上のCrを添加した $\alpha$ 系ステンレス鋼では、凝固で生成した粗大な $\delta$ がそのまま室温までもたらされるため、自発的な細粒化作用が働かないので注意が必要である。

炭素は、727℃で0.02%だけ $\alpha$ 中に固溶できるが、室温ではほとんど固溶できないので、Fe-C系合金の $\alpha$ はほぼ純鉄と見なすことができる。 $\gamma$ に比べて密度は小さく、室温での $\alpha$ の密度は7.86g/cm<sup>3</sup>である。 $\gamma$ は、最大で2.1%までの炭素を固溶できるが、 $\alpha$ には炭素がほとんど固溶できないので、 $\gamma$ が $\alpha$ に変態する際に、 $\alpha$ から炭素がはき出されて $\gamma$ 中の炭素濃度が増大したり、 $\theta$ を析出したりする。 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が開始する温度は、炭素量が多くなるほど低下し、**図1**の状態図では $A_3$ 線として示されている。しかし、炭素量が0.77%以上になると $\gamma$ から $\theta$ が析出するようになる。 $\theta$ の析出開始温度は、状態図中に $A_{cm}$ 線として示されている。 $\gamma$ から $\alpha$ が析出すると $\gamma$ 中の炭素濃度がしだいに高くなって、最終的に $\gamma$ の炭素濃度は0.77%にまで達する。対照的に、 $\gamma$ から $\theta$ が析出すると、 $\gamma$ から炭素が奪われて炭素の濃度が低下し、最終的に $\gamma$ の濃度は0.77%となる。Fe-C合金を高温からゆっくり冷却した場合、炭素含有量にかかわらず、727℃に達した段階で残存した $\gamma$ の濃度は0.77%になっているわけである。Fe-0.77%C合金の変態については後述するが、鉄鋼材料における熱処理とは、 $\gamma$ と $\alpha$ における炭素の固溶量の差を利用して、軟質の $\alpha$ 中に硬質の $\theta$ を微細分散させる手法に他ならない。

#### ◇ セメントナイト ( $\theta$ )

セメントナイト ( $\theta$ ) とは、FeとCが3:1の原子割合いで結合した炭化物であり、炭素含有量は6.7%である。Fe原子の結晶構造はbccに類似しており、C原子はFe格子の隙間に規則的に存在して、硬い炭化物を形成している。室温での密度は7.68g/cm<sup>3</sup>で、 $\alpha$ 相とほぼ同じと見なして良い。 $\theta$ は金属光沢を有し、見かけは $\alpha$ とほとんど同じであるが、大変硬くて脆い性質を有する。鉄鋼材料では、硬さや強度を支配する相であり、 $\theta$ の量や分散状態、形態などによって強度や靱性、耐摩耗性などの性質が変化する。一般的鉄鋼材料は、組織がどのようなものであれ、室温での構成相は $\alpha$ と $\theta$ の二相なので、 $\theta$ の体積率F [%] は、鋼の炭素量 [質量% C] に対してF [%]  $\approx 15 \times$  [質量% C] で与えられる。 $\theta$ が安定に存在するためには少なくとも0.5%程度のMnが必要であり、鉄鋼材料には必ず必要最低限のMnが含まれている。逆に、Siは $\theta$ を不安定にする元素であり、 $\theta$ を利用する場合にはその含有量を制限する必要がある。

#### ◇ パーライト

Fe-0.77%C合金は、鉄鋼材料の中でも特別な合金である。状態図で示したように、この組成の合金は727℃まで $\gamma$ が安定に存在できる。では、この $\gamma$ を727℃以下に冷却したら何が起ころうか? 上述のように、 $A_3$ 線は $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態の開始温度、 $A_{cm}$ 線は $\gamma \rightarrow \theta$ 変態の開始温度を示しており、(0.77%C, 727℃) という座標点は二つの線の交点に相当する。つまり、0.77%Cの組成の $\gamma$ を727℃以下に冷却すると、 $\gamma$ から $\alpha$ と $\theta$ が同時に析出することが可能なために下記に示す反応が起こる。

$\gamma(0.77\%C) \rightarrow \alpha(0.02\%C) + \theta(6.7\%C)$  [1]  
FeとCという二成分の合金において、 $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\theta$ の三相が共存する場合、“相律”という物理法則に従って反応は一定の温度で進行する。たとえば、水が0℃という一定温度で氷に変化するのと同じ状況である。そのため、 $\gamma$ がなくなってしまうまで、[1] 式の反応は727℃の一定温度で進行し、この温度は $A_1$ 点と呼ばれている。一般に、一つの固相が2つの固相と同時に分解する反応は“共析変態”と呼ばれるが、[1] 式の反応に限ってパー

ライト変態と呼ばれている。また、この変態で生成する組織をパーライトという。Fe-0.77%C合金は、共析変態を起こす鋼ということから共析鋼と呼ばれる。また、パーライト組織を有する鋼をパーライト鋼ということもある。

パーライト変態で起こる原子レベルでの構造変化を図2に模式的に示す。γ→α変態は、γ/α界面でのFe原子の並び替えて進行する。その際、αからはき出されたC原子は、γ/α界面を移動して6.7%の炭素を必要とするθに供給される。αとθにおけるFe原子の並び方はほぼ同じなので、パーライト変態は、C原子が両相に分配されるだけで完了することになる。C原子の移動に要する時間は大変短いため、パーライト変態は通常数秒以内に完結する。また、このような変態メカニズムのために、パーライト変態では、必然的にαとθが層状に積層された組織が形成される。つまり、パーライトは、パンとハムを交互に重ねたハムサンドに類似した組織となっており、パーライト鋼の表面を腐食するとαが優先的に腐食され、層状のθが表面に露出する。そのため、腐食したパーライト鋼の表面を光にかざすと真珠（パール）のような光沢が現れる。これが、パーライトと命名された理由である。

共析鋼の場合、αとθの割合は8：1で一定であるが、板状θの間隔で定義される“ラメラ間隔”は、熱処理条件で大きく変化する。空冷程度でゆっくり冷却した場合、ラメラ間隔は0.2~0.3 μm程度であるが、冷却速度を大きくすると0.1 μm

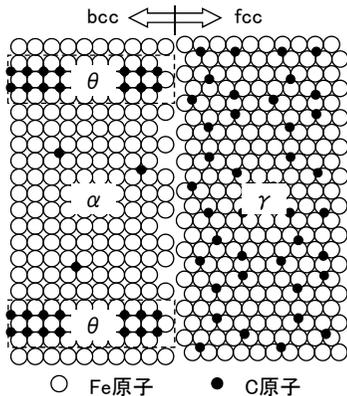


図 2 パーライト変態におけるγ/α界面での原子の再配列を示す模式図

以下にまで小さくなる。パーライト鋼の降伏応力はラメラ間隔の逆数に比例して増大することが知られているので、ラメラ間隔が半分になるとことは強化量が2倍になることを意味する。また、パーライト組織を有する鋼は線引き加工性に優れており、加工によってラメラ間隔を小さくすることもできる。この技術は、実際にピアノ線の製造に用いられているが、「なぜパーライト鋼の加工性が良いのか」という点については未だに不明な点も多い。

### ◇ マルテンサイト

純鉄は、910℃を境として高温側でfccが安定、低温側でbccが安定なことを述べた。Fe-Ni合金のように、置換型で固溶したNiの拡散速度は非常に遅いため、この合金では同じ組成のままγ→α変態が起こる（マッシブ変態）。両相の境界はT<sub>0</sub>線と呼ばれる線で表すことができる。図3にFe-Ni合金の例を示す。Ni量の増加とともにT<sub>0</sub>線は910℃から連続的に低下し、T<sub>0</sub>線からある程度過冷された段階でマッシブ変態が起こる。ここで注目すべき点は、温度が低すぎるとγ/α界面での原子の並べ替えすら困難になることである。鉄の場合、その温度は500℃付近にある。Fe-18%Ni合金の場合、T<sub>0</sub>温度が500℃付近にあるため、冷却中にマッシブ変態が起こることはない。最後に控えている変態がマルテンサイト変態と呼ばれる変態である。マルテンサイト変態では、fccからbccへの結晶構造変化が無拡散せん断機構で起こるのが特徴である。解りやすく言うと、多数の原子が集団で瞬時にず

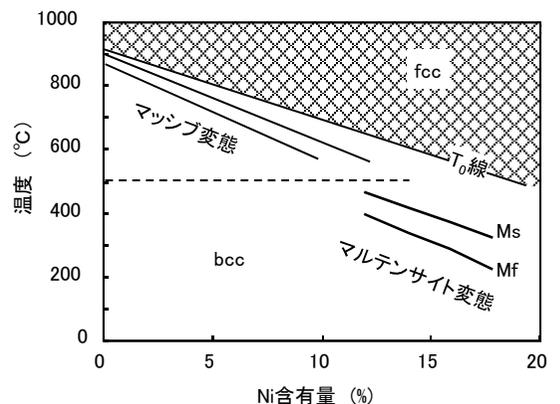


図 3 Fe-Ni合金におけるT<sub>0</sub>線と変態温度の関係

れて結晶構造の変化を起こすわけである。結晶構造の変化に伴う塑性変形は“格子変形”と呼ばれ、格子変形が局所的に生ずると周囲に迷惑を掛けるため、マルテンサイトは自ら元の形に戻ろうとして塑性変形する。その変形のことを“補足変形”という。補足変形の仕方には、転位によるすべり変形と双晶変形の二通りがあり、補足変形が前者で起こるとラスマルテンサイト、後者で起こるとレンズマルテンサイトという組織が形成される。双晶変形は、変態温度が200℃以下になると起こりやすいので、一般に変態開始温度（Ms）が低い鋼ではレンズマルテンサイト組織が得られる。レンズマルテンサイトは韌性が低いため、構造用材料としてはラスマルテンサイト鋼が使用される。Fe-18%Ni合金は、 $\gamma$ 域から炉冷してもマルテンサイトに変態する特徴を有し、しかも組織がラスマルテンサイトになるので、マルエージ鋼の基本成分となっている。

Fe-C合金でも同じようなことが言えるが、Fe-Ni合金との大きな違いは炭素の動きやすさにある。たとえばFe-0.77%C合金は、500℃付近の温度で1秒もあればパーライトに変態してしまうので、この合金でマルテンサイトを得ようとすれば、500℃付近の温度を1秒以内に通過せねばならないことになる。具体的には、直径が1mm以下の針金であれば、 $\gamma$ 域から急冷してマルテンサイトが得られる。Mn、Cr、Niなどの合金元素は $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態やパーライト変態を起こりにくくする働きがあり、マルテンサイトを利用する鋼にこれらの合金元素

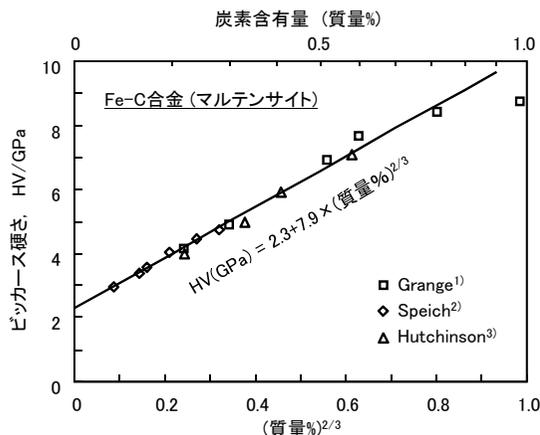


図 4 マルテンサイトの硬さに及ぼす炭素の影響

が含まれている理由の一つである。ゆっくり冷却してもマルテンサイト組織が得られる鋼は“焼入れ性”に優れた鋼と言われ、一般に合金元素の総量が多いほど焼入れ性は良くなる。マルテンサイト単一組織になった鋼は“焼きが入った鋼”と言われ、その硬さは、組織にはあまり依存せずに、図4に示すように炭素含有量の2/3乗にほぼ比例して増大する<sup>1)~3)</sup>。炭素含有量が0.4%までのFe-C合金ではラスマルテンサイト単一の組織が得られ、焼き入れままの状態でもある程度の韌性を有している。ただし、炭素量が0.6%以上になると未変態の $\gamma$ が残留するようになるので注意が必要である。

### ◇ ベイナイト

Fe-C合金では、 $A_1$ 点以下に過冷された状態で $\gamma \rightarrow (\alpha + \theta)$ という分解反応が起こる。たとえば、Fe-0.1%C合金を $\gamma$ 域から400℃に急冷して保持すると、図5(a)に示すように、 $\alpha$ から吐き出された炭素が $\gamma$ 中に濃化し、最終的に $\alpha/\alpha$ 界面に $\theta$ が連なって析出する。粒界に析出した $\theta$ は延性や韌性を低下させるため、これは好ましい組織とは言えない。しかし、1%程度のSiを加えてやると $\theta$ の析出が抑制され、(b)に示すように、高濃度の炭素を含有した $\gamma$ が $\alpha/\alpha$ 界面に残留するようになる。残留 $\gamma$ は、強度や加工硬化を大きくする働きがあるため、 $(\alpha + \gamma)$ 組織を有するベイナイト鋼は広く実用化されている。(a)ならびに(b)の組織はいずれも上部ベイナイトと呼ばれる。一方、同じFe-0.1%C合金を300℃付近の温度に過冷すると、炭素の拡散速度が小さいために、炭素は $\alpha$ から吐き出されることなく、(c)のように $\alpha$ 基地中に $\theta$ として微細に析出する。この組織は下部ベイナイトと呼ばれ、低温で焼き戻したマルテンサイト組織

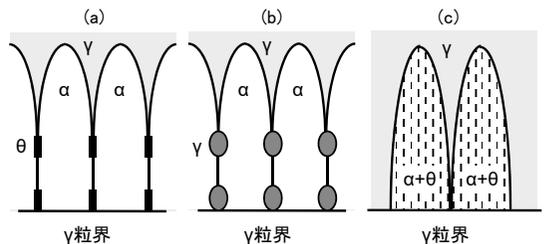


図 5 ベイナイト変態を示す模式図；上部ベイナイト (a)、(b) と下部ベイナイト (c)

に類似している。 $\alpha$ 中に $\theta$ が微細に分散した理想的な組織が得られるが、この組織を得るためには、高温側で起こるパーライト変態や上部ベイナイト変態を抑制する工夫が必要である。またベイナイト変態では、変態温度がわずかに変化するだけで得られる組織が変わってしまうので注意が必要である。

## 参考文献

- 1) R. A. Grange, C. R. Hribal and L. F. Porter: Metall. Trans., 8A (1977), 1775-1785
- 2) G. R. Speich and H. Warlimont: Journal of the Iron and Steel Institute, 206 (1968), 385-392
- 3) B. Hutchinson, J. Hagström, O. Karlsson, D. Lindell, M. Tornberg, F. Lindberg and M. Thuvander: Acta Materialia, 59 (2011), 5845-5858



### 3. ミクロ組織の観察法

新日鐵住金(株) 先端技術研究所 谷山 明  
 上 席 主 幹 研 究 員

#### まえがき

金属材料のミクロ組織は加工・熱処理により様々に変化し、材料の機械的特性をはじめとする種々の性質に密接に関係している。そのため、ミクロ組織観察は鋼材の開発における評価手法の基本となる技術であり、製造工程や製品の管理項目としても重要である。一般的な鋼材では、ミクロ組織の大きさは数ミクロンから数百ミクロン程度であり肉眼で直接観察することが難しいため、観察には光学顕微鏡や走査電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) が用いられる。また、微細な介在物や析出物の観察や、転位や積層欠陥などの格子欠陥や結晶粒内部の組織の解析には透過電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscope) が用いられる。本稿では、ミクロ組織観察の概要を説明するとともに、基礎的な手法である光学顕微鏡やSEM、TEMによるミクロ組織観察方法の概要を紹介する。

#### ◇ ミクロ組織観察法の概要

図1にミクロ組織観察法の観察対象の大きさと

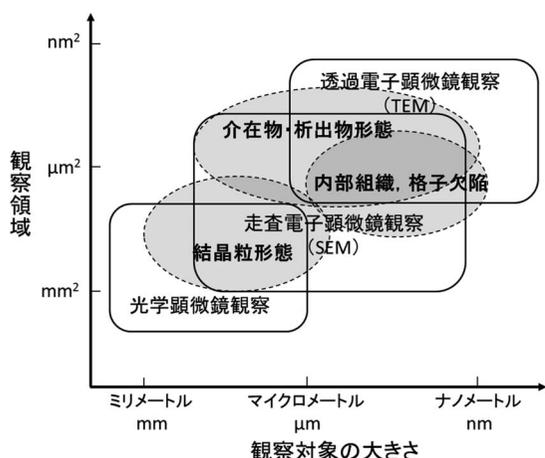


図 1 各種顕微鏡の組織観察対象の大きさと観察領域

観察領域の関係を示す。光学顕微鏡は、使用方法が簡便でマイクロメートルからミリメートルのサイズの組織を観察でき、観察領域も他の顕微鏡法に比べて広いため、粗大な介在物や結晶粒の形状、大きさなどの観察に汎用的に用いられている。一方、SEMやTEMでは、光学顕微鏡で用いられる「可視光」よりも短い波長を有する「電子線」を用いて観察を行うため高倍率での観察が可能であり、光学顕微鏡で観察できないような微細な介在物や析出物、結晶粒内部の微細組織の解析などが可能である。しかしながら、観察領域は微小であるため、観察試料の平均的な組織を把握するためには複数視野の観察が必要である。電子線の照射により観察試料から得られる情報を図2に示す。観察試料に電子線が照射されると、試料表面から放出される二次電子や反射電子と呼ばれる電子や、試料を透過し下方から放出される透過電子や回折電子と呼ばれる電子が検出される。SEMでは二次電子や反射電子を、TEMでは透過電子や回折電子を用いて観察を行う。また、電子線の照射に伴って放出される電子以外に、特性X線と呼ばれる元素

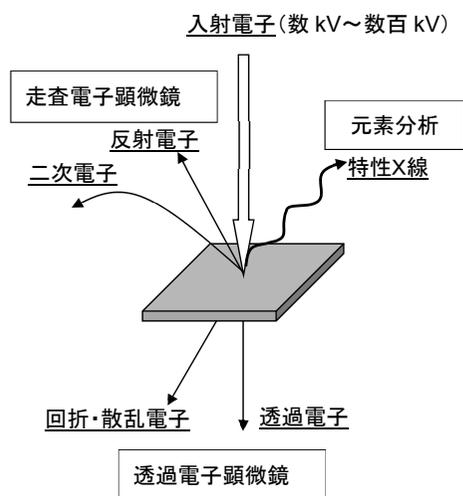


図 2 電子線の照射により得られる情報

情報を反映したX線も観察試料から放出されるので、それを利用した元素分析が可能である。

微小領域における構成元素の定性・定量には、特性X線を分析するためのエネルギー分散型X線分析（EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy）の機能をSEMに付加した分析SEM（SEM/EDS）や元素分析に特化した装置である電子線マイクロアナライザー（EPMA: Electron Probe Micro Analyzer）が用いられる。EPMAでは波長分散型X線分析（WDS: Wave length Dispersive X-ray Spectroscopy）の機能を有し、EDSに比べて微量成分の検出や元素の化学状態分析の面で優れている。分析SEMやEPMAでは1 $\mu$ m以下の極微小領域の元素分析が難しいため、そのような極微小領域の元素分析を行う場合にはTEMにEDS機能を付加した分析TEM（TEM/EDS）が用いられる。さらにTEMでは、試料を透過中に電子線が失ったエネルギーを測定することで極微小領域における元素分析を行う電子線エネルギー損失分光（EELS: Electron Energy Loss Spectroscopy）も利用可能である。最近では、反射電子（後方散乱電子）により形成される回折パターンを解析して結晶粒の結晶方位や粒径、歪み分布などを解析する電子線後方散乱回折（EBSD: Electron Back Scatter Diffraction）がマイクロ組織の新しい解析方法として広く用いられるようになってきた。ここまで概説してきたマイクロ組織観察の各種手法について、表1に整理してまとめた。

#### ◇ 光学顕微鏡を用いたマイクロ組織観察

光学顕微鏡による観察では、観察試料表面の凹凸による光の反射の違いを観察する。したがって、マイクロ組織に関する情報を得るためには、観察対象の組織の特徴を反映した凹凸を上手に試料表面に露出させることが必要となる。以下では、光学顕微鏡を用いたマイクロ組織観察のための観察試料の作製方法と観察方法を紹介する。

##### 1. 観察試料の作製方法

観察試料の作製工程は、①観察部位の選択、②観察面の研磨、③研磨済み表面の腐食、に大別される。①観察部位の選択では、まず、試験片から観察を行いたい部分を選択する。試験片の表面は機械加工や熱処理の影響を受け、組織が変形していたり材料組成が変化していたりするので、試験片母材のマイクロ組織を観察する場合には表面を避け、試験片の中心位置に近いところから観察試料を選択する。②観察面の研磨では、採取された観察試料表面を研磨布紙やバフを用いて鏡面になるまで研磨する。研磨布紙の研磨砥粒の大きさは様々なものが用意されているが、研磨の際は#600～800程度の比較的大きな砥粒のものから徐々に小さな砥粒の研磨布紙を用いるようにすると研磨傷が試料表面に残留しない。仕上げのバフ研磨では、研磨剤にアルミナ懸濁液を用いて鏡面に仕上げる。③研磨済み表面の腐食では、腐食液を用いて結晶粒界や第二相などの特定部位を選択的に腐食

表 1 ミクロ組織観察手法一覧

手 法	入射線	測定信号	得られる主要情報
光学顕微鏡	可視光	可視光	結晶粒形状、介在物形状
走査電子顕微鏡（SEM）	電子	二次電子	結晶粒形状、析出物・介在物形状
分析SEM（SEM/EDS）		反射電子	結晶粒形状、元素組成の違い
電子線マイクロアナライザー（EPMA）		特性X線	微小領域における構成元素の定性・定量
電子線後方散乱回折（EBSD）		反射電子（後方散乱電子）	結晶構造、結晶方位、集合組織
透過電子顕微鏡（TEM）	電子	透過電子	微細内部組織・構造
分析TEM（TEM/EDS）		回折電子	極微小領域の結晶構造
電子線エネルギー損失分光（TEM/EELS）		特性X線	極微小領域における構成元素の定性・定量
		非弾性散乱電子	

(エッチング)する。エッチングには図3に示すような1. 縁取りエッチング、2. 選択エッチング、3. 着色エッチングといった方法があり、目的によって使い分けると良い。鋼材試料では表2に示す腐食液が一般的に広く用いられている。

## 2. 観察方法

マイクロ組織の観察には「金属顕微鏡」と呼ばれる光学顕微鏡が用いられる。金属顕微鏡では、試料に可視光を照射し試料表面で反射された光を観察する。観察方法には「明視野観察」、「暗視野観察」、「微分干渉観察」、「偏光観察」がある。「明視野観察」では入射光と同じ光路を通過する反射光を直接観察するのに対し、「暗視野観察」では入射光を傾斜させて入射し試料表面で乱反射した光を観察する。「暗視野観察」は「明視野観察」に比べて試料表面の微小な粒子や段差を検出することができる。「微分干渉観察」ではプリズムを用いて白色光の光路差を生じさせることで微小な凹凸を観

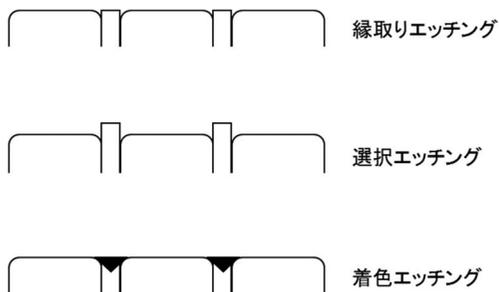


図 3 種々のエッチング方法

察することができる。「偏光観察」では試料表面の偏光特性を明暗コントラストや色の変化として観察することで、組織の形状を得ることができる。

## ◇ SEMおよびTEMを用いたマイクロ組織観察

SEMやTEMを用いると光学顕微鏡よりもさらに高い観察倍率でマイクロ組織を観察することが可能であり、マイクロ組織をより詳細に観察可能となる。ここでは、SEMとTEMの原理や試料作製法の概要を説明する。

### 1. SEMおよびTEMの原理

SEMやTEMなどの電子顕微鏡では光学顕微鏡のようなガラスレンズを用いるのではなく、電子線を曲げることが可能な電磁レンズや静電レンズを用いる。図4にSEMとTEMの装置構造の模式図を示す。図4(a)に示されるように、SEMでは電子銃で発生させた電子線を収束レンズや対物レンズで細く絞り、偏向コイルを用いて試料表面で二次的に走査することで試料表面から放出される二次電子や反射電子の強度をモニター上に表示する。モニターに表示された画像はデジタルデータとして保存可能である。SEMの試料室は $10^{-3}$ Pa以下の高真空に保たれており、試料室内には数cm程度の大きさの観察試料を挿入可能である。対物レンズと観察試料の間の距離は作動距離(WD: working distance)と呼ばれ、作動距離が小さいほど高い分解能が得られるが、被写界深度は浅くなる。電子線の走査範囲を調節することで

表 2 鉄鋼材料に用いられる代表的な腐食液

腐食液	組成	用途
硝酸アルコール溶液	硝酸 1~5ml メチル (エチル) アルコール 100ml	フェライト結晶粒界、炭素鋼、低合金鋼および鋳鉄の組織観察に一般に用いられる。
ピクリン酸アルコール溶液	ピクリン酸 4g メチル (エチル) アルコール 100ml	炭素鋼、低合金鋼、鋳鉄の組織の現出に用いられる。少量の塩酸添加で、オーステナイト結晶粒界や合金鋼の組織現出も可能。
混合酸のグリセリン溶液	塩酸 20~30ml 硝酸 10ml グリセリン 20~30ml	Fe-Cr系を主とする合金鋼の微細組織観察に用いられる。
塩化第二銅・塩酸混合溶液	塩化第二銅 5g 塩酸 100ml メチル (エチル) アルコール 100ml 水 100ml	オーステナイト、フェライト鋼の組織観察に用いられる。混合組織ではフェライトが容易に腐食される。
ピクリン酸ソーダのアルカリ溶液	ピクリン酸 2g カセイソーダ 25g 水 100ml	セメンタイトなどの炭化物の着色。(Fe、Cr) <sub>7</sub> C <sub>3</sub> 、(Fe、Cr) <sub>23</sub> C <sub>6</sub> 、WC、VCの着色には適さない。

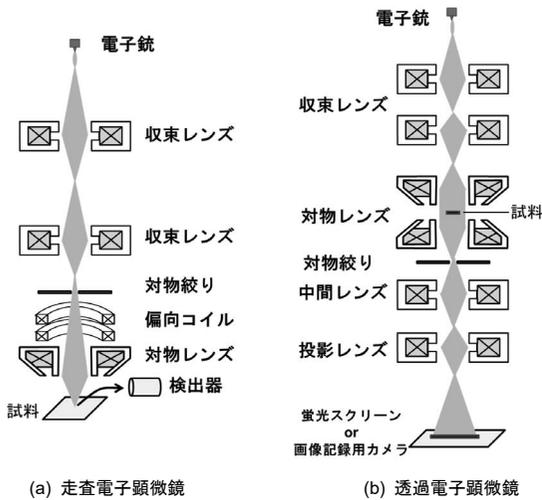


図 4 電子顕微鏡の構造

観察倍率が変化し、一般的な装置では数十倍から数万倍程度、高性能な機種では数十万倍程度の倍率で観察可能である。

一方、TEMでは図4 (b) に示されるように、電子銃から放出された電子線は収束レンズと対物レンズで調整されて観察試料に照射される。照射された電子線は観察試料内を透過し、さらに対物レンズや中間レンズ、投影レンズを通過して蛍光スクリーンもしくは画像記録用カメラ上に達し、試料の内部組織の像が記録される。各レンズの拡大倍率は大きくないが、TEMでは複数のレンズを組み合わせ使用しており、数千倍～百万倍の拡大倍率で観察が可能である。TEMを用いた観察に供される試料は一对の対物レンズの間に配置されるため、光学顕微鏡観察やSEM観察で用いられるような大きな試料を挿入することは難しく、通常は3 mm直径以下の大きさの試料が用いられる。また、試料の厚さは電子線が透過できる厚さに薄膜化されている必要があり、0.1 $\mu$ m以下の厚さが望ましい。

## 2. 観察方法の使い分け

SEMは観察試料に露出した結晶粒や炭化物、硫化物などの介在物の観察に主として用いられる。二次電子を用いた観察では、光学顕微鏡観察と同様に、試料表面の凹凸を観察することができる。SEMでは光学顕微鏡に比べて被写界深度が深いので、大きな凹凸を有する試料でも広い範囲で焦点

の合った像を観察可能である。また、反射電子を用いた観察では、介在物の組成を反映したコントラスト（組成コントラスト）や結晶粒の結晶方位を反映したコントラスト（チャネリングコントラスト）を得ることができるため、介在物に含まれる元素の判別や結晶粒の詳細な形状を把握できる。

TEMでは電子線が試料を透過するため、試料内部の組織を観察することができる。結晶粒や介在物、析出物の形状だけでなく、転位や積層欠陥といった格子欠陥の観察が可能である。また、SEMに比べて高倍率での観察が可能であるため、パーライトやベイナイト、マルテンサイトなどの微細かつ複雑な内部組織の解析に有効である。

## 3. 観察に応じた試料作製方法

二次電子を用いたSEM観察では、光学顕微鏡観察に供する試料と同様の方法で表面に凹凸を生じさせた試料を観察に供することができる。反射電子を用いたSEM観察でも、組成コントラストを観察する場合にはエッチングされた試料を観察に供することも可能であるが、チャネリングコントラストを観察する場合やEBSD測定をする場合には、試料表面に機械加工で導入された加工歪みや研磨やエッチングで生じた腐食生成物が存在していると鮮明なチャネリングコントラストや良好なEBSD測定結果を得ることができない。そこで、加工歪みや腐食生成物を除去する方法として、コロイダルシリカ懸濁液を用いたメカノケミカル研磨や電解研磨、イオンミリングなどが用いられている。電解研磨は研磨したい試料を電解溶液中に浸漬し、試料を陽極に、白金板やステンレス板を陰極に用いて直流電流を流すことで試料表面を溶解する方法である。適切な電解溶液を選択することで、表面を腐食させることなく鏡面に仕上げることが可能である。表3に示すように様々な電解溶液や電解条件が確立されている。イオンミリングはアルゴンイオンを加速して試料表面に照射し試料表面の原子を叩き出す方法で、試料に加工歪みを生じさせることなく試料表面の平滑研磨や腐食生成物の除去が可能である。

TEM観察に供する試料では、電子線を透過できる程度の薄膜にする必要がある。薄膜化の方法として電解研磨やイオンミリングが広く用いられてきたが、最近ではガリウムイオンビームを用いた

表 3 鉄鋼材料に用いられる代表的な電解溶液

電解研磨液	組 成	電解条件	用 途
酢酸と過塩素酸の混液	水酢酸 77ml 過塩素酸 23ml	50V 6A/cm <sup>2</sup> 30℃以下	オーステナイト鋼。液組成を変えることで炭素鋼、合金鋼にも適用可能。
酢酸-クロム酸溶液	水酢酸 135ml クロム酸 25g 水 7ml	25~30V 0.1~0.2A/cm <sup>2</sup> 10℃以下	炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼
リン酸-クロム酸溶液	リン酸 100ml クロム酸 50g	20V 1.5A/cm <sup>2</sup> ~80℃	炭素鋼、合金鋼
リン酸と硫酸の混液	リン酸 60ml 硫酸 40ml	9V 1.5~3.5A/cm <sup>2</sup> 60℃	ステンレス鋼

集束イオンビーム加工も頻繁に用いられるようになってきている。集束イオンビーム加工では、電解研磨やイオンミリングのような広い観察視野を得ることは難しいが、材料の極表面や亀裂先端といった局所領域から観察試料を摘出することができる。また、介在物や析出物を観察する方法として抽出レプリカ法が用いられる。抽出レプリカ法は、化学研磨や電解研磨により介在物や析出物を試料表面に露出させ、フィルムに転写させて観察する方法であり、介在物や析出物の結晶構造同定や組成同定を行う場合に有効な試料作製方法である。

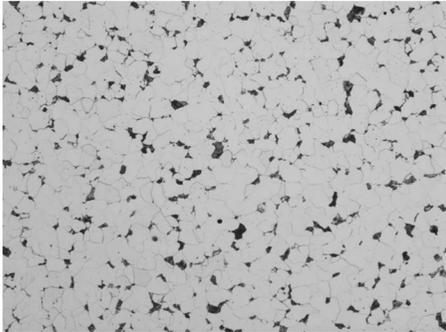
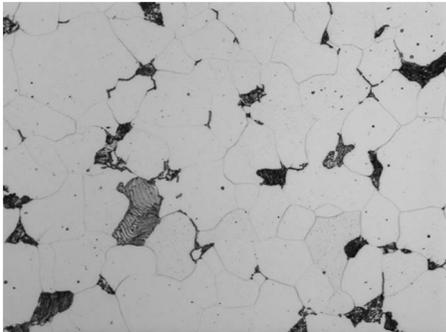
### む す び

本稿ではマイクロ組織の観察方法として光学顕微鏡やSEMおよびTEMを用いた組織観察の概要を

紹介してきた。マイクロ組織観察では、目視や光学顕微鏡を用いた観察により組織や結晶粒形状の全体像を把握した上で、SEMやTEMによる高倍率観察に進むのが定石である。組織の組成情報が必要な場合はSEM/EDSやEPMAを利用し、さらに1μm以下の極微小領域の組成情報が必要な場合はTEM/EDSやTEM/EELSを利用する。また、マイクロ組織の結晶方位情報が必要な場合はEBSDを利用するなど、必要に応じて最適な手法を選択することが重要である。複数の手法の組み合わせにより総合的な情報を取得することもマイクロ組織の特徴を正確に把握する上で非常に有効である。本稿を通じてマイクロ組織観察への興味が深まり、製品開発や製品管理、製造工程管理の一助となれば幸いである。

## Ⅱ. ミクロ組織各論

### 1. 炭素鋼

鋼種	S10C	主要成分	0.10C-0.17Si-0.36Mn-0.016P-0.012S
状態	焼きなまし	熱処理等	925℃×30min→炉冷
 <p>写真 ×100: 光顕 200μm</p>		 <p>写真 ×400: 光顕 50μm</p>	
<p>&lt;試料&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Φ90丸棒</li> </ul> <p>&lt;エッチング条件等&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ピクルアル (ピクリン酸4g+エタノール100cc)</li> </ul>			

#### <解説>

##### ■焼きなまし処理の特徴

- ・焼きなまし処理は鋼をオーステナイト状態まで加熱、保持し、徐冷によりフェライト・パーライト組織を得る処理である。焼きなましは成分均一化、内部応力の除去、切削・塑性加工を容易にするための軟化などいくつかの目的のために行われる処理である。

##### ■組織を見る上でのポイント

- ・焼きなまし後の組織はフェライト及びパーライトで構成されている。光学顕微鏡（明視野）で観察すると、フェライトは白色部、パーライトは黒色部として観察される。パーライトは板状のフェライトとセメンタイトの層状構造（ラメラ構造）となっている。電子顕微鏡を用いると、S10C焼きなまし材に示す通り、層状構造が確認できる。

表 JIS規格

種類の記号	化学成分 %					熱処理, °C			
	C	Si	Mn	P	S	焼きならし	焼きなまし	焼入れ	焼戻し
S10C	0.08~0.13	0.15~0.35	0.30~0.60	≤0.030	≤0.035	900~950 空冷	約900 炉冷	-	-

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 構造材料第二研究室 やまざき あゆみ  
山崎 歩見

鋼種	S10C	主要成分	0.10C-0.17Si-0.36Mn-0.016P-0.012S
状態	焼きならし	熱処理等	925℃×30min→空冷

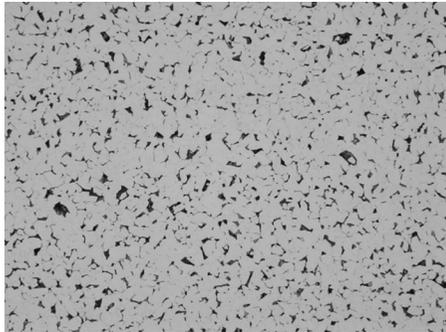


写真 ×100：光顕 200μm

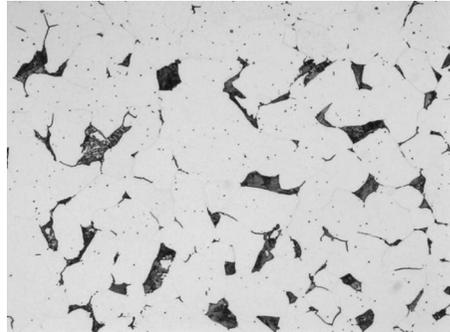


写真 ×400：光顕 50μm

<試料>

Φ90丸棒

<エッチング条件等>

ピクラル（ピクリン酸4g+エタノール100cc）

<解説>

■焼きならし処理の特徴

・焼きならし処理は鋼をオーステナイト状態まで加熱、保持し、オーステナイト粒を微細化し、空冷相当で冷却することにより、微細かつ均質なフェライト・パーライト組織を得る処理である。

■組織を見る上でのポイント

・焼きならし後の組織は、前述した焼きなまし後と同様のフェライト・パーライト組織であるが、冷却速度が大きいいため、焼きなまし材対比細かい組織が得られている。また、電子顕微鏡を用いてパーライト部を観察すると、板状のフェライトとセメンタイトの層状構造（ラメラ構造）が確認できる（下図）。この場合、フェライトは黒色部、セメンタイトが白色部として観察される。冷却速度が大きい焼きならし材の方が低温でパーライト変態が生じるため、細かい層状組織が得られていることが分かる。

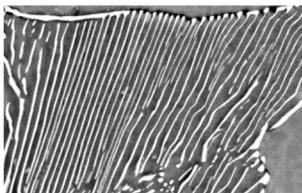


図 焼きなまし材のP°-ライト

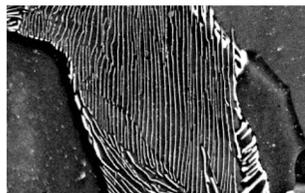


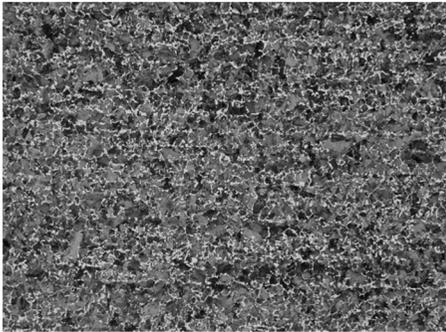
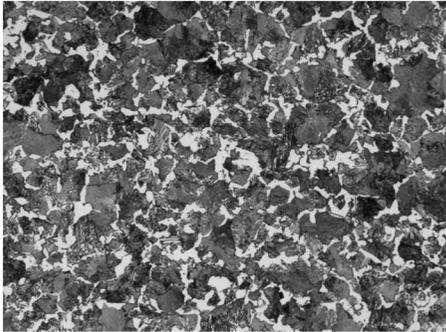
図 焼きならし材のP°-ライト

2μm

■主な用途

・比較的強度を必要としないピンやナット、小物軸類に多く用いられる。また、炭素量が少なく溶接性に優れるので、配管継ぎ手など溶接構造部品としても広く使用されている。

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 構造材料第二研究室 やまざき あゆみ  
山崎 歩見

鋼種	S55C	主要成分	0.55C-0.25Si-0.75Mn-0.015P-0.015S
状態	焼きなまし	熱処理等	850℃×30min→空冷
 <p>写真 ×100：光顕 200μm</p>		 <p>写真 ×400：光顕 50μm</p>	
<p>&lt;試料&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Φ40丸棒</li> </ul> <p>&lt;エッチング条件等&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ピクラル（ピクリン酸4g+エタノール100cc）</li> </ul>			

<解説>

■組織を見る上でのポイント

- ・組織はS10Cと同様にフェライト・パーライトで構成されている。炭素量増加に伴いセメンタイトが増えるため、S10C対比パーライト分率が高いことが分かる。初析フェライトは旧オーステナイト粒界から優先的に析出している。

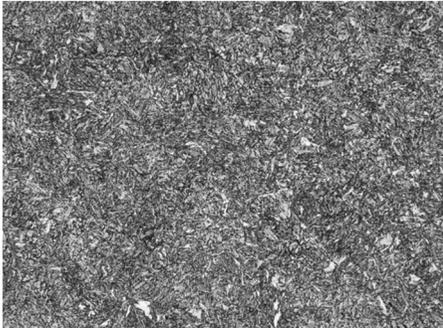
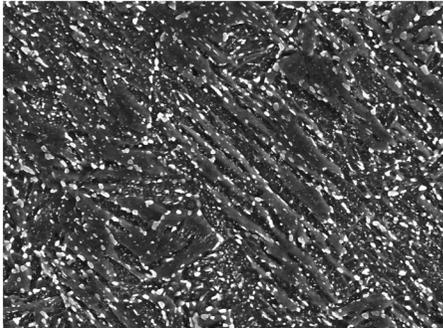
■主な用途

- ・冷間鍛造部品として用いる場合、焼きならし組織ままでは高硬度なので冷間加工を行うことが困難である。通常は、軟化処理（焼きなまし、球状化焼きなまし等）を行い、所定の形状に加工し、後述する焼入れ焼戻しを行うことでマルテンサイト組織を作り込み、機械的性質を向上させる。それによって特性を向上させ、幅広い用途に使用されている。代表的なところでは、工具類やコネクティングロッドやピン、歯車等、強度を要する部品に使用される。また、トラック車軸など大物部品に用いられることもある。

表 JIS規格

種類の記号	化学成分 %					熱処理, °C			
	C	Si	Mn	P	S	焼きならし	焼きなまし	焼入れ	焼戻し
S55C	0.52~0.58	0.15~0.35	0.60~0.90	≤0.030	≤0.035	800~850 空冷	約790 炉冷	800~850 水冷	550~650 急冷

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 構造材料第二研究室 やまざき あゆみ 山崎 歩見

鋼種	S55C	主要成分	0.55C-0.25Si-0.75Mn-0.015P-0.015S
状態	焼入れ、焼戻し	熱処理等	850℃×30min→水冷 600℃×30min→水冷
 <p>写真 ×400 : 光顕 50µm</p>		 <p>写真 ×10,000 : SEM 1µm</p>	
<p>&lt;試料&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Φ40丸棒</li> </ul> <p>&lt;エッチング条件等&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナイトール（硝酸1-2cc+エタノール100cc）</li> </ul>			

<解説>

■焼入れ、焼戻し処理の特徴

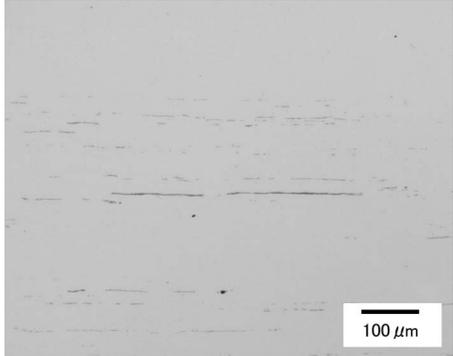
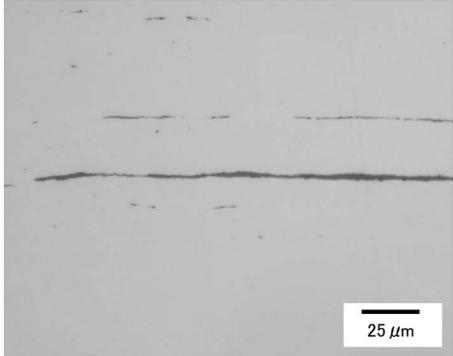
- ・焼入れ処理は鋼をオーステナイト状態まで加熱、保持し、フェライト・パーライト変態が生じない臨界冷却速度以上で急冷することによって炭素が過飽和に固溶したマルテンサイト組織を得る処理である。
- ・焼入れままのマルテンサイト組織を有する鋼は非常に硬い反面、脆い傾向があり、実際の使用に耐えられない場合が多い。また、残留応力や残留オーステナイトの存在により、経時寸法変化や割れが生じる恐れがある。それらを防止する目的で焼戻し処理が行われる。焼戻し処理により不安定な組織であるマルテンサイト（及び残留オーステナイト）は安定的なフェライトと極微細な粒状セメンタイトに変化する。

■組織を見る上でのポイント

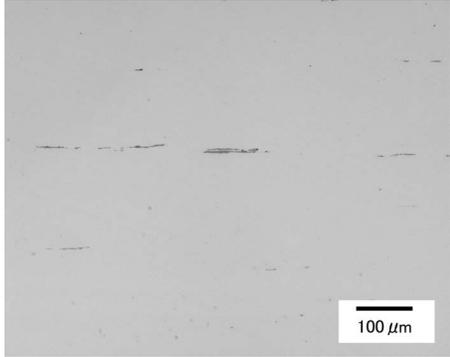
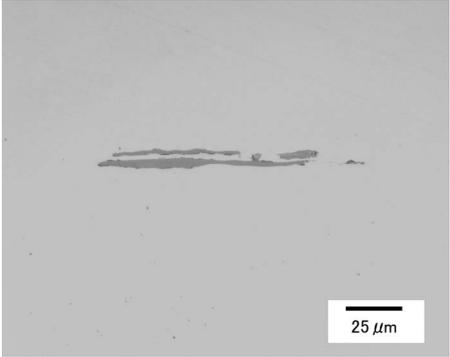
- ・光学顕微鏡で観察すると（左写真）、セメンタイト周囲が腐食され、全体的に黒ずんだ組織を呈する。極微細な粒状セメンタイトは光学顕微鏡レベルでは観察することが難しく、電子顕微鏡などを用いて高倍率で観察することで初めて観察できる。電子顕微鏡で観察した右写真においては、白色の粒状セメンタイトが分散している状況が確認できる。

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 構造材料第二研究室 やまぎき あゆみ 山崎 歩見

## 2. 快削鋼

鋼種	S50CS1	主要成分	0.5C-0.85Mn-0.05S
状態	熱間圧延材	熱処理等	圧延まま
 <p>写真1 (×100)</p>		 <p>写真2 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt;          φ33圧延材を圧延長手方向に縦割りし、バフ研磨まで実施          &lt;エッチング条件等&gt;          エッチング無し</p>			

<p>&lt;解説&gt;</p> <p>1. 硫黄快削鋼について          硫黄快削鋼は、少量のS(硫黄)を添加して被削性を向上させた鋼である。JIS G 4804において、硫黄快削鋼(SUM22、23など)が規定されている。また自動車技術会規格JASO M106(自動車構造用鋼鋼材)において、被削性改善鋼に対する成分の追加又は変更としてS添加が規定されており、S添加量によって鋼種名に付加記号S0～S2が付記される。今回マイクロ組織を示したS50CS1は、炭素鋼S50C(Mn増量)にSを0.04～0.07%添加した鋼である。</p> <p>2. 硫黄快削鋼の被削性改善メカニズム          硫黄快削鋼は、鋼中のSがMnと結びつきMnSを形成し、この硫化物が切削加工時の高速変形時に切欠として作用し、その応力集中作用によって切屑を分断させることにより、被削性が改善される。MnSは鋼中に安定して存在し応力集中作用を有するため、硫黄快削鋼は広範囲な切削条件で被削性改善効果を示す。</p> <p>3. 硫黄快削鋼の特徴          硫黄快削鋼中のMnSは熱間圧延や熱間鍛造によって変形し、圧延・鍛造方向に細く伸びた介在物として存在する。写真1、2にS50CS1φ33圧延材の圧延方向断面で観察したMnSを示すが、圧延方向に延伸している様子が観察される。</p> <p>硫黄快削鋼は延伸したMnSの存在により、圧延、鍛造方向とその直角方向で機械的性質が異なる異方性を生じ、圧延、鍛造方向に対して直角方向での機械的性質(特に靱性、延性)が低下する。そのため、適用部品によっては強度特性に影響を及ぼす場合があり、注意が必要である。また、MnSのアスペクト比(長軸と短軸との比)は切削加工での仕上面粗さに影響するとの報告もある。これらのことから、硫黄快削鋼においてMnSの存在状態(大きさ、延伸状態)を観察することは、その機械的性質や被削性を考察する上で極めて重要である。</p> <p style="text-align: right;">愛知製鋼(株) 品質保証部 お客様品質・技術室 <small>すぎもと あつし</small>  <small>杉本 淳</small></p>
--

鋼種	S48CL2	主要成分	0.48C-0.75Mn-0.15Pb
状態	熱間圧延材	熱処理等	圧延まま
 <p>写真 1 (×100)</p>		 <p>写真 2 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt;  φ65圧延材を圧延長手方向に縦割りし、バフ研磨まで実施  &lt;エッチング条件等&gt;  エッチング無し</p>			

<解説>

- 鉛快削鋼について  
鉛快削鋼は、Pb（鉛）を添加して被削性を向上させた鋼である。自動車技術会規格JASO M106（自動車構造用鋼鋼材）において、被削性改善鋼に対する成分の追加又は変更としてPb添加が規定されており、Pb添加量によって鋼種名に付加記号L1～L2が付記される。今回マイクロ組織を示したS48CL2は、炭素鋼S48CにPbを0.10～0.30%添加した鋼である。
- 鉛快削鋼の被削性改善メカニズム  
鉛快削鋼は、Pbは融点が327℃と低いことから、切削時に発生する加工熱によって鋼中のPbが溶融し、その脆化作用によって切屑を分断して切屑処理性を向上させるとともに、工具表面と切屑やワークとの間で潤滑作用を示し、工具摩耗を抑制して被削性を改善する。
- 鉛快削鋼の特徴  
溶鋼中のPbは鋼の凝固に伴い微細に晶出し、Pb単体およびMnSなどの非金属介在物と共存して鋼中に存在する。写真1、2にS48CL2φ65圧延材の圧延方向断面で観察された介在物を示すが、写真中のグレーの延伸したものはMnSである。写真3には、写真2と同じ視野で走査電子顕微鏡にて観察したMnSを示すが、SEM-EDX分析により、延伸するMnSの近傍にPb（白色の箇所）が存在している様子が確認された。

鉛快削鋼のPbは圧延方向に大きく延伸せず、粒状に近い形で存在するため、硫黄快削鋼と比較して異方性や機械的性質の劣化は少ない。そのため、炭素鋼の他、合金鋼、工具鋼にもPbが添加されてきた。ただし、Pbは環境負荷物質であることから、Pb代替快削鋼が望まれており、各社からPbフリー快削鋼が開発されている（Mg-Ca-S快削鋼、BN快削鋼、Ti硫化物快削鋼、MnS微細分散鋼など）。

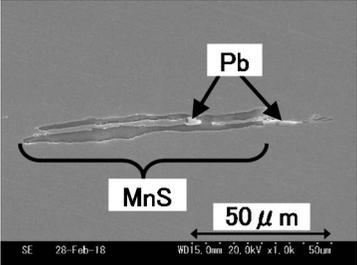
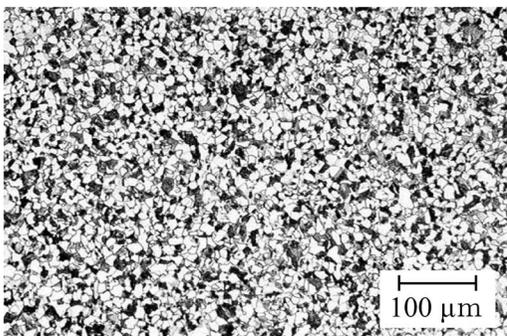
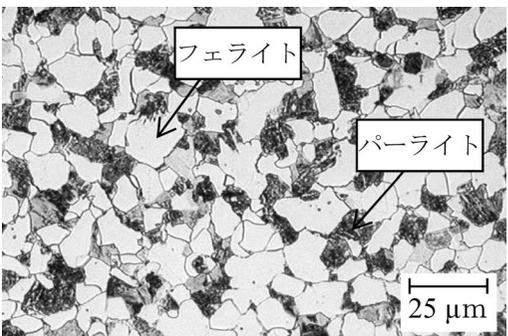


写真3 走査電子顕微鏡像

愛知製鋼(株) 品質保証部 お客様品質・技術室 すぎもと あつし  
杉本 淳

### 3. 合金鋼

鋼種	SCM420H	主要成分 (mass%)	C : 0.20%、Si : 0.25% Cr : 1.12%、Mo : 0.15%
状態	焼ならし	熱処理等	925℃加熱→空冷
 <p>写真 (a) 焼ならし組織 (×100)</p>		 <p>写真 (b) 焼ならし組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; 製品寸法：φ20mm &lt;エッチング条件等&gt; ナイトール腐食、光学顕微鏡観察</p>			

#### <解説>

焼ならしは、 $A_3$ 変態点以上の温度に加熱して均一なオーステナイト組織とし、その後の冷却により均一なフェライト+パーライト組織を得る熱処理である。焼ならしによって得られるフェライト+パーライト組織は微細なため、機械的性質や加工性の改善に活用できる。

写真 (a)(b) は、SCM420H鋼φ20mm材を925℃でオーステナイト化し、その後、空冷した焼ならし組織で、硬さは176HVである。均一なフェライト+パーライト組織が得られており、写真中の白い部分がフェライト、黒い部分がパーライトである。パーライトはフェライトとセメンタイトが層状に重なった組織であり、この層構造はラメラと呼ばれる。ラメラ間隔は冷却速度が遅いほど広くなるため、冷却速度が遅い場合は、光学顕微鏡でもラメラを観察できることがある。フェライト+パーライト組織の硬度や靱性は、ラメラ間隔やフェライト結晶粒径、フェライト分率によって変化することが知られている。

右の写真 (c) は、同じSCM420H鋼φ20mm材を925℃でオーステナイト化した後、強風冷したもので、ベイナイトの生成が認められる。写真 (c) の矢印部分がベイナイトであり、さらに拡大すれば、フェライトとその周囲に析出した微細なセメンタイトにより構成されていることが分かる。ベイナイトが混在した組織は硬くなり、切削加工に悪影響を及ぼす場合がある。なお、写真 (c) のベイナイトを含む組織の硬さは225HVである。ベイナイトとパーライトは、低倍では判別し難いことから、ベイナイトの生成有無を判断する場合は400倍以上の高倍率で観察することが望ましい。

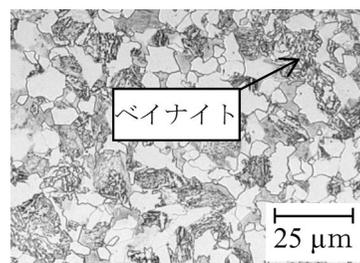
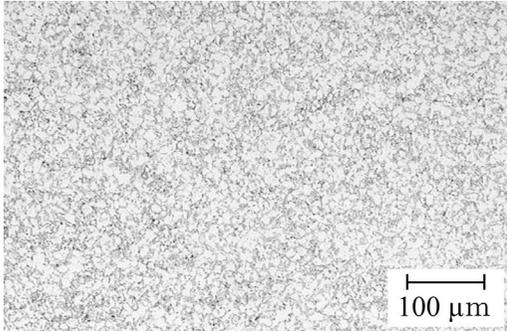
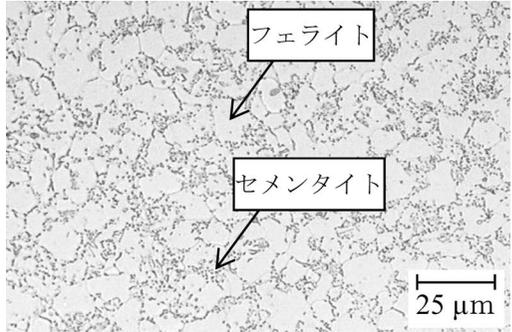


写真 (c) 焼ならし組織  
(SCM420H、925℃加熱→強風冷)

鋼種	SCM420H	主要成分 (mass%)	C : 0.20%、Si : 0.25% Cr : 1.12%、Mo : 0.15%
状態	球状化焼なまし	熱処理等	760℃加熱→徐冷
 <p>写真 (a) 球状化焼なまし組織 (×100)</p>		 <p>写真 (b) 球状化焼なまし組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; 製品寸法：φ20mm &lt;エッチング条件等&gt; ピクラール腐食、光学顕微鏡観察</p>			

<解説>

球状化焼なましは、鋼材を軟質化するためにセメントライトを球状化させる処理である。球状化焼なましでは $A_{c1}$ 点直上の加熱により層状のセメントライトを一部溶解させた後、 $A_{r1}$ 点直下での等温保持や、徐冷によって残存したセメントライトを球状に成長させる。球状化焼なましは、塑性加工性が向上するため、SCM420Hのような肌焼鋼では、冷間鍛造などの前処理に適用されることが多い。

写真 (a) (b) は、SCM420H鋼φ20mmを760℃に加熱した後、徐冷した球状化焼なまし組織である。この球状化焼なましは徐冷法と呼ばれ、他にも、長時間加熱法、繰り返し加熱冷却法、等温変態法といった方法が実用されている。写真 (a) (b) において、黒く小さな粒状に見えるものがセメントライト、基地の白い部分がフェライトである。前組織の硬さが176HVであったのに対し、球状化焼なまし組織の硬さは133HVと軟質化している。

セメントライトは微細なため、球状化の程度を確認するには倍率400倍以上での観察が望ましい。JIS G 3509-2では、被検面を倍率400倍で観察した時の球状化の程度を3段階で区分した標準写真が示されており、球状化判定の参考とすることができる。

右の写真 (c) は、写真 (a) (b) と同じ鋼であるが、球状化焼なましにおける加熱温度が低いために、層状のセメントライトが残存した組織である。この組織の硬さは154HVであり、写真 (a) (b) の組織と比較して硬い。球状化焼なましにおいては、セメントライトを十分に大きく球状化させ、均一に分散させた方が軟質にでき、加工性が向上する。

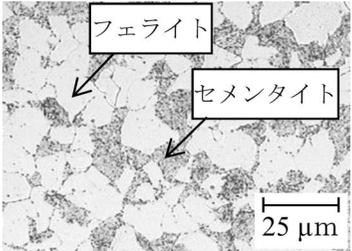
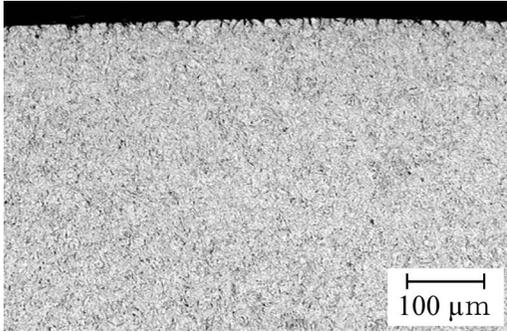
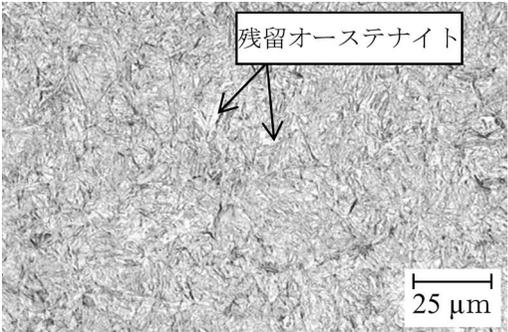


写真 (c) 球状化焼なまし組織 (SCM420H 660℃加熱→徐冷)

鋼種	SCM420H	主要成分 (mass%)	C : 0.20%、Si : 0.25% Cr : 1.12%、Mo : 0.15%
状態	浸炭焼入れ	熱処理等	930℃浸炭→850℃保持 →油焼入れ
 <p>写真 (a) 浸炭焼入れ組織 (×100)</p>		 <p>写真 (b) 浸炭焼入れ組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; 製品寸法：φ30mm &lt;エッチング条件等&gt; ナイトール腐食、光学顕微鏡観察</p>			

<解説>

肌焼鋼を用いた機械部品において、浸炭焼入れは疲労強度や耐摩耗性を向上させる目的で適用される。浸炭焼入れでは、オーステナイト域において表面から炭素を侵入させた後、やや低温のオーステナイト域から焼入れする方法が一般的である。浸炭表面は、高炭素化により $M_s$ 点（マルテンサイト変態の終了温度）が室温以下となるため、マルテンサイトと残留オーステナイトの混合組織となる。

写真 (a) (b) に浸炭焼入れ後のマルテンサイト+残留オーステナイト組織を示す。レンズ状の黒色あるいは灰色の部分がマルテンサイト、その間に見える白い部分が残留オーステナイトである。残留オーステナイトは、表面炭素濃度が高いほど増加しやすい。残留オーステナイトはマルテンサイトよりも軟質なため、残留オーステナイトが増えるほど硬さが低下する。なお、写真 (a) (b) の表面炭素濃度は、0.81%であり、表層30μm深さにおける硬さは759HVである。

ガス浸炭された鋼材表面は、Si、Mn、Cr等の鉄よりも酸化されやすい合金元素が選択酸化されるため、粒界酸化が形成される。粒界酸化の周辺部は、合金元素の欠乏によって焼入れ性が低下するため、不完全焼入れ組織（微細パーライト、ベイナイト）となる。粒界酸化と不完全焼入れ組織は浸炭異常層と総称され、疲労強度や耐摩耗性を低下させる原因となる。写真 (c) において表面下に認められる黒い部分が浸炭異常層である。

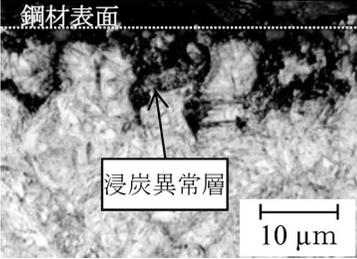


写真 (c) 浸炭焼き入れ材表層

新日鐵住金(株) 八幡製鐵所 品質管理部 棒線管理第一室 ほりかみ さだのり  
堀上 禎悟

鋼種	SCM435H	主要成分 (mass%)	C : 0.35%、Si : 0.20% Cr : 1.12%、Mo : 0.17%
状態	焼ならし	熱処理等	870℃加熱→炉冷

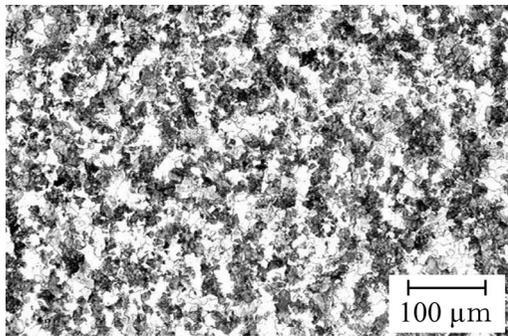


写真 (a) 焼ならし組織 (×100)

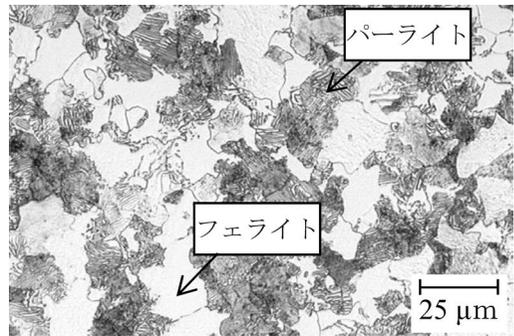


写真 (b) 焼ならし組織 (×400)

<試料>

製品寸法：φ32mm

<エッチング条件等>

ナイトール腐食、光学顕微鏡観察

<解説>

焼ならしは、 $A_3$ 変態点以上の温度に加熱して均一なオーステナイト組織とし、その後の冷却により均一なフェライト+パーライト組織を得る熱処理である。焼ならしによって得られるフェライト+パーライト組織は微細なため、機械的性質や加工性の改善に活用できる。

写真 (a) (b) は、SCM435H鋼φ32mm材を870℃でオーステナイト化した後、炉冷した焼ならし組織で、フェライト+パーライト組織となっている。写真 (a) (b) において、白い部分がフェライト、黒い部分がパーライトであり、硬さは176HVである。炉冷で冷却速度が遅いため、パーライトのラメラが観察できる。焼ならし組織の観察にあたっては、フェライトとパーライトの分率にも目を向けると良い。同一成分の鋼材ならば、加熱が低温でオーステナイト粒径が微細であるほど、フェライト変態核となるオーステナイト粒界（三重点）が増加するため、焼ならし組織におけるフェライト分率が増す。加えて、焼ならし時の冷却速度が遅いほど、フェライトが大きく成長するため、フェライト分率が増加する。

一方、右の写真 (c) は、同じSCM435H鋼φ19mm材を870℃でオーステナイト化した後に空冷したもので、フェライト+ベイナイト組織となっている。ベイナイトはパーライトよりも硬いため、写真 (c) の組織は写真 (a) (b) のフェライト+パーライト組織よりも硬く、317HVである。SCM435Hに代表される強靱鋼は、同等の合金成分を有するSCM420H等の肌焼鋼よりも炭素量が多く、焼き入れ性が高いため、焼ならしにおいて空冷した場合にベイナイトを生成しやすい。焼ならしにより軟質化を求める場合は、フェライト+パーライト組織が得られるように、炉冷などの緩冷却を適用すると良い。

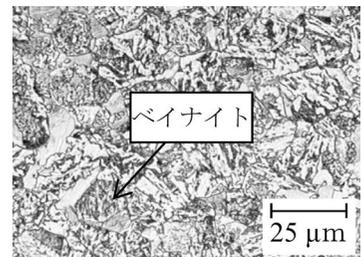
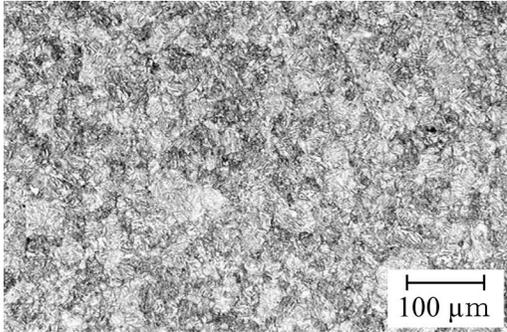
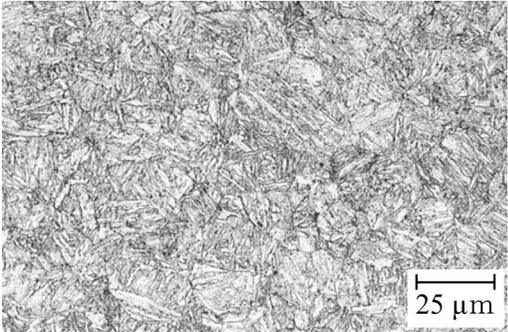
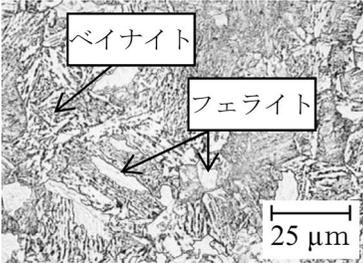
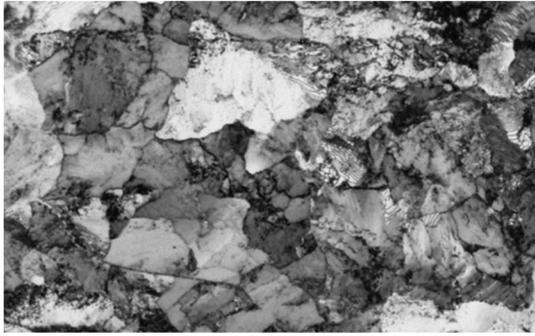
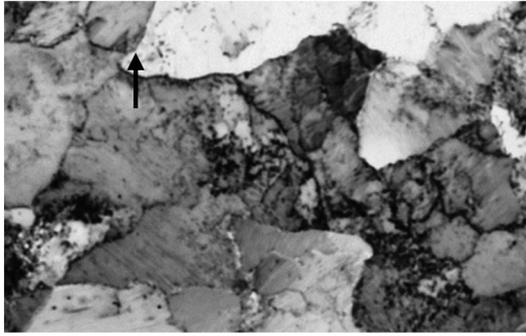


写真 (c) 焼ならし組織  
(SCM435H 870℃加熱→空冷)

鋼種	SCM435H	主要成分 (mass%)	C : 0.35%、Si : 0.20% Cr : 1.12%、Mo : 0.17%
状態	焼入れ・焼戻し	熱処理等	870℃加熱→油焼入れ 570℃加熱→水冷
 <p>写真 (a) 焼入れ・焼戻し組織 (×100)</p>		 <p>写真 (b) 焼入れ・焼戻し組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; 製品寸法：φ19mm &lt;エッチング条件等&gt; ナイトール腐食、光学顕微鏡観察</p>			

<p>&lt;解説&gt; 焼入れは、オーステナイト状態に加熱した後、その鋼の上部臨界冷却速度以上で冷却することで硬いマルテンサイト組織を得る熱処理である。焼入れたままのマルテンサイトは脆いため、<math>A_1</math>点以下の適当な温度に加熱保持する焼戻しを組み合わせ、強度と靱性のバランスがとれた組織とする。マルテンサイトは炭素量の増加に伴って硬くなるが、炭素量が0.8%を超えると残留オーステナイトが増加するため、硬さは上昇しにくくなる。また、焼戻し温度によって硬さを調整することが可能であり、硬さや耐摩耗性を求める場合は150～200℃の低温焼戻し、高い靱性を求める場合は550℃～<math>A_1</math>点以下の高温焼戻しが適用される。</p> <p>写真 (a) (b) は、SCM435H鋼φ19mmを870℃でオーステナイト化した後に油焼入れし、その後570℃で焼戻しを行った組織である。マルテンサイト形態の高転位密度を引き継いだフェライト中にセメントイトが析出しており、硬さは370HVである。析出したセメントイトは微細であるが、1,000倍程度の高倍率であれば分散した粒状に観察できる。</p> <p>右の写真 (c) は、前述と同じ工程に供したSCM435H鋼φ65mmの中心組織である。写真 (c) の位置は、焼入れ時の冷却速度が上部臨界冷却速度未満であったために、フェライトとベイナイトが生成、混在している。フェライトやベイナイトが生成した組織は、マルテンサイト単相組織より軟らかいため、所望の耐摩耗性や疲労強度が得られない原因となりうる。なお、写真 (c) の硬さは279HVであり、写真 (a)、(b) よりも軟らかい。</p>	
 <p>写真 (c) 焼入れ・焼戻し組織 (SCM435H 870℃加熱→油焼入れ 570℃加熱→水冷)</p>	
<p>新日鐵住金(株) 八幡製鐵所 品質管理部 棒線管理第一室 堀上 禎悟</p>	

## 4. 軸受鋼

鋼種	SUJ2	主要成分	1.0C-0.25Si-0.40Mn-1.45Cr
状態	熱間圧延材	熱処理等	-
 <p>写真 (×400) 50 μm</p>		 <p>写真 (×1000) 20 μm</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ40中周部 &lt;エッチング条件等&gt; 5%ナイトール腐食、光学顕微鏡観察</p>			

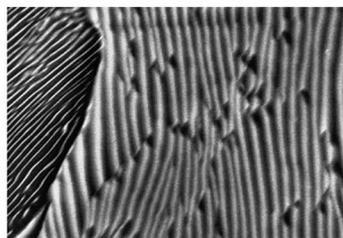
### <解説>

一般的な軸受鋼としては、JIS G 4805で規定されている4種類の高炭素クロム軸受鋼(下表)が代表的であり、特にSUJ2が多く生産・使用されている。これらは0.95~1.10mass%のCと0.90~1.60mass%のCrを含有し、高い焼入れ性が必要な部品にはSUJ2に替えてMn増量やMo添加を図ったSUJ3、SUJ5等が用いられる。

表 JIS G 4805 高炭素クロム軸受鋼の主要化学成分 (mass%)

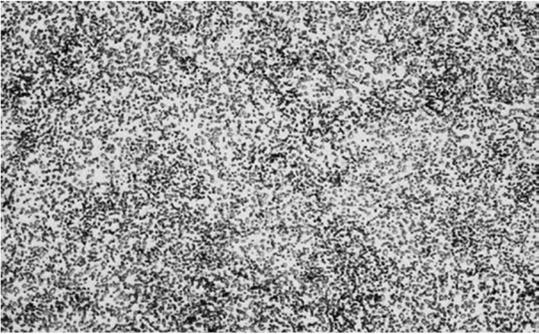
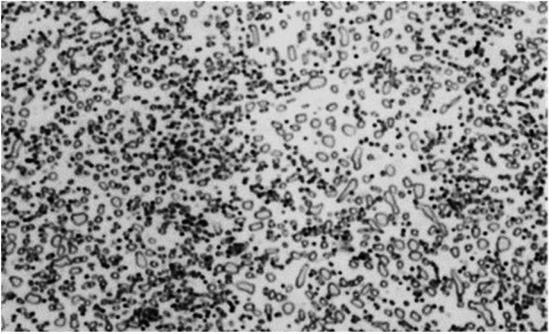
種類の記号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SUJ2	0.95~1.10	0.15~0.35	0.50以下	0.025以下	0.025以下	1.30~1.60	-
SUJ3	0.95~1.10	0.40~0.70	0.90~1.15	0.025以下	0.025以下	0.90~1.20	-
SUJ4	0.95~1.10	0.15~0.35	0.50以下	0.025以下	0.025以下	1.30~1.60	0.10~0.25
SUJ5	0.95~1.10	0.40~0.70	0.90~1.15	0.025以下	0.025以下	0.90~1.20	0.10~0.25

上記写真は、鏡面研磨後に5%ナイトールで腐食したSUJ2熱間圧延材のミクロ組織を光学顕微鏡で観察したものである。SUJ2の熱間加工材におけるミクロ組織形成は次のような過程をたどる。まず、熱間加工時の加熱温度ではオーステナイト単相であり、熱間加工後に冷却(空冷)される過程でオーステナイト粒界に沿って初析セメンタイトが若干量析出し、その後の冷却過程においてオーステナイトがパーライトと呼称されるフェライトとセメンタイト(Fe<sub>3</sub>C)の共析組織に変化する。これにより、上記写真に示すようなパーライト組織主体のミクロ組織となる。ただし、光学顕微鏡観察では、倍率1,000倍の写真においてもパーライトの組織構造を十分に観察することは困難である。これは走査型電子顕微鏡を用いれば十分に観察が可能であり、倍率1,000倍の写真の矢印位置付近を倍率6,000倍で観察した右写真において、フェライトとセメンタイト(Fe<sub>3</sub>C、写真上では白く見える部分)が交互に層状に並んだパーライト組織特有の組織構造が明瞭に確認される。



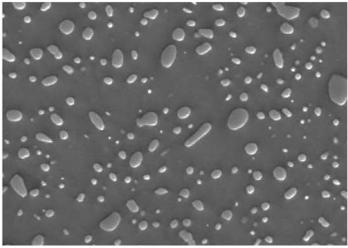
電子顕微鏡写真(×6000) 2 μm

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 基盤研究室 材料研究グループ すぎもと としゆき 杉本 隼之

鋼種	SUJ2	主要成分	1.0C-0.25Si-0.40Mn-1.45Cr
状態	球状化焼なまし	熱処理等	800℃から徐冷
 <p>写真 (×400) 50 μm</p>		 <p>写真 (×1000) 20 μm</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ65中周部 &lt;エッチング条件等&gt; ピクラール腐食、光学顕微鏡観察</p>			

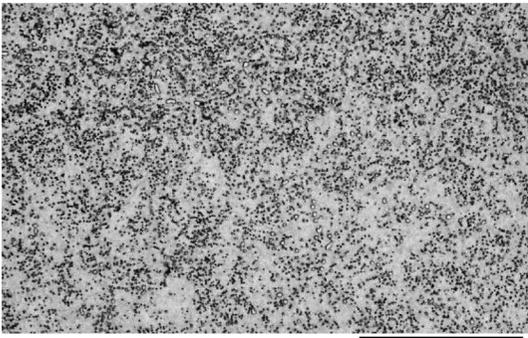
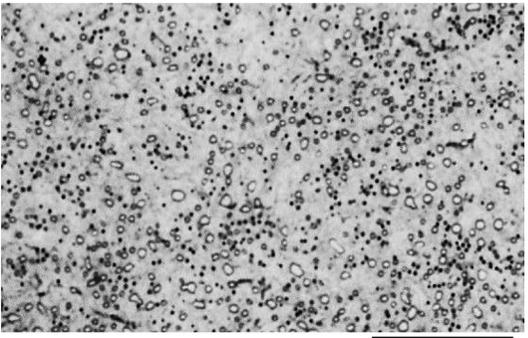
<解説>  
高炭素クロム軸受鋼は、熱間加工品または熱間圧延材の状態ではパーライト主体のマイクロ組織であり、ロックウェル硬さで30HRC以上程度の硬さとなる。このままの状態の硬さやマイクロ組織（フェライトと硬質なセメンタイトが交互に並んだ層状組織）では、部品製造過程における被削性や冷間加工性を低下させることから、その改善のため球状化焼なましが施される。球状化焼なましの方法として、一般的にオーステナイトとセメンタイトの二相の共存温度域である780～810℃程度（SUJ3、SUJ5では760～790℃程度）まで加熱保持後に650℃程度まで徐冷する方法が採られる。この過程で、熱間加工された軸受鋼素材におけるパーライト組織中のセメンタイト（炭化物のFe<sub>3</sub>C）は一部が固溶して細かく分断され、球状化することを通じて、加工が容易な硬さレベルにまで素材硬さが低減する。この際、加熱温度が低すぎると熱間加工された素材におけるパーライト組織が残存し、高すぎても徐冷中に析出したパーライトを含んだ組織となる。これらはいずれも球状化不良のマイクロ組織となるので、適切な球状化焼なまし条件を設定する必要がある。

上記写真は光学顕微鏡で撮影したSUJ2の球状化焼なまし材のマイクロ組織である。その母相はフェライトであり、そのなかに球状化した微細な炭化物（セメンタイト）が均一に分散した組織となっている。右写真は、その炭化物形態をさらに明瞭に示すため走査型電子顕微鏡を用いて倍率3,000倍で観察したものである。なお、球状化焼なましによって炭化物を球状化させておく工業上の利点として、良好な被削性や冷間加工性を確保すること以外に焼入れ作業を容易にしていることが挙げられる。球状炭化物は、適正な焼入れ加熱温度においては急速に母相に溶解することはないため、焼入れ作業の過程で母相中に炭素が過剰に溶け込むことを防いでいる。



電子顕微鏡写真(×3000) 5 μm

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 基盤研究室 材料研究グループ すぎもと としゆき  
杉本 隼之

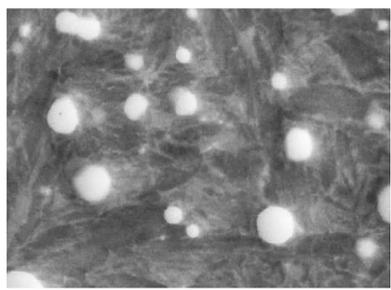
鋼種	SUJ2	主要成分	1.0C-0.25Si-0.40Mn-1.45Cr
状態	焼入焼戻し	熱処理等	焼入れ 835℃-30min. 油冷 焼戻し 180℃-90min. 空冷
 <p>写真 (×400) 50μm</p>		 <p>写真 (×1000) 20μm</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ15中周部 &lt;エッチング条件等&gt; ピクラール腐食、光学顕微鏡観察</p>			

<解説>

高炭素クロム軸受鋼は、球状化焼なまし後に軸受等の部品形状に加工されてから、一般に焼入焼戻しして使用される。軸受には良好な寿命特性や耐摩耗性が求められており、焼入焼戻し後の母相中の炭素量としては0.5%程度にしておくのが良いとされる。この場合、添加された炭素量の半分程度は炭化物中に固溶して存在することとなり、球状化焼なまし材を焼入焼戻しした後のマイクロ組織において、多くの球状炭化物（セメンタイト）の残存が観察される。

上記写真は、光学顕微鏡で撮影したSUJ2鋼の焼入焼戻し材のマイクロ組織であり、ピクラールで腐食することで母相中の球状炭化物が分散している様子を明瞭に観察することができる。一方、母相の方は焼入焼戻しの過程で微細構造を有する硬い焼戻しマルテンサイト組織になっており、光学顕微鏡で観察した試料を走査型電子顕微鏡により倍率10,000倍で観察したものでは、右下写真に示すように球状炭化物が分散した母相が微細な組織によって構成されている様子を確認することができる。

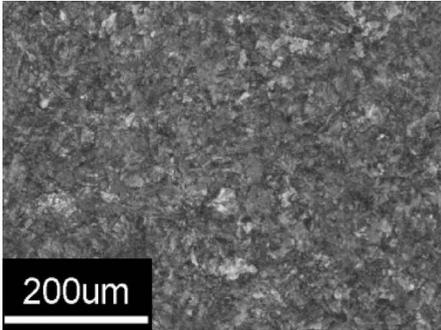
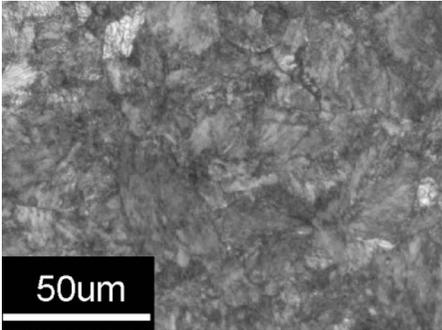
標準的な焼入焼戻し処理として、オーステナイトとセメンタイトの二相の共存温度域である800℃～840℃程度に加熱し、オーステナイト中に球状炭化物を適度に溶かし込んだ後、焼入れ（油中あるいは水中で急冷）することによりロックウェル硬さで60HRCを超える程度のマルテンサイト組織とし、さらに狙いの硬さに応じて120℃～200℃で1～2時間程度の焼戻しが施されている。

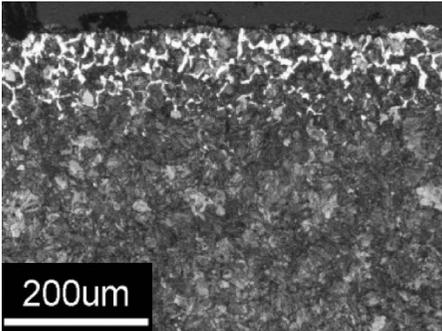


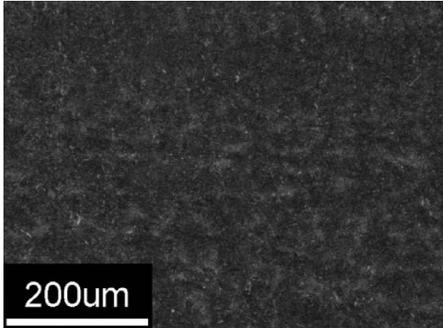
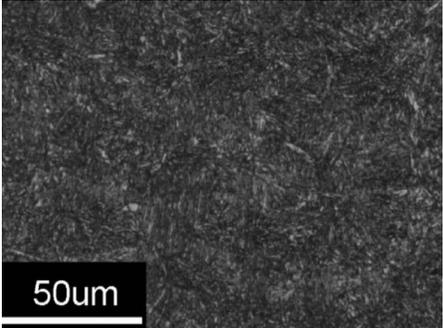
電子顕微鏡写真 (×10000) 1μm

すぎもと としゆき  
 山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 基盤研究室 材料研究グループ 杉本 隼之

## 5. ばね鋼

鋼種	SUP9	主要成分	Mn-Cr鋼
状態	受入状態	熱処理等	圧延まま
 <p>写真 1 (×100)</p>		 <p>写真 2 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt;          連続鑄造鑄片→熱間圧延→φ45丸棒→冷却床上にて空冷</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt;          ナイタル溶液にて腐食後、光学顕微鏡にて直径の1/4部及び表層を観察</p>			

<p>&lt;解説&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>組織を見る上でのポイント</li> </ul> <p>ばね鋼鋼材のSUP9は合金成分として炭素を質量パーセントで0.6%前後含有している。鉄-炭素系状態図においてオーステナイト領域から徐冷し、<math>Ac_1</math>変態点<math>727^{\circ}C</math>に達した時にマイクロ組織全体にパーライトが生じる共析鋼の炭素量0.77%より炭素量が少なく、SUP9は亜共析鋼に分類される。亜共析鋼は徐冷した時に初析フェライトとパーライトが混合したマイクロ組織が生じる。</p> <p>写真1および2は丸棒内部(直径の1/4部)のマイクロ組織である。初析フェライトはほとんど見られず、全体がパーライトを呈している。パーライトを高倍率で観察すると、フェライトとセメンタイトが交互に層状に並んで析出している状態が確認できる。なお、マイクロ組織に初析フェライトが見られていないのは、初析フェライトが析出する温度域を通過する間の冷却速度が早く、炭素の拡散移動により初析フェライトが析出する前に<math>Ac_1</math>変態点(<math>727^{\circ}C</math>)に達し、オーステナイト全体がパーライトに変態したということを示している。</p> <p>写真3は丸棒表層のマイクロ組織である。表面近傍にはパーライトの他に初析フェライト(白色相)が出現している。これは脱炭と呼ばれる現象によるもので、加熱雰囲気中の酸素などと表面近傍の炭素が反応して脱離し、表面近傍の炭素濃度が減少した状態になっている。ばね素材の脱炭は、製品の熱処理時に炭素が内部から表層への拡散することより軽減されるが、炭素濃度減少が大きいと表面近傍の硬さを低下させ、ばね特性を低下させる原因となる。そのため鋼材メーカーは脱炭深さについて許容限度を取り決めるとともに、圧延条件を制御することにより脱炭の小さな素材を提供している。</p>	
 <p>写真 3 表層 (×100)</p>	
<p>三菱製鋼(株) 技術開発センター <small>みのぐち こうき</small>          蕨口 光樹</p>	

鋼種	SUP9	主要成分	Mn-Cr鋼
状態	焼入れ・焼戻し	熱処理等	850℃×30min油焼入れ 450℃×1hr焼戻し
 <p>写真 1 (×100)</p>		 <p>写真 2 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ45丸棒→油焼入れ→焼戻し</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt; ナイトール溶液にて腐食後、光学顕微鏡にて直径の1/4部を観察</p>			

<解説>

- ・組織を見る上でのポイント

車両用懸架ばねや建設機械用ばねは大きな荷重を支え衝撃を吸収するとともに繰り返しの負荷を受ける。そのため、ばね鋼の特性として弾性限が高いこと、疲れ特性が優れていることなどが要求される。鋼の弾性限および疲れ特性は一般に硬さと相関性があり、より高い弾性限および疲れ特性を得るため、焼入れ処理を施すことにより硬さを高めてばね製品は製造される。ただし、硬さがあまりにも高くなり過ぎると脆性破壊や水素による遅れ破壊が生じやすくなるため、ばね製品では使用用途に合わせ、適正な硬さとなるよう焼戻し処理が施される。

写真1および2は焼入れ焼戻しを行ったばね鋼のマイクロ組織を観察したもので、焼戻しマルテンサイトと呼ばれる。焼入れした時に生成するマルテンサイトを加熱することにより、過飽和状態で鉄金属格子中に閉じ込められていた炭素が、鉄の炭化物であるセメントライトとして鋼中に析出し、格子構造の歪みが緩和され、硬さが低下する。

写真3は焼戻し前の油焼入れしたままの状態を観察したもので、マルテンサイトと呼ばれるマイクロ組織である。マルテンサイトはオーステナイト領域から急冷することによって得られる。少量の炭素しか固溶できない体心立方格子構造のフェライトに炭素が無理やり閉じ込められ、格子構造が歪んだ構造となっており、原子の移動が制限されるため、マルテンサイトの硬さは硬くなっている。マルテンサイトの硬さは炭素含有量が多いと高くなる傾向にあり、合金鋼系ばね鋼の炭素含有量では700HV以上となる。

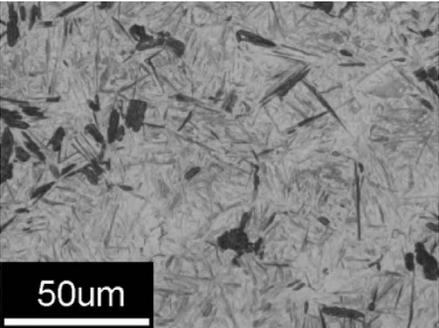


写真 3 焼入れ組織 (×400)

三菱製鋼(株) 技術開発センター みのぐち こうき  
 蓑口 光樹

# 6. 工具鋼

鋼種	SKD11	主要成分	1.5%C-12%Cr-MoV
状態	焼なまし	熱処理等	830~880℃徐冷

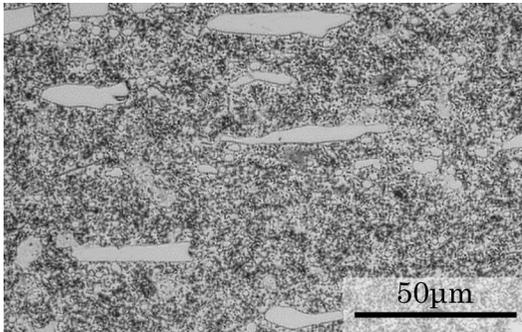


写真 光学顕微鏡 (×400)

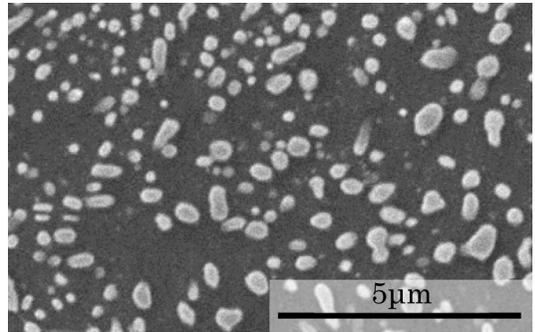


写真 走査型電子顕微鏡 (基地) (×6000)

### <試料>

27mm厚×560mm幅の熱間圧延平鋼の幅 (1/4)、かつ厚 (1/2) 位置付近の縦断面にて観察

### <エッチング条件等>

5%ナイトール (5%硝酸エチルアルコール溶液)

### <解説>

SKD11の焼なまし材におけるマイクロ組織は、フェライト+微細析出炭化物で構成された基地に共晶炭化物 (上記写真中の白い塊状粒、Cr系炭化物 ( $M_7C_3$ )) が分布した形態となっている。共晶炭化物は、溶鋼が凝固するときに晶出した炭化物であり、一次炭化物とも呼ばれ、凝固後の熱間鍛伸等によって分断、変形する。このため、図1、2に示すように観察断面によって大きさや分布状態が異なって観察されるので、観察時には断面方向に注意する必要がある。

基地中の析出微細炭化物は、凝固後から熱間鍛伸過程 (熱処理含む) で基地から析出した炭化物で二次炭化物とも呼ばれ、Cr系の $M_{23}C_6$ 、及び $M_7C_3$ が含まれている。基地では微細な二次炭化物に沿ってエッチングが進むため、光学顕微鏡での観察では、黒い組織として観察される。二次炭化物は、熱間鍛伸工程 (熱処理含む) で固溶、析出を繰り返すため、断面方向による分布状況等の大きな差異は観られない。

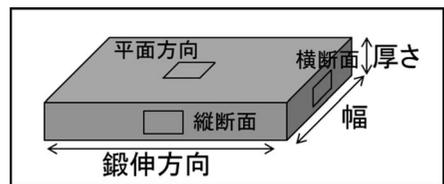


図 1 観察断面方向

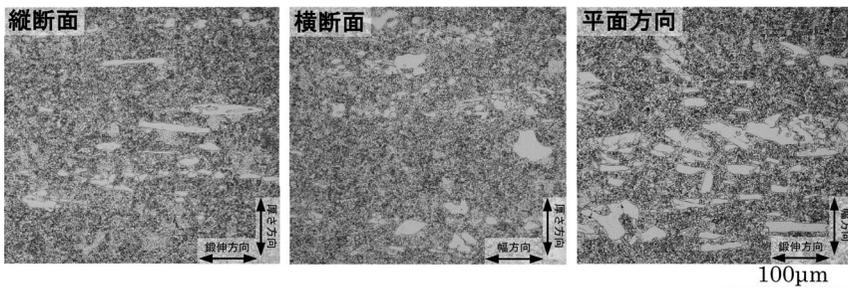
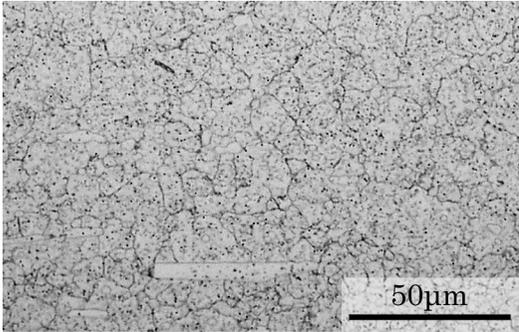
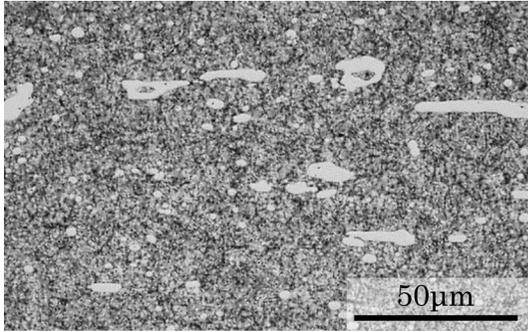


図 2 異なる断面方向からの観察結果 (×200)

日立金属(株) 安来工場 技術部 じんじ 幸雄

鋼種	SKD11	主要成分	1.5%C-12%Cr-MoV
状態	焼入-焼戻し	熱処理等	焼入れ 1030℃空冷 焼戻し 200℃ (左)、500℃ (右)
 <p>写真 低温焼戻し (焼戻し 200℃) (×400)</p>		 <p>写真 高温焼戻し (焼戻し 500℃) (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt;※焼戻し回数：200℃は1回、500℃は2回実施 27mm厚×560mm幅の熱間圧延平鋼の幅(1/4)、かつ厚(1/2)位置付近の縦断面にて観察 &lt;エッチング条件等&gt; 5%ナイトール (5%硝酸エチルアルコール溶液)</p>			

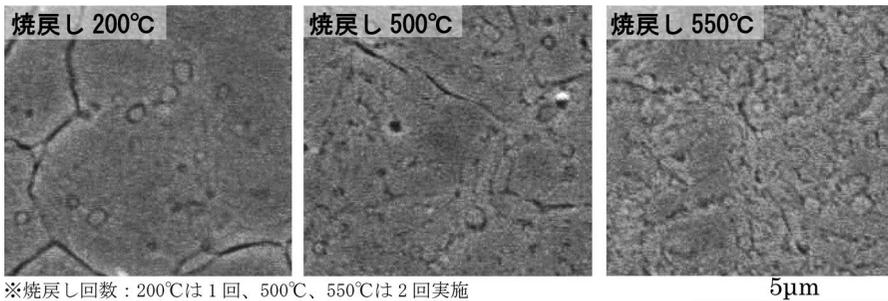
<解説>

SKD11を焼入れすると、二次炭化物は基地に固溶するが、一次炭化物はほとんど固溶せずに残存し、SKD11の優れた耐摩耗性に大きく寄与する。

焼入れ後には焼戻しが行われるが、SKD11は焼戻し温度が200℃程度の低温焼戻しが行われる場合と500℃程度の高温焼戻しが行われる場合とがある。

低温焼戻しでの基地はマルテンサイト+約20vol%の残留オーステナイトで構成され、若干の未固溶の二次炭化物(Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>)が存在する。低温焼戻しされた基地はエッチングされ難く、相対的に基地よりもエッチングされやすい結晶粒界が選択的にエッチングされるため(図1)、光学顕微鏡で観察すると結晶粒界が目立つ淡い色のマイクロ組織として観察される。

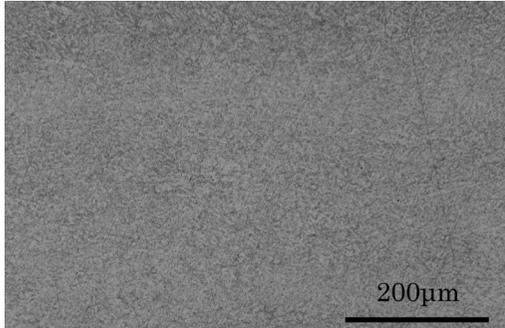
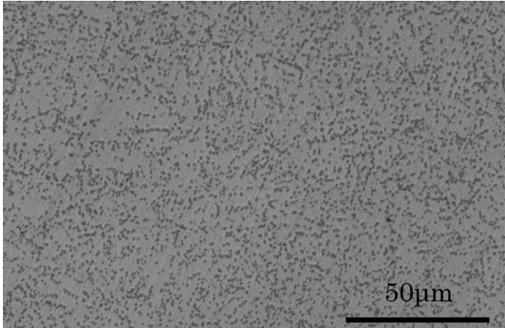
高温焼戻しが行われると、基地中に存在していた残留オーステナイトが減少するとともにマルテンサイトからの微細炭化物の析出が増加するため、基地がエッチングされやすくなる(図1)。このため、光学顕微鏡で観察すると基地の黒色が目立つマイクロ組織として観察される。

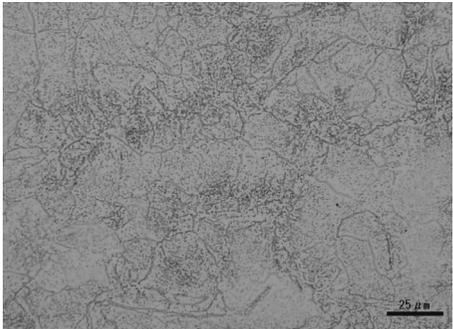


※焼戻し回数：200℃は1回、500℃、550℃は2回実施

図 1 走査型電子顕微鏡観察による基地組織の比較 (×6000)

日立金属(株) 安来工場 技術部 しんじ ゆきお 矢道 幸雄

鋼種	SKD61	主要成分	0.38% C-1% Si-5% Cr-1.2% Mo-1.0% V
状態	焼なまし	熱処理等	850～900℃ 徐冷
 <p>写真 (a) ×100</p>		 <p>写真 (b) ×400</p>	
<p>&lt; 試料 &gt;  215mm厚×965mm幅の熱間鍛造平鋼の厚 (1/5)、かつ幅 (1/2) 位置付近の縦断面にて観察  &lt; エッチング条件等 &gt;  5% ナイタル (5% 硝酸エチルアルコール溶液)</p>			

<p>&lt; 解説 &gt;</p> <p>SKD61は、成分的に粗大な共晶炭化物が晶出し難く、ミクロ組織中に粗大な一次炭化物は観察されない。このため、SKD11、SKH51よりも耐摩耗性は低くなるが、高い靱性が得られることになり、靱性が要求される金型等に汎用的に使用される。</p> <p>SKD61は通常、製造工程で熱間加工（鍛造、圧延）後に球状化焼なましして出荷される。球状化焼なましすることで、フェライト基地に炭化物が球状化して均一に分布することになる。この時の炭化物は<math>M_6C</math>、<math>M_{23}C_6</math>系（M：Fe、Cr、Mo等）、及び<math>MC</math>系（M：V等）の合金炭化物となっている。</p> <p>SKD61はCrやMo等の合金元素の添加量が多く焼きが入りやすいため、加熱保持後<math>A_{r1}</math>点近傍の変態温度域を徐冷することで球状化焼鈍し組織が得られる。</p> <p>なお、写真 (c) に示すように素材の熱間加工の影響により、旧オーステナイト粒界に沿って網状に炭化物が析出している場合がある。このような網状炭化物は、焼入れ、焼戻し後も残存し、靱性低下の原因となることがある。このため、一般には、このような網状炭化物を有する焼なまし組織が生じないように製造条件が管理されている。</p>	
 <p>写真 (c) 炭化物が網状に分布した焼なまし組織 (×400)</p>	
<p>日立金属(株) 安来工場 技術部 まつおか よしかず  松岡 禎和</p>	

鋼種	SKD61	主要成分	0.38% C-1% Si-5% Cr-1.2% Mo-1.0% V
状態	焼入-焼戻し	熱処理等	焼入れ：1030℃ 焼戻し：600℃空冷、2回

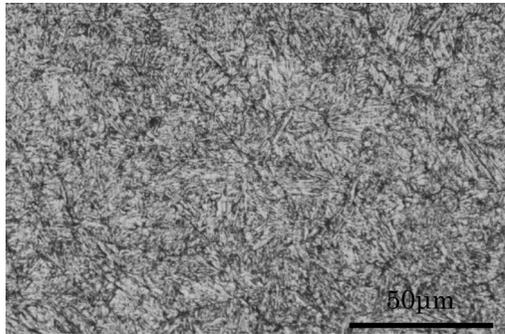


写真 (a) 焼入れ冷却：油冷 (×400)

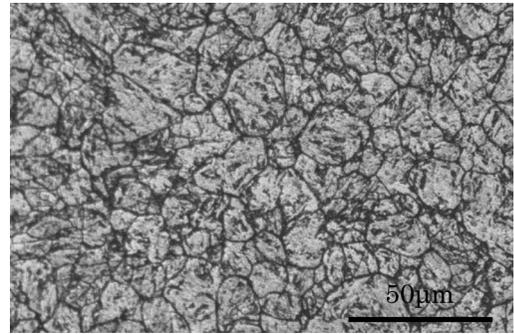


写真 (b) 焼入れ冷却：半冷時間\*90分 (×400)

<試料>

215mm厚×965mm幅の熱間鍛造平鋼の厚 (1/5)、かつ幅 (1/2) 位置付近の縦断面にて観察  
<エッチング条件等>  
5% ナイタル (5% 硝酸エチルアルコール溶液)

<解説>

熱間工具鋼SKD61は、熱間鍛造金型、ダイカスト金型、押出工具などに使用されるため、高温強度と靱性がバランスよく兼備される必要がある。高温強度は主に材料の化学成分によって決まるが、靱性はそれに加えて熱処理条件の影響を強く受ける。

写真 (a) は油焼入れを行った場合の焼入焼戻し組織であり、焼戻しマルテンサイト組織を呈している。マルテンサイトのラス (下部組織で最も細かい単位) 中には $M_{23}C_6$ などの微細炭化物が析出している。一方で、写真 (b) は、大物型を想定した緩冷条件となる半冷時間\*90分の冷却条件で焼入れ後に焼戻しを行ったときの組織となっている。焼入れ時の冷却速度が遅くなると、結晶粒界への炭化物の析出が進むため結晶粒界が明瞭に観察され、粒内は粗いベイナイト組織となる。焼入れ時の冷却速度が遅くなると針状ベイナイトのラス幅が広がっていき、とくに半冷90分のように非常に遅い場合には針状ベイナイト組織から塊状ベイナイト組織に変化する。

粗いベイナイト、結晶粒界への炭化物の析出は材料の靱性を著しく低下させ、金型の割れの原因となる場合がある。SKD61での結晶粒界への炭化物析出は900℃付近、ベイナイトは350℃から180℃にかけて生じるため (図1)、これらによる靱性の低下を抑制するためには、両温度域での冷却速度の管理が重要となる。

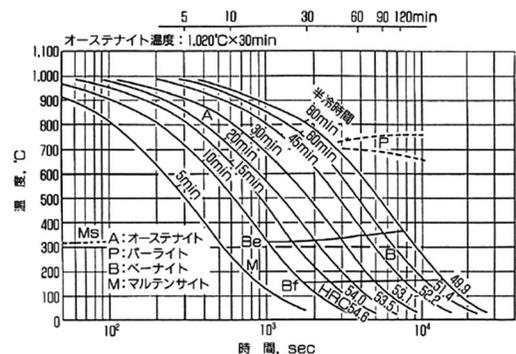
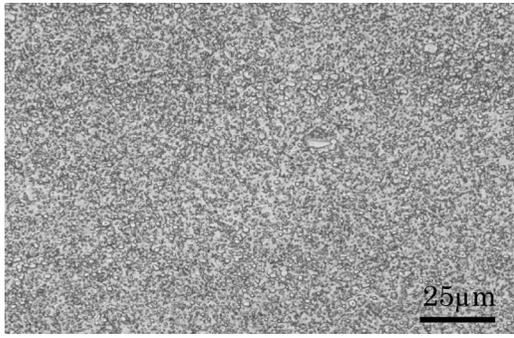
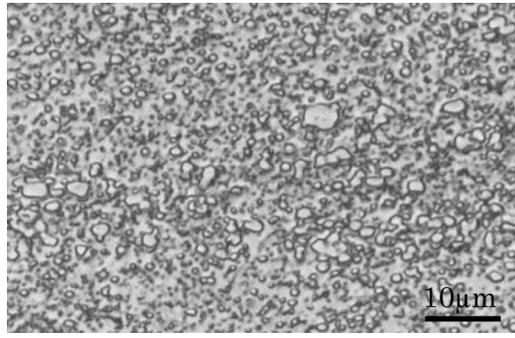


図1 SKD61の連続冷却変態線図\*1

\*1: 奥野利夫、鉄と鋼、69(1983)、pp. 655-662.  
\*半冷時間：焼入温度から (焼入温度+室温) / 2 まで冷却するのに要する時間

日立金属(株) 安来工場 技術部 まつおか よしかず  
松岡 禎和

鋼種	SKH51	主要成分	0.85C-4Cr-6W-5Mo-2V
状態	焼なまし	熱処理等	860-900℃徐冷
 <p>写真 (a) ×400</p>		 <p>写真 (b) ×1000</p>	
<p>&lt;試料&gt;          素材径20mmの熱間圧延丸鋼の直径 (1/4) 位置付近の縦断面にて観察          &lt;エッチング条件等&gt;          5%ナイトール (5%硝酸エチルアルコール溶液)</p>			

<解説>

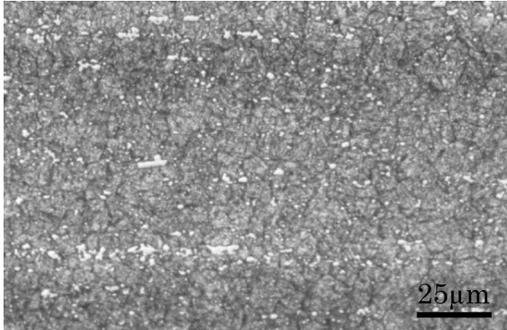
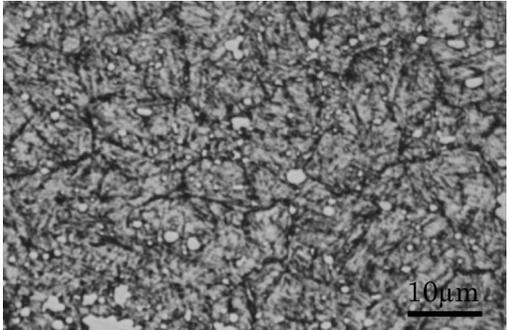
SKH51は高速度工具鋼の代表的鋼種であり、切削工具の他、各種工具や金型等に使用される汎用的な高速度工具鋼です。

写真 (a)、(b) は一般的な焼なまし状態の光学顕微鏡組織を示しており、フェライト基地と炭化物からなる組織を呈しています。焼なましは鋼材を820-900℃の温度でオーステナイト化後、600℃前後まで20℃/h程度で徐冷をすることにより、基地に固溶したCr、W、Mo、Vなどの合金元素を炭化物として析出・凝集させ、硬さを下げる処理となります。

白い塊状のものが炭化物で炭素と鉄や合金元素との化合物であり、高速度工具鋼の諸特性に重要な影響を及ぼします。これらの炭化物は、比較的大きいサイズのものと1μm程度以下の微細な球状形態の2種類から構成されています。一般的に大きいものを一次炭化物、微細なものを二次炭化物と分類しています。一次炭化物は鋼が凝固する際に溶鋼から直接晶出するもので共晶炭化物ともいわれ、その後の熱間加工によって分断・球状化したもので、焼入れ・焼戻しでは、そのサイズはほとんど変化せず、主として耐摩耗性を増大させる役割を担っています。一方、二次炭化物は溶鋼の凝固後、素材の熱間加工や熱処理時に基地中から析出し、その後の熱的條件 (熱間加工や熱処理などの素材製造条件) によってその大きさや量が変化します。この二次炭化物の多くは、焼入れ時の加熱により基地中へ固溶し、熱処理後の基地を強化するなどの働きをします。

焼なまし組織の炭化物以外の基地は柔らかいフェライト相であり、比較的容易に切削加工や冷間加工等が可能となります。このため、高速度工具鋼の素材は通常焼なましされた状態で需要家に供給されます。

日立金属(株) 安来工場 技術部 せきやま たかあき  
関山 孝明

鋼種	SKH51	主要成分	0.85C-4Cr-6W-5Mo-2V
状態	焼入-焼戻し	熱処理等	焼入れ：1220℃×2min油冷 焼戻し：560℃×1h空冷2回
 <p>写真 (a) ×400</p>		 <p>写真 (b) ×1000</p>	
<p>&lt;試料&gt;          素材径20mmの熱間圧延丸鋼の直径 (1/4) 位置付近の縦断面にて観察          &lt;エッチング条件等&gt;          5%ナイタール (5%硝酸エチルアルコール溶液)</p>			

<解説>  
**写真 (a)、(b)** は焼入焼戻しを施したSKH51の光学顕微鏡組織を示しており、焼戻しマルテンサイトの基地と炭化物 (W、Mo系の $M_6C$ や、V系のMC) からなる組織を呈しています。焼入状態では、基地は脆い焼入れマルテンサイトと未変態の残留オーステナイト (20-30vol%) からなり、未固溶炭化物が分布しています。この残留オーステナイトの分解のため焼戻し処理を行います。SKH51の焼戻しは、通常、高温焼戻しが適用され、二次硬化の最高硬さが得られる温度よりも若干高目の温度が選択されます。焼入れにより基地中に過飽和に固溶した合金元素が焼戻しによって微細炭化物として析出することで内部応力の緩和と二次硬化が生じます。残留オーステナイトの分解によるマルテンサイトは二次硬化にも寄与しますが、硬く脆いため、再度焼戻しを行うことで強靱な焼戻しマルテンサイト組織とする必要があります。高速度工具鋼の焼戻しは、一般に2回以上、Coを含有する鋼種では3回以上行われます。

**写真 (c)、(d)** は異なる冷却速度 (**写真 (c)** ガス冷却 (60℃/min)、**写真 (d)** 油冷) で焼入れした組織の走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察画像を示します。**写真 (c)** のように冷却速度が遅い場合、1000℃前後でオーステナイト結晶粒界へ板状炭化物が優先析出し、靱性の低下や硬さの低下といった材料特性の低下を招きます。このため、熱処理条件として、焼入温度や保持時間だけでなく、冷却速度にも十分な留意が必要となります。

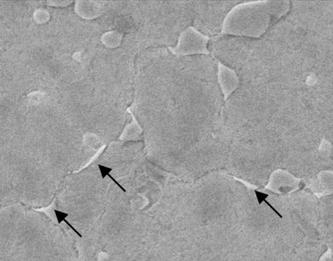


写真 (c) ガス冷却 (60℃/min)

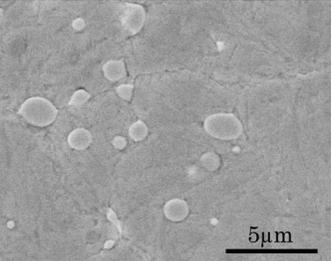
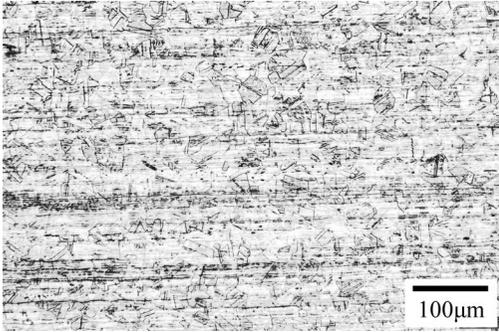
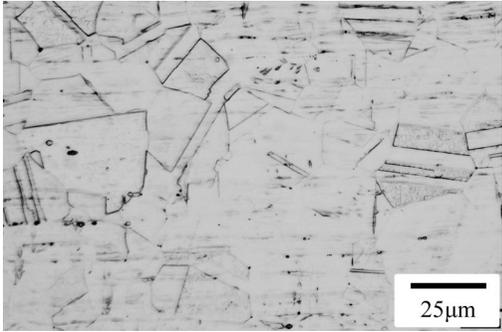
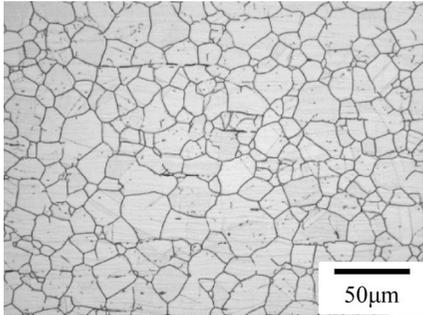


写真 (d) 油冷

日立金属(株) 安来工場 技術部 せきやま たかあき  
 関山 孝明

## 7. ステンレス鋼

鋼 種	SUS304	主要成分	Fe-18Cr-8Ni-0.06C
状 態	受入状態	熱処理等	-
 <p>写真 1 SUS304の光顕組織 (×100)</p>		 <p>写真 2 SUS304の光顕組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; SUS304の一般的な冷延焼鈍材、板厚2mm</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt; 10%しゅう酸電解エッチング、室温、6V、約30秒</p>			

<p>&lt;解説&gt;</p> <p>写真 1、2は代表的なオーステナイト系ステンレス鋼であるSUS304の製品（焼鈍材）の組織である。再結晶したオーステナイト相からなる組織を呈している。SUS304もSUS430と同程度の炭素が含まれているが、オーステナイト相中に炭素は固溶しやすいため、焼鈍材では炭化物の析出はほとんど認められない。オーステナイト粒内に認められる平行線は焼鈍双晶である。</p> <p>SUS304を500～800℃に加熱すると、粒界にCr炭化物が析出し、粒界でCr欠乏が起こる場合がある。この状態は鋭敏化と呼ばれ、粒界腐食が生じやすくなっている。写真 3は700℃に1時間保持したSUS304を、10%しゅう酸電解エッチングした金属組織である。電解エッチングによって粒界のCr炭化物が溶解し、粒界が明瞭に認められている。このような熱処理を利用してSUS304の粒径を確認しやすくなることもできる。</p> <p>なお10%しゅう酸電解エッチングではCr炭化物の析出有無を確認するのみであるため、腐食感受性をより詳細に調べるためには、さらに硫酸・硫酸銅腐食試験等の腐食試験を行うとよい。</p>		 <p>写真 3 700℃、1時間熱処理後のSUS304の金属組織</p>
<p>日新製鋼(株) ステンレス・高合金研究所 <small>みぞぐち たいちろう</small> 溝口太一郎</p>		

鋼種	SUS430	主要成分	Fe-16Cr-0.06C
状態	受入状態	熱処理等	-

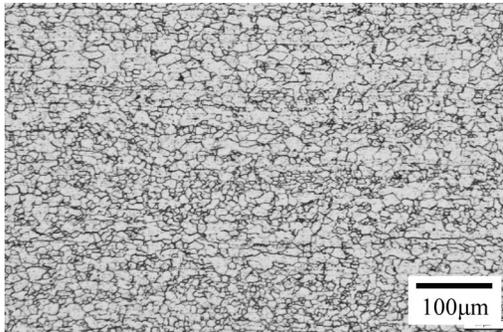


写真 1 SUS430の光顕組織 (×100)

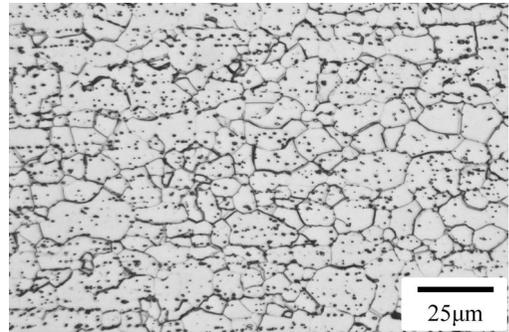


写真 2 SUS430の光顕組織 (×400)

<試料>

SUS430の一般的な冷延焼鈍材、板厚 1 mm

<エッチング条件等>

弗酸：硝酸：グリセリン=1：1：2 混合液、室温、約10秒

<解説>

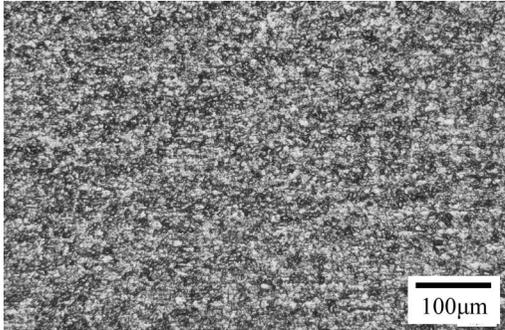
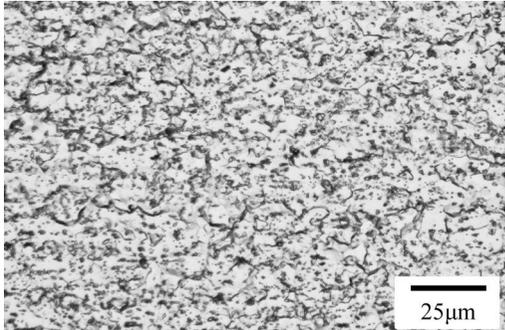
SUS430は16%以上のCrを含有する代表的なフェライト系ステンレス鋼である。一般的な製造工程では、連铸スラブを熱間圧延し熱延コイルとする。熱延組織はフェライト相と硬質な変態相の二相からなるバンド状組織を呈し、これをベル型焼鈍炉での長時間焼鈍によりCr炭化物を十分に析出させて軟質化させる。その後、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍（光輝焼鈍あるいは連続焼鈍酸洗）を施し、調質圧延を経て製品となる。

写真 1、2はSUS430焼鈍材の金属組織である。再結晶したフェライト粒内にCr炭化物が析出した組織を呈している。フェライト相の結晶構造は体心立方で軟鋼と同じであり、物理的性質や機械的性質も軟鋼に似ている。

SUS304と比較するとやや耐食性は低いものの、Niを含まないため安価である、応力腐食割れを生じない、磁性体である、熱膨張率が小さいなどの特徴がある。使用環境や使用方法に応じた使い分けが重要である。

SUS430は溶接可能であるが、通常の焼鈍温度（780～850℃程度）より高温、特に1000℃以上に加熱されると、Cr炭化物の溶解が起こり、それと共にフェライト相の一部がオーステナイト相へ変態する。オーステナイト相は冷却過程でマルテンサイトに変態し、靱性が低下する。溶接性を重視する場合は、TiあるいはNbを加えて炭化物を固定したSUS430LX等を使用することも有効である。

日新製鋼(株) ステンレス・高合金研究所 みぞぐち たいちろう 溝口太一郎

鋼 種	SUS420J2	主要成分	Fe-13Cr-0.3C
状 態	受入状態	熱処理等	-
 <p>写真 1 SUS420J2の光顕組織 (×100)</p>		 <p>写真 2 SUS420J2の光顕組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt;  SUS420J2の一般的な冷延焼鈍材、板厚0.5mm</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt;  弗酸：硝酸：グリセリン=1：1：2 混合液、室温、約30秒</p>			

<解説>  
SUS420J2はマルテンサイト系ステンレス鋼の代表鋼種である。約13%のCr、0.26~0.40%のCを含む。製造工程はSUS430と同様、熱延コイルをベル型焼鈍炉で長時間焼鈍を行って製造される。

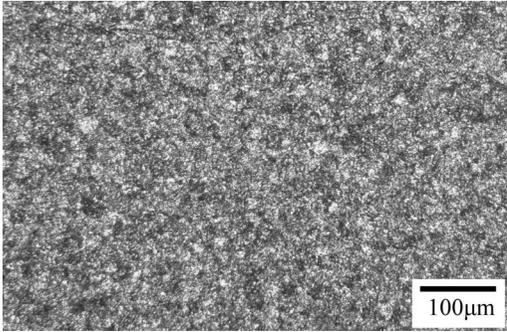
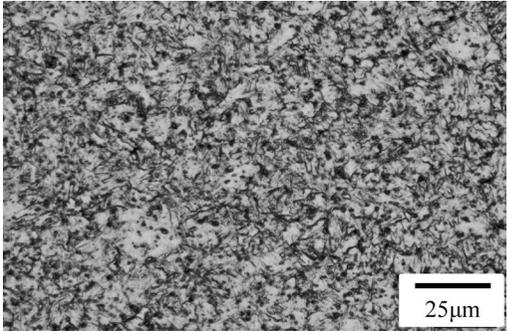
写真 1、2はSUS420J2焼鈍材の金属組織である。再結晶したフェライト粒内にCr炭化物が析出した組織を呈している。SUS430と比べて炭素の含有量が多い分、Cr炭化物が多く存在している。

焼入れを施すことで硬質化し、ビッカース硬さで600HV程度となるが、写真に示す焼鈍材では180HV程度と軟質であり、鍛造、打抜き、深絞りなど種々のプレス加工を行うことができる。

高強度化するためには、焼入れ、焼戻し熱処理が行われる。熱処理の考え方は炭素鋼と同じであるが、オーステナイト相への変態点が高いため焼入れ温度は900~1050℃程度と高めである。合金鋼であるため焼入れ性は良好であり、空冷程度の冷却速度でも焼入れが可能である。ただし冷却速度が遅すぎると粒界にCr炭化物が析出し耐食性の低下を招くことがある。鋭敏化状況はしゅう酸電解エッチングや硫酸・硫酸銅腐食試験で確認することができる。

マルテンサイト系ステンレス鋼には、SUS420J2の他に、C含有量が0.15%以下のSUS410、C含有量が0.60~0.75%のSUS440Aなどがあり、目的によって使い分けられる。

日新製鋼(株) ステンレス・高合金研究所 みぞぐち たいちろう  
溝口太一郎

鋼種	SUS420J2	主要成分	Fe-13Cr-0.3C
状態	焼入れ・焼戻し	熱処理等	1000℃、5分保持後空冷 600℃、1時間保持後空冷
 <p>写真1 SUS420J2の金属組織 (×100)</p>		 <p>写真2 SUS420J2の金属組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; SUS420J2、板厚1mmの冷延焼鈍材に熱処理を実施</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt; 弗酸：硝酸：グリセリン=1：1：2混合液、室温、約20秒</p>			

<解説>

SUS420J2はマルテンサイト系ステンレス鋼の代表鋼種である。約13%のCr、0.26~0.40%のCを含む。製造工程はSUS430と同様、熱延コイルをベル型焼鈍炉で長時間焼鈍を行って製造される。

写真1、2はSUS420J2を焼入れ、焼戻した金属組織である。写真3は焼入れ後の金属組織である。1000℃に加熱することでオーステナイト相へ変態し、焼入れ後はマルテンサイト組織となる。一部のCr炭化物は未溶解で残存している。この時点での硬さはビッカース硬さ約550HVである。

なお焼入れ温度を高くすることでCr炭化物をより多く溶解し、オーステナイト相中のC固溶量を増加させることができるが、焼入れ後に残留オーステナイト相が存在しやすくなる。残留オーステナイトが存在すると硬さが低めとなることや経年変化で寸法が変わる可能性があるため、サブゼロ処理によってマルテンサイト変態させるとよい。

焼入れままでは靱性が低いため、靱性改善のための焼戻し処理が行われる。焼戻し処理によってマルテンサイト相からCr炭化物が析出し、マルテンサイト相中に過飽和に固溶していたCが減少するため、全体としては軟質化する。写真1、2に示す組織の硬さはビッカース硬さ約350HVである。

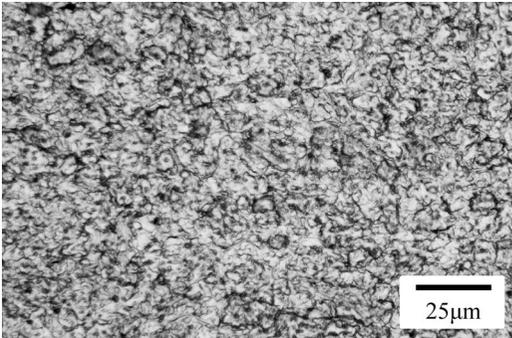
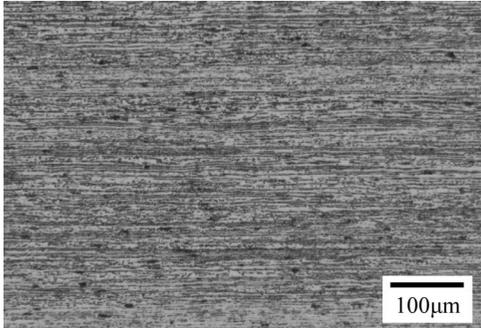
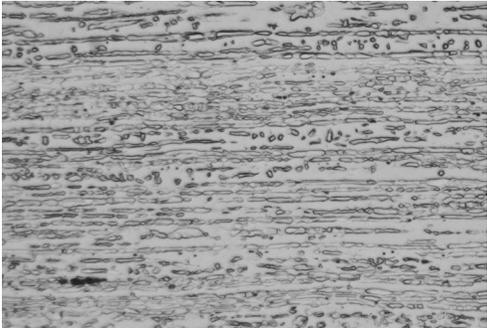


写真3 1000℃焼入れ後の金属組織

日新製鋼 (株) ステンレス・高合金研究所 みぞぐち たいちろう  
溝口太一郎

鋼種	SUS329J4L	主要成分	Fe-25Cr-7Ni-3Mo-N
状態	受入状態	熱処理等	—
 <p>写真 1 SUS329J4Lの光顕組織 (×100)</p>		 <p>写真 2 SUS329J4Lの光顕組織 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; SUS329J4Lの一般的な冷延焼鈍材、板厚 3 mm</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt; 60%硝酸電解エッチング、室温、2V、約30秒</p>			

<解説>

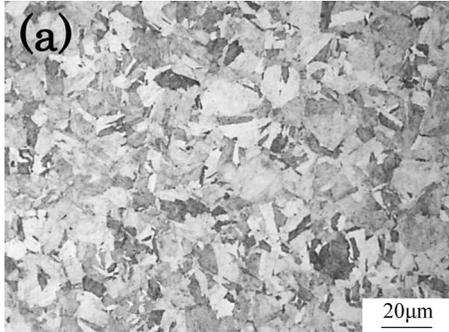
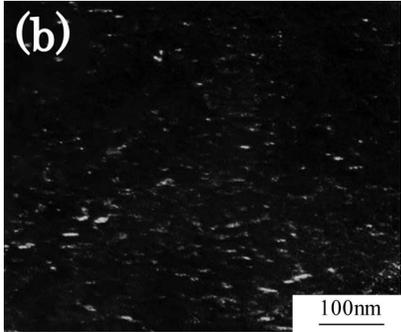
SUS329J4L体心立方構造 (bcc) のフェライト相と面心立方構造 (fcc) のオーステナイト相からなる組織を有する、オーステナイト・フェライト系 (二相系) ステンレス鋼である。JIS規格における二相系ステンレス鋼には、他にSUS329J1、SUS329J3Lがあり、SUS329J4Lは最も耐食性が高い位置付けにある鋼種である。

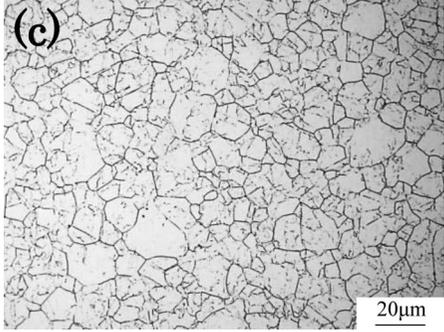
写真 1、2はSUS329J4L焼鈍材の金属組織である。フェライト相とオーステナイト相の相比は、ほぼ1：1である。オーステナイト相にはNi、Nなどの元素が多く分配され、フェライト相にはCr、Moが多く分配される。いずれの相も熱間圧延や冷間圧延によって圧延方向に伸展しているが、結晶粒径は数 $\mu\text{m}$ と微細であるため強度は高い。

二相ステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼よりも耐応力腐食割れ性に優れる、フェライト系ステンレス鋼よりも低温靱性に優れるなど、中間的な特性を有する。ただし高温 (700~900℃) に保持されると、フェライト相から $\sigma$ 相を析出し、靱性が低下することがある。特に、加工等によって歪みが蓄積された場合は、析出が短時間で生じ、高温で使用する場合は注意が必要である。また475℃付近に長時間保持されると低温靱性が低下する (475脆化)。溶接など材温が上昇する処理を行う場合、これらの脆化温度範囲にさらされる時間をできるだけ短くするとよい。

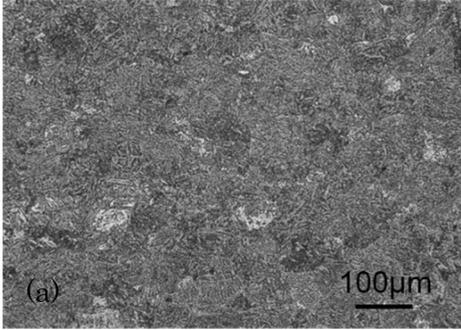
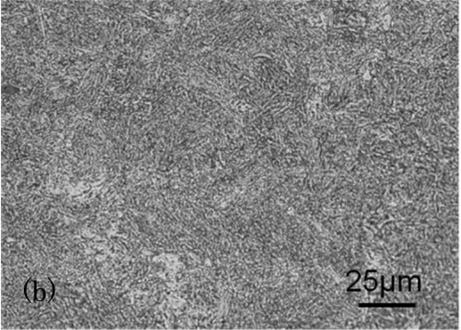
日新製鋼 (株) ステンレス・高合金研究所 みぞぐち たいちろう  
溝口太一郎

## 8. マルエージング鋼

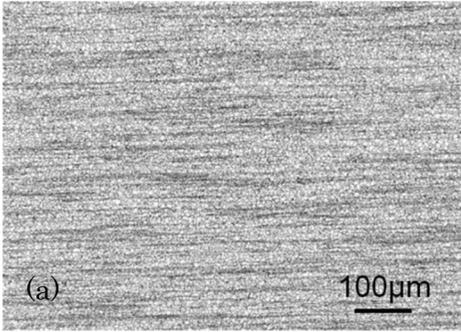
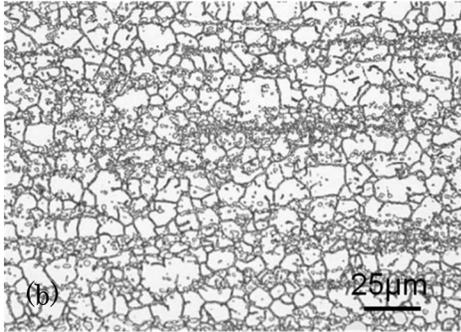
鋼種	18%Niマルエージング鋼	主要成分	Fe-18%Ni-8%Co-5%Mo-0.4%Ti-0.1%Al
状態	時効処理	熱処理等	固溶化：850℃×1h 空冷 時効：480℃×3h 空冷
 <p>(a) 写真 (×1,000)</p>		 <p>(b) 写真 (×600,000)</p>	
<p>&lt;試料&gt;</p> <p>写真 (a) 光学顕微鏡写真：板厚0.40mmの板厚圧延方向断面の中心部を観察。 エッチング液：酸性ピクリン酸アルコール溶液</p> <p>写真 (b) 電子顕微鏡写真：薄膜化した試料を透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて得られた暗視野像。</p>			

<p>&lt;解説&gt;</p> <p>18%Niマルエージング鋼は、Fe-Ni-Coを母相とし、Mo、Tiを適量添加することで2,000MPa前後の高い引張強度が得られる。実用的には800℃～900℃で固溶化処理を行い、母相をマルテンサイト (<math>\alpha'</math>) 変態させるが、Cを含まないためこの状態では硬さが低いことが特徴である。その後、450℃～550℃の時効処理を行うことで<math>\text{Ni}_3\text{Mo}</math>、<math>\text{Ni}_3\text{Ti}</math>等の金属間化合物が<math>\alpha'</math>中に微細析出し著しく硬化する。</p> <p>写真 (a) および (b) は850℃で1時間の固溶化処理後、480℃で3時間の時効処理を行ったマイクロ組織である。</p> <p>写真 (a) は光学顕微鏡を用いて組織観察したもので、母相はラスマルテンサイト (<math>\alpha'</math>) 組織であり旧オーステナイト (<math>\gamma</math>) 粒内に白黒のコントラストで示されるポケットやブロック領域が見られる。</p> <p>写真 (b) は透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて観察したもので、母相のラス<math>\alpha'</math>中に時効処理で析出した数十nmサイズの析出強化相である<math>\text{Ni}_3\text{Ti}</math>が見られる。</p> <p>ラス<math>\alpha'</math>組織を強調させて観察した写真 (a) に対し、写真 (c) はクロム酸電解エッチングを施した試料を光学顕微鏡で観察したマイクロ組織であり、適切な腐食方法の選択により機械的特性に影響する旧<math>\gamma</math>粒界を明瞭に観察することもできる。このようにマルエージング鋼の組織観察では見たい組織に合わせ、適切な観察手法やエッチング法が選ばれる。</p>	
 <p>(c) 写真 (×1,000)</p>	
<p>日立金属(株) 冶金研究所 おおishi かつひこ 大石 勝彦</p>	

## 9. 耐熱耐食材料

鋼種	耐熱鋼 SUH3	主要成分	Fe-11Cr-1Mo-2Si-0.4C
状態	焼入れ、焼戻し	熱処理等	1050℃×0.5h／油冷 750℃×1h／空冷
 <p>(a) 写真 (×100)</p>		 <p>(b) 写真 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ20mm圧延材、1/4直径位置 &lt;エッチング条件等&gt; 塩酸5ml + ピクリン酸1g + アルコール100ml (エキネンF-3)</p>			

<p>&lt;解説&gt; SUH3は、11Crのマルテンサイト系の耐熱鋼で、自動車エンジンの吸気バルブとして使用されます。この合金は、Si量が多くMoを含むため、Ac1変態温度が900℃以上と高く、高温で優れた軟化抵抗を示します。また、Siが高いため耐酸化性にも優れています。熱処理は、マルテンサイト系のため焼入れ、焼戻しが行なわれます。 写真 (a) (b) は、焼入れ、焼戻し後の組織です。焼入れによってマルテンサイトに変態し、60HRCの高い硬さが得られ、740℃の焼戻しによって硬さが低下し、30HRCレベルになります。製品強度の調整は、焼戻し温度と時間によって行なわれ、焼戻し温度が高く、また時間が長くなるほど、析出する炭化物が大きくなり、強度が低下します。したがって、目的の強度を得るためには、焼戻し温度と時間の関係を知ることが重要です。</p> <p style="text-align: right;">大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 <small>くさふか</small> 草深 <small>ゆうすけ</small> 佑介</p>
---

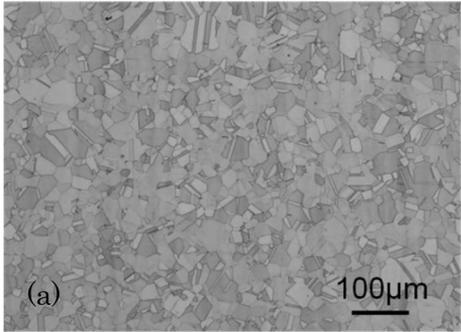
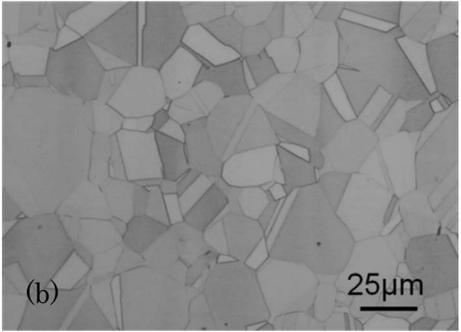
鋼種	耐熱鋼 SUH35	主要成分	Fe-21Cr-9Mn-4Ni-0.5C-0.4N
状態	固溶化熱処理、時効処理	熱処理等	1050℃×0.5h／油冷 750℃×4h／空冷
 <p>(a) 100μm</p> <p>写真 (×100)</p>		 <p>(b) 25μm</p> <p>写真 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ22mm圧延材、1/4直径位置</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt; 塩酸5ml+ピクリン酸1g+アルコール100ml (エキネンF-3)</p>			

<解説>

SUH35は、21-4Nとも呼ばれる高C、高Nのオーステナイト系耐熱鋼で、高温強度が高く主に自動車エンジンの排気バルブに使用されます。この合金は、炭化物の時効析出によって強化した、析出強化型の合金です。

写真 (a) (b) は、1050℃で固溶化熱処理を行なった後、750℃で時効処理を行なったマイクロ組織です。塊状炭化物 ( $M_{23}C_6$ ) が析出していますが、これは、固溶化熱処理で未固溶となった炭化物です。本合金では、鍛造あるいは圧延中に析出した炭化物を固溶化熱処理で固溶させることにより、その後の時効処理で微細炭化物が粒内に析出し、強度が上がります。したがって、1200℃程度まで固溶化熱処理温度を高めて炭化物を固溶させ、その後の時効処理で高い強度を得ることもできます。ただし、炭化物固溶により結晶粒の粗大化も生じるため、注意が必要です。

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 くさふか 草深 ゆうすけ 佑介

鋼種	超合金 NW4400 (MONEL400 / DSALOY400相当)	主要成分	Ni-30Cu
状態	焼なまし	熱処理等	750℃ / 炉冷
 <p>(a) 写真 (×100)</p>		 <p>(b) 写真 (×400)</p>	
<p>&lt; 試料 &gt;  φ25mm圧延材、1/4直径位置  &lt; エッチング条件等 &gt;  塩酸50ml + 塩化第二銅5g + アルコール100ml (エキネンF-3)</p>			

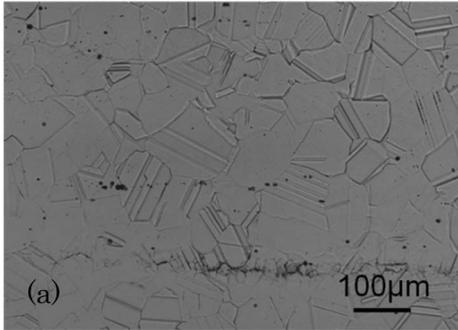
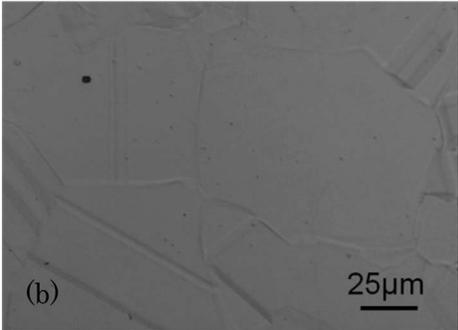
< 解説 >

本合金はNi-Cu合金で、加工性が良く、強度があり、海水、酸、アルカリなど広い範囲で耐食性に優れた合金です。Ni-30CuのNW4400や、AlとTiを添加し、時効熱処理によって金属間化合物 $\gamma'$ 相Ni<sub>3</sub>(Al,Ti)を析出させた析出強化型のNW5500 (MONEL K-500 / DSALOYK-500相当)があります。

NW4400は固溶強化合金で、冷間加工性に優れ、加工硬化によって強度を高めることが可能です。冷間加工や熱間加工した本合金には、加工後の強度をある程度維持し、再結晶させず残留応力を取り除く応力除去焼鈍や、これより高い温度で完全に軟化させる焼なましが行なわれます。写真 (a) (b)は、750℃で焼なまし後の組織で、再結晶が起っています。冷間加工材は、冷間加工率が高いほど再結晶温度が低くなります。再結晶によってより結晶粒が大きくなると、強度が著しく低下するため、冷間加工や熱間加工と、熱処理条件の組み合わせが重要です。

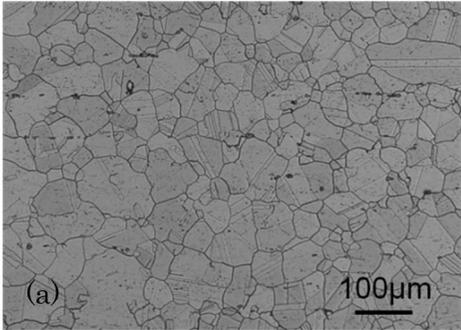
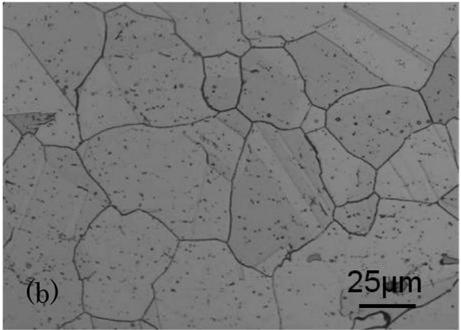
注) MONELは米国Special Metals社の登録商標です。  
DSALOYは大同特殊鋼の登録商標です。

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 くさふか 草深 ゆうすけ 佑介

鋼種	超合金 NW0276 (HASTELLOY C276/DSALOYC-276相当)	主要成分	Ni-15Cr-15Mo-6Fe-3W -0.01V-0.01C
状態	固溶化熱処理	熱処理等	1150℃ / 水冷
 <p>(a) 写真 (×100)</p>		 <p>(b) 写真 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ80mm圧延材、1/4直径位置 &lt;エッチング条件等&gt; 王水</p>			

<解説>  
 NW0276はNi-Cr-Mo系の固溶強化合金で、広い範囲の腐食環境に優れた耐食性を持ち、溶接性に優れます。  
 熱処理は固溶化熱処理のみで、鍛造や圧延中に生成する粒界や粒内の炭化物など、耐食性劣化の原因となる析出物を固溶させ、耐食性を向上させることが目的です。特に固溶化熱処理後、急冷によって粒界への炭化物の析出が抑えられ、より良好な耐食性と延性が得られます。  
 写真 (a) (b) は、1150℃の固溶化熱処理を行なったものです。ほとんどの炭化物が固溶し、きれいな結晶粒界を呈していますが、一部窒化物や炭化物の残留が認められます。また、結晶粒を貫通するバンド組織は、焼なまし双晶と呼ばれ、オーステナイト系合金の再結晶組織によく観察されます。  
 注) HASTELLOYは米国Haynes社の登録商標です。  
 DSALOYは大同特殊鋼の登録商標です。

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 くさふか 草深 ゆうすけ 佑介

鋼種	超合金 NCF750 (INCONEL X-750/DSALOYX-750相当)	主要成分	Ni-15Cr-7Fe-0.8Al-2.5Ti -1.0 (Nb+Ta)-0.04C
状態	固溶化熱処理、時効処理	熱処理等	982℃ / 水冷、730℃ × 8h →620℃ × 10h / 炉冷
 <p>(a) 写真 (×100)</p>		 <p>(b) 写真 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ25mm圧延材、1/4直径位置</p> <p>&lt;エッチング条件等&gt; 塩酸50ml + 塩化第二銅5g + アルコール100ml (エキネンF-3)</p>			

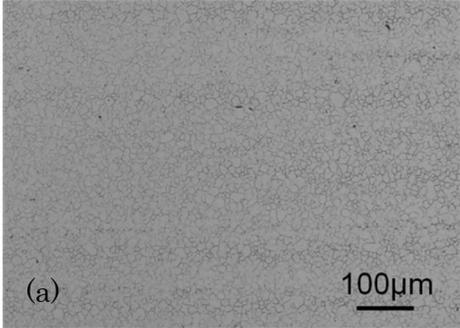
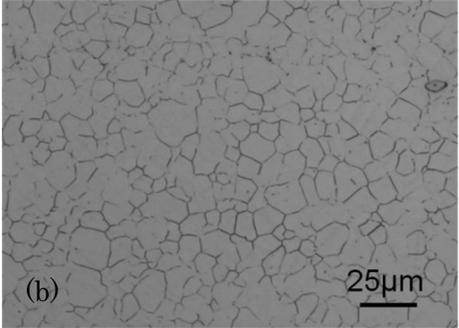
<解説>

NCF750は、700℃付近まで高温強度が高いため、ガスタービンや航空機エンジン部品、原子炉部品ならびに高温ばね等の用途に広く用いられています。時効処理によって金属間化合物 $\gamma'$ 相 $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$ が析出する、析出強化型のNi基超合金です。

本合金では、各種用途別に熱処理が推奨されているため、用途によって使い分けることが重要です。ここで示す熱処理は、引張特性を重視したものです。高温で固溶化熱処理することで、 $\gamma'$ 相や一部の炭化物が固溶、消滅し、写真 (a) (b) のように比較的大きな結晶粒に再結晶しますが、塊状の炭化物や窒化物が残留した組織になります。730℃および620℃の時効処理で、結晶粒界に炭化物( $\text{M}_{23}\text{C}_6$ )、粒内に $\gamma'$ 相が析出して、強度が上がります。

注) INCONELは米国Special Metals社の登録商標です。  
DSALOYは大同特殊鋼の登録商標です。

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 くさふか 草深 ゆうすけ 佑介

鋼種	超合金 NCF625 (INCONEL625 / DSALOY625相当)	主要成分	Ni-22Cr-8Mo-0.2Al -0.3Ti-0.05C-3.3 (Nb+Ta)
状態	焼きなまし	熱処理等	871℃ / 空冷
 <p>(a) 写真 (×100)</p>		 <p>(b) 写真 (×400)</p>	
<p>&lt;試料&gt; φ40mm圧延材、1/4直径位置 &lt;エッチング条件等&gt; 10%シュウ酸水溶液</p>			

<解説>

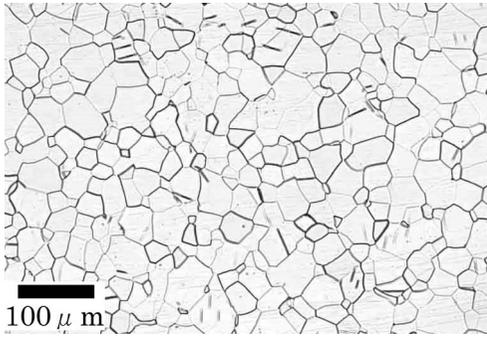
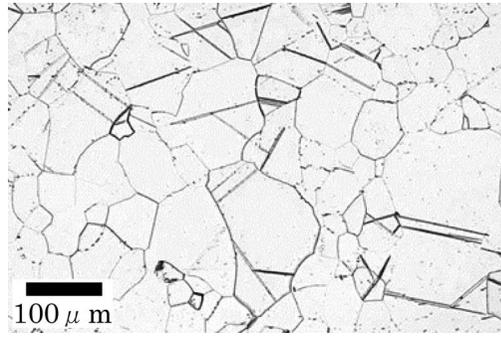
NCF625は、Ni-CrのオーステナイトマトリックスにMoとNbを添加し固溶強化した合金で、強度が高く、広範囲の腐食環境に優れた耐食性を示します。熱処理は固溶化熱処理のみで、鍛造や圧延中に生成する粒界や粒内の炭化物など、耐食性劣化の原因となる析出物を固溶させ、耐食性を向上させることが目的です。

写真 (a) (b) の組織は焼きなまし後のマイクロ組織で、写真上では確認できませんが、数100nmサイズの炭化物が残留しています。そこで1150℃の高温で固溶化処理を行なうと、炭化物がほとんど固溶し、析出物のないきれいな組織と耐食性を得られます。未固溶の炭化物は局部腐食の原因となるため、耐食用途には固溶化熱処理によって炭化物を固溶、消滅させることが重要です。

注) INCONELは米国Special Metals社の登録商標です。  
DSALOYは大同特殊鋼の登録商標です。

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 くさふか じゆすけ 草深 佑介

# 10. チタン

鋼種	純チタン JIS1種	主要成分	Ti
状態	冷間圧延焼鈍 (板厚0.5mm)	熱処理等	冷間圧延焼鈍後軽圧下 (板厚0.5mm)
 <p>(×100) 写真1 光学顕微鏡</p>		 <p>(×100) 写真2 光学顕微鏡</p>	
<p>&lt;試料&gt; 写真1) 冷間圧延+800℃焼鈍 0.5mm厚            写真2) 冷間圧延+650℃焼鈍+0.5%軽圧下 0.5mm厚            &lt;腐食条件等&gt; エッチング液：硝フッ酸 (3vol%HF-15vol%HNO<sub>3</sub> 残H<sub>2</sub>O)            エッチング時間：20s</p>			

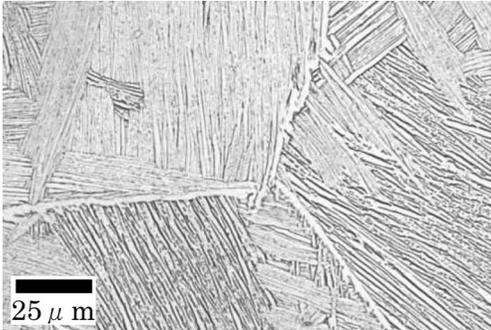
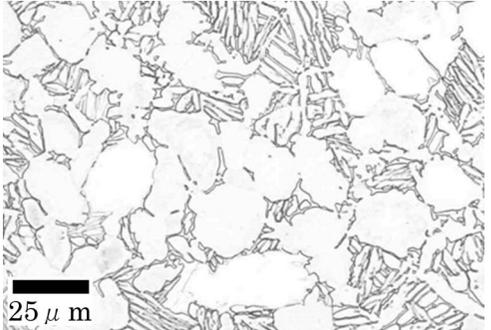
<解説>  
 工業用純チタンは、国内ではJIS規格により強度レベルに応じて1種から4種に分類されている。強度レベルは不純物元素のO及びFe分を調整して得られる。耐食性が高金属に比べ極めて良いことから、化学プラントの反応容器、海水を冷媒として多量に使用する電力プラントの復水器（溶接管）や船舶、工場排熱の熱交換器（プレート）等、多くの産業分野で使用されている。

写真1は、最も純度の高いJIS1種の純チタンを冷間圧延した後、焼鈍して得られた組織であり、等軸の再結晶組織を呈している。結晶構造は稠密六方晶（hcp）である。hcp金属は結晶対称性が低く、主すべり系の数が限られていることから、室温での成形性は良くないとされるが、純度の高い純チタンは主すべり系のほかに変形双晶が活動するために、他のhcp金属にくらべ良好な成形性を示す。なお、純度が高く、結晶粒径が大きいほど、変形双晶は生じやすいとされる。

写真2は、JIS1種の純チタン板を再結晶させた後、板厚方向に0.5%程度の圧下を加えたマイクロ組織である。軽圧下により誘起された変形双晶は、粒内に対を成した直線状の組織として観察される。

なお、純チタンの中でもJIS1種は、素地が非常に軟らかいため、研磨時の小さな外力でも表面にひずみ残りやすく、かつ粒界も腐食されにくいとため、組織を現出するのが難しい。

(株)神戸製鋼所 鉄鋼事業部門 チタン本部 チタン研究開発室 研究員 横地 恒平

鋼種	$\alpha$ - $\beta$ 型チタン合金 Ti-64	主要成分	Ti-6Al-4V
状態	熱間鍛造後 $\beta$ 域熱処理	熱処理等	熱間鍛造後 $\alpha$ - $\beta$ 域熱処理
 <p>(×400) 写真3 光学顕微鏡写真</p>		 <p>(×400) 写真4 光学顕微鏡写真</p>	
<p>&lt;試料&gt; 写真3) <math>\alpha</math>-<math>\beta</math>鍛造 1030℃水冷+700℃空冷          写真4) <math>\alpha</math>-<math>\beta</math>鍛造 700℃空冷          &lt;エッチング条件&gt; エッチング液：硝フッ酸 (3vol% HF-15vol% HNO<sub>3</sub>)          エッチング時間：10s</p>			

<解説>

チタン合金は、その構成相から $\alpha$ 単相の $\alpha$ 型、両者混合の $\alpha$ - $\beta$ 型、 $\beta$ 単相の $\beta$ 型の3種類に大別される。図1は $\beta$ 安定化元素との疑似2元系状態図を示す。最密六方構造(hcp)である $\alpha$ 相の純チタンにV、MoやFeなどの $\beta$ 安定化元素を添加していくと、体心立方構造(bcc)の $\beta$ 相が加わった合金系に遷移していく。

近年、航空機の主要部材に炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が採用されるようになり、CFRPとはガルバニック腐食を起こさず熱膨張差も小さいチタン合金を適用する部材が増えている。その代表格が $\alpha$ - $\beta$ 型のTi-6Al-4Vである。

$\beta$ 変態温度を超えて加熱すると $\alpha$ - $\beta$ 2相から $\beta$ 単相となるが、この $\beta$ 変態温度を超えた熱処理を行うと組織が大きく変わる。写真3は鍛造材に対して $\beta$ 単相域で熱処理を施した時のマイクロ組織であり、針状(ラメラ：Lamellar)組織を呈する。再結晶した $\beta$ 相粒界から冷却に伴い $\alpha$ 相が元の $\beta$ 粒界に沿って覆う様に変態析出し、さらに粒界近傍から板状(針状)晶が粒内へと成長することで、この組織が形成される。明灰色が $\alpha$ 相、暗灰色は残留した $\beta$ 相である。写真4は、 $\alpha$ 相が等軸(Equiaxed)になった組織である。 $\beta$ 変態点以下の $\alpha$ - $\beta$ 2相域で熱間加工することで、針状の $\alpha$ 相が分断、球状化され、 $\alpha$ 等軸組織が得られる。等軸組織は疲労強度が高く、延性も優れるため多用されてきたが、針状組織は、等軸組織に比べ延性が乏しい反面、破壊靱性が高いことから、近年構造部材としても採用されるようになっている。

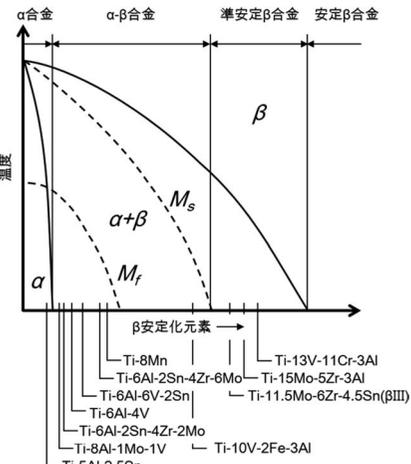
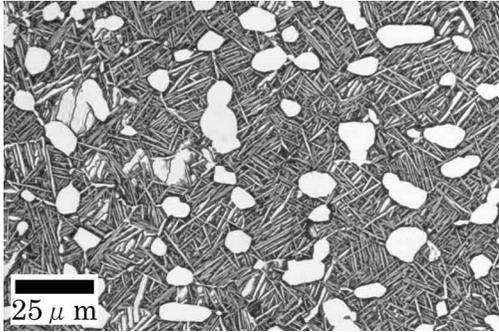
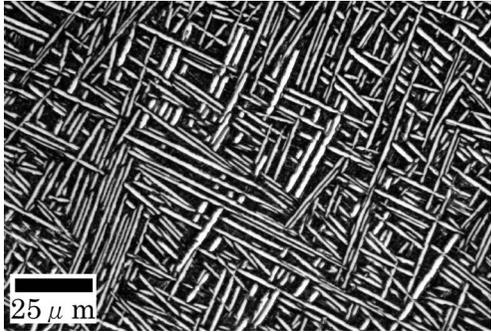


図1 チタン- $\beta$ 安定化元素疑似2元系状態図

(株)神戸製鋼所 鉄鋼事業部門 チタン本部 チタン研究開発室 研究員 横地 恒平

鋼種	$\alpha$ - $\beta$ 型チタン合金 Ti-6246	主要成分	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo
状態	$\alpha$ - $\beta$ 鍛造後 2段溶体化時効処理	熱処理等	$\beta$ プロセス鍛造後 溶体化時効処理
 <p>(×400) 写真5 光学顕微鏡写真</p>		 <p>(×400) 写真6 光学顕微鏡写真</p>	
<p>&lt;試料&gt; 写真5) 鍛造材：<math>\alpha</math>-<math>\beta</math>鍛造後930℃×2hr/WQ+830℃×3hr/WQ+590℃×7hr/AC 写真6) 鍛造材：<math>\beta</math>プロセス鍛造後930℃×2hr /fanAC+ 595℃×8hr/AC</p> <p>&lt;試料&gt; エッチング液：硝フッ酸（3vol%HF-15vol%HNO<sub>3</sub>） エッチング時間：10s</p>			

<解説>

$\alpha$ - $\beta$ 型合金の中でも、より $\beta$ 相量の比率が高い合金はニア $\beta$ 型と呼ばれる。汎用のTi-6Al-4Vに比べ、Ti-6246は高温強度が高く、また熱処理により得られる表層と内部の機械的特性差が小さい、いわゆる焼入れ性が良い合金であるため、航空機エンジンの中温域で用いられる回転体部品に適用されている。

写真5は、針状組織のマトリックスの中に等軸の $\alpha$ 相（初析 $\alpha$ ：primary $\alpha$ ）が分散した組織で、バイモーダル（Bi-modal）組織と呼ばれる。 $\alpha$ - $\beta$ 相の温度域で熱間鍛造して等軸の $\alpha$ 相を形成させ、2段の溶体化処理により、針状組織の形態を調整することで、強度と靱性のバランスを図っており、疲労強度にも優れる。

写真6は、針状 $\alpha$ で全面が覆われた組織となっている。その針状 $\alpha$ 相は長軸／短軸比（アスペクト比）が比較的短く、Ti-6Al-4Vと比較すると組織単位が小さい。 $\beta$ 単相域から $\alpha$ + $\beta$ 2相域にかけて適度なひずみを加えて鍛造（ $\beta$ プロセス鍛造）することで、元の $\beta$ 粒界に沿って析出する $\alpha$ 相の析出形態を変える一方、元の $\beta$ 粒内からも針状 $\alpha$ 相の析出を促すことで、この組織が得られる。暗色部は $\beta$ 相と更に微細な2次の針状 $\alpha$ 相が析出した組織で形成されている。

$\beta$ プロセス鍛造で得られた針状組織材は、バイモーダル組織材に比べてさらに靱性が優れており、低サイクル疲労のバランスにも優れる。

(株)神戸製鋼所 鉄鋼事業部門 チタン本部 チタン研究開発室 研究員 よこち こうへい  
横地 恒平

# 業界のうごき

## 愛鋼、 衣浦第2棟の起工式開催

愛知製鋼グループの特殊鋼流通大手、愛鋼は、衣浦工場（愛知県半田市）敷地内で建設する第二棟建築工事起工式を行った。当日は愛鋼に愛知製鋼、建設を請け負った坪井工業（東京都）から約30人が参集。工事の安全と完成を祈念した。

一連の神事終了後、鈴木鉄男社長は参列への感謝を述べるとともに「昨春に愛知製鋼からこの土地を譲り受けて以降、全社一丸となって計画を進めてきたところ、今夏に全ての状況が整い今日を迎えるに至った。当社が新棟に寄せている期待はとて大きく、安全第一で工事をお願いしたい」とあいさつ。

続いて愛知製鋼常務執行役員の安永直弘・鋼カンパニープレジデントは「この建物は愛知製鋼の社運とも結びつく重要なもの。車の機構変化に伴う電気自動車への移行は特殊鋼需要の減少にもつながると考えられ、次のステージとしてステンレス鋼分野の育成が課題」とビジョンを語った。（12月4日）

## ウメトク、 関東営業所が本格稼働

ウメトクが真岡第5工業団地（栃木県真岡市）に建設を進めていた、関東営業所ならびに関東センターが完成し、本格稼働を開始した。グループで国内最大規模の鋼材センターで、関東地区における事業拠点の抜本的見直しを進めるとともに、同地域周辺に集積する自動車やロボット、機械関連をはじめとしたユーザーへの対応強化につなげる。

新たに開設した関東営業所・関東センターは、敷地面積が約1万2,900平方メートル、倉庫・事務所の延べ床面積が約3,800平方メートル。主な設備としては天井クレーン3台と切

断機8台を導入し、部分的に搬送ロボットを配置している。

同センターでは、構造用鋼や工具鋼をはじめとした特殊鋼鋼材の切断加工販売を行い、現地での採用を含めて約20人体制でスタートした。投資総額は約7億円。切断機については、需要動向に応じて順次増設を検討するほか、人員についても、将来的には最大40人規模の現地採用も視野に入れている。（1月29日）

## 住友商事、 金属事業の一部を移管

住友商事は、住友商事グローバルメタルズ、住商メタレックスへの金属事業部門の一部事業の移管を決めた。住友商事グローバルメタルズは4月1日、住商100%出資による金属事業部門の中核事業として、資本金100億円、売上高7,000億円規模、住友商事からの出向者が約半数の単体人員約550人の体制で本格始動する。

住友商事グローバルメタルズは、住商スチールと住商チューブラーズが合併して2016年4月に発足。現在は、鋼板、自動車金属製品、軽金属・輸送機金属製品、鋼管の4本部体制で、住商・金属事業部門の業務を担っている。

住商は昨年2月、住友商事グローバルメタルズおよび住商メタレックスとの間で会社分割の基本合意書を締結。取引先への説明、システム構築などの準備を進めてきた。4月1日の事業移管と同時に、住友商事グローバルメタルズの資本金を3億円から100億円に増額することも決定した。（1月31日）

## 大和特殊鋼、 春日工場の増設完了

大和特殊鋼は、厚中板の加工拠点である春日工場（兵庫県丹波市）の第4期増設工事を完了させ、東大阪商品センターの鋼板加工設備および

在庫を移転し、ステンレス鋼板の加工部門を同工場に集約した。総投資額は土地代を含めて約9億円で、増設部分については11月中旬から本格稼働を開始した。

今回の増設工事により、工場敷地は従来比約1.5倍の1万3,706平方メートル、建物は同1.8倍の7,639平方メートルとなり、在庫収容能力も約1.8倍の1万トンにまで拡大した。増設部分には、東大阪商品センターからシャーリング機4基、矯正機1基を移設したほか、天井走行クレーン3基（10トン、5トン、2.8トン）、棟間台車（6トン）3基を新設。

また、屋根部には太陽光発電設備も増設し、発電量は従来の50キロワットから550キロワットにまで大幅に増加。人員についても、転勤や新規採用で11人増の36人体制となった。（12月14日）

## テクノタジマ、 開先加工機を更新

テクノタジマは、本社工場の開先加工機1基を更新した。老朽更新に合わせ操作性の向上を図り、若手作業員での操作も可能とすることで多能工化を促進。前年に更新した開先ロボットの併用により生産性の向上も図り、需要家からの二次加工ニーズ拡大への対応力を強化した。

導入した設備は、シンクス製の平板開先切削盤「VX2000A」1基。従来機種に比べ加工サイズは最長2メートルと同等だが、カラータッチパネルの使用により操作性が向上しており、従来機種のように熟練工による経験がなくても操作が可能なことから、若手作業員での操作も容易で、生産効率の向上とともに作業員の多能工化促進にも貢献する。

需要家である産業機械や工作機械メーカーからの、厚鋼板切板における二次加工ニーズの高まりに伴い、切板への開先加工を伴う製品は全体

## 業界のうごき

の8割に及ぶなど近年、その比率が向上している。このため同社では、前期中に開先加工ロボットの更新も実施した。(12月21日)

### 名古屋特殊鋼、 インドネシア現法が金型溶接に参入

名古屋特殊鋼のインドネシア現地法人「メイトクーワダヤマ・インドネシア」は、同国での使用済み金型の補修をはじめとする金型溶接事業に本格参入する。日本で注力する同事業を海外で初展開するもので、新たに3台の溶接機を導入。日本本社で養成した専門スタッフの派遣による現地スタッフの育成と並行した事業化で、主力の金型製造を補完する第2の柱事業として成長を図る考えだ。

メイトクーワダヤマ・インドネシアは2012年の設立以降、現地の日系自動車関連企業向けを中心とした金型製造を行ってきた中で、インドネシアにおける潜在的な金型溶接補修ニーズを捕捉。インドネシアでは同様の事業を行う企業が少ないことも背景に、独自に確立している溶接技術およびノウハウを駆使し、新作金型の販売とともに摩耗やへたり、割れを補修するリユースも提案できる体制を構築することで、ユーザーの掘り起こしと事業の強化を狙う。(12月15日)

### 堀田ハガネ、 高性能バンドソー導入

堀田ハガネは、鋼材の切断効率向上を目的に、本社ヤード内にアマダ製のバンドソーマシン「PCSAW530AX」をこのほど導入した。同社では昨年にも同機種1基を導入しており、切断加工能力の増強により、作業効率アップによるユーザーへの対応強化を図る。

導入したバンドソーは、高性能超硬ブレードAXCELA Gを搭載。シングルパルスカッティングによる切削抵抗低減効果と、ダブルコラムガ

イド採用の高剛性フレームにより高速切断が可能で、生産性は従来機(HFA530CNC)に比較して約1.8倍にまで向上。投資額は約1,700万円。

主力の含ニッケル鋼(SNCM・SNC鋼)をはじめ、構造用鋼などの切断加工のユーザーニーズが増加傾向となっている中、切断量もこの約15年間で約3倍増の月間500トンにまで増大。今回の設備増設も、増加する切断加工ニーズに対応するもの。(12月4日)

### メタルワン特殊鋼、 関西加工センターの事業内容見直し

メタルワン特殊鋼は、来年をめどに、関西地区の加工・物流拠点である関西加工センター(大阪府高石市)の大幅な見直しを実施する。同センターでの事業内容を、最適なパートナーとの協業や業務移管で整理し、同社独自で継続する領域を限定。トータルでの効率化および収益面向上につなげる。

メタルワン特殊鋼ではここ数年、各地区の事業拠点の抜本的な見直しを進めており、特に全国5カ所(東北、関東、中部、北陸、関西)の加工センターを中心に、扱い物量および採算に沿った形での規模への転換を実施。昨年末には呉羽物流ヤード(富山県富山市野々上)を北陸加工センターに集約したほか、兵庫支店(兵庫県加古郡稲美町)を閉鎖し、営業機能を大阪本社へ移管、加工機能は大手特殊鋼流通の白鷺特殊鋼(本社=姫路市)に委託するなど、強い分野を伸ばすとともに、独力で打開が難しい分野については、主要地区ごとに同業者とのアライアンスを積極的に展開している。(12月22日)

### 愛知製鋼、 新熱間ローリングミルに着工

愛知製鋼は、1月15日に鍛造工場(愛知県東海市)で国内トップレベルの高速生産性を持つリングギヤ用

新熱間ローリングミルラインの起工式を行い、建設に着手した。ディファレンシャルリングギヤ(車が曲がる時の内側と外側の車輪の速度差を吸収する差動機構に使用されるリング状のギヤ)の鍛造から熱処理工程までを一貫した高速自動鍛造ラインで、同社では8ライン目の導入となる。高周波加熱炉、トランスファー搬送式自動プレス、ローリングミル、FIA炉、搬送装置(産業用ロボット)などで構成、月産能力は約18万個。18年3月に稼働開始の予定で、投資額は18億円。

鍛鋼一貫モノづくりの競争力強化と、同社主力鍛造品で現在月間約120万個を生産するディファレンシャルリングギヤのタイムリーな供給対応を狙いとするもので、完成すれば同リングギヤの生産能力は約15%アップする。(1月16日)

### 山陽特殊製鋼、 火花での鋼材識別システム開発

山陽特殊製鋼は、東京理科大学との共同研究により、鋼材の種類を判別する火花試験で火花の画像解析による鋼材識別システムを開発した。現在、鋼材識別システムを備えた機器を製造現場へ試験的に導入しており、実用化に向けた検証を進めていく。

火花の形態や色から鋼材の種類を識別する試験として火花試験(規格番号JISG0566)があるが、今回の開発では、火花を人が目で見て識別する官能試験から、コンピュータを用いたデータ解析に基づいて識別する機器試験化による、火花試験の高度化を目標としている。新システムは画像解析技術を活用し、鋼材の含有成分によって変化する火花を撮影し、その特徴を画像解析によって捉えることで、鋼材中に含まれる炭素含有量を識別。これまで熟練技能に頼らざるを得なかった火花試験を機器試験化すること

# 業界のうごき

で、試験精度の向上や安定化などの効果が期待される。(12月15日)

## JFEスチール、 「JFE443MT」を開発

JFEスチールは、汎用オーステナイトステンレス代替のフェライト系ステンレス鋼板として、「JFE443MT」を開発した。同製品は耐食性とコスト面で、同社が販売するSUS304代替の「JFE443CT」とSUS316代替の「JFE445M2」の中位品種。中期的に月数百トンの販売を目指す。フェライト系ステンレスのラインアップを拡充し、建築、産業用機械、輸送用車両・機器、厨房機器、生活用品、電気製品など幅広い分野における需要家の細かいニーズへの対応力を高める。

JFEスチールのステンレス製品は、希少金属であるニッケルに比べ価格変動が少ないクロムを使用するコンセプトの下、非オーステナイト系の製品を展開してきた。過去、汎用オーステナイト系ステンレス鋼板(304、316)に代替するフェライト系ステンレス鋼として、2005年にJFE443CT、16年には耐食性に優れたJFE445M2を商品化した。(12月19日)

## 新日鉄住金ステンレス、 「FW0」を国内市場に投入

新日鉄住金ステンレスは、錫添加高純度フェライト系ステンレス鋼の独自商品である、FW(フォワード)シリーズの新商品として、「NSSCFW0(ゼロ)」を国内市場に投入する。従来、海外需要家向けで販売していたが、このほど国内で初受注したことを契機に、国内向けで本格販売を開始する。家電向けを主体に幅広く拡販し、現状の年1,000トンの販売を2,000-3,000トン程度に増やす。FWシリーズ全体では、年間3万トン程度の受注量を1割程度押し上げる見込み。

FWシリーズ(FW1・FW2)は、

錫を微量添加することでフェライト系ステンレス鋼の耐食性を大幅に向上しニッケル・モリブデンフリーを実現する独自鋼種で、省資源と高い価格安定性が評価されている。(12月26日)

## 日本冶金工業、 中国・高機能材販社が営業開始

日本冶金工業の中国における高機能材(高ニッケル合金鋼)事業合弁会社「南鋼日邦冶金商貿(南京)」が、1月16日から営業を開始した。同社は昨年設立した高機能材販売会社で、母材を川崎製造所から供給、厚板の製造は南京鋼鉄に委託することで超広幅の高機能材の現地製造、販売も行う。国際競争力を高め、近年、高まっている環境関連の需要捕捉を目指す。

日本冶金は、昨年5月に策定した「中期経営計画2017」で掲げた高機能材事業のさらなる深化のための施策の一つとして、高度化する中国の需要家ニーズに応える目的で南京鋼鉄、江蘇三鑫特殊金属材料と合弁会社を設立した。現地生産体制の整備と販売機能の強化を図る。

中国は、ニッケルを20%以上含有する高ニッケル鋼である高機能材の主要マーケット。同国では、大口需要家のプラント・設備機器業界が、同国の環境・エネルギー政策や産業振興政策を背景に今後とも高い成長を続けると見込まれている。(1月17日)

## 不二越、 新中計を策定

不二越は新中期経営計画を策定し、2020年度(20年11月期)で売上高が17年度実績比26.3%増の3,000億円、営業利益が同67.4%増の270億円を目指す。設備投資では、3カ年累計で800億円を投じる計画。人員も8,000人と現在から1割以上、増やす。

同社が以前から掲げる売上高4,000億円、営業利益600億円の長期ビジョ

ン達成に向けたマイルストーンと位置付ける。特にロボット事業は売上高を17年度実績比90.2%増の650億円まで伸ばす計画で、全体をけん引する。

ロボット事業では、高機能ロボットとFA(ファクトリー・オートメーション)システムの供給を強化する。開発・営業面では、協働ロボットや小型ロボットを拡充し都内にR&Dセンターを開設するほか、世界的にテクニカルセンターやサービスセンターも拡充する。製造面では、自動組立一貫生産ラインを構築。需要立地の考えの下、国内や中国などでロボット工場を増設し、北米やアセアンでもシステム工場を新設する。(1月29日)

## 三菱製鋼、 インドネシア合弁ミルを子会社化

三菱製鋼は、インドネシアで行う特殊鋼鋼材の合弁事業について、持分法適用会社である「ジャティム・タマン・スチール」を連結子会社化する。子会社化に伴う普通株式の取得価額は31億1,000万円。インドネシアは、板ばねの素材から加工・製造までの一貫生産を行う、同社にとってのアセアン戦略の中核事業で、さらなる品質、コスト競争力の向上を図るため株式を追加取得した。インドネシア唯一の特殊鋼一貫メーカーとして、自動車、建機などの主要顧客の現地調達ニーズへの対応を強化する。

現在の最大保有株主であるインドプリーマ・インバスタマ社から取得し、三菱製鋼の持株比率は現状の35.4%から56.2%に引き上がる。子会社後には、三菱製鋼から社長を派遣し、経営スピードを早める。ジャティム・タマン・スチールは1971年設立で、資本金は1兆2,094億ルピア(約96億8,000万円)。特殊鋼棒鋼とばね平鋼の生産、販売を行っている。(12月28日)

文責：(株)産業新聞社

# 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						計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'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	5,014,548	3,947,953	8,962,501	438,097	1,011,176	2,850,849	629,459	5,562,736	609,458	11,101,775	20,327,020
'15 年度	241,082	4,638,379	3,487,357	8,125,736	421,420	962,553	2,725,384	593,245	5,048,694	694,055	10,445,351	18,812,169
'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. 1-3月	64,955	1,241,534	954,019	2,195,553	110,678	239,733	717,603	151,421	1,356,086	164,989	2,740,510	5,001,018
4-6月	65,757	1,260,671	1,002,442	2,263,113	106,454	256,504	681,063	162,754	1,424,419	156,719	2,787,913	5,116,783
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	1,263,665	1,004,185	2,267,850	112,789	254,594	742,928	157,477	1,417,277	141,752	2,826,817	5,165,008
'16年 11月	18,433	402,961	311,059	714,020	37,089	80,548	225,357	54,963	463,212	45,569	906,738	1,639,191
12月	21,149	424,172	316,976	741,148	31,510	82,133	240,129	50,160	508,522	45,603	958,057	1,720,354
'17年 1月	19,468	408,964	301,672	710,636	34,927	74,618	239,578	47,258	458,011	58,149	912,541	1,642,645
2月	21,372	397,944	310,858	708,802	35,718	79,301	232,919	50,822	417,401	47,934	864,095	1,594,269
3月	24,115	434,626	341,489	776,115	40,033	85,814	245,106	53,341	480,674	58,906	963,874	1,764,104
4月	20,766	413,194	320,583	733,777	34,000	82,220	245,262	50,063	505,150	60,497	977,192	1,731,735
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	421,411	321,200	742,611	40,011	86,023	251,839	48,652	446,426	50,420	923,371	1,689,865
前月比	101.7	101.7	94.5	98.4	112.5	104.3	109.3	88.9	88.3	110.6	96.7	97.5
前年同月比	112.9	99.3	101.3	100.2	127.0	104.7	104.9	97.0	87.8	110.6	96.4	98.2

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	1,716,215	6,648,155	20,344,325
'15 年度	269,744	5,701,404	1,009,207	4,171,024	1,580,711	6,091,727	18,823,817
'16 年度	313,559	5,917,546	984,067	4,202,470	1,954,496	6,287,894	19,660,032
17. 1-3月	85,865	1,533,680	247,107	1,090,747	410,529	1,636,003	5,003,931
4-6月	77,687	1,596,581	276,680	1,053,309	434,289	1,681,050	5,119,596
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
'16年 11月	21,757	501,641	73,282	346,353	184,156	512,973	1,640,162
12月	23,709	509,934	90,291	341,698	224,809	530,884	1,721,325
'17年 1月	30,982	480,915	83,690	357,774	137,122	553,133	1,643,616
2月	35,274	495,365	79,459	348,387	116,286	520,469	1,595,240
3月	19,609	557,400	83,958	384,586	157,121	562,401	1,765,075
4月	22,545	509,877	98,030	347,221	182,910	572,123	1,732,706
5月	24,514	539,243	84,823	360,133	122,987	573,997	1,705,697
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
前月比	146.2	95.8	99.3	102.0	91.5	95.9	97.6
前年同月比	163.3	102.0	101.3	101.6	70.6	100.8	98.2

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							計	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			
'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	
'15 年度	319,413	3,811,785	4,049,269	7,861,054	265,198	443,260	3,005,738	169,510	114,666	35,504	4,033,876	12,214,343	
'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 4月	26,586	338,980	359,343	698,323	26,247	45,105	257,235	15,228	6,616	4,123	354,554	1,079,463	
5月	25,689	373,073	380,510	753,583	39,142	55,377	256,753	15,347	14,835	9,396	390,850	1,170,122	
6月	28,280	330,291	368,972	699,263	12,455	45,460	254,224	16,145	6,873	4,267	339,424	1,066,967	
7月	28,238	261,696	164,986	426,682	11,318	45,446	141,070	15,759	7,710	3,199	224,502	679,422	
8月	25,461	265,973	153,450	419,423	10,327	43,102	137,728	13,543	7,294	3,626	215,620	660,504	
9月	26,498	268,720	165,598	434,318	10,911	45,406	145,671	15,090	7,180	4,426	228,684	689,500	
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	
前月比	103.0	95.1	95.2	95.1	80.1	95.4	87.6	94.7	107.3	287.4	92.7	94.6	
前年同月比	115.9	82.5	45.6	63.2	41.8	99.1	52.6	102.4	124.1	245.5	63.8	64.7	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

**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							計	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			
'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	
'15 年度	6,741	212,593	129,143	341,736	25,337	35,403	107,219	24,867	151,569	34,374	378,769	727,246	
'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 4月	7,434	224,046	130,207	354,253	26,038	33,527	111,499	26,168	199,473	37,309	434,014	795,701	
5月	7,500	231,933	138,662	370,595	27,161	33,792	113,100	30,722	161,894	31,542	398,211	776,306	
6月	6,664	224,542	128,025	352,567	25,856	33,044	104,430	29,104	161,646	30,227	384,307	743,538	
7月	6,973	225,298	125,215	350,513	28,407	31,923	106,229	28,503	195,713	27,593	418,368	775,854	
8月	6,712	239,177	129,707	368,884	29,349	34,877	127,059	31,715	196,721	27,616	447,337	822,933	
9月	5,208	236,500	127,532	364,032	31,952	36,045	129,858	30,550	184,771	25,474	438,650	807,890	
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	
前月比	108.6	98.2	96.8	97.7	104.8	99.5	104.5	87.1	88.7	104.8	95.4	96.6	
前年同月比	107.7	96.9	93.0	95.5	140.5	88.3	100.6	97.2	98.6	82.7	99.5	97.7	

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							計	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			
'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	
'15 年度	61,699	200,931	139,603	340,534	13,258	53,426	135,679	14,121	11,473	1,763	229,720	631,953	
'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 4月	58,626	186,276	138,797	325,073	21,156	58,506	131,777	10,385	10,274	2,123	234,221	617,920	
5月	59,794	202,677	159,205	361,882	21,451	61,208	137,640	12,380	10,351	1,510	244,540	666,216	
6月	59,313	194,686	148,930	343,616	12,995	62,288	138,390	11,609	9,799	2,278	237,359	640,288	
7月	59,499	184,788	146,865	331,653	13,012	61,657	134,304	11,506	11,543	2,099	234,121	625,273	
8月	57,262	188,066	147,969	336,035	14,704	59,022	147,117	13,063	10,442	2,012	246,360	639,657	
9月	57,986	189,964	148,129	338,093	14,923	57,613	145,212	11,852	10,257	2,111	241,968	638,047	
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	
前月比	101.6	106.4	104.9	105.7	102.7	100.9	101.5	84.1	104.4	106.1	100.7	103.4	
前年同月比	96.0	97.9	103.3	100.2	88.9	91.6	111.1	84.2	95.9	136.7	102.7	100.7	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

## 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	453,317	604,953	1,058,270	187,297	991,112	120,960	1,299,368	5,337	5,872,299	5,877,636	8,277,566
'15 年度	39,898	415,754	516,291	932,045	186,774	1,009,763	141,761	1,338,299	10,648	5,375,453	5,386,101	7,696,343
'16 年度	44,566	429,869	558,646	988,515	188,175	1,022,853	137,846	1,348,875	9,298	6,153,677	6,162,974	8,544,929
'17年 3月	3,880	41,015	62,538	103,553	18,135	91,438	12,455	122,028	564	537,062	537,626	767,087
4月	3,989	35,949	51,035	86,983	15,497	83,931	12,251	111,679	527	443,250	443,777	646,427
5月	3,580	34,604	53,757	88,361	14,730	85,441	13,707	113,878	276	502,351	502,627	708,445
6月	3,682	39,859	55,059	94,918	14,359	79,677	10,110	104,146	476	522,857	523,334	726,080
7月	3,740	42,073	48,296	90,369	14,664	78,512	8,710	101,887	475	480,293	480,768	676,764
8月	3,098	34,285	39,408	73,693	14,841	75,110	10,383	100,334	325	445,584	445,909	623,034
9月	3,284	38,942	54,791	93,733	15,548	77,006	9,533	102,087	234	461,099	461,334	660,438
10月	3,320	39,359	49,058	88,417	16,709	85,139	8,080	109,928	522	434,110	434,632	636,297
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
前月比	105.8	124.1	116.1	119.4	123.4	106.9	119.3	110.0	103.8	91.1	91.1	97.2
前年同月比	100.7	106.4	121.8	114.7	115.1	99.2	99.2	101.4	73.2	96.4	96.4	99.4

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					計	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			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	599,022	609,221	864,657
'15 年度	3,663	5,131	566	12,821	10,742	149,710	13,631	187,471	70	17,640	826,552	844,192	1,040,527
'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 3月	164	386	103	932	801	17,270	1,474	20,579	9	1,097	40,160	41,257	62,396
4月	326	203	26	978	812	14,700	1,612	18,129	1	769	55,109	55,878	74,536
5月	244	316	35	1,026	924	23,937	1,867	27,789	17	1,226	63,390	64,616	92,982
6月	462	414	119	807	1,086	21,815	1,276	25,103	-	1,330	78,103	79,433	105,413
7月	289	261	126	908	792	20,849	1,365	24,040	42	339	75,705	76,045	100,677
8月	307	228	19	1,080	807	14,420	1,171	17,497	18	1,109	61,423	62,531	80,581
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
p 12月	182	392	120	847	1,191	14,490	1,419	18,066	9	1,016	26,738	27,754	46,402
前月比	53.8	118.3	260.0	72.1	94.4	79.8	129.6	83.1	64.9	207.6	73.8	75.6	78.5
前年同月比	55.2	172.6	94.4	94.5	118.3	89.1	119.4	92.8	199.3	150.5	32.7	33.7	45.3

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		産業車輦生産		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	うちトラック	うちトラック	うちトラック	フルドーザ	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	9,684,146	1,213,631	4,705,848	368,407	5,234,166	832,195	-	179,004	113,932	11,460	101,431	50,328	16,456
'15 年度	9,187,599	1,279,403	4,582,525	447,339	4,937,734	808,174	-	158,900	114,320	11,124	101,838	54,576	13,990
'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 3月	929,963	112,344	419,546	38,611	691,374	104,789	-	15,492	10,411	994	8,623	8,226	1,427
4月	749,224	99,783	371,827	27,432	354,747	56,328	-	14,351	8,976	878	8,359	2,440	1,337
5月	693,142	90,082	320,255	25,457	372,576	59,338	-	13,365	8,530	1,001	8,055	2,694	1,299
6月	859,749	108,079	425,462	32,520	477,469	79,780	-	16,380	10,599	1,206	7,900	5,044	1,430
7月	818,412	103,946	410,676	32,804	427,547	68,760	-	15,480	9,619	1,124	8,533	3,463	1,337
8月	695,912	89,950	359,536	26,690	355,307	62,707	-	14,709	8,435	1,017	8,824	4,147	1,335
9月	855,277	105,703	423,721	37,014	495,188	76,217	-	14,764	9,946	982	8,105	5,187	1,491
10月	r 831,078	r 103,260	411,277	30,469	r 372,469	60,732	-	15,609	10,561	1,018	8,509	3,001	1,407
11月	847,882	107,673	438,377	33,389	406,860	73,241	-	15,827	10,195	907	8,992	4,500	1,585
12月	791,315	93,789	433,390	29,700	394,254	63,022	-	16,015	9,569	851	7,926	4,383	1,659
前月比	93.3	87.1	98.9	89.0	96.9	86.0	-	101.2	93.9	93.8	88.1	97.4	104.7
前年同月比	101.3	102.6	102.5	97.8	99.2	99.4	-	120.3	109.1	104.3	91.5	61.5	148.3

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・産業車輦生産は『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: 訂正值

特殊鋼需給統計総括表

2017年12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	23,883	101.7	112.9	115.9		
	鋼材輸入実績	182	53.8	55.2	58.9		
	販売業者	受入計	30,143	107.4	120.7	111.7	
		販売計	29,260	103.0	115.9	111.4	
		うち消費者向	22,110	105.6	121.3	116.9	
		在庫計	55,932	101.6	96.0	94.7	
	鋼材輸出船積実績	3,427	105.8	100.7	71.9		
	生産者工場在庫	7,366	108.6	107.7	88.8		
	総在庫	63,298	102.4	97.3	94.0		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産	742,611	98.4	100.2	108.5	
鋼材輸入実績		23,571	75.3	72.2	67.9		
販売業者		受入計	443,755	99.8	65.8	67.9	
		販売計	425,872	95.1	63.2	65.1	
		うち消費者向	309,167	96.0	72.0	70.4	
		在庫計	330,061	105.7	100.2	93.8	
鋼材輸出船積実績		98,812	119.4	114.7	120.2		
生産者工場在庫		358,896	97.7	95.5	102.6		
総在庫		688,957	101.4	97.7	98.2		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産	40,011	112.5	127.0	111.3	
	鋼材輸入実績	392	118.3	172.6	96.2		
	販売業者	受入計	8,932	81.8	40.6	42.1	
		販売計	8,597	80.1	41.8	40.9	
		うち消費者向	4,499	98.1	99.1	96.8	
		在庫計	12,917	102.7	88.9	105.8	
	鋼材輸出船積実績	18,181	123.4	115.1	115.6		
	生産者工場在庫	33,141	104.8	140.5	128.3		
	総在庫	46,058	104.2	120.8	121.1		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産	251,839	109.3	104.9	109.7	
鋼材輸入実績		18,066	83.1	92.8	124.9		
販売業者		受入計	135,085	87.2	53.9	53.9	
		販売計	133,012	87.6	52.6	52.9	
		うち消費者向	63,410	91.2	112.5	113.4	
		在庫計	144,088	101.5	111.1	105.4	
鋼材輸出船積実績		90,161	106.9	99.2	102.8		
生産者工場在庫		122,991	104.5	100.6	106.7		
総在庫		267,079	102.8	106.0	106.0		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産	48,652	88.9	97.0	94.8	
	販売業者	受入計	13,066	87.8	95.3	92.4	
		販売計	14,952	94.7	102.4	104.0	
		うち消費者向	14,455	94.8	106.2	103.8	
		在庫計	9,965	84.1	84.2	73.6	
	生産者工場在庫	26,401	87.1	97.2	95.1		
	総在庫	36,366	86.3	93.3	88.1		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産	446,426	88.3	87.8	108.1	
		販売業者	受入計	9,514	118.1	128.9	92.5
			販売計	9,080	107.3	124.1	89.3
うち消費者向			6,854	107.2	124.4	102.3	
在庫計			10,293	104.4	95.9	93.9	
生産者工場在庫		188,923	88.7	98.6	99.6		
総在庫		199,216	89.4	98.4	99.3		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産	136,443	106.5	106.8	98.6	
		販売業者	受入計	55,431	110.4	116.3	136.8
			販売計	54,802	107.3	109.9	135.2
	うち消費者向		41,189	110.3	119.7	112.1	
	在庫計		56,186	101.1	92.8	105.7	
	生産者工場在庫	54,094	101.5	86.0	78.2		
	総在庫	110,280	101.3	89.3	90.2		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	1,689,865	97.5	98.2	107.4	
		鋼材輸入実績計	46,402	78.5	45.3	57.1	
		販売業者	受入計	695,926	97.8	66.9	68.4
販売計			675,575	94.6	64.7	66.4	
うち消費者向			461,684	97.0	82.1	80.2	
在庫計			619,442	103.4	100.7	97.2	
鋼材輸出船積実績計		706,291	97.2	99.4	109.8		
生産者工場在庫		791,812	96.6	97.7	100.8		
総在庫		1,411,254	99.4	99.0	99.2		

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29年12月1日～平成30年1月31日)

## 平成30年新年賀詞交換会 (1月5日)

場 所：東京・ホテルニューオータニ  
参加者：約700名

## 理事会 (1月19日、書面)

## 運営委員会 (1月12日)

- ・幹事会 (1月31日)
- ・総務・財務分科会合同委員会 (1月12日)

## 海外委員会

本委員会 (12月27日)  
専門委員会 (12月18日)、(12月21日)

## 編集委員会

本委員会 (1月15日)  
5月号特集「特殊鋼の信頼性評価技術動向 (含  
非破壊検査技術の最新動向) (仮題)」の編集方  
針、内容の確認

## 小委員会 (12月22日)

5月号特集「特殊鋼の信頼性評価技術動向 (含  
非破壊検査技術の最新動向) (仮題)」の編集内  
容の検討

## 流通委員会

講習会 (12月19日)  
演 題：下請ガイドラインに関する講習会  
講 師：山口 拓郎 弁護士  
参加者：41名

## 説明会 (12月25日)

演 題：平成29年度第4・四半期特殊鋼需要  
見通し  
講 師：経済産業省製造産業局金属課課長補佐  
岡田 治 氏  
参加者：23名

## [大阪支部]

平成30年新年賀詞交換会 (三団体共催、1月5日)  
場 所：リーガロイヤルホテル  
参加者：約760名

## 三団体共催講演会 (12月4日)

演 題：「憲法改正と日本の自立」  
講 師：ケント・ギルバート 氏  
参加者：84名

## 三団体責任者会議 (12月4日)

賀詞交換会他、本年度下期共催事業検討他

## 二団体共催「工場見学会付新人研修講座」会議 (12月4日、全特協)

平成30年度新規開催検討

## [名古屋支部]

平成30年新年賀詞交換会 (三団体共催、1月10日)  
場 所：名古屋観光ホテル  
参加者：430名

## 部会

### 企画部会 (1月30日)

- ①総会後の講演の講師選定
- ②優良企業見学会見学先選定
- ③一般講演会の講師選定
- ④事業別役割分担
- ⑤委員の改選検討

## 二団体共催・海外工場視察 (12月13日～17日、 全特協)

見学先：①PT. Meitoku-Wadayama Indonesia  
②PT. FUJIMAKI STEEL INDONESIA  
③PT. King Duan industrial indonesia  
④PT. IBARA LIOHO INDONESIA

## 特殊鋼倶楽部の動き

### 「平成29年度第3回一般社団法人特殊鋼倶楽部工場見学会」開催

去る12月15日（金）に平成29年度第3回工場見学会を開催しました。

見学先は、兵庫県姫路市にある山陽特殊製鋼(株)本社工場殿で、会員企業から52名が参加しました。

訪問先である山陽特殊製鋼(株)本社工場に到着後、同社社員会館にて井上参与大阪支店長よりご挨拶があり、次いで竹内総務部部長より工場概要説明を受けた後、3班に分かれ見学に入りました。

製鋼工場では150t電気炉及び連続鑄造設備を鋼片工場では分塊圧延機をまた、第二棒線工場では棒鋼圧延ラインを見学しました。その後社員会館に戻り質疑応答の後、吉竹総務部長から終了のご挨拶、次いで小澤特殊鋼倶楽部専務理事より工場見学御礼の挨拶があり同社工場の見学を終了しました。

見学先の感想では、「完全垂直型の連続鑄造設備がとても迫力があつた」「連続鑄造の工程で完全垂直型を採用していて不純物除去の取組みの徹底に感心した」「動いている連続鑄造設備（他社も含め）を初めて見て、液状→固体への変化が手に取るように分かつた」「分塊圧延機は迫力があつた」「分塊圧延機に実際に製品が流れている現場。完全垂直連続鑄造設備の構造、利点を理解できた」「姫路駅から車で20分の好立地にあること」等の感想を頂きました。

最後に、特殊鋼倶楽部会員企業のために貴重な機会を与えていただいた山陽特殊製鋼(株)本社工場の関係者の方々に感謝を申し上げて、工場見学会の報告といたします。

以下に、写真を掲載します。



【工場見学会の様子 山陽特殊製鋼(株)本社工場殿】

## 「下請ガイドラインに関する講習会」開催

全日本特殊鋼流通協会、及び当倶楽部 流通委員会（委員長 佐久間特殊鋼㈱ 代表取締役執行役員社長 佐久間貞介）、共催で「下請ガイドラインに関する講習会」を下記の通り開催しました。

流通委員会では、これまで全日本特殊鋼流通協会との共催で「取引問題説明会」（東京：9月6日、名古屋：10月23日、大阪：10月27日）及び「価格交渉サポートセミナー」（東京：10月19日、名古屋：11月8日、大阪：11月9日）を開催して参りましたが、今回は発注者側の視点での説明会として実施したものです。

当日は、適正取引推進講習会事務局殿のご協力を頂き「金属産業取引適正化ガイドライン（金属産業における下請適正取引等のためのガイドライン）」について 山口 拓郎 弁護士より詳細かつ分かり易い説明を頂きました。その後、質疑応答に移り活発な意見交換が行われました。

最後に、ご出席頂きました経済産業省 製造産業局 金属課 課長補佐 岡田 治様よりご挨拶を頂き盛会の内に終了しました。

なお、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開催に是非とも反映させたいと思います。多数のご参加をいただき、誠にありがとうございました。

日 時：平成29年12月19日（火） 15時00分～16時30分 参加者41名

場 所：東京都中央区日本橋茅場町「鉄鋼会館」811号室

テーマ：下請ガイドラインに関する講習会

講 師：山口 拓郎 弁護士

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）】

## 「平成29年度ビジネスパーソン研修講座」を開催しました

本講座は、一般社団法人特殊鋼倶楽部人材確保育成委員会が人材育成事業の一環として一般社団法人全日本特殊鋼流通協会東京支部との共催により、毎年度タイムリーなテーマを選定し実施しています。

今回は、平成30年2月19日（月）13時00分～20日（火）17時00分の1日半に亘り、東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館701号室において、「平成29年度ビジネスパーソン研修講座」を開催いたしました。講師に、日鉄住金総研㈱・野田一臣氏をお招きし、男性35名、女性5名、計40名が受講されました。

研修テーマは、「～お客様から納得度高く評価いただける営業～営業提案スキル強化研修」と題し、①あるべき「営業」スタイルの理解…必要なスキルの確認、②現状の自分自身の見直し…補強すべきスキルの整理、③「気づきや学び」の後輩指導へ連携…チーム力強化をねらいとし、自発的営業の考え方を習得できる内容といたしました。

講座方式は単なるスクール形式の座学ではなく、講義とグループディスカッションを織り交ぜた聴講実践型を取り入れて、受講者の皆様は、野田講師の説明に神経を集中して耳を傾け、それを演習により習得することで即実務に役立られるよう学びとっている様子でした。1日目終了後に懇親会を開き、日頃機会のない他社との交流、情報交換ができ、打ち解けた雰囲気の中で有効な時間を過ごされました。

受講者からの受講後アンケートでは、説明するスピードも適切で聞きやすい、一般的な内容に理論を落とし込んで分かりやすい、中堅社員、営業職としての自身の振り返りとなった、新たな気づきとなる点が多かったなど総じて受講してよかったとの好評価が得られました。

受講されました皆様には、一日半大変お疲れさまでした。

以下に、研修講座の様子を紹介いたします。



【会場の様子（東京・鉄鋼会館）】

平成30年2月27日

各位

一般社団法人 特殊鋼倶楽部  
会長 石黒 武

## 「夢見る鉄」マスコットキャラクター愛称募集について

拝啓 時下ますますご清祥のこととお慶び申し上げます。

さて、当倶楽部では特殊鋼PR活動の一環として、WEBサイトおよびパンフレット「夢見る鉄」を作成しました。ここに登場するマスコットキャラクターの愛称を、下記のとおり公募することといたしました。

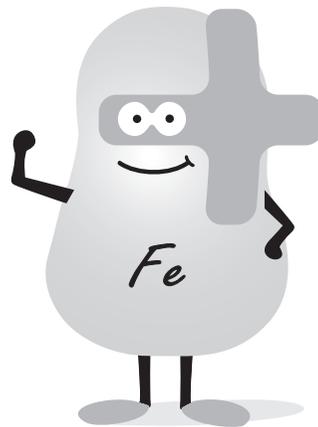
皆さま奮ってご応募お願い申し上げます。

敬具

記

### 1. マスコットキャラクター

特殊鋼が、「鉄(Fe)」に別元素を「プラス」されることで生み出されることをイメージしております。



### 2. 「夢見る鉄」WEBサイト

<http://www.tokushuko.or.jp/yumemirutetsu/index.html>

### 3. 締 切：平成30年5月1日（火）

### 4. 賞 品：

図書カード5千円分、オリジナルぬいぐるみ、  
「夢見る鉄」パンフレット・ポスター  
(同一愛称名で応募者多数の場合は抽選で10名様まで)

5. 応募方法：別紙応募用紙で、特殊鋼倶楽部事務局まで、e-mailまたはFAXにて応募下さい。  
宛先（gyoumu1-h@tokushuko.or.jp） FAX：03-3668-4350  
応募用紙は当倶楽部HPでもダウンロードできます。  
<http://www.tokushuko.or.jp/>
6. 愛称発表：平成30年5月29日（火）（当倶楽部総会にて）
7. 当選発表：平成30年6月（賞品の発送をもって発表にかえさせていただきます）
8. ご注意：  
①応募は、お一人さま1回限りとさせていただきます。  
②発送先の住所、氏名、電話番号の正しい情報をご記入（ご入力）いただけない場合、応募作品が採用されても、お受取りの権利が無効となる可能性がございますのでご注意ください。  
③応募にあたっての個人情報は本人との事務連絡のみに使用し、それ以外の目的には一切使用いたしません。  
④採用された名前の著作権（著作権法第27条、第28条に定める権利を含む。）、商標権、その他の知的財産権は全て、ご応募いただいた方から、特殊鋼倶楽部に無償で譲渡いただいたものとみなします。なお、ご応募いただいた方は、将来にわたって著作権人格権を行使しないものといたします。
9. 問い合わせ先：  
一般社団法人 特殊鋼倶楽部  
業務部 内田、加藤  
TEL 03-3669-2081

以 上

(一社) 特殊鋼倶楽部  
業務部 加藤行  
E-Mail : gyomu1-h@tokushuko.or.jp  
FAX : 03-3668-4350

## 「夢見る鉄」マスコットキャラクター愛称応募用紙

愛称名：

---

住所：

氏名：

職業（会社・学校名等）：

部署・学年：

電話番号：

FAX番号：

E-mail：

個人情報について

応募にあたっての個人情報は本人との事務連絡のみに使用し、それ以外の目的には一切使用いたしません。

# 一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<b>【会 員 数】</b> (正 会 員) 製造業者 26社 販売業者 100社 合 計 126社	<b>【販売業者会員】</b>		
<b>【製造業者会員】</b>	愛 鋼 (株) 青 山 特 殊 鋼 (株) 浅 井 産 業 (株) 東 金 属 (株) 新 井 ハ ガ ネ (株) 粟 井 鋼 商 事 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株) 井 上 特 殊 鋼 (株) (株) U E X 確 井 鋼 材 (株) ウ メ ト ク (株) 扇 鋼 材 (株) 岡 谷 鋼 機 (株) カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株) 兼 松 (株) 兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株) (株) カ ム ス (株) カ ワ イ ス チ ー ル 川 本 鋼 材 (株) 北 島 鋼 材 (株) ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株) ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株) 小 山 鋼 材 (株) 佐 久 間 特 殊 鋼 (株) 櫻 井 鋼 鉄 (株) 佐 藤 商 事 (株) サ ハ シ 特 殊 鋼 (株) (株) 三 悦 三 協 鋼 鉄 (株) 三 京 物 産 (株) 三 興 鋼 材 (株) 三 和 特 殊 鋼 (株) J F E 商 事 (株) 芝 本 産 業 (株) 清 水 金 属 (株) 清 水 鋼 鉄 (株) 神 鋼 商 事 (株) 住 友 商 事 (株)	大 同 興 業 (株) 大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株) 大 洋 商 事 (株) 大 和 興 業 (株) 大 和 特 殊 鋼 (株) (株) 竹 内 ハ ガ ネ 商 行 孟 鋼 鉄 (株) 田 島 ス チ ー ル (株) 辰 巳 屋 興 業 (株) 千 曲 鋼 材 (株) (株) テ ク ノ タ ジ マ (株) 鐵 鋼 社 デ ル タ ス テ ー ル (株) 東 京 貿 易 マ テ リ ア ル (株) (株) 東 信 鋼 鉄 特 殊 鋼 機 (株) 豊 田 通 商 (株) 中 川 特 殊 鋼 (株) 中 野 ハ ガ ネ (株) 永 田 鋼 材 (株) 名 古 屋 特 殊 鋼 (株) ナ ス 物 産 (株) 南 海 鋼 材 (株) 日 金 ス チ ー ル (株) 日 鉄 住 金 物 産 (株) 日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株) 日 本 金 型 材 (株) ノ ボ ル 鋼 鉄 (株) 野 村 鋼 機 (株) 白 鷺 特 殊 鋼 (株) 橋 本 鋼 (株) (株) 長 谷 川 ハ ガ ネ 店 (株) ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー 林 田 特 殊 鋼 材 (株) 阪 神 特 殊 鋼 (株) 阪 和 興 業 (株) 日 立 金 属 工 具 鋼 (株) 日 立 金 属 商 事 (株) (株) 日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ブ	(株) 平 井 (株) フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株) 古 池 鋼 業 (株) (株) ブ ル ー タ ス (株) 堀 田 ハ ガ ネ (株) マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 松 井 鋼 材 (株) 三 沢 興 産 (株) 三 井 物 産 (株) 三 井 物 産 ス チ ー ル (株) (株) メ タ ル ワ ン (株) メ タ ル ワ ン チ ュ ー プ ラ ー (株) メ タ ル ワ ン 特 殊 鋼 森 寅 鋼 業 (株) (株) 山 一 ハ ガ ネ 山 進 産 業 (株) ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株) 山 野 鋼 材 (株) 陽 鋼 物 産 (株) 菱 光 特 殊 鋼 (株) 渡 辺 ハ ガ ネ (株)

## “特集” 編集後記

本誌では、2002年1月号において「特殊鋼マイクロ組織のやさしい見方」と題して特殊鋼のマイクロ組織を特集しました。前回の特集からすでに16年が経過しました。マイクロ組織については必ずしも基本的なことが加わったわけではありませんが、新しい読者も増えていることから、今回、あらためて「特殊鋼のマイクロ組織のやさしい見方」を特集しました。

本特殊鋼誌の多くの読者である流通の方々には特殊鋼のマイクロ組織の見方を理解していただくことを目的として、編集しました。

総論では、熱処理によって特殊鋼に現れる6つの組織について、九州大学の高木先生にわかりやすく解説していただきました。「鉄鋼材料は、熱処理によって、 $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\theta$ という3つの相の割合や大きさ、分布を制御したもので、これらの相が混ざり合ったものが“組織”と呼ばれている」という説明は、常日頃材料を扱っているの方々にとっても新鮮な指摘であるのではないかと思います。

さらに、マイクロ組織の観察法について、新日鐵住金の谷山氏に、最近の進歩も含めた観察法の概要、試料の作成方法などについて具体的にわかりやすい解説をしていただきました。ここでの図や

表は参考書として活用できるものと思います。

マイクロ組織各論では、代表的な特殊鋼およびチタンについて、それぞれの専門の方々に解説していただきました。流通の方々にとって重要な「材料の受入状態」及び「その材料が使用される状態」について記載しました。掲載したマイクロ組織の写真はできる限り倍率を統一して、低倍率、高倍率の写真とし、各社においてあらたに準備していただきました。組織写真集としてふさわしい写真をサンプル作成の段階から苦労されて撮影された皆様にはあらためて御礼申し上げます。記載する様式を統一し、鋼種名、主要成分、熱処理、エッチング条件等を記載し、組織を見る上でのポイントをわかりやすく解説していただきました。マイクロ組織のどこをどのように見るべきかが的確にわかるように記載されていると思います。

読者の皆様が、特殊鋼のマイクロ組織の重要性を十分に理解していただき、本特集号を、特殊鋼マイクロ組織の標準的な写真集としても大いに活用していただけることを、編集委員一同期待しております。

〔三菱製鋼(株) 福田 方勝 技術開発センター〕

## 特 集／最新の特殊鋼の信頼性評価技術

- I. 特殊鋼の信頼性評価技術
- II. 非破壊検査の動向
- III. 会員メーカーの信頼性評価技術

7 月号特集予定…表面改質

## 特 殊 鋼

第 67 卷 第 2 号  
© 2 0 1 8 年 3 月  
平成30年 2 月 25 日 印 刷  
平成30年 3 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。