

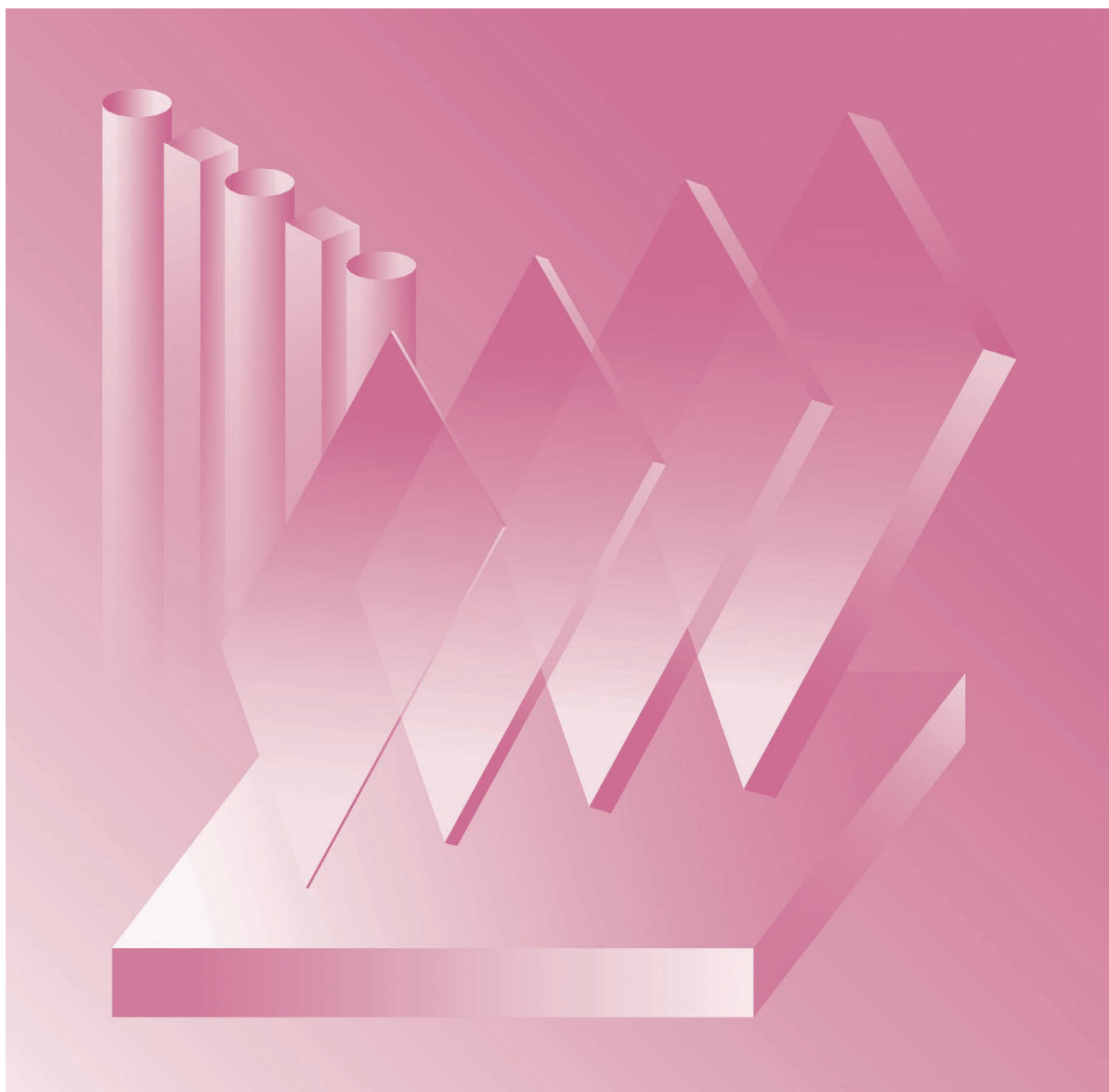
特殊鋼

2013
Vol.62 No.5

9

The Special Steel

特集／ナノテクノロジーと分析技術



特殊鋼

| 9 |

目次

2013

【編集委員】

委員長	並木 邦夫 (大同特殊鋼)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	小椋 大輔 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	川添 健一 (新日鐵住金)
〃	本田 正寿 (大同特殊鋼)
〃	上田 博之 (日新製鋼)
〃	石川流一郎 (日本金属)
〃	宮川 利宏 (日本高周波鋼業)
〃	西 徹 (日本冶金工業)
〃	加田 善裕 (日立金属)
〃	中矢 千城 (三菱製鋼)
〃	中村 哲二 (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)
〃	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)
〃	甘利 圭右 (平井)

【特集／ナノテクノロジーと分析技術】

I. 鉄鋼材料におけるナノテクノロジー技術の現状と将来展望	新日鐵住金(株) 潮田 浩作	2
II. ナノテクノロジー関連製品・技術		
1. ナノサイズの析出物を分散させた高強度熱延鋼板： NANOハイテン®	JFEスチール(株) 木津 太郎	6
2. 非調質鋼	大同特殊鋼(株) 本田 正寿	9
3. 結晶粒粗大化防止鋼	山陽特殊製鋼(株) 藤松 威史	12
4. 高温用フェライト系耐熱鋼のナノサイズ析出物に よる強化	新日鐵住金(株) 長谷川泰士 西浦 智博	15
5. ナノ組織磁性材料	日立金属(株) 吉沢 克仁	19
6. 鋼の結晶粒超微細化と実用化展開	(独)物質・材料研究機構 鳥塚 史郎	22
7. スーパーマルチナイト処理	(株)日本テクノ 梶澤 均	25
III. ナノテクノロジーを支える分析技術		
1. 電子顕微鏡	(株)日立ハイテクノロジーズ 小瀬 洋一	29
2. 球面収差補正STEMを用いた界面および 表面の極微小領域解析技術	諸永 拓 (株)コベルコ科研 矢吹 和久	33
	山元 清史	

IV. 我が社のナノテクノロジー関連製品・技術

極細ステンレス鋼線の御紹介……………	日本精線(株)	37
当社の超微細粒製品……………	(株)特殊金属エクセル	38

“特集”編集後記……………	日新製鋼(株) 内藤 靖	39
---------------	--------------	----

●一人一題：「昔の夢と将来の夢」…	大同特殊鋼(株) 利光 一浩	1
-------------------	----------------	---

■業界の動き ……………		40
--------------	--	----

▲特殊鋼統計資料 ……………		43
----------------	--	----

★倶楽部だより（平成25年6月21日～8月20日）……………		47
--------------------------------	--	----

☆特殊鋼倶楽部の動き ……………		48
------------------	--	----

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 ……………		49
----------------------------	--	----

特集／「ナノテクノロジーと分析技術」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	内藤 靖	日新製鋼(株)	商品開発部 特殊鋼開発チーム
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)	軸受営業部 軸受CS室長
〃	乙部 厚志	新日鐵住金(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 上席主幹
〃	本田 正寿	大同特殊鋼(株)	特殊鋼製品本部 自動車材料ソリューション部 主任部員
〃	宮川 利宏	日本高周波鋼業(株)	営業本部 条鋼営業部 担当次長
〃	西 徹	日本冶金工業(株)	高機能材営業推進部 次長
〃	加田 善裕	日立金属(株)	高級金属カンパニー 技術部 主管技師
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	甘利 圭右	(株) 平 井	常務取締役

昔の夢と将来の夢



大同特殊鋼(株) とし みつ かず ひろ
名古屋営業部長 利 光 一 浩

子供のころ、夢だと思っていた様々なことが今や現実になってきている。例えば未来を舞台にした映画や小説に出てきたテレビ電話、更に進化した腕時計式の携帯電話、電気自動車、円盤型自走式掃除機、宇宙旅行。ほとんどが遠い未来の産物だと思っていたものがわずか50年弱で、今では自分でも手の届くものも出てきている。また、漫画に登場していたコピー人形（クローン人間）はまだもう少し先かもしれないがかなり現実的なものになってきている。他にも最近ではスマホに翻訳アプリというものがあるそうで、日常会話程度であれば日本語で話しかけると即座に文章を翻訳するどころか翻訳した音声も再生できるそうで、対応する言語は10数カ国語に及ぶ。

それだけ便利なものが生まれてきているということであるが、便利になったが故に逆に考えるとデメリットもある。自動翻訳機があれば外国語を勉強しなくても外国人と意思疎通が出来るようになるため外国語を勉強しなくなる。インターネットやメールでは勝手に漢字を変換してくれるため、漢字を書けなくなってくる。道を歩けば多くの人がスマホ画面を見入って顔を下向きにして歩いている。

生活が便利になることは良いことではあるが、将来の夢に向かって生きていくためにはやはり上を向いて、常に頭を使い、向上心を持ち続けなければならないと昔の夢が現実になってきているこの頃、特に感じる。

一方、前述した最近の「便利なもの」であるが、よくよく考えてみると我々特殊鋼業界にとっては需要の創出にはあまり繋がっていないものが多い。「便利なもの」というのは小さく手軽にというコンセプトでもあるが、特殊鋼の特性は普通鋼と比較すれば小さく手軽に出来ることでもあるので、方向性は一致しており、如何に「便利なもの」に使ってもらおうかということではないかと思う。鉄は成熟産業と思われる向きもあるが、シェールガスの例にもあるように、環境変化によって成熟産業が突如成長産業に変わる可能性もあり、まだまだ使い方や工夫次第で特殊鋼の需要は伸びると信じているため、便利になって最近使わなくなってきた頭をフル回転させて、新たな夢を造り出す特殊鋼の需要を創出していきたい。

子供のころ夢だと思っていたことが何年後に現実になったのだから、今描こうとしている新たな特殊鋼需要創出という将来の夢も、いつか現実になると信じている。



ナノテクノロジーと 分析技術

I. 鉄鋼材料におけるナノテクノロジー 技術の現状と将来展望

新日鐵住金(株) 技術開発本部 **うしお だ こう さく**
潮 田 浩 作

◇ 構造材料分野におけるナノテクノロジー 技術の動向

ナノテクノロジーは、鉄鋼材料の高度化にとり必須の概念であり、2003年の本誌においても特集「鉄鋼材料におけるナノテクノロジー」として取り上げられた¹⁾。本報では、本分野におけるその後の研究動向と代表的な研究事例を紹介し将来を展望したい。

我が国の科学技術基本計画は図1に示すように1996年以降5年毎に策定されている。ナノテクノロジー・材料分野は、第2期及び第3期計画において重点4分野の1つに位置づけられ実行された。第4期計画では課題解決型の取り組みに変更となり、震災からの復興・再生やグリーンイノベーション等への貢献が軸となった。また、日本の強みであるナノテクノロジーは基盤技術と位置付け展開しイノベーションを図ることが期待されている。

米国においては、ナノテクノロジーが2000年にクリントン大統領により打ち上げられた。最近では、2011年に米国大統領行政府が材料系研究ガイドラインとしてMaterials Genome Initiative for Global Competivenessを出した。計算材料科学と情報科学を活用した研究の方向性が提案されている²⁾。

構造材料分野においては、1997年に超鉄鋼や鉄系スーパーメタルの国家プロジェクトがスタートし、精力的に研究が実行され多くの成果を挙げた。最近ではこれらの成果をベースに構造材料と関わる多くの国家プロジェクトが推進されるようになってきた(図1)。ナノテクノロジーは全てに共通する基本要素技術であることは言うまでもない。また、このような変化の背景には、我が国の強みであった物づくり産業が激しい国際競争に晒されている厳しい現実があるものと推察される。鉄鋼業もその例外ではなく、高級鋼材においても新興国との差が著しく縮まっている。また、アカデミ

科学技術基本計画			
第1期:1996-2000	第2期:2001-2005	第3期:2006-2010	第4期:2011-2015
文部科学省		経済産業省	
超鉄鋼(1997-2002-2006)		鉄系スーパーメタル(1997-2002)	
複層鋼板(2006-2010)		環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術開発(2002-2006)	
バルクナノ(2010-2014)		鉄鋼材料革新的高強度・高機能化(2007-2011)	
CREST元素戦略(2010-2017)		希少金属代替材料開発(2011-2015)	
産学共創型ヘテロ構造制御(2010-2019)		革新的新構造材料(2013-2022)	
先端的低炭素化技術開発(ALCA)(2010-2019)			
研究拠点形成型元素戦略(2012-2021)			

図 1 科学技術基本計画および鉄鋼材料と関わる主な国家プロジェクト

アにおいても逆転現象が生じている。まさに危機的な現実において、非連続的な飛躍が求められる所以である。国家プロジェクトの活動により基礎基盤研究に裏打ちされた新指導原理が提案され、国際競争力と若手人材育成の強化が着実に進むことを期待したい。これらは単独の企業で実行できる範囲を越えており、我が国の産官学が総力を結集して連携強化し成果を出すことが求められる。

◇ ナノテクノロジーに関連した最近の研究

1. 結晶粒の微細化

結晶粒の微細化は、強度と特性の両立を達成する最も基本となる概念であり、従来から多くの研究がなされてきた。その様子は、本誌の2003年の特集号¹⁾や2007年の「ふえらむ」の特集「鉄鋼材料を活かすナノ組織制御」³⁾にも詳しく述べられている。

組織の微細化は、加工熱処理 (TMCP: Thermo-Mechanical Control Process) 技術の積極利用により達成される。まさに、鉄鋼材料の醍醐味と言える。組織微細化技術には、拡散型変態や再結晶による転位密度の低い微細フェライト (α) を得る方法と無拡散型変態や高歪加工した転位密度の極めて高い超微細 α を得る方法の2通りがある。

前者の低転位密度の微細 α 組織の場合には、NbやTi等を添加しオーステナイト (γ) の未再結晶域で圧延し制御冷却するプロセスが基本となる。達成できる結晶粒径はせいぜい $5\mu\text{m}$ である。最近では、1) γ の低温での大歪加工と動的 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態により $2\mu\text{m}$ 程度の細粒 α が得られている。また、2) α の温間域 (650°C) で大歪 (真歪: 5.5) 加工すると、 $1\mu\text{m}$ 以下の極めて微細な動的再結晶組織が得られる。

後者の高転位密度の超微細 α 組織の場合には、3) γ の未再結晶域で加工しベイナイト変態やマルテンサイト変態をさせると、 γ における転位が変態後も引き継がれるので極めて高転位密度の微細 α 組織となる。また、4) 焼き戻しマルテンサイトを温間で溝ロール大圧下加工をすると、 $\langle 110 \rangle$ 繊維集合組織をもつ伸長した超微細加工粒からなる韌性に極めて優れた超高強度鋼材が創製できることも報告されている。最近では、5) 常温でARB (Accumulative Roll-Bonding) やHPT (High

Pressure Torsion) 等の超大圧下加工を施すと結晶粒が分断され大角粒界から成る超微細加工組織が得られている。単位体積に占める結晶粒界の体積割合が著しく増加するので、常識を覆す特異な現象の創出が期待される⁴⁾。

2. ナノ析出物制御

析出の駆動力は大きいため、過飽和固溶体を時効処理すると原子オーダーのクラスターや微細析出物が形成される。従来の解析手法では、ナノオーダーのクラスターや析出物は観察が不可能であったが、最近の高分解能透過型電子顕微鏡 (HRTEM) やアトムプローブ電解顕微鏡 (AP) 等の進歩により、観察が可能となってきた。

Fe-1.2Cu鋼を 1200°C から焼き入れ 550°C で等温保持するとCuが析出し降伏強度が著しく増す。高橋らはCuの析出をAPで詳細に観察し (図2a)、引張試験と総合して析出強化について詳細な議論を行った⁵⁾。APでは析出Cuのみならず固溶Cuも評価できるので、析出強化量 ΔYP を厳密に評価できる。 ΔYP は析出物サイズとともに増加し $3\text{nm} \sim 6.5\text{nm}$ 程度の大きさでピークとなり、それ以上の大きさになると低下する。また、Cu粒子は $\text{bccCu} \rightarrow 9R \rightarrow 3R \rightarrow \text{fccCu}$ と構造が変化することは知られている。図2b) には微細な析出物と転位との相互作用に関してCuとTiCを比較して検討した結果を示す⁶⁾。粒子1個あたりの転位移動の抵抗力Fは、Cu粒子の場合には数nmまでサイズが増すと増大

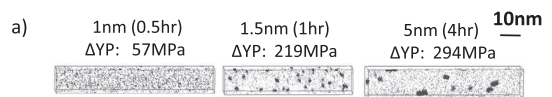


図 2 a) Fe-1.2Cu合金の 550°C 時効時の析出物のAP観察例⁵⁾

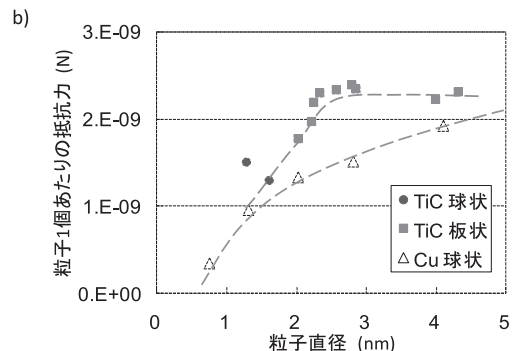


図 2 b) 粒子1個あたりの転位の抵抗力の析出物による比較検討⁶⁾

する。一方、TiCの場合には2nm程度で一定となる。これは、Cuの場合には転位が析出物をカットする機構で強度が増加しているのに対し、TiCの場合には2nm程度まではカッティング機構で強度が決まるがそれ以上の大きさになると転位が析出物をバイパスするOrowan機構へ遷移することを示唆している。紙川らは、相界面析出した(Ti, Mo)Cについて強化機構を論じており、観察された3nm以上の粒子により転位はバイパスして強化に貢献していると推察した⁷⁾。しかし、更に微細な粒子については今後の課題としている。サブnm~nmの超微細析出物は、転位によりカットされる可能性があり、強度上昇のみならず延性や破壊についても興味ある特性を示す可能性があり、今後の研究に期待したい。

3. ナノレベルでの最先端物理解析と計算科学の融合

従来見えなかった微細クラスターが可視化されるようになってきたのに加え、組織の3次元情報(3D)やその動的情報が高精度に得られるようになってきた。一方では計算科学の進歩も著しい。第一原理計算による電子状態情報や分子動力学(MD)による原子や分子の動き、フェーズフィールド(PF)法による組織の時間発展、結晶塑性(CP) FEMによる多結晶体の変形解析、さらにはFEMによる構造計算等、原子オーダーからmオーダーまでのマルチスケールでの計算が可能となっている。ここでは、Bの粒界偏析と析出物への水素トラップを例として取り上げ、ナノレベルの物理解析と計算材料科学の融合の重要性を述べたい。

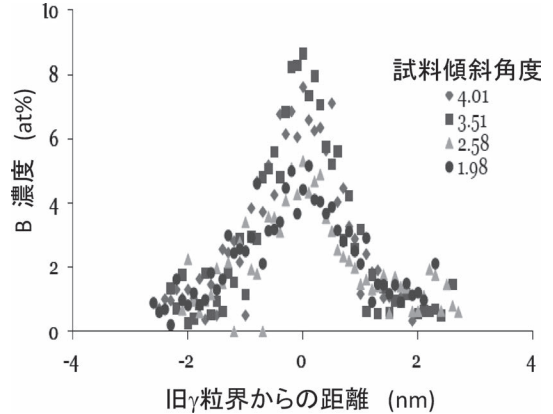


図 3 収差補正STEMによるFe-0.05C-1.5Mn-3Ni-0.0011B鋼における旧 γ 粒界へのBの偏析⁸⁾

Bは極微量の添加でも γ 粒界に偏析し α 変態を抑制すると考えられてきた。しかし、定量的な議論は不十分であった。図3に示すように、収差補正一走査型透過電子顕微鏡(STEM)により旧 γ 粒界に約1,000倍程度のBが偏析していることが明らかとなった⁸⁾。一方では、第一原理計算によってもBは γ 粒界に偏析し、粒界エネルギーの低下が定量的に見積もられている⁹⁾。更に粒界における原子配置も実験結果と良い一致を得ている。粒界偏析はB以外の元素についても認められる現象であり、横展開と設計への応用が期待される。

鋼の高強度化を阻害する要因の一つに水素脆化がある。腐食により鋼材に侵入した水素は種々の場所に存在するが、結晶粒界に集積した水素は粒界強度を低下させ粒界脆化を引き起こすことが知られている。もし、侵入水素を粒内の微細な析出

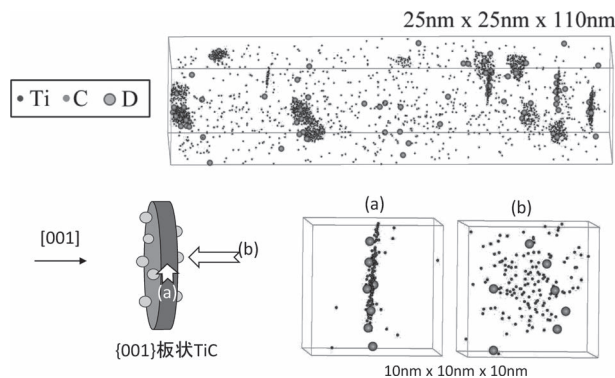


図 4 TiCにトラップされた重水素を示す3DAP元素マッピング¹⁰⁾。(a)、(b)は観察方向を示す

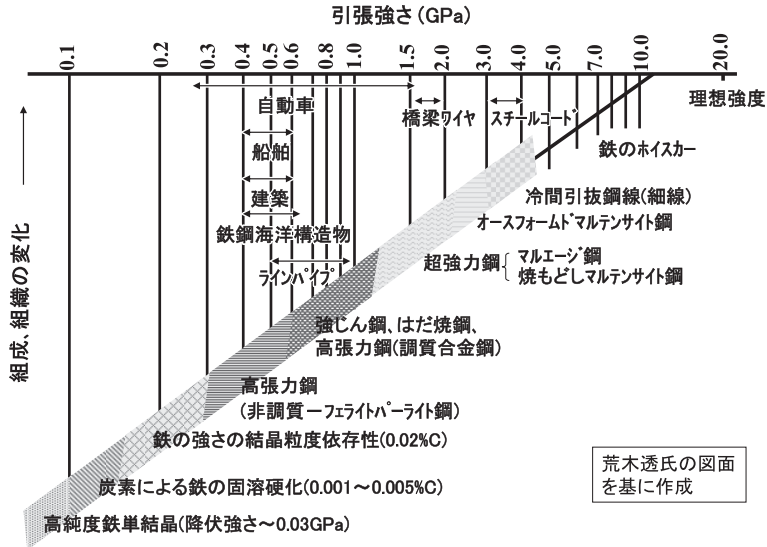


図 5 鉄鋼材料の強度スペクトルと実用材料の強度レベル¹³⁾

物にトラップすることができれば、水素脆化を軽減することが可能となりその意義は大きい。しかしながら、析出物による水素トラップ現象を直接可視化することは報告例がなかった。最近、APによりnmオーダーのTiCの界面に水素がトラップされる様子が初めて観察された(図4)¹⁰⁾。ここで、検出感度を上げる目的で自然界における存在割合の少ない重水素を水素の代わりに用いている。重水素は水素の2倍の質量を持つが化学的には水素と同じ性質を有しており水素脆化を惹起することを別途確認している。水素のような軽元素によっても中性子は回折されるので、これを利用してNbCと母相の界面に水素がトラップされることが確認されている¹¹⁾。一方では、水素のトラップエネルギーをトラップサイトに応じて第一原理計算で求めることが可能となっている¹²⁾。例えば、TiC/bcc-Feの異相界面への水素のトラップが重要な役割を果たしていることが計算で明らかとなった。これは、上に述べた実験結果と一致する。計算結果を高精度な実験で検証し、トラップサイトとして有効な析出物を設計することが期待される。

◇ 将来展望

鉄鋼材料は種々の強化機構を活用し100倍もの強度スパンをカバーできる特徴を有する(図5)¹³⁾。実用材料の強度を重ねて表示すると、我々は鋼材

の持つ潜在能力の未だごく一部しか引き出していないことが明らかである。このことは、鉄鋼材料が多くの可能性を秘めた魅力あふれる材料であることを示唆する。しかし、更なる高強度化を達成するには解決すべき技術課題も山積している。飽くなき挑戦とそれを通じた人材育成が重要となる。

参考文献

- 1) 特集 鉄鋼材料のナノテクノロジー、特殊鋼、52 (2003)、4-38
- 2) 村山光宏：まてりあ、51 (2012)、462
- 3) 特集 鉄鋼材料を活かすナノ組織制御技術、ふえらむ、12 (2007)、747-795
- 4) 領域代表者 辻伸泰：ナノバルク、<http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp/>
- 5) J. Takahashi, K. Kawakami and Y. Kobayashi: Mat. Sci. Eng. A, 535 (2012), 144
- 6) Y. Kobayashi, J. Takahashi and K. Kawakami: Scripta Mater., 67 (2012), 854
- 7) 紙川尚也、阿部吉剛、宮本吾郎、船川義正、古原忠：鉄と鋼、99 (2013)、352
- 8) G. Shigesato, T. Fujishiro and T. Hara: Mat. Sci. Eng. A, 535 (2012), 358
- 9) H. Sawada: Comp. Mater. Sci., 55 (2012), 17
- 10) J. Takahashi, K. Kawakami, Y. Kobayashi and T. Tarui: Scripta Mater., 63 (2010), 261
- 11) M. Ohnuma, J. Suzuki, F.-J. Wei and K. Tsuzaki: Scripta Mater., 58 (2008), 142
- 12) K. Kawakami and T. Matsumiya: ISIJ Int., 52 (2012), 1693
- 13) K. Ushioda: Proc. 2nd Int. Symp. on Steel Science, Kyoto, ISIJ, (2009), 39

Ⅱ. ナノテクノロジー関連製品・技術

1. ナノサイズの析出物を分散させた高強度

熱延鋼板：NANOハイテン[®]

J F E スチール (株) 木 津 太 郎
スチール研究所 薄板研究部

まえがき

近年、地球環境保全に対する関心の高まりから鋼板を高強度化して薄肉化したいという要望が強まっている。そのため加工性の高い高強度鋼板に対するニーズが非常に大きくなっている。現在、熱延鋼板では引張強度が590MPa級までの鋼板が広く用いられるようになってきており、それを超える高強度鋼板も開発・実用化が進んでいる。鋼の強化機構には、固溶、析出、転位、細粒化の4つの基本原理と、それらを組み合わせた組織強化(ベイナイト、マルテンサイト等)の5種類ある。一般に780MPa級以上の鋼板では組織強化が主に利用されるが、NANOハイテン[®]は、数ナノメートルの微小析出物により析出強化機構を極限まで高めることに成功した非常に加工性の高い高強度鋼板である¹⁾。

◇ 組織的特長

NANO (New Application of Nano Obstacles for dislocation movement) ハイテン[®]の特徴を以下に示す。

- (1) 加工性に優れたフェライト単一組織
- (2) 数ナノメートルにまで微細化した炭化物を分散させ強化
- (3) 炭化物は熱的に極めて安定性

NANOハイテン[®]のマイクロ組織を従来の組織強化型鋼と比較して写真1に示す。組織強化型鋼はフェライト相とマルテンサイトなど大きさ数マイクロメートルの硬質相が分散した組織であるのに対し、NANOハイテン[®]は微細なフェライト単相組織に、超強度化を支える数ナノメートルの超微細炭化物を、最適に析出させた組織が特徴である。

写真2にNANOハイテン[®]のフェライト結晶粒

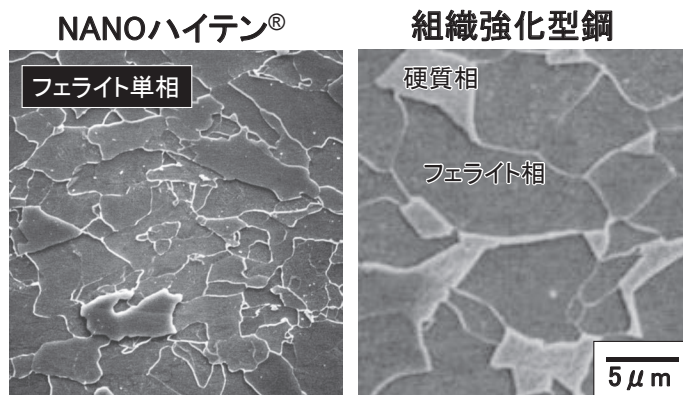
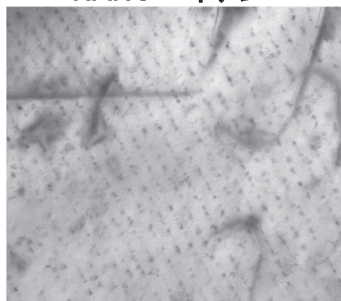


写真1 ミクロ組織の走査型電子顕微鏡写真

NANOハイテン®



従来析出強化型鋼

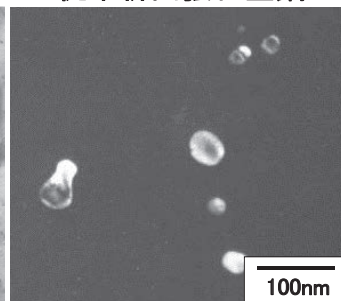


写真 2 鋼中の炭化物を示す透過型電子顕微鏡写真

内に析出している炭化物の透過型電子顕微鏡写真を、従来の析出強化型鋼中に析出している炭化物と比較して示す。NANOハイテン®は数ナノメートルの大きさの炭化物が列状に並んで析出しているのに対し、従来鋼の炭化物は数十ナノメートルと粗大であり、析出もランダムである。このようなナノサイズの炭化物は、さらに高倍で観察すると円盤状の形態を有しており、母相のフェライトと方位関係を持った整合析出をしている。

ここで炭化物が列状を呈するのは、炭化物が相界面析出したことを示している²⁾。相界面析出とは、オーステナイトからフェライトに相変態するときに、オーステナイト-フェライト界面で炭化物が析出する現象である。オーステナイトは炭素を多く固溶できるのに対し、フェライトは炭素をほとんど固溶しないことから、通常、フェライト変態ではオーステナイト側に炭素を濃化しながら進行する。一方、相界面析出をともなう変態は、オーステナイト側で濃化した炭素をフェライト側で炭化物として析出するという状態を繰り返しながら進行する。NANOハイテン®では界面の移動速度を制御することで析出タイミングを調整し、ナノサイズの炭化物を鋼中に分散させている。

NANOハイテン®の炭化物は、熱的に安定であることも大きな特徴である。一般に微細炭化物は、母相と炭化物の界面エネルギーを減らすため、Ostwald成長と呼ばれる粗大化が起りやすい。炭化物の粗大化には、小さな炭化物の消失ともなう元素の拡散が重要となるが、NANOハイテン®は炭化物構成元素の種類と添加量を制御し、粗大化の原因となる元素の拡散量を抑えることで炭

化物の粗大化を防止している。

◇ 高強度化

NANOハイテン®の主な強化機構は析出強化であるため、炭化物量を増やすことで高強度化が可能である。また、熱間圧延時の荷重も小さく、高強度化にともなう荷重増加も少ないことから、高強度鋼板でありながら2.0mm以下の厚さの鋼板も製造可能である。現在780MPa級を商品化しており、980MPa級、1,180MPa級の開発も進めている。さらに、降伏強度が高いことも特徴であり、従来の組織強化型鋼の降伏比（引張強度に対する降伏強度の比）がおよそ0.7であるのに対し、NANOハイテン®では0.9を超える。

◇ 加工性

従来の組織強化型鋼は高強度化のために硬質相の体積率を増加させているため、加工時に軟質なフェライト相との界面でポイドや亀裂が発生しやすい。一方、NANOハイテン®は単一なフェライト組織であることから、特に強加工をともなうような曲げ性や伸びフランジ性に優れることが特徴である。ここで、伸びフランジ加工とは剪断されたブランク板の縁を伸ばす成形で、JISに規格されるように打抜き穴を開けた鋼板を円錐ポンチで押し広げる穴広げ試験（Z2256）で評価できる。図1にNANOハイテン®と組織強化型鋼の引張強度と穴広げ率の関係を示す。NANOハイテン®は780MPa級で従来440MPa級鋼と同等の穴広げ率を達成している。組織強化型鋼では打抜き時にフェライト相と硬質相との界面にポイドが発生し、続

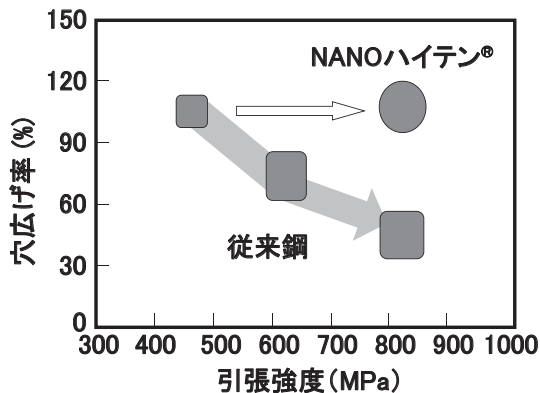


図 1 高強度化にともなう穴広げ率の低下とNANOハイテン®の穴広げ率

く穴広げ時にポイドが連結して割れが発生するのに対し、単相組織であるNANOハイテン®は、打抜き時のポイド生成が抑制されるため穴広げ率が向上する。

NANOハイテン®は炭化物が熱的に安定であるため、温間成形用素材としても適した材料である³⁾。温間成形はプレス前の鋼板をおよそ200℃から700℃程度まで加熱した後、直ちに金型でプレスする技術である。近年適用拡大が見られるホットスタンプは、鋼板を約900℃以上のオーステナイト域まで加熱し、金型内保持での冷却による組織強化を利用して高強度化を図る技術であるが、金型内保持を必要としない温間成形は生産性の高いプ

レス技術である。従来の組織強化型鋼では、加熱により組織が変化し鋼板強度が低下するため、温間成形の適用はできなかったが、NANOハイテン®は加熱後も素材強度を維持することから適用が可能である。温間成形は冷間成形と比べると、形状凍結性向上、穴広げ性などの成形性向上、成形荷重低減などの効果があり、今後適用拡大が期待される。

◇ 用途例

NANOハイテン®は、自動車用部材として、伸びフランジ成形を必要とするロアアームなどのシャシー部品をはじめ、降伏強度が高く衝突時の変形を抑制できることから骨格部品などに適用できる。また、自動車用シートのフレーム部品、リクライナーギア部品、シートベルト部品のほか、自動車をはじめとするドアロック部品、バイク、自転車のスプロケットギア部品などへの適用も可能である。その他、建材、建機などの構造用部材として薄肉、軽量化に貢献できる。さらに、NANOハイテン®の特徴を活かした温間成形により、難成形部品への適用拡大も期待できる。

参考文献

- 1) Y. Funakawa et. al: *ISIJ Int.*, 44 (2001), p.1945
- 2) W.B. Morrison : *J. Iron. Steel. Inst.*, 201 (1963), p.317
- 3) 中垣内ら：第63回塑性加工連合講演会, (2012), 153

2. 非調質鋼

大同特殊鋼(株) 特殊鋼製品本部 ほん だ まさ とし
自動車材料ソリューション部 本 田 正 寿

まえがき

一般に、自動車部品や産業機械部品などに使用される機械構造用炭素鋼および合金鋼は、焼入れ焼もどし処理（以下、調質と呼ぶ）を施して使用されている。これに対して、調質処理を行わず、圧延あるいは熱間鍛造時の加工や熱およびその後の冷却を有効に利用して調質と同等の効果を得ることを可能にした鋼を非調質鋼と呼んでいる。

非調質鋼を用いるメリットは、調質時の熱処理費低減、工程省略による納期短縮、生産性向上などが挙げられ大きなコスト削減効果をもたらしている。そのため非調質鋼は自動車部品のクランク、コンロッド、ステアリングラック、ボルトなどに使用されその適用は広範囲に及んでいる。

◇ 非調質鋼の特性

1. 非調質鋼の強化機構

非調質鋼は、一般に中炭素鋼にV、Nb、Tiなどを微量添加したものを基本組成としている。これらの添加元素は炭化物形成元素と呼ばれ、鋼中の炭素と結合して炭化物を形成する。鋼を加熱してこれらをオーステナイト中に固溶させた後に冷却すると、これらの元素が冷却途中で再び炭化物として析出してくる。この際の冷却条件を適正化することで鋼中に微細な析出物を得る事が可能となり、析出硬化を利用することで調質鋼と同等の硬さが得られる。

これら炭化物形成元素は炭素含有量が増加するに従い、オーステナイトへの固溶温度は上昇していく傾向にある。図1に各元素と炭素との溶解度積からオーステナイト中への固溶温度と炭素量との関係を示す¹⁾。固溶温度は $V < Nb < Ti$ の順に高くなるが、NbやTiは通常の熱間鍛造温度である1200℃では十分に固溶しないので、非調質鋼には素地に固溶しやすいVが主に利用されている。

非調質鋼を熱間加工したときの内部組織変化の

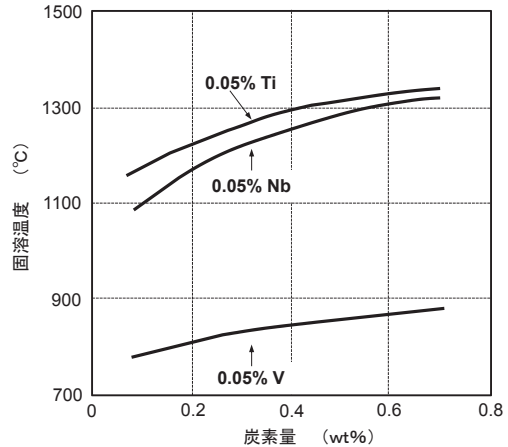


図 1 析出硬化性元素のオーステナイト中への固溶温度に及ぼす炭素量の影響¹⁾

模式図を図2に示す。熱間加工前に1000℃以上に加熱されるとVなどの添加元素がオーステナイト中に固溶する。熱間加工後、冷却過程（空冷）で加工によって変形したオーステナイトが再結晶し、次にこのオーステナイトはフェライト+パーライト組織に相変態する。初析フェライトは主に旧オーステナイト粒界に沿って析出する。このときVなどの添加元素は、この初析フェライトやパーライト中のフェライトに炭化物や炭窒化物として析出し鋼を硬くする。図3にV添加した非調質鋼の透過電子顕微鏡写真を示す。写真は初析フェライト中に析出したV炭窒化物を観察したもので、基地鉄中に50nm以下のV炭窒化物が析出していることが認められる。

2. 非調質鋼の硬さに及ぼす熱間加工・冷却条件の影響

上述したようにVなどの添加元素を炭化分として微細に析出させることが非調質鋼を扱う上で重要になってくるが、その因子として加熱温度、加工温度、冷却速度などがあげられる。その因子について炭素鋼S48Cと非調質鋼S48C+0.1%V鋼を比較した一例を示す。

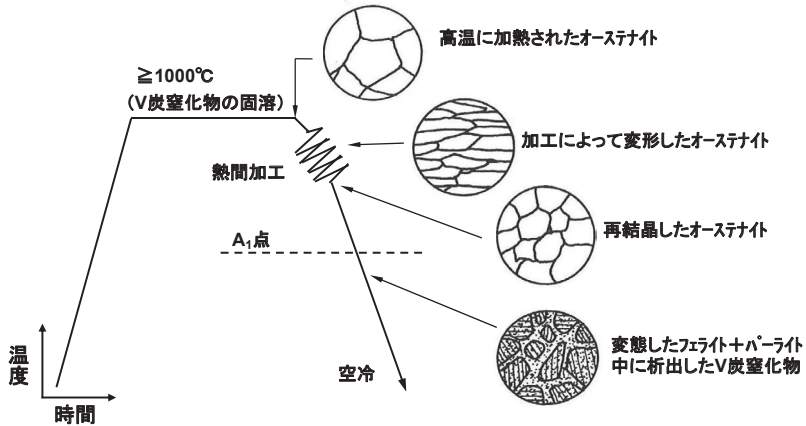


図 2 非調質鋼の熱間加工での組織変化 (模式図)

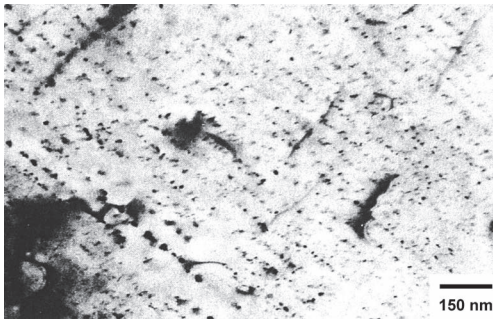


図 3 非調質鋼の電子顕微鏡写真

(1) 加熱温度

図 4 に示すように、加熱温度の上昇に伴い両鋼とも硬さが増加する傾向にある。特に、非調質鋼は800~1000℃で硬さが急上昇しているが、これは加熱温度の上昇と共にVがオーステナイト中に固溶し、その後の冷却でV炭窒化物が数多く析出するためである。一方、炭素鋼が1000℃以上、非調質鋼が1100℃以上の加熱で硬さが増加し始めるのは、オーステナイト結晶粒が粗大化しその後の冷却でフェライト+パーライト組織中に占めるパーライト体積率が増加するためである。

(2) 加工温度

図 5 に示すように、加工温度が上昇すると両鋼ともに硬さが増加する傾向にある。これは1200℃に加熱されて粗大化したオーステナイト結晶粒が加工後に再結晶するが、このときの加工温度が高いほど再結晶したオーステナイト結晶粒が大きくなるためである。その結果、加工温度が高いほど

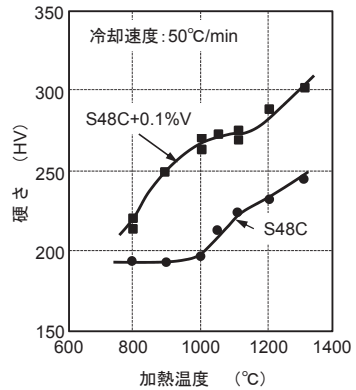


図 4 硬さに及ぼす加熱温度の影響

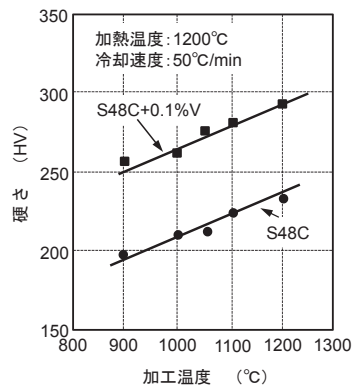


図 5 硬さに及ぼす加工温度の影響

冷却後の組織中に占めるパーライトの体積率が大きくなり硬さも高くなる。

(3) 冷却速度

図 6 に示すように、冷却速度が速くなると両鋼

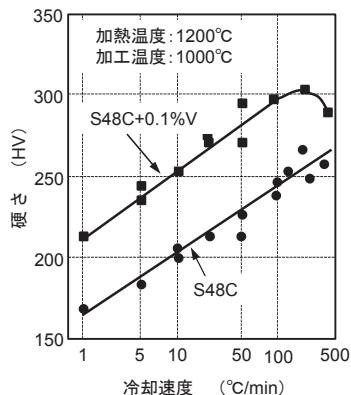


図 6 硬さに及ぼす冷却速度の影響

の硬さは増加する傾向にある。冷却速度の変化に伴う硬さの変化はパーライトの体積率とラメラ間隔に起因するものであり、冷却速度が速いほど冷却後のパーライト体積率が大きく、かつ、パーライトのラメラ間隔が狭くなるために硬さが増加する。非調質鋼の硬さは、この現象に加えてVの析出状況が冷却速度と共に変化することが影響している。ただし、V炭窒化物による析出強化にも適切な冷却速度範囲が存在し、適正な範囲よりも冷却速度が遅い領域では、V析出物は粗大に凝集し、速い領域ではV析出物の析出量が減少するため、十分な効果を得ることが出来ない。

3. 非調質鋼の種類

Vを活用した非調質鋼は、調質材と同等な強度特性は得られたが、韌性に劣ることが課題とされてきた。そこで、高韌性を狙った非調質鋼も開発されている。具体的には炭素量を下げMnやCr量を増量して、初析フェライト量を増やし、パーライトのラメラ間隔を小さくして韌性を高めたもの²⁾やTi添加による組織の微細化を図ったもの、Sを適量添加し熱間鍛造後の冷却時にMnSを核として多数の粒内フェライトを生成させ微細化を行った鋼がある。さらには、高強度化を狙い、炭素量0.3%以下にMn、Cr、Mo、Bなどの焼入れ性を向上させる元素を添加し、鍛造後の空冷や急

冷にてベイナイト組織やマルテンサイト組織を得る鋼材も実用化されている^{3)、4)}。

また熱間鍛造以外にも鋼材製造時の組織制御により冷間加工用、直接切削用など部品の製造方法による分類もある。さらに部品に加わる負荷に対して、適切な硬さ分布が得られるように高周波焼入れや軟窒化処理など表面硬化熱処理との組合せも実施されている。その結果、従来は強靱鋼の調質処理が一般的であった部品においても非調質鋼に置き換わってきている⁵⁾。

4. 非調質鋼の注意点

特に熱間鍛造で使用される非調質鋼は、上述したように加熱温度、冷却方法など鍛造条件によって特性が変化する。そのため、同一鋼材であっても鍛造後の品質が異なってくる。従って、鍛造条件の狭幅管理が必要となり、目標の品質が得られる鍛造条件を事前に設定する必要がある。また、非調質鋼化したい部品の製造工程および製品としての要求品質を明確にし、ユーザーと素材メーカーとが充分打合せを行い、鋼種を選定することが重要となる。

むすび

ここまで述べたように非調質鋼は多くの利点から多種多様な用途や工法に適用されてきており、鋼材メーカーも各種ブランド鋼を展開している。現在、JISには非調質鋼の規格はないが、ISOではフェライト・パーライト型非調質鋼が規格化されており、1つの鋼種として認知されている。今後は非調質鋼の規格化の流れにも注目しておく必要がある。

参考文献

- 1) 加藤ら：特殊鋼 Vol.31 No.11 (1982) P.8
- 2) 特殊鋼倶楽部編：特殊鋼の技術と用語のやさしい解説 P.88
- 3) 特殊鋼倶楽部編：特殊鋼の使い方Q&A P.35
- 4) 野村：まてりあ Vol.34 No.6 (1995) P.705
- 5) 秦野：電気製鋼 Vol.80 No.1 (2009) P.77

3. 結晶粒粗大化防止鋼

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 軸受・構造物用鋼グループ 藤 松 威 史

まえがき

自動車のギヤやシャフトのような駆動系部品は、加工・成形が比較的容易なはだ焼鋼を主要素材とする。ただし、一般的なはだ焼鋼の含有炭素量は0.2%前後であるため、単なる焼入焼戻しでは駆動系部品に必要な硬さは到底得られない。そこで、部品形状に加工した後、炉内雰囲気制御を介して部品表面から拡散現象によって炭素を浸入させる浸炭処理を行い、部品表面の炭素濃度を高めたのち、焼入れ・焼戻しを施して部品表面硬さを上昇させる作業が一般に行われる。浸炭処理は、炭素の拡散を促進するため通常の焼入れのための加熱に比べて高温で処理されることが多く、処理中に鋼の結晶粒が粗大化することがある。近年、鍛造工法を従来の熱間鍛造から冷間鍛造に変更して材料歩留り向上や省エネルギー化を指向したり、高温浸炭化による処理時間の大幅短縮によって生産性向上ならびに省エネルギー化を図ることが検討されており、さらには冷間鍛造と高温（真空）浸炭を組み合わせた工法も検討されている。ただし、熱間鍛造から冷間鍛造への変更や高温浸炭化といった方策は、浸炭加熱時の結晶粒粗大化を引き起こし易く、部品強度低下や熱処理歪みによる部品寸法精度低下といった弊害を招くおそれがある。これを回避するには高温加熱中に安定した結晶粒度特性を維持できる技術の適用が不可欠である。以下では、鋼中の析出物を活用したナノテクノロジー事例として、結晶粒粗大化防止の事例、さらなる部品強度向上手法として注目される結晶粒微細化の事例の2つを紹介する。

◇ 結晶粒粗大化防止のための ナノテクノロジー事例

結晶粒粗大化防止には、鋼中にナノメートルサイズの微細析出物を多量に析出させて結晶粒界をピン止めし、動き難くすることが有効である。こ

の場合、高温で長時間保持しても安定な析出物を利用することや、それらの析出物を高温処理に先立ってより微細かつ大量に析出させておく必要がある。また、微細析出物によるピン止め効果に頼るだけでなく、浸炭温度への昇温過程において変態直後のオーステナイト粒を適切に大きく、かつ均一に形成させておくことも重要なポイントになる。近年、適用が拡大している冷間鍛造は、熱間鍛造に比べて加工に非常に大きな力を必要とし、その負荷軽減のため鍛造前に鋼素材の軟化焼なまし（球状化焼なまし等）を行うことが多い。また、上記のオーステナイト粒形成に関し、冷間鍛造による加工の影響を残した鋼部品をそのまま浸炭温度に加熱すると、極めて微細なオーステナイト粒が形成されやすい特徴により、浸炭加熱中の結晶粒粗大化が促進される。そこで、冷間鍛造後に焼ならし処理を追加して浸炭開始時の結晶粒径を適切に大きく、かつ大きさを均一に揃える処理が必要であった。これらの軟化焼なましや焼ならしが省略できればメリットが大きいことから、当社では冷間鍛造前後の熱処理が省略可能で、結晶粒度特性に優れた「Ti添加高冷靱性はだ焼鋼TMAX520J2B」を開発している^{1)、2)}。TMAX鋼には、数十ナノメートルオーダーの微細なチタン炭化物（TiC）を鋼中に多量に分散させるナノテクノロジーが適用されている。

結晶粒粗大化を説明したGladmanの式では、結晶粒成長の臨界条件は（1）式で示される³⁾。

$$r_{\text{crit}} = 6R_0 f / \{\pi(3/2 - 2/Z)\} \dots\dots (1)$$

ここで r_{crit} はピン止め粒子の臨界析出粒子半径、 R_0 はマトリクス結晶粒半径、 f は析出粒子体積分率、 Z は成長結晶粒の粒径とマトリクス結晶粒径との比を示す。TMAX鋼はTiC粒子を利用して優れた結晶粒度特性を獲得しており、その特長を以下に挙げる。一つは高温加熱時のTiCの大きさである。高温で加熱されるとTiCやJISはだ焼鋼（SCr420、SCM420等）やNb添加鋼で結晶粒界ピン止めに利

用されているAlNやNb (CN) は徐々に成長するが、TiCは他粒子に比較して粒子径が小さい。ピン止め粒子径が(1)式の r_{crit} を越えたときに結晶粒粗大化が起こるのであるから、粒子径の小さいTiCは結晶粒粗大化防止に有利である。もう一つは高温域でのTiCの析出量である。0.15%程度のTiを含有するTMAX鋼の浸炭温度域でのTiC析出量は、AlNやNbCNの総和(0.05%Nb添加鋼の場合)に比べてもさらに多い。すなわち、TiCは、(1)式における f が大きく、それによって r_{crit} 自体がAlNやNbCNの場合に比べて大きいこと、加えて前述の通り粒子径自体が小さいこと、という2つの特長から結晶粒粗大化を効果的に防止できる。なお、TiCを利用しなくてもAlやNbの添加を増やして粒子数を増大させる余地はあるが、鋼中溶解度の制限から一般的な鋼材の製造工程ではAlNやNb(CN)の比較的粗大な析出物が残存するだけであり、結晶粒界ピン止めに有効なナノ析出物を大幅に増やすことは難しい。表1に冷間鍛造後、焼ならしを省略して浸炭処理する工程を模擬した場合の結晶粒度特性を示す。TMAX520J2Bは通常浸炭温度域の925℃より大幅に高い1000℃でも結晶粒が粗大化せず、冷間加工後(浸炭前)の焼ならし省略が十分可能である。加えて、同鋼はSi、Mnを極力低減した成分設計により、圧延ままでもSCM420H球状化焼なまし相当の冷間加工性を有し、球状化焼なまし無しで冷間鍛造が可能である。さらに、同鋼は酸素と親和性の強いSi、Mnの低減により浸炭時の部品表面の粒界酸化(くさび状に形成されると表面欠陥として作用する)が軽減されており、かつ粒界強化作用のあるBを含有させているため、優れた強度特性を保有する。

◇ 結晶粒微細化のためのナノテクノロジー事例

自動車駆動系部品の小型・軽量化ニーズから、鋼素材にはさらなる高強度・高靱性が求められて

表 1 結晶粒度特性調査結果*

鋼種	925℃	950℃	975℃	1000℃
TMAX520J2B	○	○	○	○
SCM420H	△	×	×	×

(○：整細粒, △：一部混粒 ×：全面混粒)
 ※900℃焼ならし→70%冷間加工→各温度で6h保持後、水冷して結晶粒度観察

いる。鋼の特性向上にあたり、高価な希少元素であるNiやMoに頼らない手法が望まれ、結晶粒微細化が注目される。微細化手法として、例えば浸炭焼入れ後の再加熱焼入れによる方法がある⁴⁾。ただし、結晶粒微細化が進むほど結晶粒界ピン止めに必要なナノ析出物量は増大するので、結晶粒粗大化防止対策がますます重要となる。これをブレークスルーするナノテクノロジー事例の一つを以下に紹介する。

図1にSCr420をベースに低Mn組成とし、かつTiを0.15%添加した鋼において、Cr量を1.4%、あるいは2.5%に調整した鋼の結晶粒微細化挙動の違いを示す。図は930℃浸炭焼入れと180℃焼戻しを行った後に850℃で1回再加熱焼入れしたときの結晶粒径(旧オーステナイト粒径)と炭素量との関係を示している。両鋼における最も炭素量が高いプロットは浸炭材の表面直下の結果であり、ほぼ通常の共析浸炭レベルの0.8%前後を含有する。それに対し、鋼材芯部は炭素量0.2%付近のプロットで示されている。結果として、再加熱焼入れ後の結晶粒微細化は、特に2.5%Cr鋼の浸炭層内において著しく、1回再加熱焼入れで最小4μm程度まで微細化する。対して1.4%Cr鋼は6μm程度の微細化に留まる(図1)。また、別途検討において2回再加熱焼入れでは2.5%Cr鋼では平均3μmに達したのに対し、1.4%Cr鋼では混粒状態を呈した。効果的な結晶粒微細化をもたらしたCrが関与するナノテクノロジーの正体は、TiC以外に、特に小さいもので40nm以下程度の微細な(Cr, Fe)系炭化物が大量に析出していることである(図2)。これ

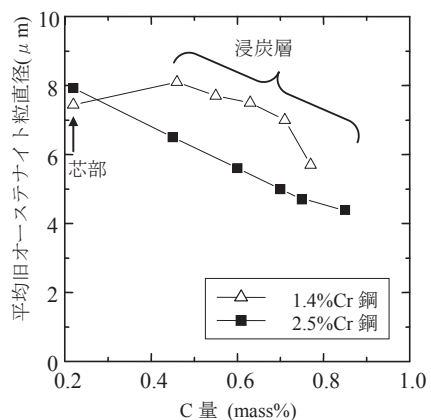
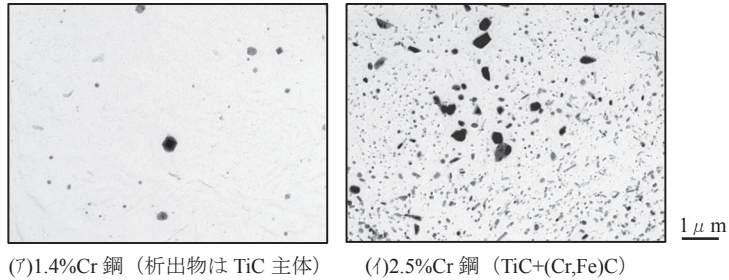


図 1 再加熱焼入れ後の結晶粒径と炭素量の関係



(j)1.4%Cr 鋼 (析出物は TiC 主体) (i)2.5%Cr 鋼 (TiC+(Cr,Fe)C)

図 2 1 回再加熱焼入れ後のナノ析出物のレプリカ TEM写真

は炭化物形成元素であるCrのアシストによって、再加熱焼入れの昇温過程で浸炭時にマトリクスに過飽和に固溶していた炭素が炭化物を形成したものである。2.5%Cr鋼では、高Cr化により析出が促進されたナノ炭化物がオーステナイト核生成サイトとして機能するとともに結晶粒界ピン止め作用を発揮し、結晶粒の微細化と粗大化防止に一役買っているとみられる。なお、ここではTiCと(Cr, Fe)系炭化物を複合的に用いた事例のみを紹介しているが、TiCの代わりにAlNとNbCNを使った場合でも実用上十分な結晶粒微細化を実現することが可能である。

むすび

鋼中のナノメートルサイズの析出物を活用したナノテクノロジー事例として、結晶粒粗大化防止の事例、さらなる部品強度向上が期待される結晶粒微細化の事例の2つを紹介した。鋼部品に対し

て期待される強度や精度を付与するために、浸炭処理や焼入処理において結晶粒粗大化を防止したり、鋼の結晶粒を望ましい大きさに制御したりすることは欠かせない技術であるが、部品製造工法の革新によって従来型の技術では十分に対応できない事例が出てくると考えられる。本内容で紹介したようなナノテクノロジーを活用した鋼種や技術が結晶粒に関する課題解決の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 田中高志：山陽特殊製鋼技報、10 (2003)、53
- 2) 藤松威史、橋本和弥、田中高志、西森博、井口誠：まてりあ、45 (2006)、141
- 3) T. Gladman and F.B. Pickering: J. Iron and Steel Inst., 205 (1967), 653
- 4) T. Fujimatsu, M. Nishikawa, K. Hashimoto and A. Yamamoto: Materials Science Forum, 561-565 (2007), 2345

4. 高温用フェライト系耐熱鋼のナノサイズ析出物による強化

新日鐵住金(株) 技術開発本部 は せ が わ や す し 長谷川泰士
新日鐵住金(株) 技術開発本部 に し ゅ う ら と も ひ ろ 西浦 智博

まえがき

高温・高圧の環境で使用される機器、たとえば発電用のボイラ、石油化学用反応容器等には通常10万時間（約12年間）以上の長い時間にわたって無事故であることが求められる。これは、機器が扱う高温のガスや溶液等が機器外部に漏れ出ることによって大きな災害に直結することと、同時に一般産業に必須とされる電気や燃料の供給が滞ってしまう事態につながるからである。1950年頃まで、「高温」とは最高でも400～500℃程度の温度を意味した。

しかし、**図1**に示す石炭火力発電ボイラの蒸気温度の変遷図で明らかのように¹⁾、その温度は年々上昇しており、それまで耐食鋼材として用いられてきたCrMo鋼に替えて、高温用の耐熱鋼材が使用されるようになってきた。高温化はボイラのエネルギー変換効率を高めることや、原油の反応効率を高めることに有効であり、ともに環境問題にも大きく貢献する。

耐熱鋼にとって最も重要な特性は、10万時間以上高温に曝され続けても材料の変形が少なく、圧

力に耐え続ける強度を有することである。この指標は一般に「クリープ強度」と呼ばれ、高温環境下において一定の荷重に何年間変形せずに耐えられるかという特性を示し、高温用材料の重要な特性として様々な規格に取り入れられている。

こうした高温、例えば600℃以上の温度において高いクリープ破断強度を発揮させる特殊鋼は、さまざまな強化機構を組み合わせることによって長時間の特性を確保するような精緻な材料設計が成されている。本節ではこの材料設計の考え方と、そこで重要な役割を果たすナノサイズ析出物、およびそれらを活用し、高温で使用される9%以上のCrを含有する商用フェライト系耐熱鋼について解説する。

◇ 最近の高温用フェライト系耐熱鋼

1970年代まで、ボイラ等の高温機器に使用される耐圧部材の多くは2.25%Cr-1%Mo鋼が最も合金成分の多い耐熱鋼であり、鉄をベースとした「フェライト系耐熱鋼」に分類されるものであった。より高温で使用されるオーステナイト鋼、例えば代表的にはSUS304等と比較すると高温特性の乖離が大きく、クリープ強度が十分には高くないため、オーステナイト系耐熱鋼に準ずる高温クリープ強度を有するフェライト系耐熱鋼の必要性が高まった。より耐食性の高いフェライト系耐熱鋼には9%Cr-1%Mo鋼があるが、高温クリープ強度が低いことから、この目的での適用は実現していない。

1980年代に米国オークリッジの国立研究所で9%Cr-1%MoにNbとVを添加し、ナノサイズの析出物を微細分散させて高温クリープ強度を高めた「Mod. 9Cr-1Mo」鋼（ASME規格 Gr. 91）が

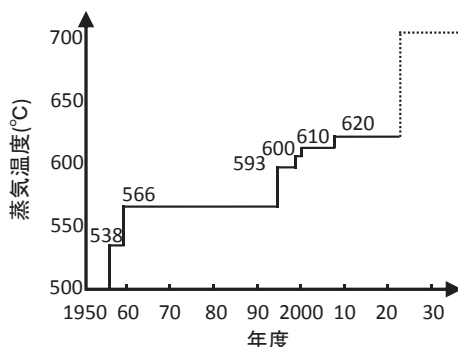


図 1 石炭火力発電の蒸気温度の年代による変遷

開発された²⁾。この材料はNbとV添加によってナノサイズのNbCやVNを析出させた「ナノサイズ析出物強化鋼」の始祖と言える耐熱鋼である。この材料は現在も各種高温用機器で使用され、実績が豊富である。一方で極長時間の使用においては、クリープ強度が急に低下する等の課題が最近明らかとなっている³⁾。

続いてGr. 91鋼のごとくナノサイズ析出物による強化をそのまま活用し、同時に他の析出物の安定化と、新しい析出強化因子を導入した鋼種として、新日鐵住金株式会社によって「9%Cr-1.8%W-0.5%Mo」鋼（ASME規格 Gr. 92）が1990年代に開発された⁴⁾。本鋼の最大の特徴は、それまで耐熱鋼の重要な強化因子の源であったMo量を減らし、変わってWを添加した点にある。

Wによるクリープ強度向上効果については諸説あってまだ完全に「強化機構」が理解されているわけではないが、Wが鋼中で金属間化合物として析出し、炭化物や窒化物としては析出しない点が注目されている。この新たな析出物が最近、クリープ強度を高めているとの考え方が提案されている⁵⁾。また、同鋼に添加されている30ppm（1ppmは100万分の1を表す）程度のごく少量のBが析出物の粗大化を防止して、ナノ析出物による強化の効果を高めていると考えられている⁶⁾。

この材料は前述のGr. 91鋼に対してクリープ破断強度が30%も高く、現在最高620℃まで使用可能な実用材料である。類似の鋼種として、若干クリープ強度は低いものの、耐食性を高めた「11Cr-2W-0.4Mo」鋼（ASME規格 Gr. 122）等も同様に商用化されており、目的に応じて使い分けられている。本鋼種もBを含有しており、高温クリープ強度は同じ仕組みによって支えられていると考えられている。表1に以上の代表的な高Crフェライト系耐熱鋼の公称化学成分を示した。この620℃という蒸気温度は世界最高レベルであり、最も低

排出、高効率の大容量基幹発電プラントを実現することに大きく貢献しており、世界中で使用されている。

◇ ナノサイズ析出物のクリープ強度向上機構

前項で述べたNb、V、W、Bの添加は、何れも高温材料に必要とされる「クリープ強度」は、「析出強化」によって達成されていると考えられる点が一貫している。それぞれに単独では効果が少ない場合でも、複合添加することによって相乗効果を発揮するもの（NbとVまたはWとB等）がある。さらに、組織による強化の仕組みは、室温と600℃程度の高温で同じでは無いため、特に高温クリープ強度そのものの仕組みも理解する必要がある。

ただし、どのような場合でも材料は転位が無いと変形できず、転位の動きを抑制することが強化であると言う原則は共通している。異なっているのは、耐熱材料の評価の指標となっているクリープ強度が、長時間経過した後の特性であり、時間の経過と共に転位の動きを抑制する組織が回復し、析出物が変化していくことを考慮しなければならない点である。

すなわち、室温では転位が析出物に遭遇すれば、そこで転位の移動抵抗が生じ、強度の向上に繋がるのだが、高温では析出物が時間と共にその分布とサイズを変え、析出物の間隔が次第に広がっていく。このために析出物による転位の移動抑制効果は、室温の場合に比較して高温で長時間保持された分、低下してしまう。高温クリープ強度の向上とは、このナノサイズ析出物の粗大化の抑制と、より高密度析出を実現させる方法によって達成されるものである。

図2は、ASME Gr. 92鋼に見られるNbC-VN複合析出物である。フェライト系耐熱鋼は通常「焼準し-焼戻し」または「焼入れ-焼戻し」で製造する。NbCはこの過程の内、焼戻しで全て炭化

表 1 ナノサイズ析出物により強化された高強度フェライト系耐熱鋼の公称化学成分（mass%）

	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Nb	V	N	B	Cu
Gr. 91	0.10	0.30	0.50	9.0	1.0		0.06	0.20	0.045		
Gr. 92	0.09	0.25	0.50	9.0	0.5	1.8	0.05	0.20	0.050	0.003	
Gr. 122	0.10	0.25	0.50	11.0	0.4	2.0	0.05	0.20	0.060	0.003	1.0

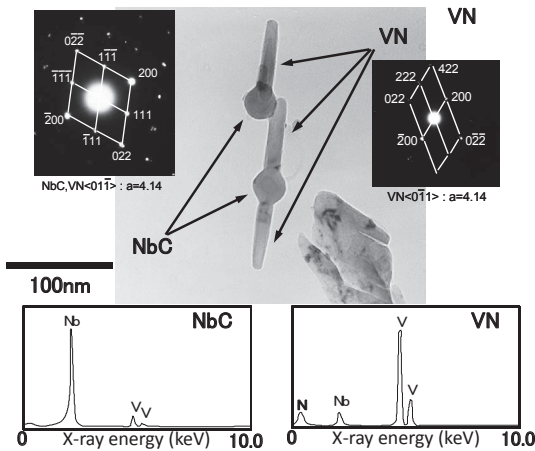


図 2 高温クリープ強度を支える複合ナノサイズ析出物 (NbC-VN)
上欄：透過型電子顕微鏡写真、下欄：EDX元素分析結果

物として微細析出しており、VとNはNbとCに比較して結合力が比較的小さく、600°C程度の温度では、数十時間経過しないと多くが析出しない。このため、図のようにVNはNbCを核として析出するのである。元々、鋼塊の製造時にはNbとVはほぼ同一位置に偏析していることもあって、図2の様な複合析出が生じる。

析出物サイズが小さいままで、析出量が増加すれば析出物の間隔（析出物間距離と称する）は小さくなり、その間を転位が通過する際には多くの抵抗を受ける。高温長時間においては、小さな析出物が固溶し、比較的大きな析出物は粗大化し、最終的に析出物間距離は増加してしまうことが多い。ところが、結合力の高いNbCは最初に全量析出し、粗大化速度が比較的遅いため、その間隔がほとんど変化しない。このNbCを核として析出したVNは、そのまま母材の原子の並びに沿って一定方向に成長する。したがってNbC-VNを一つの析出物として考える場合、析出物の表面間距離はかえって狭くなる。すなわち、図2のような特殊な複合析出はクリープ強度向上に有効である。

また、Wを含有する新しい耐熱鋼では、Wによる強化が「固溶強化」と「析出強化」の何れであるかは確定した見解が報告されていないが、析出しないと強度が上昇しないことから、析出強化の寄与が大きいと考えられるようになってきた。金属間化合物であるFe₂W (Laves相)は主に粒界に

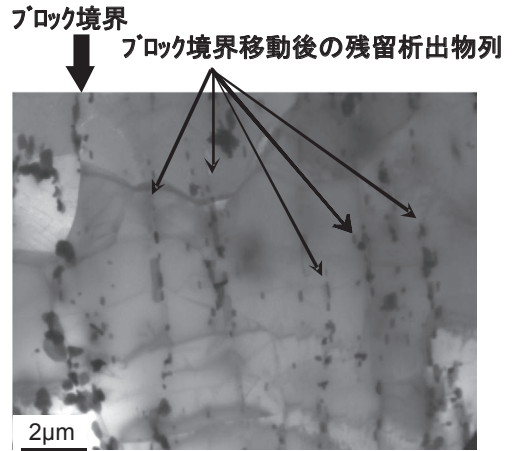


図 3 ブロック境界移動後の旧粒界上析出物
(主にM₂₃C₆とFe₂Wからなる)

析出し、微細なものもあるが、数百nmの大きさに至るサイズのものまで存在する。ただし初期には粒界に沿って直線的に並んで析出していることからクリープ強度にはほとんど寄与しないが、粒界が移動してしまうような長期使用後の回復組織中では、むしろ多量析出する事によって図3に示すように析出物どうしの距離が非常に狭い箇所を結果的に粒内に作り出し、転位の移動抵抗となる場合が考えられる⁷⁾。長時間のクリープにおいては、こうした局所的な強度で材料全体のクリープ強度向上が果たされている可能性がある。すなわち比較的大きなFe₂Wが転位の移動障害として有効に機能する可能性が提案されている。

Bは各種析出物に固溶して、その粗大化遅延を通じた長時間のクリープ強度向上に寄与すると考えられているが、Fe₂Wへの固溶も報告されており⁶⁾、Gr. 92鋼では金属間化合物Fe₂Wによる析出強化と、Bによる粗大化遅延が相乗して、Gr. 91鋼に対して30%のクリープ強度向上を果たした可能性が考えられている。

以上、ナノサイズ析出物による強化について、主に解析研究の多いGr. 92鋼を中心に解説したが、基本的にNb、V、W、Bを含有する高強度フェライト系耐熱鋼では同一の強化機構が作用していると考えられる。

◇ 今後の展望

本節で解説した高強度フェライト系耐熱鋼は、

母相がマルテンサイトであり、旧 γ 粒界内部に非常に微細な組織構造を持つ点と、転位密度が高い点が共通している。これらの転位は当然短時間のクリープにおいて、転位そのものが他の転位の移動障害となる時期を持ち、続いて炭化物による析出強化、その後窒化物や金属間化合物による析出強化と、時間の経過と共に強化を支える析出物種類が変化していく点を特徴とする。

耐熱鋼の規格は10万時間のクリープ破断強度に安全係数を乗じた「許容応力」で材料の強度を規定し、設計の基準とするが、実際の高温機器はこれ以上の長時間、例えば20~30万時間の運転を継続する場合が多い。こうした極長時間のクリープ強度を支える強化因子は、10万時間と大きく変わることは無く、継続してナノサイズ析出物によるところが大きいと考えられている。したがって、如何にして極長時間までこれらナノサイズ析出物を粗大化させないで留め置くかが今後の材料開発の一つの方向性であると考えられ、従来にはない析出物の利用技術開発研究が今後も継続すると予想される。

むすび

以上、ナノサイズ析出物によるクリープ強度向上について、最近の高強度フェライト系耐熱鋼を例に解説した。今後、さらなる機器の高温化の流れを考えれば、熱膨張率が小さく、比較的コストのフェライト系耐熱鋼のさらなる高温での適用が望まれることになる。したがって、より高温で

粗大化しない析出物種を探索していかなければならない。すなわち、将来にわたって析出強化を活用したフェライト系耐熱鋼は必要とされ、高温機器の効率向上には欠くことの出来ない最重要技術であると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば株式会社日立製作所 ホームページ：http://www.hitachi.co.jp/environment/showcase/solution/energy/coal_thermal_power.html
- 2) V. K. Sikka: "Substitution of modified 9 Cr-1 Mo steel for austenitic stainless steels" Oak Ridge National Laboratory, ORNL Report 5841, April (1982)
- 3) K. Maruyama, K. Sawada and K. Koike: "Strengthening Mechanisms of Creep Resistant Tempered Martensitic Steel", ISIJ Int. 41 (2001) p641
- 4) H. Masumoto, M. Sakakibara, H. Sakurai and T. Fujita: "Development of a 9%Cr-Mo-W Steel for Boiler Tubes", EPRI 1st Int. Conf. Improved Coal-Fired Power Plants, Palo Alto, 5・203-5・213 (1986)
- 5) Y. Hasegawa, T. Nishiura and T. Sato: "The New Metallurgical Precipitation Strengthening Model of W Containing Advanced High Cr Ferritic Creep Resistant Steels", Proc. of 7th Int. Conf. on Advances in Mater. Tech. for Fossil Power Plants, October 22 - 25, (2013), in printing
- 6) N. Mito and Y. Hasegawa: "Boron effects on creep rupture strength of W containing advanced ferritic creep resistant steels", Proc. of 9th Liege Conf. on Materials for Advance Power Engineering, September 27-29, (2010)
- 7) Y. Hasegawa: "Metallurgical Type IV damage decisive factor and its microstructure modeling", Int. Sem. on New High Temp. Mater., IOM London, ETD-UK, May 23-24 (2013) paper 3-7

5. ナノ組織磁性材料

日立金属(株) よし ぎわ よし ひと
安来工場 冶金研究所 吉 沢 克 仁

まえがき

軟磁性材料は、トランス、モータ、チョークコイル、磁気ヘッドやセンサーなどの磁心材料として使用されており、エネルギーやエレクトロニクス分野など多くの分野で重要な役割を果たしている。軟磁性材料は、電磁石の鉄心に使われるような磁性材料であり、コイルに電流を流し磁化させると鉄を引き付け、電流を切ると鉄がつかなくなるような磁性材料である。一般に、軟磁性材料に求められていることは、飽和磁束密度 (B_s) が高いことと透磁率 (μ) が高い (保磁力 (H_c) が低い) ことである。

前述の電磁石の鉄心材料では B_s が高いほどコイルに電流を流し磁化した際に鉄を引き付ける力が大きくなる。すなわち、 B_s が高いと鉄心サイズを小さくしても同じ性能が得られるため磁心の小型化に寄与する。 μ は、コイルに電流を流した際の磁化しやすさに対応し、 μ が高い材料を鉄心に使用すれば少ない電流で鉄を引き付けることができ、省エネや高効率化に寄与する。代表的な軟磁性材料としては、電磁鋼板、パーマロイなどの結晶質材料、結晶組織を持たないアモルファス材料やナノ組織を制御した磁性材料であるナノ結晶軟磁性材料が知られている¹⁾。

ナノ結晶軟磁性材料は、比較的最近開発された材料で従来の軟磁性材料とは異なるユニークなマイクロ組織からなり、高 B_s と高 μ の両立が可能であり従来の材料では実現が難しかった優れた特性が得られるため応用範囲も広がってきている。

本稿では、ナノ結晶軟磁性材料の中で最も実用化が進んでいる Fe-Si-B-Nb-Cu 系ナノ結晶軟磁性材料について、製法・組織・磁気特性・特長とその応用について述べる。

◇ アモルファス合金の結晶化による ナノ組織制御と軟磁性

従来の電磁鋼板やパーマロイなどの結晶質磁性

材料では、結晶粒を小さくして行くと μ が低く (H_c が大きく) なり軟磁性が劣化するため、熱処理により結晶粒を成長させ結晶粒径を大きくすることにより軟磁性を向上させている。これに対し、アモルファス軟磁性材料では、結晶粒が存在せず不均一な粒界が存在せず結晶磁気異方性が存在しないため、優れた軟磁性が実現されている。

このため、従来はアモルファス合金を結晶化させアモルファス構造を崩すと、軟磁性は劣化すると考えられていた。ところが、微量な Cu と Nb 等の元素を複合添加した Fe-Si-B 系アモルファス合金を熱処理し結晶化させると、ナノスケールの微細な結晶粒がアモルファスマトリックス中に分散した組織が得られ、Fe 基アモルファス合金よりもむしろ高い μ が得られ軟磁性が向上することが見い出された^{1), 2)}。

現在ではこの材料は一般にナノ結晶軟磁性材料と呼ばれており、その後アモルファス合金の結晶化を利用した Fe-Ta-C 系薄膜材料や Fe-Zr-B 系合金材料など種々のナノ結晶軟磁性合金が報告されるようになった^{3), 4)}。

図 1 に Fe-Si-B-Nb-Cu 系合金の結晶化過程の模式図と適正熱処理後の組織を示す。Fe-Si-B-Nb-Cu ナノ結晶軟磁性材料は、単ロール法などの超急冷法により、まずアモルファス合金を製造し、次にこれを熱処理し結晶化させて、アモルファスマトリックス中にナノスケールの Fe を主体とする結晶粒を分散させ製造される。形成される結晶の粒径は約 10 nm であり従来の結晶質軟磁性材料よりも著しく微細な結晶粒からなる。代表的な材料としては $\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ (at %) が知られており、現在生産されているナノ結晶軟磁性材料のほとんどが比較的製造し易い初期に発表された Fe-Si-B-Nb-Cu 系合金である。Cu と Fe は分離する傾向があるため、熱処理を行うとアモルファス相中に Cu クラスタが高い数密度で形成され、これが Fe を主体とする結晶粒の不均一核形成サイトとして振る舞う。

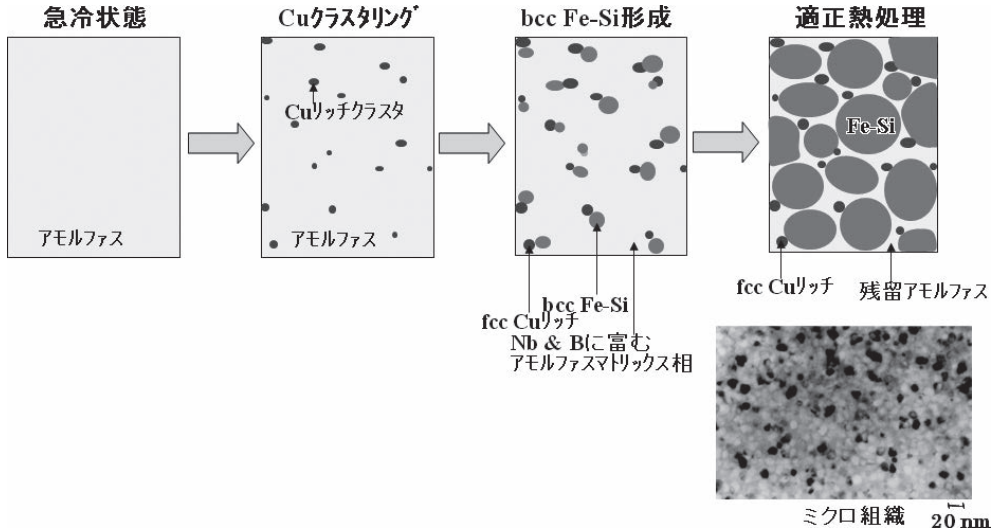


図 1 Fe-Si-B-Nb-Cu系合金の結晶化過程の模式図と適正熱処理後のミクロ組織

一方、NbやBはFeにほとんど固溶せず結晶化進行に伴い周囲のアモルファスマトリックス相のNb濃度とB濃度が高まり、アモルファス相を非常に安定化し結晶粒成長を抑制する。このCuとNbの複合効果により、図1に示すような均一・微細なナノ結晶組織が実現され、優れた軟磁性が得られると考えられている⁵⁾。

図2に磁性材料の比初透磁率 μ_{ri} 、保磁力 H_c と結晶粒径 D の関係を示す。結晶粒径がミクロオーダー以上の従来の結晶質軟磁性材料では D が小さくなると μ_{ri} は低く、 H_c は高くなり軟磁性は劣化するが、ナノスケールまで結晶粒が微細化すると従来の結晶質軟磁性材料とは異なる挙動を示すようになり、 μ_{ri} は結晶粒径が小さくなるほど高く、 H_c は結晶粒径が小さくなるほど低くなり軟磁性が向上する。

これは、従来の電磁鋼板などの結晶合金において軟磁性劣化の原因となる結晶磁気異方性が、結晶粒がナノスケールまで微細化された合金では、結晶粒間の交換相互作用により平均化され、実効的な磁気異方性が減少するためであると考えられており⁶⁾、このナノ組織制御により比較的高 B_s のFe基軟磁性合金においても軟磁性を向上させることができる。

◇ ナノ結晶軟磁性材料の特長

Fe-Si-B-Nb-Cu系ナノ結晶軟磁性材料は、高 B_s と高透磁率・低磁心損失の両立が可能、低磁歪など多くの特長を有している。以下に、ナノ結晶軟磁性材料の特長を概説する。

図3に軟磁性材料の比初透磁率 μ_{ri} と飽和磁束密度 B_s の関係の模式図を示すが、ナノ結晶軟磁性材料は従来のFe基軟磁性材料と比べ、同一の B_s でより高い透磁率を実現することができる。このため、ナノ結晶軟磁性材料を高透磁率が要求される用途の磁性部品に使用した場合、磁性部品の高性能化

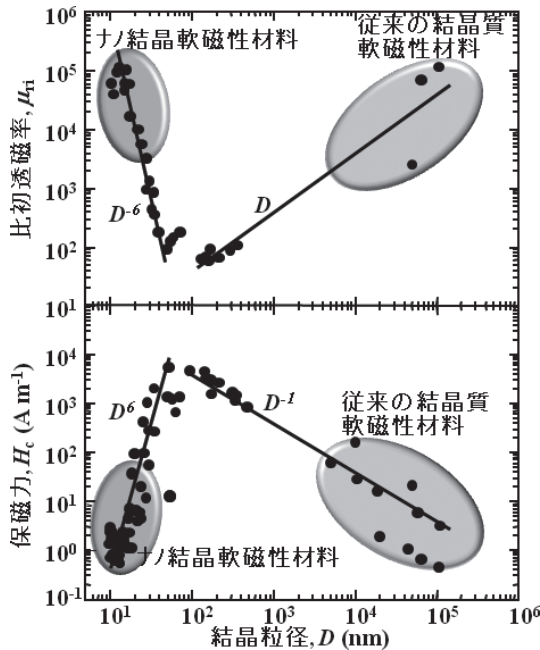


図 2 磁性材料の比初透磁率 μ_{ri} 及び保磁力 H_c と結晶粒径 D の関係

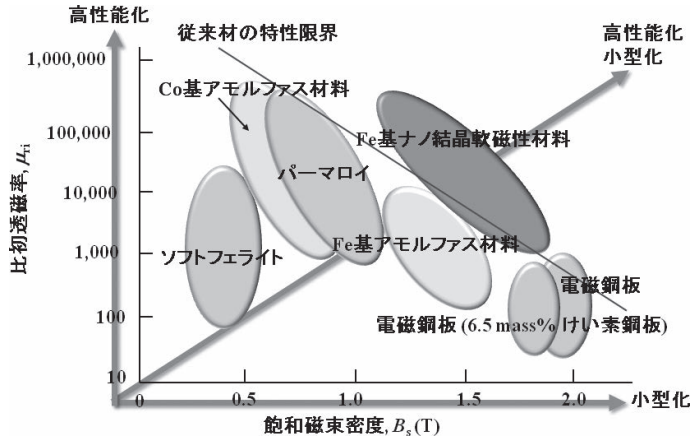


図 3 軟磁性材料の比初透磁率 μ_i と飽和磁束密度 B_s の関係の模式図

や小型化などに寄与することができる。更に、ナノ結晶軟磁性材料は、板厚が $20\mu\text{m}$ 程度と薄く、抵抗率も約 $1.2\mu\Omega\text{ m}$ と金属材料の中では高いので、金属材料の中では透磁率や磁心損失などの高周波特性に優れている。また、Fe-Si-B-Nb-Cu系ナノ結晶軟磁性材料は、磁歪がFe基アモルファス軟磁性材料よりも低く、磁歪零の材料も実現できるため、可聴周波数領域で使用した場合、磁歪振動に起因する騒音が小さく、応力による磁気特性の劣化も小さい。

また、特長として強調されることは少ないが、Fe-Si-B-Nb-Cu系ナノ結晶軟磁性材料は、室温付近の $-50\sim 150^\circ\text{C}$ の温度領域で透磁率などの温度変化がパーマロイやフェライトに比べて小さく温度特性に優れている。

◇ ナノ結晶軟磁性材料の応用

Fe-Si-B-Nb-Cu系ナノ結晶軟磁性材料は、電子部品用コア材の用途を中心に使用されている。高透磁率を活かし、ノイズ対策に用いられるコンモードチョークコイル、漏電ブレーカや電力量計などに用いられるカレントトランス (CT)、パルストランス、磁気シールドなどの用途に使用されている^{7), 8)}。また、低磁心損失を活かし、インバータなどのパワートランス、チョークコイルや加速器の加速空洞に用いられるコアなどの用途に、 B - H ループの高角形状を活かし、ノイズアブソーバ、ビーズコアや磁気スイッチコアなどの用途にも使用されている。

また、近年は、ナノ結晶軟磁性材料がアンテナの磁心、オーディオマニア作製のアンプのトランスやチョークコイルなどにも使用されるようになり、応用範囲も拡がりを見せている。

むすび

ナノ組織を制御したナノ結晶軟磁性材料の出現は、軟磁性材料の分野においてブレークスルーをもたらした。ナノ結晶軟磁性材料は、基礎的研究の段階を経て工業化され、現在では実用材料として重要な役割を果たしている。ナノ結晶軟磁性材料は、軟磁性材料として前述のような優れた特長を有しており、省エネや地球環境の保全などの意識の高まりや、機器の高周波化の進展などのトレンドに適合した軟磁性材料として、今後の更なる発展に期待したい。

参考文献

- 1) Y. Yoshizawa, S. Oguma, and K. Yamauchi, J. Appl. Phys., **64**, 6044 (1988)
- 2) 吉沢克仁、山内清隆、日本金属学会誌、**53**, 241 (1989)
- 3) 長谷川直也、齊藤正路、日本応用磁気学会誌、**14**, 313 (1990)
- 4) K. Suzuki, N. Kataoka, A. Inoue, A. Makino, and T. Masumoto, Mater. Trans., JIM, **30**, 947 (1989)
- 5) K. Hono, Y. Zhang, A. Inoue, and T. Sakurai, Acta Mater., **40**, 2137 (1992)
- 6) G. Herzer, IEEE Trans. Magn., **26**, 1397 (1990)
- 7) 吉沢克仁、電子材料 2002年4月号、工業調査会発行、p.30
- 8) 吉沢克仁、三木裕彦、目黒卓、備前嘉雄、中島晋、荒川俊介：日立金属技報、**13**, 25 (1997)

6. 鋼の結晶粒超微細化と実用化展開

御物質・材料研究機構 とりづか しろう
材料創製・加工ステーション 鳥塚 史郎

まえがき

超微細粒鋼は合金元素添加なしで、高強度と高靱性を同時に発現できる資源循環型材料として極めて有望である。一方、結晶粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の超微細粒鋼は、実験室的サイズではECAP、ARB、HPTなど、さまざまな方法によって達成されているが、実用化に不可欠な大型化は未達成であった。超鉄鋼プロジェクト（H9-18）の中で、結晶粒超微細化の指導原理、大型素材の作製のためのプロセス技術の開発を中心課題として研究を行ってきた^{1), 2)}。

まずは、結晶粒超微細化のプロセスパラメータを解明するために、大ひずみ導入可能な加工熱処理方法を開発し、大ひずみ加工を系統的に行った。次に、この基礎研究を棒線材の製造に適用し、バルク微細粒鋼線材製造のプロセス技術に発展させた。本稿では鋼の結晶粒超微細化基礎研究と線材製造技術、部品への展開について解説する。

◇ 結晶粒微細化を決定する因子

再結晶を利用した大ひずみ加工による超微細粒生成のための支配パラメータの解明を目的として、温度範囲 $400\text{--}850^\circ\text{C}$ の広範な大ひずみ加工熱処理実験を行い、結晶粒微細化マップを作成した^{3)~10)}。フェライト粒の大きさは加工で与えられるひずみ

には影響されずに、加工温度およびひずみ速度に影響されることがわかった。方位差角 5° 以上を持つ粒界で囲まれ内部にサブグレインを含まない新しく生成したフェライト粒の平均粒径は、式（1）に示すようにZ因子で決定される。このことから、式（1）より、 $0.5\mu\text{m}$ を得ようとした場合は、 $\text{Log}Z=13.5$ で加工すればいいことが推定される。 100nm を得ようとしたら、 $\text{Log}Z=17.5$ となるような加工条件を選択すれば、達成可能性があるわけである。

$$d(\mu\text{m}) = 10^{2.07} Z^{-0.16} \quad (1)$$

$$Z = \dot{\epsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \quad (2)$$

ここで、Qにはキュリー点（ $T_c=1053\text{K}$ ）以下のフェライト鉄の自己拡散の活性化エネルギー 254kJ/mol である。

◇ 圧延による微細粒鋼の製造

微細化プロセスマップで明らかにした高Z-大ひずみ加工と大ひずみ導入の基本原則である多方向加工^{11), 12)}に基づき、ラボレベル溝ロール圧延機、さらに民間の実機溝ロール圧延機を利用して、 18mm 角で長さ 20m の棒鋼の試作を行った^{13), 14)}。

図1に示すように、溝ロールでは材料が二次元的に減面されるため、大ひずみが導入加工であることに注目し、 80° 角から 18° 角まで圧延を、 500°C で等

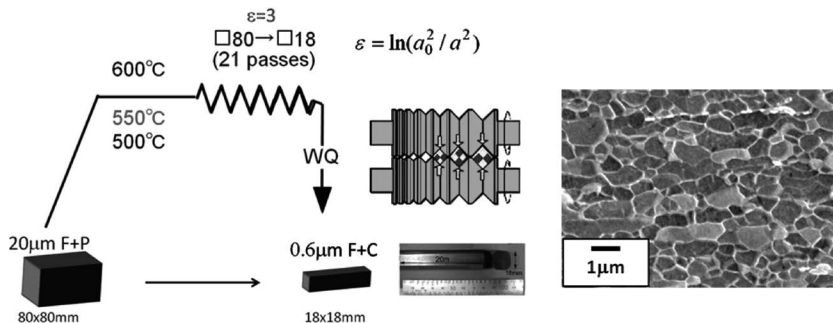


図 1 温間多パス溝ロール圧延、加工条件、圧延機模式図と微細粒鋼の組織¹⁸⁾

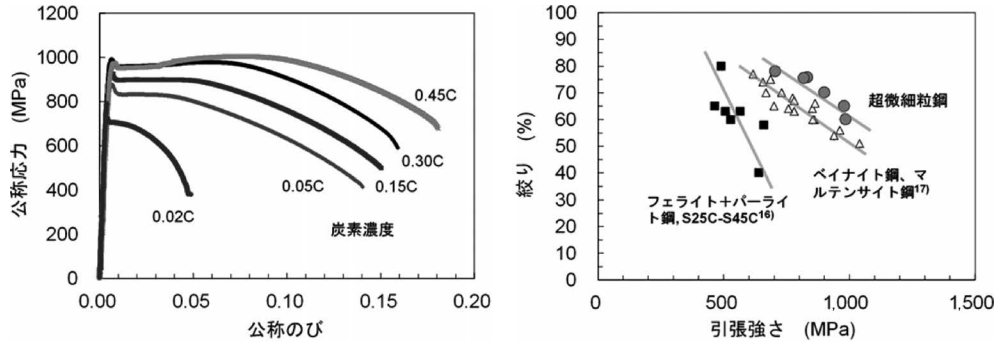


図 2 超微細粒鋼の応力-ひずみ曲線と引張強さ-絞りバランス

温21パス圧延を行った。

素材である20 μm フェライト組織が、温間溝ロール圧延後、0.7 μm の超微細フェライト組織となった。結晶粒微細化には、温間温度域での大ひずみの導入が必要であるが、1パスで導入する必要はなく、多パス化が可能であることを明らかにできた。

◇ 微細粒鋼の力学的性質の特長

炭素量を0.02%から0.45%までのさまざまな炭素量組成のSi-Mn鋼を、温間溝ロール圧延によって、組織をサブミクロンまで微細化し、その力学的性質を調べた。強度が上昇すれば、伸びが減少するのが一般的であるが、微細粒鋼の場合は、炭素濃度の増加が、強度と伸びを同時に向上させる。超微細粒鋼の問題点の一つは一樣のびの低下であることが知られている。図2に示したように、炭素量の増加、すなわち、セメントイト分散によって加工硬化率が大きくなること、そのため一樣のびが大きくなることを見いだした^{15)~17)}。

微細粒鋼は絞りにも優れている。この場合の絞りとは、引張試験片が破断するまでの面積減少率である。図2に示すように、超微細粒鋼の強度-絞りバランスは、フェライト-パーライト、ベイナイト、マルテンサイトに比べ、最も優れていることを明らかにした¹⁷⁾。これは超微細粒鋼の成形性を議論してゆく上での重要な基礎データとなった。

◇ 超微細粒ワイヤーの製造と部材への展開

超微細粒鋼が線材として供給できるようになれば、新しい高強度非調質冷間圧造用鋼を提供できることになる。超微細粒線材を製造するためには、連続大ひずみ圧延が必要である。大ひずみの導入方法は多方向加工である^{11)、12)}。オーバル孔型、スクエア孔型を用いれば、連続多方向加工が、溝ロール圧延によって実現できる^{18)、19)}。超微細粒鋼線材の連続圧延のためのコンパクトプロセスを開発し、サブミクロン組織を有する直径3mmの線材が製造可能となっている^{20)~23)}。

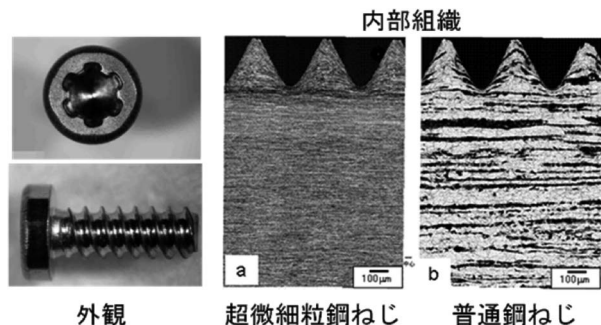


図 3 超微細粒鋼ねじの外観と組織

本連続温間圧延で製造した線材を直径1.3mmまで冷間伸線し、この線材を素線としてM1.7マイクロねじの成形（(株)降矢技研）を行った^{20)~23)}。マイクロネジ成形には、ダブルヘッダー方式を用いた。本線材の引張強さは1GPa以上あったが、**図3**に本M1.7マイクロねじの外観を示すが、圧造時に割れは生じなかった。また、ねじの内部組織も示すが、マイクロねじの断面組織は超微細である。比較の普通鋼（SWCH16A鋼）の組織を示すが、はるかに粗大であることがわかる。以上より、連続温間圧延により作製した超微細粒鋼線材は、1GPaレベルの高強度でありながら、ねじ製造可能な優れた成形性を有している^{20)~23)}。

むすび

超微細粒研究の開始から15年経つが、連続圧延プロセスによる超微細粒線材の製造技術の確立により、12Tクラスの高強度非調質冷間圧造用鋼が実現し、ねじなどの部品製造が可能な段階に到達した。

参考文献

- 1) 鳥塚史郎、長井寿、佐藤彰：塑性と加工、42 (2001)、287-292
- 2) 鳥塚史郎：ふえらむ、10 (2005)、188-195
- 3) 鳥塚史郎、梅澤修、津崎兼彰、長井寿：鉄と鋼、86 (2000)、801-806
- 4) 大森章夫、鳥塚史郎、長井寿、山田賢嗣、向後保雄：鉄と鋼、88 (2002)、857-864
- 5) A. Ohmori, S. Torizuka, K. Nagai, N. Koseki and Y. Kogo : Materials Transaction, 45 (2004)、2224-2231
- 6) N. Murty, S. Torizuka and K. Nagai : Scripta Materialia, 53 (2005)、763-768
- 7) N. Murty, S. Torizuka, K. Nagai, N. Koseki and Y. Kogo, Scripta Materialia, 52 (2005)、713-718
- 8) N. Murty, S. Torizuka and K. Nagai : ISIJ International, 45, 1651-1657 (2005)
- 9) N. Murty, S. Torizuka and K. Nagai : Materials Transactions, 46 (2005)、2454-2460
- 10) N. Murty, S. Torizuka and K. Nagai : Materials Science and Engineering A, 410-411 (2005)、319-323
- 11) 鳥塚史郎、井上忠信、長井寿、鉄と鋼：86 (2000)、807-814
- 12) 井上忠信、鳥塚史郎、長井寿：鉄と鋼、86 (2000)、793-800
- 13) 大森章夫、鳥塚史郎、長井寿、山田賢嗣・向後保雄：鉄と鋼、89 (2003)、781-788
- 14) 大森章夫、鳥塚史郎、長井寿：鉄と鋼、89 (2003)、765-772
- 15) A. Ohmori, S. Torizuka and K. Nagai : ISIJ International, 44 (2004)、1063-1071
- 16) S. Torizuka, A. Ohmori, N. Murty and K. Nagai : Scripta Materialia, 54 (2006)、563-568
- 17) S. Torizuka, E. Muramatsu, N. Murty and K. Nagai : Scripta Materialia, 55 (2006)、751-754
- 18) 井上忠信、鳥塚史郎、村松榮次郎、長井寿：鉄と鋼、94 (2008)、164-172
- 19) 鳥塚史郎、村松榮次郎、井上忠信、長井寿：日本金属学会誌、72 (2008)、571-580
- 20) 鳥塚史郎：まてりあ、45 (2006)、438-443
- 21) S. Torizuka, E. Muramatsu, T. Komatsu and S. Nagayama : Nanostructured metals and alloys 1, Woodhead publishing, Cambridge UK, 6 (2011)、715-74
- 22) S. Torizuka and E. Muramatsu : Steel Research International, 81 (2010)、258-261
- 23) 鳥塚史郎、村松榮次郎、鈴木由幸、森川勉：第63回塑加工連合講演会講演論文集、(2012)、19-20

7. スーパーマルチナイト処理

(株)日本テクノ 代表取締役 花澤 均

まえがき

カーボンナノチューブは、1991年に飯島澄男氏により発見され、夢の素材として大きな期待が寄せられた。ヤング率や引っ張り強度は鋼の5倍以上あり、重さはその5分の1と軽い。

1996年以降、電子特性、電気伝導、機械的性質などの物性に関するデータが発表され、商品化されたものも幾つかあるが、期待程に実用化が進んでいない。

そこで、カーボンナノチューブの応用として、金型の表面に窒化と同時にカーボンナノチューブを含むナノカーボン類を複合生成するスーパーマルチナイトを開発したので、その概要を紹介する。

◇ スーパーマルチナイト

1. 開発の経緯

スーパーマルチナイト（カーボン膜複合窒化）は、あくまでマルチナイト（ガス浸硫窒化）の延長線上の技術として開発されたもので、当初カーボンナノチューブとの関わりは認識されていなかった。研究・開発でよく紹介されているが、スーパーマルチナイトもマルチナイトの応用研究中に担当者が間違えてアセチレンガスを一桁多く流し、テストピースがカーボン膜に覆われたことから始まった。テストは失敗と思われたが、担当者がテストピースの表面を電子顕微鏡で15,000倍に拡大して観察したところ、カーボンナノチューブ、カーボンナノコイル、カーボンナノフィラメントが生成していることが判明し、社内で主要テーマとして取り上げ、今日に至っている。

2. 処理装置

図1は、ピット型スーパーマルチナイト炉のシステム構成図で、一見ピット型マルチナイト炉のシステム構成図に似ている。写真1は、ピット型炉（炉内有効寸法1,000φ×1,500H、処理量Gross 2,000kg/charge）の外観である。スーパーマルチ

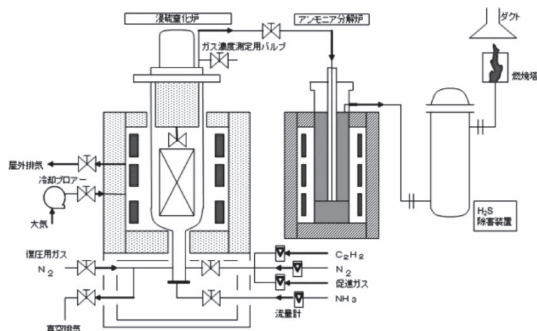


図 1 ピット型炉のシステム構成図

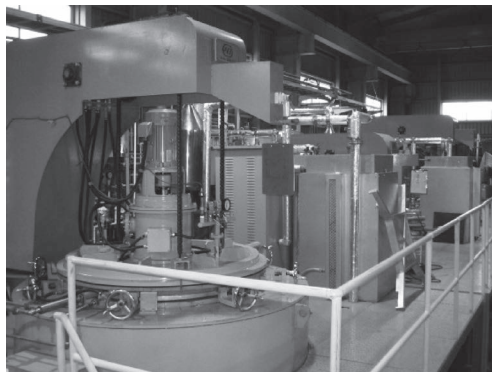


写真 1 ピット型炉の外観

ナイトでは、アンモニアガス（NH₃）による窒化で下地の硬化層が得られ、アセチレンガス（C₂H₂）の分解反応で表面のカーボン膜が得られる。アセチレンガスがワーク表面で分解する際に、硫化水素（H₂S）から供給される硫黄（S）が触媒になっている。

◇ 処理条件・特徴

図2は、スーパーマルチナイトの処理サイクルの一例である。炭素膜の原料となるアセチレンガスの流量以外は、マルチナイトの処理サイクルと同じである。

スーパーマルチナイトしたワーク表面を観察し

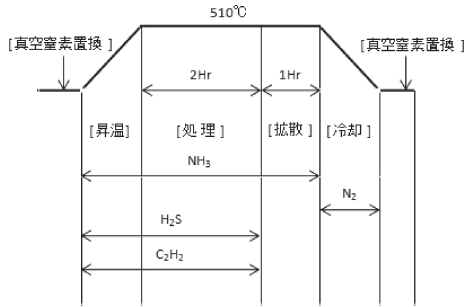


図 2 処理サイクルの一例

たところ、表面から伸びているナノカーボン類が不定型炭素をしっかり固定しており、カーボン膜が表面に強く密着していることが判った。

写真2は、スーパーマルチナイトしたワークの表面で、ナノカーボン類が密集しながら成長している様子が観察される。

図3は、スーパーマルチナイトしたワーク表面の断面構造模式図である。

図4は、スーパーマルチナイトとガス軟窒化の摩擦係数の比較データである。

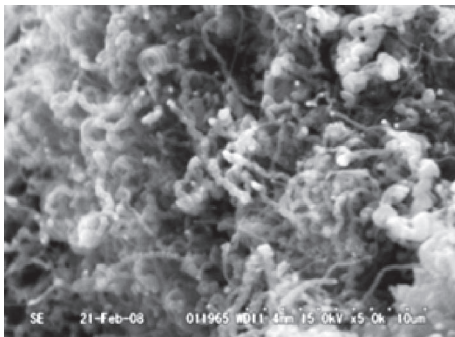


写真 2 スーパーマルチナイトの表面構造 (SEM像)

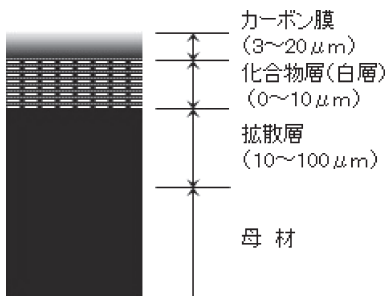
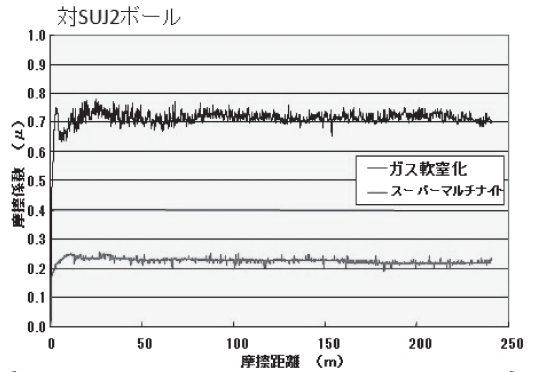


図 3 スーパーマルチナイトの断面構造模式図



ボールオンディスク摩擦試験機, FDAC材, 荷重5N, 摩擦速度125mm/s, 大気, 室温, ドライ

図 4 摩擦係数 (μ) 比較

スーパーマルチナイトの特徴をまとめると、

- ①低摩擦係数 (ドライのテスト条件で約0.2)
- ②耐摩耗性、耐カジリ性、耐焼付性
- ③耐食性
- ④離型性、含油性 (親油性)・保温性
- ⑤静粛性 (ギヤ鳴り低減)

◇ アルミダイカスト金型への応用

1. アルミダイカスト金型の表面改質

アルミダイカスト金型は、成形を繰り返すうちにアルミが表面を削ったり表面に付着したりする。そのため、窒化などで金型表面を硬化させて金型の劣化を防いできた。しかし、窒化では高価なアルミダイカスト金型の寿命延長の要望を満たすことができず、窒化に勝る表面改質法が強く求められている。

2. スーパーマルチナイトの効果

アルミダイカスト金型にスーパーマルチナイトを施すことにより、金型の寿命が大幅に延長され、鑄造条件も緩和された。

そこで、スーパーマルチナイトを施したアルミダイカスト金型で各種のテストを実施したところ、アルミの溶湯に対し濡れ性がなく、且つ、保温性があるので溶湯が金型の隅々まで流動し、これまで難しいとされてきた放熱フィンの鑄造が容易になった。因みに、表1はアルミダイカスト金型に対し塩浴窒化、低濃度ガス窒化、スーパーマルチナイトを施した場合の比較表である。スーパーマ

表 1 比較表

項目	処理法	塩浴窒化	低濃度ガス窒化	スーパーマルチナイト
1. 常温硬さ (HV)		1100~1200	900~1000	900~1100 (制御可)
2. 高温硬さ (化合物層厚さ)		高い	低い	並
3. 処理温度 (°C)		550~580	不明	480~540
4. 処理媒体 (使用ガス)		ソルト	NH ₃	NH ₃ 、C ₂ H ₂ 、促進ガス
5. 溶損量		少	多	並
6. 耐ヒートチェック性		不適	良好	良好
7. 処理後の表面粗さ		大	小	小
8. 離型性		並	並	極めて良好
9. 耐酸化性、耐熱性		大	小	並
10. 耐摩耗性		良好	並	良好
11. 摩擦係数 (μ)		0.7~0.8	0.7~0.8	0.2~0.3
12. 耐焼付性		良好	並	良好

ルチナイトをアルミダイカストの量産金型に適用してみたところ、湯流れが良く湯ジワ・鑄巣・ハクリ不良が軽減でき、離型剤削減の効果も確認された。

また、鑄造素材の結晶組織を観察したところ、結晶粒が緻密でダイカスト特有のチル組織が抑制されていることが判った。これは、カーボン膜がアルミの溶湯に対し保温性があり、充填途中の凝固が抑えられ、充填後の加圧で全体が瞬時に凝固するので、指向性凝固に近い結晶組織が得られていると推測される。

3. スーパーマルチナイトの適用範囲

当然のことながら、スーパーマルチナイトも万能ではない。アルミダイカスト金型の表面改質、表面処理に求められているのは、大別すると耐ヒートチェック性と耐溶損性である。スーパーマルチナイトは、キャビティー部のように表面温度が400°C前後に抑えられている部品や部位の耐ヒートチェック性向上には極めて有効であるが、ラドルやスリーブのように600°Cを越える高温に晒される部品や部位には効果が少ない。それは、窒化の特性として600°Cを越えると窒化層から脱窒が始まるからである。因みに、耐溶損性向上には金型表面にCVD、PVD、TDなどによる硬い皮膜か、酸窒化処理が有効と言われている。

ところで、アルミダイカストの金型表面は瞬間とはいえ700°C前後の溶湯に晒されるので、スー

パーマルチナイトのカーボン膜はすぐに消失するのではないかとこの質問を頂くことがある。

カーボン膜は耐熱性が高いので熱劣化することがなく、鑄造時は溶湯がカーボン膜を覆い空気を遮断するので、酸化劣化することも無い。

◇ 滑りネジへの応用

1. 滑りネジの現状

送りネジには滑りネジとボールネジがある。滑りネジは安価であるがガタ（バックラッシュ）が大きく、ボールネジは精度は良いが高価である。現在、精度が良く耐久性のある滑りネジが待望されている。従来の滑りネジは、転造によるSUS304製の軸と、機械加工による樹脂又は銅合金製のナットを使用している。この組み合わせでは、ナットの内径ネジ加工で軸のリード誤差を見込むことができず、どうしてもナットの内径ネジを大き目に作ることになる。その結果、大きなガタが避けられない。

2. 精密送りネジ

そこで、SUS304製の転造軸にスーパーマルチナイトを施し、さらにこの軸を型にしてアルミ合金製のナットを鑄造し組み合わせたところ、ガタが無く軸とナットがスムーズに動く精密滑りネジが開発できた。精密滑りネジは、製作時のガタが従来の滑りネジのガタよりも一桁小さく、耐久試験後のガタも一桁小さい結果が得られている。

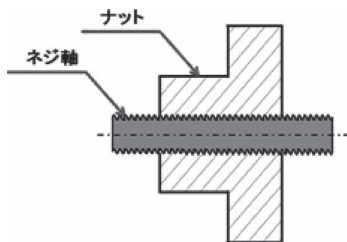


図 5 滑りネジの構造

図5は、滑りネジの構造図であり、写真3は、滑りネジの外観である。

むすび

国際競争力を高めるために、国内の製造業には「精度・性能・生産性」を一桁上げる程のイノベーションが求められている。スーパーマルチナイトが国内製造業復活の一助になれば望外の幸せである。



写真 3 滑りネジの外観



Ⅲ. ナノテクノロジーを支える分析技術

1. 電子顕微鏡

株式会社日立ハイテクノロジーズ
 主 管 技 師 小 瀬 洋 一

まえがき

ナノ材料は代表寸法が100nm以下の粒子や薄膜と定義されるが、バルク材料であっても内部にナノ構造を持つことで新たな特性が発現する。前者の例はリチウムイオン電池の電極材料、後者の例は自動車用モーターのネオジウム磁石である。科学技術の原点は対象物のありのままの姿や動きを把握する観察・分析であり、ナノ材料の観察では、ナノスケール、さらには原子レベルの分解能が要求されることから、**図1**に示すように電子顕微鏡が広く用いられている。

良い試料を作成することが電子顕微鏡観察の前提であり、金属やセラミックスの平面研磨にイオンミリング装置が、薄片化に集束イオンビーム装置（FIB: Focused Ion Beam）または走査電子顕微鏡との複合装置FIB-SEMが活用されている。

電子顕微鏡は走査電子顕微鏡（SEM: Scanning Electron Microscope）¹⁾と透過電子顕微鏡（TEM: Transmission Electron Microscope）²⁾に大別される。走査電子顕微鏡は数十kV以下の集束した電子ビームを照射することでバルク試料表面から発生する二次電子で走査像を形成し、手軽に表面形状を観察できる装置である。一方、透過電子顕微鏡

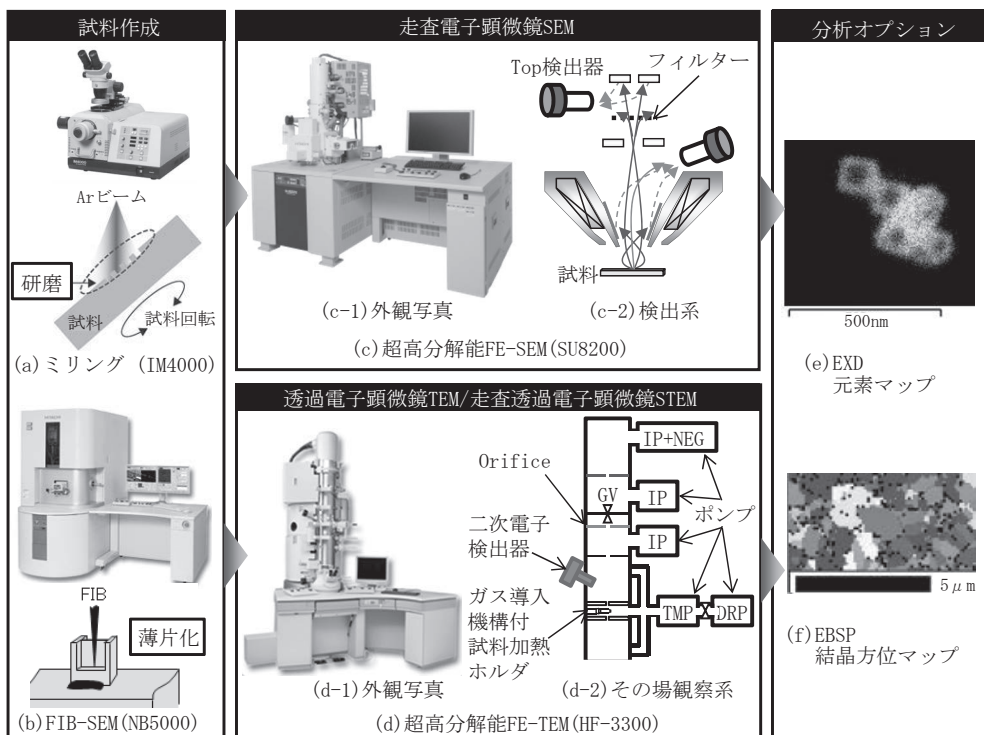


図 1 電子顕微鏡によるナノ材料観察・分析の流れ

は100kV以上の高エネルギー電子ビームを薄片化した試料の観察領域全体に照射し、透過した電子で原子分解能の干渉像を形成する。ここでは最新のアプリケーション例を通して代表的装置の性能、機能を紹介する。

◇ SEM観察

多様なユーザーの要望に応じて、弊社では入門用の卓上SEMから超高分解能FE-SEM (Field Emission SEM) まで幅広い製品シリーズを揃えている。今回は、最新FE-SEM SU8200の概要と特徴的なアプリケーションを紹介する。図1 (c) に装置外観写真と検出系を示す。SU8200は電子銃に高性能の冷陰極FE電子源を搭載することで、電子ビームの加速電圧15kVにおける分解能0.8nm、1kVにおける分解能1.1nmを達成している。特に、試料直前で電子ビームを10Vまで減速可能なリターディング機能により、ダメージレス観察が可能である。(c-2) エネルギーフィルター機能によるチャージアップ抑制やSE (二次電子)/BSE (反射電子) 観察性能の拡張により、試料の凹凸、組成、結晶、電位情報を抽出し像コントラストとし

て画像形成することができる。その結果、各種先端材料の物理特性を多角的に解析することができる。

図2にリチウムイオン二次電池用正極電極の観察例を示す³⁾。(a) (b) は共に加速電圧1kVのBSE像であり、(a) はエネルギーフィルター機能未使用、(b) はエネルギーフィルター機能を使用して取得した画像である。(b) の画像はエネルギーフィルターが機能しエネルギー損失の少ないBSE (Low Loss BSE) を検出したことで、活物質表面 (明コントラスト) 上に介在する樹脂成分 (暗コントラスト) が高コントラストで確認できている。

◇ TEM観察

自動車用燃料電池として研究開発が進められている固体高分子形燃料電池では、電極触媒の構造変化による劣化過程の解明が実用化に向けた重要な課題である。分析機能を有した高分解能環境TEMは材料の合成メカニズム、合成プロセスにおける微細構造と組成変化および実環境での材料劣化機構の解明に活用されている。

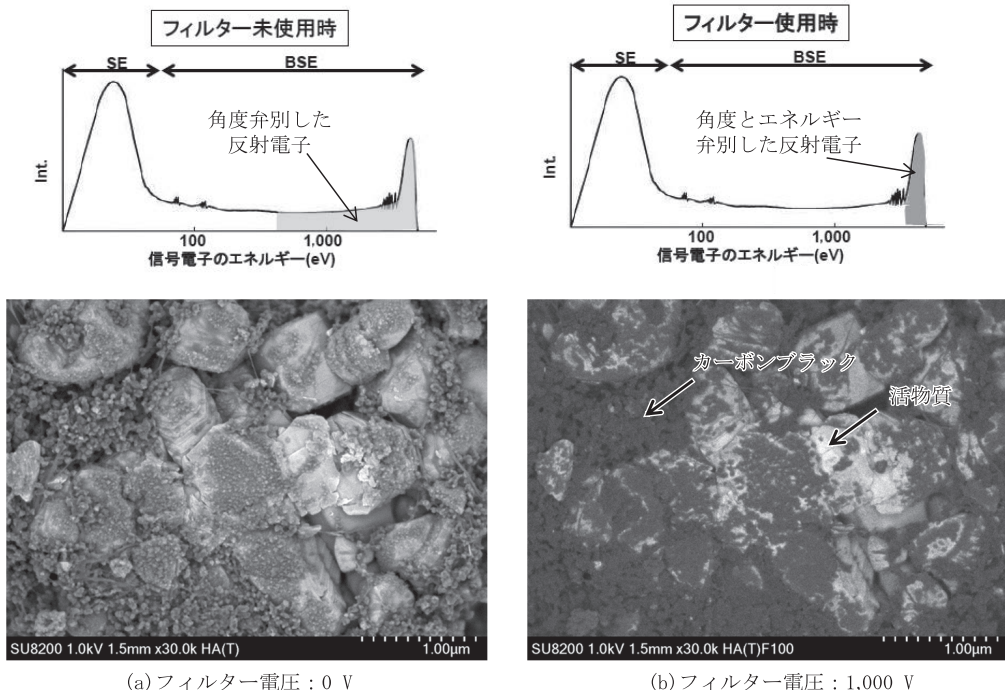


図 2 リチウムイオン電池正極材観察におけるフィルター効果

図3はPt/CB燃料電池の触媒劣化を観察した例である。観察にはHF-3300 Cold-FE *in situ* TEM⁴⁾とガス導入機構付き試料加熱ホルダー⁵⁾を用いた。加速電圧300kVで高S/NなTVレートSEM像観察、鏡体差動排気の強化による約10Paまでのガス雰囲気での観察が可能である。

試料温度200℃で空気導入前後（試料近傍圧力10Pa）での同一視野の変化を、同時SEM/STEM観察した。空気導入前（左）は、カーボン担体表面上にPt粒子が均一分散している。空気導入すると担体表面で粒子が移動し始め、粒子の凝集、粗大化、担体内部への侵入が観察された。約30分後

（右）には、担体の外形は保持されているが、殆どの粒子が担体内部へ侵入した結果、表面形状がポーラスに変化した。本結果は、Pt粒子が担体表面を侵食しながら内部に移動し、表面の触媒機能を劣化させることを示唆している。

◇ FIB-SEM三次元観察

高分子やハイブリッドナノ材料には熱ダメージで構造変化するものが多く、TEM/STEM観察や試料作製の際に、試料を冷却することの重要性が高まっている。弊社は、冷却と雰囲気遮断機能を備え、FIBとTEMに共用可能な雰囲気遮断クライオトランスファーホルダーを開発した⁶⁾。急速凍結により前処理した市販のリキッドファンデーションを-100℃以下に保ったまま乳液成分の三次分布をFIB-SEMで三次元観察した。FIB-SEM (NB5000)へ固定後、FIB加工とSEM観察を繰り返し、連続断面BSE像を取得した。

図4 (a) は、FIB加工した断面のBSE像である。氷晶形成によるボイドの発生や試料変形は認められない。(b) は、取得した連続断面BSE像から三次元再構築した結果である。試料加工や観察中における試料変形、熱ドリフトによる視野ずれが無く、カーボン粒子周囲の酸化チタンや酸化鉄の分布を明瞭に観察できた。

むすび

電子顕微鏡は1931年にE. Ruskaらによる発明以来、分解能の向上、分析機能の多様化・高感度化の結果、ナノテクノロジー産業に不可欠の観察・

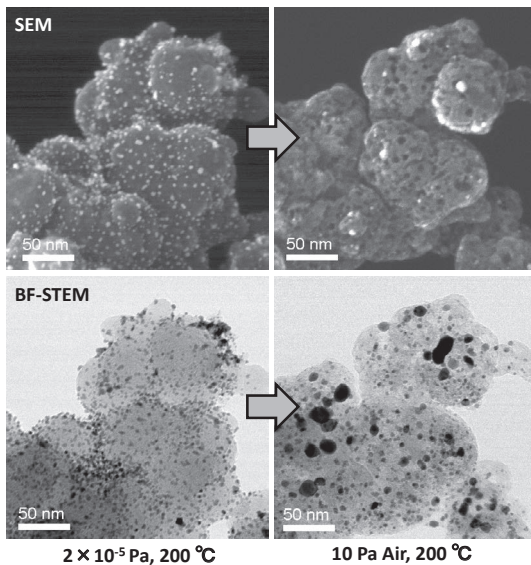


図 3 燃料電池における空気導入前後のPt/C触媒の構造変化

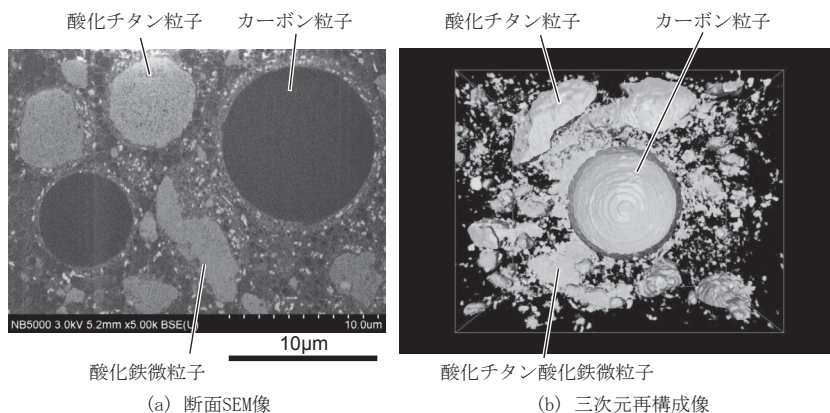


図 4 リキッドファンデーションの断面SEM像と三次元再構成像

分析装置となっている。現在、初心者でも使いやすい人間中心設計のSEMから一原子を識別可能な収差補正TEMまで幅広い製品シリーズを揃えている。今後、ナノ秒の時間分解能で時間変化を観察可能なダイナミックTEMが観察・分析を四次元に拡張するものと期待される。

参考文献

- 1) 日本表面科学会：ナノテクノロジーのための走査電子顕微鏡 (2004)
- 2) 日本表面科学会：透過型電子顕微鏡 (1999)
- 3) 竹内秀一：最新FE-SEMの像コントラストと材料解析、日本顕微鏡学会第69回学術講演会 (2013)
- 4) Yaguchi T. et al.: Journal of Electron Microscopy, 60 (3), 217-225 (2011)
- 5) Kamino T. et al.: Journal of Electron Microscopy, 54 (6), 497-503 (2005)
- 6) 土屋美樹：新開発クライオトランスファーホルダーとFIB-SEMによる含水試料の三次元観察、日本顕微鏡学会第69回学術講演会 (2013)



2. 球面収差補正STEMを用いた界面および表面の極微小領域解析技術

(株)コベルコ科研 エレクトロニクス事業部 もろなが たく 諸永 拓
 (株)コベルコ科研 エレクトロニクス事業部 やぶき かずひさ 矢吹 和久
 (株)コベルコ科研 エレクトロニクス事業部 やまもと きよし 山元 清史

まえがき

モノづくりにおいて、ベースとなる材料の特性向上は必要不可欠なものと言える。材料の性能に対する要求はますます厳しくなっており、その性能を実現するためにナノオーダーもしくは原子オーダーで材料の構造、組成および組織を制御する研究が進められている。また、材料開発の発展に伴い、それらを評価する観察および分析技術の高度化の必要性も高まっている。ナノオーダーでの分析が可能な手法には、走査プローブ顕微鏡 (SPM)、オージェ電子分光法 (AES)、3次元アトムプローブ (3DAP)、透過型電子顕微鏡 (TEM) 等がある。それらは対象材料や目的に応じて選択されるが、透過型電子顕微鏡 (TEM) は高い空間分解能を有し、電子回折、エネルギー分散型X線分光法 (EDX) および電子エネルギー損失分光法 (EELS) を組み合わせることにより、ナノオーダーの特定箇所の評価ができるという特徴がある。更に近年では、磁場レンズに発生する球面収差を補正する装置が開発され、照射系レンズに補正機構を装備した走査透過型電子顕微鏡 (STEM) では、0.1nm以下に収束した電子プローブを用い、極薄膜界面、微細析出物、結晶粒界

などを原子オーダーで観察・分析することも可能となっている。

本稿では、まず球面収差補正による高空間分解能解析の原理を説明し、界面および表面の極微小領域の解析事例を紹介する。

◇ 球面収差補正走査透過型電子顕微鏡 (Cs-STEM) による高分解能解析の原理

走査透過型電子顕微鏡法は、1nm以下の電子プローブを試料上で走査させ、各点から透過した電子強度を二次元像として結像する方法であり、高い分解能で観察および分析を実現する手法として広く活用されている (図1 (a))。特に高角度環状暗視野 (HAADF) 像は、試料中で高角度に散乱した電子を検出器に取り込むことで、原子番号に依存したコントラスト (Zコントラスト) が得られることから、母相中の析出物や界面不純物の分布などの評価に有効である。

しかしながら、電子顕微鏡に用いられている磁

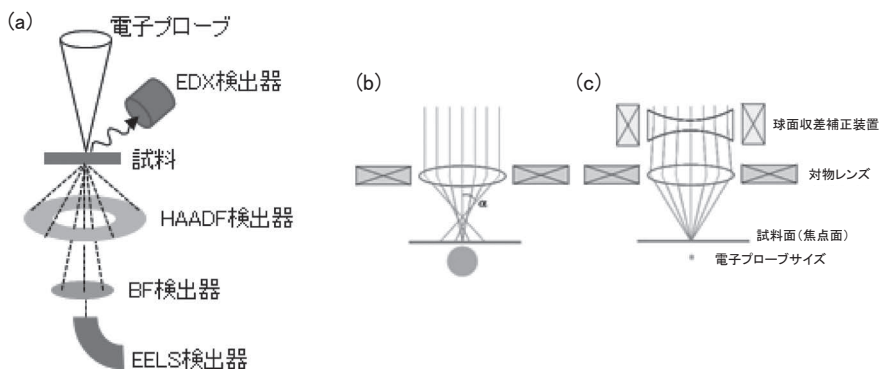


図 1 球面収差補正STEMの原理図
 (a) STEM模式図、(b) 球面収差補正なし、(c) 球面収差補正あり

場レンズには様々な収差（ボケ）があり、空間分解能を制限している。中でも最も問題となるのが球面収差である。これまで電子線入射軸に対して回転対称である磁場レンズは基本的に凸レンズ作用しか得られなかったため、光学顕微鏡のように凹レンズとの組み合わせで収差を補正することが出来なかった。以前から提案されていた凹レンズ作用を発現させる多極子レンズによる球面収差補正理論¹⁾がCEOS社のHaiderらによって近年実用化され²⁾、加速電圧200kVで0.1nm以下の点収束を達成した。図1 (b) および (c) に照射系レンズの球面収差を補正する原理を示す。通常、レンズの外側を通った電子線はより大きく屈折されるため、試料面上で一点に収束せず像のボケの原因となっていた (図1 (b))。これに対して、球面収差補正機能を導入することで凹レンズ作用により屈折量の差を打ち消し、より一点に収束する電子プローブを形成することが可能となった (図1 (c))。また、球面収差を補正することでレンズ中心から離れた高角度の電子も観察および分析に用いることが可能となり、理論上電流量が10倍程度大きいプローブが形成される。この微小かつ大電流量の電子プローブをEDXやEELS分析と組み合わせることによって、高分解能、高感度で組成分析や電子状態解析を行うことが可能となる。

◇ 解析事例

1. スチールコードにおけるフェライト／セメンタイト界面の構造解析

Cs-STEMの特徴を活かした解析事例として、スチールコードのフェライト／セメンタイト界面の構造解析結果を示す。現在の技術において量産可能な鉄鋼材料の中で最も強度の高いものはフェライト／セメンタイト共析（パーライト）鋼を伸線加工により強化したスチールコードである。スチールコードは橋梁用、ワイヤーロープ、タイヤなど我々が生活する上で高い安全性が求められる分野において広範囲に使われている。従って、スチールコードに求められる特性として第一に強度が挙げられる。強度を向上させるには、上述したように伸線加工による強化が最も容易であるが、この強化法には致命的な欠点がある。一般的にスチールコードは単線として用いるのではなく、複

数のスチールコードをより線として用いられる。より線加工する際に伸線加工度が大きいコードを用いると、伸線中の歪み時効が原因となり縦割れと呼ばれる脆性破壊を引き起こしてしまう³⁾。安全性を考える上で事故に繋がりを脆性破壊は避けるべきであり、スチールコードの到達強度の限界はより線加工が可能な範囲に限られてしまう。そのため、脆性破壊の原因となる歪み時効のメカニズムを解明することは高強度化を目指す上で重要な課題である。歪み時効はフェライト内の固溶Cによる転位の固着強化が主要因であり、フェライトへのCの享受は当然、セメンタイトから行われると考えられる。そこで、セメンタイトからフェライトへのC享受のプロセスを明らかにすることを目的として、強加工したスチールコードのフェライト／セメンタイト界面に着目し構造解析を実施した。

図2にスチールコード中のフェライト／セメンタイト界面のSTEM-HAADF像を示す。観察の対象としたスチールコードはFe-0.90%C-0.2%Si-0.5%Mn (wt.%)であり、伸線加工度は真歪みで4.1である。図中、右上から左下の点線がフェライト／セメンタイト界面に対応し、点線の下がフェライト、上がセメンタイトである。フェライト内では白色の粒が明瞭に確認でき、原子が規則的に配列していることが確認できる。一方、セメンタイト内部では界面に対して垂直方向に薄い縞模様が確認できる。しかしながら、これらのコントラストはフェライト／セメンタイト界面から0.5nm以内の範囲では非常に不明瞭となっている。このことはフェライト／セメンタイト界面では構

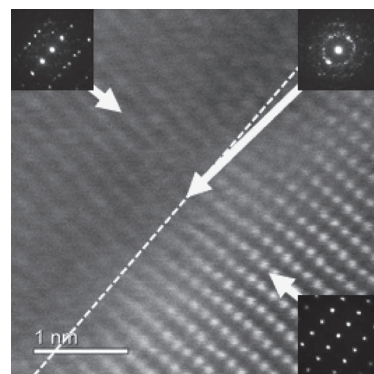


図 2 フェライト／セメンタイト界面のSTEM-HAADF像

造が不規則で複雑となっている可能性を示唆している。また図中、右上に示した電子回折図形では、スポットがストリークを引きリング状となっていることから、界面近傍では結晶構造が破壊もしくは超微細化されていると考えられる。過去の研究においても、強加工に伴うセメンタイトの分解は報告されており⁴⁾、フェライト/セメンタイト界面に歪みが局在化し結晶が破壊され（セメンタイトの分解）、分解されたCがフェライト内に拡散することにより、歪み時効を引き起こしていると考えられる³⁾。

2. 高感度EDXによるステンレス鋼の粒界分析

続いて、ステンレス鋼の粒界におけるEDX分析事例を示す。SUS304に代表されるステンレス鋼は、合金中に含まれるCrを主成分とした不動態皮膜を表面に形成することにより優れた耐食性を示す。しかしながら、合金組成や熱処理条件が不適切な場合、粒界上にCr析出物が形成、その近傍でCr濃度の低下が起こり“鋭敏化”と呼ばれる耐食性の劣化現象が生じる。この鋭敏化は応力腐食割れを引き起こし、最悪の場合、材料が破壊される⁵⁾。材料の破壊は重大な事故を引き起こす可能性があるため、鋭敏化の程度を定量的に評価することは非常に重要である。今回は市販のSUS304を用い、大気炉にて980℃-1.5hの熱処理後、水冷したものを溶体化材、更に680℃-1.5hの熱処理を行ったものを熱処理材とし、EDX-mappingにて、鋭敏化の評価を行った。

図3に溶体化材 (a) および熱処理材 (b) のSTEM-BF (明視野) 像およびEDX-mapping像をそれぞれ示す。両試料ともに粒界析出によりマトリックスのCr濃度が低下していることを明瞭に可視化できている。溶体化材においても、析出物近傍に10nm程度の範囲に渡って、Cr濃度が周囲より低い領域が存在していることが確認できる。十字の位置にてスペクトルを抽出し半定量分析を行った結果、マトリックスのCr濃度が18.5wt.%であるのに対し、Cr濃度の低い領域は15.6wt.%であった。応力腐食割れを引き起こす局部腐食は一般的にCr濃度が13wt.%以下になったときに起こることが知られており、溶体化材では析出物によりCr濃度が低い領域が存在するものの局部腐食が起こる可能性は低いと判断できる。一方、(b) に示した熱処理材においては粒界から数十nmに渡ってCr濃度の低い領域が存在していることが明瞭に確認できる。また粒界のCrとC濃化領域は一致しており、析出物がCr炭化物であることは明らかである。析出物近傍のマトリックスのCr濃度は11.4wt.%であり、この状態では応力腐食割れが起こる可能性が高いことが示唆される。

3. 原子分解能EELSによる二次電池最表面の解析

最後にLiイオン二次電池の正極活物質最表面のEELS分析事例を示す。Liイオン二次電池の反応は正極および負極間でのリチウムイオンの移動および電荷の授受というシンプルなものであるため、多様な構成での利用が可能である。製造技術の確立、小型化によって1980年代から携帯電話やノートパソコン等携帯用IT機器の利便性向上のため用いられていたが、さらに安全性、生産性の

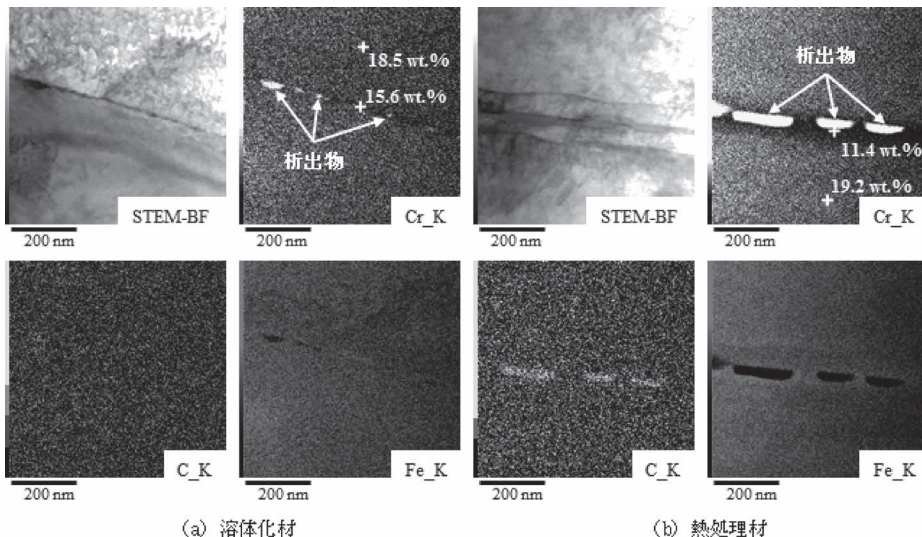


図 3 ステンレスのEDXマッピング像

更なる向上が図られ、近年では自動車などの輸送機分野での動力源として実用化されている。しかしながら、Liイオン二次電池はその技術が確立されてまだ日が浅く、今でも精力的に研究が進められている。中でも、Liイオン二次電池の特性およびサイクル寿命に大きく影響を及ぼす劣化現象を正確に把握することは重要である。そこで充放電サイクル試験後の正極活物質の最表面状態をEELS分析により調査した。

図4 (a) に正極活物質最表面のSTEM-HAADF像を示す。Cs-STEMを用いた観察により正極活物質内におよそ0.5nmの間隔で白色の原子配列が明瞭に確認される。今回調査した正極活物質はLi (Mn_{1/3}, Co_{1/3}, Ni_{1/3}) O₂で層状岩塩型の結晶構造を有し、白い原子配列は正極活物質のMn, Co, Niの元素が存在する位置に対応し、その間がLiサイトであることが分かる。一方、点線で囲んだように最表面から2nm以下の領域では、本来Liサイトである箇所に1原子面、白い原子列が存在している様子が明瞭に確認される。これは最表面のLiサイトにMn, Co, Niのいずれかの元素が置換している可能性が高いことを意味している。続いて、図4 (b) にLiサイト上でEELS分析を行った結果を示す。図4 (b) のグラフは縦軸がCount (計測数) となっており、最表面側に近づくほど、MnおよびNiのCountは明らかに増加している。つまりMnおよびNiがLiと置換していることが確認できる。従って、この元素置換により最表面におけるLiイオンの移動が阻害され正極活物質の劣化現象

象が起これると考えられる。また最表面の構造解析を行った結果、この元素置換に伴い正極活物質の結晶構造が層状岩塩構造から立方晶へと変化していることも確認された。

むすび

本稿では球面収差補正走査透過型電子顕微鏡 (Cs-STEM) を用いた解析、評価技術について、3つの事例を挙げ紹介した。いずれの解析、評価技術もナノメートル、原子オーダーレベルでの局所領域の構造、組成等の僅かな変化を捉えたものであり、これらの技術は薄膜界面、結晶粒界および表面解析において非常に有効であると言える。一方で大電流量のプローブを一点に収束させることから、試料に与えるダメージが大きいといった課題も残されている。また本技術は非常に極微小の局所的な情報に限られてしまうため、走査型電子顕微鏡 (SEM)、X線回折 (XRD)、X線光電子分光 (XPS) などマクロ的、平均的な情報と補完し、原子オーダーでのモデル構築や現象把握をすることで、本来の威力を発揮できるものである。

参考文献

- 1) Scherzer, O., Optik (1947) 2: 114-132
- 2) Haider, M. et. al, Nature (1998) 392: 768-769
- 3) Tarui, T., Maruyama, N., Testu-to-Hagane (2004) 90 1031-1037
- 4) Languillaume, J., Kapelski, G., Baudelet, B., Acta. Mater (1997) 45 1201-1212
- 5) Uchida, H., Koterazawa, K., Takashimada, T., Zairyo (1986) 36 610-616

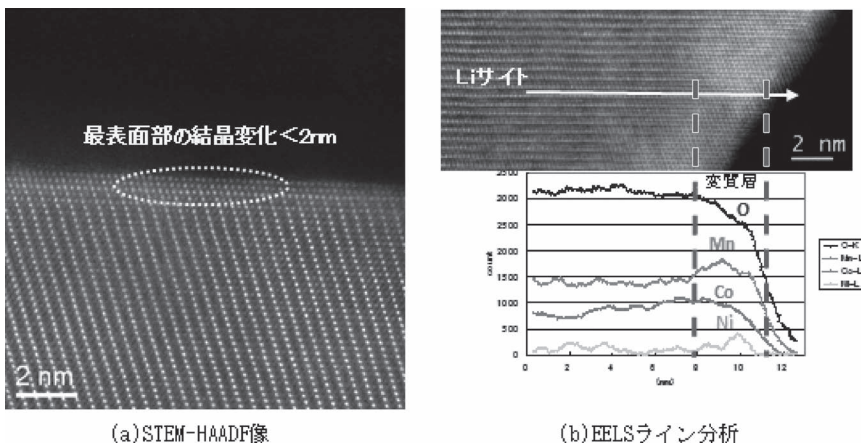


図4 Liイオン二次電池劣化部の解析
(a) STEM-HAADF像、(b) 原子分解能EELSライン分析

IV. 我が社のナノテクノロジー関連製品・技術

日本精線(株)

極細ステンレス鋼線の御紹介

まえがき

現在ステンレス鋼線へのニーズはますます多様化しつつあり、企業活動を行う上でグローバル化が必須になってきている。特に極細線の用途は自動車、ITという日本の産業界を牽引する分野にも広がりを見せており、高強度、高耐食性、高耐熱性を要求されるケースが増加している。

軟質用途では金網に加工され、耐熱性・耐化学薬品性を特長とする工業用フィルターに使用されていたが、近年では優れた寸法精度を達成するこ

とでスクリーン印刷用ファインメッシュの需要が急伸している。極細線はタッチパネルやチップコンデンサーといった主要部品の低コスト製造には欠かせない部材となっている。更に、耐切創用手袋やテキスタイルなどアパレル等の特殊な用途にも広がりを見せている。

硬質用途ではばねに加工されることが多く、高強度・高耐熱性・非磁性を特長とする半導体ウエハ検査用のコンタクトプローブや電気接点ばねの需要が多い。医療用では緻密制御を目的として、更に細く剛性のあるステンレス鋼線の開発、異型断面の要求が出てきている。同時に本用途では高い清浄度が求められており、素材一貫の厳密な品質管理が要求されている。今回はナノテクを支えるステンレス鋼線製品群を用途別に紹介する。

◇ 特徴

1. 軟質用途：極細線

鋼種：SUS304及びSUS316

仕様：一般タイプ及び高強度タイプ（高機能・高精細品）

表 極細ステンレス鋼線 仕様

鋼種	仕様	対応線径 (μm)	機械的特性【20 μm代表値】	
			引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
SUS304	一般タイプ	11以上	1,000	40
SUS316	高強度タイプ	11~50	2,500	5

2. 硬質用途：極細ばね用線

表 極細ばね用ステンレス鋼線 仕様

鋼種	特長	仕様	対応線径 (μm)	機械的特性【30μm代表値】	
				引張強さ (N/mm ²)	横弾性係数 (N/mm ²)
SUS304	一般タイプ	光沢仕上 Niめっき仕上	20以上	2,700	72,000
NAS301H	高強度、高剛性			3,000	82,000
NAS604PH	高耐熱、非磁性			2,800	80,000

◇ 今後の展望

高価な合金成分を含むステンレス鋼線は、各ユーザーにおいてコストパフォーマンスの高さが強く求められています。今後のステンレス鋼線の生産においてはコストダウンが達成できるような

効率的な製造方法を確立しつつ、付加価値の高い製品を開発しユーザーニーズに合った適切な鋼種を御提供させていただきます。

〔日本精線(株) あきづき たかゆき〕
顧客サービス部 秋月 孝之

当社の超微細粒製品

当社（特殊金属エクセル）は、ステンレス鋼、特殊鋼などの薄板を製造するリロールメーカーであり、厚さ10 μm ～2mm程度までの冷間圧延製品を自動車、精密機器、繊維機械などの各種機器部品用途に提供しています。そうした製品ラインナップの1つとして金属の結晶粒径を1 μm 程度以下にまで微細化した超微細粒製品があります。結晶粒微細化は強度、靱性、疲労特性などの向上が可能である事から、固溶強化、析出強化に替わる強化機構として近年広く研究が行われていますが、その製造には極めて高い加工度が必要であることから、バルク材を工業的に製造することは困難とされていました。当社では、加工誘起マルテンサイトから熱処理によって微細なオーステナイトを生成させる逆変態などの加工熱処理プロセスを積極的に利用することで、超微細粒鋼の薄帯板製品を工業的に製造することに成功¹⁾し、更に結晶粒の状態を制御することで様々な特性を得る事を可能にしました。

例えば、平均結晶粒径1.5 μm 程度の等軸再結晶粒組織となるように製造条件を制御すると良好な加工性能を得る事ができます。図1(a)は絞り成

形した加工品のR部を従来鋼と比較したのですが、超微細粒鋼では肌荒れが抑制され、加工割れの発生低減などの効果も期待出来ます。また、液体噴射用ノズルプレートなどの微小孔のプレス打抜きが必要な部品においては、孔の輪郭形状が安定化し、噴射性能の向上に繋がることも報告されています^{2), 3)}。その他、切削加工性においても優れた特性を有し、せん断応力のバラツキが減少し、切削状態が安定化することも報告されています⁴⁾。

一方、微細粒化した鋼帯に、さらに強圧延加工などを加えてより微細な加工組織となるように製造条件を制御すると、極めて高いばね特性を得る事が出来ます。図1(b)は、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS301）の超微細粒鋼と従来鋼のばね限界値（JIS H 3130モーメント式試験）を比較したのですが、従来鋼では強圧延加工を加えてもばね限界値は1,400MPa程度が限界であるのに対し、超微細粒鋼の強圧延仕上げ材では最大で1,800MPaを超える非常に優れたばね限界値を得る事が可能です。

ばね限界値は曲げ弾性限界の応力値を示すもので、ばね部品の許容応力を上げるために重要な指標です。優れたばね特性を持つ超微細粒鋼を使うことで、従来材では実現できなかったような小型・軽量でありながら強力なばね部品を製造する事も可能になります。

当社ではSUS304、301、316Lなどのオーステナイト系ステンレス鋼をはじめとして一部フェライト系ステンレス鋼（SUS430）、特殊鋼（SK-5）、普通鋼（SPCC）、純チタンなどの超微細粒鋼帯製造にも成功しています。

参考文献

- 1) 永山真一、寺田大将、辻伸泰：材料とプロセス、21（2008）、1651
- 2) 小松隆史、鳥塚史郎、村松榮次郎、永山真一、小林仁：平成21年度塑性加工春季講演会講演論文集（2009）、147
- 3) 小松隆史、鳥塚史郎、村松榮次郎、永山真一、小林仁：第60回塑性加工連合講演会講演論文集（2009）、327
- 4) 松村隆、吉野友章、小松隆史：日本機械学会生産加工・工作機械部門講演会講演論文集（2010）、117

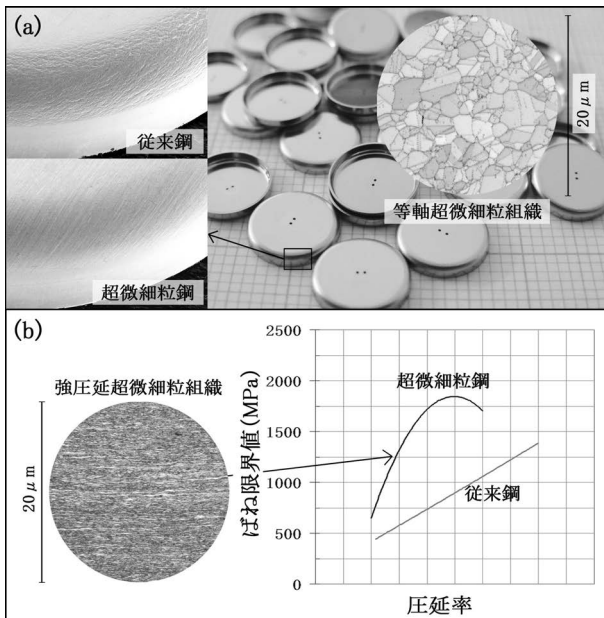


図 1 超微細粒鋼の特徴

〔株特殊金属エクセル ながやま しんいち 新機能材料研究開発本部 永山 真一〕

“特集” 編集後記

13年11月度のナノテクノロジーの編集小委員長に命じられましたが、この『ナノテクノロジー』の『ナノ』とは、10億分の1の単位で、過去に使った記憶もない単位で、編集小委員長に決まってから、書店に向かい、関連書籍を覗くと、自分の知らない間に世界が進化している事が分かりました。米国では2000年にナノテクノロジー国家戦略『NNI』を発表、日本でも2002年に文部科学省がナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンターを発足、EUでも同年、研究技術枠組み計画でナノテクを重点テーマに取り上げる等、国際競争が本格化していた。

鋼の世界でも材料に要求される特性は近年ますます厳しくなっており、ナノオーダー・原子オーダーでの組織制御の研究も進められている。従来より、結晶粒の微細化による材料の強度、靱性、疲労特性等の向上が図られ、固溶強化、析出強化されていたが、これらに変わる強化機構として、ナノテクノロジーが近年広く研究が進められている事が判った。

又、材料開発の発展に伴い、それに追従して、

これらを評価する分析技術の高度化の必要性も高まっている。その手法としては、走査プローブ顕微鏡 (SPM)、オージェ電子顕微鏡 (AES)、3次元アトムプローブ (3DAP)、透過型電子顕微鏡 (TEM) 等が挙げられる。

それらは、対象材料、目的に応じて選択されているが、透過型電子顕微鏡 (TEM) は、高い空間分析能を、電子解析、エネルギー分散型X線分光方 (EDX) 及び電子エネルギー損失分光EELSを組合せることにより、ナノオーダーの特定箇所の評価ができるという特徴がある。

更に、近年では、磁場レンズに発生する球面収差を補正する装置が開発され、照射系レンズ補正機構を装備した走査透過型電子顕微鏡 (STEM) では0.1mm以下に収束した電子プローブを用い極薄膜面、微細析出物結晶粒界などを、原子オーダーで観察・分析することも可能となっている。

本号の内容が、読者の豆知識となり、皆様も10億分の1の世界もある事を認識頂ければ幸いです。

〔日新製鋼(株) ないとう やすし
商品開発部 内藤 靖〕

業界のうごき

愛鋼、新中期経営計画を策定 15年度、売上高250億円めざす

愛鋼は、2015年度を最終年度とする3か年の新中期経営計画を策定した。既存事業のさらなる拡大にとり組むほか、新規ユーザーや市場の開拓活動に注力することを通じて、15年度売上高250億円、経常利益5億円を目指す。

同社は引き続き国内を事業基盤と位置付け、棒鋼の切断加工、鍛造品機械加工といった基幹部門のさらなる機能強化に取り組む。鋼材加工では穴明けや引抜きを合理化を進める一方、ステンレス素材の活用法の深化・拡大を模索する。

既存業務の強化と同時に、今中計では自動車以外の新規事業開拓にも重きを置く。現在愛鋼では、すでに建設機械向け部材やステンレス製の誘導鉸などを手掛けているが、愛知製鋼が拡販するステンレス鉄筋「SUSCON（サスコン）」を用いた建築・構造物向けをはじめ、医療や食品関連も視野に販路拡大に努める。

（7月3日、産業新聞）

浅井グループ、国内外で事業拡大 インドネシア拠点、8月稼働

浅井産業は、国内外でグループ会社の事業拡大を図る。インドネシア現地法人「PT・アサイ・インドネシア」が鋼材保管能力約1万トンの倉庫を7月末に完成させ、8月下旬から営業活動を本格的に始めるのに続き、鋳物製品の機械加工・販売を行う浅井ショーワ（福島県白河市）が2014年10月完成予定で機械加工設備などを増強する。本社でヒモ付き営業に加えて技術営業を強化しつつ、海外営業拠点の拡充策を進め、国内グループ会社の加工事業展開も強める。

インドネシア現法はジャバベカ工業団地内の敷地約1万平方メートルに約5,500平方メートルの倉庫を開設

する。事務所も倉庫隣に移転し、物流機能を備えた営業活動を本格化する。中長期の市場拡大を視野に、先行投資として約5億円を投じて物流拠点を開設するもので、顧客ニーズに即して在庫体制を整えていく。

（7月4日、鉄鋼新聞）

上海UEX、業績好調 車部品向け鋼管受注が倍増

UEXの中国現地法人、上海UEXの業績が好調だ。1997年の設立当初から魔法瓶の受託加工を中心に事業展開してきたが、近年は鋼管加工のノウハウを生かし自動車部品向け鋼管を製造。主に日系向けに受注量が拡大、前年同期から倍増した。同グループ会社で、有圧換気扇ウェザーカバーのOEM生産を担う大崎製造所とともに、今期のセグメント別営業利益目標を9,500万円に設定。4～6月期で2,500万円を計上し、4～9月期の3,800万円の見通し達成が間近に迫っている。

上海UEXは上海市奉賢区星火開発区にあり、97年7月1日に設立した。主要設備はロール式薄肉専用のTIG造管機、シュー式薄肉専用のTIG造管機、ロール式小径専用のTIG造管機、ロール式大径専用のTIG造管機などを擁し、半自動薄肉管切断機は4基ある。製造能力は年間1,000トン。

（8月12日、産業新聞）

ウメトク、大阪熱処理センターに 自家発電設備を導入

ウメトクは、大阪地区の加工拠点でエネルギー対策を強化する。4月に大阪特殊鋼センター（大阪府摂津市）に太陽光発電設備を設置したほか、今月末をめどに大阪熱処理センター（摂津市）にガス燃料の自家発電装置を導入。夏季の電力供給問題への対応策で、計画停電など非常時に、電力が確実に確保できる体制を構築する。

当初は、大阪熱処理センターが非常時となった場合、名古屋熱処理センター（名古屋市）との連携で対処する体制を想定していたが、自動車関連向けなどの需要堅調で、名古屋熱処理センターの稼働率が当面高水準で推移することが予想されることなどから、自家発電設備導入を決めた。

導入する自家発電装置は、出力400キロワットの設備2基で、投資額は約3億円。稼働することで、同センターの7～8割の電力がカバーできるとしている。

（7月5日、産業新聞）

三興鋼材、相模原に6kWレーザ 9月稼働、ニーズ対応迅速化

三興鋼材は、主力工場である相模原加工センター（神奈川県相模原市中央区）に6kWレーザ切断機を新設し、9月の稼働を目指す。現在、相模原には4kWおよび6kWの同機があるが、増えるレーザ切断需要に迅速に対応するため導入することを決めた。

相模原加工センターに新設する6kWレーザ切断機は、アマダ製の「LC-3015F1NT」。3軸リニアドライブで最大加工範囲は3,070ミリ×1,550ミリ×100ミリ。最大加工速度は毎分60メートル。板厚は25ミリまで通常切断できる。8月中旬に設置を完了させ、9月の稼働完了を目指す。

相模原では昨年、製品置き場を中央に配置するなど、工場内のレイアウトを大幅刷新。生産性と現場作業効率のアップを図ってきた。他の加工設備を含め生産性が向上したことで即納体制をさらに強化し、新規受注に結び付けたい考え。

（8月7日、産業新聞）

清水鋼鐵、東京鉄鋼 高強度鉄筋で技術提携

清水鋼鐵と東京鉄鋼は、清水鋼鐵の苫小牧製鋼所（北海道苫小牧市）における高強度鉄筋の生産体制を確立するため技術提携し、SD490規格

業界のうごき

の特殊仕様について年度内の生産をめざすと発表した。北海道地区での鉄筋コンクリート（RC）構造建築の需要開拓を目的とし、今後は同所で東京鉄鋼のネジ節鉄筋「ネジテッコン」のOEM生産についても検討する。

提携の具体的な進め方は技術提携委員会で検討していくが、まずは高強度鋼種であるSD490の特殊仕様について生産技術の確立に取り組む。

苫小牧製鋼所はSD490のJIS認定証を取得済みだが、JIS規格は強度などの許容範囲が広く、ゼネコンや施主、設計事務所などにはその範囲内の明確な強度など特殊な仕様の製品に対するニーズがある。そうした特殊仕様の生産技術を有する東京鉄鋼との提携により、北海道地区での特殊仕様のSD490の生産体制確立を図る。（7月19日、鉄鋼新聞）

大和特殊鋼 レーザー切断機を新設

大和特殊鋼は、春日工場（兵庫県丹波市）に出力5kWのファイバークラスレーザー切断機を1基設置した。6ミリ厚以下の薄鋼板を中心に切断し、能力不足を解消する。

今回春日工場に導入したのはトルンプ製TruLaser5040Fiber。従来のレーザー切断機は、レーザー光線をミラーにより伝送するが、ファイバークラスレーザー切断機は、ファイバークラスにより伝送するためミラーが不要。これによりメンテナンス作業の改善、長時間安定した切断による作業効率の向上などの利点がある。また消費電力量が従来の半分の省電力設計で、切断スピードは6ミリ厚以下では従来の2～6倍と高速化している。

切断可能範囲は2千ミリ×4千ミリ。厚みは20ミリまで可能だが、同社では設備の構成や能力を考慮し、6ミリ厚以下を中心に切断する。

今後は機械メーカーと協力・連携

し、チタンやステンレス厚板の切断に向け品質向上を図っていく。

（8月12日、鉄鋼新聞）

南海鋼材、上海の金型製造合弁 7月下旬正式に設立

南海鋼材が中国・上海市で設立準備を進めている熱間鍛造用金型製造の合弁会社「南鋼岡谷模具（上海）有限公司」が7月下旬に正式に設立となる見通し。6月中旬に環境許可を取得し、7月下旬に工商登記が終了する予定で、9月をめどに本格操業を開始する。

新会社は南海鋼材と岡谷鋼機、金型製造のウツノモールド（愛知県みよし市）の製造子会社である上海宇津野汽車模具有限公司との合弁で、資本金が約1億4,000万円、南海鋼材が50%、岡谷鋼機が43%、上海宇津野汽車模具が7%それぞれ出資。当初は5月の生産開始を予定していたが、現地許認可関連の手続きに時間がかかったため、開始スケジュールが若干先送りとなったもの。

工場は上海近郊の建屋（約730平方メートル）を利用、現在内装工事中。7月をめどにマシニングセンター2台、NS旋盤3台、型掘り高速加工機などを日本から調達、設置する。（6月27日、産業新聞）

林田特殊鋼材、 長尺旋盤加工機を増設

林田特殊鋼材は、長尺旋盤加工の高精度化、効率化を図るため、CNC旋盤加工機（長尺、太径、Y軸付）を1基増設した。

同社は旋削加工に関しては、2002年に本社工場にNC旋盤を設置し自社化。05年には貝塚工場を開設し能力を増強した。長尺ものの加工は特別なノウハウが必要なため、大阪府松原市にある専属の外注先に委託しており、今回設置する設備は7機目となる。

今回導入したのは、森精機製のNL3000Y。長さ3千ミリまでの素材を加工できる。自動振れ止め装置が付いているため長尺ものでも安定した加工ができる。またミーリング機能があるため面加工や溝加工といったフライス加工や穴明けも同時に行える。これにより加工の精度が高まるほか、旋盤加工からフライス加工への段取り替えの必要がなく作業効率率が向上し、ユーザーの短納期要望に対応できる。（7月18日、鉄鋼新聞）

愛知、製鋼スラグ活用に新分野 ショット材の量産化技術確立

愛知製鋼は、製鋼スラグをショット加工用の高強度研削材として量産化する技術を確認した。利用促進と高付加価値などが課題の製鋼スラグだが、今回、スラグ改質技術、均質な条件での量産化技術を確認、知多工場内に生産設備を新設した。今秋から橋梁、塗装、造船などの分野に本格販売する。加工時の粉塵がほとんど無く、使用量も従来品比で半分に削減できる。同社ではショット加工用で年間5万トン以上の国内需要があるとみており普及を図る。

最近では公共工事の縮減が続いて路盤材などの需要が減少していたこともあり、新たな利用方法や付加価値向上策が求められていた。こうした中、同社は環境負荷低減にもつながるとして製鋼スラグを用いた研削材（ショット加工材）を2007年に開発。これまで手動設備で月間10トン程度を製造・販売。同時に量産化に向けての技術開発を進めていた。

（8月7日、鉄鋼新聞）

神戸、新鍛造法を開発 船舶用クランクシャフト

神戸製鋼所は、船舶用ディーゼルエンジン向け組立型クランクシャフトの製造において、型入れ鍛造法に

業界のうごき

よる製造技術を開発したと発表した。製鋼からの一貫鍛鋼メーカーとしての特徴を生かし、鋼の低硫黄化との組み合わせにより、疲労強度を従来の折り曲げ鍛造法に比較して20%以上向上できる。このほど、5万トンバルカー（バラ積み船）など大型船舶向けの技術を確認し、製造を開始した。

同社高砂製作所では年間約300本の組立型クランクシャフトを生産しているが、このうち新工法では約9割がカバーできるとしている。エコシップへのニーズの高まりと円高修正環境などから、国内造船業界の需要も回復傾向で、13、14年度はほぼ同水準での推移が見込まれている。同社では、コンテナ船などさらにボア径の長い製品に対応する技術開発を進め、一層の需要獲得を目指す。

（8月5日、産業新聞）

山陽、窒化粉末ハイスを開発 耐摩耗性、4倍以上

山陽特殊製鋼は、金型、打抜きパンチ材、スリッター刃など向けに、従来の汎用粉末ハイス（高速度鋼）に比べて4倍以上の耐摩耗性と、耐焼付き性などに優れた窒化粉末ハイス（商品名・SPM X4N）を開発、金型メーカーや打抜きパンチメーカーなどに販売開始したと発表した。

粉末ハイスは、粉末状の金属を成形して焼結する粉末冶金法で製造され、組織が微細均一で機械特性に優れているなどの特長がある。山陽特殊製鋼では、金属粉末の鋼中に窒素を高濃度で含有させることに成功。従来の表面窒化処理を解消するとともに、鋼中炭化物の一部を炭窒化物に変えることで耐欠け性に寄与する靱性も改善した。

同社では、窒化粉末ハイスを丸棒・平角鋼・鋼管などに高温成形して需要家に販売しており、亜鉛鉄板打抜きパンチでの使用実績では85万回の

打抜きでも刃先の摩耗・欠けがなく継続使用できた。（7月23日、鉄鋼新聞）

大同、新真空浸炭炉を開発 加工工程の中間在庫削減

大同特殊鋼は加工工程前後の中間在庫を減らし、クリーンで作業スキルも不要な真空浸炭炉「シンクロサーモ」を開発、販売を開始したと発表した。従来のバッチ処理を10分の1程度にスリム化（1バッチにつき重量で最大50キログラム）することが可能になり「必要な時に必要なだけ」熱処理するオンデマンド化が実現する。

「モジュールサーモ」などの真空浸炭炉は、周囲への放熱がなく爆発リスクが解消されたため、前後の加工工程と同じ建屋内に連動して生産ラインを構築することが可能。今回、その特徴を生かし、ドイツALD社が開発した基本技術をベースに大同特殊鋼が日本市場向けにカスタマイズし設計・製造するのが「シンクロサーモ」。1バッチを大幅にスリム化。これにより在庫削減につながるほか高速での昇温・冷却、歪みばらつき低減、トレーサビリティ向上などにつながる。（6月26日、鉄鋼新聞）

日本金属・タイ、加工品事業を 拡大へ

日本金属が、タイのアユタヤ県ロジャナ工業団地に建設していた加工品の新工場が完成し、本格稼働に入った。近隣のビッグランド工場を拡張・移転したもので、タイでの加工品売上高を「2年後に3倍増の年6億円」に引き上げる計画だ。

新工場は「日本金属タイランド」のステンレスコイルセンターの敷地内に建設した。新工場の建屋は1,600平方メートルでビッグランド工場からフォーミングラインと平鋼製造ラインを移設するとともに、外注会社からもフォーミングラインと組立加

工ラインを移設した。

加えて、板金加工用のタレットパンチ、プレスブレーキ、ポンチングプレスやパイプ及び異形断面用のベンディング機を新規に導入した。2年後には自動車部品の製造にも着手する計画で、これによりタイでの加工品売上高を年6億円に引き上げる。またタイ国内にとどまらずベトナム、マレーシアなど近隣諸国への拡販活動も展開する。

（7月16日、鉄鋼新聞）

日立、CVT用ベルト材を増産 大型専用設備を導入

日立金属は、安来工場に日本最大の20トンVIM（真空誘導溶解炉）を導入するとともに、安来工場内の新建屋に特殊一次・二次溶解設備を集約する。総投資額は約70億円で、14年度内に完成、15年度から新体制で本格稼働を開始する。CVT（自動車無段変速機）用ベルト材など環境親和製品の増産対応や生産性向上が狙い。経済産業省の「円高・エネルギー制約対策のための先端設備等投資促進事業費補助金」事業にも採択された。

新設の20トンVIMは高級金属材料用では世界最大級。VAR（真空アーク再溶解炉）を付帯し、日立金属が開発した独自機能も盛り込む。量産対応は新VIMで集中的に行い、既存の6トンVIMは開発品など小ロット対応での活用を検討する。

安来工場は60トン電炉など大気溶解設備とは別にVIM、VAR、ESR（エレクトロスラグ再溶解炉）などの特殊溶解設備を持つ。

（8月2日、鉄鋼新聞）

おこわり：この欄の記事は、最近月における業界のおよその動向を読者に知らせる目的をもって、本誌編集部において鉄鋼新聞ほか主要な業界紙の記事を抜粋して収録したものです。

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						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		
'11 曆年	249,273	4,616,659	4,039,110	8,655,769	427,775	1,117,301	2,931,487	744,318	5,380,181	833,755	11,434,817	20,339,859
'12 曆年	226,595	4,583,118	3,934,190	8,517,308	425,252	976,986	2,822,820	701,970	5,607,620	617,671	11,152,319	19,896,222
'11 年度	242,207	4,668,645	4,110,473	8,779,118	434,274	1,127,858	2,863,668	727,115	5,354,573	772,025	11,279,513	20,300,838
'12 年度	227,588	4,388,544	3,747,493	8,136,037	417,525	883,781	2,807,953	691,323	5,636,639	597,540	11,034,761	19,398,386
'12. 7-9月	57,969	1,167,822	938,881	2,106,703	106,942	232,774	718,522	172,578	1,441,344	162,684	2,834,844	4,999,516
10-12月	54,761	1,004,152	854,589	1,858,741	92,500	182,929	669,248	155,712	1,261,456	130,379	2,492,224	4,405,726
'13. 1-3月	57,163	1,041,978	890,714	1,932,692	104,152	190,767	688,637	177,241	1,415,063	138,824	2,714,684	4,704,539
4-6月	59,894	1,145,358	1,001,270	2,146,628	108,989	247,525	712,123	175,689	1,436,463	164,835	2,845,604	5,052,126
'12年 6月	19,809	397,660	333,535	731,195	36,073	92,707	248,087	64,210	462,163	63,097	966,337	1,717,341
7月	20,574	397,141	344,017	741,158	35,376	80,305	240,756	58,894	517,173	53,393	985,897	1,747,629
8月	18,275	380,864	301,001	681,865	34,157	76,436	240,770	55,776	501,035	57,184	965,358	1,665,498
9月	19,120	389,817	293,863	683,680	37,409	76,033	236,996	57,908	423,136	52,107	883,589	1,586,389
10月	19,832	361,308	315,741	677,049	31,327	67,458	239,862	49,775	465,053	53,095	906,570	1,603,451
11月	17,667	334,916	284,204	619,120	28,658	60,562	214,081	52,137	352,196	37,324	744,958	1,381,745
12月	17,262	307,928	254,644	562,572	32,515	54,909	215,305	53,800	444,207	39,960	840,696	1,420,530
'13年 1月	18,139	316,343	267,859	584,202	31,323	54,044	226,709	50,527	497,890	39,523	900,016	1,502,357
2月	18,576	347,411	294,351	641,762	30,607	61,490	222,942	58,694	403,673	40,744	818,150	1,478,488
3月	20,448	378,224	328,504	706,728	42,222	75,233	238,986	68,020	513,500	58,557	996,518	1,723,694
4月	16,847	374,318	334,482	708,800	36,254	79,075	230,342	55,759	449,770	47,966	899,166	1,624,813
5月	21,135	389,736	334,899	724,635	33,338	84,561	231,995	61,951	498,804	63,067	973,716	1,719,486
6月	21,912	381,304	331,889	713,193	39,397	83,889	249,786	57,979	487,869	53,802	972,722	1,707,827
7月	22,455	404,139	328,704	732,843	40,520	85,406	239,450	55,251	500,100	59,458	980,185	1,735,483
前月比	102.5	106.0	99.0	102.8	102.9	101.8	95.9	95.3	102.5	110.5	100.8	101.6
前年同月比	109.1	101.8	95.5	98.9	114.5	106.4	99.5	93.8	96.7	111.4	99.4	99.3

経済産業省調査統計部調べ

形状別

(単位：t)

年 月	形 鋼	棒 鋼	管 材	線 材	鋼 板	鋼 帯	合 計
'11 曆年	500,334	6,256,373	1,498,992	4,163,728	2,087,517	5,832,915	20,339,859
'12 曆年	429,279	5,940,690	1,454,172	4,013,992	1,893,111	6,164,978	19,896,222
'11 年度	482,765	6,309,819	1,538,799	4,146,216	2,063,941	5,759,298	20,300,838
'12 年度	430,247	5,607,651	1,378,459	3,913,109	1,928,292	6,140,628	19,398,386
'12. 7-9月	113,716	1,439,655	345,650	1,035,409	444,249	1,620,837	4,999,516
10-12月	67,224	1,255,317	326,894	880,342	434,130	1,441,819	4,405,726
'13. 1-3月	112,709	1,322,208	318,672	947,448	516,205	1,487,297	4,704,539
4-6月	147,600	1,494,813	358,172	1,036,068	515,858	1,499,615	5,052,126
'12年 6月	44,133	535,189	110,425	359,995	141,767	525,832	1,717,341
7月	48,559	507,343	126,311	342,088	143,102	580,226	1,747,629
8月	20,623	452,004	123,852	342,735	162,564	563,720	1,665,498
9月	44,534	480,308	95,487	350,586	138,583	476,891	1,586,389
10月	35,232	430,084	134,481	324,524	158,134	520,996	1,603,451
11月	17,221	425,623	108,432	278,726	123,142	428,601	1,381,745
12月	14,771	399,610	83,981	277,092	152,854	492,222	1,420,530
'13年 1月	39,464	390,340	99,054	280,933	163,512	529,054	1,502,357
2月	41,721	435,875	105,777	310,281	129,620	455,214	1,478,488
3月	31,524	495,993	113,841	356,234	223,073	503,029	1,723,694
4月	45,532	469,795	132,642	341,968	166,244	468,632	1,624,813
5月	54,225	510,481	112,257	359,647	169,679	513,197	1,719,486
6月	47,843	514,537	113,273	334,453	179,935	517,786	1,707,827
7月	40,466	501,650	120,895	373,514	188,383	510,575	1,735,483
前月比	84.6	97.5	106.7	111.7	104.7	98.6	101.6
前年同月比	83.3	98.9	95.7	109.2	131.6	88.0	99.3

経済産業省調査統計部調べ

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	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			
'11 暦年	441,844	3,966,807	4,653,986	8,620,793	273,757	547,952	3,626,549	200,660	82,191	79,046	4,810,155	13,872,792	
'12 暦年	360,170	3,947,624	4,068,239	8,015,863	247,191	543,614	2,976,768	176,204	91,149	25,210	4,060,136	12,436,169	
'11 年度	436,022	3,961,080	4,615,541	8,576,621	278,975	557,870	3,259,900	196,709	87,121	54,934	4,435,509	13,448,152	
'12 年度	323,248	3,808,430	3,982,157	7,790,587	229,346	510,796	2,970,787	175,402	95,939	25,102	4,007,372	12,121,207	
12年 11月	24,785	295,197	319,514	614,711	17,292	8,577	247,116	11,990	8,585	2,428	295,988	935,484	
12月	24,151	287,254	316,406	603,660	15,994	37,949	242,025	15,545	7,191	1,828	320,532	948,343	
13年 1月	24,817	289,943	320,417	610,360	17,327	36,823	245,867	13,900	9,528	2,156	325,511	960,688	
2月	24,687	300,205	325,686	625,891	18,328	37,391	247,238	15,377	7,169	2,601	328,104	978,682	
3月	27,440	324,587	334,003	658,590	18,066	41,896	255,770	17,181	9,506	2,352	344,771	1,030,801	
4月	27,877	326,447	341,107	667,554	27,895	42,193	262,486	15,456	8,852	4,107	360,989	1,056,420	
5月	26,601	325,718	337,425	663,143	19,962	42,436	250,489	17,196	8,558	2,059	340,700	1,030,444	
6月	26,326	316,899	331,428	648,327	22,211	44,094	241,234	17,307	8,190	2,565	335,601	1,010,254	
7月	29,631	340,263	347,248	687,511	22,209	46,885	252,561	17,579	10,670	2,403	352,307	1,069,449	
前月比	112.6	107.4	104.8	106.0	100.0	106.3	104.7	101.6	130.3	93.7	105.0	105.9	
前年同月比	110.4	100.8	102.5	101.7	115.0	100.8	101.0	115.2	131.5	119.9	103.2	102.4	

経済産業省調査統計部調べ

特殊鋼熱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	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			
'11 暦年	8,488	190,227	116,969	307,196	24,614	38,099	122,684	30,553	197,768	32,381	446,099	761,783	
'12 暦年	7,673	182,574	131,328	313,902	23,953	43,245	130,709	27,139	134,929	34,091	394,066	715,641	
'11 年度	8,295	179,079	120,934	300,013	25,426	40,127	114,550	25,787	167,698	42,520	416,108	724,416	
'12 年度	7,695	180,446	124,271	304,717	23,748	37,634	112,706	26,790	150,073	30,459	381,410	693,822	
12年 11月	7,693	194,978	135,312	330,290	23,411	45,657	132,197	28,426	156,431	31,115	417,237	755,220	
12月	7,673	182,574	131,328	313,902	23,953	43,245	130,709	27,139	134,929	34,091	394,066	715,641	
13年 1月	7,356	187,742	130,622	318,364	24,956	40,280	127,230	26,864	190,172	27,598	437,100	762,820	
2月	7,198	189,386	135,253	324,639	20,199	38,432	126,036	34,989	193,384	27,647	440,687	772,524	
3月	7,695	180,446	124,271	304,717	23,748	37,634	112,706	26,790	150,073	30,459	381,410	693,822	
4月	6,988	197,884	131,684	329,568	25,548	40,918	116,876	28,673	157,048	30,943	400,006	736,562	
5月	6,805	194,824	129,570	324,394	23,187	44,523	110,382	31,679	219,995	35,933	465,699	796,898	
6月	8,459	198,394	134,223	332,617	24,755	49,152	123,865	31,360	194,159	28,309	451,600	792,676	
7月	7,856	196,329	123,609	319,938	23,507	44,079	121,265	28,268	175,969	35,283	428,371	756,165	
前月比	92.9	99.0	92.1	96.2	95.0	89.7	97.9	90.1	90.6	124.6	94.9	95.4	
前年同月比	87.0	105.5	86.2	97.1	94.0	100.8	97.6	102.7	83.1	130.6	93.3	94.8	

経済産業省調査統計部調べ

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	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			
'11 暦年	59,145	253,243	174,301	427,544	21,518	57,780	173,543	17,188	8,031	2,218	280,278	766,967	
'12 暦年	60,030	269,229	185,407	454,636	24,462	74,066	149,302	18,236	8,556	2,435	277,057	791,723	
'11 年度	63,141	273,132	187,035	460,167	26,229	73,087	162,898	18,396	7,303	2,296	290,209	813,517	
'12 年度	58,473	255,755	170,930	426,685	22,021	64,747	146,230	21,457	8,269	2,393	265,117	750,275	
12年 11月	59,381	274,816	184,312	459,128	24,652	77,274	151,144	20,711	8,465	2,410	284,656	803,165	
12月	60,030	269,229	185,407	454,636	24,462	74,066	149,302	18,236	8,556	2,435	277,057	791,723	
13年 1月	60,664	266,764	176,877	443,641	23,448	70,524	149,554	19,716	8,818	2,409	274,469	778,774	
2月	58,220	255,062	167,599	422,661	22,982	66,109	146,002	18,977	8,508	2,398	264,976	745,857	
3月	58,473	255,755	170,930	426,685	22,021	64,747	146,230	21,457	8,269	2,393	265,117	750,275	
4月	58,653	250,443	163,190	413,633	23,419	59,813	142,901	21,120	8,139	2,395	257,787	730,073	
5月	59,905	244,759	165,810	410,569	23,133	59,726	143,141	19,984	8,775	2,184	256,943	727,417	
6月	56,868	239,940	165,654	405,594	22,873	59,450	141,084	17,165	8,661	1,959	251,192	713,654	
7月	55,323	232,915	160,031	392,946	22,582	57,420	138,396	15,740	8,568	1,919	244,625	692,894	
前月比	97.3	97.1	96.6	96.9	98.7	96.6	98.1	91.7	98.9	98.0	97.4	97.1	
前年同月比	92.6	87.2	85.0	86.3	93.5	74.7	87.9	84.7	119.7	78.1	85.3	86.4	

経済産業省調査統計部調べ

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	
'11 暦年	34,103	424,408	540,217	964,625	183,369	1,245,945	211,120	1,640,433	15,635	5,054,857	5,070,493	7,709,654
'12 暦年	32,468	464,300	511,422	975,722	182,974	1,176,513	117,801	1,477,289	13,140	5,353,390	5,366,529	7,852,008
'11 年度	31,409	412,032	515,762	927,794	180,097	1,212,348	179,423	1,571,868	14,676	4,893,245	4,907,922	7,438,993
'12 年度	33,787	463,315	528,913	992,228	181,940	1,135,909	117,144	1,434,993	13,212	5,323,693	5,336,905	7,797,913
12年 11月	2,403	39,495	35,614	75,109	11,471	95,411	8,374	115,257	1,072	392,718	393,790	586,559
12年 12月	6,663	39,907	46,088	85,995	14,343	89,259	8,629	112,232	642	421,674	422,316	627,205
13年 1月	2,100	31,517	36,040	67,557	15,818	76,361	8,175	100,354	992	352,579	353,571	523,582
13年 2月	2,502	34,998	44,140	79,139	15,789	86,683	5,798	108,269	1,153	451,562	452,715	642,625
13年 3月	2,806	42,450	51,315	93,765	15,237	107,102	9,594	131,933	1,109	455,173	456,282	684,787
13年 4月	2,964	36,674	54,560	91,234	19,252	89,634	8,853	117,740	1,448	378,197	379,646	591,583
13年 5月	2,911	41,379	57,374	98,753	16,978	86,285	14,080	117,343	925	429,848	430,773	649,780
13年 6月	2,889	39,439	49,062	88,501	14,746	92,062	9,798	116,606	1,035	408,790	409,825	617,821
13年 7月	3,338	42,010	46,349	88,359	15,937	96,552	11,426	123,915	977	407,772	408,749	624,361
前月比	115.6	106.5	94.5	99.8	108.1	104.9	116.6	106.3	94.5	99.8	99.7	101.1
前年同月比	130.5	119.6	97.1	106.7	100.9	102.4	95.8	101.5	76.7	94.9	94.8	97.8

財務省通関統計

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	
'11 暦年	5,781	881	665	11,941	9,319	156,308	11,030	189,263	85	29,045	174,950	203,995	400,005
'12 暦年	6,876	972	988	15,546	9,898	135,655	11,368	173,454	274	26,242	333,226	359,467	541,043
'11 年度	6,495	736	817	13,714	9,745	159,034	11,299	194,609	120	27,334	209,174	236,509	438,469
'12 年度	5,679	1,077	781	14,359	11,151	139,237	11,910	177,438	452	26,907	342,040	368,947	553,592
12年 11月	390	109	30	1,336	794	12,580	890	15,631	41	1,852	55,648	57,501	73,672
12年 12月	428	70	100	1,285	811	10,319	1,080	13,595	66	3,915	26,722	30,637	44,796
13年 1月	513	77	18	1,184	1,167	16,533	1,135	20,037	128	1,454	23,247	24,700	45,455
13年 2月	329	71	58	952	1,221	11,855	817	14,902	80	654	24,737	25,391	40,773
13年 3月	257	86	33	967	1,413	12,016	1,103	15,532	4	2,288	20,470	22,758	38,637
13年 4月	477	52	48	1,268	1,169	14,025	1,136	17,646	18	308	23,350	23,658	41,852
13年 5月	716	73	44	1,178	1,284	18,308	1,191	22,006	17	4,181	27,958	32,138	54,951
13年 6月	412	63	45	812	655	13,008	1,138	15,658	-	871	40,970	41,841	57,974
13年 p7月	482	26	43	1,024	1,034	13,537	1,161	16,800	11	1,309	30,134	31,443	48,762
前月比	116.9	42.1	95.7	126.1	157.9	104.1	102.0	107.3	-	150.3	73.6	75.1	84.1
前年同月比	87.8	21.5	102.7	76.9	142.7	112.7	117.8	111.3	28.9	44.4	83.7	80.8	89.1

財務省通関統計

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		産業車輛生産		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		ブルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック			
'11 暦年	8,398,630	1,135,996	4,464,413	423,767	4,210,219	674,780	6,887	135,303	114,789	12,043	88,961	52,656	13,262
'12 暦年	9,943,077	1,266,354	4,801,191	476,919	5,369,720	785,450	6,877	147,987	114,051	12,044	88,134	52,382	12,124
'11 年度	9,267,047	1,244,733	4,621,975	448,275	4,753,273	732,158	7,435	145,100	118,126	12,476	89,742	59,270	13,111
'12 年度	9,550,883	1,237,262	4,660,539	475,364	5,210,290	759,973	6,215	140,130	111,401	11,930	87,026	45,932	11,398
12年 11月	768,051	104,455	382,778	40,686	393,941	68,788	413	11,986	9,520	1,231	7,303	3,602	882
12年 12月	700,941	96,431	399,589	43,352	338,503	53,649	451	10,354	8,271	935	7,205	4,206	841
13年 1月	751,582	100,468	345,552	31,748	383,501	50,826	383	9,672	7,870	854	6,663	3,495	717
13年 2月	806,211	104,912	392,216	38,022	477,379	63,576	460	10,298	8,402	924	6,945	3,521	809
13年 3月	824,114	112,391	388,370	47,127	667,128	94,353	403	11,831	9,610	954	7,931	8,792	905
13年 4月	745,320	102,419	397,817	38,736	365,164	55,707	601	10,576	8,294	920	7,233	2,286	820
13年 5月	729,692	101,624	359,752	34,622	367,648	58,579	591	11,270	8,169	1,026	7,992	2,700	971
13年 6月	804,125	112,882	411,577	42,758	450,825	71,345	625	12,252	9,031	1,209	7,774	3,988	952
13年 7月	910,114	121,689	413,920	38,380	472,111	69,275	562	14,029	10,118	1,369	7,772	3,081	928
前月比	113.2	107.8	100.6	89.8	104.7	97.1	89.9	114.5	112.0	113.2	100.0	77.3	97.5
前年同月比	98.5	107.4	99.0	95.9	92.0	103.2	84.4	108.6	99.8	136.9	105.8	109.0	87.8

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は日本自動車工業会
 新車登録・軽自動車販売は日本自動車販売協会連合会及び全国軽自動車協会連合会
 建設機械生産、産業車輛生産は経済産業省
 機械受注額は内閣府、産業機械受注額は日本産業機械工業会、工作機械受注額は日本工作機械工業会

特殊鋼需給統計総括表

2 0 1 3 年 7 月 分

鋼種別	月 別		実 数 (t)	前月比 (%)	前年同 月比(%)	1995年基準 指 数(%)		
	項 目							
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産		22,455	102.5	109.1	101.0		
	鋼材輸入実績		482	116.9	87.8	327.9		
	販売業者	受入計		28,086	120.6	101.7	136.5	
		販売計		29,631	112.6	110.4	145.4	
		うち消費者向		22,119	110.5	112.7	235.6	
		在庫計		55,323	97.3	92.6	153.5	
	鋼材輸出船積実績		3,338	115.6	130.5	93.2		
	生産者工場在庫		7,856	92.9	87.0	70.1		
	総 在 庫		63,179	96.7	91.9	134.0		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産		732,843	102.8	98.9	135.0	
鋼材輸入実績			25,159	86.0	89.0	1651.0		
販売業者		受入計		674,863	104.9	99.8	204.3	
		販売計		687,511	106.0	101.7	209.7	
		うち消費者向		450,989	107.3	101.0	211.0	
		在庫計		392,946	96.9	86.3	163.5	
鋼材輸出船積実績			88,359	99.8	106.7	522.0		
生産者工場在庫			319,938	96.2	97.1	106.9		
総 在 庫			712,884	96.6	90.8	132.1		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産		40,520	102.9	114.5	95.2	
	鋼材輸入実績		26	42.1	21.5	-		
	販売業者	受入計		21,918	99.8	113.9	146.9	
		販売計		22,209	100.0	115.0	149.1	
		うち消費者向		5,837	112.8	75.3	47.0	
		在庫計		22,582	98.7	93.5	710.5	
	鋼材輸出船積実績		15,937	108.1	100.9	125.9		
	生産者工場在庫		23,507	95.0	94.0	73.2		
	総 在 庫		46,089	96.8	93.8	130.5		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産		239,450	95.9	99.5	88.6	
鋼材輸入実績			16,800	107.3	111.3	431.0		
販売業者		受入計		249,873	104.5	100.5	166.4	
		販売計		252,561	104.7	101.0	169.1	
		うち消費者向		61,949	111.4	98.0	108.7	
		在庫計		138,396	98.1	87.9	125.2	
鋼材輸出船積実績			96,552	104.9	102.4	95.0		
生産者工場在庫			121,265	97.9	97.6	82.4		
総 在 庫			259,661	98.0	92.2	100.7		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産		55,251	95.3	93.8	62.4	
	販売業者	受入計		16,154	111.5	107.9	96.0	
		販売計		17,579	101.6	115.2	106.2	
		うち消費者向		17,111	100.9	115.9	120.3	
		在庫計		15,740	91.7	84.7	68.8	
	生産者工場在庫		28,268	90.1	102.7	125.7		
	総 在 庫		44,008	90.7	95.5	97.0		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産		500,100	102.5	96.7	213.5	
		販売業者	受入計		10,577	131.0	125.9	85.4
			販売計		10,670	130.3	131.5	86.4
うち消費者向				8,379	141.1	150.1	155.7	
在庫計				8,568	98.9	119.7	64.7	
生産者工場在庫			175,969	90.6	83.1	105.0		
総 在 庫			184,537	91.0	84.3	102.1		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産		144,864	105.2	108.4	61.9	
		販売業者	受入計		47,218	102.3	95.5	381.2
			販売計		49,288	105.6	101.6	399.2
	うち消費者向			38,857	109.2	105.3	721.8	
	在庫計			59,339	96.6	74.8	447.8	
	生産者工場在庫		79,362	102.5	112.2	47.4		
	総 在 庫		138,701	99.9	92.4	76.7		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計		1,735,483	101.6	99.3	128.8	
		鋼材輸入実績合計		48,762	84.1	89.1	616.5	
		販売業者	受入合計		1,048,689	105.2	100.4	183.4
販売合計				1,069,449	105.9	102.4	188.0	
うち消費者向合計				605,241	108.1	101.8	179.8	
在庫合計				692,894	97.1	86.4	156.6	
鋼材輸出船積実績合計			624,361	101.1	97.8	186.1		
生産者工場在庫合計			756,165	95.4	94.8	99.2		
総 在 庫 合 計			1,449,059	96.2	90.6	120.3		

出所:鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省、それ以外は経済産業省、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25年6月21日～8月20日)

海外委員会

- ・「安全保障貿易管理」説明会（6月25日、日本鉄鋼連盟、ステンレス協会と共催）
講 師：経済産業省 貿易経済協力局 安全保障貿易検査官室
上席安全保障貿易検査官 熊野 幸一氏
参加者：100名
- ・「中国、韓国、インドの特殊鋼生産動向」調査報告書説明会（7月2日）
講 師：神鋼リサーチ(株)産業戦略情報本部 調査二部
上席主任研究員 野尻 英一氏
参加者：100名

市場開拓調査委員会

- ・「世界に寄与する我が社の新製品・新技術」説明会（7月5日）
講 師：各メーカー担当者
参加者：95名

編集委員会

- ・小委員会（7月18日）
11月号特集「ステンレス鋼」（仮題）の編集内容の検討
- ・本委員会（7月25日）
11月号特集「ステンレス鋼」（仮題）の編集方針、内容の確認、他

流通委員会

- ・工具鋼分科会（8月5日）

[名古屋支部]

- 部会
- ・構造用鋼部会（7月23日）
- ・工具鋼部会（7月24日）
- ・ステンレス鋼部会（8月2日）

特殊鋼倶楽部の動き

○24年度市場開拓調査報告会の開催

「自動車の技術変化に伴う特殊鋼使用実態調査」報告書の説明会を8月21日、鉄鋼会館701号室で開催しました。

講師は日鉄住金総研(株)経済産業調査部 特別研究員の松尾氏、菊池氏で、参加者は約80名でした。

自動車における特殊鋼の使用原単位調査は平成3年度、平成8年度、平成13年度と継続的に行っていましたが、平成24年度調査においては初めてハイブリッド自動車を解体し、エンジンを始め9ユニットについて材料別重量、部品別構成比変化等を調査・分析しました。

参加者は、実際に分解作業に当たられた菊池氏の説明を熱心に聴講されました。

なお、本報告書説明会は、名古屋地区、大阪地区でもそれぞれ9月9日、10日に行われました。



写真 会場風景

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

[会 員 数] (正 会 員) 製造業者 25社 販売業者 102社 合 計 127社 (賛 助 会 員) 0社	【販売業者会員】		
【製造業者会員】 愛 知 製 鋼 (株) 秋 山 精 鋼 (株) (株)川 口 金 属 加 工 (株)神 戸 製 鋼 所 合 同 製 鐵 (株) 山 陽 特 殊 製 鋼 (株) J F E 条 鋼 (株) J F E ス チ ー ル (株) J X 日 鉦 日 石 金 属 (株) 下 村 特 殊 精 工 (株) 新 日 鐵 住 金 (株) ス テ ン レ ス パ イ プ 工 業 (株) 大 同 特 殊 鋼 (株) 高 砂 鐵 工 (株) 東 北 特 殊 鋼 (株) 日 新 製 鋼 (株) 日 本 金 属 (株) 日 本 高 周 波 鋼 業 (株) 日 本 精 線 (株) 日 本 冶 金 工 業 (株) 日 立 金 属 (株) (株)不 二 越 三 菱 製 鋼 (株) ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株) 理 研 製 鋼 (株)	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 鐵 (株) 佐 藤 商 事 (株) サ ハ シ 特 殊 鋼 (株) (株)三 悦 三 協 鋼 鐵 (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 鐵 (株) 神 鋼 商 事 (株) 住 金 物 産 (株)	住 金 物 産 特 殊 鋼 (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) 中 部 ス テ ン レ ス (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 金 属 (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 輪 鋼 業 (株) 日 金 ス チ ー ル (株) 日 鐵 商 事 (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 ア ド メ ッ ト (株) 日 立 金 属 工 具 鋼 (株) (株)日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ズ (株)平 井 (株)フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株) 古 池 鋼 業 (株) (株)プ ル ー タ ス (株)堀 田 ハ ガ ネ (株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 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／エネルギー・インフラ技術を支えるステンレス鋼

- I. エネルギー、インフラ技術に使用されるステンレス鋼
- II. ステンレス鋼の種類、性質と適用状況
- III. エネルギー分野で使用されるステンレス鋼
- IV. インフラ関係で使用されるステンレス鋼
- V. 会員メーカーの特徴あるステンレス鋼

1月号特集予定…頑張る日本の特殊鋼

特 殊 鋼

第 62 卷 第 5 号
© 2 0 1 3 年 9 月
平成25年8月25日 印刷
平成25年9月1日 発行

定 価 1,200円 送 料 100円
1年 国内7,200円 (送料共)
外国7,860円 (" 、船便)

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>
振替口座 00110-1-22086

編集発行人 小 島 彰
印刷人 増 田 達 夫
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。