

特殊鋼

2022 ⁹
Vol.71 No.5
The Special Steel

特集

特殊鋼の基礎

特殊鋼

9

目次

2022

【編集委員】

委員長	迫間 保弘 (大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫 (中川特殊鋼)
委員	宇田川 毅志 (愛知製鋼)
〃	吉原 直 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	深瀬美紀子 (大同特殊鋼)
〃	青山 敦司 (日本製鉄)
〃	正能 久晴 (日本金属)
〃	谷井 一也 (日本高周波鋼業)
〃	吉田 統樹 (日本冶金工業)
〃	酒寄 一志 (日立金属)
〃	大石 裕之 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	番場 義信 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	関谷 篤 (竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人 (平井)

【特集／特殊鋼の基礎】

I. まえがき	(一社)特殊鋼倶楽部	井上幸一郎	3
II. 化学成分			
1. 工具鋼	日立金属(株)	屈岡 竜大	4
2. 機械構造用炭素鋼	大同特殊鋼(株)	田中 優樹	7
3. 構造用合金鋼	愛知製鋼(株)	河合 隆之	10
4. ばね鋼	三菱製鋼(株)	宮田 将晴	13
5. 軸受鋼	山陽特殊製鋼(株)	栗田 俊	15
6. ステンレス鋼	日鉄ステンレス(株)	東城 雅之	17
7. 耐熱鋼	日本冶金工業(株)	平田 茂	20
8. 快削鋼	日本製鉄(株)	長谷川達也	23
9. ピアノ線材	(株)神戸製鋼所	酒道 武浩	27
10. 高張力鋼	日本製鉄(株)	柳田 和寿	30
11. マルエージング鋼	日立金属(株)	大石 勝彦	32
12. 超合金	大同特殊鋼(株)	大木優太郎	34
13. 電子材料	(株)日立金属ネオマテリアル	山本 晋司	37
14. 電磁鋼板	JFEスチール(株)	尾田 善彦	39
III. 合金元素 合金元素データシート			
鉄 (Fe)	日立金属(株)	北川 貴一	41
炭素 (C)、シリコン (Si)、マンガン (Mn)			
.....	愛知製鋼(株)	河合 隆之	41
リン (P)、硫黄 (S)、クロム (Cr)			
.....	(株)神戸製鋼所	奥本 剛史	43
ニッケル (Ni)、モリブデン (Mo)			
.....	山陽特殊製鋼(株)	福嶋 利保	44
ニオブ (Nb)	日本冶金工業(株)	及川 誠	45
バナジウム (V)	三菱製鋼(株)	宮田 将晴	46
ホウ素 (B)	日本製鉄(株)	青山 敦司	46
アルミニウム (Al)、チタン (Ti)			
.....	日本冶金工業(株)	及川 誠	47
コバルト (Co)、銅 (Cu)	三菱製鋼(株)	宮田 将晴	48
カルシウム (Ca)、鉛 (Pb)	日本製鉄(株)	青山 敦司	49
テルル (Te)、ビスマス (Bi)	大同特殊鋼(株)	清 尚暉	50
セレン (Se)	日本製鉄(株)	青山 敦司	51
タングステン (W)	山陽特殊製鋼(株)	福嶋 利保	51
イットリウム (Y)	大同特殊鋼(株)	清 尚暉	52
タンタル (Ta)、レニウム (Re)	日本製鉄(株)	青山 敦司	52
サマリウム (Sm)	大同特殊鋼(株)	日置 敬子	53

窒素 (N).....	日立金属(株)	北川 貴一	54
酸素 (O)、水素 (H).....	日本製鉄(株)	青山 敦司	54
“特集”編集後記.....	日本製鉄(株)	青山 敦司	73

●一人一題：「鉄の気持ちを考える？」…	大同特殊鋼(株)	迫間 保弘	1
---------------------	----------	-------	---

※日本鉄鋼連盟、特殊鋼倶楽部、ステンレス協会 3団体会長連名によるコメント			2
--	--	--	---

■業界のうごき			56
---------------	--	--	----

▲特殊鋼統計資料			59
----------------	--	--	----

★倶楽部だより (2022年6月1日～7月31日)			63
---------------------------------	--	--	----

☆特殊鋼倶楽部の動き			65
------------------	--	--	----

◇お知らせ 第245・246回西山記念技術講座			68
-------------------------------	--	--	----

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧			72
----------------------------	--	--	----

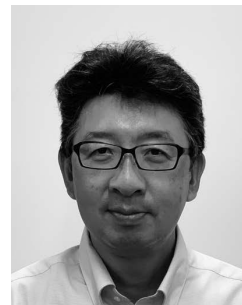
特集／「特殊鋼の基礎」編集小委員会構成メンバー (2022年3月24日現在)

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	青山 敦司	日本製鉄(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
委員	宇田川毅志	愛知製鋼(株)	品質保証部 お客様品質・技術室 主任職
〃	吉原 直	(株)神戸製鋼所	鉄鋼アルミ事業部門 線材条鋼ユニット 線材条鋼商品技術部グループ長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	深瀬美紀子	大同特殊鋼(株)	技術開発研究所 企画室 主任部員
〃	小川 道治	大同特殊鋼(株)	技術開発研究所 ソリューション支援室 兼 企画室 副主席部員
〃	谷井 一也	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 技術部 開発室 課長
〃	吉田 統樹	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 課長
〃	酒寄 一志	日立金属(株)	金属材料事業本部 技術部長
〃	大石 裕之	三菱製鋼(株)	技術開発センター 製品評価グループ マネージャー
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼(株)	特殊鋼本部 前橋支店 支店長
〃	関谷 篤	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	白神 哲夫	中川特殊鋼(株)	フェロー

一人一題

「鉄の気持ちを考える？」

大同特殊鋼(株) 材料技術サービス部 部長 **はざ ま やす ひろ**
迫 間 保 弘



特殊鋼倶楽部会員の皆様、初めまして。大同特殊鋼株式会社 材料技術サービス部長の迫間と申します。宜しくお願ひ申し上げます。また、この度、特殊鋼誌の編集委員長も拝命いただき、どこまでお役に立てるか判りませんが、微力ながら頑張っていきたいと思っておりますので、この点についても宜しくお願ひ申し上げます。

さて、今回、特殊鋼誌の「一人一題」の執筆依頼を受け、何を書こうかと考えたのですが、何の因果か特殊鋼に長らく関わって仕事をしてきた中で感じたことを書かせていただこうかと思っております。

私は、大学を卒業後、当社 知多工場で特殊鋼製造をメインに仕事をしてきました。入社から3年間は製鋼場でスクラップ溶解・精錬・連続铸造などを担当し、4年目からは技術室で工場全体の製造設計、品質改善、その結果としてお客様で発生した問題（苦情）の解決などを長く担当していました。

入社した頃の20数年前はパソコンが普及しだした時代で、なかなか工場で製造データが容易に取れず、大量の紙の作業誌をめくりながらEXCELにデータを打ち込み、作ったグラフを眺めながら、技術的に問題解決を図るという時代でした。そのため、品質改善も思ったように進まず、お客様で発生する問題（苦情）も驚くほど多く、いつもバタバタしていたのが実態でした。現在は、各種の製造データが自動的にデータベースに取り込まれ、調べたいデータも瞬時に取得できる時代となり、品質改善も早く進むようになりました。とはいえ、莫大なデータから意味のあるデータ・グラフを見出すのは、経験や知識が必要なのは昔と変わりません。

そんな中でも、私が若い頃に先輩から「鉄の気持ちになって考えろ、鋼は正直やからな」と言われたことが思い出されます。例えば、連続铸造では1000℃以上の真っ赤な铸片に大量の水を掛けて固めていきます。水の掛け方が悪いと鋼材の表面に大量の割れが発生してしまいます。「鉄」にとって気持ち良く固まるようにどういう条件で水を掛ければ良いのかを考えていくことが、結果として特殊鋼の表面品質を改善するポイントになります。

この「鉄の気持ちになる」というのは、「鉄」の状態図、焼入性、連続冷却変態曲線（CCT）、恒温変態曲線（TTT）などの特性を総合的に考えながら、「鉄」が気持ち良く固まって、延びていくように制御することですが、これこそが技術屋の醍醐味かと思っております。

恥ずかしくて具体的な事は言えませんが、当社の品質も20年前に比べたら改善していると思っておりますが、お客様で発生する問題（苦情）はゼロにはなっていませんので、これからも「鉄」の気持ちになって製造データを眺めながら品質改善を進めていきたいと考えております。

皆様の会社でも材料に起因する色んな問題が出るかと思っておりますが、問題＝改善ネタでもあるので、ぜひ当社にご相談いただければ幸いです。

〔編集委員会 委員長〕

日本鉄鋼連盟、特殊鋼倶楽部、ステンレス協会 3団体会長連名によるコメント

「WTO上級委員会の機能停止下における 日本の政策対応について」

一般社団法人日本鉄鋼連盟 会長 ^{きた}北 ^の野 ^{よし}嘉 ^{ひさ}久
一般社団法人特殊鋼倶楽部 会長 ^{ふじ}藤 ^{おか}岡 ^{たか}高 ^{ひろ}広
ステンレス協会 会長 ^{くぼ}久保田 ^{ひさ}尚 ^し志

今般、産業構造審議会通商・貿易分科会不公正貿易政策・措置小委員会において「WTO上級委員会の機能停止下の政策対応研究会中間報告書」が報告・公表されましたが、鉄鋼業界はその内容を支持し、報告書に示された提言が速やかに実現されることを強く期待します。

我が国鉄鋼業は、自由で公正かつ多角的な貿易体制が維持・発展されるためには、WTOルールに整合しない不公正な貿易措置がWTO紛争解決手続という国際的に合意されたルールに基づき解決が図られることが極めて重要であるとの認識のもと、これまで主要な貿易相手国が日本製鉄鋼製品に発動した不当な貿易救済措置に対して、WTO協定に

定められた紛争解決手続の下で解決が図られるよう日本政府に要請してまいりました。

報告書においては、現在実質的に機能停止しているWTO上級委員会の機能を暫定的に補完する手段として、多国間暫定上訴仲裁アレンジメント(MPIA)への参加や、いわゆる空上訴への対抗措置の検討等が提言されております。鉄鋼業界においては、現在、中国による日本製ステンレス製品に対するアンチ・ダンピング措置のパネル審理が進んでいることから、特にMPIAへの参加については日本政府としてスピード感をもって検討いただくことを望みます。

以上

特集

特殊鋼の基礎

I. まえがき

(一社)特殊鋼倶楽部 いの うえ こういちろう
編集委員会 委員長 井上 幸一郎

今回の特集は平成10年に発刊された別冊「特殊鋼の技術と用語のやさしい解説」の内容を更新する目的で編集案を企画した。「特殊鋼の技術と用語のやさしい解説」は1990年2月～1993年4月に連載された「用語解説」と1996年3月～1997年6月に連載された「やさしい技術解説」をまとめて別冊として発刊したものである。当時の編集委員会メンバーであった会員会社のスペシャリストが入社したばかりの若手技術者や営業の方々にも理解しやすいように平易な言葉で特殊鋼技術に関してわかりやすく解説した大作であり、編集委員会の先人たちの偉業を痛感させられる。本別冊は社団法人特殊鋼倶楽部のwebサイト (<https://www.tokushuko.or.jp/learning/index.htm>) からダウンロードできるので、読者の皆さんも興味があれば是非読んでいただきたい。

前回発刊されたものは、前述したように特殊鋼誌に連載された記事を別冊化したものであるが、連載当時からすでに30年以上が経過している。その間、JIS規格の変更や特殊鋼業界の主要ユーザーである自動車業界で電動化が急激に加速し、CASE関連技術が革新的に進歩しつつある。これにともない希土類磁石などの磁石材料、電磁鋼板などの軟磁性材料および各種センサーや電子部品等に用いられる電子材料への注目度は格段に高まっている。このように30年前とは特殊鋼業界を取り巻く

環境も大きく変化しており、そろそろ内容を見直すべきとの意見が編集委員会で議論され、今回の特集企画に至った。

今回は第一弾としてJIS鋼に代表される各種特殊鋼の化学成分と各合金元素の役割。さらに特殊鋼に用いられる主要な合金元素の精錬方法や鋼に添加した場合の効果や影響に関して解説をまとめる。また、今回を含めて残り3回の計4回の特集号で内容を見直す予定であり、それぞれ2023年3月号で技術解説として理的性質・機械的性質・熱処理、7月号で鉄鋼用語解説、11月号で新材料・磁性材料用語解説について、それぞれの特集号で現在の市場ニーズに合わせた最新の内容に更新できればと考えている。

昔ながらの鉄鋼技術に関する領域はこの30年では大きく変化していないため、平成10年版の内容をどれだけ更新できるかわからないが、可能な限り新しい情報を織り込み、今の若手技術者や営業担当の読者に活用していただけるよう編集委員会として努力していきたいと思う。

最後に今回の特集を含め「特殊鋼の技術と用語のやさしい解説」の内容更新にあたり、多大なるご尽力をいただく編集委員各位と会員会社の執筆者各位および一般社団法人特殊鋼倶楽部の事務メンバーに深く感謝申し上げます。

[大同特殊鋼(株) 機能製品事業部]

Ⅱ．化学成分

1．工具鋼

日立金属(株) 安来工場 技術部 大 岡 電 大

◇ 概要

工具鋼は、金型や切削各種工具等、様々な用途で用いられるが、その用途によって求められる特性が大きく変わる場合が多い。JISでは、炭素工具鋼や合金工具鋼、高速度工具鋼が工具鋼として規定されている。各工具鋼の特性は、含まれる合金元素の種類、含有量に大きく依存し、これにより鋼種、工具鋼の種類が区別される。

◇ 要求特性

1. 炭素工具鋼

C、Si、Mn以外に特別な合金元素を添加しない工具鋼であり、硬さとそれに依存した耐摩耗性が主として要求される。

2. 合金工具鋼

炭素工具鋼から焼入れ性を高め、さらに使用用途に合った特性にするため、主にCr、Mo、W、Vなどの合金元素が添加されている。JISでは用途によって切削工具鋼用、耐衝撃工具鋼用、冷間金型用、熱間金型用に分けられている。

要求特性は用途によって異なり、切削工具鋼用では硬さや耐摩耗性が、耐衝撃工具鋼用では靱性や耐摩耗性が、冷間金型用では硬さや耐摩耗性が、熱間金型用では耐熱性や靱性が主として重要とな

る。また、大型の工具や金型等に用いる場合は、内部まで硬さが入ることが必要であり、焼入れ性も重要となる。

3. 高速度工具鋼

高速度工具鋼は、使用時の負荷がより大きな切削工具や鍛造用金型などに用いられるため、合金工具鋼以上の硬さや耐摩耗性、耐熱性が求められる。

◇ 規格

工具鋼はJISやASTM、DINなどで規定されている規格鋼と各特殊鋼メーカーが添加する合金元素量や製造工程を改良した開発鋼がある。JIS規格の代表的な工具鋼6鋼種の主要成分を表1に示す。

◇ 鋼種解説

1. 炭素工具鋼

C量が多いものは耐摩耗性、低いものは靱性を重視する工具などに多く用いられ、C量によって鋼種が分けられている。焼入れ性が悪く水焼入れが必要で、大型の工具や金型などには不向きである。

2. 合金工具鋼

炭素工具鋼をベースに必要な特性にあわせて合金元素が添加されている。共通した炭素工具鋼か

表 1 主要成分^{1)~3)}

	JIS規格	用途	化学成分 (%)									
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	V
炭素工具鋼	SK3	-	1.00~1.10	0.10~0.35	0.10~0.50	0.030以下	0.030以下	-	-	-	-	-
合金工具鋼	SKS3	冷間金型用	0.90~1.00	0.35以下	0.90~1.20	0.030以下	0.030以下	-	0.50~1.00	-	0.50~1.00	-
合金工具鋼	SKD61	熱間金型用	0.35~0.42	0.80~1.20	0.25~0.50	0.030以下	0.020以下	-	4.80~5.50	1.00~1.50	-	0.80~1.15
合金工具鋼	SKT4	熱間金型用	0.50~0.60	0.10~0.40	0.60~0.90	0.030以下	0.020以下	1.50~1.80	0.80~1.20	0.35~0.55	-	0.05~0.15
合金工具鋼	SKD11	冷間金型用	1.40~1.60	0.40以下	0.60以下	0.030以下	0.030以下	-	11.00~13.00	0.80~1.20	-	0.20~0.50
高速度工具鋼	SKH51	高速度工具鋼	0.80~0.88	0.45以下	0.40以下	0.030以下	0.030以下	-	3.80~4.50	4.70~5.20	5.90~6.70	1.70~2.10

らの大きな変化は、合金元素の添加によって焼入れ性が向上し、焼入れ時の冷却が油冷でも可能になっている点である。ただし、合金元素の添加量により焼入れ時の加熱温度が高くなっている。

SKD11は、多量のCとCrの添加によって、優れた耐摩耗性と焼入れ性が得られるため、大型の冷間金型等、様々な冷間金型、工具に汎用的に使用されている。SKD61は、耐熱性とともC量が低いため優れた靱性も得られる。このため、熱間金型用の他、靱性が必要となる様々な用途に使用される。

また、W、Mo等が添加され二次硬化性を有した鋼種では約500℃～600℃での焼戻しが適用される場合が多くなっている。

3. 高速度工具鋼

高速度工具鋼はCrとともに多量のV、Mo、Wを添加することで、V、Mo、Wの炭化物が生成し、合金工具鋼以上の硬さや耐摩耗性、耐熱性が得られる。

これらの炭化物は焼入れ時に固溶し難いため、焼入れ時の加熱温度は合金工具鋼よりも高くなり、焼入れ硬さも低くなるため、必要な硬さを得るためには二次硬化が起こる約500℃～600℃での焼戻しが必要となる。

◇ 合金元素

1. 硬さ（熱処理）に影響する合金元素

工具鋼の硬さは、焼入れ時に生じるマルテンサイト組織と焼戻し時に生じる二次硬化の影響を受ける。このため、マルテンサイト組織の形成に影響するC、Cr、Mnと二次硬化の発生に影響するW、Mo等が添加される。

2. 焼入れ性に影響する合金元素

焼入れ性は、焼入れ時におけるマルテンサイト組織の形成のし易さを示す特性であり、硬さと深い関係がある。焼入れ性向上にはC、Cr、Mnの効果が特に高い。

3. 耐摩耗性に影響する合金元素

耐摩耗性は、硬さの他にCと合金元素が結びついて形成された炭化物の種類と量、大きさが大きく影響を及ぼすため、CとCr、V、W、Moといった炭化物形成元素が添加される。炭化物は大別すると溶鋼の凝固時に晶出した一次炭化物と凝固後の加熱、冷却によって基地より析出した二次炭化物に分けられ、耐摩耗性へは一次炭化物の寄与が大きい。

一次炭化物の晶出にはCと炭化物形成元素の量が大きく影響し、C量の少ないSKD61ではほとんど観られないが、C、Crの添加量の多いSKD11では大きな一次炭化物（ M_7C_3 ）が多量に観られる。一方、SKH51はV、Mo、Wが多量に添加されており、一次炭化物のW、Moの炭化物（ M_6C ）とVの炭化物（MC）が観られる。特にVの炭化物は高硬度であり、耐摩耗性に大きく寄与する。写真1にこれら鋼種のミクロ組織観察例を示す。

4. 靱性に影響する合金元素

鋼材の耐割れ性を示す特性であり、硬さ、耐摩耗性とは相反する関係があり、C、Cr、V、W、Mo等が多量に添加されると靱性は低下する。靱性を向上にはNiを添加する場合がある⁴⁾。

5. 被削性

鋼材の被削性向上には、本来は不純物とされる元素を意図的に添加する場合があり、工具鋼では、Sを添加する場合が多い。Sを添加した場合、鋼中

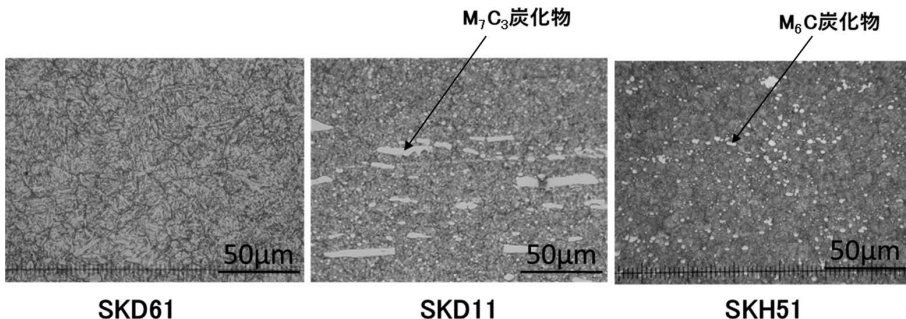


写真1 鋼種によるミクロの違い

のMnと非金属介在物のMnSを生成し、この介在物の存在により優れた被削性が与えられる。

◇ 技術動向

代表的な工具鋼の使用用途から必要な要求特性を満足するために添加する合金元素を述べてきたが、実際の使用環境によっては上述以外の特性が必要な場合もある。使用環境に対して特性が不足する場合、金型に早期の不具合が発生し、短寿命や修正工数の増加が考えられる。特殊鋼メーカー

では、規格鋼から成分調整を行い特色のある鋼種を開発しており、要求特性に合わせた鋼種を選定することで金型寿命の高寿命化や修正工数の低減に寄与している。

参考文献

- 1) JIS G4401 炭素工具鋼用鋼材
- 2) JIS G4404 合金工具用鋼材
- 3) JIS G4403 高速度工具鋼鋼材
- 4) 社団法人 日本材料学会：機械材料学（1991）p243、245



2. 機械構造用炭素鋼

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 たなかゆうき
構造材料研究室 室長 田中優樹

まえがき

機械構造用鋼は、自動車や一般機械、産業用機械などの多くの機械部品に使用されている。これら機械部品では、強度や疲労、耐摩耗性、靱性といった特性が高いレベルで要求される。機械構造用鋼では、これら要求特性を満足させるべく、多くの場合、塑性加工や各種熱処理（焼入れ焼戻し、浸炭焼入れ、高周波焼入れなど）を施し、使用される。

JISにおける機械構造用鋼は、C、Si、Mnを基本成分とする機械構造用炭素鋼とこれにNi、Cr、Moなどの合金元素を添加し、焼入れ性や強度、靱性を向上させた機械構造用合金鋼に大別される。

本稿では、機械構造用炭素鋼について、規格と特性、およびその技術動向を概説する。

◇ 規格

JISでは、SC材と呼ばれる全27種の機械構造用炭素鋼が規定されている。表1にその化学成分例を示す。主成分はC、Si、Mnであり、Si、Mnについては、いずれの鋼種でもほぼ同じ範囲で規定されている。各鋼種の違いはC量であり、0.07%（S09CKの下限）から0.80%（S75Cの上限）と非常に広い範囲で規定されている。これら鋼種のうち、S60CからS75Cは鋼板、および鋼帯だけに適用される規格である。また、S09CK、S15CK、S20CKは、P、

S、およびCu、Ni、Crを他の鋼種よりも低く抑えられており、表面処理用のはだ焼用鋼として規定されている。

ここで各成分の役割について言及する。Cは、後述するように、強度を増大させる。Siは、主に製鋼時の脱酸剤としての役割を果たす。Mnは、Si同様に脱酸剤として作用するほか、鋼材の焼入れ性を増大させる。また、Sと硫化物を形成し被削性を増大させる。

◇ 特性

機械構造用炭素鋼は、熱間圧延や熱間鍛造などの熱間加工によって、棒鋼、平鋼、形鋼、鋼板などに成形された後、さらに鍛造、切削、引抜き、熱処理などが行われる。このため、機械構造用炭素鋼は、最終製品の機械特性だけでなく、途中工程における製造性も満足させることが要求される。

特性の一例として、S28C～S58Cの直径25mm材における焼ならし後と完全焼きなまし後の機械的性質を表2(a)に示す¹⁾。通常、これら鋼種の焼ならし後、焼きなまし後のミクロ組織は、フェライト+パーライト組織である。

機械構造用炭素鋼における焼ならしの目的は、熱間圧延材や熱間鍛造材の組織の微細化、機械的性質の改善、あるいは被削性の改善などである。表2(a)のように、高炭素鋼の方が焼ならし後の

表 1 機械構造用炭素鋼の化学成分例 (mass.%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S
S10C～S25C	0.08～0.28	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030以下	0.035以下
S28C～S58C	0.25～0.61	〃	0.60～0.90	〃	〃
S60C～S75C	0.55～0.80	〃	〃	〃	〃
S09CK	0.07～0.12	0.10～0.35	0.30～0.60	0.025以下	0.025以下
S15CK	0.13～0.18	0.15～0.35	〃	〃	〃
S20CK	0.18～0.23	〃	〃	〃	〃

※S10C～S75Cは、Cu：0.30%、Ni：0.20%、Cr：0.20%、Ni+Cr：0.35%を越えてはならない。

S09CK、S15CK、S20CKは、Cu：0.25%、Ni：0.20%、Cr：0.20%、Ni+Cr：0.30%を越えてはならない。

強度や硬さは高く、一方で延性は低くなる。

機械構造用炭素鋼の場合、焼きなましは冷間加工等の塑性加工を容易にするために施されることが多い。表2(a)のように、高炭素鋼の方が、焼ならしと同様に完全焼きなまし後の硬さは高くなる。つまり、塑性加工は不利となる。

機械構造用炭素鋼では、ほとんどの場合、切削加工が行われる。切削加工時の硬さは、高すぎても低すぎても良くなく、概ねHB170~200付近がその鋼材における最も有利な硬さといわれている²⁾。ゆえに表2(a)の各鋼種において良好な被削性を得るには、高炭素鋼ほど焼きなましを施す必要が

あることが分かる。

表2(b)に、S28C~S58Cの直径25mm材における焼入れ焼戻し後の機械的性質の最低値を示す¹⁾。焼入れ焼戻し材においても高炭素鋼の方が強度は高く、強度面では優位にある。ただし、延性や靱性は低くなるため留意が必要である。

表2(b)中の有効直径は、表中の機械的性質が期待できる最大直径のことである。高炭素の方が有効直径は大きく、つまり焼入れ性は高い。機械構造用炭素鋼の焼入れ性は、機械構造用合金鋼と比べ低く、大型部品では芯まで焼きが入りにくい。中でも低炭素鋼は焼入れ性が低く、また焼きが

表 2 S28C~S58Cの機械的性質 (a) 焼ならし、焼きなまし後、(b) 焼入れ焼戻し後¹⁾

(a)

鋼種	変態温度 [°C]		焼ならし条件および焼ならし状態の機械的性質と硬さ					完全焼なまし条件と焼きなまし硬さ	
	A _{C1} ~A _{C3}	A ₃ ~A _{r1}	条件 [°C、空冷]	降伏点 [kg/mm ²]	引張強さ [kg/mm ²]	伸び [%]	硬さ [H _B]	条件 [°C、炉冷]	硬さ [H _B]
S28C S30C	720~815	780~720	850~900	29以上	48以上	25以上	137~197	約840	126~156
S33C S35C	720~800	770~710	840~890	31以上	52以上	23以上	149~207	約830	126~163
S38C S40C	720~790	760~700	830~880	33以上	55以上	22以上	156~217	約820	131~163
S43C S45C	720~780	750~680	820~870	35以上	58以上	20以上	167~229	約810	137~170
S48C S50C	720~770	740~680	810~860	37以上	62以上	18以上	179~235	約800	143~187
S53C S55C	720~765	740~680	800~850	40以上	66以上	15以上	183~255	約790	149~192
S58C	720~760	730~680	800~850	40以上	66以上	15以上	183~255	約790	149~192

(b)

鋼種	焼入れ [°C、水冷]	焼戻し [°C、急冷]	降伏点 [kg/mm ²]	引張強さ [kg/mm ²]	伸び [%]	絞り [%]	シャルピー値 [kg·m/cm ²]	硬さ [H _B]	有効直径 [mm]
S28C S30C	850~900	550~650	34以上	55以上	23以上	57以上	11以上	152~212	30
S33C S35C	840~890	550~650	40以上	58以上	22以上	55以上	10以上	167~235	32
S38C S40C	830~880	550~650	45以上	62以上	20以上	50以上	9以上	179~255	35
S43C S45C	820~870	550~650	50以上	70以上	17以上	45以上	8以上	201~269	37
S48C S50C	810~860	550~650	55以上	75以上	15以上	40以上	7以上	212~277	40
S53C S55C	800~850	550~650	60以上	80以上	14以上	35以上	6以上	229~285	42
S58C	800~850	550~650	60以上	80以上	14以上	35以上	6以上	229~285	42

入ったとしても強度自体がそれほど高くないことから、浸炭焼入れのほかは、焼入れ焼戻しされることは少なく、焼ならしによって特性を改善したり、引抜きなどの冷間加工によって強度を向上させたりして使用される。一方、中～高炭素鋼は、ある程度の焼入れ性が得られることから、小～中物部品を中心に焼入れ焼戻しや高周波焼入れなどが適用される。また、焼ならしのままや冷間加工によって強度を上昇させて使用される場合もある。

◇ 技術動向

機械構造用炭素鋼をベースとした様々な高機能材が開発されている。その一つが、熱間鍛造用非調質鋼である。非調質鋼とは、焼入れ焼戻し（調質）を省略可能な鋼であり、製造コストやCO₂削減に寄与する。具体的には、機械構造用炭素鋼にV³⁾やTi⁴⁾等の析出強化元素を添加した鋼材であり、自動車用のコネクティングロッドやクランク

シャフト等の鍛造部品に使用されている。また、非調質鋼の強度を大きく向上させる鍛造手法についても開発がなされている⁵⁾。このほか、中炭素鋼をベースとした冷間鍛造性に優れた高周波焼入れ用鋼も開発されている⁶⁾。本開発鋼は、球状化焼きなましなどの軟化熱処理を施すことなく、圧延材ままで優れた冷間鍛造性を示し、現在、自動車のドライブシャフト等の高周波焼入れ部品に使用されている。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会：鋼の熱処理、改訂5版、p. 354、356 (1969)
- 2) 特殊鋼倶楽部：特殊鋼ガイド 第4編 熱処理、p. 20 (1979)
- 3) 丹羽祐久、町田功、加藤哲男、上原紀興、田中良治：電気製鋼、vol. 53、p. 26 (1982)
- 4) 渡里宏二、相原賢治：CAMP-ISIJ、vol. 9、p. 506 (1996)
- 5) 梅森直樹、藤原正尚、松村康志、保母誠：電気製鋼、vol. 81、p. 123 (2010)
- 6) 瓜田龍実、並木邦夫：電気製鋼、vol. 63、p. 59 (1992)



3. 構造用合金鋼

愛知製鋼(株) 品質保証部 かわ い たか ゆき
 お客様品質・技術室 主任 河 合 隆 之

◇ 概要

構造用鋼は自動車をはじめとする様々な産業分野の重要部品として使用されている。構造用鋼は、機械構造用炭素鋼と、これにCr、Ni、Moなどの合金元素を添加した機械構造用合金鋼に大別される。さらに機械構造用合金鋼の種類としては大きく、強靱鋼、はだ焼鋼、そして表面窒化用鋼に区別される。

◇ 要求特性

構造用合金鋼は自動車や機械の軸、歯車、軸受といった荷重を支えて動力を伝達する部品などに使用される。これらの部品に要求される特性は、主に強度と靱性であるが、用途によってはさらに疲労強度と耐摩耗性も要求される。また塑性加工や切削加工で部品形状に加工されるため加工性に優れることも重要である。

構造用合金鋼は必要な特性を得るために、通常熱処理が施される。強靱鋼は一般的に焼入れ焼戻しを施すことで、良好な強度、靱性を得ており、軸類、ボルトなどの部品に使用される。

はだ焼鋼は浸炭焼入れによって表面硬化させるが、その目的は疲労強度と耐摩耗性の向上にある。一方、浸炭層以外の母材は低炭素であるため、部品全体の靱性を確保でき、歯車や軸受などの部品に使用される。

表面窒化用鋼は窒化処理によって表面硬化させる。はだ焼鋼よりも硬さの高い表面層が得られ、熱処理ひずみも小さくなる。射出成型機用シリンダー、大型歯車などの部品に使用される。

◇ 規格

機械構造用合金鋼はJIS G 4053 (2016) において、40種類が規定されている。その一例を表1に示す。特に強靱鋼およびはだ焼用鋼は、硬化を主

表 1 JIS G 4053 (2016) 機械構造用合金鋼の化学成分の一例¹⁾

(mass%)

分類	鋼種 ^{a)}	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Cr鋼	SCr420	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.90	0.25以下	0.90~1.20	^{b)}
	SCr435	0.33~0.38	0.15~0.35	0.60~0.90	0.25以下	0.90~1.20	^{b)}
Cr-Mo鋼	SCM420	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.90	0.25以下	0.90~1.20	0.15~0.25
	SCM435	0.33~0.38	0.15~0.35	0.60~0.90	0.25以下	0.90~1.20	0.15~0.30
Ni-Cr鋼	SNC415	0.12~0.18	0.15~0.35	0.35~0.65	2.00~2.50	0.20~0.50	^{b)}
	SNC836	0.32~0.40	0.15~0.35	0.35~0.65	3.00~3.50	0.60~1.00	^{b)}
Ni-Cr-Mo鋼	SNCM420	0.17~0.23	0.15~0.35	0.40~0.70	1.60~2.00	0.40~0.60	0.15~0.30
	SNCM439	0.36~0.43	0.15~0.35	0.60~0.90	1.60~2.00	0.60~1.00	0.15~0.30
Mn鋼	SMn420	0.17~0.23	0.15~0.35	1.20~1.50	0.25以下	0.35以下	^{b)}
	SMn438	0.35~0.41	0.15~0.35	1.35~1.65	0.25以下	0.35以下	^{b)}
Mn-Cr鋼	SMnC420	0.17~0.23	0.15~0.35	1.20~1.50	0.25以下	0.35~0.70	^{b)}
	SMnC443	0.40~0.46	0.15~0.35	1.35~1.65	0.25以下	0.35~0.70	^{b)}
Al-Cr-Mo鋼	SACM645 ^{c)}	0.40~0.50	0.15~0.50	0.60以下	0.25以下	1.30~1.70	0.15~0.30

注^{a)} いずれの鋼種も、P：0.030%以下、S：0.030%以下、Cu：0.30%以下

^{b)} 意図的に添加してはならない。

^{c)} SACM645のAlは、0.70%~1.20%とする。

表 2 JIS G 4052 (2016) 焼入性を保証した構造用鋼の化学成分の一例²⁾

(mass%)

分類	鋼種 ^{a)}	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Cr鋼	SCr420H	0.17~0.23	0.15~0.35	0.55~0.95	0.25以下	0.85~1.25	^{b)}
	SCr435H	0.32~0.39	0.15~0.35	0.55~0.95	0.25以下	0.85~1.25	^{b)}
Cr-Mo鋼	SCM420H	0.17~0.23	0.15~0.35	0.55~0.95	0.25以下	0.85~1.25	0.15~0.30
	SCM435H	0.32~0.39	0.15~0.35	0.55~0.95	0.25以下	0.85~1.25	0.15~0.35
Ni-Cr鋼	SNC415H	0.11~0.18	0.15~0.35	0.30~0.70	1.95~2.50	0.20~0.55	^{b)}
Ni-Cr-Mo鋼	SNCM420H	0.17~0.23	0.15~0.35	0.40~0.70	1.55~2.00	0.35~0.65	0.15~0.30
Mn鋼	SMn420H	0.16~0.23	0.15~0.35	1.15~1.55	0.25以下	0.35以下	^{b)}
	SMn438H	0.34~0.41	0.15~0.35	1.30~1.70	0.25以下	0.35以下	^{b)}
Mn-Cr鋼	SMnC420H	0.16~0.23	0.15~0.35	1.15~1.55	0.25以下	0.35~0.70	^{b)}
	SMnC443H	0.39~0.46	0.15~0.35	1.30~1.70	0.25以下	0.35~0.70	^{b)}

注^{a)} いずれの鋼種も、P：0.030%以下、S：0.030%以下、Cu：0.30%以下^{b)} 意図的に添加してはならない。

目的に焼入れされることから、焼入性が重要な要素である。そのため化学成分に加えて、焼入性を保証したH鋼がJIS G 4052 (2016) において規定されている。その一例を表2に示す。H鋼の場合、化学成分は二義的であることから、JIS G 4053にて規定されている基本鋼に比べてH鋼の化学成分範囲はやや広がっている。

◇ 鋼種解説

(1) 強靱鋼

強靱鋼として使用される鋼種は炭素量が0.25%~0.50%程度の鋼にSi、Mn、Cr、Ni、Moなどの元素が適量添加されている。以下に代表鋼種の特徴と合金元素の役割について述べる。

①Cr鋼

この鋼種は炭素鋼にCrを添加するとともに、Mnをやや高めに添加することで焼入性を向上させている。Crにより焼入性が向上するのは、パーライト変態等の拡散型変態を遅延させるためである。またCrは炭化物を形成することから、焼戻し軟化抵抗が大きくなる。ただし、焼戻し温度500℃付近での脆化(焼戻し脆性)が大きいため、500℃以上で焼戻しする場合は急冷することが望ましい。

②Cr-Mo鋼

この鋼種はCrに加えMoを添加し、Cr鋼よりも焼入性を向上させている。MoもCrと同様、拡散型変態を遅延させるため、焼入性を向上させる。また、Cr鋼に比べ焼戻し脆性が小さい。

③Ni-Cr鋼

この鋼種はCr鋼にNiを添加することにより、強度、靱性、焼入性をさらに向上させている。

④Ni-Cr-Mo鋼

この鋼種はNi-Cr鋼にMoを添加し、Ni-Cr鋼の欠点である焼戻し脆性を改善し、あわせて焼入性を向上させている。また焼戻し軟化抵抗が高いため、より高温での焼戻しが可能であり、他の合金鋼に比べ最も高い焼入性と強靱性を示す。

⑤Mn鋼およびMn-Cr鋼

Mnも拡散型変態を遅延させるため、焼入性が向上する。高価なCrやMoを使用せずに焼入性を改善できるが、焼割れをおこしやすい上に焼戻し脆性に敏感であるなどの傾向がある。Mn-Cr鋼はMn鋼にCrを添加し、これらの欠点をやや緩和したものである。

(2) はだ焼鋼

機械構造用炭素鋼および機械構造用合金鋼の中で、一般的にC濃度0.25%以下の低炭素のものがはだ焼鋼として使用される。以下にはだ焼鋼の代表鋼種と合金元素の役割について述べる。

①Crはだ焼鋼

Crは鋼中のCの拡散速度を低下させるため、炭素鋼より浸炭層のC濃度を増加させ、浸炭層硬さを向上させる。

②Cr-Moはだ焼鋼

Cr鋼に少量のMoを添加したもので、MoもCrと同様に鋼中のCの拡散速度を低下させ、浸炭層硬

さを向上させる。Cr鋼に比べ、焼入性が向上するので、Cr鋼より大きな部品に使用される。

③Ni-Crはだ焼鋼

この鋼種はCr鋼にNiを添加することにより、強度、靱性、焼入性をさらに向上させている。

④Ni-Cr-Moはだ焼鋼

Ni-Cr鋼と似た性質を有し、Cr鋼、Cr-Mo鋼に比べ、焼入性、靱性がさらに向上する。

⑤Mn鋼およびMn-Crはだ焼鋼

Mnの添加により浸炭性は若干向上する。また、Mnの添加による変態点が低下するため、焼入温度を低く設定でき、結晶粒粗大化や熱処理後のひずみを抑制する利点がある。

(3) 表面窒化用鋼

JISでは、Al-Cr-Mo系のSACM645の1種類のみ規格化されている。Al、Cr、Moは窒化処理により、窒化物を生成するため、硬さの高い表面層を得ることができる。

◇ 技術動向

自動車産業をはじめ、部品に対する低コスト化のニーズは常に存在している。材料コストそのものを低減させるために、高価なMoを低減し、その特性低下を、その他成分の調整により補うもの³⁾。部品製造トータルの低コスト化を狙うために、冷間鍛造前の熱処理を施さなくても硬さを低減できるように成分の調整を行い、熱処理工程の省略ができるもの⁴⁾。などが報告されている。今後も新たな部品製造プロセスやそれに適した構造用鋼が開発されていくとみられる。

参考文献

- 1) JIS G 4053 (2016)
- 2) JIS G 4052 (2016)
- 3) 福田康弘、安達裕司：愛知製鋼技報、35 (2019)、10
- 4) 岩本隆：特殊鋼、68 (2019)、3、61



4. ばね鋼

三菱製鋼(株) 技術開発センター 解析評価グループ グループ長 みや た まさ はる
宮田将晴

◇ 概要

ばねとは、力を加えて変形させた時に、変形を元に戻そうとする力（復元力）が働く部品の総称である。ばねは、用途によって金属、樹脂、ゴム、セラミック等の様々な素材が使用されており、鉄（Fe）をベースに合金元素を添加した鉄鋼材料のことをばね鋼という。

◇ 要求特性

ばね鋼に要求される特性を列挙すると

- ①弾性限が高い
- ②疲れ強さが高い（耐へたり性を含む）
- ③衝撃値が高い
- ④耐環境性（耐熱性、耐腐食性）が高い等が挙げられる。

これらの特性の中で、弾性限や疲れ強さは、降伏点（0.2%耐力）、引張強さや硬さと強い相関関係があり、実用的には高硬度の鋼を求めれば、①および②の特性を得ることが出来る。但し、高硬度（高強度）になるほど、材料の欠陥に対する感受性が高くなることから、限りなく欠陥が少ない高品質な材料が要求される。

◇ 規格

日本産業規格（JIS）では、主として熱間成形ばねに使用するばね鋼を規定したJIS G 4801の他、硬鋼線（JIS G 3521）、ピアノ線（JIS G 3522）、オイルテンパー線（JIS G 3560、G 3561）、ばね用ステンレス鋼帯（JIS G 4313）、ばね用ステンレス鋼線（JIS G 4314）などいくつかの規格が、ばねの形状や使用される目的に応じて規格化されている。ここでは、代表例として、JIS G 4801に規定されているばね鋼の化学成分および用途を表1に示す。

◇ 鋼種解説

ばね鋼を製造工程の面から分類すると、熱間成形および冷間成形に大別され、加工方法によって使用される鋼種が異なる。

熱間成形用のばね鋼は、ばね成形時に焼入れ焼戻し処理され、所要の強度に調質される鋼材である。表1に示すようにJIS G 4801熱間成形ばね用鋼の各鋼種は、重ね板ばね、コイルばね、トーションバーなどの比較的大きな形状のばねに用いられる。これらのばね鋼は、Si-Mn鋼、Mn-Cr鋼、およびSi-Cr鋼など比較的に焼入れ性が優れている

表 1 JIS G 4801 ばね鋼の化学成分

記号	化学成分 (%)							主な用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	B	
SUP6	0.56~0.64	1.50~1.80	0.70~1.00	—	—	—	—	重ね板ばね、コイルばね及びトーションバー
SUP7	0.56~0.64	1.80~2.20	0.70~1.00	—	—	—	—	
SUP9	0.52~0.60	0.15~0.35	0.65~0.95	0.65~0.95	—	—	—	
SUP9A	0.56~0.64	0.15~0.35	0.70~1.00	0.70~1.00	—	—	—	
SUP10	0.47~0.55	0.15~0.35	0.65~0.95	0.80~1.10	—	0.15~0.25	—	コイルばね及びトーションバー
SUP11A	0.56~0.64	0.15~0.35	0.70~1.00	0.70~1.00	—	—	0.0005~0.0050	大形の重ね板ばね、コイルばね及びトーションバー
SUP12	0.51~0.59	1.20~1.60	0.60~0.90	0.60~0.90	—	—	—	コイルばね
SUP13	0.56~0.64	0.15~0.35	0.70~1.00	0.70~0.90	0.25~0.35	—	—	大形の重ね板ばね、コイルばね
SUP14	0.47~0.55	0.15~0.35	0.65~0.95	0.80~1.10	—	0.15~0.25	0.0005~0.0050	コイルばね及びトーションバー

※P、Sはすべて0.030%以下、Cuは0.30%以下

鋼種である。特にSUP11A、SUP13は、Mn-Cr-B鋼、Cr-Mo鋼といずれも焼入れ性が非常に優れている鋼種のため、大型のばねに用いられる。SUP10はCr-V鋼であり、靱性が優れている。また、SUP14は、SUP10にBを添加した鋼種であり、焼入れ性をSUP10よりも向上させている。SUP12は、耐へたり性が優れていることから、自動車用懸架コイルばねに主に使用されている鋼種である。

冷間成形用のばね鋼は、ばね成形前に素材は調質（パテンティング、オイルテンパー等）され、必要な強度を付与された鋼材である。これら冷間成形用のばね鋼は、線ばね、薄板ばね、ばね座金やぜんまいなどに使用される。線ばね材としては、ピアノ線、硬鋼線、オイルテンパー線およびばね用ステンレス鋼線などがあり、自動車部品、電気機器部品、電子部品などのばねに使用される。薄板ばね用鋼としては、炭素鋼、低合金鋼およびステンレス鋼が使用されている。自動車用の弁ばねは高い疲れ強さ、耐熱性が求められることからSi-Cr鋼のオイルテンパー線が多く使用されている。くわえて、弁ばねは長寿命を求められることから、鋼の清浄化や非金属介在物を圧延過程で微細化するなどの無害化がはかられる。

◇ 合金元素

ばね鋼に添加されている主な合金元素がどのような性能を付与しているか示す。

[C：炭素] Cは鋼の強度を増加させる基本的な元素であり、ばね鋼にはC添加による強度の付与は不可欠である。一般的に、0.50～0.65%程度のC添加量の鋼種が多い。焼入れ後の強度は、C添加量の増加にともない上昇するが、0.6%程度で飽和してしまうことが知られている。また、焼入れ状態では、強度は高いが脆いため、焼戻しを行うことで、強度は低下するが延性および靱性を付与することで、ばねとして使用される。

[Si：ケイ素] Siは耐力や引張強さを向上させる元素であり、焼戻し軟化抵抗を増す働きがある。そのため、より高温での焼戻しが可能になり、強度、延性および靱性を向上させる。また、Siはフェライトを固溶強化し、耐へたり性を向上させる。

[Mn：マンガン] Mnは焼入れ性を向上させる元素であり、焼戻し過程でセメントタイトに固溶し、焼戻し軟化抵抗を増し、強度を向上させる。

[Cr：クロム] CrはMnと同じ働きをする元素だが、加えて耐食性を向上させる。

[Ni：ニッケル] Niは焼入れ性、焼戻し軟化抵抗への影響は少ない元素であるが、フェライトに固溶し強度、靱性を向上させる。また、Crに次いで耐食性の向上に効果的な元素である。

[V：バナジウム] Vは結晶粒を微細化させ、耐力、延性および靱性を向上させる。450℃以上の焼戻しで析出硬化を生じさせ、焼戻し軟化抵抗を増し、耐へたり性を向上させる。

[B：ボロン] Bは他の元素に比べ極微量で焼入れ性を向上させる。また、400℃以下の低温焼戻し時に粒界を強化し、靱性を向上させる。

[Mo：モリブデン] Moは焼入れ性を向上させ、焼戻し軟化抵抗を増す。また、耐へたり性を向上させる。

[その他] ばねの高強度化に伴い、水素脆化の危険性が高まるため、水素トラップサイトとなる炭化物を形成するNb、Ti等が、耐遅れ破壊特性を向上させる元素として添加される。

◇ 技術動向

世界的な地球温暖化対策としてカーボンニュートラルが進められている。ばねに関しては、従来の開発方針である材料や製造工法などの改良による高強度化を図ることでの軽量化だけではなく、製造工程全体のエネルギー消費を見直し、高効率な製造工法へ転換が進んでいる。

5. 軸受鋼

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター くり た しゅん
新商品開発室 商品開発1グループ 栗 田 俊

◇ 概要

軸受鋼は耐摩耗性や転がり疲労特性に優れた特殊鋼であり、主に軸受の軌道輪（レース）そして転動体（ボール、ころ）に使用されている。軸受鋼には、ズブ焼入れで使用される高炭素クロム軸受鋼、高周波焼入れで使用される中炭素鋼系軸受鋼（S53C等）、浸炭焼入れで使用される肌焼合金鋼系軸受鋼（SCr420、SNCM220～815等）、そして耐食・耐熱鋼系軸受鋼（SUS440C、M50等）があり、使用環境に応じて適宜選定される。本稿で中心に述べる高炭素クロム軸受鋼は軸受用途として最も多く使用されており、1%程度の炭素（C）と1.5%程度のクロム（Cr）を特徴とする過共析組成であり、比較的シンプルな組成でありながら、軸受に求められる焼入焼戻し硬さと組織を安定的に得ることができ、且つ冷間加工に際し必要な球状化焼なまし処理が容易である。そのため、高炭素クロム軸受鋼は、軸受としての機能の発揮に止まらず、合理的な部品製造に対しても貢献できる特殊鋼といえる。

◇ 要求特性

軸受製品は軌道輪と転動体とが油膜を介して微小な面積同士で接触しており、その作動面圧は数GPaにも及ぶ。そのため、軸受鋼には、優れた耐摩耗性・転がり疲労特性が求められる。特に転がり疲労特性を確保するためには鋼材中に不可避に存在する非金属介在物が少ないこと、つまり清浄

度の高さが要求され、酸素（O）含有量の低い材料が求められる。さらには、軸受製品に加工する際には鍛造性や被削性が必要であることから、熱処理によってそれぞれの加工が容易な硬さ・組織の制御が必要となる。

◇ 規格

表1に高炭素クロム軸受鋼（JIS G 4805：2019）の主要化学成分を示す。高炭素クロム軸受鋼はSUJ2～SUJ5が規定されており、約1%のCと1～1.5%程度のCrを基本成分とし、Cr、Si、Mn、Moの含有量により焼入性を変化させている。

◇ 鋼種解説

高炭素クロム軸受鋼は熱間加工品の状態で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35～40HRC程度となる。この状態では製品加工工程における被削性等の加工性を低下させることから、球状化焼なましが施される。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トイトが一部固溶して細かく分断され球状化することで加工が容易な硬さ（SUJ2では90HRB程度、SUJ3では94HRB程度）となる^{1, 2)}。

一般的に、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へと加工され、焼入焼戻しして使用される。軸受の要求特性（耐摩耗性、転がり疲労特性）を満たすため、オーステナイト中に炭化物を適度に溶かし込み急冷することで硬さ60HRC以上のマルテンサイト組織を得る。焼入

表 1 高炭素クロム軸受鋼の主要化学成分【JIS G 4805：2019 より抜粋】（mass%）

鋼種記号	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	0.08以下
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	0.08以下
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

れされたままのマルテンサイトは不安定で非常に脆いため焼戻しが行われる。焼戻しによりマルテンサイトから炭化物が析出し、安定した焼戻しマルテンサイトとなることで韌性が確保される。

◇ 合金元素

高炭素クロム軸受鋼における主要元素の影響を以下に述べる。

【C】Cは約1%添加され、焼入処理によりおよそ0.6%のCはマルテンサイト中に存在しており³⁾(一部、残留オーステナイトに固溶)、その結果として軸受に必要な硬さである60HRC以上を得ている。残りのCは炭化物として存在しており、球状炭化物として残存させ、耐摩耗性、転がり疲労特性向上に貢献する。

【Cr】Crは1~1.5%程度添加され、マトリックスに固溶し焼入性を増すとともに、炭化物を形成する元素であるため、炭化物中のFe元素と多く置換固溶することで $(Fe, Cr)_3C$ を形成し、球状炭化物の微細安定化と硬さの向上に貢献する⁴⁾。このように、Crは良好な焼入組織を得るためだけでなく、良好な球状化焼なまし組織を得るためにも重要であり、不可欠な元素である。一方で、さらに添加量を増すと難固溶で粗大化しやすい炭化物 M_7C_3 (Mは金属元素)が生成するため、Crの添加量は2%以下にとどめている⁵⁾。

【Si, Mn, Mo】Si, Mnはマトリックスに固溶し焼入性を向上させるために添加されるが、より高い焼入性を必要とする場合はMoを添加する。な

お、これらの元素は焼戻軟化抵抗を向上させ、高温や高面圧下で寿命を向上させる効果がある。一方で、焼なまし状態でのマトリックス(フェライト)を強化するため、焼なまし硬さの上昇による冷間加工性の低下について注意が必要である。

◇ 技術動向

世界的にカーボンニュートラル(CN)社会の実現に向けた取り組みが活発化している。自動車業界ではCO₂排出量削減を目指し開発されているEV等の各種駆動装置の小型軽量化設計を実現するために軸受の高強度化・小型薄肉化が進められている^{6, 7)}。このように軸受の使用環境は益々過酷化していることから、軸受鋼は使用用途に応じた高強度化(長寿命化)が求められており、高纯净度化⁸⁾等の開発が行われてきた。さらに近年では、CN対応を目指した取り組みとして製造工程、特に熱処理工程でのCO₂排出量削減に寄与する軸受鋼が求められる等、様々なニーズに対応する技術開発が進められている。

参考文献

- 1) 杉本隼之：特殊鋼、67(2018)3、p 26-28
- 2) 平塚悠輔：特殊鋼、64(2015)7、p 33
- 3) 小林一博：熱処理、22(1982)、p 36
- 4) 平岡和彦：第188・189回 西山記念技術講座(2006)
- 5) 瀬戸浩蔵：軸受用鋼(1999)、p 20
- 6) 平岡和彦：特殊鋼、66(2017)11、p 39
- 7) 平岡和彦：山陽特殊製鋼技報、28(2021)、p 2
- 8) 上杉年一：鉄と鋼、71(1985)、p 1638

6. ステンレス鋼

日鉄ステンレス(株) とう しょう まさ ゆき
商品開発部 主幹 東 城 雅 之

◇ 概要

ステンレス鋼とは、耐食性を向上させる目的でCr、又はCrとNiを含有させた鉄基合金で、Cr含有率を10.5%以上、炭素含有率を1.2%以下とし、耐食性を向上させた合金鋼のことである。常温における組織によってマルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系、オーステナイト・フェライト系及び析出硬化系の5種類に分類される。ステンレス鋼が耐食性に優れる理由は、Cr添加により、鋼の表面に形成された緻密な不動態皮膜と呼ばれる皮膜が鋼自体を環境から保護する働きを持つからである。

◇ 要求特性

ステンレス鋼には耐食性、耐熱性などが優れるメリットがある。耐食性が高いこと＝錆に強いという特性を生かし、屋内外、腐食環境等、必要とされる環境に応じた特性が求められる。また、ステンレス鋼は熱伝導率が低いため耐熱性や保温性が優れている点も特徴の一つで、高温となる化学プラント、タービンブレードやブレードディスク等の過酷条件に対する特性が要求される。後述する通り、多様な環境での使用ニーズに応える為、様々な規格が設定されている。

◇ 規格

ステンレス鋼は各種用途で様々な使われ方をし

ている。ステンレス鋼のJISとしては次のようなものがある。

鋼板・鋼帯ではG4304 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯、G4305 冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯、G4313 ばね用ステンレス鋼帯、G3320 塗装ステンレス鋼板及び鋼帯。鋼管ではG3446 機械構造用ステンレス鋼鋼管、G3448 一般配管用ステンレス鋼管、G3459 配管用ステンレス鋼鋼管、G3463 ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼鋼管、G3468 配管用大径ステンレス鋼鋼管、G3447 ステンレス鋼サニタリー管。

棒線関連ではG4303 ステンレス鋼棒、G4308 ステンレス鋼線材、G4318 冷間仕上ステンレス鋼棒、G4322 鉄筋コンクリート用ステンレス異形棒鋼。

線関連ではG3550 構造用ステンレス鋼ワイヤロープ、G3557 一般用ステンレス鋼ワイヤロープ、G4309 ステンレス鋼線、G4314 ばね用ステンレス鋼線、G4315 冷間圧造用ステンレス鋼線、G4316 溶接用ステンレス鋼線材。

溶接棒ではZ3221 ステンレス鋼被覆アーク溶接棒、Z3227 極低温用オーステナイト系ステンレス鋼被覆アーク溶接棒、Z3323 ステンレス鋼アーク溶接フラックス入りワイヤ及び溶加棒、Z3327 極低温用オーステナイト系ステンレス鋼ティグ溶加棒及びソリッドワイヤ。

その他用途としてG3214 圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品、G3601 ステンレスクラッド鋼、G4319 ステンレス鋼鍛鋼品用鋼片、G4321 建築構造用ス

表 1 各種ステンレス鋼の主要成分

分類	鋼種	主要成分 (mass%)
マルテンサイト系	SUS410	13Cr (C≤0.15)
	SUS420J2	0.3C-13Cr
フェライト系	SUS430	18Cr
オーステナイト系	SUS304	18Cr-8Ni
オーステナイト・フェライト系 (二相鋼)	SUS329J4L	25Cr-6Ni-3Mo-0.2N-低C

表 2 ステンレス鋼の種類

種 類	特 徴
ステンレス鋼	クロム含有率を10.5%以上、炭素含有率を1.2%以下とし、耐食性を向上させた合金。常温における組織によってマルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系、オーステナイト・フェライト系及び析出硬化系の5種類に分類される。
マルテンサイト系ステンレス鋼	フェライト系ステンレス鋼の炭素含有量を高め、熱処理によってマルテンサイト組織とすることによって、硬化させることのできるステンレス鋼。SUS 410がその代表的なものである。
フェライト系ステンレス鋼	クロムを10.5%以上含有し、常温でフェライト組織を示すステンレス鋼。SUS 430がその代表的なものである。
オーステナイト系ステンレス鋼	常温においてもオーステナイト組織を示すステンレス鋼。SUS304がその代表的なものである。
オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼	常温でオーステナイト組織とフェライト組織とが混在するステンレス鋼。二相ステンレス鋼 (Duplex stainless steel) ともいう。
析出硬化系ステンレス鋼	アルミニウム、銅などの元素を少量添加し、熱処理によってこれらの元素の化合物などを析出させて硬化する性質をもたせたステンレス鋼。
低炭素ステンレス鋼	炭素含有率を0.03%以下とし、クロム炭化物の粒界への析出を抑え、粒界腐食性を改善したステンレス鋼。
安定化ステンレス鋼	チタン、ニオブ、ジルコニウム、又はそれらの組合せを少量添加し、あらかじめ鋼中の炭素と結合させ、クロム炭化物の析出による耐食性の劣化を抑制したステンレス鋼。
快削ステンレス鋼	硫黄、セレン、りんなどの元素を少量添加して被削性を改善したステンレス鋼。
塗装ステンレス鋼板	冷間圧延ステンレス鋼板又は鋼帯に有機塗料を焼き付けて仕上げた鋼板又は鋼帯。主として建築物の屋根、外装、内装などに用いる。

ステンレス鋼材、G5121 ステンレス鋳鋼品、等、多種多様な多くの規格が設定されている。また、試験規格としてもステンレス鋼特有の規格が設けられていることにも注意する必要がある。

◇ 鋼種解説・合金元素

ステンレス鋼には、多くの種類があるが、主な合金元素としてCrだけを添加したクロム系とNiも添加したクロム—ニッケル系（以後、ニッケル系と記す）とに大別される。Fe、Cr、Ni以外にも微量に含まれている元素があり、1つはステンレスを製造する際、特に精練時に混入してくる不純物、もう一つは故意に添加するものである。不純物元素にはC、P、Sなどがあり、添加元素としては、Mo、Cu、Ti、Nbなどがある。いずれの元素もステンレスの品質特性に大きな影響を与え、微量と言えども非常に重要な役割を果たしている。

例えば、Cの低減は耐粒界腐食性を向上させ、逆に添加は強度、硬度を向上させる。また、Moの添加は塩化物が存在する環境下での耐孔食性、Cuの添加は薬品等に対する耐酸性、Ti、Nbの添加は溶接部の耐粒界腐食性を向上させる。さらにSi、

Alの添加は高温の耐酸性を向上させる。

ステンレス鋼は金属組織の面から、クロム系はマルテンサイト系とフェライト系にニッケル系はオーステナイト系とオーステナイト・フェライト系（二相鋼）に分類されるのが一般的である。

マルテンサイト組織は高温のオーステナイト（面心立方格子）領域から急速に焼入れした時に生じる原子のせん断的なすべりに起因する変態により生じる。マルテンサイト系ステンレス鋼の高い硬度はマルテンサイトによるものである。マルテンサイトそのものの硬さ、強さは主としてC量に関係し、C量の多いものほど硬化の程度が大きい。

マルテンサイト系ステンレス鋼としては、SUS410（低C—13Cr）が最も一般的な鋼種であり、他にSUS420系（中C—13Cr）等がある。用途としては各種刃物類、機械部品等に用いられる。

フェライト系ステンレス鋼はSUS430（18Cr）がその代表例であり、熱処理硬化性が少ないため溶接割れが生じ難く、マルテンサイト系に比較して加工性が良い。また、Niを含まない為安価である。用途としては家電機器、建築内装材、厨房器具等、比較的マイルドな環境で使用されることが多い。

オーステナイト系ステンレス鋼はSUS304（18Cr-8Ni）に代表され、ステンレス鋼のうちで最も広く、大量に使用されている材料である。面心立方格子を持つため極低温でも脆性破壊を生じず、常温では高い延性を示す。また、溶接熱影響を受けなくても、変態を伴わないので予熱や後熱を必要としない。SUS304の用途としては家庭用品、建築材料、一般化学設備等がある。

オーステナイト・フェライト系（二相鋼）はオーステナイトとフェライトの二つの金属組織を有し、優れた強度と耐食性を示す。その特性から高強度、高耐食性が要求される用途で使用され、

SUS329J4Lは海水用ポンプシャフトや化学プラント向けに用いられている。

◇ 技術動向

近年、世界的に脱炭素社会への流れが加速する中で、日本においても2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、次世代エネルギー分野（水素エネルギー、再生可能エネルギー等）の技術開発が盛んに行われている。ステンレス鋼においても、当該分野への用途開拓、市場開拓を進め、高耐食、高強度、リサイクル効率の高さ等、ステンレス鋼の特徴を活かした環境に調和した開発を推進している。



7. 耐熱鋼

日本冶金工業(株) ひら た しげる
技術研究所長 **平田 茂**

◇ 概要

耐熱鋼とは熱に耐える鋼であり、電気、ガソリンといったエネルギーに依存する現代社会に不可欠な材料である。カーボンニュートラルの実現やエネルギーの効率化を達成するうえでも重要な役割を果たすことが期待されている。本稿では、JISで規定されている耐熱鋼について、特性、合金元素の役割を記し、最期に新しく開発された耐熱鋼を紹介する。

◇ 要求特性

耐熱鋼は、火力発電プラントや石油精製プラン

ト、エンジン排気系部品など様々な用途で使用されており、JISでは「高温における各種環境で耐酸化性、耐高温腐食性、または高温強度を保持する合金鋼」と規定されている。要求される特性は、いずれも部材の寿命を左右するもので、なかでも耐酸化性と高温強度は特に重要で、これらに対する合金元素の役割は後述する。

◇ 規格

JISでは、耐熱鋼棒・線材としてJIS G4311に35種、耐熱鋼板・鋼帯としてJIS G4312に28種が規定してある。表1に示す様に大きく2つに分類され、SUS (Steel Use Stainless) で始まる鋼と耐熱鋼を

表 1 JIS G4311耐熱鋼棒・線材、JIS G4312耐熱鋼板・鋼帯の分類

SUS				SUH			
分類	種類の記号	耐熱鋼棒・線	耐熱鋼板・帯	分類	種類の記号	耐熱鋼棒・線	耐熱鋼板・帯
オーステナイト系	SUS302B-HR	—	○	オーステナイト系	SUH31	○	—
	SUS304-HR	○	○		SUH35	○	—
	SUS309S-HR	○	○		SUH36	○	—
	SUS310S-HR	○	○		SUH37	○	—
	SUS316-HR	○	○		SUH38	○	—
	SUS316Ti-HR	○	○		SUH309	○	○
	SUS317-HR	○	○		SUH310	○	○
	SUS321-HR	○	○		SUH330	○	○
	SUS347-HR	○	○		SUH660	○	○
	SUSXM15J1-HR	○	○		SUH661	○	○
フェライト系	SUS405-HR	○	○	フェライト系	SUH21	—	○
	SUS410L-HR	○	○		SUH409	—	○
	SUS430-HR	○	○		SUH490L	—	○
	SUS430J1L-HR	—	○		SUH446	○	○
	SUS436J1L-HR	—	○	マルテンサイト系	SUH1	○	—
マルテンサイト系	SUS403-HR	○	○		SUH3	○	—
	SUS410-HR	○	○		SUH4	○	—
	SUS410J1-HR	○	—		SUH11	○	—
	SUS431-HR	○	—		SUH600	○	—
析出硬化系	SUS630-HR	○	○		SUH616	○	—
	SUS631-HR	○	○				

○：登録有り、—：登録無し

意味するSUH (Steel Use Heat resisting) で始まる鋼があり、それぞれ金属組織によりさらに四つに分類されている。

◇ 鋼種解説 (主な特性、組織など)

1. オーステナイト系耐熱鋼

面心立方構造であるオーステナイト系耐熱鋼は、体心立方構造のフェライト系、マルテンサイト系に比べ構成元素の拡散速度が小さいため、600℃を越える温度での強度に優れている。代表鋼はSUS304-HRであり主な鋼組成と添加元素の効果を表2に示す。18%のクロムを含有するため高温でCr₂O₃の強固なスケールが生じ、これが耐酸化性を向上させている。

2. フェライト系耐熱鋼

体心立方構造であり、総じて炭素量が少ないため高温強度は高くない。このためあまり強度を必要としない部位に適用されている。代表鋼はSUS430-HRで表2に示す様に18%のクロムを含むことで耐高温腐食性を確保している。高価なNiを含まないため安価であるが、475℃前後に保持されると脆化するため注意が必要である。

3. マルテンサイト系耐熱鋼

高温から焼き入れることでマルテンサイト組織とする耐熱鋼で、通常、焼き戻しを施し炭化物を析出させ使用される。SUS403-HRがその代表鋼である。しかしながら、クロムの含有量が13%程度と低いため耐酸化性に優れているとは言えず、焼き戻し温度以上ではマルテンサイト組織が急激に変化し軟化するため、焼き戻し温度である600℃以上では使用されない。

4. 析出硬化系耐熱鋼

析出強化元素として銅を4%程度添加してあるSUS630-HRが代表鋼である。1030~1050℃で固溶化熱処理を施し、冷却しマルテンサイト組織とする。これに400~550℃で時効熱処理を施しε相

(Cu相)を析出させることで高強度化する。しかしながら、500℃を越える温度で使用すると、ε相の粗大化、マルテンサイト相の弱化が起き強度が低下するので使用上限温度は500℃程度となる。

◇ 合金元素

耐熱鋼中の合金元素の総量は50%以下で、いずれも数%以上のクロムを含有し、ニッケル、モリブデン、その他の元素を含有する鋼もある。クロムは、常温近傍における耐食性を改善する元素として知られているが、耐酸化性も向上させる。これはクロムが優先的に酸化し、表面に密着性が良いFeO・Cr₂O₃やCr₂O₃などの緻密な酸化物を形成、これが障壁となって雰囲気からの酸素イオンの侵入を妨害するためである。この傾向はクロム含有量の増加にともない顕著となるが、クロム添加量が多くなると機械的性質が劣化する。このため、実用合金ではクロム量のある程度までに限定し、耐酸化性を向上させにアルミニウム、シリコン、希土類元素(ランタン、セリウム)などが添加される場合が多い。アルミニウムの添加は、クロムの場合とほぼ同じ機構でAl₂O₃皮膜を形成し耐酸化性を改善する。

高温強度の向上は、ニッケルやモリブデン、炭素が添加されている場合が多く、これ以外にもニオブ、窒素など効果を示す元素は多い。ニッケル、モリブデンによる強化機構は主に固溶強化である。これは大きさの違う元素が混じると、金属結晶はその混ざった金属の周辺でひずみが発生し変形が阻害され強度を向上させるというものである。

ステンレス鋼に含まれる主な元素はいずれも耐熱性も高める元素である。このため、ステンレス鋼は耐熱性にも優れており、これが表1に示す耐熱鋼の規格にSUSで始まる鋼が含まれている理由である。ただし、ステンレス鋼では耐食性を確保するために炭素量を低くする傾向があるが、耐熱

表 2 代表的な耐熱鋼の組成と主な添加元素

	種類の記号	主な組成 (wt%)	耐熱性を改善する元素
オーステナイト系	SUS304-HR	18Cr-8Ni	Cr, Ni
フェライト系	SUS430-HR	18Cr	Cr
マルテンサイト系	SUS403-HR	13Cr-0.1C	Cr, C
析出硬化系	SUS630-HR	17Cr-4Ni-4Cu-0.2Nb	Cu

鋼の場合は高温強度を確保するため高めとするものがある。さらに、ステンレス鋼以上に多種の元素を添加し耐酸化性、耐高温腐食性を向上させているものが多い。

◇ 技術動向

JISに規定のある鋼について合金元素とその役割を記載してきたが、より高い温度、より厳しい環境で使用できる新規な鋼の開発要求は強い。これとは別に、耐熱性を維持しつつ加工性、溶接性などを改善、製造歩留りを向上させる材料の要求もある。以下に、2022年新製品として紹介された新しい耐熱鋼を紹介する。

燃料電池の普及拡大は、CO₂排出量削減の有望な手段と考えられており、家庭への普及には発電効率から固体酸化物形 (Solid Oxide Fuel Cell) での検討が進められている。この場合、発電を担うホットモジュール内部の温度は最高で800℃程度

と高温かつ水蒸気を含んだ環境となり、形成されたクロム酸化物の一部が飛散し、セルスタックに吸着、性能低下を招くこと知られている。このため、耐高温酸化性および耐クロム蒸発性に優れたアルミ含有フェライト系ステンレス鋼NSSC NCA-1 (18Cr-3Al-Ti) が採用されているが、この鋼は加工性、靱性に問題があり製造時の歩留りが低いという問題があった。これに対し、図1に示す様にニオブ、ボロンを添加することで耐熱性を維持しつつ靱性、成形性を大きく改善したNSSC NCA-F (18Cr-1.5Al-Nb-B) 鋼¹⁾が開発、実用化されている。ニオブの添加により少ないアルミニウム添加量でもAl₂O₃皮膜が安定的に形成されるという興味深い知見に基づき設計されたものである。

参考文献

- 1) 田井善一、藤村佳幸、濱田尊仁、奥 学、今川一成：まてりあ、61 (2022)、P. 47

鋼種	C	Si	Mn	Cr	Al	Nb	Ti	B
NSSC NCA-F	0.01	0.54	0.31	18.1	1.5	0.20	-	0.0024
NSSC NCA-1	0.01	0.34	0.23	18.0	3.1	-	0.16	-
SUS445J1	0.01	0.19	0.16	22.0	0.1	0.20	0.20	-

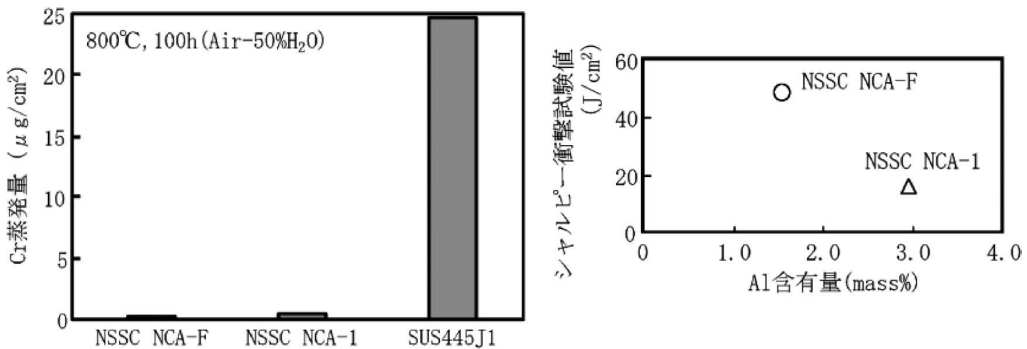


図 1 開発鋼NSSC NCA-F (18Cr-1.5Al-Nb-B) の特性
左：800℃、100時間水蒸気酸化試験におけるCr蒸発量
右：TIG溶接部のシャルピー衝撃試験結果

8. 快削鋼

日本製鉄(株) はせがわ たつ や
棒線技術部棒線商品技術室 課長 長谷川 達也

◇ 概要

快削鋼とは、被削性（削られやすさ）を向上させる元素、いわゆる快削性元素が添加された鋼です。快削性元素としては、硫黄と鉛が代表的で、その他にカルシウムが用いられることもあります。快削鋼は大きく分けると、被削性を最も重視するいわゆる「快削鋼」と、被削性ととも機械的性質をも重視する「被削性改善鋼」の2種類に分類できます。

◇ 要求特性

鋼は、旋削、穿孔、フライス加工、ブローチ加工、ねじ切り加工、歯切り加工等、様々な方法で機械加工されます。それらの加工において被削性を追求した鋼が快削鋼です。ひと言で被削性と言っても、能率、品質、操業性、経済性、等の広範囲な意味があり、その内容は極めて複雑です。そこで通常は被削性の判定基準として、次の4つを採用しています。これらが快削鋼への技術的な要求特性と言えます。

1. 工具寿命の長短

機械加工時には、機械的あるいは熱的な影響によって工具が損傷します。代表的な損傷には、欠損、チッピング（刃先に生じる細かい欠け）、割れ、摩耗があります。これらの損傷が生じた場合、あるいは生じる前に、工具を交換したり研ぎなおしたりします。工具費や工具交換の段取りコストが製造コストに占める割合は大きいため、4つの判定基準の中で最も重要視されます。

2. 仕上げ面の粗さや精度の良否

仕上げ面粗さや寸法精度は最終の部品形状に仕上げるときに重要性が増します。また、工具寿命を評価する場合に仕上げ面粗さや光沢で判断する場合もあります。

3. 切り屑処理の難易

加工ラインの自動化や無人化のために、切り屑

処理性が重要視されることが増えています。一般的には、直線状や不規則な長さの切り屑は処理性が悪く、細かく分断した切り屑は良いとされています。ただしドリルによる深穴穿孔のように、細かい切り屑は排出性が悪い場合連続した切り屑が求められる場合もあります。

4. 切削抵抗の大小

切削抵抗は工具寿命や表面品質を低下させる場合があります。最近では加工設備の進歩により、特殊な場合を除いて、問題になることが比較的少なくなってきました。

◇ 鋼種解説・規格

1. 被削性を最も重視する、いわゆる「快削鋼」

低炭素鋼が基本成分で、これに硫黄や鉛を単独または複合添加したものです。主に、被削性を最も重視する部品に用いられます。部品の要求性能によっては中炭素鋼が基本成分になることもあります。

JISでは「硫黄及び硫黄複合快削鋼鋼材」として、JIS G4804に13種の鋼が規定されていて、主要元素と硫黄や鉛の添加量が規格化されています（表1）。

2. 被削性ととも機械的性質をも重視する「被削性改善鋼」

機械構造用炭素鋼や機械構造用合金鋼のような特殊鋼を基本成分として、機械的性質を維持しつつ、これに快削性元素を添加したものです。主に自動車や産業機械用の部品に用いられます。

JASO（自動車規格）では「被削性改善に対する成分の追加又は変更」として、JASO M106に、鉛（記号：L）、硫黄（記号：S）、カルシウム（記号：U）の添加量が規格化されています（表2）。例えばS45Cという基本成分に、快削性元素として硫黄（0.04～0.07%）および鉛（0.04～0.09%）を添加する場合、「S45CS1L1」のように基本成分の鋼種記号の後に「S1」と「L1」を付記して表します。

表 1 硫黄及び硫黄複合快削鋼材の化学成分 (JIS G 4804) (単位%)^{a)b)}

種類の記号	C	Mn	P	S	Pb
SUM21	0.13以下	0.70~1.00	0.07~0.12	0.16~0.23	
SUM22	0.13以下	0.70~1.00 ^{c)}	0.07~0.12	0.24~0.33	
SUM22L	0.13以下	0.70~1.00 ^{c)}	0.07~0.12	0.24~0.33	0.10~0.35 ^{d)}
SUM23	0.09以下	0.75~1.05	0.04~0.09	0.26~0.35	
SUM23L	0.09以下	0.75~1.05	0.04~0.09	0.26~0.35	0.10~0.35 ^{d)}
SUM24L	0.15以下	0.85~1.15	0.04~0.09	0.26~0.35	0.10~0.35 ^{d)}
SUM25	0.15以下	0.90~1.40	0.07~0.12	0.30~0.40	
SUM31	0.14~0.20	1.00~1.30	0.040以下	0.08~0.13	
SUM31L	0.14~0.20	1.00~1.30	0.040以下	0.08~0.13	0.10~0.35 ^{d)}
SUM32	0.12~0.39	0.60~1.10	0.040以下	0.10~0.20	
SUM41	0.32~0.39	1.35~1.65	0.040以下	0.08~0.13	
SUM42	0.37~0.45	1.35~1.65	0.040以下	0.08~0.13	
SUM43	0.40~0.48	1.35~1.65	0.040以下	0.24~0.33	

a) Siについては、規定しない。ただし、受渡当事者間の協定によって、0.10%以下、0.10~0.20%、0.15~0.35%などの限界値又は範囲を決めることができる。b) この表に規定のない元素は、受渡当事者間の協定がない限り、溶鋼を仕上げる目的以外に意図的に鋼に添加してはならない。c) SUM22及びSUM22LのMnについては、受渡当事者間の協定によって、その上限値を1.10%とすることができる。d) 注文者の要求によって鉛含有鋼の鉛の製品分析を行う場合、鉛の製品分析値は、0.07~0.35%とする

表 2 被削性改善に対する成分の追加又は変更 (JASO M106)

付加記号	Mn				P	S	Pb	Ca
	基本鋼のMn規格下限が0.40未満のもの		基本鋼のMn規格下限が0.40以上のもの					
	下限	上限	下限	上限				
-L1	—	—	—	—	—	—	0.04~0.09	—
-L2	—	—	—	—	—	—	0.10~0.30	—
-S0	—	—	—	—	—	0.015~0.035		—
-S1	+0.20	+0.30	+0.10	+0.20	—	0.04~0.07		—
-S2	+0.30	+0.40	+0.20	+0.30	0.04以下	0.08~0.12		—
-U	—	—	—	—	—	—	—	0.0005~0.008

◇ 合金元素

1. 硫黄 (S)

硫黄は、安価で優れた被削性が得られる元素として最も古くから知られ、幅広く利用されています。鋼中の硫黄 (S) は、マンガン (Mn) と硫化マンガン (MnS) を形成し、圧延や鍛造方向に長く伸びた形状になります。このMnSによって主に次の効果が得られます。

(1) 工具と切り屑の間で潤滑剤になり、摩擦抵抗を下げます。その結果、切削抵抗を低下し、工具寿命を長くできます。(2) 応力集中源として働き、工具刃先前方で亀裂を誘発し、切り屑を破碎し

やすくします。

一方、被削性以外の面では、硫黄には次のような特徴があります。

(a) MnSが圧延や鍛造方向に長く伸びた形状になるため異方性 (圧延や鍛造方向とそれに直角な方向とで特性が異なること) が問題になることがあります。(b) 冷間鍛造割れや高周波焼割れ等が懸念されます。(c) 硫黄の多量な添加は溶解性を悪化します。(d) 硫黄はマンガンとMnSを形成するため、固溶マンガンを減少させ、鋼の焼入れ性を低下させます。そのためJASOの硫黄快削鋼はマンガン量を増加させた規格になっています。

表 3 快削鋼の特性比較¹⁾

			通常鋼	S	Pb	Ca-S	Ca-S-Pb
被削性	工具寿命	超硬合金（旋削）	×	×	○	◎	◎
		高速度鋼（旋削）	×	△	○	△	◎
		高速度鋼（穿孔）	×	○	◎	○	◎
	仕上げ面粗さ		×	△	○	△	○
	切り屑破碎性		×	△	◎	△	◎
機械的性質	強度		◎	◎	◎	◎	◎
	延性		◎	△	◎	△	△
	韌性		◎	△	◎	△	△
異方性	強度		◎	◎	◎	◎	◎
	延性		◎	×	○	×	×
	韌性		○	×	○	×	×

◎優れている ○良い △やや劣る ×劣る

2. 鉛 (Pb)

鉛も、硫黄と同じく、被削性を向上させる元素として古くから知られており、幅広く使用されています。特に切り屑処理性については硫黄より優れていると言われています。鋼中の鉛は、鉛単体の粒状介在物で、またはMnS等非金属化合物との複合介在物として存在します。この鉛介在物によって次の効果が得られます。

(1) 鉛は低融点(328℃)であるため、切削加工中の昇温で溶融または軟化し、切り屑を脆化し破碎しやすくします。(2) 工具と切り屑の間で潤滑剤となり、摩擦抵抗を下げます。その結果、切削抵抗を低下し、工具寿命を長くできます。(3) 応力集中源として働き、工具刃先前方で亀裂を誘発し、切屑を破碎しやすくします。

一方、被削性以外の面では、鉛には次のような特徴があります。

(a) 機械的性質、特に延性、韌性、疲労強度等の基本特性に及ぼす悪影響は比較的小さい。また、異方性についても鉛は粒状に分布するため悪影響は比較的小さい。ただしベアリングや高負荷歯車等においては面接触疲労寿命が低下する場合があります。(b) 鉛は低融点金属であることから部品の使用環境温度に十分注意する必要があります。(c) 鉛は環境負荷物質であるため、その使用が制限されつつあります。

3. カルシウム (Ca)

快削性元素としてのカルシウムの歴史は硫黄や

鉛よりも浅く、主に自動車用等の機械構造用部品に使用されています。カルシウムが被削性を向上するメカニズムは、硫黄や鉛と異なります。実際には、カルシウム単独で使用されることは少なく、硫黄または硫黄-鉛との複合で多く使用されます。

硫黄や鉛はそれ自身が被削性を直接向上するのに対し、カルシウムは工具寿命に有害なアルミナ(Al₂O₃)等を低融点介在物(CaO・SiO₂・Al₂O₃からなる複合酸化物であるアノーサイトまたはゲーレンナイト)に置き換えます。この低融点介在物が切削加工中の昇温によって軟化し、工具に保護被膜(ベラーク)として付着することにより、工具寿命を改善するのです。特に超硬工具を用いる高速切削で優れた工具寿命が得られます。

快削鋼の特性を表3にまとめます。加工条件や部品への要求仕様等に応じて快削性元素を選ぶことが重要です。

4. その他

以上の元素が主な快削性元素ですが、この他に、ビスマス(Bi)、セレン(Se)、テルル(Te)等を添加した快削鋼も開発されています。ビスマスの効果は鉛に似ていて、セレン、テルルは硫黄に似ていると言われています。

◇ 技術動向

快削鋼の歴史は古く、上述したJISやJASOに加えて、世界各国の主要な公的規格で、主に硫黄や鉛を添加した快削鋼が規格化され、幅広く使用さ

れています。

一方、環境負荷物質である鉛の使用を制限する動きがあることから、様々な快削性元素の鉛フリー快削鋼（鉛が添加されていない快削鋼）の開発が進められてきました。新しい鉛フリー快削鋼の中には、被削性向上が実際に確認されているものもあります。

被削性向上は部品製造プロセスの省エネルギー（省CO₂）につながります。環境保全型社会にむけて快削鋼の更なる貢献が期待されます。

参考文献

- 1) 快削鋼の製造技術の発展と品質の向上、第96回・97回 西山記念技術講座



9. ピアノ線材

(株)神戸製鋼所 鉄鋼アルミ事業部門 技術開発センター 線材条鋼開発部 **酒 道 武 浩**

◇ 概要

ピアノ線材は炭素鋼の1種であり、伸線加工により所定の線径まで減面することで使用される。伸線加工により得られる鋼線は鉄鋼製品の中で最高強度を誇る。その用途は文字通りピアノ用ミュージックワイヤをはじめ自動車用各種ばね、スチールコード、PC鋼線や橋梁用ケーブル、ソーワイヤなど輸送機器、インフラ、エネルギー分野と多岐に渡り、製品線径も0.1~7.0mmと様々である。ピアノ線材の歴史は古く、今からおよそ200年前にピアノの弦に採用されたのが起源と言われている。このように、昔から私たちの生活を支えてきたピアノ線材の特徴や各種製品の技術動向について紹介する。

◇ 要求特性

ピアノ線材に要求される特性は、主に引張強さと延性（捻回特性）である。最終製品の引張強さは

伸線前の引張強さ、加工硬化率および減面率（歪）で決まり、伸線前の強度および加工硬化率は化学成分およびマイクロ組織で決まる¹⁾。捻回特性が必要な理由は、製品使用時やワイヤロープなど伸線後に撚ってケーブル状に加工する際、鋼線にねじり応力が働くためである。捻回特性は捻回試験における破断回数や写真1に示す縦割れ（デラミネーション）の有無で評価され、化学成分や減面率が増すほど低下する。また各製品に共通する製造工程としては、脱スケールやパテンティング、伸線加工などがあり各工程での製造性も当然要求される。

◇ 規格

ピアノ線材は1951年に日本産業規格（旧日本工業規格）JIS G 3502に規定された。その後、社会環境や技術水準の変化に合わせて改訂が繰り返されて現在に至る。表1にピアノ線材の規格JIS G 3502で規定された品質項目を示す³⁾。ピアノ線材

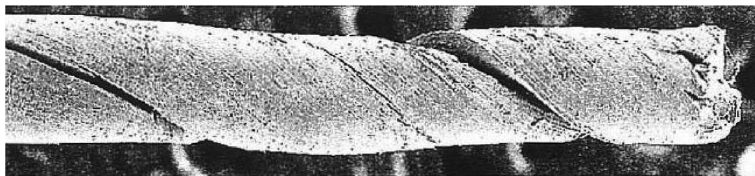


写真1 捻回試験でみられる縦割れ²⁾

表 1 ピアノ線材の品質規格

規格名	ピアノ線材
規格番号	JIS G 3502
製造方法	キルド鋼を熱間圧延して製造すること
脱炭層深さ	全脱炭層深さが ≤ 0.07 mm以下
線材径	5.5、6、6.4、7、8、9、9.5、10、11、12、13、14mm ※14mmを超える場合は当事者間の協定による
寸法精度	許容差 ± 0.30 mm、偏径差0.48mm以下
きず深さ	0.10mm以下
機械的性質 (引張強さ)	インラインパテンティングを施した場合、 SWRS62A~67Bなら指定値 ± 100 MPa SWRS72A~92Bなら指定値 ± 120 MPa
外観	使用上有害な欠点があってはならない

表 2 ピアノ線材の化学成分

鋼種名	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	V
SWRS62○	0.60～0.65	0.12～0.32	※1 A：0.30～0.60 B：0.60～0.90	0.025 以下	0.025 以下	0.20 以下	※2 0.30 以下	※2 0.10 以下
SWRS67○	0.65～0.70							
SWRS72○	0.70～0.75							
SWRS75○	0.73～0.78							
SWRS77○	0.75～0.80							
SWRS80○	0.78～0.83							
SWRS82○	0.80～0.85							
SWRS87○	0.85～0.90							
SWRS92○	0.90～0.95							

※1) Mn量に応じて鋼種名の最後にAもしくはBを記載。

※2) インラインパテントングを施す場合、当事者間の協定により添加してもよい。

には、化学成分や脱炭層深さ、寸法精度、表面疵に対して厳しい品質管理が求められる。

表2に示すようにピアノ線材は炭素量で9種類、またマンガン量で2種類、計18鋼種に分類され、鋼種名はSWRSxxx (Steel Wire Rod Springの略)と表記される。製品線径や要求強度に応じて適切な鋼種選定が必要となる。

◇ 化学成分

JIS G 3502には6種の化学成分の添加量が規定されており、それ以外の元素は溶鋼を仕上げる目的(脱酸、鑄造品質の安定化)以外に意図的な添加が禁じられている。しかし、熱間圧延後にインラインパテントングを行う場合には、さらにクロム(Cr)およびバナジウム(V)を添加することができる。以下に各化学成分の特徴を述べる。

1. 炭素 (C)

製品強度に最も大きく影響する元素である。C量が多いほど鋼中のパーライト組織(フェライトとセメンタイトの層状組織)の割合が高くなり線材の引張強さや加工硬化率が増すが、一方で延性は低下する⁴⁾。C量がばらつくとも製品強度もばらつくため、ピアノ線材ではC量の許容幅が0.05%と狭く管理されている。また線材の中心部にCが偏析すると鋼線の製造性や製品品質に影響するため、鑄造時やその後の熱間圧延工程で中心偏析を低減しておく必要がある。

2. シリコン (Si)

Siは鋼の焼入れ性を高めるとともにフェライトに固溶してフェライトを強化する。一方弊害とし

てフェライト脆化による伸線性や製品延性の低下、熱間圧延後の線材表面にSiを含んだ緻密なスケールが形成されることで脱スケール性の低下を招く可能性がある⁵⁾。

3. マンガン (Mn)

主に鋼の焼入れ性を高める元素である。線材の焼入れ性が低いとパテントングでの恒温保持の前にパーライト変態が開始し、微細で均質なパーライトが形成されず十分な製品強度や延性が得られない。そのためMnを添加して変態開始を遅延させ、均質なパーライト組織を得やすくする。一方、変態遅延により圧延後の冷却工程やパテントングの恒温保持中にパーライト変態が完了せず、硬くて脆いマルテンサイトが形成されるリスクが高まる点にも注意が必要である。

4. リン (P)

PはFe系状態図において固相線と液相線の間隔を拡大させて凝固偏析しやすいことで知られる⁶⁾。そのため凝固割れや熱間割れ(赤熱脆性)、伸線性の低下が懸念されることから、Pは極力少ないことが望ましい。

5. 硫黄 (S)

SはPと同様に凝固偏析が著しく、熱間圧延時に割れ(熱間脆性)を助長する元素であるが、Mnを添加することでMnS硫化物を形成しSを無害化できる。またMnSは軟質な介在物のため伸線時に伸びて分断し減面率が70%を超えると延性への影響が小さくなると言われているが⁷⁾、耐食性など他の特性への影響が懸念されるためなるべく低減することが望ましい。

6. 銅 (Cu)

Cuは原料として投入される鉄スクラップから混入し、酸化製錬によって除去することが困難なことからトランプエレメントとも言われる。また熱間圧延時に鋼材表面に濃化して粒界を脆化させ、さらに硫酸にほとんど溶けないため酸洗での脱スケール性にも影響する⁸⁾。ただし一般的に高炉材では電炉材に比べて鉄スクラップの使用量が少なくCu含有量は少なく影響は小さい。

7. クロム (Cr)

Crを添加するとオーステナイト中のC原子の拡散係数が減少するためラメラ間隔が微細化し線材の引張強さが増す⁹⁾。さらに伸線時の加工硬化率も増加するため伸線後の引張強さは確保しやすくなる¹⁰⁾。

8. バナジウム (V)

VはCと同等の強度向上効果がある¹¹⁾。これはV添加によりラメラ間隔が微細化するだけでなく、ラメラフェライト中のV炭化物のナノ析出やセメントタイトの格子定数の変化が影響していると考えられる¹²⁾。

◇ 技術動向

ピアノ線材を用いて作られる代表的な製品の技術動向についても紹介する。

1. スチールコード

自動車用タイヤの補強材として使用されるスチールコードは、レーヨンやナイロンなど化学繊維系補強材に比べて高い剛性率と熱伝導性を有する。そのため、タイヤの寿命向上だけでなく高い走行性と操縦安定性をもたらす。スチールコードの量産化が始まった1970年代初めは主にC量が0.7%の炭素鋼が用いられ、その引張強さは2,800MPa程度であった。その後、燃費改善を背景にタイヤの軽量化や転がり抵抗低減のために高強度化が進み、現在では4,000MPa級が普及している¹³⁾。更に4,000MPaを超える超高強度タイヤコードの追求もなされており、実用化にはデラミネーションの抑制が課題である。

2. 橋梁用ケーブル

吊橋や斜張橋を支える橋梁用ケーブルは風雨や

海水といった腐食環境に長期間晒されるため、ケーブルを構成する鋼線には防食目的として伸線加工後に亜鉛めっき処理が施される。しかし400℃を越す溶融亜鉛に浸漬するため、鋼線が軟化し引張強さが低下するという問題があった。1990年代までは0.8%Cのピアノ線材で引張強度は1,570MPa級が限界であったが、1998年に竣工した明石海峡大橋メインケーブル用亜鉛めっき鋼線にはSi添加鋼を採用することで引張強さは1,770MPa級を達成した¹⁴⁾。最近では橋梁用で最高強度クラスとなる1,960MPa級の実用化も進んでいる。引張強さが上がるとケーブルを軽量化でき、支間長の拡大や工期短縮、コスト低減が可能となることから亜鉛めっき鋼線にはますます高強度化が期待される。

3. ソーワイヤ

ソーワイヤは直径0.1mmと髪の毛ほどの極細線で、太陽電池パネルなどの原料であるシリコンインゴットをウエハ状に切断するワイヤである。線径が太いとウエハの生産歩留が低下するためソーワイヤには常に細径化が要求される。最近では0.05mm以下の超極細ソーワイヤも市場投入されており、その量産化には加工技術だけでなく断線の起点となる介在物を極限まで低減する清浄度化技術や品質検査するための介在物検出技術の開発も重要となる¹⁵⁾。

参考文献

- 1) 落合征雄ら：まてりあ、33 (1994)、444
- 2) 南田高明：特殊鋼、64 (2015)、33
- 3) 日本規格協会：JIS ハンドブック 鉄鋼Ⅱ (2021)、1755
- 4) 田代均ら：日本金属学会誌、55 (1991)、1232
- 5) 武田実佳子ら：神戸製鋼技報、55 (2005)、31
- 6) 日本金属学会：講座・現代の金属学 材料編4 鉄鋼材料、(1985)
- 7) 金子晃司ら：鉄と鋼、2 (1980)、76
- 8) 小若正倫：日本金属学会会報、12 (1973)、533
- 9) 本庄稔ら：鉄と鋼、101 (2015)、221
- 10) 樽井敏三ら：新日鉄技報、381 (2004)、51
- 11) 高橋稔彦ら：鋼構造論文集、1 (1994)、119
- 12) 前島健人ら：鉄と鋼、104 (2018)、673
- 13) 隠岐保博：ふえらむ、8 (2003)、627
- 14) 高橋ら：材料とプロセス、5 (1992)、881
- 15) 杉谷ら：神戸製鋼技報、71 (2021)、70

10. 高張力鋼

日本製鉄(株) やなぎ だ かず とし
 厚板・建材事業部厚板技術部厚板技術室 主幹 柳田和寿

◇ 概要・要求特性

JIS鉄鋼用語では高張力鋼は「建築、橋、船舶、車両、自動車その他の構造物及び圧力容器用として、通常、引張強さ490N/mm²以上で溶接性、切欠きじん性及び加工性も重視して製造された鋼材。冷延鋼板では引張強さ340N/mm²以上を高張力鋼という」と定義されており、炭素以外の合金元素を少量添加し、また、製造工程を工夫して溶接性、

切欠きじん性、加工性を向上させている。

◇ 規格

高張力鋼の最も一般的な分類は強度によるもので、記号と強度の組み合わせで呼ばれる。各種用途に応じてJISで規定されている主要な規格の概要を表1に示す。また、鉄鋼各社毎に、○○○MPa級高張力鋼板等の名称が用いられる。

表 1 主要高張力鋼の規格の概要

規格名	記号	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
JIS G3106 溶接構造用圧延鋼材	SM490	≥315	490/610
	SM490Y	≥355	
	SM520	≥355	520/640
	SM570	≥450	570/720
JIS G3115 圧力容器用鋼板	SPV315	≥315	490/610
	SPV355	≥355	520/640
	SPV410	≥410	550/670
	SPV450	≥450	570/700
	SPV490	≥490	610/740
JIS G3128 溶接構造用 高降伏点鋼板	SHY685	≥685	780/930
	SHY685N		
	SHY685NS		
JIS G3114 溶接構造用 耐候性熱間圧延鋼材	SMA490W	≥355	490/610
	SMA490P	≥355	
	SMA570W	≥450	570/720
	SMA570P	≥450	
WES 3001	HW355	≥355	520/640
	HW390	≥390	560/680
	HW450	≥450	590/710
	HW490	≥490	610/730
	HW550	≥550	670/800
	HW620	≥620	710/840
	HW685	≥685	780/930
	HW785	≥785	880/1030
	HW885	≥885	950/1130

◇ 合金元素

鋼は炭素含有量の増加にともなって強度も増加するが、一方、溶接性が低下する。そのため高張力鋼では炭素含有量を増加させるかわりに、合金元素の少量添加、製造工程を工夫して溶接性、切欠きじん性等を損うことなく強度を高めている。鋼の強化要因としては、次のようなものがある。

1. 固溶強化：フェライトに固溶して強化する。
2. 析出強化：フェライト中に固溶した元素（たとえばNb、V、Ti等）が炭素または窒素と結合し炭（または窒）化物として結晶粒界や粒内に微細析出して強化する。
3. 変態組織強化：高温のオーステナイト域から早く冷却されるとベイナイトやマルテンサイトに変態する。変態により結晶粒の微細化、転移密度の増加、析出物の分散、固溶原子の増加等により強化する。

4. 結晶粒の微細化：結晶粒を微細化すると降伏強さは増加する。しかも切欠きじん性も改善される。

一般的に高張力鋼に添加される各種合金元素の強化機構を表2に示す。また、各種合金元素の固溶強化の程度を図1に示す。

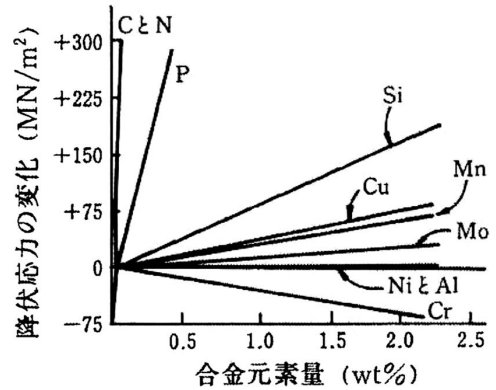


図 1 低Cフェライト鋼における固溶強化

表 2 各種合金元素の強化機構

元素	強化機構			
	細粒強化	固溶強化	析出強化	変態強化
C	-	○	○	○
Si	-	○	-	-
Mn	○	○	-	○
Cu	-	○	○	-
Cr	-	○	-	○
Ni	-	○	-	○
Mo	-	○	-	○
Nb	○	-	○	-
V	○	-	○	-
N	-	○	○	-

11. マルエージング鋼

日立金属(株) おおししかつひこ
冶金研究所・特殊鋼研究部 大石勝彦

まえがき

マルエージング鋼は、1950年代の終わりに、The International Nickel Company (略称INCO) で開発された鋼である¹⁾。固溶化処理によりオーステナイト組織となり、その後の冷却によりマルテンサイト化し、このマルテンサイト組織を時効処理することで析出強化するのでマルテンサイトのエージング、すなわちマルエージング (Maraging) と言われている。

一般的なマルエージング鋼は、Cをほとんど含まないFe-Ni-Coを母相成分とし、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鋼である。固溶化処理状態では高密度の転位を含むマルテンサイト組織であるが、Cを含まないため硬さは300HV前後と軟らかく加工性や溶接性に優れている。時効処理後の熱処理変寸も少なく、仕上げ加工も容易である。高い比強度と良好な加工性が得られることから、宇宙、海洋開発、原子力、航空機などの先端的技術分野から、自動車、各種加圧容器、工具類などの一般産業分野など、様々な用途で使用されている。

マルエージング鋼には18Ni、20Ni、25Niなどの鋼種が開発されているが、18Niが最も広く用いられている。18Niマルエージング鋼の代表的な化学組成および機械的特性 (引張特性) を表1に示す²⁾。各グレードの250~350は、0.2%耐力レベル (単位

ksi : 1ksiは約7MPa) を示している。また、強度が高いほど析出強化に寄与する合金元素量が多く、その強化量はMo当量 (Mo (%) + Co (%) / 3 + 3Ti (%)) に比例し、Mo当量1%当たり100MPa程度の強度上昇が報告されている³⁾が、強度レベルは主にTi量によって調整される。YAG[®]285は、高価な合金元素のMo、Co量を低減する一方で、Ti添加量を高めることで高い強度を得た鋼である。

◇ 化学成分と熱処理

マルエージング鋼の基本成分はFe-X-Yと示されるように最低でも3元素が必要である⁴⁾。Xはマルテンサイト変態に必要な元素であり、一般にオーステナイト安定化元素のNi、Coが選ばれる。Yは析出に必要な元素であり、Mo、Tiが選ばれ、それぞれ金属間化合物を形成し強化に寄与する。高い強度を得るためには金属間化合物を多量に析出させるのが有効であり、この構成元素を多く添加するほど析出強化の向上が期待できる。

マルエージング鋼の熱処理は、先述したようにマルテンサイト組織を形成する固溶化処理と金属間化合物を形成する時効処理の2段階で行われる。固溶化処理は800℃~900℃の温度域で行われ、昇熱過程でマルテンサイトから約500℃から逆変態オーステナイトが生成するが、事前に冷間加工などにより材料中に歪を付与した状態であれば、さらに加熱温度を高めることでオーステナイト粒は

表 1 代表的な18%Niマルエージング鋼の化学成分および引張特性

グレード	鋼種名	化学成分						引張試験			
		Ni	Co	Mo	Ti	Al	Fe	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
250	YAG250	18	8	5	0.4	0.1	Bal.	1,700	1,790	13	52
300	YAG300	18	9	5	0.9	0.1	Bal.	1,910	2,010	10	48
350	YAG350	18	12	4	1.7	0.1	Bal.	2,310	2,400	8	45
285	YAG285	18	0.5	2	1.9	0.1	Bal.	1,860	1,950	11	50

注) “YAG”は日立金属(株)の登録商標です。

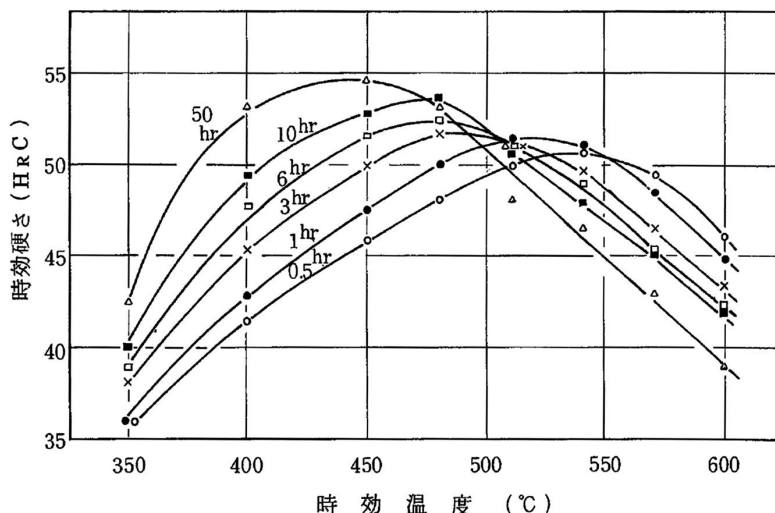


図 1 グレード250の時効条件と硬さの関係 (図中の数値は保持時間)

再結晶し、結晶粒は微細化される。形成されたオーステナイト組織をその後冷却することでマルテンサイト組織が得られる。

時効処理は500℃前後で行われ、一般的には時効温度が低くなるほど最高硬さは高まるが、時効処理に要する時間は長時間化するため、時効処理条件は特性と製造性の観点から選ばれることが多い。代表的な例としてグレード250を820℃で溶体化処理をした後に、各時効温度と時間で処理を行った時の時効硬さを図1に示す²⁾。CoとMoを含むマルエージング鋼の時効過程では、最高時効状態で金属間化合物として板状Ni₃MoおよびNi₃Tiが微細析出する。MoやTiは析出物を形成し直接的に強化に寄与するが、Coは固溶状態でマルテンサイト組織の靱性を向上させるとともにMoの固溶度を下げてMo系の金属間化合物の時効析出過程を早める働きがあり、間接的に時効析出に寄与する元素である⁵⁾。

◇ 最近の傾向

マルエージング鋼はその高い強度や靱性が特徴であるが、これらの特性に対して鋼中の不純物元素や非金属介在物は特性に大きく影響を及ぼすため低減する必要がある。そのため真空誘導溶解炉

や、さらには真空アーク再溶解などの二重溶解を用いた特殊溶解技術⁶⁾が有効であり使用用途に応じて適宜使用される。

また、航空機エンジン部材としてマルエージング鋼をベースとした高強度材も開発されており、Cや炭物形成元素を添加することで、従来のマルエージング鋼の強化機構である金属間化合物に加えて炭化物強化を利用して高強度化を実現している⁷⁾。

その他にも、マルエージング鋼の優れた特徴から積層造形技術分野での応用も検討されており、今後も新たな用途が見出されることが期待される。

参考文献

- 1) 大和久重雄：日本金属学会会報、Vol. 3、No. 12 (1964)、P. 719-728
- 2) 日立金属株式会社 安来工場技術資料 No. 231、YSSマルエージング鋼YAG
- 3) 河部義邦：日本金属学会会報、Vol. 14、No. 10 (1975)、P. 767-777
- 4) 鈴木朝夫：鉄と鋼、Vol. 59、No. 6 (1973)、P. 822-841
- 5) 中村峻之、細見広次：自動車技術、Vol. 42、No. 6 (1988)、P. 705-710
- 6) 岸上一郎、稲葉栄吉、菅洋一：日立金属技報、Vol. 28 (2012)、P. 46-49
- 7) Ferrer L. Cryogenic treatment of martensitic steel with mixed hardening、Patent CA2777034 A1—Snecma

12. 超合金

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 おおきゆうたろう
耐食・耐熱材料研究室 大木 優太郎

◇ 概要

超合金 (Superalloy) は、自動車の内燃機関、航空機や発電用のガスタービン、さらにはロケット用エンジンや化学石油プラントなど、耐熱鋼やステンレス鋼よりも過酷な耐熱性および耐食性が求められる部位で使用される。超合金の成分に明確な定義はないが、一般的にはFe含有量が50%以下であり、主成分によってFe基、Ni基およびCo基に分類される。また、その製法によって展伸合金と鋳造合金に分類され、近年は金属粉末を用いた積層造形法による製造も行われている。

超合金は使用される用途により求められる機械的特性や耐腐食特性が異なり、それらに対応するため種々の化学成分が添加されている。代表的なブランドとしてInconel® (Huntington alloysの登録商標) やHASTELLOY® (Hayes Internationalの登録商標) などが良く知られている。本稿では、

これまでに開発された超合金を広く紹介するとともに、その合金元素の役割を概説する。

◇ 要求特性

表1に代表的な超合金の化学組成と主な用途を示す。耐食用途としてはステンレスでは耐えられない非常に腐食性の強い過酷な環境で使用され、それぞれの環境に応じて材料が選定される。一方、耐熱用途として求められる機械的特性は高温引張強度、クリープ寿命および疲労強度などが挙げられ、さらに耐酸化性や耐高温腐食特性などが求められる場合が多い。実際は用途によって重視される特性が異なり、例えば、同じガスタービン機構だが、航空機ジェットエンジンでは離着陸やエンジンのオンオフのサイクルで発生する応力に対する疲労強度が重視されるのに対し、発電用ガスタービンは数万時間稼働し続けるため、耐クリープ特性が重視される。また、長時間高温に曝され

表 1 代表的な超合金の化学成分と主な用途

	製法	耐食	耐熱	合金名											その他	用途
				Ni	Co	Fe	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	C			
Fe基	展伸	○		SUH660	26	—	Bal.	15	1.3	—	0.2	2	—	0.05	0.8V, 1.4Mn, 0.015B	タービンロータ、ボルト、ブレード、シャフト
	展伸	○		Incoloy 800	32.5	—	Bal.	21	—	0.3	0.4	—	0.08	0.8Mn	シースヒータ外管、化学・石油化学工業の熱交換機配管、原子力蒸気発生管	
	展伸	○		Incoloy 800H	32.5	—	Bal.	21	—	0.4	0.4	—	0.03	0.8Mn	化学・石油化学工業の反応・分解設備の熱交換機・配管・鋼製部材	
	展伸	○		Incoloy 825	42	—	Bal.	21.5	—	—	0.8	—	—	0.03	0.8Mn	硫酸洗浄プラント内の加熱コイル、燃料要素の溶解槽 海水冷却型熱交換機、石油精製所の空気冷却型熱交換機
	展伸	○		Incoloy 25-6Mo	25	—	—	—	20	6.5	—	—	—	—	0.8Cu, 0.2N	オフショア・プラネットフォーム設備・機器 石油化学工業および海水冷却装置のチューブ
	展伸 鋳造	○ ○		N155	20	20	Bal.	21	3	2.5	—	—	—	0.15	1.5Mn, 0.15N	高温用ボルト、熱処理用具
Ni基	展伸	○	○	Inconel 600	Bal.	—	10	16	—	—	—	—	—	0.08	0.5Cu	化学・食品工業の製造装置、熱交換機、原子炉部品、電子機器部品
	展伸	○	○	Inconel 625	Bal.	1	5	21.5	9	—	0.2	0.2	3.6	0.05	—	化学工業製品製造設備、核融合炉設備
	展伸	○		HASTELLOY X	Bal.	1.5	18	22	9	0.6	—	—	—	0.1	—	ガスタービン部品、工業部材、熱処理設備、原理力設備
	展伸	○		HASTELLOY C-276	Bal.	2	5	16	16	4	—	—	—	0.01	0.3V	公害防止排煙脱硫装置 (FCD)、化学工業設備、バルブ・製紙工場設備
	展伸	○		HASTELLOY C-22	Bal.	2	3	22	13	3	—	—	—	0.01	0.3V	化学薬品製造設備、年商が果脱硫装置 (FCD)、有害・廃棄物焼却設備
	展伸	○		Inconel X-750	Bal.	—	8	16	—	—	0.8	2.5	—	0.08	Nb+Ta=1	ガスタービン・ロケットエンジン部品、航空機・原子炉部品、圧力容器、耐熱スプリング
	展伸	○		Nimonic 80A	Bal.	—	1.5	20.5	—	—	1.4	2.3	—	0.1	—	陸上・船用内燃機関用排気バルブ、ガスタービン部品
	展伸	○		Nimonic 90	Bal.	18	1.5	19.5	—	—	1.4	2.4	—	0.1	—	ジェットエンジン、内燃機関の部品、航空・宇宙のファスナー
	展伸	○		Inconel 751	Bal.	—	7	16	—	—	1.2	2.4	1	0.1	0.003B	航空機・ガスタービン・ロケット・人工衛星・宇宙船の部品 原子炉部品、核燃料スベーパー・スプリング、熱間押出工具
	展伸	○		Inconel 718	52.5	—	Bal.	19	3	—	0.5	0.9	5.1	0.04	—	航空機・ガスタービン・ロケット・人工衛星・宇宙船の部品 原子炉部品、核燃料スベーパー・スプリング、熱間押出工具
	展伸	○		Nimonic 263	Bal.	20	0.7	20	6	—	0.5	2.1	—	—	—	ガスタービンのリング・ケーシング その他板材からの高温用加工部品
	展伸	○		Waspaloy	Bal.	13	1	19	4	—	1.4	3	—	0.05	0.005B	ジェットエンジン・ガスタービンの回転体等の部品
	展伸	○		Udimet 520	Bal.	12	—	19	6	1	2	3	—	0.04	0.007B	ガスタービン部品
	展伸	○		Udimet 720	Bal.	15	—	16	3	1.3	2.5	5	—	0.06	0.015B, 0.04Zr	ジェットエンジンのタービンパケット、翼車用高温ボルト
鋳造	○		Inconel 713C	Bal.	—	—	12.5	4.2	—	6.1	0.8	2.2	0.12	0.012B, 0.1Zr	自動車用ターボ部品、プレス鍛造金型、タカスト金型	
鋳造	○		Mar-M246	Bal.	10	—	9	—	10	5.5	1.5	—	0.15	1.5Ta, 0.05Zr	自動車用ターボ部品、エンジンノズル	
鋳造	○		Mar-M247	Bal.	10	—	8.3	—	9.5	5.5	—	—	0.08	3Ta, 1.5Hf	自動車用ターボ部品、ガスタービン動翼	
鋳造	○		CMSX-4	Bal.	9.6	—	6.6	0.6	6.4	5.6	1	—	—	6.5Ta, 3Re	ジェットエンジン動翼	
鋳造	○		TMS-238	Bal.	6.5	—	4.6	1.1	4	5.9	—	—	—	5.6Ta, 6.4Re, 5.0Ru	ジェットエンジン動翼	
Co基	展伸	○		L605	10	Bal.	1.5	20	—	15	—	—	—	0.1	1.5Mn, 0.15N	ガスタービンエンジン、ペアリング用部品
	展伸	○		X40	10.5	Bal.	—	25.5	—	7.5	—	0.2	—	0.05	0.75Si	航空機用ノズルベーン

ると組織変化が生じ、初期よりも強度が低下してしまうため長時間組織安定性も重視される。このように、様々な使用環境に適した材料を、経済性を考慮しながら多種多様なラインナップの中から使い分けている。

◇ 規格

日本ではJIS4901、4902の耐食耐熱超合金内でNCF合金として規格化されている。しかし、JIS規格ではInconel 600番台、700番台、Incoloy[®]800番台（Huntington alloysの登録商標）やNimonic[®]80A（Specials Metals Wigginの登録商標）がラインナップされているのみで、規格化されている数は少ない。一方、海外規格ではASTM（旧称：米国試験協会）、AMS（航空宇宙用材料規格）、ASME（米国機械学会）、API（アメリカ石油協会）、DIN（ドイツ規格協会）規格など、用途に応じて規格化がされている点特徴的であり、JIS規格に登録されていない合金も多い。

◇ 合金解説

超合金は主に固溶強化型と析出強化型に分けられ、特に析出強化型では特異な強化機構が確認されている。析出強化型の析出物は主に炭化物と金属間化合物があり、炭化物はMC、M₇C₃、M₆C、M₂₃C₆（M＝金属元素）などの炭化物を晶出あるいは析出させることで高温強度の向上を図っている。一方、金属間化合物は添加される合金元素の選択により多様な化合物を形成するが、その中でもγ'-Ni₃Al相は高温ほど強度が増加する逆温度依存性を有するため、多くの耐熱合金の析出強化相として利用されている。図1にNi基合金中に析出した

γ'相の組織写真を示す。一般的に、熱間加工性の点から鍛造合金のγ'相体積率は約50%以下に制限されており、その析出形態は（a）に示すUdimet[®]520（Specials Metalsの登録商標）に析出したγ'相のように球状を取ることが多いが、化学成分や熱処理条件によっては花卉状など様々な形態となる。一方、熱間加工が不要な鑄造合金ではγ'相体積率は50%を超えており、代表的な鑄造合金である（b）Inconel 713Cでは立方体状に析出する。耐熱合金の多くはγ'相で強化されているが、ガスタービンのディスクなどで多く使用されているInconel 718ではγ'相だけでなくγ"-Ni₃Nb相が粒内に析出し、粒界にδ-Ni₃Nb相が析出した組織とすることで優れた高温強度が得られる。他にも超合金中にはη相、σ相、μ相など種々の金属間化合物が析出することがあるが、これらの相の多くは特性を低下させてしまう場合もあるため、使用環境を理解して材料選定を行うことが重要である。

◇ 合金元素

超合金はFe、NiおよびCoを主成分としたオーステナイト相で構成される。Feは安価なため広く用いられているが、耐熱および耐食用途としては限界があり、厳しい環境ではより高価なNiをベースとした合金が用いられる。Co基合金も優れた耐熱性を有しているが、非常に高価であることからNi基、Fe基ほど多くの材料開発はされていない。

CrはM₂₃C₆等の炭化物を形成し、高温強度を向上させる他、高温では緻密な酸化物スケールを表面に形成し耐酸化性を向上させる効果がある。また、耐食用途においても表面に不動態皮膜を形成し耐食性を向上させるため、ほとんどの超合金に

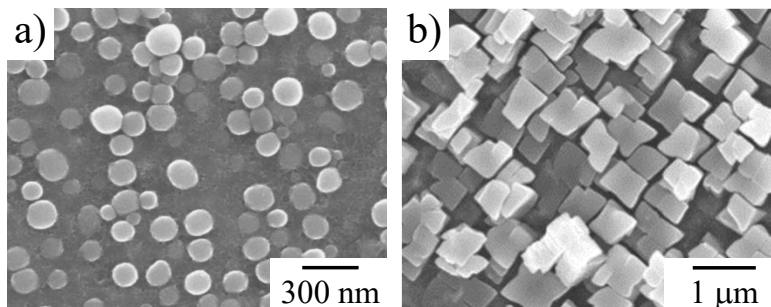


図 1 (a) Udimet 520、(b) Inconel 713Cに析出したγ'相

添加されている。

Moはオーステナイト相の固溶強化元素であり高温強度を向上させるが、耐酸化性や組織安定性を低下させるため適正量の添加が求められる。一方、耐食用途では不動態皮膜を安定化させる効果があり、HASTELLOY C-22やHASTELLOY C-276のような高耐食合金には多量に添加されている。

WはMo同様にオーステナイト相の固溶強化元素であり高温強度を向上させるが、添加すると比重が大きくなってしまいうため、多量の添加は好ましくない。また、Mo同様に耐食性の向上にも寄与する。

Alは γ' 相を形成するため、耐熱合金には非常に重要な元素である。耐熱性の向上には γ' 相体積率の増加が効果的であり、耐熱性の高い合金ほど多量に添加されている。しかし、 γ' 相体積率の増加は熱間加工性を低下させるため、 γ' 相体積率は製造方法に応じて調整される。また、Alは高温で緻密な酸化物スケールを形成するため、Cr同様に耐酸化性の向上に寄与する。

Ti、Nbは γ' 相に固溶し、 γ' 相自体の高温強度を向上させる。また、Nbを多量に添加すると準安定相である γ'' 相が析出し、高温強度を向上させるが、いずれの相も長時間高温に曝されると、 η -Ni₃Ti相および δ -Ni₃Nb相に相変態し、高温強度の低下を招いてしまう。

Ta、Hfも同様に γ' 相に固溶し、 γ' 相自体の高温強度を向上させ、その効果はTi、Nbよりも高いが、高価な元素であるため、より高い耐熱性が要求される自動車のタービンホイールやガスタービン動翼などで使用される鋳造合金のMar-M246、Mar-M247などに添加されている。さらに近年は、ジェットエンジン動翼用単結晶Ni基鋳造合金であ

るCMSX-4[®] (Cannon Muskegonの登録商標) やTMS[®]-238 (国立研究開発法人 物質・材料研究機構の登録商標) において、ReやRuが添加され、さらなる高温強度や組織安定性の向上が図られている。

CはCr、Mo、W、Ti、Nb、Ta、Hfなど多くの金属元素と結びつき、MC、M₇C₃、M₆C、M₂₃C₆ (M=金属元素) などの炭化物を形成し、高温強度の向上に寄与する。ただし、過度な炭化物の形成は加工性を低下させるため、添加量には注意が必要である。一方、耐食用途においてCはCrやMoの炭化物を形成することで、母相のCrやMoの含有量を低下させ、耐食性を低下させる。

B、Zrは粒界強化元素であり、微量の添加でクリープ特性を改善することから耐熱合金には微量添加されることが多い。

◇ 技術動向

これまで自動車の内燃機関、航空機エンジン、火力発電のガスタービンなどの熱効率向上を目標に、耐熱性の向上を目指した合金開発が世界中でなされてきた。特に近年では、実験結果をデータベースに蓄積し、計算科学を用いて合金特性の予測や成分設計に活用するMI (Materials Informatics) という手法が用いられるようになってきており、高精度な材料開発が主流になりつつある。一方で、最近の急激なカーボンニュートラルへのシフトにより、自動車の内燃機関からEV、FCVへの転換、火力発電から再生可能エネルギーへの転換などが急速に進んでいる。しかし、新しい燃料としてバイオマスや水素などを利用した内燃機関やガスタービンの技術開発も進んでおり、高温強度だけでなく種々の燃料による使用環境の変化に対応することが、今後の材料開発の鍵を握るだろう。

13. 電子材料

(株)日立金属 ネオマテリアル 技術開発部 技術開発グループ やまもと しんじ 山本晋司

◇ 概要

電子材料とは、材料が持っている特異な物性を活かして、電子機器（モバイル端末、ディスプレイ、パソコン等）に利用する材料の総称である。用途別に要求特性が異なり、機械的強度、熱膨張、熱伝導、耐食性などが要求されるケースが多く、金属材料に限らず無機材料や有機材料、複合材料などが挙げられる。本稿では、特殊鋼に位置づけられるFe-Ni系合金を中心とした金属材料で、この合金の特徴である熱膨張特性と磁気特性に限定して、その合金元素の役割について解説する。

◇ 要求特性および鋼種解説

熱膨張特性

Fe-Ni系合金の特徴の一つに金属としては低い熱膨張率を持つことが知られており、室温付近の熱膨張率はNiが36mass%（以下、組成は全てmass%で表記）付近で極小を示す。1896年にフランスのGuillaumeにより発見されて以来、この付近の組成のFe-Ni合金はインバー合金と呼ばれ、温度上昇に伴い格子振動に起因する熱膨張と、自発磁化による体積ひずみが小さくなることに起因する収縮が打ち消しあうために熱膨張率が小さくなると理解される¹⁾。この合金は強磁性体であり、低熱膨張特性には磁性が関係していることから上記特性を示すのはキュリー温度以下での話である。

また、Fe-Ni系合金にCoを添加するとキュリー温度を高めることができるため、更に高い温度域まで低熱膨張率を維持できるようになる。図1に示すFe-29%Ni-16%Co合金は、低温域（室温～約350℃）ではFe-36%NiやFe-42%Niより大きい熱膨張率を示すが、400℃以上の高温域まで硬質ガラスと近い熱膨張特性を有していることが分かる。

磁気特性

Fe-Ni系合金は優れた軟磁気特性を有しており、パーマロイと呼ばれる代表的な高透磁率材料であ

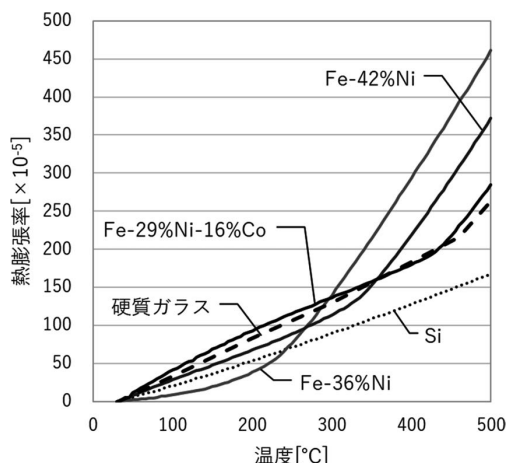


図 1 各種材料の熱膨張特性

る。パーマロイは、部品形状に加工した後に1000℃以上に保持した水素雰囲気炉中または真空炉中で、磁性焼鈍と呼ばれる熱処理を施して結晶粒を粗大化させた状態で使用されるのが一般的である。用途によって求められる磁気特性は異なるが、基本的には高透磁率（磁化され易いこと）と高飽和磁束密度（磁化された際の磁力が強いこと）が求められる。

Fe-Ni合金の初透磁率 μ_i は、図2のようにNiが78%付近で著しい極大値を示す。これは、磁気異方性（結晶の方位による磁化されやすい程度）と磁歪（磁化されたときに歪む程度）がともに0に近づくことに起因している。Niが約50～90%の組成範囲では、冷却の方法によって規則格子 Ni_3Fe が生成し磁気異方性が著しく変化することが知られており、78%Ni付近の合金を高温から急冷して規則格子の生成を抑えると高い透磁率が得られる。Fe-Ni系合金では冷却過程での規則格子の生成速度が非常に速いため、工業的規模の熱処理では生成量のコントロールが困難である。第3元素としてMoやCu等を添加すると冷却速度の遅い徐冷処理であっても規則格子の生成を抑制する効果が得られるため、規則格子の生成をコントロールし易くなる³⁾。78%Ni付近の組成をベースに、これらの

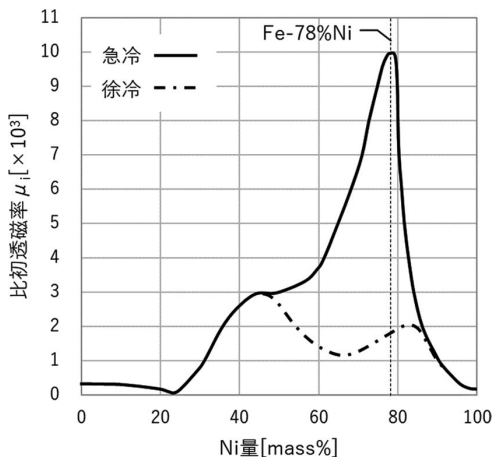


図 2 Fe-Ni系合金のNi量と透磁率の関係²⁾

合金元素を単独あるいは複合添加した材料は、PCパーマロイと呼ばれ、急冷が不要で、徐冷時の冷却速度を制御することによって高透磁率が得られる実用的なパーマロイである。PCパーマロイは、磁歪と磁気異方性をゼロ近傍にしつつ、かつ規則格子の生成を抑制するように成分調整されており、現在でも実用されている。

PAパーマロイは、この透磁率が極大になるFe-Ni組成が利用されており、更にMo、Cu等が添加されたPCパーマロイは透磁率が大幅に向上する⁴⁾。

磁性材料が持つもう一つの特徴にキュリー温度がある。磁性材料は温度上昇により磁気特性が低下していき、透磁率が空気とほぼ同じになる温度をキュリー温度という。キュリー温度を利用した材料を感温磁性材料と呼び、キュリー温度は材料の組成を変化させることによってコントロールすることができる。代表的な感温磁性材料にはFe-Ni合金やFe-Ni-Cr合金などがある。

◇ 技術動向

熱膨張特性

Fe-42%Niにて半導体Siの熱膨張率とほぼ同等と

なるため、この組成はリードフレーム材料として利用されている。Fe-Ni-Co合金は、高温域までの低熱膨張特性を利用して硬質ガラスやセラミックの封止材料として用いられている。また、近年では自動車の電動化等に伴いパワーデバイスが高温動作する傾向があり、長期信頼性を確保するために熱応力を緩和する目的でFe-Ni系合金を選択するケースが増えてきている。

磁気特性

PCパーマロイは、その高透磁率特性を活かし、微弱な電流を検出する高感度の電流センサや、微弱な磁気を遮蔽する磁気シールド材として使用されている。Fe-45%Ni合金とその周辺組成の合金はPBパーマロイと呼ばれ、高飽和磁束密度と高透磁率特性を利用して電動パワーステアリング用のトルクセンサ部材やウォッチ時計のステップモータ用ヨーク材等に使用されている。また、感温磁性材料としてはIH（誘導加熱）機器への応用が進んでいる。IH方式は発熱効率が高いことにより急速加熱が可能となるが、必要以上の発熱を招く危険性がある。過剰な発熱を防止するために加熱対象物の温度をモニタリングしてIH出力を制御する機構を設ける必要があるが、加熱対象物に感温磁性材料を採用することで、加熱対象物がキュリー温度以上の温度に上がることがなくなるため高精度な温度制御が可能になり、より高い安全性が得られる。プリンターのインク定着部品や急速加熱機器への応用が進んでいる。

参考文献

- 1) 深道和明：日本金属学会会報「まてりあ」Vol. 36 (1997) pp 1064-1069
- 2) RICHARD M. BOZORTH: "Ferromagnetism" D. Van Nostrand Company, Inc. (1951) pp 102-115
- 3) 金子秀夫、本間基文：「磁性材料」日本金属学会 (1977) pp 149-152
- 4) 横山紳一郎：「特殊鋼」Vol. 68 (2019) pp 57-59

14. 電磁鋼板

JFEスチール(株) スチール研究所 おだよしひこ
電磁鋼板研究部 部長 尾田善彦

◇ 電磁鋼板の主な用途と求められる特性

電磁鋼板は変圧器やモータの鉄心材料として使用されており、電気エネルギーを磁気エネルギーに変換するキーマテリアルです。電磁鋼板の歴史は古く、1900年に英国のHadfieldが鉄にSiを添加することにより鉄損が低下する現象を発見したことに端を発しており¹⁾、電磁鋼板は別名けい素鋼板とも呼ばれています。

電磁鋼板は無方向性電磁鋼板と方向性電磁鋼板に大別されます。無方向性電磁鋼板は磁気特性の異方性が小さいことから、主にモータや発電機の鉄心材料として用いられており、最近では電気自動車や風力発電機の普及にともない需要が急拡大しています。一方、方向性電磁鋼板はその組織制御の難しさから鉄の芸術品とも呼ばれており、圧延方向に極めて優れた磁気特性を有していることから主に変圧器の鉄心材料として使用されています。

電磁鋼板には、鉄心を磁化した際の損失が小さいこと（低鉄損）、少ないエネルギーで磁化できること（高磁束密度、高透磁率）が求められており、用途によってはさらに高強度や高疲労強度、優れた熱伝導率も求められます。これら特性を満たすため、以下に述べる成分制御以外に、板厚を比較的薄くすること（0.2~0.5mm程度）、鋼板表面に絶縁被膜を塗布すること、製造プロセス最適化により磁気特性に好ましい組織に制御することが行われています。

◇ 電磁鋼板における鋼中元素の役割

電磁鋼板の磁気特性に及ぼす添加元素の影響については古くから多くの研究がなされています。また、最近では高強度化の観点から様々な元素を添加する試みもなされています。ここでは無方向性電磁鋼板の磁気特性に及ぼす鋼中元素の影響について述べます。

1. Cの影響

鋼中のCが炭化物として析出し、磁気特性を劣

化させる現象は磁気時効として古くから知られています²⁾。これは炭化物が磁壁（磁区と磁区の境界）の移動を妨げるためであり、無方向性電磁鋼板ではC量は数10ppm以下に管理されています。

2. Si、Alの影響

鋼にSiを添加すると鋼の電気抵抗が高くなり、材料を磁化した際に発生する渦電流を低減できることから電磁鋼板にはSiが比較的多量に添加されています³⁾。例えば、電気自動車の駆動モータに使用されるような高級無方向性電磁鋼板では約3%程度のSiが添加されており、特殊な材料では6.5%のSiを添加したものもあります。AlもSi同様鋼の電気抵抗を高める効果があるため、高級電磁鋼板ではSi以外にAlも添加されています。また、Si、Alは結晶磁気異方性を低減する元素であり⁴⁾、これら元素を添加すると磁化が容易になるというメリットも有しています。

3. S、N、Oの影響

鋼中のSはMnS等の硫化物を、NはAlN、TiN等の窒化物を、OはSiO₂、Al₂O₃等の酸化物を形成し、磁壁移動を妨げることから鉄損を増加させる原因となります。また、これら微細な硫化物や窒化物は結晶粒成長性を低下させるためヒステリシス損を増加させることも知られています。このため、無方向性電磁鋼板ではS、N、O等の不純物元素を極力低減する試みがなされています⁵⁾。

4. Sn、Sbの影響

無方向性電磁鋼板は数10μm~数100μm程度のサイズの結晶が多数集まって形成されています。磁気特性は多数の結晶がどのように集積しているかにより大きく変化し、結晶がある特定の方位にそろった組織は集合組織と呼ばれています。Sn、Sbは粒界偏析型の元素であり、電磁鋼板の製造中に結晶粒界に偏析し、磁気特性に好ましい集合組織を発達させることが知られています⁶⁾。また、Sn、Sbは鋼板表面に偏析し、仕上げ焼鈍時の鋼板表層の窒化を抑制し、鉄損低減に寄与することも知られています⁷⁾。

◇ 最新の電磁鋼板

これまで述べたようにSiは電磁鋼板の鉄損を低減するために効果的な元素ですが、特にSiを6.5%添加した場合、磁歪（材料を磁化した場合の伸び縮みであり騒音の原因となります）がほぼゼロとなり、透磁率および鉄損が最も優れた値を示すことが知られていました。しかし、Si量が増加すると材料の伸びが急激に低下し、圧延により薄鋼板を製造することが困難となるため、従来の最高級電磁鋼板ではSi添加量は3%程度に制限されていました。これに対し、近年、圧延法に代わり図1に示すようなCVD（化学気相蒸着）法による高い素鋼板の製造技術が開発され、6.5%けい素鋼板が量産されるようになりました⁸⁾。

さらに、最近ではCVD法を活用して図2に示すように板厚方向にSiの濃度勾配を付与したSi傾斜磁性材料も開発されています⁹⁾。Si傾斜磁性材料は10kHz以上の高周波域で6.5%けい素鋼板を凌ぐ鉄損特性を有しているだけでなく、板厚中心部のSi量が6.5%けい素鋼板に比べて低いため、磁束密

度が高く、打ち抜き等の加工性に優れる、省資源化につながるというメリットを有しており、太陽光発電のリアクトルや小型高速モータの鉄心材料として使用されています。

参考文献

- 1) W. F. Barrett, W. Brown and A. Hadfield: Sci. Trans. Roy. Dublin Soc, Vol. VII, PART IV, (1900) pp. 67-126
- 2) W. C. Leslie and D. W. Stevens: Trans. Am. Soc. Met, Vol. 57, (1964) p. 261
- 3) K. Matsumura and B. Fukuda: IEEE Trans. on Mag., Vol. Mag-20, No. 5, (1984) pp. 1533-1538
- 4) R. C. Hall: Journal of Applied Physics, Vol. 31, (1960) pp. 1037-1038
- 5) H. Shimanaka, Y. Ito, T. Irie, K. Matsumura, H. Nakamura and Y. Shono: TMS-AIME, (1980) p. 193
- 6) K. Fukuda and T. Nagai: J. Mat. Eng. and Performance, (1992) p. 1219
- 7) 尾田善彦、田中靖、山上伸夫、千野淳、山田克美：電気学会論文誌A、Vol. 123, No. 1, (2003) pp. 83-88
- 8) 高田芳一、阿部正広、田中靖、岡田和久、平谷多津彦：まてりあ、vol. 33, (1994) pp. 423-425
- 9) 平谷多津彦、浪川操、二宮弘憲、尾田善彦、戸田広朗：電気学会論文誌A、Vol. 134, No. 11, (2014) pp. 610-619

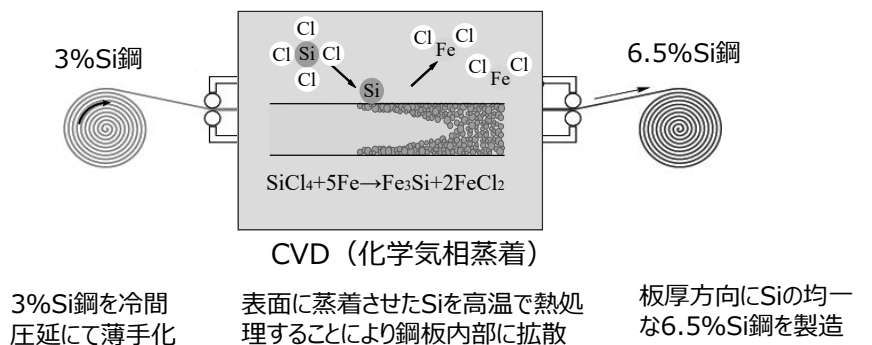


図 1 CVD連続浸珪法による高い素鋼板の製造方法

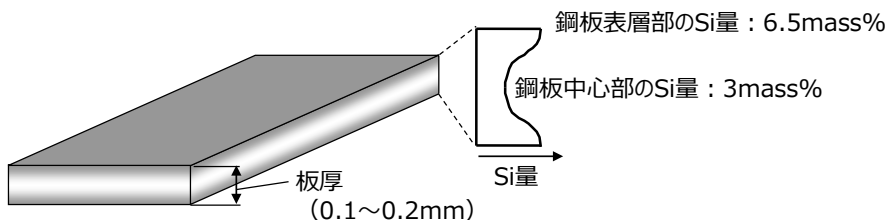


図 2 Si傾斜磁性材料の板厚方向のSi分布模式図

Ⅲ. 合金元素 合金元素データシート

鉄 (Fe) Iron

◇物理化学定数

原子番号	26
原子量	55.845
比重	7.87 g/cm ³
融点	1535 ℃
沸点	2750 ℃
熱膨張率	11.8 (25℃) μm/(m・K)
熱伝導率	80.3 (27℃) W/(m・K)
比熱	0.444 KJ/(kg・K)

◇ 元素の概要

鉄の起源は宇宙誕生まで遡り、宇宙誕生から約30億年後(約110億年前)に誕生した星の中で合成され、最後に超新星爆発を起こし、宇宙全体に広がったと考えられる。人類は紀元前3500年以上前から鉄を利用している。古代は鉄隕石を鍛造し武器や道具を作ることから始まり、中世は鉄鉱石を塊鉄炉で還元し鍛鉄、木炭を使いキューポラ炉で鑄鉄の製造を経て、現代はコークスを使い高炉で銑鉄、電気炉で鉄屑を再利用し特殊鋼を製造へと進化が続いている。

◇ 鉱石と精錬方法

主要鉱物は赤鉄鉱、磁鉄鉱、褐鉄鉱等で、コークス、石灰石と共に溶鉱炉に装入し、燃焼させることにより鉄鉱石を還元する。得られたものは銑鉄と呼ばれ、高炭素で不純物を多く含んだ鉄であるため酸素により脱炭することにより精錬される。

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- ・特殊鋼製造で合金元素を添加するベースとなる金属
- ・純鉄は銀白色の金属光沢があり展性、延性に富む
- ・反応性が強く、水を含む空気中ですぐに錆が発生
- ・常温では強磁性、約769℃で常磁性に変化
- ・同素体：フェライト(アルファ鉄)、オーステナイト(ガンマ鉄)、デルタフェライト(デルタ鉄)

◇ 精錬方法／添加方法

高炉で製造された銑鉄には、硫黄、珪素、燐など少量の不純物と最大5%程度の炭素が含まれる。脱硫は溶銑に炭酸カルシウムを添加し攪拌し取り除く方法や、窒素ガスをキャリアーガスとして、取鍋に酸化カルシウムなどの脱硫剤を吹き込み、溶銑中の硫黄を固定して取り除く方法がある。炭素は転炉内に酸素を吹き付けて、一酸化炭素ガス、二酸化炭素ガスとして調整される。

◇ 活用されている製品例

建築、土木、自動車、船舶、産業機械などあらゆる分野

日立金属(株) 北川 貴一
冶金研究所・特殊鋼研究部

炭素 (C) Carbon

◇物理化学定数

原子番号	6
原子量	12.011
比重	2.22 g/cm ³
融点	3973±100 K
沸点	5103 K
熱膨張率	0.6~4.3×10 ⁻⁶ (K) ⁻¹
熱伝導率	24 W/(m・K)
比熱	691 J/(kg・K)

◇ 元素の概要

- ・古来より知られており、紀元前14~13世紀、墨として利用されていた。ラテン語の木炭(Carbo)に由来。
- ・普遍的に地球上に存在しているが、地殻に存在する炭素の存在割合は0.032%に過ぎない。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 石灰石(Calcite)／苦灰石(Dolomite)などの炭酸塩、石炭、石油、など
- ・精錬方法 無煙炭、ピッチ等をアーク炉で高温加熱して製造
- ・鉄鋼原料 グラファイト(黒鉛)

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- ・主要5元素の一つ
- ・材料中の鉄と結合し、硬さの硬いセメンタイト(Fe₃C)となり、非常に薄い層状のフェライトとセメンタイトが交互に並んだ状態で析出するパーライトを形成。
- ・焼入処理を行う材料においては、炭素含有率によってマルテンサイト硬さが決定し、炭素の含有量が増加するに従い硬さが硬くなる。
- 焼入性の付与
- 強さの増加
- ▼溶接性低下

◇ 添加方法

- ・二次精錬にて脱炭、成分調整が行われる。

◇ 活用されている製品例

- ・鋼の基本はFeとCの合金であるため、鋼の諸性質はC%によって決まるといってもよく、ほぼ全製品で活用。

愛知製鋼(株) 品質保証部 河合 隆之
お客様品質・技術室 主任

シリコン (Si) Silicon

◇物理化学定数

原子番号	14
原子量	28.086
比重	2.33 g/cm ³
融点	1703±20 K
沸点	2573 K
熱膨張率	2.8~7.3×10 ⁻⁶ (K) ⁻¹
熱伝導率	84 W/(m·K)
比熱	678 J/(kg·K)

◇ 元素の概要

- ・1824年ベルセリウス（スウェーデン）により発見された。
ラテン語のケイ砂（Silex 硬い火打石）に由来。
- ・地表には酸素に次いで多く存在し、約25%を占めるといわれる。
- ・主な産出国は、中国、アメリカ、ノルウェー、ロシア、ブラジル

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 けい石
- ・精錬方法 けい石を還元剤、鉄原と共に電気炉へ投入し、還元することで製造
- ・鉄鋼原料 フェロシリコン、シリコマンガ

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- ・主要5元素の一つ
- 低合金鋼の強さ増加
- 酸化抵抗改良
- 耐熱性に優れる
- ▼添加量が多すぎると脆化（韌性が低下）
- ▼浸炭鋼において浸炭性の悪化
- ▼高温加熱における脱炭を助長

◇ 添加方法

- ・二次精錬にて添加され、成分調整が行われる。
- ・Al、Mnと同様に脱酸材として用いられる。

◇ 活用されている製品例

- ・高Si（高いもので約2%含有された）ばね鋼
- ・ケイ素鋼

〔愛知製鋼(株) 品質保証部 かわい たかゆき〕
〔お客様品質・技術室 主任 河合 隆之〕

マンガン (Mn) Manganese

◇物理化学定数

原子番号	25
原子量	54.938
比重	7.43 g/cm ³
融点	1518±10 K
沸点	2423 K
熱膨張率	22.0×10 ⁻⁶ (K) ⁻¹
熱伝導率	159 W/(m·K)
比熱	481 J/(kg·K)

◇ 元素の概要

- ・1774年ガーン（スウェーデン）により発見された。マンガンが含まれる鉱石マンガナスに由来してマンガネシムと名付けられたがマグネシウムと紛らわしいのでマンガンと呼ばれるようになった。
- ・主な産出国は、南アフリカ共和国、オーストラリア

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 マンガン鉱石
- ・精錬方法 溶鉱炉や電気炉で還元し製造
- ・鉄鋼原料 高炭素フェロマンガ、中炭素フェロマンガ、低炭素フェロマンガ、金属マンガ、シリコマンガ

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- ・主要5元素の一つ
- Sによる脆性を防止
- 焼入れ性の付与
- 韌性を向上させるのに有効
- ▼焼入鋼において添加量が多すぎると、残留オーステナイトを生成するため硬さが低下。

◇ 添加方法

- ・二次精錬にて添加され、成分調整が行われる。
- ・Al、Siと同様に脱酸材として用いられる。

◇ 活用されている製品例

- ・マンガ鋼（機械構造用合金鋼の1種）
- ・ハッドフィールド鋼
- ・Niと同様にオーステナイトを安定化させる元素のためNiの代用としてオーステナイト・ステンレス鋼に合金される。

〔愛知製鋼(株) 品質保証部 かわい たかゆき〕
〔お客様品質・技術室 主任 河合 隆之〕

リン (P) Phosphorus

◇物理化学定数

原子番号	15	
原子量	30.973762	
密度	1.82	Mg/m ³ (黄リン)
	2.34	Mg/m ³ (赤リン)
	2.70	Mg/m ³ (黒リン)
融点*	862.6	K
沸点		—
線熱膨張率*	1.2530	
熱伝導率		—
比熱	22.60	J/mol/K
周期律表	15族、第3周期	

*化学便覧(日本化学会編、丸善)より

◇元素の概要

1669年H. Brandによって尿から発見され、名前は光るものを意味するギリシア語に由来する。リンは黄リン、赤リン、無定形の赤リン、紅リンといった数種類の同素体をもつことが知られている。

◇鉱石と精錬方法

リンは天然にはCa、Al、Feなどのリン酸塩の形で存在する。工業原料に用いるリン鉱石は、リン酸塩を多量に含む鉱石類の総称であり、主な成分はリン灰石Ca₅F(PO₄)₃である。

鉱石に珪砂とコークスを加え、電気炉中で1300～1400℃に加熱し、蒸気として留出され、冷却して黄リンを得る。

◇鉄鋼材料への効果／影響

黄リンは化学的に活性で空気中で自然発火して酸化リンとなる。また、暗所ではリン光を発する。赤リン、紫リン、黒リンなどは化学的にやや不活性だが、炭素、窒素を除くほとんど全ての単体と直接に化合する。高純度のもは半導体の原料となり、通常の純度のもはマッチ、リン化合物、農薬の製造に用いられる。

リンは特殊鋼、炭素鋼において韌性低下、成分偏析をまねき、溶接性にも悪影響を及ぼすため、なるべく低減することが望ましいと言われている。一方、引張強さの増大、切削性および耐食性を向上させることも知られており、その目的で添加することもある。

活用されている製品例として、固溶体強化型強度薄鋼板や析出硬化型非磁性オーステナイト系ステンレス鋼などが知られている。

〔株 神 戸 製 鋼 所 おくもと たけし〕
〔線材条鋼開発部 線材条鋼開発室 奥本 剛史〕

硫黄 (S) Sulfur

◇物理化学定数

原子番号	16	
原子量	32.06	
比重	2.07	Mg/m ³ (斜方晶)
	1.96	Mg/m ³ (単斜晶)
	2.14	Mg/m ³ (菱面晶)
融点*	386.12	K
沸点*	717.7	K
線熱膨張率*	0.6413	
熱伝導率		—
比熱		—
周期律表	16族、第3周期	

*化学便覧(日本化学会編、丸善)より

◇元素の概要

サンスクリットの「火の元」を意味するsulvereに由来する。

硫黄は岩石中には硫化物、単体、硫酸塩、海水中には硫酸イオンとして含まれる。また、生体には不可欠な元素であり無機態のほか、アミノ酸などの種々の有機態のものがある。

◇鉱石と精錬方法

硫黄は天然に遊離状態で産出し古代からよく知られている元素である。天然に産出するものは斜方晶系に属し鋭い錐状結晶をなすものが多い。

色は黄色であるが不純物のため褐色、黄灰色、緑色、赤色を帯びたものがある。

工業的には石油精製工程で生じる回収硫黄や硫化鉱精錬で生じる排ガスで得る。

◇鉄鋼材料への効果／影響

鋼材中には若干の硫黄が含まれているのが普通であるが、含有量が多くなるといちじるしく熱間加工性が悪くなり、溶接性や韌性も劣化させるためなるべく低減することが好ましい。

硫黄は、材料中に存在するMnと結合し、MnSを形成する。快削鋼においてはこのMnSが潤滑効果やチップブレーカーとして働き、切削性を向上させる作用をもっており、工業的に利用されている。

〔株 神 戸 製 鋼 所 おくもと たけし〕
〔線材条鋼開発部 線材条鋼開発室 奥本 剛史〕

クロム (Cr) Chromium

◇物理化学定数

原子番号	24	
原子量	51.996	
密度	7.19	Mg/m ³
融点	2163 ± 10	K
沸点	2993	K
線熱膨張率*	0.0840	
熱伝導率	0.0394	W/m·K
比熱	23.35	J/mol·K
周期律表	6族、第4周期	

*化学便覧(日本化学会編、丸善)より

◇ 元素の概要

1797年L. N. Vauquelinがシベリア産ベニエン鉱より未知金属の酸化物として発見し、酸化物が種々の色彩を呈することからギリシア語の「色」にちなんで銘名された。

1854年R. W. E. Bunsenが塩化クロム(Ⅱ)水溶液の電解によって金属を得た。

クロムは常温では安定で空気、水に作用されない。600~900℃に熱すると酸化皮膜を生じる。塩酸、希硫酸には可溶で、濃硝酸、王水に対しては不動態となる。

◇ 鉱石と精錬方法

クロムの主な鉱物はクロム鉄鉱FeCr₂O₆である。金属のクロムは酸化クロム(Ⅲ)Cr₂O₃をアルミニウム、ケイ素または炭素で還元するか、硫酸アンモニウムクロム(Ⅲ)またはクロム酸塩の水溶液の電解によって得る。

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

クロムを鋼材に添加すると、焼入れ性の向上や機械的特性の改善に作用し、さらに耐食性、耐酸化性、耐摩耗性を増大させる特徴をもっている。

特殊鋼、工具鋼、ステンレス鋼、耐熱合金などに幅広く利用されている。

(株)神戸製鋼所 奥本 剛史
線材条鋼開発部 線材条鋼開発室

ニッケル (Ni) Nickel

◇物理化学定数

原子番号	28	
原子量	58.69	
比重	8.908	g/cm ³
融点	1455	℃
沸点	2913	℃
熱膨張率	(25℃) 13.4	μm/(m·K)
熱伝導率	(300K) 90.9	W/(m·K)
比熱	440	J/(kg·K)

◇ 元素の概要

名称はニッケル鉱石が銅鉱石に似ていながら銅を分離できないため、坑夫たちがドイツ語でKupfernicker(悪魔の銅)と呼んだことに由来。

銀白色の金属で常温で強磁性を示し腐食耐性が高く、導電性にも優れるため、合金添加剤、触媒、メッキ、バッテリーの電極、など幅広く活用される。産業上重要性が高い金属のため、万一の国際情勢の急変に対する安全保障策として国内消費量の最低60日分を国家備蓄すると定められている。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 硫化鉱と酸化鉱(ラテライト鉱)があり前者はカナダ・豪州・ロシアが主な産地、後者はインドネシア・フィリピン、ニューカレドニアが主産地である。
- ・精錬方法 2000年代以降は電気精錬法が主流であり、さらに近年、HPAL(高圧硫酸浸出法)という技術により、従来は精練の対象外であった低品位のニッケル酸化鉱からも、ニッケルの回収が行われている。
- ・鉄鋼原料 フェロニッケル、ニッケル地金

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 耐食性及び耐熱性を向上
- 焼入れ性、韧性向上

◇ 精錬方法／添加方法

- ・ステンレス鋼にはフェロニッケル、合金鋼にはニッケル地金を原料として、出鋼後の二次精練時に添加。

◇ 活用されている製品例

- ・ステンレス鋼、合金鋼、耐熱鋼、Ni基耐熱合金、マルエージング鋼、インバー(Fe-35Ni合金)、形状記憶合金(Ti-Ni合金)
- ・磁性材料(アルニコ磁石)・めっき、触媒
- ・電池材料(Ni水素電池、リチウムイオン電池の正極材)

(山陽特殊製鋼(株) 研究開発センター 福嶋 利保)
研究開発企画グループ

モリブデン (Mo) Molybdenm

◇物理化学定数

原子番号	42	
原子量	95.94	
比重	10.28	g/cm ³
融点	2623	℃
沸点	4639	℃
熱膨張率	(25℃) 4.8	μm/(m・K)
熱伝導率	(300K) 138	W/(m・K)
比熱	275	J/(kg・K)

◇ 元素の概要

原鉱石の輝水鉛鉱 (molybdenite) から命名。日本語の「モリブデン」はドイツ語のMolybdänが語源である。

金属の中で5番目に融点が高い高融点金属であり、他の高融点金属より高温硬度に優れ、熱膨張係数が低いため高温下での形状安定性が非常に高く、加工も用意なため、鉄鋼材料への添加元素以外にも、自動車、航空機、ロケットのエンジンやタービン、高温炉の加熱チャンバー、レフレクター、保護管、半導体整流素子用の基板、照明用部品など、様々な用途で使用されている。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 輝水鉛鉱 (MoS₂)、モリブデン鉛鉱 (PbMoO₄)
- ・精錬方法 MoS₂精製からの還元精錬、または酸化焙焼してMoO₃を製造後、テルミット還元にてフェロモリブデンを製造
- ・鉄鋼原料 焼成鉱 (三酸化モリブデン)、フェロモリブデン

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 焼入れ性向上、靱性向上
- 焼き戻し軟化抵抗を増大。

◇ 精錬方法／添加方法

- ・合金原料 (三酸化モリブデン、フェロモリブデン) を出鋼後の二次精錬時に添加。

◇ 活用されている製品例

- ・機械構造用合金鋼、工具鋼、ステンレス鋼、耐熱鋼
- ・硫化モリブデンは摩擦係数が小さいことから、工業機械や内燃機関の潤滑油用添加剤として使用

〔山陽特殊製鋼(株) 研究開発センター 福嶋 利保〕

ニオブ (Nb) Niobium

◇物理化学定数

原子番号	41	
原子量	92.91	
比重	8.6	g/cm ³
融点	2477	℃
沸点	4744	℃
熱膨張率	7.2	10 ⁻⁶ /℃
熱伝導率	54	W/m・K
比熱	267	J/kg・K

◇ 元素の概要

1865年、イギリスのドービルとトルーストラがコルンブ石より新金属を発見。ギリシャ神話のタンタロスの娘のニオベ (Niobe) に因んでニオブ (Niobium) と命名。アメリカ、イギリスではコロンビウム (Cb) と呼ばれていたが1949年にニオブに統一。鉄と似た硬さで展延性があり、加熱状態でも常温でも加工が可能。中性子吸収の少ない高純度ニオブは原子炉材として使用される。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 パイロクロア ((Na, Ca)₂Nb₂O₆(OH, F))
- ・精錬方法 鉱石からNb₂O₅を選鉱し、さらに高純度に精製する。

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 延性、靱性向上
- 粒界腐食防止
- 高温強度向上

◇ 精錬方法／添加方法

- ・Fe-Nb合金を脱酸工程後に添加
- ・添加に用いるFe-Nb合金はNb₂O₅精鉱からテルミット還元により作られる。

◇ 活用されている製品例

- ・高張力鋼、構造用鋼
- ・安定化オーステナイト系ステンレス鋼
- ・耐熱合金

〔日本冶金工業(株) おいかわ まこと〕
〔ソリューション営業部 ソリューション営業部長 及川 誠〕

バナジウム (V) Vanadium

◇物理化学定数

原子番号	23
原子量	50.9415
比重	6.11 g/cm ³
融点	1910 ℃
沸点	3407 ℃
熱膨張率	8.4 μm/(m・K)
熱伝導率	30.7 W/m・K
比熱	0.49 J/g・K

◇ 元素の概要

バナジウムの発見には紆余曲折があり、1801年デル・リオが発見しエリスロニウム (erythronium) と命名したが公認されなかった。その後、1830年スウェーデンのNG. セフストレームが、同産鉄鉱石から化合物が様々な色を呈する新元素を発見し、スカンジナビア神話の愛と美の女神バナジス (Vanadis) からバナジウムと命名した。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 含バナジウムチタン磁鉄鉱、含ウラン鉱
- ・精錬方法 テルミット法、電気炉法
- ・鉄鋼原料 フェロバナジウム

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 結晶粒微細化
- 焼戻し軟化抵抗向上
- 高温強度向上
- 疲労特性、靱性、耐水素脆化向上
- ▼高温延性低下
- ▼多量添加で焼入れ性

◇ 精錬方法／添加方法

- ・二次精錬中にてフェロバナジウム合金を添加

◇ 活用されている製品例

- ・高張力鋼
- ・非調質機械構造用鋼
- ・高速度鋼
- ・耐熱鋼

〔三菱製鋼(株) 技術開発センター 解析評価グループ グループ長 みやた まさはる 宮田 将晴〕

ホウ素 (B) Boron

◇物理化学定数

原子番号	5
原子量	10.806
比重	2.343 g/cm ³
融点	2076 ℃
沸点	3927 ℃
熱膨張率	(20℃) 4.7 μm/mK
熱伝導率	(300K) 27.4 W/mK
比熱	(298.15K) 11.1 J/mol K

◇ 元素の概要

アラビア語でホウ砂を意味する「Buraq」に由来。ホウ素の存在は古くから知られており、ガラス器具などの工芸品に使われていた。自然界には単体で存在せずホウ砂、ホウ酸石の形で存在するが、1808年にフランスの J. L. GayLussacらにより単体への分離が行われた。B単体は黒みがかった非常に硬く、単体元素としてはダイヤモンドに次ぐモース硬さ9.3を有する。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 ホウ砂、ホウ酸石、ホウ酸塩、コールマン石
- ・精錬方法 ホウ酸石のMg、Al還元、熔融塩電解法、ハロゲン化ホウ素の水素還元 (高純度)
- ・鉄鋼原料 FeBの形で2次精錬工程で添加される

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 焼入れ焼戻し低温靱性
- 焼入れ性
- 高温強度とクリープ特性
- 歪時効特性
- 被切削性
- 耐2次加工脆化
- 耐食性 (水素耐食、水素脆化)
- 中性子吸収能

◇ 精錬方法／添加方法

- ・FeBとして2次精錬工程で添加される

◇ 活用されている製品例

- ・溶接構造用鋼 造船用鋼、建築用鋼、橋梁用鋼、ラインパイプ用鋼
- ・機械構造用鋼 冷間圧造用ボロン鋼、強靱鋼、快削鋼、肌焼鋼、高炭素鋼板、高炭素鋼線
- ・薄板 IF鋼、ホットスタンプ用鋼、ほうろう用鋼
- ・耐熱鋼 発電用ボイラーチューブ鋼
- ・原子力用鋼 B添加ステンレス鋼

〔日本製鉄(株) 棒線技術部 棒線技術室 室長 あおやま あつし 青山 敦司〕

アルミニウム (Al) Alminum

◇物理化学定数

原子番号	13
原子量	26.98
比重	2.7 g/cm ³
融点	660 °C
沸点	2519 °C
熱膨張率	23.1 10 ⁻⁶ /°C
熱伝導率	236 W/m・K
比熱	900 J/kg・K

◇ 元素の概要

古代ギリシャやローマでミョウバン（アルミニウム塩）をalmenと呼んだことから、フランスの無機化学者ドーブルがAluminium（アルミニウム）と命名。

密度が鉄の約1/3と軽い金属であり、耐食性にも優れる。また、熱伝導率や電気伝導率も鉄に比べて大きい。純アルミニウムは硬貨、アルミ缶、アルミ箔等に使用され、ジュラルミンなどのアルミニウム合金は強度も高く、航空機等に使用される。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 ボーキサイト（アルミナ水化物の形でアルミナ分を含有する鉱石）
- ・精錬方法 ボーキサイトからアルミナを抽出。これを電気分解してアルミニウム地金を得る。

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 結晶粒制御
- 窒化層の硬化
- 析出硬化
- 耐酸化性向上
- 高温強度向上

◇ 精錬方法／添加方法

- ・脱酸剤として、脱酸工程で純Alの塊状品を添加
- ・添加元素として、脱酸工程後に、純Alの塊状品を添加

◇ 活用されている製品例

- ・窒化鋼
- ・析出硬化系ステンレス鋼
- ・高Al添加フェライト系ステンレス鋼
- ・耐熱合金

〔日本冶金工業(株) おいかわ まこと〕
ソリューション営業部 ソリューション営業部長 及川 誠

チタン (Ti) Titanium

◇物理化学定数

原子番号	22
原子量	47.87
比重	4.5 g/cm ³
融点	1668 °C
沸点	3287 °C
熱膨張率	8.6 10 ⁻⁶ /°C
熱伝導率	22 W/m・K
比熱	519 J/kg・K

◇ 元素の概要

1795年、ドイツのクラップロートがルチル鉱石（金紅石）から未知の酸化物を発見、これをチタンと命名。チタンはギリシャ神話の巨人タイタンによる。

1910年、アメリカのハンターが純度99.9%のチタンを得たものの、大量生産が工業的に可能になったのは1948年。

軽く、強度があり、耐食性にも優れるので、純チタンやチタン合金は海洋構造物、航空機、さらに民生品に使用される。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 ルチル (TiO₂)、イルメナイト (FeTiO₃)
- ・精錬方法 鉱石から4塩化チタン (TiCl₄) とした後、Mgによって還元し塩素を取り除いてTiとする。

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 結晶粒制御
- 析出硬化
- 粒界腐食防止
- 高温強度向上

◇ 精錬方法／添加方法

- ・純Tiの塊状品を脱酸工程後に添加

◇ 活用されている製品例

- ・Ti添加析出強化鋼
- ・安定化オーステナイト系ステンレス鋼
- ・耐熱合金

〔日本冶金工業(株) おいかわ まこと〕
ソリューション営業部 ソリューション営業部長 及川 誠

コバルト (Co) Cobalt

◇物理化学定数

原子番号	27
原子量	58.9332
比重	8.9 g/cm ³
融点	1495 ℃
沸点	2927 ℃
熱膨張率	13 μm/(m・K)
熱伝導率	100 W/m・K
比熱	0.42 J/g・K

◇ 元素の概要

古くからガラス、陶磁器を青く彩色する鉱物が知られており、ツタンカーメンの墓からもコバルト色ガラス片が出土している。1735年スウェーデンのG. ブラントが鉱石から元素を単体として取り出す事に成功した。これらの鉱石が存在すると精練が困難であるため、ドイツ民間伝承のいたずら好きの地の精Koboldが鉱夫をたぶらかすところから鉱石についての名称が元素名となった。

◇ 鉱石と精練方法

- ・天然資源 ヒコバルト鉱、輝コバルト鉱、キャロル鉱等
- ・精練方法 湿式精練、溶媒抽出法
- ・鉄鋼原料 金属コバルト

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 高温硬さ向上
- 高温クリープ強度向上
- ▼焼入れ性を劣化
- ▼衝撃特性低下

◇ 精練方法／添加方法

- ・融点が1495℃とFeと似た性質を示し、液相、固相いずれの状態でもFeによく溶解する。製鋼工程では、金属Coが副原料として用いられる。

◇ 活用されている製品例

- ・高速度鋼
- ・13Cr系高強度ステンレス鋼
- ・高Crマルテンサイト系耐熱鋼
- ・マルエージング鋼
- ・KS鋼

〔三菱製鋼(株) 技術開発センター 解析評価グループ グループ長 みやた まさはる 宮田 将晴〕

銅 (Cu) Copper

◇物理化学定数

原子番号	29
原子量	63.546
比重	8.92 g/cm ³
融点	1084.62 ℃
沸点	2562 ℃
熱膨張率	17 μm/(m・K)
熱伝導率	401 W/m・K
比熱	0.38 J/g・K

◇ 元素の概要

天然に自然銅として産する金属であり、精練法も簡単なため人類が初めて使った金属といわれている。ローマ時代に銅鉱石を算出したキプロス島のラテン名cypriumからとられた銅のラテン名cuprumが変化し、英語の元素名copperの語源となっている。日本で銅が使われ初めたのは、紀元前300年の弥生時代であり、北九州を中心に青銅器文明が栄えた。

◇ 鉱石と精練方法

- ・天然資源 黄銅鉱、輝銅鉱、赤銅鉱など
- ・精練方法 乾式精練(硫化鉱)、湿式精練(酸化鉱)
- ・鉄鋼原料

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 析出硬化
- 耐食性、対候性向上
- ▼赤熱脆性による熱間加工性低下

◇ 精練方法／添加方法

- ・鉄鋼材料の循環ループ中へのCuが混入する原因は、製鋼原料として鉄スクラップを利用することに大きく由来する。
- ・溶鋼中CuはFeと比較して熱力学的に安定であるため、通常の精練法では除去ができず、工業レベルでの効率的な除去技術は未確立であり、脱Cu技術が開発され続けている。

◇ 活用されている製品例

- ・析出硬化系ステンレス

〔三菱製鋼(株) 技術開発センター 解析評価グループ グループ長 みやた まさはる 宮田 将晴〕

カルシウム (Ca) Calcium

◇物理化学定数

原子番号	20
原子量	40.078
比重	1.55 g/cm ³
融点	842 °C
沸点	1484 °C
熱膨張率	(0~300°C Ave値) 22 μm/mK
熱伝導率	(300K) W/mK
比熱	(298.15K) 26.3 J/mol K

◇ 元素の概要

石を意味するラテン語「Calx」から転じた石灰を意味する「Calcsis」に由来。炭酸カルシウムを主成分とする石灰岩や大理石など歴史的建造物の石材として利用されてきた。水硬性セメントは5000年～4000年前の中国や古代ローマでも使用されている。合金元素単体は非常に酸素、水、二酸化炭素との反応力が強い為、不活性ガスや鉱油中で保存される。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 螢石 (CaF₂)、方解石 (CaCO₃)
- ・精錬方法 単体 塩化カルシウムの電気分解
生石灰 炭酸カルシウムの熱分解
- ・鉄鋼原料 生石灰、螢石、Ca-Si・Ca-Al合金

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 被削性 酸化物の軟化溶融化によるベラーグの付着による工具寿命改善
- 靱性・疲労特性 Ca系酸化物が小さな球状酸化物となって分散し、圧延直角方向、厚さ方向の靱性・疲労を改善
- ▼溶接性 アーク不安定化
- 水素脆性 ラインパイプへの添加
- 一加工性 大きな変化は認められていない
- 黒鉛球状化 Fe-Si-Ca、Ca-Si合金接種による促進

◇ 精錬方法／添加方法

- ・Caは溶鉄に対する溶解度が低く、また沸点が低い、反応性が高い等の特徴があることから、添加方法に工夫が必要
- ・粉状Ca-Si合金の吹き込み、Ca-Alワイヤーによる直接添加
- ・脱酸、脱硫、介在物形態制御などの目的にあわせて、取鍋添加、タンディッシュへの添加を選択する

◇ 活用されている製品例

快削鋼 S、Pbとの複合快削鋼
溶接構造用鋼 ラインパイプ (耐水素脆性)

〔日本製鉄(株) あおやま あつし〕
〔棒線技術部 棒線技術室 室長 青山 敦司〕

鉛 (Pb) Lead

◇物理化学定数

原子番号	82
原子量	207.2
比重	11.34 g/cm ³
融点	327.46 °C
沸点	1749 °C
熱膨張率	(20°C) 28.9 μm/mK
熱伝導率	(300K) 32 W/mK
比熱	(298.15K) 26.8 J/mol K

◇ 元素の概要

ラテン語名称の「plumbum」に由来。日本では柔らかい金属の意味で「生り」が由来との説がある。人類との関係は古く、古代中国、エジプト、ギリシャ、インド等の古代文明でも使用された記録がある。鉛と錫の合金である「はんだ」や鉛値電池、放射線遮蔽材、防音・防振シート、免震ダンパー、銃弾、釣り用の重り等、我々の生活との関係は深い為、その毒性から使用の規制が進んでいる。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 硫化物として広く存在 方鉛鉱 (硫化鉛) 白鉛鉱 (炭酸鉛)、紅鉛鉱 (クロム酸鉛)
- ・精錬方法 酸化還元法 (焙焼コークス還元)、電解精錬法
- ・鉄鋼原料 Pb粒、Pb粉、Pbワイヤー

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 一引張特性 Pb添加の影響は少ない
- ▼疲労特性 Pb添加の影響は少ないが高強度材では低下が認められるとの報告がある
- ▼破壊靱性 基本鋼の特性より若干の低下が認められる
- ▼高温強度・延性 高温下で絞り低下が認められる
- 切削性 鋼材の切削性、及び工具寿命が向上する
- 一冷間加工性 大幅な低下は認められない
- 一耐食性 Pb添加ステンレス鋼では耐食性は劣化しない

◇ 精錬方法／添加方法

- ・2次精錬時に、Pb粒の溶鋼への投入、酸化Pb粉・Pb粒の気送、Pb粒を内包するワイヤー添加等で添加する。連続铸造時のモールド内添加も実施されている。
- ・Pbは人体への毒性が強いため、製造設備における環境対策が必要である。

◇ 活用されている製品例

- ・Pb快削鋼
- ・S-Pb複合快削鋼
- ・S-Pb-Ca複合快削鋼

〔日本製鉄(株) あおやま あつし〕
〔棒線技術部 棒線技術室 室長 青山 敦司〕

テルル (Te) Tellurium

◇物理化学定数

原子番号	52
原子量	127.60
比重	6.24 g/cm ³
融点	450 °C
沸点	1390 °C
熱膨張率	1.68 × 10 ⁻⁵ /K
熱伝導率	5.86 W/m·K
比熱	197 J/kg·K

◇ 元素の概要

古くからその特異な性質によって、鉱物学者、冶金学者から“矛盾した金”または“問題の金属”として注目されていたが、18世紀末になって初めて独立した元素として認められた。名前の由来はギリシャ語で地球を意味するtellusにちなんでtellurium (テルル) と名づけられた。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源：テルル青鉛鉱、テルル華
- ・精錬方法：銅、鉛製錬時の陽極泥
- ・鉄鋼原料：粉末、棒状、フェロテルル塊

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 切削性向上
 - ・低融点のMnTe-MnS複合介在物を形成することで潤滑効果の向上、切削抵抗の低下
- 機械的特性の異方性低減
 - ・MnTeが変形することでMnSの伸長を抑制
- ▼熱間加工性低下
 - ・MnTe-MnSの共晶点 (810°C) 近傍で脆化

◇ 精錬方法／添加方法

- ・粉末、有機バインダーを利用したタブレット、棒状、フェロテルル塊を使用
- ・出鋼時のレードルの底に入れる方法や、モールド注入中に添加する方法あり

◇ 活用されている製品例

- ・快削鋼

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 せい 尚暉〕
〔耐食・耐熱材料研究室〕

ビスマス (Bi) Bismuth

◇物理化学定数

原子番号	83
原子量	208.980
比重	9.80 g/cm ³
融点	271 °C
沸点	1420 °C
熱膨張率	1.33 × 10 ⁻⁵ /K
熱伝導率	8.37 W/m·K
比熱	142 J/kg·K

◇ 元素の概要

ビスマスという名称は16世紀末には使用されていたが、常にほかの鉱石と随伴して算出されるため、不完全な錫、銀、アンチモン、あるいは鉛の一種などと呼ばれたこともあった。18世紀の中盤になって初めて特定の金属として認められた。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源：輝蒼鉛鉱 (Bi₃S₂)、蒼鉛華 (Bi₂O₃)
- ・精錬方法：銅、鉛製錬時の陽極泥
- ・鉄鋼原料：Bi合金 (Bi-Ni、Bi-Mnなど)

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 切削性向上
 - ・Biの融点近傍である青熱脆性域における顕著な溶融脆化作用により切屑処理性が向上
 - ・切屑裏面に非常に薄いBi膜を形成することにより切削抵抗が低下
- ▼熱間加工性低下

◇ 精錬方法／添加方法

- ・金属Biで添加する場合は歩留が低下
- ・Bi合金 (Bi-Ni、Bi-Mnなど) で添加することで歩留が向上
- ・比重が大きいため、溶鋼の下部に集積する傾向あり

◇ 活用されている製品例

- ・快削鋼

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 せい 尚暉〕
〔耐食・耐熱材料研究室〕

セレン (Se) Selenium

◇物理化学定数

原子番号	34	
原子量	78.981	
比重	灰色 4.81	g/cm ³
	α 4.39	g/cm ⁴
融点	221	℃
沸点	685	℃
熱膨張率	(-79~19℃) 多結晶 20.3	μm/mK
	(0~21℃) 無定形 48.7	μm/mK
熱伝導率	(300K)	W/mK
比熱	(298.15K) 26.8	J/mol K

◇ 元素の概要

周期律表で一つ下に位置しラテン語で「地球」を意味するテルル (Te) より後に発見されことから、「地球の上」位置する月にちなみ、ギリシャ神話の「月の女神セレネ」から命名されている。自然界に広く存在するが大量に摂取した場合、毒性を生じることから水質、土壌の環境基準指定項目である。但し人体には必須元素であり、セレン欠乏が原因とされる風土病も存在する。工業的には半導体特性を生かした活用がなされている。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 セレン銀鉱、セレン銅鉱
- ・精錬方法 銀、銅精錬時の副産物を精練し単体を得る
- ・鉄鋼原料 セレン合金 (Fe, Ni, Cu)、ペレット

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 熱間加工性 他の快削成分 (Pb, S, Bi, Te) に対して熱間加工性の劣化が軽微
- 冷間加工性 Sとの置き換えにより加工性向上の報告
- 機械的性質 S添加鋼に比べ異方性が小さい
- 切削性 鋼中に生成するセレン化物の効果により高い被削性を保有する
- 耐食性 Se耐食性皮膜の効果によりSと比較し高い耐食性を有する

◇ 精錬方法／添加方法

- ・沸点が低いことから、歩留対策として、Ar雰囲気中で合金鉄とSeを固めたものを拡散して加える方法や酸化物を添加する方法が取られている

◇ 活用されている製品例

- ・オーステナイト系ステンレス快削鋼 SUS303Se
- ・マルテンサイト系ステンレス快削鋼 51416Se 51420FSe
- ・フェライト系ステンレス快削鋼 51430FSe

〔日本製鉄(株) あおやま あつし〕
〔棒線技術部 棒線技術室 室長 青山 敦司〕

タングステン (W) Tungsten

◇物理化学定数

原子番号	74	
原子量	183.84	
比重	19.25	g/cm ³
融点	3422	℃
沸点	5555	℃
熱膨張率	(25℃) 4.5	μm/(m・K)
熱伝導率	(300K) 173	W/(m・K)
比熱	138	J/(kg・K)

◇ 元素の概要

元素名はスウェーデン語の“重い石”を意味するtung stenに由来し、元素記号Wはドイツ語の名称ウォルフラム (Wolfram) の頭文字である。

銀灰色の金属で、電気抵抗が大きい、融点が高い、金属的に安定している、比重が重いといった特徴あり。

高温強度が強く、熱膨張係数は金属のうちでは最も小さいため、耐熱性の要求される分野で用いられ、鉄タングステン合金や炭化タングステンは非常に硬度が高く、摩擦熱にも耐えるため、切削工具などの工具の材料として使用される。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 灰重石 (CaWO₄)、鉄マンガン重石 [(Fe, Mn)WO₄]
- ・精錬方法 灰重石と鉄マンガン重石を原料として湿式製錬によって WO₃を精製して水素還元で金属タングステンを得る。
- ・鉄鋼原料 フェロタングステン、タングステン酸カルシウム

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 焼き戻し軟化抵抗を増大。
- 硬い炭化物 (WC) をつくり耐摩耗性が向上。
- ×WCの存在により切削加工性は低下する。

◇ 精錬方法／添加方法

- ・合金原料 (フェロタングステン、タングステン酸カルシウム) を出鋼後の二次精練時に添加。

◇ 活用されている製品例

- ・高速度鋼、超硬合金
- ・電球のフィラメントや接点材、半導体電極
- ・放射能を遮蔽する能力が高いことからレントゲンなどの医療現場でも用いられる。

〔山陽特殊製鋼(株) 研究開発センター ふくしま としほ〕
〔研究開発企画グループ 福嶋 利保〕

イットリウム (Y) Yttrium

◇物理化学定数

原子番号	39
原子量	88.905
比重	5.51 g/cm ³
融点	1490 °C
沸点	2927 °C
熱膨張率	0.45×10 ⁻⁵ /K
熱伝導率	11.3 W/m·K
比熱	310 J/kg·K

◇ 元素の概要

18世紀末にスウェーデンでイットリヤと命名された新しい鉱物が発見され、その中から存在が確認された。イットリウムは希土類元素の中で初めて発見された元素である。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源：ガドリ石、モナズ石
- ・精錬方法：YCl₃とNaClを混合して溶融電解還元
- ・鉄鋼原料：ミッシュメタル

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

○耐酸化性向上

- ・酸化スケールと鋼材の間にイットリウム酸化物層を形成し、酸化スケールの成長速度を低下
- ・イットリウム酸化物層は酸化スケールと鋼材の密着性を向上させることにより、酸化スケール剥離を抑制

◇ 精錬方法／添加方法

- ・希土類元素を多く含む金属（主としてミッシュメタル）の形で添加

◇ 活用されている製品例

- ・耐熱鋼

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 せい清 なおき尚暉〕
耐食・耐熱材料研究室

タンタル (Ta) Tantalum

◇物理化学定数

原子番号	73
原子量	180.94788
比重	16.69 g/cm ³
融点	3017 °C
沸点	5458 °C
熱膨張率	(20°C) 6.3 μm/mK
熱伝導率	(300K) 58.5 W/mK
比熱	(25°C) 25.36 J/mol K

◇ 元素の概要

ギリシャ神話のニオベーの父であるタンタロスに由来する。1802年にスウェーデンにおいて発見された。当初、タンタルとニオブは同じ元素だとされてきたが、1864年に異なる元素であることが証明された。レアメタルの一つとして活用されており、化学的に安定で融点も高いことから耐火金属としてや白金の代替品としても有用である。主に電子機器のタンタル電解コンデンサとして使用されている。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 タンタライト、コロムバイト
- ・精錬方法 フッ素溶解法
→MIBK（メチル・イソブチル・ケトン抽出法）
→金属Na還元

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- 降伏応力 熱間加工仕上のMn鋼ではTa添加により降伏応力が増大。9%Cr鋼ではTaを添加すると更に強靱な鋼が得られる。
- クリープ 高温クリープにおけるTaの固溶強化作用はNbより少し大きい
- 耐酸化性 ボイラー管材ではNb、V、Coと複合添加することで、耐酸化性改善の報告がある

◇ 精錬方法／添加方法

Ta合金鋼を溶製する場合、十分な脱酸処理（Al脱酸）をしてから添加する必要がある。但し長時間クリープ強度にAlが有害であることから、過剰sol.Alが残存しないように調整する必要がある

◇ 活用されている製品例

- ・蒸気タービン用12Crローター材
12Cr-1Mo-0.2V-Ta-N
- ・核融合炉用低放射化材料（Mo、Nb代替鋼）
- ・ボイラー管材耐熱鋼

〔日本製鉄(株) あおやま あつし〕
棒線技術部 棒線技術室 室長 青山 敦司

レニウム (Re) Rhenium

◇物理化学定数

原子番号	75
原子量	186.207
比重	21.02 g/cm ³
融点	3186 ℃
沸点	5596 ℃
熱膨張率	
熱伝導率	(300K) W/mK
比熱	(25℃) 25.48 J/mol K

◇ 元素の概要

ライン川のラテン語名である「Rhenus」が語源。レアメタルの一種であり、地殻中においても宇宙空間においても最も希少な金属の一つ。日本との関係が深く、1908年に小川正孝が発見したニッポニウムが、現在のレニウムではないか、と考えられている。発見当時、正しい測定が困難であり「原子量およそ100の元素」として発表されたことから地球上には存在しないとされたが、後日、試料を再測定した結果ではレニウムであったとされている。

◇ 鉱石と精錬方法

- ・天然資源 モリブデナイト、コロンバイト、タンタライト
- ・精錬方法 希土類、銅の精錬で発生する残渣に微量に含まれているものをイオン交換樹脂で吸着分離

◇ 特殊鋼での効果／影響

○ニッケル基合金 高温強度、高温腐食特性
一般的に高温強度と高温耐食性に対して、合金元素の効果は相反関係にあるものが多い。Ta、W、Mo等は主に高温強度の向上のために、Cr、Ti等は主に高温耐食性の向上のために添加されているが、Reを微量添加することで、両方の特性が向上することが報告されている。

◇ 活用されている製品例

- ・プラチナレニウム触媒
- ・ニッケルレニウム合金 ジェットエンジンタービン
- ・タングステンレニウム合金 熱電対、航空宇宙部品

〔日本製鉄(株) 青山 敦司 室長 青森 敦司 室長〕
〔日本製鉄(株) 青山 敦司 室長 青森 敦司 室長〕

サマリウム (Sm) Samarium

◇物理化学定数

原子番号	62
原子量	150.4
比重	7.52 g/cm ³
融点	1080 ℃
沸点	1790 ℃
熱膨張率	—
熱伝導率	13.3 W/m・K
比熱	—

◇ 元素の概要

1879年にポール・ボアボードランによって鉱物サマルスキー石から分離されたため、サマリウムと名付けられた。元の鉱物の名は発見者サマルスキーに因んでおり、Smは人名が由来となった元素である。

銀色の光沢を持つ軟らかい金属で常温常圧では三方晶系の構造を取る。大気や湿気と容易に反応するため、取り扱いには注意が必要である。

◇ 鉱石と精錬方法

モナザイト、ゼノタイム（両者ともリン酸塩）に、他の希土類元素と共存している。鉱石中のSm₂O₃の含有量は、鉱山によるが全体の3%程度である。

◇ 磁石材料

SmCo₅磁石：Co含有量が高いため、高いキュリー温度を有し、高温特性・熱安定性に優位。耐食性も高い。

Sm₂Fe₁₇N₃磁石、SmFe₉N磁石：ネオジム磁石を上回る磁気特性の物性値とキュリー温度を有する。ただし、焼結が難しいため、ボンド磁石として利用されている。

SmFe₁₂磁石：まだ工業的に量産されていないが、近年では、ネオジム磁石の一部を代替する材料として期待されている。

◇ 精錬方法／添加方法

- ・溶媒抽出法
- ・イオン交換法

◇ 活用されている製品例

- ・磁石材料：モータの永久磁石部品として活用される。特に、温度安定性、耐食性が要求される部位に使用される。
- ・その他：触媒、赤外線吸収ガラス

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 白置 敬子 主任 白置 敬子 主任〕
〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 白置 敬子 主任 白置 敬子 主任〕

窒素 (N) Nitrogen

◇物理化学定数

原子番号	7
原子量	14.006
比重	1.25 (0℃) g/cm ³
融点	-209.86 ℃
沸点	-195.8 ℃
熱膨張率	—
熱伝導率	26.1×10 ⁻³ (27℃) W/(m·K)
比熱	1.040 (27℃) KJ/(kg·K)

◇ 元素の概要

1772年にスコットランドの医師ダニエル・ラザフォードによって発見された。「硝石」を意味するギリシャ語の「nitron」と「産出する」を意味する「gennao」に由来し命名された。ドイツ語の「Stickstoff」は、「窒息させるsticken」と「物質stoff」の組合せで命名され、日本語の「窒素」もその直訳である。

◇ 鉱石と精錬方法

大気中の約78%容積を占める身の回りにありふれた元素であるが、地上には硝酸体やアンモニア体として存在している。製造方法は、深冷分離が主流である。空気中の酸素・窒素・アルゴンの沸点の差を利用して、原料空気を圧縮、水分・二酸化炭素を吸着除去し、熱交換器で冷却、各ガスの沸点差を利用して蒸留塔で分離する。

◇ 鉄鋼材料への効果／影響

- ・唯一の気体添加元素、侵入型元素として固溶し硬化
- ・アルミニウム、バナジウム、チタン、ニオブ等と析出化合物を形成、結晶粒を微細化により鋼を強靱化
- ・常温では不活性、高温では直接化合によりアンモニア、酸化窒素等多くの窒化物を形成

◇ 精錬方法／添加方法

鋼への添加方法として、転炉出鋼時に窒化ブリケットを投入し、RH脱ガス工程で窒素を還流ガスに使用し、窒化ブリケット、窒化マンガンを添加する。また、石灰窒素をワイヤ状にしたものを溶鋼に添加する方法がある。最近では「加圧誘導溶解鋳造法」と呼ばれる耐圧容器内で加圧した窒素を強制的に溶鋼に添加する方法も開発されている。

◇ 活用されている製品例

高窒素ステンレス鋼

〔日立金属(株) 北川 貴一〕
冶金研究所・特殊鋼研究部

酸素 (O) Oxygen

◇物理化学定数

原子番号	8
原子量	15.99903
比重	(0℃) 1.429 g/cm ³ (-182.962℃) 1.141 g/cm ³
融点	-218.79 ℃
沸点	-182.962 ℃
臨界定数	154.6 K
熱伝導率	(100℃) 0.0323 W/mK
比熱	(25℃) 29.378 J/mol K

◇ 元素の概要

1774年にプリーストリーが発見したとされる。「酸を生むもの」と理解されていたことからギリシャ語の「オキス(酸)」と「ゲネン」を合わせて命名された。フッ素に次いで電気陰性度が大きく酸化力が強い。殆どの元素と発熱反応を伴い化合物(酸化物)を生成する。鉄鋼製造プロセスにおいては、脱酸処理で発生する酸化物系介在物が製品特性に影響を与えることから様々な研究が行われてきた。

◇ 製鋼工程での脱酸技術

- ・Al脱酸技術 Alは実用上最も強力、且つ有効な脱酸剤
- ・複合脱酸技術 2種類以上の脱酸元素を異なるタイミングで添加する技術。スチールコード材、弁ばね材では、アルミナ、スピネル等の硬質介在物を発生させないSiやMnによる弱脱酸にフラックスを用いたスラグ精錬を行う

◇ 酸化物の性質

- ・熱間圧延 MnO-SiO₂系介在物の変形挙動を調査した結果、低融点の介在物ほど延伸し易い。融点の低いSpessartite (3MnO·2SiO₂·Al₂O₃) が最も変形し易いという報告がある
- ・冷間加工 MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO系酸化物の破壊挙動調査より、低融点介在物が冷間加工においても破壊し易いと報告されている。一方、鋼材の熱間圧延温度より高い融点を持つアルミナ、ジルコニア、ジルコン、シリカの破壊挙動では鋼材内部に生じる応力との相対関係で決まることが報告されている

◇ 鉄鋼材料への影響

酸素単体の偏析、含有量では、鉄鋼材料の諸特性に影響するとする報告は無く、酸化物粒子として存在することで影響を及ぼす報告がなされている

◇ 鉄鋼材料への応用

- ・海洋構造物への応用 TiO鋼
- ・ほうろう用鋼板

〔日本製鉄(株) 青山 敦司〕
棒線技術部 棒線技術室 室長

水素 (H) Hydrogen

◇物理化学定数

原子番号	1
原子量	1.00784
比重	(0℃) 0.08988 g/cm ³ (-252.879℃) 0.07099 g/cm ³
融点	-259.16 ℃
沸点	-252.879 ℃
臨界定数	33.2 K
熱伝導率	(100℃) 0.2118 W/mK
比熱	(25℃) 28.836 J/mol K

◇ 元素の概要

1671年にボイルが鉄と希硝酸を反応させた際生じる気体が可燃性であることを記録し、1783年にラボアジエがギリシャ語の「ヒュドール (水)」とラテン語の「ゲネン」を合わせて命名した。宇宙空間に最も多く存在する元素で総質量の75%を占める。鉄鋼製品においては、ビレットの毛割れ、ポロシティー欠陥の原因となっており、高強度化、高疲労強度化の進展によって水素割れが発生しやすくなっている。

◇ 製鋼工程での脱水素技術

- ・真空吸上法 (DH法) 循環脱ガス法 (RH法) VOD法 誘導攪拌取鍋脱ガス法 (ASEA-SKF法)
- ・脱水素限界の向上施策としては真空度向上、スラグ耐火物中水分低減、処理時間延長が挙げられる。

◇ 環境からの侵入

- ・酸環境 酸性溶液中では、Fe溶解反応に対する水素イオン還元反応により発生した水素原子の一部が鋼中に侵入する
- ・侵入促進剤 P、S、As、Pb、H₂S、CN⁻等は水素原子が分子化するのを妨げる為、鋼中への侵入が増加するとされている
- ・大気腐食環境 大気腐食により微量の水素が鋼中に侵入
- ・めっき時の侵入 電気めっき時に発生する水素イオンが鋼中に侵入する

◇ 鉄鋼材料への影響

- ・水素は鋼中の様々な欠陥のまわりに存在する
 - 1) 転位
 - 2) 空孔
 - 3) 析出物
 - 4) 結晶粒界
 - 5) ボイド
- ・合金元素の影響
 - 1) C 同一では、C量の増大に伴い水素溶解量は増加
 - 2) Si 熱処理まま材で、Si量増加で水素吸蔵量は減少
 - 3) Mn フェライト鋼では影響小、オーステナイト鋼では水素量が著しく増大
 - 4) Ni 熱処理まま材で、Ni量増加で吸蔵水素量減
 - 5) Cu 0.47%Cuまでの添加では水素量に変化なし

〔日本製鉄(株) あおやま あつし〕
〔棒線技術部 棒線技術室 室長 青山 敦司〕

業界のうごき

浅井産業、高浜市（愛知県）に新倉庫 2023年8月完成／総投資額15億円

浅井産業は、中部地区の特殊鋼棒鋼・線材物流機能を拡充するため、2023年8月完成予定で愛知県高浜市に新倉庫「田戸サービスセンター」を建設する。衣浦サービスセンター（高浜市）の近隣に敷地約7,397平方メートルを取得しており、建屋約4,127平方メートルを建設する。田戸サービスセンターは主に特殊鋼棒鋼の在庫拠点として活用する。総投資額は約15億円。

衣浦サービスセンターは1971年開設の中部地区の主力物流拠点。2019年度にBCP対策として2億7,000万円を投じて護岸補強工事を完了している。特殊鋼棒鋼だけでなく、特殊鋼線材を中心に在庫しており、現在は特殊鋼棒鋼中心に営業倉庫も活用している。田戸サービスセンターの稼働により、特殊鋼棒鋼の在庫体制の拡充・効率化を図る。

同社は今年4月に創業100周年を迎えたのを機に、2022年度からの3カ年中期計画を始動している。

(7月7日)

UEX、伊勢原、三島で切断機更新 今期ステンレス販売量は前期並みへ

UEXは、2023年3月期の設備投資として伊勢原スチールサービスセンターで水プラズマ切断機更新、三島スチールサービスセンターで帯鋸盤更新、九州配送センターでシステム帯鋸盤更新を計画する。システム関連では「UEX.net」(店売りのネット在庫販売)のサーバー更新を行う。単独の設備投資計画は3億7,700万円。

8日都内で開催した決算説明会で明らかにした。単独のステンレス販売量は5万1,000トン(前期5万1,043トン)、日当たり在庫出荷は120トン

(同122トン)と前期並みを見込む。原燃料高を背景にした仕入れ価格上昇で原価単価はトン68万8,000円(同64万1,000円)、販売単価は80万2,000円(同74万9,000円)と想定した。

UEX、令和特殊鋼、日進ステンレス、ナカタニ、UEX管材などで構成する第1セグメント(ステンレス鋼などの販売)では今期販売量はほぼ横ばいで、販価上昇を織り込み増収増益の計画とした。(6月9日)

神鋼商事、米で特殊鋼線材加工増強 車向けCH鋼線、軸受鋼で

神鋼商事は、米国の特殊鋼二次加工事業で能力を増強する。自動車向けの冷間圧造用(CH)鋼線や軸受鋼で品質や納期対応力を高め、より差別化を進める狙い。

増強を進めているのはミシガン州の特殊鋼線材加工会社、グランブランク・プロセッシング(GBP)とサウスカロライナ州の軸受鋼伸線事業、エイキン・ワイヤ・プロセッシング(AWP)の2社。GBPではSTC炉と伸線機で、AWPでは伸線機で能力を増やす。

GBPとAWPは神戸製鋼所の素材だけでなく、米国現地材の活用や受託加工も行い、巨大な米市場の現地需要を捕捉してきた。森地高文社長は「足元では価格上昇により利益に占めるトレードの比率が高まっているが、中長期的にはトレード以外の分野を伸ばしていく」と述べた。これら北米事業や今年度中に立ち上げるインドでの建機部品合弁事業などで市況変動に左右されにくい収益構造を目指していく。(6月1日)

大同DMS、二次加工設備を集約 新規需要開拓部門を開設

大同DMソリューションは、生産効率化を図るため、先進加工センター(大阪市淀川区)と仙台工場(宮城

県柴田郡)にある二次加工設備を生駒工場(奈良県生駒市)と名古屋加工工場(愛知県大府市)に集約する。また7月1日にMIRAI開拓部を開設し、新商品や新分野、加工品を中心とした新規需要分野を開拓する。

拠点集約後、先進加工センターは閉鎖し、仙台工場は二次加工以外の加工を継続する。一次プレート事業については、現在グループ会社も含めた生産能力やコスト競争力を検証しており、9月までをめどに方向性を決める。他社との連携も含め地域ごとに対応策を実行する。

MIRAI開拓部では、工具鋼にこだわらず、新しい需要分野、業態の部品、加工品の受注を目指していく。また顧客と自社の業務効率化を図るため、来年度をめどにウェブによる受発注システムを段階的にスタートさせる。(7月13日)

大和特殊鋼、春日のレーザー切断機 ファイバー機に更新、6月末稼働

大和特殊鋼は、切断の効率化、低コスト化を図るため、春日工場(兵庫県丹波市)の老朽化した7KWCO₂レーザー切断機を12KWファイバーレーザー切断機に更新した。6月末に本稼働に入る。総投資額は1億6,000万円。

同社は、ステンレス丸棒やステンレス鋼板を中心に、二相鋼やニッケル合金鋼など幅広い鋼種を在庫販売する。鋼板の加工は、子会社の大和シャーリングが春日工場と稲沢商品センター(愛知県稲沢市)で行っている。両拠点に合計5基のレーザー切断機があり、3基はファイバー機。稲沢の2基のCO₂レーザーも順次ファイバー機に置き換えていく。

新設機の切断可能サイズは2,100×6,100ミリで従来と変わらないが、厚みは従来の30ミリから35ミリに拡大した。切断スピードが向上し、コス

業界のうごき

ト面では電気消費量は従来の半分で、メンテナンス費用も安価で済む。

(6月27日)

野村鋼機、兵庫支店にMC3台増設 4拠点で切断機11台も更新・増設

野村鋼機は、今期(2023年3月期)の設備投資として兵庫支店(兵庫県加東市)に縦型大型マシニングセンター1台、横型マシニングセンター2台を増設し、関東スチールセンター(茨城県稲敷市)、浦安特殊鋼センター(千葉県浦安市)、関東テクニカルセンター(群馬県前橋市)で切断機9台を更新し、兵庫で切断機2台を増設する。

兵庫で熱間工具鋼の機械加工の設備体制を整えるほか、各拠点で老朽更新を中心に切断体制を強化する。総投資額は約2億円。

兵庫支店は西日本地区における熱間工具鋼の大型中心の加工拠点で、西日本の構造用鋼の物流拠点も兼ねる。熱間工具鋼の機械加工体制では五面加工機や横中ぐり盤などがあり、7月に縦型大型マシニングセンターを1台導入する。今期末~来期初の導入予定で横型マシニングセンター2台も発注する。

(6月29日)

マクスコーポ、盛岡に営業所・倉庫 11月開設、北東北で建機部品拡販

マクスコーポレーションは、補修用部品を中心とする建機部品事業で北東北の地域密着型サービスを充実するため、11月完成予定で岩手県盛岡市に盛岡営業所・倉庫を開設する。現在、北東北は仙台営業所・倉庫(仙台市若林区)がカバーしているが、よりきめ細かい需要家サービス体制を敷く。

鋼材事業では、借地権を持っていた豊川営業所・物流倉庫(愛知県豊橋市)の用地を3月に愛知県から購入したほか、鋼材部門の中核物流拠

点である北関東営業所・鋼材物流センター(栃木県佐野市)で4月に超硬丸鋸盤1台を更新し、10月に帯鋸盤1台を更新する。盛岡を含む総投資額は約6億円の見込み。

2022年3月期の単独業績は売上高、利益とも過去最高。建機部品事業が増収増益基調を堅持し、鋼材事業も需要回復、価格上昇などで堅調だった。今期は増収増益を見込む。

(7月4日)

愛知製鋼、米で新鍛造ライン稼働 29億円投資、コンロッド供給

愛知製鋼の米国における鍛造品製造子会社アイチフォージューエスエイ(略称・AFU)で鍛造部品のコネクティングロッドの生産ラインが竣工し、稼働を開始した。HEV(ハイブリッド電動車)が拡大を続ける北米市場で、高品質な鍛造製品を現地ユーザーに品質保証し安定供給する。投資額は2,175万ドル(約29億4,000万円)。

AFUは、主要顧客でもあるトヨタグループの唯一の北米鍛造拠点。トヨタグループはTNGA戦略(トヨタ・ニュー・グローバル・アーキテクチャー)を推進し、北米での「地産地消」化を積極的に進めており、愛知製鋼の高い鍛造技術と品質保証・安定供給体制を活用する。

新生産ラインは高周波加熱炉、成形プレス、ショットピーニング機、磁気探傷装置などで構成し、生産能力は年間360万個(約2,500トン)。トヨタの北米拠点(ケンタッキー、ウェストヴァージニア)にコンロッドを供給する。

(7月7日)

秋山精鋼、大阪支店・倉庫を移転・拡張 物流機能を高度化、投資額8億円

秋山精鋼は8月16日に大阪支店を大阪府守口市から大阪府門真市に移転する。新たに物流拠点に適した用地を取得して高耐震性の倉庫・事務

所棟の建設を進めており、この機に全社に合わせた倉庫管理システムを導入する。レイアウト改善を含めて小回りに適した効率的な荷捌き体制を整え、天井ファンの設置など労働環境改善も進める。

大阪支店は1967年開設で建屋が老朽化している。移転先は第2京阪・門真ICに近く、京都方面を含めて関西以西の物流拠点に適する。大通りに面した用地に倉庫棟と事務所・住宅棟を建設し、構内レイアウトや運搬車両の出入りも改善する。

在庫スペースの若干拡大やレイアウト改善に加え、埼玉工場と同じ倉庫管理システムの導入により、物流管理の効率化、マニュアル化も進める。土地購入を含めた投資額は約8億円。在庫能力は拡大するが、当面は在庫は増やさない。

(7月27日)

下村特殊精工、タイで磨棒鋼量産開始 現地で開所式、高機能材を安定供給

下村特殊精工と大同興業のタイ合弁であるガイドー・シモムラ・スチール・マニユファクチャリング・タイランド(DSST)の磨棒鋼生産拠点が量産体制に入った。アセアン地域での高機能材料のサプライチェーン強化が狙いで、18日に現地で開所式を行った。投資額は約11億円、設備能力は月産700トン、保管能力は1,000トン。

DSSTは2019年に設立。チョンブリー県ピントン5工業団地内で2020年1月から工場・倉庫と事務所の建設を進め、今年1月から営業生産を開始し4月から量産体制に入った。設備構成は連続抽伸機2基、渦流探傷器1基、渦流探傷および超音波探傷器1基、切断面取機1基。

ステンレス、軸受鋼などの磨棒鋼製品を、日本国内と同じ品質保証体制で製造するとともに、併設した倉庫事業によりアセアン地域での大同グループの物流機能を強化。東南ア

業界のうごき

ジアを主体とした成長市場に高機能材料を提供する。
(7月22日)

大同特殊鋼、渋川の特種溶解炉増設 高級鋼増産に対応

大同特殊鋼は渋川工場（群馬県渋川市）に15トン真空アーク再溶解炉（VAR）を1基増設する。ニッケル基合金やクリーンステンレスなど高付加価値の高級鋼の増産体制を整え、製品供給を安定化するとともに高級鋼化へのシフトを加速する。世界最大級の25トン真空誘導溶解炉（VIM）に対応する特種溶解設備であり、5メートル以上の長尺鋼塊を効率的に再溶解できる。2023年8月の稼働開始を予定する。

同社のニッケル基合金やクリーンステンレスは製品内部の清浄度や均質性を著しく高めており、航空機エンジンや半導体製造装置などの部材として極めて厳しい使用環境で使われる。

渋川は現在、VER10基、エレクトロスラグ再溶解炉（ESR）9基の特種溶解設備をそろえているが、更なる成長に向けた戦略投資を実行し、高級鋼の生産能力を拡大する。新VARの稼働により、特種溶解工程の製造能力は約10%向上する。
(6月23日)

日鉄ステンレス直系商社が拡販強化 二相鋼、ワンストップ機能を充実

日鉄ステンレス直系商社のNSステンレスが二相ステンレス鋼の拡販に注力している。澤田充社長は「会社発足以来、『ワンストップ・ソリューション』を標榜してきた。サービスセンターと一体となった『縦』のワンストップ機能に加えて、二相鋼に関する幅広い商品を提供する『横』のワンストップ機能も充実できている」と話す。

二相鋼は汎用ステンレス（SUS304など）に比べて省資源で、高強度・高耐食・低熱膨張・研磨性などの特

長を持つ。高強度は薄肉・軽量化や高耐久化、高耐圧化、部材形状の簡素化など多様なメリットにつながる。

NSステンレスはリーニング二相鋼を中心に素材材の開発にも関わる。また日鉄ステンレスの鋼板の在庫体制を整えるほか、二相鋼棒鋼、鋼管、アングル、鍛造品なども提携先と連携して在庫対応体制を構築している。

(6月20日)

日本金属、新Mg合金で異形圧延製品 EV向けなど用途開拓へ

日本金属は、優れた室温成形性と強度、高い熱伝導率を有する「ZA（亜鉛アルミニウム）系マグネシウム合金材」の異形圧延製品を開発した。ステンレス・特殊鋼で培った異形圧延技術やCAE解析を同合金材に適用することで、多様な顧客ニーズに対応し、EV関連などで商品化を目指す。

同合金材は産業技術総合研究所、不二ライトメタルと共同開発した新材料。自動車外板パネル用アルミ合金と同等の室温成形性やアルミダイカスト材を超える熱伝導率を実現する。マグネシウム合金は超軽量で比強度、比剛性や環境性能も高い材料として注目される。新材料は室温プレス成形が可能で、軽量性と高熱伝導率を兼ね備えるため、車載電子機器などでの適用拡大が期待される。

平板形状の定尺切断品の試作を完了した。ユーザーの生産性向上、歩留まり向上のためコイルの開発も進める。
(6月10日)

日本冶金の「ボルカプレート」が採用 資生堂・福岡久留米工場で130トン

日本冶金工業の床用ステンレス鋼板「ボルカプレート」が、5月に竣工した資生堂の福岡久留米工場（福岡県久留米市）で約130トン採用された。ボルカプレートは独自の水玉（ボルカ・ドット）形状の突起を持

つ床用鋼板で、機能や意匠性に優れた安全・環境配慮型製品。

資生堂には耐滑り性・清掃性・作業性などの特長が評価され、那須工場（栃木県大田原市、2019年稼働）、大阪茨木工場（大阪府茨木市、2020年稼働）などでも採用されている。

ボルカプレートはステンレス縞鋼板（チェッカープレート）と同等以上の耐滑り性を有し、水玉模様のため清掃性や排水性に優れ、歩きやすく疲れにくいのも特長。化粧品・食品・薬品・日用品などの工場や事務所、大型施設の床・階段・ステージなどの建材として採用され、建材以外の用途も広がっている。
(6月15日)

日本製鉄、エコリーフ認証を追加取得 「棒線工程省略鋼」で

日本製鉄は、「棒鋼工程省略鋼」・「線材工程省略鋼」でサステナブル経営推進機構（SuMPO）の認証するエコリーフ環境ラベルを追加取得した。2月に棒鋼・線材製品全般で品種包括的にエコリーフ認証を取得し、その中に棒線工程省略鋼も含まれているが、ユーザーの工程省略に特に貢献する高機能鋼材であるため、新たに追加取得した。

特殊鋼棒線を中心とする棒線工程省略鋼は、複数・多岐にわたる鋼材加工工程（熱処理・伸線・仕上加工など）の一部を省略できる。棒線メーカーにとってユーザーを含めたサプライチェーン一貫でのCO₂削減は重要な課題であり、日本製鉄は製造段階における独自の熱処理や製造工程の特別管理、微量元素添加などにより鋼材特性を引き出すことで、ユーザーの鋼材加工における一部の工程省略を可能としている。同社が取得したエコリーフ環境ラベルは35件となった。
(6月2日)

文責：(株)鉄鋼新聞社

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	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'20 暦年	155,917	3,419,635	2,861,119	6,280,754	294,388	646,096	2,172,096	421,126	4,140,987	388,543	8,063,236	14,499,923
'21 暦年	221,395	4,709,058	3,726,591	8,435,649	374,891	987,441	2,578,832	580,434	4,875,054	493,548	9,890,200	18,547,244
'20 年度	161,061	3,578,698	2,956,593	6,535,291	309,316	702,538	2,114,557	428,594	4,153,666	397,469	8,106,140	14,802,492
'21 年度	227,889	4,669,266	3,691,309	8,360,575	359,466	975,524	2,584,063	571,328	4,747,315	487,191	9,724,887	18,313,351
'21. 7-9月	53,928	1,214,051	924,956	2,139,007	97,316	245,647	689,982	154,403	1,223,104	128,188	2,538,640	4,731,575
10-12月	58,973	1,120,248	890,749	2,010,997	83,530	248,845	661,628	139,679	1,160,260	116,749	2,410,691	4,480,661
'22. 1-3月	58,692	1,133,091	910,122	2,043,213	82,074	220,665	621,363	131,479	1,134,062	122,232	2,311,875	4,413,780
4-6月	54,666	1,003,201	855,459	1,858,660	78,750	218,728	596,110	118,904	1,134,452	114,063	2,261,007	4,174,333
'21年 5月	19,668	392,952	316,676	709,628	29,719	90,410	180,326	49,210	434,132	45,174	828,971	1,558,267
6月	18,334	400,116	308,174	708,290	36,881	89,660	218,235	48,497	414,362	37,751	845,386	1,572,010
7月	18,960	417,239	325,237	742,476	34,012	76,642	220,538	54,553	422,541	34,939	843,225	1,604,661
8月	16,959	398,938	295,879	694,817	28,703	81,025	229,439	45,315	417,534	44,886	846,902	1,558,678
9月	18,009	397,874	303,840	701,714	34,601	87,980	240,005	54,535	383,029	48,363	848,513	1,568,236
10月	20,208	369,718	308,766	678,484	27,164	87,684	203,862	44,520	402,259	42,705	808,194	1,506,886
11月	19,551	388,574	298,018	686,592	28,799	85,188	222,985	51,302	390,490	32,633	811,397	1,517,540
12月	19,214	361,956	283,965	645,921	27,567	75,973	234,781	43,857	367,511	41,411	791,100	1,456,235
'22年 1月	18,209	378,351	298,237	676,588	25,175	76,825	204,627	40,835	403,226	40,020	790,708	1,485,505
2月	22,658	362,211	300,079	662,290	28,144	71,123	205,466	42,810	348,389	34,340	730,272	1,415,220
3月	17,825	392,529	311,806	704,335	28,755	72,717	211,270	47,834	382,447	47,872	790,895	1,513,055
4月	18,786	339,219	291,299	630,518	27,161	71,108	200,101	40,680	384,959	37,949	761,958	1,411,262
5月	17,608	333,873	300,345	634,218	24,043	71,240	196,022	41,215	394,593	38,242	765,355	1,417,181
6月	18,272	330,109	263,815	593,924	27,546	76,380	199,987	37,009	354,900	37,872	733,694	1,345,890
前月比	103.8	98.9	87.8	93.6	114.6	107.2	102.0	89.8	89.9	99.0	95.9	95.0
前年同月比	99.7	82.5	85.6	83.9	74.7	85.2	91.6	76.3	85.6	100.3	86.8	85.6

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
'20 暦年	236,085	4,263,744	846,580	2,974,323	1,048,015	5,137,647	14,506,394
'21 暦年	278,898	6,065,226	856,955	3,846,183	1,081,675	6,422,384	18,551,321
'20 年度	237,286	4,512,899	780,205	3,099,528	935,791	5,241,093	14,806,802
'21 年度	286,265	6,051,725	877,842	3,749,037	1,115,176	6,239,200	18,319,245
'21. 7-9月	66,937	1,556,494	199,286	990,216	280,504	1,639,676	4,733,113
10-12月	79,102	1,493,270	216,800	881,055	299,277	1,512,717	4,482,221
'22. 1-3月	70,771	1,461,908	244,217	897,420	267,034	1,473,559	4,414,909
4-6月	71,956	1,339,400	254,912	814,997	272,696	1,420,368	4,174,329
'21年 5月	22,294	511,388	62,109	325,551	92,043	545,306	1,558,691
6月	20,936	532,592	63,208	323,658	89,303	543,053	1,572,750
7月	26,389	529,891	66,699	332,383	77,079	572,669	1,605,110
8月	14,364	490,628	77,787	324,291	102,620	549,717	1,559,407
9月	26,184	535,975	54,800	333,542	100,805	517,290	1,568,596
10月	27,778	505,105	91,285	281,251	104,337	497,663	1,507,419
11月	29,975	524,016	55,264	291,930	101,076	515,593	1,517,854
12月	21,349	464,149	70,251	307,874	93,864	499,461	1,456,948
'22年 1月	21,233	472,269	85,072	299,898	85,549	521,885	1,485,906
2月	21,597	484,203	87,412	275,110	83,726	463,906	1,415,954
3月	27,941	505,436	71,733	322,412	97,759	487,768	1,513,049
4月	22,479	440,709	93,362	281,028	98,222	475,462	1,411,262
5月	24,502	455,424	84,364	263,527	90,490	498,868	1,417,175
6月	24,975	443,267	77,186	270,442	83,984	446,038	1,345,892
前月比	101.9	97.3	91.5	102.6	92.8	89.4	95.0
前年同月比	119.3	83.2	122.1	83.6	94.0	82.1	85.6

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		
'20 暦年	209,727	2,198,378	1,185,987	3,384,365	56,123	314,764	1,229,083	109,383	64,711	85,442	1,859,506	5,453,598
'21 暦年	245,486	2,716,911	1,455,748	4,172,659	49,883	399,243	1,459,480	124,703	61,853	95,991	2,191,153	6,609,298
'20 年度	211,779	2,240,670	1,213,083	3,453,753	55,083	328,523	1,232,187	108,689	56,572	82,995	1,864,049	5,529,581
'21 年度	247,110	2,752,134	1,092,322	3,137,987	36,133	300,281	1,125,634	93,152	45,860	73,500	1,674,560	4,996,127
'21年 10月	19,072	218,261	113,035	331,296	3,874	32,989	126,427	8,717	5,490	8,061	185,558	535,926
11月	20,489	225,683	120,299	345,982	4,001	33,090	129,595	10,715	4,807	7,766	189,974	556,445
12月	19,449	230,330	120,228	350,558	4,147	33,935	134,227	10,219	5,469	7,779	195,776	565,783
'22年 1月	19,728	221,808	117,764	339,572	3,959	31,322	123,204	10,110	4,267	7,353	180,215	539,515
2月	20,368	223,047	115,749	338,796	4,037	30,503	126,216	12,385	6,646	7,315	187,102	546,266
3月	23,434	261,614	133,420	395,034	4,376	34,595	137,544	10,475	6,929	9,011	202,930	621,398
4月	22,967	223,859	118,078	341,937	4,141	29,596	127,524	9,440	6,542	7,718	184,961	549,865
5月	17,548	205,591	109,979	315,570	3,411	29,187	118,960	8,488	6,207	6,603	172,856	505,974
6月	19,943	218,744	121,484	340,228	3,882	31,703	133,659	9,712	7,250	7,177	193,383	553,554
前月比	113.6	106.4	110.5	107.8	113.8	108.6	112.4	114.4	116.8	108.7	111.9	109.4
前年同月比	85.7	90.8	91.7	91.1	88.5	87.0	105.0	80.5	142.0	77.9	99.4	93.6

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

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		
'20 暦年	7,121	227,632	138,579	366,211	23,123	34,242	122,999	27,331	143,334	23,014	374,043	747,375
'21 暦年	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846
'20 年度	6,109	225,231	149,743	374,974	25,103	34,654	118,733	24,034	145,894	22,503	370,921	752,004
'21 年度	7,544	239,228	149,869	389,097	21,922	36,386	140,730	29,025	139,691	23,830	391,584	788,225
'21年 10月	7,814	237,083	150,207	387,290	22,841	39,610	132,122	26,371	175,837	22,638	419,419	814,523
11月	7,528	245,739	153,174	398,913	23,423	39,517	139,226	30,425	184,589	17,560	434,740	841,181
12月	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846
'22年 1月	8,678	250,569	158,205	408,774	26,881	41,374	130,361	27,331	170,705	25,513	422,165	839,617
2月	9,554	250,933	151,757	402,690	26,839	39,934	136,991	30,502	153,702	21,866	409,834	822,078
3月	7,544	239,228	149,869	389,097	21,922	36,386	140,730	29,025	139,691	23,830	391,584	788,225
4月	8,012	247,938	157,940	405,878	25,592	34,058	143,141	30,246	158,409	23,196	414,642	828,532
5月	7,787	238,089	148,881	386,970	21,424	36,986	136,008	29,769	166,985	23,302	414,474	809,231
6月	9,965	235,519	143,029	378,548	25,580	38,079	135,043	27,688	161,691	20,630	408,711	797,224
前月比	128.0	98.9	96.1	97.8	119.4	103.0	99.3	93.0	96.8	88.5	98.6	98.5
前年同月比	165.4	96.9	97.4	97.0	115.9	104.6	111.5	100.9	103.9	86.4	105.7	101.9

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		
'20 暦年	65,383	253,328	167,185	420,513	11,503	54,038	203,455	12,278	13,904	6,544	301,722	787,618
'21 暦年	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560
'20 年度	64,494	277,040	177,841	454,881	11,736	53,793	217,355	14,206	16,535	5,470	319,095	838,470
'21 年度	77,786	312,576	208,973	521,549	13,253	62,840	253,404	15,438	16,809	10,270	372,014	971,349
'21年 10月	75,162	368,533	202,570	571,103	11,712	65,074	260,217	14,519	19,328	7,935	378,785	1,025,050
11月	75,441	359,128	195,371	554,999	12,075	59,161	259,914	14,606	18,347	7,182	371,285	1,001,225
12月	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560
'22年 1月	76,504	343,019	209,833	552,852	13,060	65,488	265,324	14,664	18,771	8,793	386,100	1,015,456
2月	76,018	330,301	210,798	541,099	13,031	62,121	254,202	14,989	17,835	9,166	371,344	988,461
3月	77,786	312,576	208,973	521,549	13,253	62,840	253,404	15,438	16,809	10,270	372,014	971,349
4月	78,462	289,591	201,973	491,564	12,950	60,493	244,062	15,088	16,402	11,034	360,029	930,055
5月	81,124	276,043	206,542	482,585	12,991	59,252	246,276	15,808	15,326	11,238	360,891	924,600
6月	79,817	265,365	202,893	468,258	12,736	57,865	242,550	14,588	15,204	10,985	353,928	902,003
前月比	98.4	96.1	98.2	97.0	98.0	97.7	98.5	92.3	99.2	97.7	98.1	97.6
前年同月比	122.9	86.9	107.5	94.8	104.3	97.8	103.9	126.9	79.4	178.0	103.6	100.2

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

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	快削鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	合金鋼	計	
'20 暦年	29,024	265,564	383,431	648,995	130,574	777,331	83,044	59,199	1,050,147	3,072	4,101,469	4,104,463	5,832,708
'21 暦年	41,270	437,028	558,747	995,775	198,944	846,790	122,324	73,541	1,241,600	2,866	5,394,930	5,397,827	7,676,441
'20 年度	30,661	286,158	400,957	687,115	139,795	757,155	88,335	64,008	1,049,293	2,961	4,065,480	4,068,440	5,835,508
'21 年度	42,446	428,197	548,765	976,962	197,417	846,850	121,221	64,398	1,229,885	3,006	5,313,266	5,316,272	7,565,565
'21年 9月	3,047	40,018	52,272	92,290	19,512	79,363	11,178	5,856	115,910	360	459,791	460,151	671,397
10月	3,449	35,615	47,791	83,406	18,586	69,343	12,617	5,938	106,484	194	466,887	467,081	660,420
11月	3,721	37,313	37,809	75,122	15,320	70,895	8,252	5,641	100,108	316	427,002	427,318	606,269
12月	3,488	33,521	47,089	80,610	14,266	76,112	12,263	3,763	106,404	240	410,537	410,778	601,279
'22年 1月	2,555	31,716	39,486	71,202	12,868	54,740	9,192	3,907	80,707	253	357,922	358,175	512,639
2月	3,613	28,032	43,549	71,581	12,476	72,718	6,634	5,520	97,348	209	361,889	362,099	534,640
3月	3,881	35,609	44,593	80,202	17,194	80,077	11,874	4,427	113,571	311	482,185	482,496	680,150
4月	3,537	29,493	43,825	73,319	14,241	63,212	9,455	5,418	92,326	226	387,026	387,253	556,434
5月	2,663	29,932	36,235	66,167	10,733	67,245	9,011	8,650	95,639	228	504,954	505,181	669,651
6月	4,433	38,104	46,606	84,710	16,297	77,790	10,335	7,368	111,790	475	448,505	448,980	649,913
前月比	166.5	127.3	128.6	128.0	151.8	115.7	114.7	85.2	116.9	208.6	88.8	88.9	97.1
前年同月比	75.8	80.5	97.0	88.8	87.1	104.4	71.6	143.9	99.1	224.0	97.4	97.5	96.3

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					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		計	高炭素鋼	合金鋼		計
'20 暦年	4,425	8,681	481	11,582	7,806	182,037	15,644	217,549	226	5,508	378,424	383,929	614,814
'21 暦年	3,425	7,333	282	12,395	11,674	237,726	18,602	280,679	310	7,765	274,257	282,022	573,769
'20 年度	3,570	8,042	435	11,445	8,396	188,470	15,730	224,477	250	6,395	358,609	365,004	601,343
'21 年度	3,909	9,290	270	12,657	12,725	249,314	19,380	294,346	270	7,528	237,040	244,568	552,383
'21年 9月	447	396	16	1,579	1,008	20,378	1,746	24,727	41	432	17,529	17,961	43,572
10月	164	641	25	979	937	21,309	1,370	24,620	13	128	20,057	20,185	45,623
11月	313	788	16	840	1,283	17,525	1,782	21,446	・	772	16,357	17,130	39,677
12月	438	1,069	17	1,220	1,387	24,700	1,799	29,123	29	235	15,406	15,641	46,300
'22年 1月	413	861	29	1,010	1,553	26,806	1,747	31,145	21	359	13,281	13,639	46,079
2月	235	1,318	14	1,009	919	24,046	1,287	27,275	15	1,096	15,777	16,873	45,717
3月	523	1,341	22	954	690	21,249	1,870	24,786	17	587	18,528	19,115	45,782
4月	278	1,166	16	1,224	1,553	21,529	1,800	26,122	-	276	17,884	18,160	45,726
5月	557	1,023	27	1,126	1,040	22,944	1,608	26,744	19	349	14,659	15,008	43,351
p 6月	346	1,438	17	913	750	28,947	1,877	32,504	21	1,006	11,867	12,873	47,181
前月比	62.1	140.5	64.0	81.1	72.1	126.2	116.8	121.5	109.9	288.0	81.0	85.8	108.8
前年同月比	104.1	196.4	117.1	72.7	73.0	156.4	129.5	146.0	-	132.7	58.8	61.5	106.6

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	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			
'20 暦年	8,067,943	1,037,731	3,740,832	259,879	4,598,615	779,300	-	180,833	108,419	8,267	95,570	46,022	9,018
'21 暦年	7,846,958	1,154,054	3,818,910	379,007	4,448,340	765,762	-	222,252	119,477	11,205	102,086	55,176	15,414
'20 年度	7,969,529	1,064,697	3,670,709	275,189	4,656,632	790,406	-	184,423	105,357	8,726	94,870	50,322	9,885
'21 年度	7,545,201	1,130,201	3,684,025	384,446	4,215,826	742,108	-	228,923	122,697	11,671	103,732	49,494	16,675
'21年 9月	430,593	79,263	200,025	25,999	318,371	60,879	-	18,945	10,481	1,115	8,478	4,628	1,446
10月	515,250	80,603	246,189	29,289	279,341	48,366	-	20,078	10,708	1,115	8,688	3,777	1,492
11月	756,625	103,409	342,078	32,028	352,455	60,404	-	20,134	11,332	1,195	8,899	4,044	1,454
12月	710,070	101,249	381,925	37,617	336,442	55,806	-	19,619	10,218	1,053	9,178	5,559	1,392
'22年 1月	546,951	80,195	269,439	29,019	329,699	56,794	-	17,963	9,292	909	8,996	2,934	1,429
2月	693,704	104,230	312,462	32,569	354,668	64,347	-	19,486	10,280	796	8,114	3,351	1,390
3月	719,354	107,429	321,457	37,874	512,862	85,473	-	22,508	11,657	962	8,695	7,142	1,663
4月	584,420	95,683	314,263	36,231	299,620	54,987	-	17,076	10,831	866	9,630	3,782	1,550
5月	420,233	56,416	206,566	27,928	261,433	49,341	-	13,800	8,348	711	9,088	4,290	1,533
6月	-	-	308,462	34,457	327,896	59,575	-	19,999	11,295	1,010	9,170	4,947	1,547
前月比	-	-	149.3	123.4	125.4	120.7	-	144.9	135.3	142.1	100.9	115.3	100.9
前年同月比	-	-	85.5	105.1	89.7	86.9	-	97.7	98.4	105.3	107.6	120.0	117.1

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、産業車輛生産は『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:訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2022年6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	18,272	103.8	99.7	88.6		
	鋼材輸入実績	346	62.1	104.1	112.3		
	販売業者	受入計	18,636	92.2	80.2	69.0	
		販売計	19,943	113.6	85.7	75.9	
		うち消費者向	16,507	114.0	86.4	87.3	
		在庫計	79,817	98.4	122.9	135.1	
	鋼材輸出船積実績	4,433	166.5	75.8	93.0		
	生産者工場在庫	9,965	128.0	165.4	120.2		
	総在庫	89,782	101.0	126.5	133.3		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産	593,924	93.6	83.9	86.8	
販売業者		受入計	325,901	106.3	85.0	49.9	
		販売計	340,228	107.8	91.1	52.0	
		うち消費者向	268,441	108.5	89.7	61.1	
		在庫計	468,258	97.0	94.8	133.1	
鋼材輸出船積実績		84,710	128.0	88.8	103.1		
生産者工場在庫		378,548	97.8	97.0	108.2		
総在庫		846,806	97.4	95.8	120.7		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産	27,546	114.6	74.7	76.6	
		鋼材輸入実績	1,438	140.5	196.4	352.7	
	販売業者	受入計	3,627	105.1	82.3	17.1	
		販売計	3,882	113.8	88.5	18.5	
		うち消費者向	2,708	109.6	85.8	58.2	
		在庫計	12,736	98.0	104.3	104.3	
	鋼材輸出船積実績	16,297	151.8	87.1	103.6		
	生産者工場在庫	25,580	119.4	115.9	99.1		
	総在庫	38,316	111.3	111.8	100.7		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産	199,987	102.0	91.6	87.1	
鋼材輸入実績		32,504	121.5	146.0	224.6		
販売業者		受入計	129,933	107.2	101.2	51.8	
		販売計	133,659	112.4	105.0	53.2	
		うち消費者向	59,289	109.1	92.5	106.0	
		在庫計	242,550	98.5	103.9	177.4	
鋼材輸出船積実績		77,790	115.7	104.4	88.7		
生産者工場在庫		135,043	99.3	111.5	117.2		
総在庫		377,593	98.8	106.5	149.9		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産	37,009	89.8	76.3	72.1	
	販売業者	受入計	8,492	92.2	79.0	60.0	
		販売計	9,712	114.4	80.5	67.5	
		うち消費者向	9,057	114.5	80.4	65.0	
		在庫計	14,588	92.3	126.9	107.8	
	鋼材輸出船積実績	10,335	114.7	71.6	108.0		
	生産者工場在庫	27,688	93.0	100.9	99.8		
	総在庫	42,276	92.8	108.6	102.4		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産	354,900	89.9	85.6	86.0	
		販売業者	受入計	7,128	138.9	124.8	69.3
販売計			7,250	116.8	142.0	71.3	
うち消費者向			6,336	116.0	157.1	94.5	
在庫計			15,204	99.2	79.4	138.7	
生産者工場在庫		161,691	96.8	103.9	85.3		
総在庫		176,895	97.0	101.2	88.2		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産	114,252	104.4	89.7	82.6	
		販売業者	受入計	37,240	107.2	78.3	91.9
			販売計	38,880	108.6	85.2	95.9
	うち消費者向		36,739	109.6	86.2	100.0	
	在庫計		68,850	97.7	105.4	129.6	
	生産者工場在庫	58,709	97.4	97.4	84.9		
	総在庫	127,559	97.5	101.6	104.3		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	1,345,890	95.0	85.6	85.6	
		鋼材輸入実績計	47,181	108.8	106.6	58.1	
		販売業者	受入計	530,957	106.1	88.0	52.2
販売計			553,554	109.4	93.6	54.4	
うち消費者向			399,077	109.1	90.0	69.3	
在庫計			902,003	97.6	100.2	141.5	
鋼材輸出船積実績計		649,913	97.1	96.3	101.1		
生産者工場在庫		797,224	98.5	101.9	101.5		
総在庫		1,699,227	98.0	101.0	119.4		

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) 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

(2022年6月1日～7月31日)

海外委員会

専門部会（6月8日・対面会議+Web会議）
2022年度調査事業テーマについて

説明会（7月1日）

演 題：2021年度「海外特殊鋼メーカーの現状とその取り巻く環境—100年に一度の劇的な変革期への対応に向けて」報告（ダイジェスト版）

講 師：コベルコビジネスパートナーズ(株)
産業情報部 産業情報グループ
本城 貴充 氏

方 式：ハイブリッド（対面+オンライン配信）
聴講者：110名

市場開拓調査委員会

本委員会（7月6日・対面会議+Web会議）

- ①2021年度活動報告
- ②2022年度活動計画の検討

調査WG（6月7日・対面会議+Web会議）

2022年度調査事業テーマについて

説明会（7月5日）

演 題：2021年度「主要自動車企業の調達戦略の見直し等を織り込んだ特殊鋼の需要量予測」報告（ダイジェスト版）

講 師：(株)現代文化研究所
市場戦略情報第1領域 リーダー
山元 哲史 氏

方 式：ハイブリッド（対面+オンライン配信）
聴講者：175名

編集委員会

本委員会（6月15日・Web会議）

- ①11月号特集「工具鋼（仮題）」の編集方針、内容の確認
- ②一般社団法人日本鉄鋼協会記念講座協賛について

小委員会（7月22日・Web会議）

- ①2023年1月号特集「未来に貢献する新材料、新技術（仮題）」の編集内容の検討

- ②2022年11月号特集「進化する熱間工具鋼」の「V. 工具鋼のブランド対照表」見直しについて

人材確保育成委員会

2022年度特殊鋼教養講座2回目（東京地区対面方式）（6月24日）

テーマ：①鉄鋼業の歴史と先端技術による未来への挑戦

②カーボンニュートラル入門

講 師：①(一社)特殊鋼倶楽部 専務理事
脇本 真也

②(一社)特殊鋼倶楽部

カーボンニュートラルWGリーダー
(愛知製鋼(株) 総合企画部 執行職)
坂本 定氏

方 式：対面参加

受講者：26名

流通委員会

説明会（7月19日）

演 題：2022年度第2・四半期の特殊鋼需要見直し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
課長補佐 佐藤 俊輔 氏

方 式：オンライン同時配信（東京・名古屋・大阪3地区）

聴講者：110名

カーボンニュートラルWG

第12回会合（6月27日・Web会議）

第13回会合（7月28日・Web会議）

ミルシート電子化拡大WG

ミルシート電子化推進説明会（6月27日・Web会議）

第4回メーカー会合（7月12日・Web会議）

[大阪支部]

定時総会（6月13日・対面会議）

①2021年度事業・決算報告

②2022年度事業計画（案）・収支予算（案）・役員改選（案）承認

説明会（7月5日）

演 題：2021年度「主要自動車企業の調達戦略の見直し等を織り込んだ特殊鋼の需要量予測」報告（ダイジェスト版）

講 師：(株)現代文化研究所
市場戦略情報第1領域 リーダー
山元 哲史 氏

方 式：ハイブリッド（対面+オンライン配信）
聴講者：175名

説明会（7月19日・全特協との共催）

演 題：2022年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
課長補佐 佐藤 俊輔 氏

方 式：オンライン配信（東京・名古屋・大阪3地区）

聴講者：33名（3地区計110名）

[名古屋支部]

定時総会（6月6日・対面会議+Web会議）

①2021年度事業・決算報告

②2022年度事業計画（案）・収支予算（案）・
役員体制（案）承認

部会（Web会議）

工具鋼部会（7月1日）

ステンレス鋼部会（7月8日）

構造用鋼部会（7月22日）

説明会（7月19日・全特協との共催）

演 題：2022年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
課長補佐 佐藤 俊輔 氏

方 式：オンライン配信（東京・名古屋・大阪3地区）

聴講者：20名（3地区計110名）



特殊鋼倶楽部の動き

「2022年度 特殊鋼教養講座（2回目）東京地区対面方式」 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に関する事業の一環として、会員各社の社員教育の一助となるべく毎年度実施しています。

2016年度に新人、若手社員向けとして、講義とグループディスカッションを織り交ぜた講義実践型を取り入れた内容で開講しましたが、2021年度に聴講のみの講義に特化した内容に一新し、鉄に携わる者としての基礎的な知識の習得に重点を置くことにしました。

しかし、2020年に入って、世界的な規模で新型コロナウイルス感染症が蔓延し、受講上の感染対策を講じるとして、従来の対面集合型からオンライン・Web型に切替え継続して実施してきました。

今回、目下のコロナ感染状況を鑑み、感染防止に配慮しつつ対面講義の優位性を重視しての開催に踏み切りました。

受講者の皆様は、久々に直接講師から説明を受けることに神経を集中して耳を傾け、学びとっている様子で、充実した時間を過ごしていました。

受講されました皆様には、大変お疲れさまでした。

日 時：2022年6月24日（金）14時00分～18時15分

場 所：「鉄鋼会館」704号室（東京都中央区日本橋茅場町3-2-10）

演題・講師：「鉄鋼業の歴史と先端技術による未来への挑戦」

〔講師〕 一般社団法人特殊鋼倶楽部 専務理事 脇本真也

〔カーボンニュートラル入門〕

〔講師〕 一般社団法人特殊鋼倶楽部 カーボンニュートラルWGリーダー

（愛知製鋼株式会社 総合企画部 執行職） 坂本 定 氏

受 講 者：26名

2021年度海外委員会調査「海外特殊鋼メーカーの現状とその取り巻く環境—100年に一度の劇的な変革期への対応に向けて」報告書 (ダイジェスト版) 説明会の開催 (ハイブリッド説明会)

海外委員会の海外市場調査事業は、海外の主要特殊鋼市場の需給動向等について調査を行い、会員各位のご参考に供してまいりました。

2021年度は、世界における特殊鋼業界の最新の状況を把握することを目的に「海外特殊鋼メーカーの現状その取り巻く環境」調査を実施し、報告書を取りまとめました。

本調査は平成13年度、平成20年度、27年度に実施し、4回目の継続調査として位置付けておりますが、特殊鋼業界を取り巻く環境は大きく変化しております。特に、特殊鋼の重要な需要分野である自動車業界では、CO2問題も含めてCASE/PACEやMaaSと称される新たな方向性が示されて、その状況は100年に一度の劇的な変革期に入ったと解され、自動車メーカーのみならず、サプライヤーへの影響も極めて大きくなっています。

特殊鋼メーカーもその対応が迫られる中、海外特殊鋼メーカーの対応、今後の動向を展望する上での一助となれば幸いです。本調査報告書は300ページに及び、世界の主要な特殊鋼メーカーの概要を調査してまとめております。

2021年度調査事業として実施した「海外特殊鋼メーカーの現状とその取り巻く環境—100年に一度の劇的な変革期への対応に向けて」(ダイジェスト版)の調査報告書を同調査委託先のコベルコビジネスパートナーズ株式会社よりご説明いただきました。

当日、説明会に参加された方々にはWEB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説明会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：2022年7月1日(金) 13時30分～15時30分(目途)

演 題：2021年度「海外特殊鋼メーカーの現状とその取り巻く環境—100年に一度の劇的な変革期への対応に向けて」報告「ダイジェスト版」

演 者：コベルコビジネスパートナーズ株式会社 産業情報部 産業情報グループ 本城貴充 氏

方 式：ハイブリッド説明会 (Teams利用)

聴講者：110名

2021年度調査「主要自動車企業の調達戦略の見直し等を織り込んだ特殊鋼の需要量予測」報告書（ダイジェスト版）説明会の開催

市場開拓調査委員会では、委員会活動の一環として新たな需要分野における特殊鋼使用動向調査ならびに需要産業における特殊鋼使用実態調査等を行っています。2021年度は「主要自動車企業の調達戦略の見直し等を織り込んだ特殊鋼の需要量予測」を行い、報告書にまとめました。

特殊鋼の最大の需要産業である自動車業界においては、周知のとおり100年に一度（いわゆるCASE）と言われる産業構造変化が進行しつつあり、さらに足元では脱炭素（カーボンニュートラル）化への圧力やCOVID-19のなど、社会情勢の変化が追い打ちをかけ、ますます今後の先行きを見通すことが困難な情勢になりつつあります。

本調査ではまず、自動車産業を取り巻く事業環境の変化を把握いたしました。特に留意したのは、①全世界的な「カーボンニュートラル」の動向、②「車両電動化」の進展、③「サプライチェーン（部素材調達）」の変化、この3つの視点を軸に情報収集・分析を行い、今後自動車産業に重大な影響を及ぼす変化トリガーの特定とそれに基づく電動車（BEV）普及見通しを策定いたしました。日本の自動車産業界からは、①の達成には「国家エネルギー政策の大変革が前提となる」などの指摘がなされていますが、本調査では自動車産業側の対応動向（②、③）に焦点を絞らせて頂きました。特に、「サプライチェーン（部素材調達）」の変化については、自動車企業による特殊鋼調達に関する戦略に焦点を当て、当該企業への直接のインタビュー（現地・現物・現場の生声）を基に特殊鋼の調達事業の現状や今後の方針等を明らかにいたしました。」自動車産業の発展には高品質な特殊鋼の安定的な供給が必要不可欠です。常に変化するサプライチェーンを的確に捉え、将来の動向を把握していくことが需要開拓を行っていく上で最も必要であると考えます。

2021年度調査事業として実施した「主要自動車企業の調達戦略の見直し等を織り込んだ特殊鋼の需要量予測」の調査報告書を同調査委託先の株式会社現代文化研究所よりご説明いただきました。

当日、説明会に参加された方々にはWEB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説明会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：2022年7月5日（火）13時30分～15時30分

演 題：2021年度「主要自動車企業の調達戦略の見直し等を織り込んだ特殊鋼の需要量予測」報告「ダイジェスト版」

演 者：株式会社 現代文化研究所 市場戦略情報第1領域リーダー 山元哲史 氏

方 式：ハイブリッド説明会（Teams利用）

聴講者：175名

■ お知らせ ■ ■ ■ ■ ■

第245・246回西山記念技術講座 失敗しない評価・分析・解析技術の最前線 (不確定要素の理解と適切な手法の選択に向けて)

▼2022年11月7日(月)(大阪)

▼2022年11月14日(月)(東京)

主催 (一社)日本鉄鋼協会 協賛 (一社)特殊鋼倶楽部

講座の視点

分析・観察手法による結果には不確定要素(誤差)が含まれており、その要因として、統計的ばらつき、前処理(サンプリング)、測定結果の解析法(基礎的な理解不足から陥る誤りなどによる)、既存技術における盲点などがある。真の値や組織・構造情報を得る際には、それらの誤差要因を認識しておくことは非常に重要である。本講座では、各種分析・観察技術の技術進歩に触れながら、陥りやすい誤りにも焦点を当てる。さらに適切な手法の選択に向けた考え方を述べる。このため、聴講者としては分析研究者・技術者のみならず材料・プロセス部門の研究者・技術者の参加も歓迎する。

1. 日時・場所：第245回：2022年11月7日(月) 9:30~16:30 受付時間：9:00~15:00

大阪：CIVI研修センター新大阪東5階E5Hall

(大阪市東淀川区東中島1-19-4 新大阪NLCビル)

<https://www.civi-c.co.jp/access.html#higashi>

第246回：2022年11月14日(月) 9:30~16:30 受付時間：9:00~15:00

東京：早稲田大学西早稲田キャンパス 63号館2階会議室(東京都新宿区大久保3-4-1)

<http://www.waseda.jp/top/access/nishiwaseda-campus>

*新型コロナウイルス感染症の感染状況によっては、11月14日のオンライン開催のみとなる場合がございます。あらかじめご了承下さい。その場合11月7日の参加申込は、自動的に11月14日に振替となります。変更する際はWebサイトにてお知らせいたします。

2. 内容および講演者、司会者

司会者：鈴木 茂(東北大学)

1) 9:30~10:00 測定値の不確かさ 京都大学 大学院工学研究科 教授 河合 潤

2) 10:00~10:45 失敗しない化学分析技術~一歩先の化学分析を目指して~

元JFEテクノリサーチ(株) 吉川 裕泰

3) 10:45~11:30 最近の析出物・介在物分析技術の進歩

日本製鉄(株) 技術開発本部 先端技術研究所 解析科学研究部 主幹研究員 板橋 大輔

日鉄テクノロジー(株) 富津事業所 技術営業部長 水上 和実

司会者：藤浪 真紀(千葉大学 大学院工学研究院 教授)

4) 12:30~13:15 失敗しない顕微解析のために 九州大学 大学院工学研究院 教授 金子 賢治

5) 13:15~14:00 構造解析技術の最前線

日本製鉄(株) 技術開発本部 先端技術研究所 解析科学研究部 課長 村尾 玲子

6) 14:00~14:45 軟X線発光分光法で要求される試料前処理技術と応用分析事例

日本電子(株) SA事業ユニット スペシャリスト 高倉 優

司会者：河合 潤（京都大学）

7) 15：00～15：45 表面解析技術の最近の進歩

東北大学 マイクロシステム融合研究開発センター 教授 鈴木 茂

8) 15：45～16：30 環境分析における現場レベルの事例紹介

(株)コベルコ科研 技術本部 高砂事業所 化学分析センター長 倉谷 聡

3. 講演内容

1) 測定値の不確かさ

河合 潤

分析値を報告する場合、平均値とともに「不確かさ」や測定誤差などを報告しなければならないことになっている。標準偏差 σ や不確かさ σ/\sqrt{N} は測定精度や真値への近さを示す指標であるが、 σ と σ/\sqrt{N} とではその意味も、また分析対象（アナライト）も異なることから、誤差や不確かさの使い分けを解説する。1回だけの測定は、統計学的に軽視されがちであるが、1回だけの計測の重要性と、外れ値の重要性についても説明する。試料量・分析面積と、測定精度との関係や、測定におけるランダムなサンプリングの重要性についても説明し、マイクロ分析（試料の総量が少量の分析）の定量精度がバルク分析に比べて悪くなる理由や、トレース分析（低濃度の分析）に要求される試料量との関係についても解説する。

2) 失敗しない化学分析技術～一歩先の化学分析を目指して～

吉川 裕泰

化学量論的な取り扱いが可能な化学分析は分析技術の基本である。化学分析の役割は種々ある。鉄鋼製造における分析は、経済性の追求から省力化・自動化および迅速化が進められ、発光分光分析、蛍光X線分析をはじめ各種の機器分析が生産現場における主流となっている。この機器分析の底辺を支えているのが化学分析の役目の一つである。さらに機器分析では対応困難な試料の分析も化学分析で実施されているのが現状である。

本講座では、「失敗しない化学分析技術」と題して基本事項を振り返り、さらにこれまでの発展と今後の展望について講演する。具体的には試料採取、溶解、分離および検出など一連の分析工程における各技術を紹介する。さらに得られた分析結果の評価方法などにも言及する。また、分析を利用する技術者のための心得などについても講演を予定している。

3) 最近の析出物・介在物分析技術の進歩

板橋 大輔、水上 和実

鉄鋼材料中に存在する析出物・介在物はその存在形態、粒子径、個数（量）によって、鋼の機械的特性に多大な影響を及ぼすことが知られており、これらを対象とした分析技術は鉄鋼材料開発のツールとして必要不可欠なものとなっている。近年では求められる機械的特性の高度化に伴い、分析対象はより複雑化している。本講座では、1980年代に開発された状態・形態別分析技術（化学的抽出分離法、電気化学的抽出分離法、化学的エッチング技術、各種分析法と組み合わせた状態・形態別分析技術等）をレビューするとともに、2000年以降に開発された新しい析出物・介在物分析技術など各種分析・観察技術の技術進歩に触れながら、研究者が陥りやすい誤りにも焦点を当てるとともに、適切な手法の選択に向けた考え方を述べる。

4) 失敗しない電子顕微鏡による微構造解析

金子 賢治

日常的に用いられている装置や機器の安定した動作を保証するためにも、それらに対し耐久性や信頼性を高めることが常日頃から求められている。材料の特性は、その内的要因や外的要因に影響を受けることから、それを向上・改善するためにはいつの時点で、何処に、どの元素が、どの様に、どうして分布しているかを知る必要がある。

電子顕微鏡を用いる場合、微構造を解析することを第一の目的としているため、局所や限られた箇所を拡大し、観たい組織を見ているのが現状である。「木を見て森を見ず」、とはよく言ったものであるが、「森を見て木を見ず」、もまた事実である。本講演では、微構造解析を行うにあたり、陥りやすい失敗などについて紹介する。

5) 構造解析技術の最前線

村尾 玲子

材料のキャラクタリゼーションや反応挙動解析では、組成や組織に加え構造解析技術が欠かせない。特に、製鉄工程で扱う原燃料やスラグなどの副生成物は不均質で、構造が複雑な化合物を含む。非晶質も含まれるので、回折法と分光法などの複数の解析手法を組み合わせて相補的に解析することが求められる。

本講座では、構造解析に広く用いられているX線回折法および電子線後方散乱回折法の最新動向および最新技術として、回折コントラストトモグラフィー (DCT)、X線吸収分光とトモグラフィー法を組み合わせたXAFS-CTなどの放射光を利用した3次元組織解析技術を紹介する。また、粉末X線回折法を用いた定量解析において注意すべき点としてマイクロアブソープション効果について取り上げる。

6) 軟X線発光分光法で要求される試料前処理技術と応用分析事例

高倉 優

軟X線発光分光器 (SXES) は、走査電子顕微鏡 (SEM) や電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) に装着し、主に元素の価電子帯近傍の遷移に基づく特性X線を計測し、微小領域における試料の化学結合状態を計測するのに適した装置である。主に検出する信号は軟X線領域であり、X線発光効率を上げるために低加速電圧で分析を行うので、バルク試料の信号検出深さは通常のEPMAより浅く、試料の前処理の良し悪しが分析結果に大きく影響する。本講演では軟X線発光分光法の基礎から、様々な試料前処理 (機械研磨、イオンエッチング、導電性コーティング、あるいは非曝露試料の取り扱いなど) さらには、応用分析事例についても紹介する。

7) 表面解析技術の最近の進歩

鈴木 茂

表面解析技術は、金属や合金などの固体試料における表面や界面の薄い領域 (主に1 μ m以下) での元素分布、それと組織との対応を調べるのに有用であり、鉄鋼分野の中間的素材や各種鋼材の表面や界面を評価するのにも用いられる。本講座では、X線光電子分光法、二次イオン質量分析法などの表面解析法について取り上げ、それらの測定原理、標準化動向、応用例などについて述べる。また、固体試料の特性発現の機構を明らかにするには、元素分布や化学組成だけでなく、構造や組織などの情報も重要であり、たとえば化学式が同じであっても構造や組織が異なる物質 (構造異性体をもつ物質) もある。このため、異なる手法を横断的に利用し解析することにより特性発現機構などに迫ることもあるので、それらの例についても紹介する。

8) 環境分析における現場レベルの事例紹介

倉谷 聡

環境分析では、JISなどの公的規格に従うものが多いが、失敗しない測定・分析を実施するために、公的規格で規定されていない現場レベルでのノウハウや、創意工夫が数多くある。本講演では、これらの事例として、ばい煙測定における試料採取器具の最適化、有害大気汚染物質測定の試料採取機器選定時の留意点、含油廃棄物分析の前処理で有効な有機物分解法、分析装置から報告書作成までの自動化を適用した内容について紹介する。

4. 参加申込み 【9月初旬開始予定】

[申込方法] 本会Webサイトからの**事前申込みのみ**とします。当日参加受付は行いません。

※定員になり次第、締切とします。

[支払い方法] ①クレジットカードの**オンライン決済** または、②郵便振替のいずれかの方法で、**事前の入金**をお願いします。

※請求書の発行は致しません。

[締め切り] 申込、入金ともに**10月17日 (月) までに完了**するようお願いします。

※入金の確認後、**開催約1週間前にテキストと領収証を送付**します。

※ご入金後の返金はいたしません。また、当日不参加の場合も返金はいたしませんのでご了承ください。

5. 参加費（税込み、テキスト付）

会員8,000円、一般15,000円、学生会員1,000円、学生一般2,000円

注）会員割引は個人の会員のみ有効です。協賛団体の個人会員、学生会員も含まれます。

*非会員でご参加の方で希望される方には、下記会員資格を進呈します。（入会方法は別途ご案内いたします。）

- ・一般（15,000円）で参加 ⇒ 2023年12月までの準会員資格
- ・学生一般（2,000円）で参加 ⇒ 2023年12月までの学生会員資格

★テキストは、講座終了後残部がある場合、鉄鋼協会会員価格、一般価格で販売いたします。
テキスト購入のお申込みは、本会Webサイト（出版図書案内）をご覧ください。

問合せ先：（一社）日本鉄鋼協会 育成グループ

TEL：03-3669-5933 FAX：03-3669-5934 E-mail：educact@isij.or.jp



一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 25社</p> <p>販売業者 101社</p> <p>合 計 126社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>高 周 波 熱 錬 (株)</p> <p>(株)神 戸 製 鋼 所</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 鉄 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 製 鐵 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)広島メタル&マシナリー</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)ISSリアライズ</p> <p>(株)U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼松トレーディング(株)</p> <p>(株)カ ム ス</p> <p>(株)カワイスチール</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p> <p>住友商事グローバルメタルズ(株)</p>	<p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大同DMソリューション(株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テクノタジマ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デルタスチール(株)</p> <p>東京貿易マテリアル(株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>(株)ト ー キ ン</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 島 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 モ ル デ イ (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 物 産 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株)日 立 ハ イ テ ク</p> <p>(株)平 井</p>	<p>(株)フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)プ ル ー タ ス</p> <p>平 和 鋼 材 (株)</p> <p>(株)堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三井物産スチール(株)</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>リ ン タ ツ (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

「特殊鋼倶楽部」、及び「特殊鋼誌」の役割として、「特殊鋼商品知識の普及及び啓発」があります。特殊鋼誌の編集方針として、「特殊鋼に関わる製造、流通に関わる若手向け」というコンセプトで紙面作りをしてきました。今回の特集「特殊鋼の基礎」を編集するにあたり、「最終的にはこれが一冊あれば特殊鋼については説明できる」というものを作りたい、と思いました。これは、私が若手の時に「技術書は重いし、特殊鋼誌はバラバラに分かれている」と思ったことが根底にあります。

今回は「化学成分」に関する基礎的内容としましたが、今後「機械的性質」や「設備」等、若手の皆さんに知って欲しい内容を取りまとめていきたいと思います。

最後に本件の編集にご対応頂いた方々にお礼を申し上げますと共に、引き続きのご支援を賜りますようお願い致します。

〔日本製鉄(株) 本社 棒線技術部棒線技術室 室長 青山 敦司〕

特 集 / 進化する熱間工具鋼

- I. 総論
- II. 熱間工具鋼の用途別材料
- III. 熱間工具鋼の周辺技術
- IV. 会員会社の熱間工具鋼と関連技術
- V. 工具鋼のブランド対照表

1月号特集予定…未来に貢献する新材料、新技術

特 殊 鋼

第 71 卷 第 5 号
© 2 0 2 2 年 9 月
2022年8月25日 印 刷
2022年9月1日 発 行

定 価 1,252円 送 料 200円
1年 国内7,434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 脇 本 眞 也
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。