

# 特殊鋼

2015  
Vol.64 No.1

1

*The Special Steel*

特集／「特殊鋼の高強度化」—グローバル競争を支える日本の技術—



# 特殊鋼

# 1 目次 2015

## 【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	甘利 圭右 (平井)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	永濱 睦久 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	川添 健一 (新日鐵住金)
〃	松村 康志 (大同特殊鋼)
〃	内藤 靖 (日新製鋼)
〃	石川流一郎 (日本金属)
〃	宮川 利宏 (日本高周波鋼業)
〃	佐藤 昌男 (日本冶金工業)
〃	田村 庸 (日立金属)
〃	山岡 拓也 (三菱製鋼室蘭特殊鋼)
〃	中村 哲二 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)

## 【平成27年新年挨拶】

……………	一般社団法人特殊鋼倶楽部 会長 武田 安夫	1
-------	-----------------------	---

## 《年頭所感》

「年頭に寄せて」……………	黒田 篤郎	3
「年頭所感」……………	石黒 武	4
「関係団体が協力して業界発展の足元を固めよう」……………	佐久間貞介	5
「日本企業がグローバルである為に」……………	高木 清秀	6
「年頭所感」……………	藤岡 高広	7
「グローバル競争を勝ち抜くために」……………	後藤 隆	8
「年頭所感」……………	那須 七信	9
「年頭所感」……………	中川 智章	10
「年頭所感」……………	宮楠 克久	11
「年頭所感」……………	安武 雄二	12
「年頭所感」……………	久留島靖章	13

## 《需要部門の動向》

産業機械……………	一般社団法人日本産業機械工業会 片岡 功一	14
-----------	-----------------------	----

## 【特集／「特殊鋼の高強度化」ーグローバル競争を支える日本の技術ー】

I. 総論……………	(独)物質・材料研究機構 長井 寿	17
II. 各産業分野における特殊鋼の高強度化ニーズ		
1. 自動車……………	トヨタ自動車(株) 北野 智靖	21
2. 建設ーグラウンドアンカーとタイプルー……………	(株)エスイー 竹家 宏治	24
3. 電力・エネルギー……………	三菱日立パワーシステムズ(株) 佐藤 恭	28
III. 特殊鋼の強度		
1. 鋼の強化機構……………	九州大学 高木 節雄	31
2. 高強度化の応用例		
(1) 転位強化……………	新日鐵住金(株) 大藤 善弘	35
(2) 粒子分散強化①……………	(株)神戸製鋼所 村上 俊夫	38
粒子分散強化②		
耐熱鋼の析出強化……………	(独)物質・材料研究機構 阿部富士雄	41

(3) 結晶粒微細化を活用した高性能厚鋼板 .....	JFEスチール(株) 西村 公宏	46
--------------------------------	------------------	----

IV. 高強度化を支える技術

1. 鋼材製造プロセス.....	山陽特殊製鋼(株) 小林 一博	49
2. 鍛造における数値シミュレーションの動向 .....	名古屋大学大学院 石川 孝司	53

V. 会員各社の高強度材料、関連技術

愛知製鋼(株)、(株)神戸製鋼所、山陽特殊製鋼(株)、 JFEスチール(株)、大同特殊鋼(株)、日立金属(株).....		58~63
“特集”編集後記.....	愛知製鋼(株) 杉本 淳	64

---

■業界の動き .....	65
特殊鋼最終消費需要の変遷 .....	68
▲特殊鋼統計資料 .....	75
★倶楽部だより（平成26年10月1日～11月30日） .....	79
☆特殊鋼倶楽部の動き .....	81
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 .....	85

---

特集／「特殊鋼の高強度化」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	杉本 淳	愛知製鋼(株)	品質保証部お客様品質・技術室 主査
委員	南田 高明	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 次長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	軸受営業部 軸受CS室長
〃	松村 康志	大同特殊鋼(株)	特殊鋼製品本部 自動車材料ソリューション部 副主席部長
〃	内藤 靖	日新製鋼(株)	商品開発部 特殊鋼開発チーム 主任部員
〃	宮川 利宏	日本高周波鋼業(株)	営業本部 条鋼営業部 担当次長
〃	佐藤 昌男	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部長
〃	遠山 文夫	日立金属(株)	高級金属カンパニー 技術部 主任技師
〃	山岡 拓也	三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	技術部部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	甘利 圭右	(株)平井	常務取締役



## 新年あいさつ

# 「平成27年新年挨拶」



一般社団法人特殊鋼倶楽部 会長 **武田 安夫**

新年あけましておめでとうございます。平成27年の年頭に当たり一言、ご挨拶を申し上げます。

昨年1年を振り返りますと、日本経済は消費税増税と為替変動に大きな影響を受けました。また、御嶽山や阿蘇山の噴火、集中豪雨といった自然現象の脅威も改めて認識させられました。海外に目を転じると、イスラム国やウクライナ問題など地政学的リスクも高まりました。一方、日中韓の国際関係につきましても、修復に向けた動きが見られたことは新年に向けての明るい兆しです。

また、年末の衆議院選挙で安倍政権が厚い信任を得たことはアベノミクスを官民一体になってより強力かつ迅速に推進すべし、との新しい年に向けた極めて力強いメッセージであります。

昨年は4月からの消費税増税により自動車生産や住宅建設は一昨年後半から駆け込み需要が発生し、その反動でマイナス成長に陥りました。特に10月末の日銀の電撃的な金融緩和の後、11月に発表された7-9月のGDPが2期連続でマイナス成長という想定外の結果で景気の先行きへの懸念が強まり、本年10月に予定されていた消費税の延期、解散・総選挙に繋がることとなりました。

色々な見方があると思いますが、日銀の金融緩和、消費税の延期は、デフレ脱却、アベノミクス完遂に向けた政府の強い意思の表れと受け止められます。

昨年1年は為替効果の企業への影響が目立った1年でした。円安により輸出の増大が期待されましたが、製造業の海外展開の影響により思ったほどは伸びず、逆に輸入価格の上昇で貿易赤字が増大しました。後半になり、貿易収支の赤字幅も徐々に減少、大幅な原油安もあり、一部企業では過去最高の収益を記録するなど企業収益の改善が見られました。一方で輸入物価の上昇により内需型企業や輸出が少ない中小企業の収益はコスト

アップで圧迫され、急激な円安への悲鳴が上がりました。外的な環境変化は企業にプラス効果とマイナス効果の両方の影響を与えることから、偏在する円安メリットの還流と安定した環境の維持が望まれるところです。特に、我々と関係の深い電力については、原子力発電の停止により発電用燃料輸入増大が継続し、原油安はあるものの円安の影響で原燃料の調達コストは増大、電力価格は高く張り付いた状況です。懸命の自助努力でもカバーできない部分はユーザーにも御願いせざるを得ませんが、ご理解を頂くのも容易ではなく、電力高騰による莫大なコスト負担で、企業収益は大きな影響を受けたままとなっております。

さて、昨年の日本の鉄鋼業、特殊鋼業の状況ですが、2014年は粗鋼生産で、1億1,138万トンで、2013年の1億1,059万トンとほぼ同水準で1億1,000万トンを超えることができました。特殊鋼鋼材生産につきましても、1-3月516万トン、4-6月521万トン、7-9月541万トン、10-12月が541万トンと1年を通じては2,119万トンで、生産量としては高水準であったと言えます。

これは自動車をはじめとする需要業界の生産の力強さによるものです。自動車については、足元の国内販売は、消費税増税の反動もあり、低迷状況ですが、海外工場向けKD部品の輸出は堅調に推移しています。一方、中国、インド等の新興国では経済環境の変化により伸び率の低下が見られますが、総じて特殊鋼最大の需要産業である自動車の生産水準により、特殊鋼の状況も一定水準が確保されている状況です。

我が国の特殊鋼鋼材生産は一昨年及びリーマンショックのあった21年を除けば、2,000万トン台の生産を維持しております。これだけの特殊鋼生産を維持できたのは特殊鋼がまさに高度な機能商品であり、設計-加工-素材の木目細かい擦りあわ

せ技術の結晶で、技術を中核にした需要業界との強固なサプライチェーンがあったからに他なりません。こうしたサプライチェーンの重要性を改めて確認したいと思います。

平成27年についての展望ですが、強力な政権の下、一刻も早くデフレ脱却、景気拡大への道筋をつけるとともに法人税等国際的に劣位な企業基盤の改善を図っていただきたいと思います。

また、消費増税の延期により財政再建の遅れや円に対する国際的評価が低下することへの懸念の声も聞かれます。日本の財政状況は待ったなしの状況ですので、アベノミクスの第3の矢である規制改革等成長戦略の拡充と合わせ、医療、年金、介護等の社会保障政策の見直し、歳出見直しにより財政再建に取り組んでいただきたいと思います。

さらにTPP交渉につきましても息の長い交渉が続いておりますが、貿易立国として生きる我が国にとって、TPPは重要な課題です。現政権の決断とリーダーシップに期待しております。

電炉業にとって死活問題である電力問題は、喫緊の課題です。特殊鋼業界は電力多消費産業として、これまで関係当局に政策要望を行ってきたところですが、早急に再生エネルギー買取制度の見直しとともに安全確保を前提とした原子力発電の再開、拡大に是非とも道筋をつけていただきたいと思います。

また、世界的な鉄鋼の需給バランスを歪める鉄鋼生産は世界各地で通商問題を招来しております。アンチダンピング提訴やセーフガード等様々な通商問題が世界各地で頻発しております。我が国でもステンレス鋼等で輸入がかなりの水準に達している鋼種もあります。また、特殊鋼分野では普通鋼に微量のボロンを添加したいわゆる中国からのボロン鋼輸出が大きな問題となっております。我が国でもその他合金鋼の輸入量は26年1-10月で64万トン、年率換算では76万トンベースで、前年比200%増と急増が記録されておりますが、これら

は中国からのボロン鋼輸入が大きな要因と思われます。本年1月から輸入通関コードでボロン鋼の線材及び熱延鋼板に専用のコードが設けられたことは事実の把握の第一歩であり、こうしたタイムリーなアクションに関係当局に感謝したいと思います。

今後とも通商問題は目を離すことができない課題であり、特殊鋼倶楽部としても必要な対応をして参りたいと思います。

以上のように日本経済および特殊鋼業界には多岐に渡る大きな解決すべき課題がありますが、こうした我々の前にある壁や困難を直視し、先輩諸氏から受け継いできた経験と叡智とでこれら諸課題を乗り越え解決していくことが重要です。そして、自らが、会員一人ひとりが絶えず自己革新を行うことで体質強化と利益成長を達成せねばなりません。

我々日本の特殊鋼業界が発展せずともものづくり産業の発展はありません。特殊鋼倶楽部は、ものづくりのサプライチェーンの起点として、産業間連携の一層の強化に向け全力を尽くしてまいります。

引き続き、会員ニーズをベースに会員の力を結集し、モノづくりサプライチェーンの起点である特殊鋼の技術、付加価値を強化し、さらにそれらの価値を正当に評価していただき、特殊鋼の生産流通に携わる我々の活動がますます発展できるよう頑張っていきたいと思います。

自助努力が基本ではありますが、我々だけの力では解決できない課題も多々あります。電力・エネルギーの安定供給確保や世界的に劣後におかれた企業環境の是正など日本の産業全体の構造問題があります。これらにつきましては、ぜひ政策的見地からもご支援をお願いしたいと思います。

日本経済を支えているものづくり産業が将来に期待が持てる1年にしようではありませんか！

最後に特殊鋼倶楽部会員各社のますますのご発展を祈念いたしまして、私の新年の挨拶といたします。



## 「年頭に寄せて」



### 年頭所感

経済産業省 製造産業局長 くろだ たろ 黒田 篤郎

平成27年の新春を迎え、謹んでお慶び申し上げます。

アベノミクスが始動してから約二年が経ち、経済の好循環が回り始めています。少子高齢化や、国内市場の縮小が進む一方、国内でのものづくり再評価や、ビックデータ・ITの活用等による製品や工程の革新など、ものづくり産業の新たな胎動も感じられる昨今、この好循環を確かなものにするためにも、我が国産業のいわば稼ぎ頭である製造業の競争力強化策を積極的に進めていくことが不可欠です。経済産業省としましては、以下の施策に特に注力してまいります。

第一に、少子高齢化への対応やものづくり現場の生産性向上のため、ロボットの活用を支援していきます。有識者等を集めた「ロボット革命実現会議」において、ロボットの更なる活用に向けた実効性のある計画を策定し、実用化段階にある技術の導入加速、現場ニーズに即応した市場化技術開発、広い分野で利用可能な次世代ロボット技術開発、ロボットを効果的に活用するための規制緩和及び新たな法体系・利用環境の整備、消費者保護の観点から必要となる枠組みの整備を行ってまいります。

第二に、国内市場が縮小する中、海外成長市場の獲得や、新たな産業の担い手の育成が重要です。特に地域に根付きながら海外へ展開し、グローバルなシェアを持つグローバルニッチトップ

(GNT) 企業を支援していきます。GNT企業や、将来GNT企業に飛躍する可能性のある全国の中堅企業に対して、オープンイノベーションの促進、企業OB等を活用した現場における生産性の向上、ジェットロによる海外販路開拓の支援などを積極的に行ってまいります。

第三に、円高是正や、中国・タイなどにおける人件費の上昇等を契機に、国内でのものづくりを再評価する動きがあります。こうした動きを後押しするため、我が国の立地競争力を高め、世界のヒト、モノ、カネを日本に惹きつけるため、法人税について数年で二十パーセント台まで引き下げるなど、成長志向に重点を置いた諸改革に取り組んでいきます。

最後に、製造業の競争力向上を目指すドイツのイニシアチブであるインダストリ4.0にも見られるように、デジタル化によって、製造業を巡る状況が大きく変わって来ています。製品データを解析することによる保守サービスの高度化や、生産ラインにはりめぐらせたセンサーの情報を活用した生産の効率化などがその一例です。こうした動きに対応した新たな製造業の姿を模索していくことも重要な課題と認識し、必要な対策を検討してまいります。

末筆ながら、本年の皆様のご健康と御多幸を、そして我が国製造業の着実な発展を祈念いたしまして、新年の挨拶とさせていただきます。

# 「年 頭 所 感」



(一社) 特殊鋼倶楽部 副 会 長 石 黒 武

新年明けましておめでとうございます。

皆様におかれましてはつつがなく新しい年をお迎えのこととお慶び申し上げます。

さて、昨年を振り返ってみますとスポーツ界では大きなイベントが多数ありました。

ソチ五輪のフィギュアスケートでは日本男子初の金メダル、全米オープンテニスでも男子初の決勝進出と今までにはなかった個人競技での活躍が見られた一方、期待されたサッカーブラジルW杯で日本代表は予選リーグ敗退と残念な結果となりました。経済界においてもアベノミクスや日銀による異次元金融緩和継続による株価の上昇、円安進展による輸出関連企業の好業績がある一方、昨年4月からの消費増税による国内消費の冷え込み、中国経済の成長率鈍化、輸入原材料コスト上昇などもあり、なかなか期待通りにはいかない年となりました。特殊鋼業界においても輸出を中心に売上は増加傾向でしたが、円安等を背景とした原料コストの悪化などもあり経営を取巻く環境は厳しく、めまぐるしい情勢変化への対応に多くの方々のご苦勞なされた年であったかと思えます。

2015年を見ていきますと、国内は当初10月から予定されていた消費税率引き上げが一旦延期されたため、とりあえず更なる消費の冷え込みは回避されることとなりそうです。しかし、国内経済を取り巻く環境は、復興需要の継続や2020年東京五輪開催に向けたインフラ整備、建設投資需要が見込まれるものの、昨年の消費増税による個人消費の伸び悩みや企業の国内設備投資意欲低迷等で、景気を大きく浮上させるような牽引役がなかなか出現しない状況に変わりはないかと思えます。一方で、グローバル需要捕捉のための海外投資は引き続き拡大するため、日本企業の業績が海外景気動向に大きく左右される傾向は益々強まると思われます。

その海外経済見通しですが、米国の量的緩和策終了による利上げがいつから始まるのか、また金融面のみならず米国及び世界の実態経済にどのような影響を与えるのかは注視が必要です。中国についても経済成長率一桁台と巡航速度での拡大が続くと見られておりますが、一方で様々なリスクを内包していることは皆さまご存知の通りかと思えます。

このように2015年も不透明な事業環境が継続する見通しであり、われわれ特殊鋼業界としては更なる競争力強化を図っていく必要があります。まず第一にこれまでもメーカーおよび流通が一丸となってユーザーニーズをくみ取り、丁寧な対話を通してお客様の要望に応じてきた実績がありますが、この築き上げてきた“繋がり”を大切に、どのような環境変化にも対応できる強固な関係を作っていく必要があると考えます。次に内需の伸びが期待できない状況において、如何に海外需要を取り込んでいくかが重要だと思えます。日本の技術や品質が求められる分野は世界中にまだまだ多く、海外材に負けない世界戦略商品を拡大していくと同時に、他の追随を許さないコスト競争力の強化と差別化商品の開発を継続していくことが必要であると考えます。ありきたりな表現ですが、これまで築き上げてきた“誇り”を大切に、皆が一体となり将来の成長に向けて邁進していきましょう。

最後に今年の干支は十二支で「未」です。羊は群れをなして行動するため、家族の安泰や平和をもたらす縁起物とされています。皆様におかれましては、今年一年まずはご健んで、自社並びに特殊鋼業界の発展に大きく寄与頂けることを祈念しまして、新年のあいさつとさせていただきます。

〔大同特殊鋼(株) 代表取締役副社長〕

# 「関係団体が協力して業界発展の 足元を固めよう」



(一社)特殊鋼倶楽部 副会長 佐久間 真介

新年あけましておめでとうございます。年頭に当たりまして謹んでご挨拶を申し上げます。

昨年は年末の衆議院選挙で幕を閉じましたが、日本経済については、株価が7年ぶりの高水準となり、一時は1万8千円の大台に乗りました。為替は対ドル120円台の円安に達し、原油価格がバレル当たり60ドル台と値を下げています。このような株高・円安・原油安などは、アベノミクスの効果も相まって総じて日本経済を上昇方向に転じた年だと思えます。

今年は私が属している特殊鋼流通業界にとってどのような年になるのでしょうか。アベノミクスの第3の矢が具体的効果を発するのでしょうか。また、トリクルダウンと言われるように、一部にある好景気が地方や小さな企業にも波及し、良い効果が生まれるのでしょうか。大いに期待したいものです。

さて、特殊鋼の生産状況は2,000万トンとまずまずの状況ですが、その流通業界に目を向けますと、世間の景気状況から少し様子が異なったように伺えます。特殊鋼流通業界は、小規模企業者が多くを占めており、日本経済の好況感が必ずしも当業界まで波及して来ていないように見受けられます。また、ユーザー業界の海外展開や大手需要家の集中購買の拡大など、流通を巡る環境は厳しさを増しているのが実態かと思えます。

このような中、特殊鋼倶楽部は製造業者と流通業者がともに協力して特殊鋼の発展を図ることが使命ですが、全日本特殊鋼流通協会の会長としても全面的に協力し、生産・流通の双方がウィン・ウィンになる取組を進めていきたいと考えております。

取り組みの第1として、人材開発に力を入れたいと思えます。流通企業では「人」が第一の資産ですので、特殊鋼倶楽部は全特協の販売技士の研

修・認定制度に協力してきました。人材開発は流通企業のみでなく製造企業のサポートがあって成り立つものであり、また流通の人材開発は製造企業にもメリットをもたらします。流通業界において一番重要な資源である「人材」を育成する努力を続けていきたいと考えております。

第2に川下業界との連携の強化、海外との交流展開等、流通の今後の発展分野をとともに協力して積極的に開拓していきたいと思えます。流通は需要家と生産企業の間であり、双方の情報が集まるハブの役割を果たします。当然そこには将来の発展を示す貴重な鍵があります。これを軸に新たな発展の方途を探っていききたいと思えます。

第3に多くの会員にご参加いただくためには、魅力ある活動をしなければなりません。業界団体という一つのイメージにとらわれることなく、会員企業の将来の発展方向を見据えて、会員にとって何がメリットかを考えた取り組みを展開したいと考えます。

今年にはひつじ年。「群羊（ぐんよう）を駆って猛虎を攻む」ということわざがあるそうです。羊が集まると虎をも攻撃できるという意味だそうです。一企業では困難なことも、多くの会員様が集まれば虎に匹敵する力を出すことが出来ます。そのためには、業界一団となって取り組んでいかなければならないと思えます。

新年にあたり心を新たにして、特殊鋼の生産と流通の両業界が協力して発展できるよう、特殊鋼倶楽部は全日本特殊鋼流通協会と協力してできる限りの貢献を果たしていく所存でございます。本年も皆様方のご指導ご鞭撻を賜りますようお願いを申し上げますとともに、ご発展・御健勝をお祈り申し上げます。

〔佐久間特殊鋼㈱ 代表取締役執行役員社長〕



# 「日本企業がグローバルである為に」



(一社)特殊鋼倶楽部副会長 高木清秀

昨年は株高、円高是正が進みました。海外生産の一部を日本に回帰させようという動きもあります。これは為替に起因する価格競争力のメカニズムであり、ある意味短期的な対応策であり、もう少し長いスパンで日本の製造業のあり方を見ていく必要があります。中期的な世界経済の循環の中で日本の製造業はどこに向い、どう課題と向き合わねばならないかを改めて考えさせられます。

一国の潜在的経済成長の指標としてよく人口ボーナスがあげられます。16歳から65歳の労働・消費人口が、それ以外の年齢人口、つまり労働力にもカウントできず消費もさほど期待できない人口に対し2倍以上の国が人口ボーナス国です。日本は1960年から90年がその期間であり、以降はピークアウトし少子高齢化が進み、今ではボーナスの逆の人口オーナスと呼ばれる縮小経済のサイクルに入っています。一方で中国、インドネシア、韓国、タイ、ベトナム、インドのアジア諸国、中南米ではメキシコ、ブラジル、アルゼンチンといった国々が今後数十年間人口ボーナス期にあるとされています。会社でも国でも、構成する人口ピラミッドの現実からは目を背けることは出来ません。これは今後長期にわたる国や会社のあり様を示す構造的な事実であり、これは突如判明したのではなく、たくさんの日本企業が人口という需要に向かって海外に工場進出を行い、グローバルベースで企業の存続、成長にチャレンジしています。

私事ですが、昨年はできるだけ海外に足を運び、海外事業の現場を自分の目で見てこようとした一年でした。インドネシアやメキシコはまさに進出ラッシュです。工業団地には日本企業の名前が並び、工場用地価格もうなぎ上り。今後は現地労働者確保の過程で賃金もアップしていくと想定され

ます。また、人口が豊かだからと言って経済が順調に成長トレンドに乗るとも限りません。政治的、民族的問題が根深い国々は少なくなく、そういった国で日本の企業が事業を成功させることの難しさを感じました。

海外で、言語、習慣、宗教、価値観が異なる現地の人々を雇用して安定操業していくことの苦労は絶えません。それでも日本からの進出企業はグローバル企業を目指しながらも、しっかりと日本企業で居続けねばなりません。日本企業は何を支えに、様々な困難に向き合い、乗り越えて行けば良いのか。そんなことを各国の現場を回りながら考えさせられました。

事業を成功させる為には万全な事業計画が必要です。綿密な需要分析、コスト分析、競合分析も必要でしょう。ただそれだけでは予測のつかない海外での事業は乗り越えて行けないものです。大切なものは、その会社の企業理念が日本であろうと海外であろうと、しっかりと根ざしているかどうかだと感じさせられました。工場現場で交わされる爽やかな挨拶。工場の歩行通路に物を置かないという安全衛生の基本。清潔な事務所のトイレ。従業員一人一人の身だしなみ。お互いを尊重した会議での自由闊達で建設的な話し合い。そういった会社に流れる雰囲気こそが、いざという時に実は最大の力になるのではないかと思います。時間をかけながら、現地従業員に、先人から脈々と受け継がれたそれぞれの会社の持つ企業理念を辛抱強く、妥協せずに丁寧に伝える努力こそが日本企業が海外でしっかりと根を張ったグローバル企業になれるかの試金石のような気がします。

〔株)メタルワン 執行役員 線材特殊鋼・ステンレス本部長〕

# 「年 頭 所 感」



愛知製鋼(株) 取締役社長 藤岡 高 広

あけましておめでとうございます。平成27年を迎え、謹んで新年のお慶びを申し上げますと共に、年頭にあたり、一言ご挨拶をさせていただきます。

昨年年始、我々の最大の関心事は消費税増税の影響に対する懸念でした。駆け込み需要はあるのか？その反動はどれくらいか？予測にあたって、拠り所となる事例は97年の増税時の実績だけ。その唯一の実績でさえも、生き物と言われる経済ですから、社会情勢などの環境が異なれば、同じ政策が打たれたとしても同じ結果が導かれるとは限りません。予測の不確実性に頭を痛めた経営トップも多かったのではないのでしょうか。

それでも蓋を開けてみれば、我々特殊鋼業界では、4月の増税後ある程度の落ち込みはあったものの、駆け込み需要もその反動も、予想していたほど大きなものではありませんでした。我々の主要顧客である自動車産業が、国内でこそ痛手を被ったものの、現代の主戦場である海外、特に北米での売上げが好調だったことが大きな要因であったと思われまます。

しかし年末が近づき、日本経済には予想を上回る、あるいは予想していなかった変化が立て続けに起こりました。まずは更なる円安です。10月末にFRBが「量的金融緩和策」の終了を発表し、ほぼ同時期に日銀が「追加緩和」を発表したこともあり、対ドル円相場が次々に何年ぶりという安値をつけました。

急激な円安は、自動車産業や電気産業といった輸出産業には収益増加の大きな要素ですが、一方では、エネルギーや資源などの調達価格を押し上げることとなり、企業に悪影響も及ぼします。私ども電炉メーカーにとっては、エネルギー費の上昇と調達価格の高騰という大きな障害となっており、今年も影響を及ぼしていくでしょう。

そしてその次に、ちょっとショッキングな事実も明らかになりました。「2四半期連続のGDPマイナス成長」です。一般的には「2四半期連続マイナス成長」という数値が表すのは、いわゆる「不況」です。昨今「景気は徐々に回復基調」と思われていた日本では、誰も予想しなかった事態ではなかったのでしょうか。

このように日本は今まさに一寸先も不透明な、激しい変化と混迷の時代に入っていると言えます。2015年も厳しい1年になりそうです。

こういった局面で大切なことは、いたずらにあれやこれやと手を広げて動き回るより、まずはどっしりと状況を見極めることだと思います。しかし、ただ机に座り、頭で考えるだけではだめで、常に現地現物で事実を確認し、肌で感じることににより、時代の流れや変化を捉え、先を読み、熟考することが大事だと考えます。そしてやるべきことを「こう！」と決めたら先手を打ち、強い信念を持って実行していくのです。

「後漢書」の王覇伝に「疾風に勁草を知り、嚴霜に貞木を識る」という言葉があります。「困難の中にこそ、その人間の本质が輝く。苦難にあってはじめて、その人の強さが分かる」という意味です。試練に直面して初めて真の強さが現れるのです。今が疾風、嚴霜の時代であるならば、我々は勁草、貞木となって、この難局を乗り切らねばなりません。そのためには若い世代の人たちにも、「私はこうしたい」という「I will」の精神で有言実行し、力強く信念を貫く志を持って欲しいと願っています。そうした若者たちが、次代の特殊鋼業界を持続的成長、発展に導いてくれるのだと思います。

最後になりましたが、特殊鋼業界、またこの業界に携わる全ての皆様のご健勝・ご発展を祈念いたしまして、新年の挨拶とさせていただきます。

# 「グローバル競争を勝ち抜くために」



（株）神戸製鋼所  
常務執行役員  
ごとう 隆

新年あけましておめでとうございます。2015年の年頭にあたり、皆様に一言ご挨拶を申し上げます。

昨年、2014年を振り返りますと、御嶽山噴火、広島土砂災害、相次ぐ台風被害と自然災害に見舞われ、その恐ろしさを再認識させられた1年でした。また世界情勢もウクライナ問題、「イスラム国」に見られる中東情勢の混乱、日中、日韓問題と政治面で不安を抱えた状態が続いています。

一方で、テニスの錦織選手の全米オープン準優勝など若いスポーツ選手の海外での活躍、日本の研究者3氏によるノーベル物理学賞受賞など数多くのうれしいニュースもありました。特に日本人3氏が青色LEDの発明・製品化により受賞したノーベル物理学賞は人々に勇気を与え、日本の技術力を世界に示した大きな出来事であったと思います。

さて、昨年のわが国経済は、4月に実施されました消費税引き上げに伴う駆け込み需要の反動後、夏場以降の回復が期待されましたが、人手不足や想定以上の円安進展に伴う物価上昇等により期待された成長レベルに到らないという状況となりました。

本年は、中国をはじめこれまで世界経済をけん引してきた新興国の経済成長鈍化の影響もあり、景気の下振れ懸念もありますが、国内においては、企業収益の改善が雇用・賃金の増加、さらには消費・設備投資の改善という好循環に結びつくことが期待されます。

そのような中、2014年特殊鋼鋼材需要は第1四

半期から前年を上回る数字で推移してきました。特に海外向け数量は自動車生産台数、エネルギー関連需要の増加などから好調を持続、日本の特殊鋼がグローバル市場で高く評価されていることを示していると思われます。しかしながら、経済のグローバル化は我々の想像を遥かに凌ぐスピードで進んでいます。アジアでは過剰な供給問題を抱え、海外ミルの技術力も向上していることから決して楽観できる状況にはありません。

厳しさを増すグローバル競争の中で、我々、日本の特殊鋼がこれまでのプレゼンスを維持・拡大していくためには、当然、海外ミルに対抗できるコスト競争力を身につける必要があります。しかしながら、さらに重要なことは、日本の特殊鋼の最大の武器である品質・生産技術、開発力といった強みを生かし、海外ミルが簡単には追いつけない商品・技術・サービスを誰よりも早く市場へ提供し続けていくことだと思います。

このことは決して簡単なことではありませんが、市場の動きをタイムリーに把握し、メーカー、流通、そしてお客様が一つになり、今まで以上に様々な議論を重ね、アイデアを出し合うことで必ず実現させることができると信じております。

繰り返しになりますが、我が国特殊鋼の品質・技術開発力は世界No1です。これからもみなさんで力を合わせ、現在の地位を守り、世界をリードすることでグローバル競争を勝ち抜いていこうではありませんか。

最後になりますが、皆様の益々のご健勝とご発展を祈念して新年の挨拶とさせていただきます。

# 「年 頭 所 感」



JFEスチール(株) 常務執行役員 **那 須 七 信**

平成27年の輝かしい新春を迎え、謹んでお慶び申し上げます。

年頭にあたり、昨年を振り返りながら一言ご挨拶を申し上げます。

昨年4月に弊社とグループの電炉会社であるJFE条鋼、両社の棒線事業を統合致しました。

自動車や建機など的高级鋼市場を中心に、需要の伸びが見込めるアジアや北米などの海外で拡販し、激化する国内外での他社ミルとの競争に勝ち抜くための販売力強化を目的としております。

十分な活動には、まだまだ至っておりませんが、高炉、電炉の両製品の品揃えを持つメーカーとして様々な環境変化に柔軟に対応し、お客様、流通、加工各社皆様により一層お役に立てる存在になるべく邁進して参りたいと思います。

さて、昨年は消費税率が8%へ引き上げられた年でした。国内経済としては、駆け込み需要の反動影響が見られましたが、我々の特殊鋼棒鋼分野と致しましては、特に自動車分野の底堅い需要に支えられ、比較的堅調な状況であったと思います。

また為替も大きな変化のあった年でした。前半は100円台前半の狭い範囲での推移でしたが、9月以降105円を突破し、いわゆる「ハロウィン緩和」により、110円台後半が常態化するようなレベルにまで円安が進行しました。

現調化などのグローバル経済化の大きな流れに変化があるとは思いませんが、このような円安進行は、為替による相対的な競争力アップにより、国外へ流出した需要の戻りに対しての期待は一部あるでしょう。

しかしながら一方で、エネルギー、原材料など製造に関わる様々なコストアップを引き起こしています。

コストダウンに引続き努めていくことは、当然

のことではありますが、一方でお客様に丁寧に説明をし、ご理解を得る活動も必要であると考えております。

さて今年はどうのような年になるのでしょうか。

懸案であった、消費税10%への引き上げは、今年10月実施予定から1年半延期され、また急激な円安に対しては、円安対策として、補正予算に組みこまれる見通しのようです。政府は国内の景気浮揚策に様々な手を打ってくると思われま。とは言え、かつてのような右肩上がりの経済成長が期待できない昨今、劇的な改善は難しいでしょう。

また、比較的成長が見込める海外においての競争激化は否めないところと思います。

このような環境下、いかにして我々は進んでいくのか。大切なことは、国内外問わず、お客様の目線に立つこと。そしてその要求に答えられるサプライチェーンを構築することと考えます。

足元の円安により、諸外国と比べて日本の納期対応、品質対応の良さが改めて見直されるケースがあると聞きます。このようなお客様からの信頼は長年の地道な活動から培われたものです。いかなる環境下であっても、お客様目線での日常活動は必須のものと言えましょう。

群れをなす羊というのは、家族安泰でいつまでも平和に暮らす象徴だと聞いたことがあります。

今年未年。パートナーである流通、加工各社の皆様とともに、安泰で平和な一年を過ごすことができるように、新生JFEスチール棒線事業はサプライチェーンの一翼を担って参りたいと思えます。

最後になりましたが、特殊鋼業界に携わる皆様方に取りまして平成27年がさらなる発展の輝かしい年となりますよう、祈念致しまして、新年の挨拶とさせていただきます。

# 「年 頭 所 感」



新日鐵住金(株) 中川智章  
執行役員

新年明けましておめでとうございます。年頭に当たり、一言ご挨拶申し上げます。

昨年を振り返りますと、世界経済においては、米国を中心とする先進国を中心に緩やかな成長が続きましたが、一方で、中国および新興国経済は不安定な状況が続きました。先進国の好調を牽引している北米においては、企業の状況は好調で、製造業においては増産基調を維持していること等を受け、経済指標は概ね改善が進んでおり、経済は拡大基調にあります。これに対し、中国は不動産投資の減速に端を発した投資の伸びの鈍化により実質GDP成長率が低水準に留まり、また他の新興国でも政治対立などで経済がスローダウンするなど、成長の度合いに差異が生じている状況です。こうした中、我が国経済は、消費増税後の一時的な景気低迷はあったものの、個人消費・設備投資が堅調な拡大に戻り、輸出も回復に転じるなど、緩やかな回復を見せております。

特殊鋼業界の2014年は、主要需要分野である自動車向け数量が、消費増税前の駆け込み反動の影響を受けたのち、緩やかな回復を辿っておりますが、前年を下回る結果となりました。また、電力価格などによるエネルギーコストの上昇に加え、円安による原料輸入コストの上昇など、厳しい環

境にありました。2015年もまた、経済状況は解散総選挙の結果等によりなお不透明な状況にあり、今まで以上に変化に対する機敏な対応が求められる年になると言えます。

このような中、弊社では昨年新たに棒線事業ブランドとして「SteelinC」を立ち上げました。これは、棒線二次加工メーカー、およびエンドユーザーの工程にまで踏み込んだ魅力的なものづくりや、技術・工法のご提案をする事で、お客様のうれしさにつなげるという理念を体現したものであります。我々特殊鋼業界にとりまして、日本のものづくりの実力をベースとした特殊鋼のブランド力を訴求していくことによって、日本の特殊鋼の果たすべき役割や価値を、お客様に正しく認識、評価して頂く事が業界の発展のためには不可欠であると考えます。一方で、国際的な競争が激化する中、日本の特殊鋼がお客様の信頼を勝ち得て、更なる競争力強化を進めていく上で、材料から加工まで一貫したコスト改善努力を積み重ね、体質強化を追求していくことが必要であると考えます。

最後になりましたが、特殊鋼業界ならびに皆様方のご発展とご健勝を祈念いたしまして、新年の挨拶とさせていただきます。

# 「年 頭 所 感」



日新製鋼(株) 取締役常務執行役員 宮 楠 克 久

平成27年を迎え、謹んで新年のお慶びを申し上げますと共に、年頭にあたりましてのご挨拶を一言申し上げます。

昨年を振り返ってみますと、長引くデフレ脱却を目指したアベノミクスの下、無制限の量的緩和や円高の是正といった大胆な金融政策の効果もあり、輸出企業を中心に回復基調が鮮明となりました。国内の鋼材需要については、昨年4月の消費増税による影響で自動車、住宅、家電等の駆け込み需要の反動減がありましたが、自動車/KDセット向けの好調や造船や機械、重電などの設備投資関連需要に支えられ、比較的堅調に推移致しました。

ただ、4月の消費増税後の景気動向としては、2四半期連続でGDP成長率がマイナスとなり、10%への消費再増税が延期となるなど不透明な状況での年明けとなりました。

そうした中、鋼材需要についても、昨年に引き続き堅調な北米経済と円安を背景に輸出産業向はある程度堅調に推移するものと思われます。一方で海外移転等による製造業の構造変化により輸出の伸びが鈍化し円安効果が薄れつつあることや、円安による輸入資材、エネルギーなどのコスト増大が国内需要に悪影響を及ぼす懸念も強くなっております。

また、アセアン地域の成長率の鈍化や中国の景気減速等の海外マーケットの変調も懸念される中、アジアの鋼材供給過剰の状況に変化は無いものと思われ、需給ギャップは解消されず、引き続き鋼材需給の改善は見込みにくい状況にあります。

特殊鋼業界においては、主力の自動車向けは国内生産は伸び悩むものの、依然、KD向けの需要が

堅調であることや、現地生産の進展による海外拠点向けの輸出も増加するものと思われます。しかしながら、需要家の現地生産化が加速するにつれ、鋼材の現地調達化ニーズや技術レベルの向上した海外材との競合等も激しさを増しており、円安による価格競争力は高まるものの、円ベースでの原料コストの低下はさほど見込めず、品質とコスト競争力の両立がより一層強く求められるものと思います。

特殊鋼の需要環境もグローバル化が進み、国内需要の縮小が避けられないと予想される中で、海外マーケットでの競争力確保と国内における新たな特殊鋼需要の創出力が重要な課題であることに変わりはありません。

自動車における燃料電池車等に代表されますように、次世代の環境に対応し、新たなマーケットを創出するような技術開発力とその実現力には目を瞠るものがあり、日本の産業力、技術力は今後とも世界をリードしていくと思われます。

その中で素材産業である我々も、より一層の商品開発力の向上と技術革新を継続して追及していくことが求められており、新たな分野で特殊鋼が必要な素材として認知され、需要を創造していく必要があります。

常に従来の固定観念にとらわれず、開発、製造、販売のそれぞれ現場で、新たな手法を提案し、チャレンジする姿勢を今一度強力に推し進めたいと考えております。

最後になりますが、特殊鋼業界の益々のご発展とそこに携わる皆様方のご健勝を祈念いたしまして、念頭の挨拶とさせていただきます。

# 「年 頭 所 感」



日本金属(株) 専務取締役 **安 武 雄 二**

皆様、新年あけましておめでとうございます。  
平成27年の年頭にあたり、一言ご挨拶申し上げます。

昨年の世界経済は、アメリカ経済の緩やかな拡大、ヨーロッパ経済の持ち直し、加えて急激な成長から修正しつつある中国経済の現状を受け、緩慢ながらも回復基調にありました。しかしながら、10月末にアメリカの景気対策としての『金融の量的緩和』の終了宣言により、資金供給面による景気への影響が懸念されるところであります。

一方、我が国経済を振り返ってみますと、第一四半期においては、消費増税による影響は織り込み済みであり、実際に企業の設備投資の増加、海外の景気回復や円安の進行による輸出の持ち直し、更には雇用情勢の改善などがあり、一時的な影響に終わるとの観測にありました。しかしながら、第二四半期のGDPの伸び率が、大方の予想に反し反転するどころか、二期連続でのマイナスとの結果であり、予断を許さない状況となりました。

鉄鋼業界におきましては、自動車用鋼板の値上げ、東北の復興需要、公共工事の増加などにより、上期は好調な決算となりましたが、通期では、急激かつ大幅な円安に伴う、エネルギー・原材料高騰の影響が懸念されるところであります。ステンレス業界におきましても、輸出環境が改善しているものの、ニッケル価格の変動に製品価格が追いつかず、また、円安に伴うエネルギー・原材料高

騰の影響を受け、利益が出にくい環境となっております。更に、特殊鋼・ステンレス業界の最大の需要家であり、自動車業界の海外生産指向（地産地消指向）の流れは、ますます強くなっており、現地メーカーとの競争は、今後ますます激しさを増して行くものと思われまます。

このように環境がめまぐるしく変化し、需要家の要望が多様化する中で、我々が生き延び、発展して行くためには、先達が築き上げてきた、技術力に磨きを掛け、需要家の期待を超える品質・サービスを創出し、期待以上のスピードで具現化することであることは、皆様周知の通りであります。当社においても、需要家に密着し、『真の要望』を引き出すコミュニケーションを、営業・技術問わず、また、担当者・経営陣ともに、日頃から実践するよう心がけております。当社の実績におきましては昨年一年継続して、このコミュニケーションを原点に戻り実践したこともあり、明日に繋がる成果を得たと実感しております。

今後、環境の変化はもとより、素材間競争（鉄鋼と樹脂などの異種素材）も顕在化してくるものと予想され、ますます厳しい状況が想定されますが、これまでに培った技術と英知、更には需要家との信頼関係を発展させることで、会員各社様がますます業績を伸ばし、明るくすばらしい一年となることを祈念いたしまして年頭の挨拶といたします。

# 「年 頭 所 感」



日本高周波鋼業(株) 常務取締役 久留島 靖 章

明けましておめでとうございます。2015年の年頭にあたり一言ご挨拶申し上げます。

昨年の3月までは消費税増税前の駆け込み需要等の追い風に恵まれて、各社ともフル操業の状態が続き、景気の良い状態でスタートした年でありました。しかしながら当社においては、特殊鋼業界全体が活況を呈する中、一昨年の年末に発生したプレスの故障を抱え、お客様や同業他社に多大なご迷惑をおかけした時期となりました。「ものづくり」の会社が道具を壊してしまい「ものがつくれなくなる」大変な時期を経験し、設備点検の重要性・設備故障の影響力の大きさを痛感いたしました。

そして、消費税増税の反動減を懸念し迎えた2014年度ですが、特殊鋼に関しては、輸出・国内需要ともに比較的堅調に推移したことから全体としては高水準の生産レベルを維持することができました。

ただ、我が国経済は緩やかな回復基調が続いていると見られるものの、7-9月の実質GDP成長率が多くのエコノミストがプラス成長を予想した中で2期連続のマイナスとなったように、その回復に遅れが目立つ状況にあります。また海外でも、米国経済は内需を中心に堅調な回復が続いているものの、欧州では景気が後退局面に入りつつあり、中国では主要な経済指標に鈍化が見られるなど、総じて力強さを欠く状況にあります。

こうした経済状況に加え、世界各地域における地政学リスク、東アジアでの鉄鋼需給緩和、頻発する通商問題、資源ナショナリズムの拡大、急速な円安の進行等の立ちどころの課題を勘案すれば、特殊鋼業界を取り巻く今後の事業環境は甚だ不透

明と言わざるを得ませんが、それでも少しの光明が見えている今日、金融経済政策が奏功し我が国経済の回復基調がより鮮明となり、引き続き特殊鋼需要が堅調に推移することを願ってやみません。

さて2015年につきましても、各社それぞれが、計画されている予算、中期計画の達成に鋭意努力されることと思いますが、共通する課題の一つが国際競争力の強化だと考えます。

国内特殊鋼市場は少子高齢化による縮小傾向が進み、海外市場の獲得が必要ですが、中国をはじめとした新興国企業が競争力を高めることで国内外の競争は、過熱するばかりです。

我々は、コスト競争力を強化する必要があることはもちろんですが、製品がコモディティ化することで引き起こされる価格競争に陥らないために、高性能・高品質を追求するだけでなく、多様化する顧客や社会のニーズを十分把握し、高度なものづくり力でこのニーズにマッチした製品を提供し続けていくことが重要であると考えます。特殊鋼は製品や品質に高度な技術・ノウハウが必要な分野であり、国内メーカーが得意とするこの木目細やかな製品開発こそが海外メーカーに負けない競争力を維持するための対抗策の大きな柱であると確信しており、当社においてもその推進体制の整備・強化を図っているところです。

最後になりますが今年は羊年です。羊は「争いを嫌い調和を好む」とか、「めでたい善良な動物のひとつ」と言われています。特殊鋼業界全体が、今までに培ってきた技術力と営業力をフルに活用して業績を伸ばし、ますます繁栄する年になることを祈念して年頭の挨拶とさせていただきます。



# 産業機械

## 産業機械の平成26年の回顧と平成27年の展望

一般社団法人日本産業機械工業会 かた おか こう いち  
 企画調査部 調査課長 **片岡功一**

### まえがき

産業機械とは、生産システムから社会インフラまで、ありとあらゆる経済社会を支える資本財の総称であり、その範囲は膨大である。

ここでは、表1にある日本産業機械工業会の取扱機種について、当工業会の自主統計を元に平成26年1～9月の実績、10～12月及び平成27年の受注見込みを以下に述べる。

- 注1) 表1は「産業機械受注状況」を加工したものであり、調査対象は当工業会の会員企業である。
- 注2) 化学機械の中に、パルプ・製紙機械、冷凍機械及び環境装置の大気汚染防止装置・水質汚濁防止装置受注分を含む。
- 注3) その他機械の中に、環境装置のごみ処理装置受注分を含む。
- 注4) 製造業の「旧一般機械」は、平成23年3月までの旧分類での「一般機械」+「精密機械」であり、新分類の「はん用・生産用機械」+「業務用機械」に対応する。

### ◇ 最近の受注動向

#### 1. 概況

平成26年1～9月の産業機械の受注総額は、内需・外需とも増加し、対前年同期比（以下同様）22.6%増の4兆6,130億円となった。

内需は、製造業、非製造業、官公需の増加により、13.8%増の2兆4,857億円となった。

外需は、欧州、南米、アフリカ、オセアニア、ロシア・東欧の増加により、34.7%増の2兆1,272億円となった。

（ご参考）四半期の受注推移

需要部門別の四半期推移をみると、内需は、民需が6四半期連続で前年同期を上回り、官公需も3四半期連続で前年同期を上回った。ただ、民需のうち製造業は5四半期ぶり（平成25年4～6月期以来）に前年同期を下回った。

表 1 平成26年1月～9月 主な需要部門別の受注状況

上段：金額（百万円） 下段：前年同期比（%）

一般社団法人日本産業機械工業会

	製造業							非製造業		民需計	官公需	代理店	内需	外需	合計
	化学工業	石油石炭	鉄鋼	旧一般機械	電気機械	自動車	その他を含む小計	電力	その他を含む小計						
ボイラ・原動機	15,919: 158.3:	20,706: 241:	7,547: ▲9.7:	3,176: 60.2:	14,886: ▲10.0:	2,849: 15.9:	138,361: 2.5:	617,769: 21.9:	693,815: 23.3:	832,176: 19.3:	69,809: 54.4:	1,376: ▲70.6:	903,361: 20.9:	328,118: ▲20.3:	1,231,479: 6.3:
鋸山機械	1,164: 224.2:	0: —:	236: 187.8:	316: 18.4:	0: —:	0: 44.7:	6,475: —:	0: —:	6,289: 12.764:	12,764: 27.0:	33: ▲88.2:	0: —:	12,797: 23.9:	3,850: 31.4:	16,647: 25.5:
化学機械(冷凍を含む)	38,993: ▲0.8:	27,668: 25.8:	10,015: 15.4:	47,099: ▲15.3:	37,155: 30.2:	8,395: ▲42.2:	230,353: 5.9:	24,230: ▲20.9:	90,197: 15.7:	320,550: 8.5:	109,848: ▲0.3:	102,533: ▲5.9:	532,931: 3.6:	1,246,587: 92.2:	1,779,518: 53.0:
タンク	633: ▲1.2:	8,947: ▲22.0:	16: ▲97.9:	10: 900.0:	0: —:	0: —:	9,609: ▲25.4:	1,359: 184.4:	10,841: 870.5:	20,450: 46.2:	149: —:	0: —:	20,599: 45.0:	55,407: 301.0:	76,006: 375.3:
プラスチック加工機械	4,802: ▲60.1:	290: ▲78.8:	4: ▲86.2:	1,668: 46.7:	2,342: 29.9:	12,769: 15.1:	49,182: ▲1.3:	0: —:	87: ▲70.8:	49,269: ▲1.7:	105: ▲77.7:	3,374: 89.6:	52,748: 0.7:	87,569: 4.7:	140,317: 3.2:
ポンプ	2,931: 10.9:	1,443: ▲50.2:	2,779: 14.1:	1,200: 30.0:	292: 3.2:	212: 30.1:	17,097: 1.4:	9,359: 6.8:	45,469: 3.7:	62,566: 3.1:	62,025: ▲8.5:	53,755: 0.6:	178,346: ▲2.0:	62,844: ▲8.1:	241,190: ▲3.7:
圧縮機	6,031: 20.9:	2,719: 13.2:	2,135: 19.0:	31,084: 4.8:	837: 19.4:	1,184: 25.4:	51,394: 6.2:	4,451: 69.0:	15,395: 32.9:	66,789: 11.3:	3,895: 36.0:	29,621: 8.9:	100,305: 11.4:	110,192: ▲2.6:	210,497: 3.6:
送風機	240: 26.3:	44: ▲77.1:	2,024: 3.6:	288: 37.1:	57: 23.9:	1,007: 47.4:	4,639: ▲4.1:	875: ▲45.7:	2,543: ▲53.8:	7,182: ▲30.6:	3,215: 24.8:	3,832: ▲5.5:	14,229: ▲16.2:	4,258: 27.5:	18,487: ▲9.0:
運搬機械	9,866: 101.2:	917: 80:	8,978: 21.6:	5,719: ▲15.3:	2,278: ▲16.3:	12,999: 44.0:	75,786: 14.0:	11,581: 131.75:	60,828: 11.7:	136,614: 12.9:	3,859: ▲64.5:	12,008: ▲19.5:	152,481: 3.9:	74,103: ▲19.7:	226,584: ▲5.2:
変速機	1,513: 18.6:	167: ▲13.9:	2,158: ▲13.2:	2,025: ▲7.6:	427: 9.2:	2,172: 15.9:	21,274: 3.4:	1,243: ▲9.0:	4,089: ▲0.4:	25,363: 2.8:	3,282: 15.0:	1,092: 17.0:	29,737: 4.5:	5,164: ▲2.8:	34,901: 3.3:
金属加工機械	702: 146.3:	12: 1100.0:	24,390: 66.7:	1,129: 34.7:	615: 177.0:	6,282: 55.8:	38,767: 6.9:	14: 1300.0:	3,248: 50.2:	42,015: 9.3:	1,359: 569.5:	1,486: ▲25.4:	44,860: 10.4:	40,468: ▲43.3:	85,328: ▲23.8:
その他機械	2,942: 52.4:	828: ▲18.3:	1,786: ▲41.1:	9,299: ▲3.8:	2,187: 19.7:	7,112: 8.8:	74,878: ▲18.5:	2,154: ▲9.6:	58,552: 37.3:	133,430: ▲0.8:	302,359: 52.1:	7,575: 5.6:	443,364: 30.2:	108,721: 41.7:	552,085: 32.3:
合計	85,736: 14.8:	63,741: 7.9:	62,068: 20.2:	103,013: ▲5.7:	61,076: 15.1:	54,981: 7.1:	717,815: 1.8:	673,035: 21.2:	991,353: 22.1:	1,709,168: 12.7:	559,938: 26.6:	216,652: ▲3.7:	2,485,758: 13.8:	2,127,281: 34.7:	4,613,039: 22.6:

※網掛け部分は前年同期を上回ったところ

表 2 需要部門別四半期推移

上段：金額（百万円） 下段：前年同期比（％）

	平成25年			平成26年		
	4～6月	7～9月	10～12月	1～3月	4～6月	7～9月
製造業	207,261 ▲8.6	271,697 11.8	238,627 8.4	240,340 6.4	219,994 6.1	257,481 ▲5.2
非製造業	191,489 16.2	275,478 12.1	188,897 ▲1.6	445,849 29.3	214,470 12.0	331,034 20.2
民需計	398,750 1.8	547,175 12.0	427,524 3.8	686,189 20.2	434,464 9.0	588,515 7.6
官公需	110,203 ▲5.5	153,006 28.7	164,254 ▲0.7	197,616 10.3	192,426 74.6	169,896 11.0
代理店	68,746 ▲19.9	75,453 ▲8.9	76,761 ▲5.1	72,680 ▲10.1	68,865 0.2	75,107 ▲0.5
内 需	577,699 ▲2.7	775,634 12.3	668,539 1.5	956,485 15.1	695,755 20.4	833,518 7.5
外 需	319,693 ▲2.6	509,492 75.0	342,298 ▲23.9	625,504 ▲16.6	555,867 73.9	945,910 85.7
合 計	897,392 ▲2.7	1,285,126 30.9	1,010,837 ▲8.8	1,581,989 0.1	1,251,622 39.5	1,779,428 38.5

※網掛け部分は前年同期を上回ったところ

外需は、平成25年10～12月期から2四半期連続で前年同期を下回ったものの、平成26年4～6月期より2四半期連続で前年同期を上回った。特にロシア・東欧が平成26年4～6月期・7～9月期ともに大きく伸張した。

注5) 表3は「産業機械輸出契約状況」を加工したものであり、調査対象は会員企業のうち大手のみである。

## 2. 需要部門別受注状況（平成26年1～9月）

- ①製造業：化学、鉄鋼、電気機械の増加により、1.8%増の7,178億円となった。
- ②非製造業：鉱業、電力、運輸、卸売・小売、ガス業の増加により、22.1%増の9,913億円となった。
- ③官公需：国家公務、その他官公需の増加により、26.6%増の5,599億円となった。
- ④外需：欧州、南米、アフリカ、オセアニア、ロシア・東欧の増加により、34.7%増の2兆1,272億円となった。
  - 1) アジア：ボイラ・原動機、化学機械の減少により、1割減となった。
  - 2) アジアのうち中国：ボイラ・原動機、化学機械、風水力機械、金属加工機械の減少により、2割減となった。
  - 3) 中東：ボイラ・原動機、化学機械、風水力機械の減少により、半減した。
  - 4) 欧州：化学機械、風水力機械の増加により、約5%増となった。
  - 5) 北米：風水力機械、運搬機械、金属加工機

表 3 世界州別受注状況

単位：前年同期比（％）

	平成26年				構成比 平成26年 1～9月
	1～3月	4～6月	7～9月	1～9月	
アジア	▲25.1	18.9	▲0.4	▲8.4	40.1%
うち、中国	5.6	▲18.9	▲39.5	▲17.1	5.1%
中東	▲51.7	▲66.5	▲32.7	▲51.2	5.7%
欧州	▲27.7	3.6	68.4	5.5	3.3%
北米	41.7	▲30.4	▲16.2	▲6.8	5.4%
南米	48.4	▲37.2	8.8	7.6	0.7%
アフリカ	385.9	20.8	▲69.0	91.2	3.1%
オセアニア	179.7	64.4	86.5	150.2	4.5%
ロシア・東欧	▲46.1	1991.5	827.9	633.5	37.2%

※網掛け部分は前年同期を上回ったところ

械の減少により、約7%減となった。

- 6) 南米：運搬機械の増加により、約7%増となった。
- 7) アフリカ：ボイラ・原動機の増加により、9割増となった。
- 8) オセアニア：ボイラ・原動機、化学機械の増加により、1.5倍に増加した。
- 9) ロシア・東欧：化学機械の増加により、6.3倍に増加した。

注6) ④外需の「風水力機械」は、ポンプ・圧縮機・送風機を合計したもの。

## 3. 機種別受注状況（平成26年1～9月）

- ①ボイラ・原動機：電力の増加により、6.3%増の1兆2,314億円となった。
- ②鉱山機械：化学、窯業土石、建設、外需の増加により、25.5%増の166億円となった。
- ③化学機械（冷凍機械を含む）：外需の増加により、53.0%増の1兆7,795億円となった。
- ④タンク：外需の増加により、375.3%増の760億円となった。
- ⑤プラスチック加工機械：自動車、外需、代理店の増加により、3.2%増の1,403億円となった。
- ⑥ポンプ：官公需、外需の減少により、3.7%減の2,411億円となった。
- ⑦圧縮機：化学、旧一般機械、建設、電力、官公需、代理店の増加により、3.6%増の2,104億円となった。
- ⑧送風機：運輸の減少により、9.0%減の184億円となった。
- ⑨運搬機械：外需の減少により、5.2%減の2,265億円となった。

- ⑩**変速機**：金属製品、情報通信機械、その他輸送機械、官公需の増加により、3.3%増の349億円となった。
- ⑪**金属加工機械**：外需の減少により、23.8%減の853億円となった。
- ⑫**その他機械**：官公需の増加により、32.3%増の5,520億円となった。

### ◇ 今後の受注見込み

日本経済の現状は、政府が11月に発表した平成26年7～9月のわが国GDP成長率（一次速報）によると、2四半期連続でマイナス成長となっており、夏場以降持ち直しつつあるものの、回復ペースは鈍化していると思われる。

一方、海外は、OECD（経済協力開発機構）の最新の経済見通しによると、今年の世界のGDP成長率は3.3%に達し、来年は3.7%まで加速、2016年には3.9%が見込まれている。

このような状況の中、平成26年10～12月と平成27年の産業機械受注見込みを次の通り策定した。

#### <平成26年10月～12月>

内需は、民需・官公需ともに底堅く推移し、6四半期連続で前年同期を上回るものと見込む。民需は、製造業が多くの需要部門で一進一退の推移をたどるものの、非製造業の電力やガス、建設、卸売・小売、運輸等で増加が続くとみて、前年同期を上回るものと見込む。官公需は、老朽化した水質汚濁防止装置やごみ処理装置の改修等により、前年同期を若干上回るものと見込む。

外需は、エネルギー・資源関連分野の需要に支えられ、地域的にはアジア、中東等で増加し、3四半期連続で前年同期を上回るものと見込む。

この結果、平成26年10～12月の内外需合計は、前年同期比1割程度増加し3四半期連続で前年同期を上回り、平成26年通年の受注金額では5兆7千億円程度と見込む（平成25年通年の実績は前年

比8.9%減の4兆7,742億円）。

#### <平成27年>

民需のうち製造業については、大型投資が大幅に増加することは見込みがたいものの、高品質・高付加価値品の製造や、技術力の維持・強化に向けて研究開発と生産を一体で行うための生産拠点への転換・特化を進める動きが一段と進展する等、競争力強化に向けた設備投資が徐々に増加していくものと見込む。また、海外から調達している部品・部材が円安等により割高となっているため、国内調達への切り替えが進み、休止していた国内工場の製造ラインの再稼働等に伴う維持・更新、合理化投資等が増加していくものと見込む。非製造業については、新電力（PPS）等での発電設備の新設・増設や、運輸、卸売・卸小売等での物流拠点の新設・集約・効率化等の動きが続くと思われる。

官公需については、老朽化したインフラの更新や統廃合等による需要が前年並みで推移するとみられるが、前年に福島でがれき処理設備を複数受注した反動から前年を下回るものと見込む。

一方、外需については、世界的な人口増や新興国の経済成長を背景としたエネルギー・資源等の需要増により、発電や石油・ガス、肥料、公害防止、港湾・物流関連設備の新設・増設等が数多く計画されていることから、需要増が続くものと思われる。また、日本の製造業の「ものづくり」のグローバル化が加速する中において、力強い成長を続けるアジア市場の開拓はさらに進むとみて、現地生産の増強等による需要も増加していくものと見込む。しかしながら、前年に天然ガス関連の大型プロジェクトを受注した反動もあり、通年では前年実績を上回るとは困難が予想される。

この結果、内外需を合計した平成27年の産業機械受注は、ほぼ前年並み5兆7千億円程度になるものと見込んだ。

# 「特殊鋼の高強度化」

— グローバル競争を支える日本の技術 —

## I. 総論

(独)物質・材料研究機構 なが い ことぶ  
構造材料研究拠点 (拠点長) **長 井 寿**

### ◇ グローバル競争に身を投じる

我が国の特殊鋼分野は、技術・知識の蓄積が膨大である。日本が世界に誇れる技術分野のひとつでもある。これは生産現場の実力がまずものを言うが、一方、様々な基礎研究国家プロジェクトを継続的に進めていることも大きく寄与している。

著者が学生の頃は「過去の文献を良く調べろ」と助言を受けた。これは正に正論だと思う。それで一定期間、図書館に通い詰めて、文献を漁り、自分のテーマを探したものだ。しかし、この正論が以前と同じ意味で有効かどうか心配になってきた。

まず、情報過多のグローバル時代では、好奇心がしっかりと続かない限り、何を調べているか途中で忘れてしまう。また、過去の文献に書いてあることは大概どこかで既にやられている。情報高速流通時代の怖さである。文献は既知という前提で、自分のアイデアを誰も気づいていないかどうかを調べるのはスリル満点だ。話し相手に凶らずもヒントを与えてしまうかもしれない。

このように、世界をリードする水準で、まだ誰もやっていないテーマをどう見つけるか、それ自体が緊急課題となっている。それで、「基礎に帰れ」と「異分野交流」が強く叫ばれている。

とどのつまりはよく勉強するしかないのだが、基礎力を身につけることが前提となる。ところが基礎力とは何かが明快にされていない。著者は、基礎学力・知識と論理的研究方法論（論理的仮説組み立て力、実験設備開発力、正確な実験実施力、論理的な考察力）が基礎力だと思う。この基礎力

がないと「基礎に帰って」事態を打開できるはずがない。

「異分野交流」についての結論をのっけから言っておくと、著者が体験する限りだが、特殊鋼に対する諸産業界の期待はほぼ一致している。「さらなる高強度化」である。恐ろしいほど一致しているので、「異分野交流」でヒアリングするようでは時代の変化についていけない。

世界のGDPランキング（2013）は、アメリカ（16.8兆ドル）、中国（9.5兆ドル）、日本（4.9兆ドル）で、日本は3位だが、一人当たりのGDPのランキング（2013）は、アメリカ9位（約53千ドル）、日本23位（約38千ドル）、中国83位（約7千ドル）である。一位ルクセンブルクは約112千ドルで、日本の3倍に相当する。日本は経済大国だが、胸を張って豊かな国と言にくい面がある。どうやって、胸を張って豊か実感でき、グローバルな存在価値を示していくのだろうか。

完全鎖国の「ガラパゴス化」に向かうとは到底考えられない。グローバルに市場を探したり、先端的な挑戦取り組みを探したりするのも、ある意味、「異分野交流」だ。むしろこれができないとこれからの世界からは取り残されるだろう。

グローバル時代の商売では、「ふつうさ」と「独自さ」の兼ね合わせが求められる。最も大事な「ふつうさ」は、「郷に入っては郷に従え」だ。相手の国では、相手のことをよく知って「ふつう」に話せないと会話が発展しない。逆に相手が訪れてきた時は、自分の郷の良さを確信をもって伝えることができないと文明人としての尊敬を受けな

い。安心して欲しい。一人あたりGDPが低い現状でも、既に日本はその良さを備えている。また、他国を良く知れば知るほど、自国の良さへの理解が深まり、同時に欠点もより明解になる。

お互いの共通点と相違点を認識し合う「ふつうさ」の中でこそ「独自性」がものを言う。グローバルということはそれだけ競争相手が多いわけだから、勝ち負けが着くのも早い。まだ勝っているはもう負けているにほぼ等しい。勝っていると確信を持てる「独自性」をひとつでも多く持ちたい。「独自性」は実は、技術開発とあいまった人材育成で実績がないと全く意味ない。よい研究開発成果が出ただけでは不十分。それを実質化する人材育成にこそ「独自性」が具現化されていないと勝ちきれない。

自国の中だけ、業界の中だけ、自社の中だけのことに安穩としていると光の速度で変化していくこのグローバル時代では自滅を座視するだけだろう。グローバル競争は、テーマよりも、その競争に勝ち抜ける独自性のある人材育成の成否で勝ち負けが決まる。

#### ◇ 高強度化をめぐる課題認識は世界ほぼ共通

つい先日、ほぼ5年ぶりに、ドイツ アーヘン工科大鉄鋼研究所長のBleck教授とじっくりと話し合う好運を得た。アーヘン工科大は大学全体が、歴史的に産業界との連携が深く、そこから研究課題、人材育成課題を抽出しているのが突出した特徴なので、ここ20年来、ほぼ定期的に交流している。産業界とのつながりの深さでは、マックスプランク鉄鋼研究所をはるかに凌駕している。

現在、ISMA（新構造材料技術研究組合）を中心として進められている革新的新構造材料開発プロジェクトのコンセプトを示す図1を見せたら、まずは、そのとおりだと述べた。この図は、「マルチマテリアル」、「相反性質の同時改善」、「マルチマテリアルの接合技術」などの基本コンセプトをまとめて描いている。

それならばと、自分のパソコンに戻り最近のレポートを印刷して持ってきた。そして、曰く、マルテンサイト制御が大事だ。マルテンサイト組織の解析は進んだが、マルテンサイト組織を自在に制御するプロセス手法はまだまだ未開拓だと説明

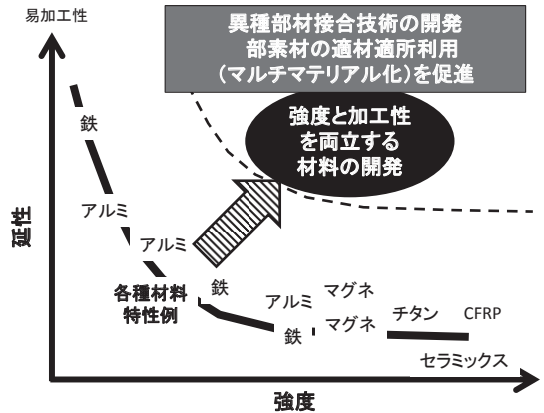


図 1 革新的新構造材料の開発コンセプト (http://isma.jp/を利用して作図)

しだした。そこで著者は、ベイナイトもそうだろう、と横槍を入れた。わが意を得たりとばかりに、ベイナイト中に $\theta$ と $\epsilon$ 炭化物が併存する証拠データを見せてくれた。それに加えて、sheetも大事だが、forging、casting（の高級度化プロセスの開発）も大事だ、この分野は興味が尽きない、と述べた。その後は、お互いに言いたい放題となり、最後は共通の未来像を模索していることを確認し合った。本稿で著者が述べるべきことは、ここに尽きている。

別の機会で、海外自動車メーカーの材料研究者に逢うことがあったのでまずこう問いかけた。最近、衝突自動回避技術の開発が盛んだが、そうすると車体衝突安全性確保の優先度は低下していくのか？この問いに相手は相当びっくりして、即座に否定した。信頼性高い自動回避技術の開発に何十年掛かるかは読めない。もし確立したとしても法的規制体系を整備し直さないと一般使用となるはずがない。車体衝突安全性の確保の優先度が低下することは、少なくともここ半世紀は無いだらうと思う、とのことだ。

かなり安心したので、別の質問を重ねた。それではカーボン材料への期待が高まっているようだが、もう金属への期待は低下したのか？と。今度は、相手は慎重に話し出した。カーボン材料は使えるようにしたいのが本音だ。もう一つはあらゆる材料についてそれぞれを最も有効に使っていき、一部の材料種に偏らないようにしたい。これが大方針だが、大量生産車では少なくとも40-50年は、

鉄の圧倒的優位性が揺らぐことはないとしている。かといって、鉄への期待がなくなったのではなく、鉄そのものの発展は勿論、さらにカーボン材料等のハイブリット化で鉄の弱点（低剛性、強度－延性バランスなど）を克服するさらなる飛躍を期待している、という回答だった。

◇ 軽量・高強度化で特殊鋼ががんばれる  
余地があるか

自動車業界は、各社ごとにももの言い方が多少違うが、本質的には限られた資源・エネルギーを高効率に利用することを基本戦略のひとつにしている。

その昔、「週刊現代」誌の取材を受けた時に、山根一眞さんから唐突にこう問われた。「たかが60kgの体重の人間一人を運ぶのに、1tの自重が必要な機械（＝自動車）というのは先端技術と言えるのでしょうかね？」と。考えたこともない視点だ、自動車ってそんなもんだと思って、どう答えるか戸惑っていると「いつか60kgで60kgを運ぶような自動車を開発して下さいね」と励まされた。

図2をみて欲しい。横軸に自重を採り、縦軸にどれほどの荷重を運べるのか、ヒト（重量挙げ世界記録）、馬、乗用車、大型トラック、貨物飛行機で比べてみた。課題は、傾き1すなわち自重以上の荷を運べるかだ。こう比べると馬が一番力持ちで、ヒト、大型トラックが次ぐ。乗用車は最低で、貨物飛行機よりも悪い。開発マージンは相当にあ

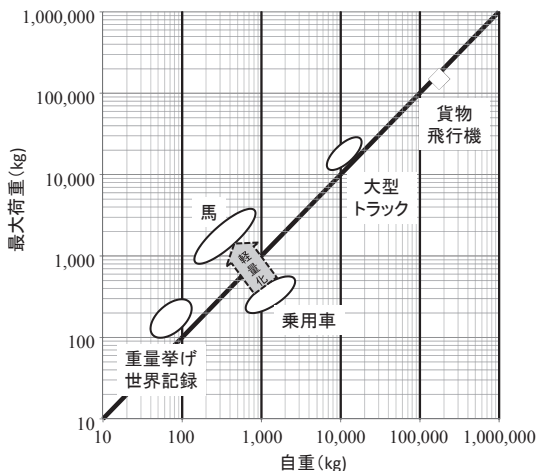


図 2 機械は自重以上の荷物を運ぶべきである

るとみるべきだ。乗用車を傾き1以上に持つていくには、車体重量を削減すること、動力を向上させることだ。いずれにも特殊鋼の活躍する場が用意されている。ここでは軽量化の基礎に戻ってそれを確かめてみよう。

軽量・高強度化の選択となった時に、各素材の開発ポテンシャルは比強度（＝実用材料強度／比重）よりも、比剛性（＝剛性率／比重）で比べた方がよい。図3がその整理の一例だ。結果はあつけない。金属は材種によらず24GPa前後、セラミックは100GPaを超す。カーボン材料は、400GPaくらいまで見込める。ここにカーボン材料への期待が高いことの根拠が象徴的に表れている。カーボン材料を活用する時代をなるべく早く招来することが材料研究者に求められるわけだ。さて、金属は材種に依らないということなので、それぞれが上限値を高める挑戦をし続ければよく、鉄は金属の仲間の中でポテンシャルとして不利ということとは全くない。

供給持続性という視点も大事だ。リサイクルもあるので単純に見てはいけませんが、資源入手可能性を図4にクラーク数から見てみた。化合物はクラーク数の小さい構成元素に制約を受けると考えた。こうみるとアルミ系、鉄系を有用に使い切るのが安心ということになる。

このように、グローバルに自動車を大量に使用し続けるなら、アルミ系、鉄系を最大効率で利用しきることが極めて妥当かつ重要な戦略となる

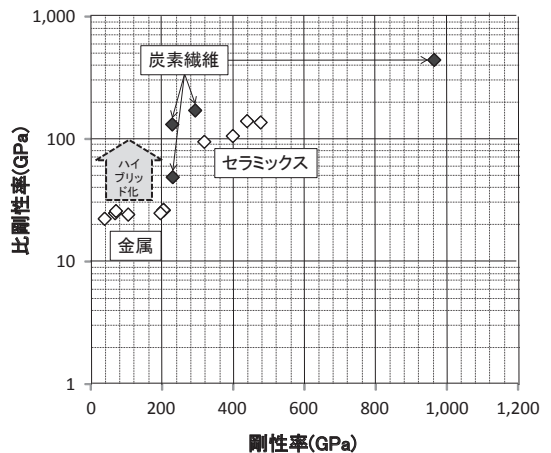


図 3 どの材料が軽量・高強度化の開発ポテンシャルが高いのか

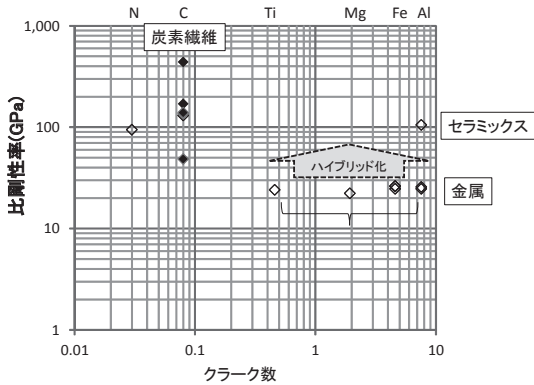


図 4 どの元素が原料入手性が高いのか？

ことを掴んで欲しい。

#### ◇ さて、高強度化とは何か

本誌の読者は正しく理解されていると思うが、世間には高強度化を全く理解していない人も多い。単純引張試験で求められる引張強さの向上が求められていると誤解している人が結構多い。端的に言えば、本質的には引張強さは考えなくて良い。材料選択の基準として引張強さは便利だし、強化理論がその基礎となるが、重要なのは破壊強度である。破壊強度の高強度化こそが求められている。

破壊強度には関係条件によって様々なものがある。マルテンサイトでは、疲労強度、遅れ破壊強度などが材料開発の大きなネックである。引張強さ水準を上げていくと、脆性破壊もネックとなってくるだろう。ベイナイトでも同様である。

前述のBleck教授の言いは、著者も同感だが、これらの破壊強度を改善させる金属組織およびその制御法が十分に汲み尽くされていないということである。もっと刺激的に言えば、破壊強度を決めているのが何かきちんとして整理され、メカニズムが十分に解明されている到達点にはないということである。この点での教科書の到達段階は大したことはない。むしろ、これから新しく教科書を

書き始めるべき時代が来たと著者は捉えている。

現場の皆さんには自明だろうが、硬い素材を成形する技術も大変である。試行錯誤で成形方法を導き出していくことはできるかもしれないが、その基礎は全く未開拓である。変形限界強度を何が決しているのかに至っては、隔靴搔痒の段階から全く踏み出せていない。

古い課題では決してなく、全く新しい課題である。その武器となるものは、ナノテクノロジー、換言すれば、ナノレベルでの解析手段の長足の進歩である。さらに、未だ極めて不十分ではあるが、計算能力の長足の進歩である。原子レベルから試験片レベルまでの原子配列を多層的に解析でき、それをあるモデルにしたがってシミュレーションしてみる。また、多階層で原子配列が制御された試験片が思いのままに作製できれば、望まれる基礎研究が格段に進むという期待が高まる。この素材－解析－計算の融合基礎研究は言うが易いが行うのは極めて難儀である。まず1会社、1大学で行うのはまず無理だろう。自前主義の終焉と言われる所以である。ここに新しい発想も必要になる。

破壊強度の解明はまた難題でもある。近代科学が始まってから全く進歩していないと断言する意見を聴くこともある。そうすると200年来難攻不落の堅固な不理解の城をどう攻略するのかも含めて、次世代を中心に中長期戦略と必要な体勢を立てて取り組むのが良い。それが確実な人材育成にもつながるだろう。人材の高強度化こそ必要だ。

実は、著者の知る限り、現場では問題解決の端緒的糸口が見つかりつつある状況だ。だが、それをあっさりと公表しあうことは敢えて避けた方がよい。したがって、情報を共有する場の慎重な設計も従来の枠組みを超えて検討されるべき時代が来た。

以上の様々なことをよくご検討いただきたいものである。これからは、「アリの一穴」のように小さく開いた針路が急速に拡大するようなグローバル社会になる。

## Ⅱ. 各産業分野における特殊鋼の 高強度化ニーズ

### 1. 自動車

トヨタ自動車(株) きた の とも やす  
材料技術開発部 **北野智靖**

#### ◇ 自動車を取り巻く環境と軽量化ニーズ

20世紀の著しい産業発展は、石油の大量消費にささえられており、今日の社会も依然として石油エネルギーに大きく依存している。化石燃料である石油が将来枯渇するという不安から、産業の各方面で石油依存を緩めるための技術開発に古くから取り組まれてきた。また、20世紀後半には、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の排出削減が叫ばれるようになり、地球環境保護の観点からも石油の消費削減は人類の重要課題の一つとなっている。特に、走行段階で石油を消費し、CO<sub>2</sub>を排出する自動車の環境技術開発は、自動車メーカーの社会的責務でもある。

トヨタ自動車では、1997年12月に世界初となる量産ハイブリッド車を発売して以来、そのラインアップを拡張してきた。今では約30モデルを約80の国と地域で販売しており、その世界累計販売台数は2014年3月時点で640万台を超えている。2015年度には世界でのトヨタ車の平均燃費を2005年度比で25%向上させることを目指しており、ハイブリッド車の新型車、モデルチェンジ車の市場投入が計画されている。今後も当面は、体積エネルギー密度の大きい、石油を燃料とした従来エンジン車やハイブリッド車が自動車の主流になるとみている。一方で石油以外の代替エネルギーを利用する車として、プラグインハイブリッド (PHV)、電気自動車 (EV)、燃料電池車 (FCV) についても並行して開発を進めている。それぞれのメ

リットとデメリットを考慮し、小型車で近距離の移動を得意とするのがEV、大型車で長距離の移動にはFCVといった選択がなされるものと考えられている。代替エネルギー車の一般普及にあたっては、各エネルギーともになんらかの課題を持っており、電池の技術はもとより、インフラ整備、コスト低減等々において大きな革新が必要となるだろう。2020年の東京オリンピックはこれらの次世代環境技術の開発を加速し、開催にあわせてさまざまな次世代環境技術車の提案がなされることが期待される。

図1に、車両重量とCO<sub>2</sub>排出量の関係をガソリン、ディーゼル、ガソリンハイブリッドについて示す。ハイブリッドユニットを選択することによってCO<sub>2</sub>排出量が大きく削減できることがわかる。一方で、いずれのパートレインにおいても車両重量とCO<sub>2</sub>排出量には強い相関があり、軽量化がCO<sub>2</sub>排出量低減に大きな効果を持っていることが

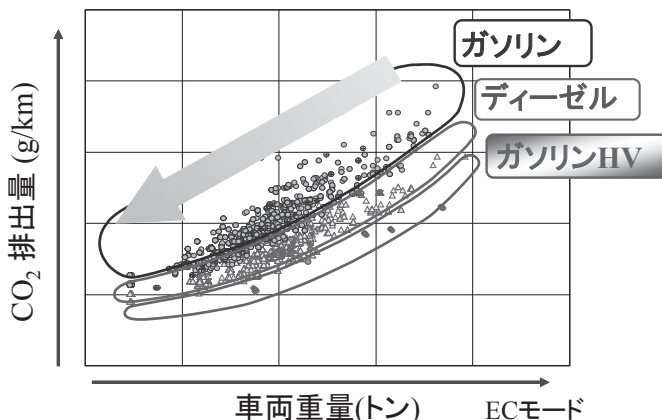


図 1 車両重量とCO<sub>2</sub>排出量の関係



わかる。車両の軽量化は、自動車の基本性能である「走る」「曲がる」「止まる」の向上にも大きく貢献するため、電気自動車や燃料電池車のいずれにおいてもそのニーズが弱まることは無い。

#### ◇ 高強度化による軽量化の事例

鉄鋼材料は、重くて錆びやすい等の欠点を持ちながら、資源として豊富で、機械的特性、成形性、加工性、リサイクル性、コストなどの優位性から、機械構造物用材料として最も多く使われてきた。自動車においても同様で、平均的な自動車の重量の60%程度は鋼板を中心とした鉄鋼材料で占められている。鉄鋼材料の使用割合は、非鉄材料への代替や高張力鋼板の採用による薄肉軽量化などによって、年々減少傾向にあるが、特殊鋼の割合は20%程度でほとんど変動していない。これは、特殊鋼がエンジンやトランスミッション、シャシ部品に採用され、機能、耐久性、信頼性において他の軽量材料での代替が不可能な場合が多いことが理由の一つと考えられる。さらに、特殊鋼部品の高強度化は、エンジン出力の増加や伝達トルクの増加、車両重量の増加等に対して、従来の部品体格を維持するために行われる場合が多く、高強度化しても材料自体の使用量が減少しないことも一つの理由と考えられる。特殊鋼の高強度化による軽量化は、目に見えない形で行われていることが多いと言えるのではないだろうか。

一方で、特殊鋼は、機能運動部品に使われている場合も多くその部品自体の軽量化にとどまらず、周辺の部品やユニットの効率等に大きな影響をもたらす場合がある。以下に、高強度特殊鋼の採用

によって、部品点数の削減や、周辺部品の軽量化に大きく貢献した事例を紹介する。

#### <高強度ギヤ用鋼>

図2に、高強度ギヤ用鋼採用による部品点数削減の事例を示す。トランスミッションを代表とする動力伝達機構を構成するギヤは、自動車において最も必要な部品の一つであることは言うまでもない。高効率化を目的としたトランスミッションの多段化に伴う小型化要求、エンジン出力向上に伴う高トルク化など、ギヤの高強度化要求は尽きることが無いだろう。ギヤに必要となる代表的な強度は、歯元曲げ疲労強度と歯面のピッチング疲労強度に大別されることが多い。この事例では前者の歯元曲げ強度を向上した材料を採用することでピニオンギヤの点数を削減し大幅な軽量化が達成されている。

#### <高強度コネクティングロッド用鋼>

図3に、コネクティングロッドへの高強度鋼の採用による軽量化の事例を示す。コネクティングロッドは、ピストンとクランクシャフトを連結し、ピストンの往復運動をクランクシャフトの回転運動に変換する。したがって、コネクティングロッドの軽量化は、自身の重量低減以上に、往復慣性重量の低減がもたらすクランクシャフトの重量低減や各摺動部での摩擦損失低減、振動・騒音の低減などの効果大きい。

コネクティングロッド用鋼には高い耐力と疲労強度が要求され、これらの特性向上は被削性の低下を招く。新しく開発した高強度鋼では、従来鋼同様にフェライト／パーライトの2相組織を採用し、軟質相となるフェライトの量と強化を最適化

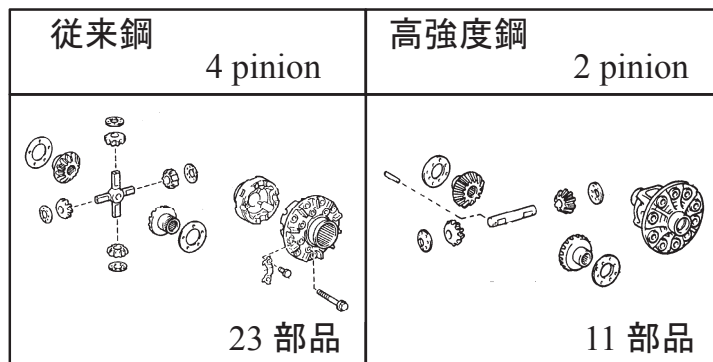


図 2 高強度鋼採用事例 (ギヤ)

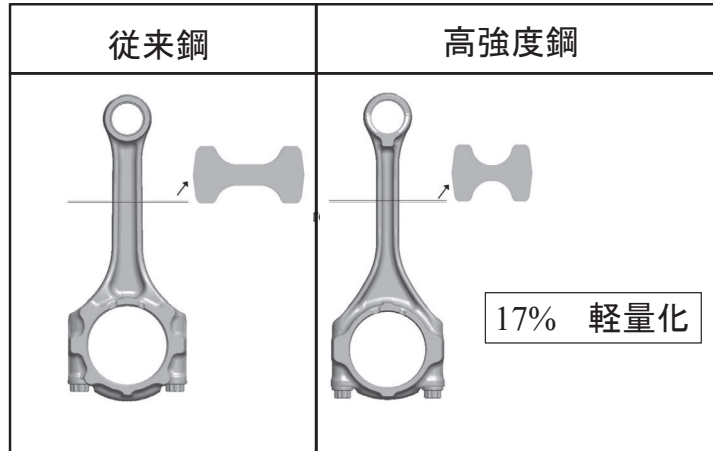


図 3 高強度鋼採用事例（コネクティングロッド）

することにより耐力、疲労強度と被削性を両立させている。2014年夏に発売が開始されたレクサスNXに搭載される8AR-FTSエンジンに採用された。

#### ◇ 特殊鋼の高強度化への期待

これまでに述べて来たように、自動車においての重量低減は永遠の課題であり、重量の大部分を占める鉄鋼材料の高強度化への期待は大きい。特に、他への代替材料が見当たらない特殊鋼の高強度化は将来のユニットや足回り部品の軽量化（含、部品体格維持）においてさらに注目されるだろう。材料開発への期待は高まるばかりである。一方で、自動車生産のグローバル化は、90年代の予想をはるかに上回るスピードで進められている。ユニットや足回り部品も例外ではなく、車両生産とは比べられないまでも現地生産への移行が着実に進められている。生産のグローバル化と材料開発の間には大きなジレンマが存在し、時として、グローバル化が材料開発の妨げとなり、材料開発がグ

ローバル化の妨げとなることがある。しかしながら、どちらか一方を優先することでは、将来の競争力を確保する事ができないのは明白である。グローバル化への対応や位置づけを明確にした材料開発が必要となるだろう。

最後に、特殊鋼の高強度化に伴い浮上する課題に対する要素技術開発への期待について述べたい。鉄鋼材料の高強度化は、金属疲労における切欠き感受性や、遅れ破壊における水素脆性の悪化をもたらす事が多い。金属疲労と遅れ破壊は、古くから知られている破壊現象であるが、今日においてもなお、その撲滅にはほど遠いというのが実情であろう。自動車の部品においても、これら二つの不死鳥のような破壊現象が、軽量化の阻害要因の一つになることが多い。これら二つの破壊現象は、その破壊強度のばらつきが大きいのが特徴で十分な安全率を確保する事が必要となるからである。これらの破壊現象のメカニズムが十分に解明され、適切な対策手法が確立される事が望まれる。

## 2. 建設

### －グラウンドアンカーとタイבל－

(株) エ ス イ ー たけ や こう じ  
環境防災事業部 技術部 竹 家 宏 治

#### まえがき

建設、建築分野において、PC鋼より線は様々な用途で使用されており、社会インフラの整備や補修・補強に貢献している。

当社はPC鋼より線を用いた製品や技術を提供するエンジニアリングメーカーで、フランスから導入したSEEE工法を中核として、主に斜面防災を担当する環境防災分野と、主に橋梁に関する製品・技術を担当する橋梁構造分野において、製品や技術を発展・応用することにより、社会インフラの整備や防災に微力ながら貢献してきた。さらに近年は、PPPコンセッション事業や超高引張強度コンクリートの開発などの新規事業を手がけている。

当社の防災分野では、従来から地すべりや斜面崩壊の対策工法であるグラウンドアンカー、港湾や漁港の控え矢板式係船岸に用いるタイבלなどを取り扱ってきたが、近年ではそれらの製品・技術を活用して既設構造物の補強や耐震化などに用途が拡大している。さらに、海外への展開についても積極的に取り組んでいる。本稿では、防災分野におけるPC鋼より線（JIS G 3536 SWPR7BL等）を用いた製品・技術の現状や今後の展望について述べる。

#### ◇ グラウンドアンカーについて

日本は国土の約7割を山地が占めるとともに、地盤が脆弱であるという素因に加えて、近年の気候変動などの影響による大雨の増加や台風の大型化といった誘因により、近年では土砂災害が頻発している。土砂災害危険箇所は全国で52万箇所以上存在するが、現状ではハード、ソフトとも十分な対策が進んでいない。

土砂災害のうち、地すべりや斜面崩壊などの災

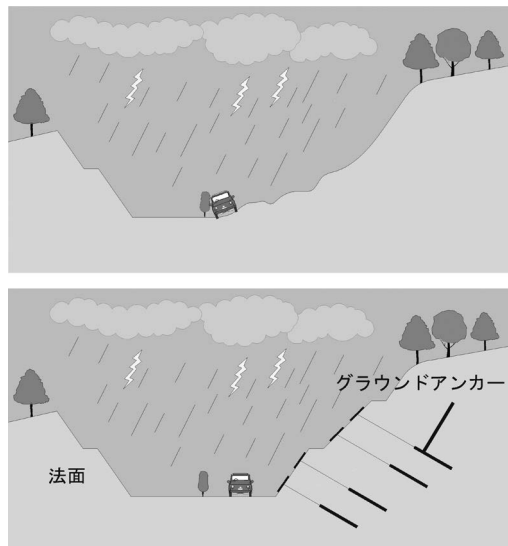


図 1 グラウンドアンカーによる対策効果のイメージ

害の防止や、災害後の復旧に有効な対策工法の一つがグラウンドアンカーである。斜面崩壊とグラウンドアンカーによる対策効果のイメージを図1に示す。

グラウンドアンカーによる斜面崩壊対策は1960年代に日本に導入され、高速道路建設が本格化した1970年代後半辺りから施工実績が急増したといわれている。導入当初はPC鋼より線の腐食に対する意識が高くなく、防食構造となっていなかったため、近年では90年代以前に施工されたグラウンドアンカーの劣化が問題となっている。

#### ◇ SEEEグラウンドアンカー

当社の製品であるSEEEグラウンドアンカーは、1973年の発売開始当初から長期的な供用を考慮している。SEEEグラウンドアンカーの構造の概要を図2に示す。頭部はナット定着方式、引張材であるPC鋼より線には全長に渡って二重防食の構造を採



図 2 SEEEグラウンドアンカーの構造

用している。それにより、供用中の緊張力管理が容易で高い耐久性を長期間維持できるという特徴を有し、その特徴が一般財団法人砂防・地すべり技術センターの技術審査証明により確認されている。

#### ◇ グラウンドアンカーの応用について

近年、社会インフラの老朽化や耐震性不足などの問題が顕在化しており、構造物の機能強化に有効な技術の開発が喫緊の課題となっている。

当社では、既存構造物の補強にグラウンドアンカーが有効であることに着目し、研究開発により効果の確認を行った結果、2009年に一般財団法人沿岸技術研究センターにおいて、「岸壁・護岸耐震補強アンカー工法」の評価書を取得したほか、2013年に一般財団法人砂防・地すべり技術センターにおいて、「砂防堰堤補強アンカー工法」の技術審査証明を取得した。これらの構造物補強アンカー工法の普及を図ることで、構造物の耐震補強をはじめとする機能強化の促進に貢献できると考えている。

#### 1. 岸壁・護岸耐震補強アンカー工法

本工法は、耐震性が不足している既設岸壁や護岸にグラウンドアンカーを設置して緊張力を付与することにより耐震性を向上させる工法である。工法のイメージを図3に示す。

従来の補強工法と比べて、施工時の占有面積が小さく港湾や漁港施設への影響を最小とすることができることや、工期が短く経済的となるケースが多いことなどが評価されて、今後想定される南海トラフ等の地震に事前対策や、2011年東日本大震災で被災した漁港岸壁の復旧など、多くの現場

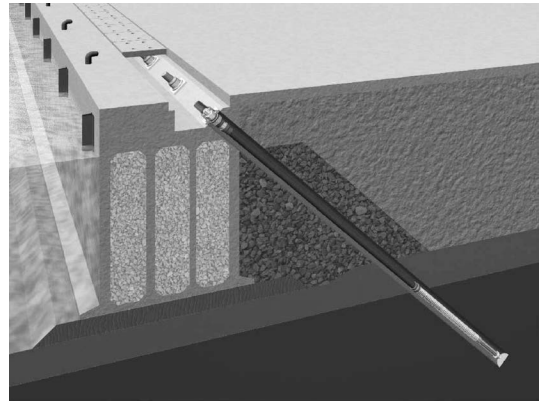


図 3 岸壁・護岸耐震補強アンカー工法のイメージ

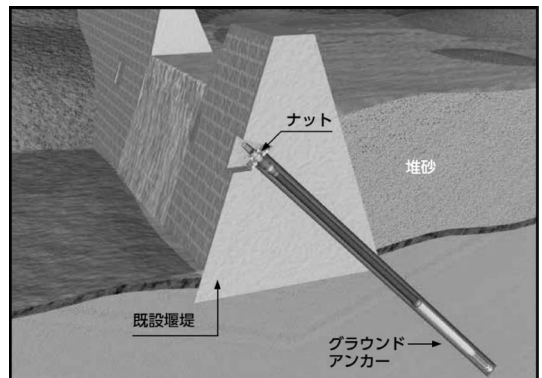


図 4 砂防堰堤補強アンカー工法のイメージ

で活用されている。

#### 2. 砂防堰堤補強アンカー工法

本工法は、基準の改定などにより現行の基準では土石流や洪水時の安定性が確保できない既設の砂防堰堤にグラウンドアンカーを設置して、緊張力を付与することにより補強する工法である。工法のイメージを図4に示す。

従来の補強工法と比べて、施工時の安全性や砂防堰堤の機能の確保、経済性などが評価されて、全国で実績を獲得している。2013年の伊豆大島や2014年の広島など、近年の降雨強度の増大などの影響で土石流の被害が頻発しているが、本工法の更なる普及により土石流災害の被害の軽減が実現できると考えている。

#### ◇ タイプルについて

##### 1. タイプルとは

タイプルは、二重矢板式係船岸において、前面

矢板と控え矢板をつなぐタイ材のうちタイワイヤーに分類されるもので、PC鋼より線により構成されている。タイ材のもう一方の材料であるタイロッドと比較して、以下のような特徴がある。

- ・タイロッドと比較してフレキシブルで、地盤の沈下等による曲げの影響が極めて小さく、リングジョイントなどの曲げ対策が不要である。
- ・タイロッドに比べて必要張力に対する単位重量が約1/3と小さいこと、長尺でも接続が不要なのでターンバックルが不要であること、支補工が不要であることなどから、施工性に優れる。
- ・PC鋼より線には全長にわたってポリエチレンコーティングを施しており、耐久性に優れる。

## 2. タイブルの構造

タイブルは、引張材にPC鋼より線を使用し、防錆油を塗布して、さらにポリエチレンコーティングを施した、二重防食の構造となっている。

両端の定着部には、マンションと呼ぶねじを切ったスリーブを常温圧着によりPC鋼より線と一

体化させて取り付けている。

タイブルの断面を図5に、ケーブル構成一覧を表1に示す。

## 3. タイブルの応用

タイブルは、その長期耐久性やナット定着の耐震性が評価されて、新幹線や在来線などの既設盛土の耐震補強工法として、盛土両端に設置したシートパイルをつなぐ材料として、多くの実績がある。

## ◇ 今後の展望

### 1. 海外展開

当社は、1995年には東南アジアをはじめとする海外市場進出への足がかりとして、韓国に合弁会社「株式会社 코리아エスイー」の設立、また2007年には、ベトナムに建設コンサルタント会社「VJEC: Vietnam Japan Engineering Consultants、当社及びNUCE: National University of Civil Engineering、ベトナム国立土木学会による現地合弁会社」

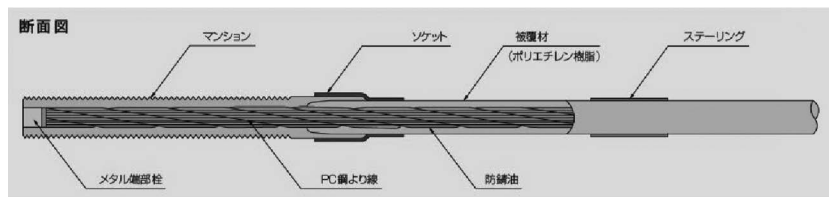


図 5 タイブルの断面

表 1 タイブルの規格

項目	呼名	F40T	F50T	F60T	F70T	F100T	F110T	F130T	F170T	F190T	F200T	F230T	F270T	F310T	F330T	F360T	F500T
構成		1× φ17.8	1× φ20.3	1× φ21.8	7× φ9.5	7× φ11.1	7× φ12.4	7× φ12.7	7× φ15.2	7× φ15.2	19× φ9.5	19× φ10.8	19× φ11.1	19× φ12.4	19× φ12.4	19× φ12.7	19× φ15.2
記号		SWPR 19L	SWPR 19L	SWPR 19L	SWPR 7BL	SWPR 7BL	SWPR 7AL	SWPR 7BL	SWPR 7AL	SWPR 7BL	SWPR 7BL	SWPR 7AL	SWPR 7BL	SWPR 7AL	SWPR 7BL	SWPR 7BL	SWPR 7BL
断面積(mm <sup>2</sup> )		208.4	270.9	312.9	383.9	519.3	650.3	691.0	970.9	970.9	1042.0	1323.9	1409.6	1765.1	1765.1	1875.5	2635.3
単位重量 (kgf/m)	PC鋼より線	1.65	2.15	2.48	3.04	4.09	5.13	5.45	7.75	7.75	8.77	11.10	11.78	14.80	14.80	15.70	20.96
	鋼材+被覆	1.95	2.49	2.84	3.65	4.92	6.11	6.54	9.82	9.82	10.47	13.47	14.10	17.55	17.55	18.53	24.46
引張荷重 Tus (kN)		387	495	573	714	966	1120	1281	1680	1827	1938	2280	2622	3040	3287	3477	4761
降伏点荷重 Tys (kN)		330	422	495	608	826	952	1092	1428	1554	1649	1938	2242	2584	2793	2954	4178
断面図 (mm)																	
		17.8 25.8	20.3 28.3	21.8 29.8	28.5 36.5	33.3 43.3	37.2 47.2	38.1 48.1	45.6 61.6	45.6 61.6	47.5 63.5	54.0 74.0	55.5 75.5	82.0 92.0	82.0 92.0	83.5 93.5	76.0 96.0

の設立、さらには、ベトナムに当社の現地駐在員事務所の開設など、保有製品や技術の海外展開を図ってきた。

ベトナムにおいては、まずはグラウンドアンカーの普及を目指す。2014年11月に、道路法面の地すべり災害に対してグラウンドアンカーを用いた対策工法の有効性を検討することを目的とした調査「ベトナム社会主義共和国道路法面災害対策（グラウンドアンカー工法）の技術普及案件化調査」を、当社が独立行政法人国際協力機構から受託した。この調査を起点としてベトナムおよびメコン地域へのグラウンドアンカーの普及を図る。

また、タイプルは、施工の容易さなどの特徴が評価されて、ODA案件を中心に多くの工事において活用が検討されている。今後は、タイプルの更なる普及を図るため、英文技術資料の整備などに

より、設計段階からタイプルが検討されるような環境作りを進めていく。

## 2. 高強度化への期待

タイプルなど各製品において、PC鋼より線の高強度化により、施工性向上や工期短縮などの効果が得られることが想定できる。その効果により、国内外とも更に需要が拡大する可能性がある。

## むすび

本稿では、当社が取り扱う製品・技術のうち、斜面防災や構造物補強、港湾などの環境防災分野の現状と今後の展望について紹介した。

気候変動による土砂災害の増加への対応や既設構造物の耐震化、または発展途上国のインフラ整備や防災など、国内外の種々の課題に対して、当社製品の特徴を活かして貢献したい。



### 3. 電力・エネルギー

三菱日立パワーシステムズ(株) さ と う たかし  
ボイラ開発部(呉) 佐藤 恭

#### ◇ 火力発電分野における高強度耐熱鋼の貢献

CO<sub>2</sub> 排出量削減等の環境問題に対応するため、火力発電プラントでは蒸気条件の上昇によるプラント効率の向上が推進されてきた<sup>1), 2)</sup>。1990年代にそれまでの24.1MPa/538℃/538℃（主蒸気圧力／主蒸気温度／再熱蒸気温度）から段階的に上昇し、現在の大型プラントでは、25MPa/600℃/600～610℃級が主流である。

火力発電用ボイラでは耐圧部に数千トンの鉄鋼材料が使用される。図1にボイラ構造例を示すが、水壁から節炭器、水壁、過熱器、再熱器、主配管に、設計温度に応じて炭素鋼から低合金鋼、高Crフェライト鋼、オーステナイト鋼の管材が使用される。蒸気条件の上昇は耐圧部の肉厚増加につながり、火炉内で燃焼ガスに晒される小径の伝熱管材では、強度とともに耐食性の確保も重要となる。

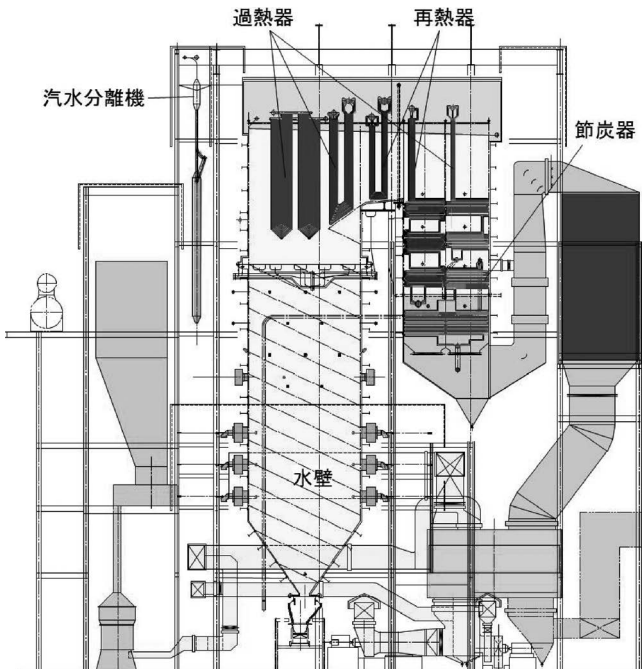


図 1 発電用大型ボイラの構造例

管寄せや配管等の大径管材では、肉厚の増加によって管材の製作性や加工性の問題のほか負荷運用性能上の制限も厳しくなる。このため蒸気条件の向上には新しい高強度鋼の採用が不可欠であるが、近年、国内で強度と耐食性に優れた耐熱鋼が開発され<sup>3)</sup>、高蒸気条件の発電プラントが実現されている。

#### ◇ ボイラ用高強度耐熱鋼の進歩

耐圧部に使用される材料は、火力技術基準やASME、EN等の規格で規定される。火力技術基準で定められた材料の内、主な高強度耐熱鋼を表1に示す。また、図2にこれらの許容引張応力を示す。フェライト鋼、オーステナイト鋼とも従来鋼に比べてクリープ破断強度が大幅に向上し、高温域の許容応力が高くなっている。このような新材料を用いることで、蒸気条件が上昇しても耐圧部材の肉厚を従来鋼と同レベルに抑えることができる。

（以下、本文中の標準組成は、火力技術基準の解釈の表記による。）

##### 1. フェライト鋼

高温部の大径管には、線膨張係数や熱伝導率でオーステナイト鋼より有利なフェライト鋼が用いられる。主蒸気600℃級のボイラでは、9～11%Crの高Crフェライト鋼が広く使用されてきた。火STPA28 (9Cr1MoNbV鋼) は米国で開発されたもので、9Cr1Mo鋼にNb、Vを添加して焼ならしー焼戻し処理を行い、焼戻しマルテンサイト単相組織としてクリープ破断強度を高めた材料である。国内で開発された火STPA29 (9Cr1.8W鋼) は火STPA28をベースにMoの一部をWに置き換え、クリープ破断強度を向上させた<sup>4)</sup>。また火SUS410J3TP (11Cr2W0.4Mo1CuNbV鋼) は同様にWの添加で高温強度を高めたも

表 1 火力発電ボイラ用の主な高強度耐熱鋼

規格記号	規格記号
フェライト鋼 (配管材)	
火STPA24J1	2.25Cr-1.6W-Mo-V-Nb-B
火STPA28	9Cr-1Mo-Nb-V-N
火STPA29	9Cr-1.8W-0.5Mo-V-Nb-N-B
火SUS410J3TP	11Cr-2W-1Cu-0.4Mo-V-Nb-N-B
オーステナイト鋼 (伝熱管材)	
火SUS304J1HTB	18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N
火SUS309J4HTB	22Cr-15Ni-Nb-N
火SUS310J1TB	25Cr-20Ni-Nb-N
火SUS310J2TB	20Cr-25Ni-1.5Mo-Nb-N-B
火SUS321J1HTB	18Cr-10Ni-Ti-Nb
火SUS321J2HTB	18Cr-10Ni-3Cu-Ti-Nb-B
火SUS347J1TB	18Cr-9Ni-2W-Nb-V-N

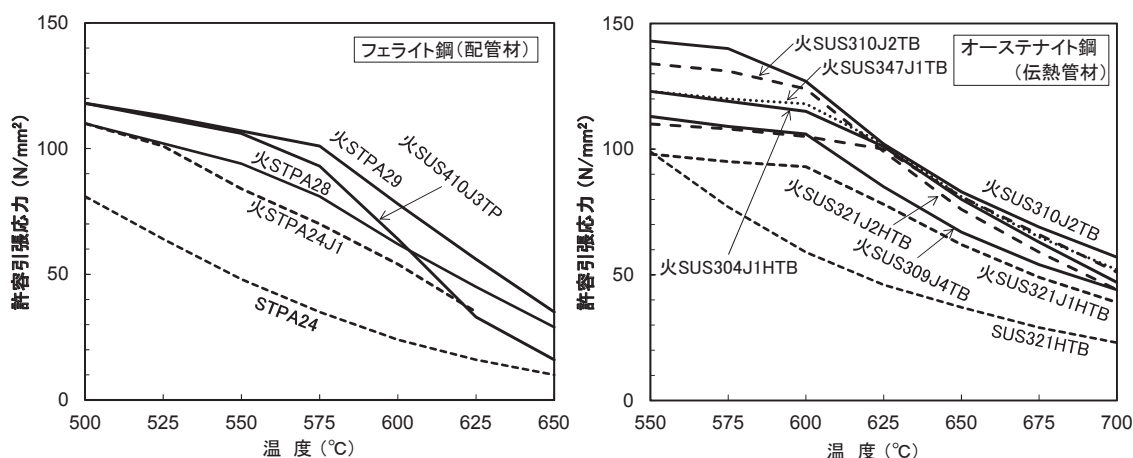


図 2 火力技術基準で定められた許容引張応力

ので、Cr量が多く耐食性に優れる。これらは広く実機に使用されてきたが、現在、国内外の新設炉では、火STPA28 (ASME P91) あるいは火STPA29 (ASME P92) が主流となっている。一方、比較的低温の低い領域では、STPA24 (2.25Cr1Mo鋼) にWを添加して高強度化した火STPA24J1 (2.25Cr1.6W鋼) も実機に採用されている。

## 2. オーステナイト鋼

高温部の伝熱管には高温強度と耐食性に優れるオーステナイト鋼が用いられる。主蒸気566℃級までのボイラでは、SUS321HTB (18Cr10NiTi鋼) 等の18%Cr系オーステナイト鋼が広く採用されてきたが、強化元素を複合添加した火SUS321J1HTB (18Cr10NiTiNb鋼) が開発され、更に高温強度と耐食性を改善した18~25%Cr鋼が開発された<sup>5)</sup>。

例えばCuとNb及びNを添加した火SUS304J1HTB (18Cr9Ni3CuNbN鋼)、MoとNb、Tiを添加した火SUS310J2TB (20Cr25Ni1.5Mo鋼)、NbとNを添加した火SUS310J1TB (25Cr20NiNbN鋼) 等が挙げられる。このようにCr量の異なる高強度材料が開発されて使用環境に応じた材料選定が可能となり、一部は国内外で広く採用されている。その後、強化元素としてWやTi、Nbを複合添加した伝熱管材も開発され、火力技術基準や海外規格に登録されている。今後、国内外での採用拡大が期待される。

## ◇ ボイラ用耐熱鋼に要求される性能と実用化の課題

ボイラ用耐熱鋼には強度のほか、良好な耐食性と加工性が要求される。材料メーカーが基本的な開



発を終えた段階でボイラ製造メーカーが実用性を評価し、その結果を基に改善が行われ、規格化に至る場合が多い。

### 1. 強度特性

ボイラ用耐熱鋼は10~30年の長期に渡って使用されるものも多いので、機械的性質と靱性、室温から使用される高温域までの引張強度特性のほか、長時間のクリープ破断強度が特に重要である。火力技術基準やASMEでは10万時間の破断強度を外挿し、所定の安全係数を乗じて許容応力を定めている。この10万時間破断強度の推定は、これまで1万時間超の試験データで認められてきたが、現在、より長時間試験データが重視される傾向にある。

### 2. 耐食性

過熱器管や再熱器管では、管外表面に付着した燃焼灰による高温腐食の防止が重要である。この高温腐食は材料のCr量と石炭中のS量、温度に大きく依存するので、実機の設計ではこれらをパラメータとした腐食マップに基づき、石炭の性状や使用温度を考慮して材料を選定する。

一方、管の内面に生成する水蒸気酸化スケールが剥離すると、堆積による管閉塞や後流側への飛散の問題を起す場合があり、スケール抑制も重要な課題である。18%Crオーステナイト鋼の場合、細粒材の採用、あるいは管内面のショット加工で水蒸気酸化を抑制する。ショット加工を施すと18%Cr鋼でも700℃まではスケール生成を大幅に低減でき、その効果は長時間使用後も持続することが確認されている<sup>6)、7)</sup>。25%Crオーステナイト鋼は、ショット加工なしでも良好な耐水蒸気酸化性を有する。

### 3. 加工性

ボイラ鋼管は溶接と曲げ加工を受けるので、良好な加工性も必須である。ボイラ製造メーカーでは、高強度耐熱鋼に適した溶接法の適用<sup>8)</sup>および溶接材料の選定と高品質な継手性能の確保が技術課題となる。近年の高強度鋼の場合、溶接継手の強度検証は数万時間のクリープ試験も含めて行われる。また、伝熱管材の場合は冷間および熱間曲げ加工、

厚肉大径管の場合は高周波誘導加熱曲げ加工が適用されるので、これらの施工、加工条件および後熱処理条件を確立するとともに、曲げ加工部および溶接継手の長時間クリープ試験を含めた強度検証が行われる。

## ◇ 今後の課題と展望

ボイラ鋼管として優れた特性を有する高強度耐熱鋼が国内で多く開発され、火力発電プラントの高効率化に大きく貢献してきた。しかし近年一部の材料で長時間クリープ破断強度が当初の予測より低いことが判明し、許容応力が見直される場合が生じている<sup>8)、9)</sup>。このため、10万時間レベルの長時間強度の信頼性が最も重要な開発課題であると再認識されている。現在、国内外で主蒸気温度700℃級のA-USC (Advanced Ultra Super Critical) 火力発電プラントの開発が進行中である<sup>10)~12)</sup>。A-USC用Ni基合金の候補材料は溶接等の加工性のほか、この長時間信頼性検証を重視して開発が進められており、更なる火力発電のプラント効率向上が望まれる。

## 参考文献

- 1) 菊池ほか、日本機械学会 第5回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集、No. 96-3 (1996)
- 2) Metcalfe, et al., Proceedings of 6th Liege Conf. on Materials for Advanced Power Engineering (1998)
- 3) 増山、学振、耐熱金属材料第123委員会研究報告、Vol. 38、No. 3 (1997)
- 4) 大神ほか、学振、耐熱金属材料第123委員会研究報告、Vol. 31、No. 3 (1990)
- 5) 仙波、配管技術、Vol. 40、No. 1 (1999)
- 6) 佐藤ほか、日本機械学会 第7回機械材料・材料加工技術講演会 (1999)
- 7) 阿部、泉、鉄鋼協会第136回秋季講演大会 (1998)
- 8) K. Kimura, Y. Takahashi, Proceedings of ASME PVP, PVP 2012-78323 (2012)
- 9) M. Yaguchi, et al., Proceedings of ASME PVP, PVP2012-78393 (2012)
- 10) 福田雅文ほか、火力原子力発電、Vol. 62、No. 10、p. 731 (2011)
- 11) T. Tokairin, et al., Proceedings of ECCS Creep & Fracture 2014, #77 (2014)
- 12) K. Nicol, IEA, 2nd AUSC Workshop (2014)

# Ⅲ．特殊鋼の強度

## 1．鋼の強化機構

九州大学 工学研究院 材料工学部門 教授 高木 節雄

### ◇ 鉄の基本的な強度と強化機構

金属の塑性変形が転位という結晶格子中の線欠陥の運動で生ずることはすでに周知の事実となっているが、ある臨界以上のせん断応力を加えなければ転位は動かない。その応力は臨界分解せん断応力 (Critical Resolved Shear Stress; CRSS) と呼ばれ、金属の結晶構造や不純物の量、温度、ひずみ速度などによって変化する。 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ /s程度の歪み速度で室温 (20°C) という条件下では、純鉄のCRSSは約20MPaであり<sup>1)</sup>、引張り応力ではその2倍の40MPaが鉄の最小強度ということになる。組織強化の影響を排除した基地の強度は摩擦力と呼ばれる。このように、高純度鉄の強度は本質的には非常に小さいので、このままでは構造材料として使用できない。そこで、我々は何らかの工夫をして鉄を強化してきたわけである。金属の強化機構としては、固溶強化 (Solid solution strengthening)、転位強化 (Dislocation strengthening)、粒子分散強化 (Particle dispersion strengthening)、結晶粒微細化強化 (Grain refinement strengthening) の4種類が挙げられる<sup>2)</sup>。以下、これらの強化機構について簡単に紹介する。

### ◇ 固溶強化

合金元素が鉄に固溶する方法は2通りあり、一つは溶質原子が鉄原子と置き換わる置換型固溶、もう一つは鉄の結晶格子の隙間に溶質原子が侵入する侵入型固溶である。いずれにせよ、種類が異なる原子が固溶すると大なり小なり格子ひずみを生ずる。固溶強化は、こうした合金元素が生ずる格子ひずみと転位の弾性応力場との相互作用で生じ、固溶強化量 $\Delta\sigma$ は、添加元素の濃度が低い場合には次式で与えられる。

$$\Delta\sigma = K_s \sqrt{C} \quad (1)$$

固溶強化の特徴は、合金元素の濃度の平方根に比例して強度が増加するところにある。 $K_s$ は、合金元素の固溶強化能を示す定数であり、鉄原子に対して原子サイズの差が大きな元素ほど大きくなる。置換型元素による鉄の固溶強化能については詳細な報告がなされているのでそれを参照されたい<sup>3)</sup>。

一般的に、固溶原子と転位の相互作用は大変小さく、しかも運動する転位の長さに対して固溶原子の分散間隔は二桁以上小さいので、固溶した原子は転位の運動に対して摩擦力を高めるような働きをする。合金鋼の摩擦力 $\sigma_0$ は、 $\sigma_0 = (\text{純鉄の摩擦力}) + (\text{固溶強化量})$ として加算的に表記されることが多いが、合金元素の効果としては、強度が上乘せされるのではなく、添加量の増加とともに純鉄の摩擦力が連続的に変化すると考えるべきである。

### ◇ 転位強化

金属材料を加工して強度が増大する現象は加工硬化 (Work hardening) と呼ばれるが、これはあくまでも現象論的な表現であって、強化機構を論ずる場合には転位強化として区別すべきである。転位強化のメカニズムについては諸説あるが<sup>4)</sup>、転位の多重すべりが起こりやすい方向にせん断応力を加えると加工硬化が大きくなるという事実も報告されていることから<sup>5)</sup>、転位同士が絡み合うことで強度が増大するという考え方が妥当と思われる。この考え方に基づくと、転位強化を加味した金属の降伏強度 $\sigma_y$ は、転位の平均間隔 $\lambda$ の関数として次式で与えられる。

$$\sigma_y = \sigma_0 + K' / \lambda \quad (2)$$

$K'$ は、転位の性質や転位密度、温度などに依存して変化する定数であり、上式は、転位の平均間隔

が狭いほど転位強化量が大きくなることを示している。単位体積中に含まれる転位の全長は転位密度 $\rho$ と呼ばれ、転位分布を三次元格子で仮定すると、 $\rho$ と $\lambda$ の間には $\lambda = (3/\rho)^{1/2}$ という関係が成立するので、上式は $\rho$ の関数として次のように書き換えられる。

$$\sigma_y = \sigma_0 + K_d \sqrt{\rho} \quad (3)$$

この関係式はBailey-Hirschの式と呼ばれ、冷間圧延した鉄については、次のような関係式が成立することが分かっている<sup>6)</sup>。

$$\sigma_y [\text{GPa}] = 0.1 + 1.2 \times 10^{-8} \sqrt{\rho} \quad (4)$$

転位密度の評価法には、TEMによる実測法とX線回折法<sup>7)</sup>の二通りがあり、転位密度が低い場合は前者、高い場合には後者が適している。

焼鈍した多結晶鉄の場合、 $10^{12} \sim 10^{13}/\text{m}^2$ 程度の転位が残存しているが、多結晶鉄の降伏強度は結晶粒径によって決まるので、焼鈍材については転位密度の差は降伏強度に現れない。しかし、降伏強度を上回るレベルまで加工されると、加工材の降伏強度は転位密度に依存して上式で与えられるようになる。90%の冷延で鉄中に導入される転位の密度は $10^{15}/\text{m}^2$ 程度であるが、それ以上の強加工を施すと動的な結晶粒微細化が起こって強化機構が結晶粒微細化強化に移行してしまう<sup>8)</sup>。すなわち、加工硬化とは、初期段階は転位強化、後期段階は結晶粒微細化強化の機構で起こる現象であり、結晶粒微細化強化と転位強化の間には競合的な関係があると考えられる<sup>9)</sup>。

### ◇ 粒子分散強化

微粒子を金属中に分散させて強化する方法とし

て析出硬化 (Precipitation hardening) が知られているが、析出硬化はあくまでも材料を強化させるための手段や現象を意味する言葉であり、強化機構を論ずる場合、粒子分散強化という言葉を使用する方が妥当である。ただし、粉末冶金の分野で、金属粉末に非金属微粒子を混合して強化させる方法として粒子分散強化という言葉が使用されるので、強化機構と混同しないように注意する必要がある。図1に、粒子分散強化の機構と強化手段の分類を示す。強化機構としては、転位で分散粒子がせん断されるCuttingモデルと転位が分散粒子を迂回して運動するOrowanモデルに大別できる。析出物が小さい場合、析出物は基地に対して整合に析出していることが多く、その場合は析出物の周囲に存在する整合ひずみが強度に影響を及ぼすこともある。

ここでは、最も単純な例としてOrowanモデルについて強化機構を紹介する。Orowanモデルでは、すべり面上の粒子間の平均すきま間隔 $\lambda^*$  (平均自由行程、Mean free path) が転位強化の $\lambda$ に相当し、強化量を支配する組織因子となる。粒子分散強化を加味した降伏強度 $\sigma_y$ は次式で与えられる。

$$\sigma_y = \sigma_0 + K_p / \lambda^* \quad (5)$$

$K_p$ は、転位の性質や転位密度、温度などに依存して変化する定数である。 $\lambda^*$ は分散粒子の体積率が多いほど、また粒子径が小さいほど小さな値となる。分散粒子の体積率が一定の場合、 $\lambda^*$ は粒子径に比例するので粒子径が小さいほど強度が高くなると考えて良い。また、実用材では、分散粒子は同じ大きさではなく、多かれ少なかれ粒度分布を

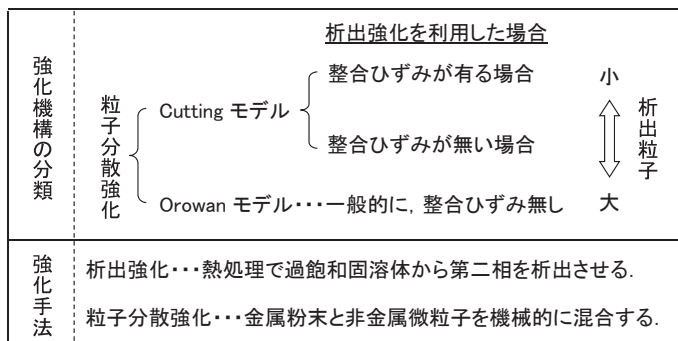


図 1 粒子分散強化機構の分類と強化手法

有している。粒度分布の幅が広がると大きな粒子の影響で分散粒子の総数が減少してしまい、結果的に $\lambda^*$ の値が大きくなるので、工業的な観点からすると粒度分布を狭くすることも重要である。詳細は省略するが、粒度分布を有する実用材の強度評価については統計学的な処理が必要である<sup>10)</sup>。

上式は、粒子径が限りなく小さくなると強度が無限に増大することを示唆しているが、実際には、粒子径がある臨界直径より小さくなると転位による粒子のせん断が起こるようになるので、粒子分散強化には限界値が存在する。その限界値は、分散粒子の体積率が高いほど、また分散粒子が硬いほど高くなる。結局、粒子分散強化を利用する場合、硬質の粒子をできるだけ粒度分布が無いように、微細に分散させることが重要となってくる。

### ◇ 結晶粒微細化強化

結晶粒微細化強化は、粒界を使って材料を強化することから粒界強化 (Grain boundary strengthening) といわれることもあるが、合金元素によって粒界そのものを強化する場合と混同されないように、強化機構を論ずる場合には結晶粒微細化強化という言葉を使って区別するほうがよい。多結晶は結晶方位が異なる結晶粒の集合体であり、隣接した結晶粒の方位差が $15^\circ$ 以上の場合には大角粒界、それ以下の場合には小角粒界として区別される。また、隣接した結晶粒の方位関係によって傾角粒界とねじれ粒界があるが、一般的な粒界は両方の性質を有している。理解しやすいように、結晶粒界の分類と名称を図2に示す。結晶粒微細化強化を議論する場合、結晶粒径は、大角粒界で仕切られた結晶粒を対象として、公称粒径 $D_n$ で評価するのが一般的である。面分析で得られた結晶粒1個あたりの面積を $S$ とすると、 $D_n = \sqrt{S}$ として公称粒径が定義されており、多結晶金属については、強化量が $D_n$ の平方根の逆数に比例するというHall-Petchの関係が知られている。

方位差	傾角粒界	ねじれ粒界	粒界性格を無視
$15^\circ$ 以下	小傾角粒界	小角ねじれ粒界	小角粒界
$15^\circ$ 以上	大傾角粒界	大角ねじれ粒界	大角粒界

図2 結晶粒界の分類と名称

粒界は、粒内に存在する転位源から生み出された一次転位の動きを止めて降伏強度を上げる働きをするが、転位の堆積によって生じた応力集中がある限界のせん断応力 $\tau^*$ に達すると、新たな転位源として働いて二次転位を放出する<sup>11)</sup>。二次転位の生成に必要な応力 $\tau^*$ は臨界粒界強度とよばれ、このような考え方で多結晶金属の降伏を説明するモデルを“Pile-upモデル”という<sup>12), 13)</sup>。著者らは、結晶粒径が $0.2\mu\text{m}$ までの多結晶鉄の降伏強度 $\sigma_y$ について次のような関係式が成立することをすでに報告している<sup>14)~17)</sup>。

$$\sigma_y [\text{MPa}] = 100 + 600 \times D_n [\mu\text{m}]^{-1/2} \quad (6)$$

$D_n^{-1/2}$ に掛かる係数はHall-Petch係数と呼ばれ、剛性率や $\tau^*$ に依存した材料定数である。0.15%程度の炭素を含む低炭素鋼についても $1\mu\text{m}$ までの粒径領域で上記の関係式が成立することが実証されたが<sup>18)</sup>、固溶炭素量が60ppm以下の成分範囲で鉄のHall-Petch係数が大きく変化することも最近明らかとなった<sup>19)</sup>。多結晶鉄において、不連続型の降伏点が発現し、それが高純化によって低下・消失することは一般的によく知られている。これまで、不連続降伏は固溶した炭素や窒素によって可動転位が固着されているために発現し (Cottrell効果)、高純化によって降伏点が低下・消失するのはそうしたCottrell効果が消失するためと理解されてきた。しかし実際には、図3に示すように、降伏点の発現は結晶粒微細化強化機構に起因しており、高純化によって降伏点が低下したのはHall-Petch

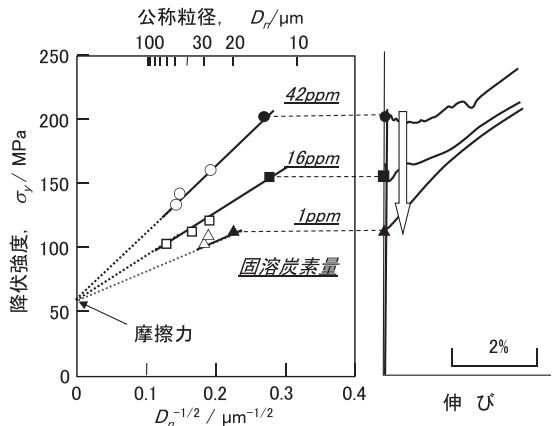


図3 高純化によって多結晶鉄の降伏点が低下するメカニズム

係数が小さくなったためである。鉄鋼材料の分野では、本事例のように、常識と受け入れられてきたことについても見直すべきものが多く残されている。置換型合金元素もHall-Petch係数に何らかの影響を及ぼす可能性があるが、これまで系統的な研究はほとんどなされていない。

#### ◇ 鉄鋼材料の組織と強化機構

鉄鋼材料は、パーライト変態やマルテンサイト変態などの相変態を利用して強化を図っているところに大きな特徴がある。また、実用材では、フェライト、オーステナイト、パーライト、ベイナイトなどの組織を複合化して利用することが多く、正確な材質予測は困難を極める。複合組織の強度を予測するには、材料を構成する各組織の強化機構を正確に把握しておく必要があるが、フェライト単相鋼一つをとっても前述のように解明されていないところが多く残されている。また、マルテンサイト鋼については、転位や炭化物の影響が複雑にからみあって強度に繁栄されるので強化機構を解明するのは容易ではない。これまで、実用的な観点から鉄鋼材料の組織と強度の相関性について多くの研究が為されてきたが、特性のバラツキを小さくして信頼性の高い材料を開発していくためには、各種構成相の強化機構をより明確にしておく必要がある。鉄鋼材料の組織と強化機構の関係については、第198回西山記念技術講座のテキスト「次世代につなぐ鉄鋼学の展望」<sup>20)</sup>に詳しく記載しているので参考にしていただければ幸いである。鉄鋼材料の強化機構については解明されていない事実の方が多いと言っても過言ではないので、今後の益々の研究展開を期待したい。

#### 参考文献

- 1) D.J. Quesnel, A. Sato and M. Meshii: *Met.er. Sci. Eng.*, **18** (1975), 199-208
- 2) 高木節雄 分著：金属便覧（改訂6版）、日本金属学会編、丸善、(2000)
- 3) 須藤一編：鉄鋼材料、講座・現代の金属学、材料編4、日本金属学会、(1985)
- 4) P.B.Hirsch: 金属の物理 格子欠陥、丸善、(1976)、178-183
- 5) 上西朗弘、磯貝栄志、杉浦夏子、池松陽一、杉山昌章、樋渡俊二：新日鐵技報、**392** (2012)、58-64
- 6) 中島孝一、藤村佳幸、松林弘泰、土山聡宏、高木節雄：鉄と鋼、**93** (2007)、459-465
- 7) G.K.Williamson and R.E.Smallman: *Philos. Mag.*, **1** (1956), 34-46
- 8) Y. Kimura, H. Hidaka and S. Takaki: *Mat. Trans. JIM*, **40** (1999), 1149-1157
- 9) S.Takaki, K.Kawasaki, Y.Futamura and T.Tsuchiyama: *Materials Science Forum*, **503-504** (2006), 317-322.
- 10) 北浦知之、飛鷹秀幸、土山聡宏、高木節雄：鉄と鋼、**91** (2005)、796-802
- 11) T.Tsuchiyama, Y.Fujii, Y.Terazawa, T.Ando and S.Takaki: *ISIJ International*, **48** (2008), 861-867
- 12) E.O.Hall: *Proc. Phys. Soc.*, **B64** (1951), 747-753
- 13) N.J.Petch: *J.Iron Steel Inst.*, **174** (1953), 25-28
- 14) Y.Kimura and S.Takaki: *Proc. 1998 PM World Congress, Nanocrystalline Materials*, Granada, EPMA, (1999), 573-578
- 15) S. Takaki and Y. Kimura: *Journal of JSPPM*, **46** (1999), 1235-1240.
- 16) 木村勇次、高木節雄：塑性と加工、**41** (2000)、13-17
- 17) 高木節雄：熱処理、**40** (2000)、292-298
- 18) M. Etou, S. Fukushima, T. Sakai, Y. Haraguchi, K. Miyata, M. Wakita, T. Tomida, N. Imai, M. Yoshida and Y. Okada: *ISIJ International*, **48** (2008), 1142-1147
- 19) K. Takeda, N. Nakada, T. Tsuchiyama, S. Takaki: *ISIJ International*, **48** (2008), 1122-1125
- 20) 高木節雄分著：第198回西山記念技術講座のテキスト「次世代につなぐ鉄鋼学の展望」、日本鉄鋼協会、NMS-ISIJ、**198** (2009)、73-99

## 2. 高強度化の応用例

高強度特殊鋼および高強度化プロセス技術における実例について、前項で解説した「鋼の強化機構」を軸として、「転位強化」、「粒子分散強化」、「結晶粒微細化強化」それぞれの適用例を以下に紹介する。

なお、「粒子分散強化」については、熱間鍛造非調質鋼におけるVC析出物を活用した高強度化および傾斜機能化技術、耐熱鋼における析出強化による高温クリープ強度向上の2つについて紹介する。

### (1) 転位強化

新日鐵住金(株) 技術開発本部 だいとうよしひろ  
鉄鋼研究所 棒線研究所 大藤善弘

#### ◇ 転位強化を活用した鋼製品

本章では様々な強化機構の内、転位強化を積極的に活用した製品の中で、最も高強度な鉄鋼製品の1つであるスチールコード（以後、STCと表記）を中心に述べたいと思いますが、その前に転位強化を活用した鋼製品を概観したいと思います。転位で強化するためには、鋼中へ転位を導入する必要がありますが、その方法としては、冷間での伸線、鍛造、圧延などの塑性加工や、高温加熱（例えば900℃）後に焼き入れ（急冷）して、マルテンサイト組織にする方法などがあります。冷間伸線を利用した製品としては、橋梁用ロープやSTC、冷間鍛造を利用した製品としては、冷間鍛造後に熱処理を行わずに製造されるボルトやナット、冷間圧延を利用した製品としては、フルハードの冷延鋼板などが挙げられます。マルテンサイト組織を利用する製品は焼き入れ、さらに必要に応じて焼き戻しを行って製造される部品のため、様々なものがありますが、代表として軸受け部品、変速機に用いられる歯車が挙げられます。

#### ◇ スチールコードの製造方法

STCはタイヤの補強材やシリコンウエハ切断用のソーワイヤなどに用いられ、本章ではタイヤの補強材用STCを例に説明します。まずタイヤ補強用のSTCの化学成分や製造工程について説明しま

す。STCに用いられる鋼材は通常、炭素量が0.8（mass）%程度の低合金高炭素鋼です。一般的な製造プロセスは、当社のような製鋼メーカーで、製鋼－铸造－分塊圧延を経た後に、熱間での線材圧延によって、直径5.5mm程度の線材にします。この線材を二次加工メーカーにおいて、伸線加工で直径1～2mmにした後に、パテンティング処理と呼ばれる熱処理によって、フェライトとセメンタイトの層状（ラメラ）構造から成るパーライト組織にします。この段階での組織を透過型電子顕微鏡（TEM）で撮影した写真を図1に示します。パテンティング処理後のパーライト組織のラメラ間隔は100nm未満と非常に微細なことが分かります。この直径1～2mmの鋼線にプラスめっきを施した後、液体の潤滑剤中で直径0.15～0.35mmまで伸線加工します。この段階で3,000～

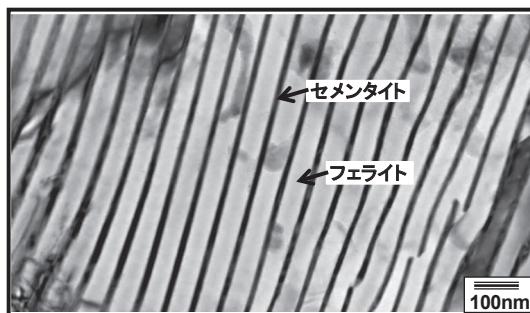


図 1 パテンティング処理した0.9% C鋼の透過型電子顕微鏡写真

4,000MPaという非常に高い引張強さになります。この鋼線を撚り合わせたものを、タイヤの補強材として用います。

### ◇ スチールコードの強化機構

STCの引張強さが4,000MPaにも達する要因について考察していきたいと思えます。要因は大きく分けて2つあり、1つ目は最終伸線前、すなわちパテンティング直後の段階で既にかなり高強度であること、2つ目は最終伸線での加工硬化が非常に大きいことです。図2は伸線加工歪み（真歪み）が引張強さに与える影響を図示したもので<sup>1)</sup>、炭素をほとんど含まないフェライト組織の鋼に較べて、パーライト組織の鋼では初期の強度、およびその後の加工硬化が大きいことがよく分かります。

まずパテンティング後の段階で、引張強さが1,200~1,500MPaもの高強度になる理由を説明します。パテンティング後の組織は硬質相であるセメンタイトを約15%含んでいることに加えて、図1に示したようにパーライト組織のラメラ間隔が小さいことが高強度化に寄与しています。パーライト組織中の板状セメンタイトが結晶粒界と同様の役割を果たすのか（結晶粒微細化強化）、あるいは析出物と同様の役割を果たすのか（粒子分散強化）、について議論がなされてきました。

縦軸に降伏強さ、横軸にラメラ間隔をとって整理する際、結晶粒微細化強化であれば横軸をラメラ間隔の $-1/2$ 乗、粒子分散強化であればラメラ間

隔の $-1$ 乗にすれば、データが直線状にプロットされるはずですが、ところがいずれの整理でも、実験データは直線状にプロットされません。そこで、実験データから、ラメラ間隔が無限大のところへ外挿すると、 $-1/2$ 乗では降伏強さは負の値になり、 $-1$ 乗では正の値になります。ラメラ間隔無限大での降伏強さが負になることは実際にはありえないため、パーライト組織のセメンタイト板は粒子分散強化に寄与し、そのラメラ間隔が小さいために高強度になると考えられています<sup>2)</sup>。

次に最終伸線での加工硬化が非常に大きい理由を説明します。強化機構としては主に2つ組み合わせられていると考えられ、その1つ目は、パーライト組織中のフェライトに導入される転位による強化です。転位による強化量 $\Delta\sigma_d$ はBailey-Hirschの式（1）で見積もることができると言われています<sup>3)</sup>。

$$\Delta\sigma_d = \alpha \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{\rho} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 $\alpha$ ：転位配列によって変化する定数（ここでは0.5）、 $\mu$ ：剛性率（79GPa）、 $b$ ：バーガースベクトル（0.25nm）、 $\rho$ ：転位密度、です。

通常、転位密度は透過型電子顕微鏡による組織観察かX線回折によって測定されますが、伸線したパーライト中のフェライトの転位は、加工度が大きいこと、及びセメンタイトが混在しているため測定が難しく、多くの仮定を用いないと算出できていません。そこで究極の強加工と言えるメカニカルミリングで純鉄を加工した場合の転位密度が $1 \times 10^{16}/\text{m}^2$ であることから<sup>4)</sup>、これを式（1）に代入すると、 $\Delta\sigma_d = 1,000\text{MPa}$ になります。定数 $\alpha$ の取り扱い、および転位密度の仮定という問題点があり、さらに $\Delta\sigma_d$ は引張強さではなく、降伏強さの増加量なので、問題点は多いのですが、単純に伸線前の引張強さに足し合わせると2,200~2,500MPaにしかならず、STCの強度に達しません。

そのため、強化機構として2つ目のものがあると考えられます。まず直径1.5mmから0.20mmまで伸線した試料の透過型電子顕微鏡写真を図3に示します。伸線によってラメラ間隔が小さくなり、図3の場合では約15nmになっていることが分かります。ラメラ間隔と降伏強さ $\sigma$ の関係については、冷間加工を行っていない場合には、式（2）で算

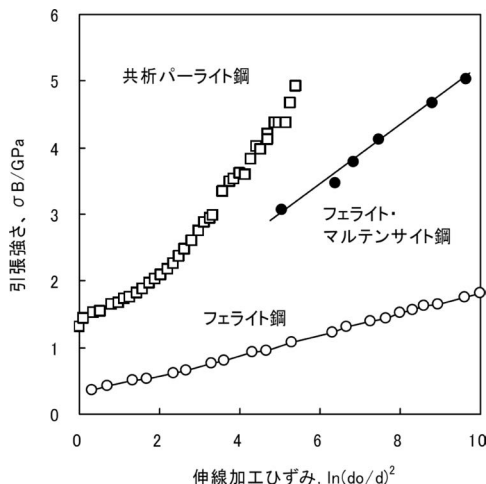


図 2 各鋼の伸線加工ひずみと引張強さの関係<sup>1)</sup>

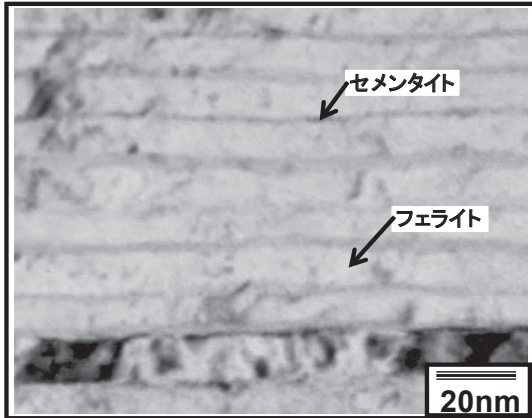


図 3 直径1.5mmから0.20mmまで伸線した0.9%C鋼の透過型電子顕微鏡写真

出できることが知られています。

$$\sigma = \sigma_0 + k \cdot S_0^{-1} \dots \text{式 (2)}$$

ここで、 $\sigma_0$ ：ラメラ間隔が無量大での降伏強さ、 $k$ ：定数、 $S_0$ ：ラメラ間隔、であり、文献5では $\sigma_0 = 14.2 \text{ kgf/mm}^2$ 、 $k = 5 \times 10^{-3} \text{ kgf/mm}$ が示されています。ここで $S_0$ に15nmを代入して計算すると、 $\sigma = 3,300 \text{ MPa}$ になります。STCの引張強さは、降伏強さのおおよそ1.2倍のため、ラメラ間隔から見積もった引張強さは約4,000MPaとなり、実際のSTCの引張強さと同等になります。これを信じれば、転位による強化がなくても、ラメラ間隔の微細化だけで、STCの強化機構が説明できてしまいます。

しかしながら、冷間伸線によるパーライトの組

織変化として、ラメラ間隔の微細化だけでなく、セメンタイト中のC濃度が定比の25 (atomic) %から大きく減少することが知られています。そのため、セメンタイト自体の特性が変化して、不安定化していると予想され、式(2)と文献5の値を使うと、過大評価になってしまう可能性があると思います。またSTCは伸線後の室温時効で引張強さが上昇することも知られており、その原因は転位へのC原子の固着であると考えられることから、転位強化の寄与もあると思われます。

以上のことから、STCの強化機構は定性的にはフェライトの転位強化と微細なラメラ間隔のセメンタイトによる粒子分散強化が足し合わされたものと考えられます。しかし、STCの強化機構については、強冷間伸線による組織変化が複雑なために、まだ統一的な理解は進んでおらず、文献1をはじめ、いくつかの文献で強化機構が提案されています。本章では代表的な考えを、なるべく平易に説明したつもりですが、他に諸説があることにも留意いただきたいと思います。

### 参考文献

- 1) 榎井浩一、樽井敏三、津崎兼彰：鉄鋼の高強度化と信頼性向上、日本鉄鋼協会編、東京、(1997)、3
- 2) 樽井敏三：学位論文 (2010)
- 3) J. E. Bailey and P. B. Hirsch: Phil. Mag. 4 (1960), 567
- 4) 高木節雄：軽金属、56 (2006)、609
- 5) A. R. Marder and B. L. Bramfitt: Met.Trans., 7A (1976), 365



## (2) 粒子分散強化①

株式会社 神戸製鋼所 技術開発本部 村上俊夫

### ◇ 鋼における粒子分散強化の方策

粒子分散強化は析出強化とも呼ばれ、母相の中に第二相粒子を分散させることで転位の移動を阻害し、強度を高める現象である。第二相粒子が十分に強く、転位によりせん断されない場合、降伏応力の強化量 $\Delta\sigma$ は式(1)に示されるように、第二相粒子の体積 $f$ と直径 $d$ に依存して変化する<sup>1)</sup>。

$$\Delta\sigma = (3.2Gb) / \{(0.9f^{-1/2} - 0.8)d\} \quad \text{式(1)}$$

ここで $G$ は鋼の剛性率：約80GPa、 $b$ はバーガースベクトルの長さ：約0.25nmである。

式(1)によると例えば直径が1 $\mu\text{m}$ という鋼の中の第二相としては比較的粗大なもの(例えば球状化焼鈍材のセメンタイト)を体積率1%分散させても強化量は8MPaにしかならない。体積率を10%に高めても強化量は30MPaと大きく変化しない。しかし、第二相のサイズを10nmに微細化すると強化量を約800MPaまで急増させることができる。そのため、粒子分散強化を活用した高強度化を考える際には、第二相の種類や量も大切だが、その第二相を微細に析出させることが重要な制御ポイントとなる。

鋼において活用される第二相として最も一般的なものはセメンタイトである。セメンタイトはFeとCが結びついた炭化物であるため、Cさえ含んでいれば活用でき、かつ、C量を増やせば体積率を高められるため、様々な状態で活用されている。ただし、粗大になりやすいという欠点があり、微細に析出させるためには焼入れ・焼戻しのような微細に析出させるための熱処理が必要となる。次に活用されるのは、炭素と周期表の4族、5族、6族に属する合金元素(Cr、Mo、V、Nb、Ti、W等)の炭化物である。このような炭化物は、体積は合金元素に依存するため量を稼ぎにくい、比較的微細に析出させやすいため、非調質鋼の強化にも活用されている。その他に合金元素同志の金属間化合物(例えば $\text{Ni}_3\text{Mo}$ 、 $\text{Ni}_3\text{Ti}$ )があり、マル

エージング鋼等で活用されているが非常に高価であるため用途が限定される。

これらの第二相を微細に分散させるためには、以下のような工程を経る必要がある。(1)第二相を形成する元素(セメンタイトの場合は炭素、合金炭化物の場合は炭素と相手となる合金元素)を鋼中に固溶させる。(2)第二相が形成される温度域以下に第二相を形成させないままに急冷して過飽和固溶体とする。(3)析出(第二相が過飽和固溶体から形成される現象)の駆動力ができるだけ高く、かつ、第二相を形成する元素が拡散できる範囲でできるだけ低い温度で保持する。つまり、溶かす⇒急冷する⇒析出させる、という手順を踏まないと微細な第二相が得られない。逆に言えば、この各工程を制御することで粒子分散強化量を大きくすることも、小さくすることも可能となる。

粒子分散強化の活用技術の事例として、2007～2011年にかけて取り組まれた『鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発』プロジェクトの中で、熱間鍛造非調質鋼を題材にVC析出物を活用した高強度化ならびに傾斜機能化技術の開発に取り組んだ内容を紹介する。なお、以下においては第二相粒子として析出物を活用しているため、第二相粒子を析出物、粒子分散強化を析出強化として記述する。

### ◇ VC析出強化を活用した高強度・傾斜機能化技術の検討

従来、鍛造部品では形状の確保のための鍛造工程設計とそのプロセスの中で高強度化するための材料設計を用いて、均一な高強度部品の開発が進められていた。一方、部品の小型化を達成するために更なる高強度化が必要になるが、切削性が劣化しコスト上昇につながる。そのため、先述のプロジェクトの中では、1つの熱間鍛造部品の中で高強度の領域と切削が容易な高強度化しない領域を付与する傾斜機能化技術について、粒子分散強

化の活用と結晶粒微細化強化の活用という2つの技術開発が行われた。このうち、粒子分散強化を活用した高強度・傾斜機能化については、部品ごとに取りうるプロセスが変化することを想定し、①加熱温度の傾斜化、②熱間鍛造条件の傾斜化、③冷却・保持条件の傾斜化の3つのアプローチで検討を行った。神戸製鋼所では①および③を用いた高強度・傾斜機能化技術を構築したので、その取組について紹介する。

### 1. VC析出物を活用した強化量制御

熱間鍛造非調質鋼には高強度化のため0.1%程度のVが添加されている。非調質鋼でVが活用されるのは、熱間鍛造時の加熱によりVおよびCを容易に固溶させることができるのと、相界面析出という現象を活用することで熱間鍛造後の冷却中にVC析出物を微細に形成させられるためである。ただ、汎用的な非調質鋼では析出強化により得られる強度はYS600MPa程度までであり、プロジェクトの目標であるYS 1,000MPa（代替指標：ピッカース硬さ 400Hv）を達成するためには析出強化量を高める必要がある。非調質鋼で得られる析出物は既に微細であるため、ここで析出強化量を高めるためには析出物サイズを微細なままに保ちながら体積を増やす必要があるが、一方で単純にV添加量を増やしても強化量が高められていなかった<sup>2)</sup>。

そこで、V添加量増加による熱間鍛造時に起こる組織や析出挙動の変化について検討した。単純な熱間鍛造プロセスを模擬した1100℃加熱-900℃加工-2℃/s冷却では、V添加量を単純に増加させていくと0.3%程度まで強化量が上昇するが1,000MPa

に達せず、0.5%までV添加量を増加させると逆に強度が低下した。この原因はV添加量増加でフェライト・パーライト変態および変態と同時に起こる相界面析出が起これなくなるためである。高V添加において高強度化を実現するには、冷却速度を低下させることでフェライト・パーライト変態を促進すれば良いことが分かった。一方で冷却速度を下げすぎるとフェライト・パーライト変態および相界面析出が高温で起こるため、強度が低下するため、冷却条件に適正な範囲が存在する。

一方、強化量制御については、加熱段階の固溶量制御が非常に有効な手段となる。高V添加鋼の加熱温度を変化させた時の強度変化を調査したところ、1100℃以上に加熱し、冷却速度を適正に制御すれば高強度化したが、900℃以下にすればVおよびCが固溶できず、その後、冷却制御を行っても低強度となった。

図1に示すように、以上の結果から、一つの部品内で高強度と軟質化を実現するには、0.5%程度のV添加鋼で、900℃-1100℃の加熱温度差を付与し、かつ、0.5~1.0℃/sで冷却できる熱間鍛造工程を実現すれば良いことが分かった。

### 2. 高強度・傾斜機能化実現のための鍛造工程設計

ハブ形状部品を対象に高強度化・傾斜機能化の実現を検討した。ハブ形状部品ではフランジと軸部の境界（以下、首下部）の高強度化、軸部の被削性確保が要求される。首下部を含む部品上部は高強度化するため1100℃以上の加熱でVを固溶させ、軸部を中心とした部品下部は低強度化するた

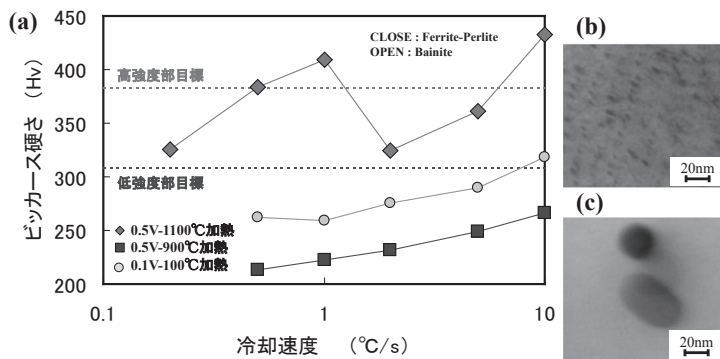


図 1 V添加鋼の硬さに及ぼす加熱温度および冷却速度の影響と、(b) 0.5V鋼-1100℃加熱-1℃/s冷却材、(c) 0.5V鋼-900℃加熱-1℃/s冷却材中のVC析出物のTEM組織写真

めに1000℃以下に加熱して粗大VCに残存させる必要がある。加熱温度分布を実現するため、被加工材を高周波加熱で1000℃以下に均一加熱した後、昇降台で下降させ、上部を1100℃以上に加熱する方法を用いた(図2)。

この方法で傾斜加熱した材料を前方押出鍛造した際に、首下部に高温加熱領域が位置するようにするための部品形状についてFEM解析で検討し、鍛造工程を設定した。また、鍛造後の冷却は高強度が必要、かつ、冷却されにくい首下部を適正な冷却速度に制御するため、冷却ガスを首下部に吹きつけられる様にノズルを配置し、ガス流量により冷却速度を制御できるようにした。

プロトタイプ部品の硬さに対するコイル高さ、冷却風量の影響について検討したところ、コイル高さが低いほど首下部硬さが低下した。これはコイル高さ低下で鍛造後に首下部に来る領域の加熱温度が高くなり、固溶V量が増加してVC相界面析出による析出強化量が増えるためである。また、

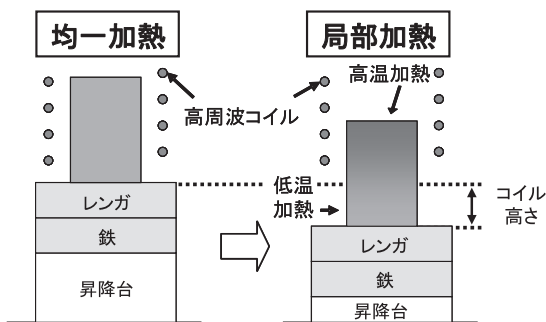


図 2 傾斜加熱を実現するための局部加熱方法

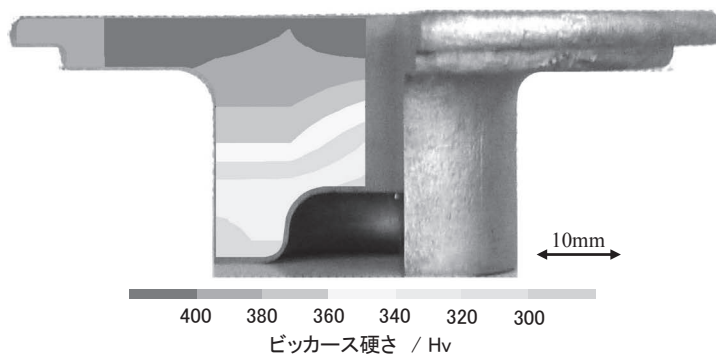


図 3 ハブ形状プロトタイプ部品の断面の硬さ分布

冷却風量増加により首下部強度が向上した。これは、ハブ形状部品の首下部では冷却速度が当初の想定より低く、放冷では冷却速度が低くて強度が得られないが、冷却風量の増加により変態温度を低下させてVC相界面析出が微細化したためである。最適条件で作製したプロトタイプ部品の断面の硬さ測定結果を図3に示す。首下部で約400Hv、軸部で約300Hvの高強度化・傾斜機能化を実現できた。

## むすび

粒子分散強化は、成分設計、加工・熱処理の工程により、大幅に強化量を変化させることができる強化機構であり、本プロジェクトで狙いとした一つの部品内で超高強度化と軟質化を同時に実現するのに有効な手段である。今後、自動車部品・材料に対する要求が高まる中、更なる粒子分散強化制御技術の高度化が期待される。

## 謝 辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの助成事業により実施する「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発研究体」の研究成果であることを記し、謝辞を表す。

## 参考文献

- 1) T. Takaki : Fundamentals and Applications of Precipitation in Steels, The Iron and Steel Institute of Japan, (2001), p. 69
- 2) S.A. Parsons, and D.V. Edmonds : Materials Science and Technology, 3 (1987), p. 894

## (2) 粒子分散強化②

### 耐熱鋼の析出強化

(独)物質・材料研究機構 阿部 富士雄  
材料信頼性評価ユニット 特命研究員

#### ◇ 耐熱鋼高強度化のニーズ

石炭火力発電プラントでは、発電効率向上を目指して蒸気の高圧化が日米欧で進められてきたが、高温で長期間使用される耐熱鋼の高強度化が鍵を握っている<sup>1)</sup>。発電効率向上はCO<sub>2</sub>排出削減に寄与する。日本では1960年代から1980年代にかけて長い間、蒸気温度566°C、圧力24.1MPaの超臨界圧プラントが主流であったが、世界に先駆けて1990年代に蒸気温度593°Cの超々臨界圧 (Ultra-supercritical, USC) プラントが実現した。これは、それまで用いられていたフェライト系耐熱鋼の2.25Cr-1Mo鋼等に代わって、1970年代後半に米国で開発された高強度の改良9Cr-1Mo鋼 (9Cr-1Mo-0.2V-0.05Nb, ASME T/P91) を主蒸気管に適用したことによる。600°C級プラントでは耐酸化性も要求されるため、フェライト系耐熱鋼の中でもCr濃度の高い9~12Cr鋼が用いられている。その後、クリープ強度向上の観点からMoを減じWを高めた9CrのASME T/P92 (9Cr-0.5Mo-1.8W-VNb) や11CrのASME P122 (11Cr-0.4Mo-2W-CuVNb) が620~630°C級材料として1990年代前半に我が国で開発された。上述の9~12Cr鋼は高強度フェライト鋼 (Creep-Strength-Enhanced-Ferritic steels, CSEF steels) 鋼と呼ばれている。現状プラントの最高蒸気温度は610~620°Cであるが、より高強度の材料が開発されれば蒸気をさらに高温化できる。

一方、経済産業省が策定した「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(2008年3月)を受けて、蒸気温度700°Cの先進超々臨界圧 (Advanced-USC, A-USC) 発電プラント用の高温材料開発および溶接・加工等の製造技術開発が現在進められているが、最高温部は高温強度に優れるNi基合金

が使用される<sup>2)</sup>。高強度耐熱鋼が開発されれば、より高温まで耐熱鋼を使用でき、高価なNi基合金の使用量を減らせる。

#### ◇ 高温クリープ強度と析出強化

室温では全く塑性変形しない低い応力でも、高温では時間とともに変形が徐々に進行する。これをクリープと呼ぶ。クリープは、応力下で拡散の助けをかりて転位が結晶中を移動するか応力下の拡散によって進行するので、絶対温度で表した融点の約1/2 (鉄鋼材料では、約450°C) 以上の温度で顕著となる。石炭火力発電プラントは、通常、高温で数十年間の長期間使用されるので、クリープによる変形-損傷-破断は重要である。

実用耐熱鋼は、通常、固溶強化、析出強化、転位強化、粒界強化が複合して働くように合金設計されている<sup>3)</sup>。固溶強化は高温でも長時間安定して働くが、大きな強化は望めない。転位強化は転位密度の平方根に比例し、常温では鉄鋼の重要な強化法であるが、転位密度が高いと高温では回復・再結晶の駆動力が高く軟化を促進する。析出物が転位上に分布すると転位回復を抑制する。析出強化は、転位が材料中に分散する析出物粒子の間を抜けていくのに余分の応力を必要とすることに起因し、平均粒子間隔の逆数に比例する。高温使用中に析出物が凝集粗大化して粒子間隔が大きくなると析出強化は低減する。粒界は、常温では転位の障害物として働くが、高温では粒界拡散によって転位や組織の回復が促進される軟化領域となる (粒界弱化)。粒界に析出物が分布し回復を抑制すると、転位の障害物となる (粒界析出強化)。

#### ◇ 実用耐熱鋼の組織

フェライト系耐熱鋼のうち 最近開発された高

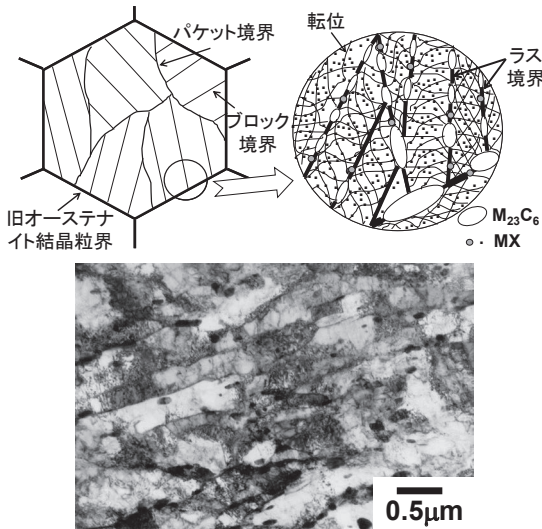


図 1 9～12Cr鋼の焼戻マルテンサイト組織の模式図および改良9Cr-1Mo鋼の焼戻後のTEM組織

強度9-12Cr鋼は、焼きならし-焼戻熱処理によって、転位密度の高いラス、ブロック組織に微細な $M_{23}C_6$ 炭化物（Mは金属元素で主成分はCr）とMX炭窒化物（Mの主成分はVとNb、Xは炭素と窒素）が分散した析出強化度の高い組織に調質されている。この組織を模式的に図1に示すが、焼戻マルテンサイト組織と呼ばれている。粒界析出物は主として $M_{23}C_6$ 炭化物である。Cr濃度が高く（12Cr）焼戻温度が低いと、焼戻中にCrに富む $M_2X$ 型炭窒化物も析出する。高温使用中に、転位の回復や、 $Fe_2$ （Mo、W）ラーベス相の粒界への析出と粗大化、微細な $M_{23}C_6$ やMX、 $M_2X$ の粗大化や熱力学的により安定で粗大な $M_6X$ やZ相等への変化が進行すると、析出物による転位、ラス境界、ブロック境界、旧オーステナイト粒界のピン止め力が低下し、クリープ強度が劣化する。Z相は、Cr-Nb-Vの複合窒化物で、析出開始までの潜伏期が長いが、一旦析出すると粗大化し易い。Cr濃度が高い場合やNi添加鋼では、Z相の析出が促進される<sup>4)</sup>。

オーステナイト系耐熱鋼は、通常、1100°C近傍に加熱して急冷する固溶処理を行ってから使用されるため、始めは固溶組織である。高温使用中に、合金成分に応じて炭窒化物（ $M_{23}C_6$ 、MX）、金属間化合物の $Fe_2$ （Mo、W）ラーベス相、 $\chi$ 相、 $\sigma$ 相、金属相（Cu）が析出する<sup>5)~7)</sup>。粒界析出物は、

短時間では主として $M_{23}C_6$ 炭化物であるが、数万時間以上になると合金によっては $\sigma$ 相も析出する。

#### ◇ 低応力長時間クリープの特徴と析出強化

析出強化合金を常温近傍で引張試験して測定される耐力は、転位が材料中に分散する析出物粒子の間を抜けていくのに必要な応力を表し、析出強化は材料中の平均粒子間隔に依存する。クリープにおける析出強化はクリープ変形挙動と密接に関係し、高応力と低応力では異なることが最近わかってきた<sup>1)、3)、8)</sup>。

高応力短時間クリープ試験では、変形が試験片全体にわたってほぼ均一に進行し、析出強化は材料中の平均粒子間隔、実質的には粒内の平均粒子間隔に依存する。前述の9-12Cr鋼では、MX炭窒化物が母相中に微細に分布するので、析出強化が非常に大きい。応力が低いと、粒内の析出強化の大きい領域では転位が粒子間を抜けていくことができず、変形は粒界近傍の析出強化の小さい領域で局部的に進行するようになる。粒界及びその近傍では、クリープ中に粒界拡散によって転位の回復や析出物の凝集粗大化が促進され易い。実機のような低応力長時間クリープ試験条件では、クリープ中に弱化領域が粒界近傍で形成され、変形は弱化領域で優先的に進行し、弱化領域は徐々に粒内に拡大していき変形が加速されていくと考えている研究者が多い。この場合、粒界およびその近傍の粒子間隔がクリープ変形・強度に重要である。粒界に析出物が微細に分布する場合でも、局部的に粒子間隔の大きい部分があるとそこから弱体化が拡大すること、クリープ強度向上には均一な析出物分布が求められることが $Fe_2Nb$ ラーベス相で粒界析出強化した20Cr-30Ni-2Nb（at %）オーステナイト鋼で報告されている<sup>8)</sup>。高温で長期間使用される耐熱鋼のクリープ強度向上は、粒界の析出物設計にかかっている。

#### ◇ 実用耐熱鋼の粒界組織と高強度化

##### 1. フェライト系耐熱鋼

図2に、改良9Cr-1Mo鋼チューブ材T91を600°Cで1万時間を超える低応力長時間クリープ破断試験した後の微細組織を示す。粒内の大部分で熱処理後の微細な焼戻マルテンサイト組織が保たれて

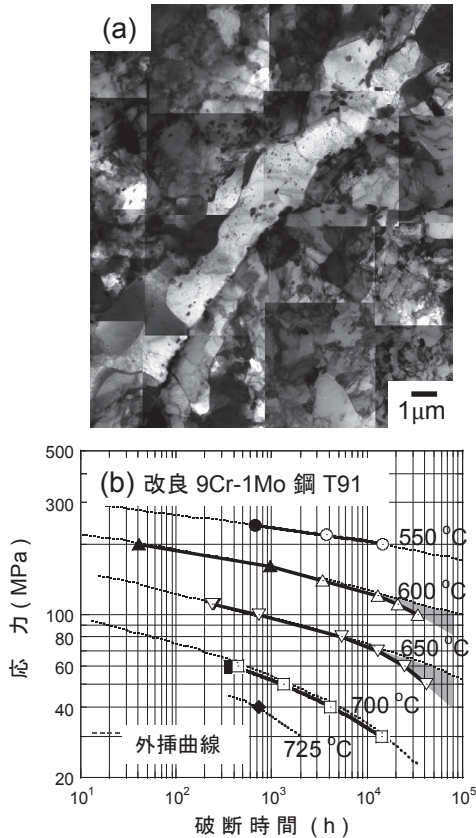


図 2 改良9Cr-1Mo鋼T91の (a) 長時間クリープ試験後の微細組織 (600°C、100MPa、 $t_r=34,141h$ )、(b) クリープ破断データ

いるが、旧オーステナイト粒界に沿って組織が著しく回復した領域 (右上から左下にかけての白っぽい領域) が生じ、クリープ強度は急激に低下する<sup>9)</sup>。粒界近傍での優先回復は、600~650°Cで特に顕著である。粒界近傍で優先的に組織回復が進行する原因としては、Z相がクリープ試験中に粒界近傍で優先的に析出し、これに伴い析出強化相である微細なMX炭窒化物がZ相の周囲で再固溶し消失することが挙げられている<sup>10)</sup>。図2の結果は、粒内の強化組織は長時間にわたって維持されていること、さらに高強度化・長寿命化するには粒界およびその近傍の組織の改善が必要であることを示唆している。

粒界に偏析し易いボロンを100ppm程度添加した9Cr鋼では、旧オーステナイト粒界およびその近傍の $M_{23}C_6$ 炭化物の凝集粗大化が抑制され、微細な $M_{23}C_6$ 炭化物によるピン止めが長時間まで働くの

で、粒界近傍の優先的な組織回復が抑制され、長時間クリープ強度が向上する<sup>11)</sup>。ボロンによる効果と窒素添加によるMX (主として、バナジウム窒化物VN) 析出強化の両方を活用したMARBN (9Cr-3W-3Co-VNb鋼、ボロン120~150ppm、窒素60~90ppm) は、図3に示すように、従来鋼のASME P92に比べて母材が高強度化した上に、溶接継手の劣化も抑制される<sup>12)</sup>。MARBNは、A-USCプロジェクトで650°C級候補材の一つに挙げられている<sup>2)</sup>。ボロンの効果と窒素の効果を併用する場合は、ボロン窒化物BNの生成に注意を要する。ボロンは強力な窒化物形成元素なので、ボロンや窒素を過剰に添加すると、高温での加工中や熱処理中に粗大なBNが生成する。BNが生成すると、固溶ボロンや固溶窒素を消費するので、上述したボロンの効果やVNによる析出強化が低減し、クリープ破断延性もBNによって劣化する。

## 2. オーステナイト系耐熱鋼

粒界析出強化により高強度化を達成したオーステナイト系耐熱鋼の例を図4に示す<sup>6)、13)、14)</sup>。(5~7)%Wあるいは(4~5)%Moを添加した23Cr-43Ni系鋼を長時間加熱した後の粒界近傍組織を模式的に示すが、Mo添加鋼では粒界にCr-Ni-Mo型の粗大な $\sigma$ 相が、粒内には粗大な $Fe_2Mo$ ラーベス相が析出するのに対し、W添加鋼では析出物分布が微細均一で、長時間クリープ試験においても $\sigma$ 相のような有害相は出現せず、粒界には $M_{23}C_6$ 炭化物、粒内には $Fe_2W$ ラーベス相が微細に析出する。Mo添加からW添加に変えると、粒界近傍組織の違

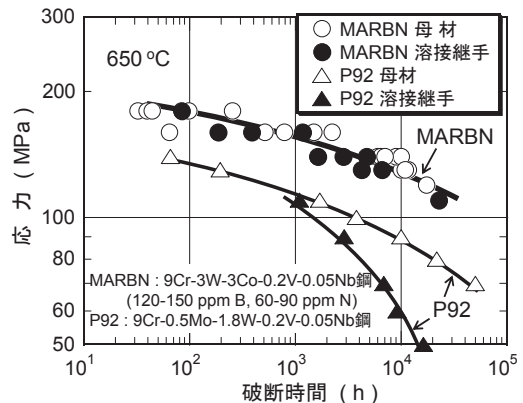


図 3 MARBNおよびP92のクリープ破断データ (650°C)

いを反映して長時間クリープ強度が向上する。粒内に微細析出するNb、TiのMX炭窒化物の析出強化も高強度化に寄与する。W添加鋼の成分を最適化したHR6W (Ni-23Cr-22Fe-7W) は、元々ボイラチューブ用オーステナイト鋼として開発されたが、高温クリープ強度が高い上に、従来のNi基合金に比べて加工性やクリープ-疲労特性に優れるので、現在はA-USCの700°C級主蒸気管の候補材の一つに挙げられている<sup>2)</sup>。HR6WはNi濃度がFeのそれより高いため、現在はNi基合金に分類されている。

金属相による析出強化を利用した例としては、3%Cuを添加した18Cr系の火SUS304J1HTB鋼 (18Cr-9Ni-3Cu-NbN)<sup>15)</sup> や火SUS321J2HTB鋼 (18Cr-10Ni-3Cu-Ti-Nb)<sup>16)</sup> がある。M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>炭化物やNb、Ti、Crの炭窒化物に加えて、数十nmの微細なCu相による析出強化によって高強度化され、USCボイラチューブ材として広く普及している。Cu相による析出強化は高Cr-高Niの火SUS310J3TB (23Cr-

18.5Ni-WCuNbN) や Sanicro25 (22Cr-25Ni-WCu-CoNbN) でも利用されている。

熱処理プロセスの改善によって析出強化と水蒸気中耐酸化性を向上させたASME TP347HFG鋼 (18Cr-9/12Ni-Nb) の例を図5に示す<sup>6), 7)</sup>。この鋼では、冷間加工前の熱処理を従来鋼のASME TP347H鋼 (18Cr-12Ni-Nb) よりも高い温度で行い、NbC炭化物を母相中に完全に固溶させる。次に、冷間加工後の固溶化熱処理中に再結晶と微細NbC炭化物の析出が同時に進行するが、微細に析出したNbC炭化物が結晶粒界をピン止めするため、結晶粒の粗大化が抑制される。その結果、結晶粒が微細 (結晶粒度番号 No. 8) でしかも非常に微細なNbC炭化物が高密度に析出した組織が得られ、NbC炭化物の量 (体積率) は同じでも析出強化は増大する。結晶粒微細化は水蒸気中耐酸化性を向上させる。M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>炭化物は高温使用中に主として結晶粒界に析出する。

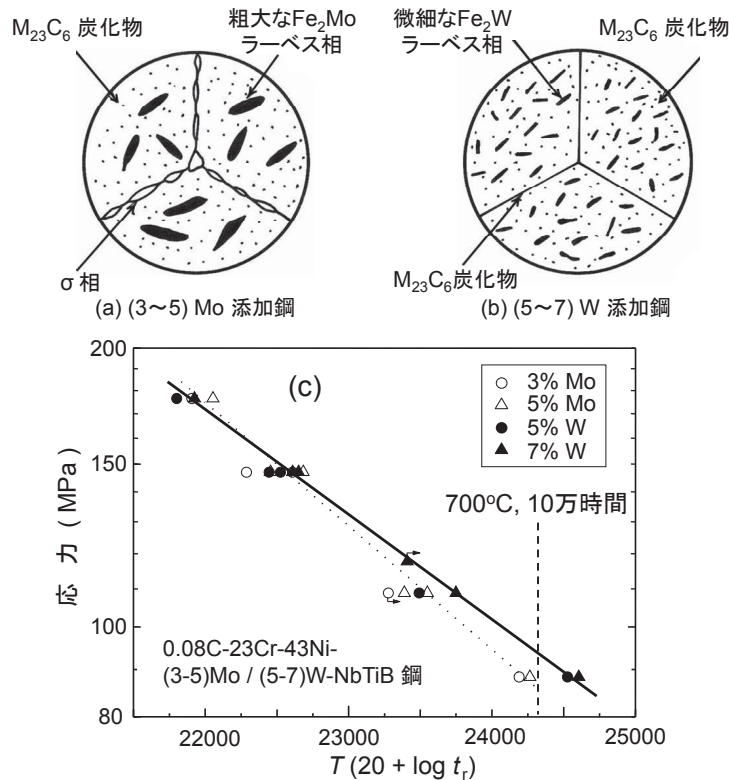


図 4 (a) Moあるいは (b) Wを添加した0.08C-23Cr-43Ni-0.2Nb-0.1Ti-0.003B鋼の粒界近傍組織、(c) 応力とラルソン-ミラーパラメータ  $T(20 + \log t_r)$  の関係。Tは温度 (K)、 $t_r$ はクリープ破断時間

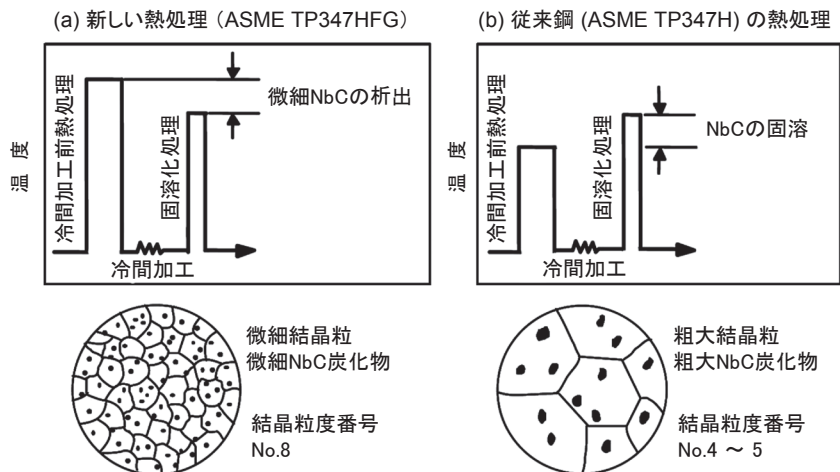


図 5 (a) 微細結晶粒で微細NbC炭化物が析出するASME TP347HFG鋼の新しい熱処理プロセスと (b) 従来鋼 (ASME TP347H) の熱処理プロセス、および、熱処理後の組織

## むすび

高強度耐熱鋼が開発されるたびに発電プラントの蒸気温度が上昇し発電効率向上に寄与してきたが、我が国は耐熱鋼の研究開発で20年以上にわたり欧米をリードしてきた。今後もこの分野での国際貢献が期待されている。

## 参考文献

- 1) 阿部富士雄：ふえらむ、11 (2006)、No. 4、197.
- 2) 福田雅文：特殊鋼、60 (2011)、No. 6、8.
- 3) 阿部富士雄：西山記念技術講座、日本鉄鋼協会、(2008)、25.
- 4) K. Sawada, H. Kushima, K. Kimura and M. Tabuchi: ISIJ International, 47 (2007), No. 5, 733.
- 5) 南 雄介：西山記念技術講座、日本鉄鋼協会、(1992)、153.
- 6) M. Igarashi: in "Creep-resistant steels", eds. by F. Abe, T.-U. Kern and R. Viswanathan. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England. (2008), 539.
- 7) 伊勢田敦朗：ふえらむ、18 (2013)、No. 12、712.
- 8) I. Tarigan, N. Takata and M. Takeyama: Proc. of 12th Intern. Conf. on Creep & Fracture of Eng. Mater. & Structures, May 27-31, 2012, Kyoto, Japan (2012), CD-ROM.
- 9) 九島秀昭、木村一弘、阿部富士雄：鉄と鋼、85 (1999) No. 11、841.
- 10) 鈴木健太、熊井真次、九島秀昭、木村一弘、阿部富士雄：鉄と鋼、89 (2003)、No. 6、691.
- 11) T. Horiuchi, N. Igarashi and F. Abe: ISIJ Intern., 42 (2002), Supplement, S67.
- 12) 阿部富士雄：ふえらむ、17 (2012)、No. 8、560.
- 13) 仙波潤之、五十嵐正晃、山寺芳美、伊勢田敦朗、榎木義淳：耐熱金属材料123委員会研究報告、44 (2003)、No. 2、119.
- 14) H. Okada, T. Hamaguchi, H. Hirata, M. Yoshizawa: Proc. 40<sup>th</sup> MPA Seminar, October 6-7, 2014, Stuttgart, Germany (2014), 137.
- 15) 仙波潤之、榎木義淳、小川和博、名取 敦、菅 孝雄：まてりあ、41 (2002)、No. 2、120.
- 16) 遠山 晃、南 雄介、尾山元昭：火力原子力発電、49 (1998)、No. 1、83.



### (3) 結晶粒微細化を活用した高性能厚鋼板

JFE スチール(株) 西村 公宏  
厚板セクター部

#### まえがき

鉄鋼材料の高強度化手法としては、固溶強化、転位強化、粒子分散強化、結晶粒微細化強化がある。それぞれの強化方法には特徴があり、様々な分野で製造プロセスも考慮した上で、最も適した強化手法による高強度鋼が製造されている。一方で、鉄鋼材料には強度以外にも要求される特性がある。複合したある要求特性を満たすためには不利な強化手法があり、この有利不利からも最適な強化手法は選択される。

厚鋼板の分野でもこれら強化手法を適用して高強度鋼が開発・実用化されているが、その中でも結晶粒微細化強化は最も重要な手法である。溶接構造物に用いられる厚鋼板は、高強度と同時に溶接性と靱性が求められる。前述した高強度化手法の中で、高強度化と溶接性、靱性が両立する最も適した手法は、原理的に結晶粒微細化強化だけと言える。溶接性のひとつに溶接部の耐低温割れ性があるが、固溶強化のために添加される合金元素は溶接熱影響部の硬化を招き低温割れを助長する。また、靱性確保の観点からは粒子分散強化は不利である。

厚板製造プロセスは熱間圧延によってスラブから所望の板厚と形状を得ることが主目的であるが、1970年代以降、圧延とその後の加速冷却による材質向上技術、いわゆるTMCP (Thermomechanical control process) が発展した。TMCPの強化原理は結晶粒微細化である。図1にTMCPの概念図を示す。まず、圧延をオーステナイト域の低温側で制御して行なう制御圧延 (Controlled Rolling) を行ない、オーステナイト結晶粒を微細化し、さらに引き続き進行するフェライト変態の核生成サイトの密度を増加させる。制御圧延後、加速冷却を適用すると、空冷の場合と比較して変態の生じる温度が低温側に移行する (図1中の矢印参照)。変態の駆動力が大きくなる一方で、原子の拡散速

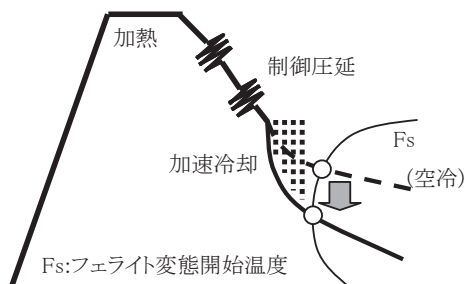


図 1 TMCPの熱加工履歴の模式図

度が小さくなるので、より均一かつ微細にフェライトが生成し、結晶粒微細化が達成される。

TMCPは高強度と靱性と溶接性を兼ね備えた、高機能厚鋼板を製造する効率的なプロセスとして、現在の溶接構造用鋼の製造には不可欠なプロセスとなっている。TMCP鋼は、船舶、建築、エネルギー生産・輸送等のあらゆる分野の溶接構造物の経済設計、施工の効率化に大きく寄与している。

本稿では、厚鋼板の分野で結晶粒微細化強化を最大限に活用して開発・実用化された造船用高強度高アレスト性鋼板について紹介する。

#### ◇ 造船用鋼材の要求性能と近年のニーズ

船体構造用鋼には高強度と溶接性が求められるため、TMCP鋼が積極的に使用される。また、応力のかかる船体の中央部では安全性要求から高靱性材料が配置される。船舶の中でもコンテナ船は、コンテナを積み込むために船殻構造の上部に大きな開口部を有する。このため、上部構造部材である両舷の強力甲板やハッチコーミングに高強度・厚肉材が用いられる。近年、海上輸送量の増大を背景としてコンテナ船の大型化が進み、積載量10,000TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) 越えの大型コンテナ船が建造されるようになってきた。それに伴い、強力甲板に仕様される厚鋼板の厚手化が進み、従来の板厚範囲を超える板厚70mm以上のYP390N/mm<sup>2</sup>級鋼 (以下、YP390鋼) が採用

された。一方で鋼材の厚肉化は船体重量の増加による燃費の低下、建造時の効率低下を招く。高強度化により板厚は薄くすることが可能であり、この問題は解決できるため、従来より高強度の鋼材が求められた。その結果、TMCPを活用したYP460N/mm<sup>2</sup>級鋼（以下、YP460鋼）が開発・実用化された<sup>1)</sup>。

高強度化とともに安全性確保のための靱性要求も高まった。靱性とは材料のぜい性破壊に対する抵抗のことであるが、船体構造には二重の安全性が必要であり、靱性要求が異なってくる。まず、第一にぜい性破壊の発生を防止することが要求される。これは母材および溶接継手部のシャルピー靱性要求によって規定される。二重安全性とは、万が一ぜい性破壊が発生してぜい性亀裂が進展しても適切に配置されたぜい性亀裂伝播停止性能に優れた厚鋼板により亀裂を停止（アレスト）させて、大規模破壊を防ぐという概念である。ぜい性亀裂伝播停止性能をアレスト性能と呼ぶが、高アレスト性能を達成するためには、これまでの厚鋼板よりも格段に靱性レベルを向上させる必要がある。アレスト性能は、鋼板に実際にぜい性亀裂を発生させ停止させる試験によって求められるぜい性亀裂伝播停止靱性値（Kca値）で評価される。船体の設計温度である-10℃で6,000N/mm<sup>1.5</sup>以上という高い要求が課せられている。

### ◇ 降伏強度460N/mm<sup>2</sup>級極厚高アレスト性鋼板

大型コンテナ船用に開発された、アレスト性能に優れた極厚YP460鋼の材質設計コンセプトと特性について述べる<sup>2)</sup>。造船用鋼材に基本的に求められるのは、良好な溶接性である。従来YP390鋼に比較して合金成分の添加量は多くならざるを得ないが、その量は最小限にとどめ、TMCPを駆使して高強度化を図った。化学成分を表1に示す。溶接性の指標である、溶接割れ感受性指数P<sub>CM</sub>は0.19と低い成分設計を採用している。制限された化学成分での高強度化のため制御圧延と制御冷却を適用し、結晶粒微細化強化を活用している。

アレスト性能の向上に対しても結晶粒微細化が主たる原理となるが、本開発鋼では、厚板分野ではこれまで積極的に活用されてこなかった集合組織に着目して、アレスト性能のさらなる向上を図っている。図2にその原理を模式的に示す。結晶粒界はぜい性亀裂進展の障害となるため、進展抑制には結晶粒微細化が有効である。また、亀裂はbcc構造（鉄の結晶構造）において（100）面のへき開破壊の連続によって進展するが、（100）面が応力軸に対してより傾いた方位に結晶方位を制御すればへき開破壊は生じにくく亀裂の進展抵抗となる。厚鋼板は多結晶体であるが、その方位を

表 1 YP460鋼の化学組成 (wt%)

板厚(mm)	C	Si	Mn	P	S	その他	Ceq	PCM
85	0.06	0.15	1.89	0.006	0.002	Cu、Ni、Cr、Nb、Ti	0.46	0.19

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$$

$$P_{CM} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + V/10 + Ni/60$$

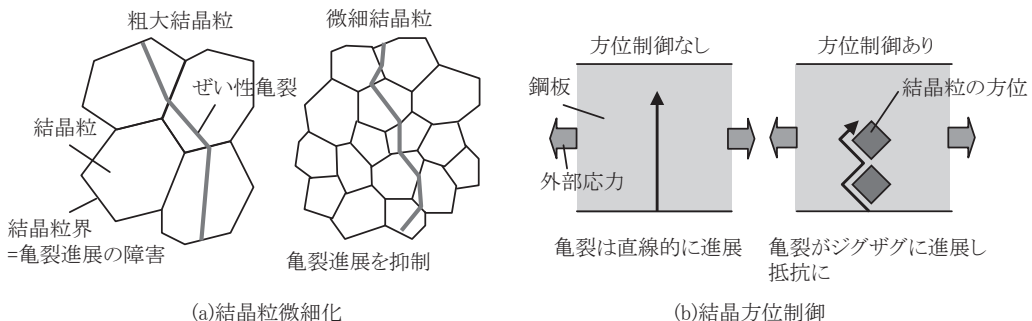


図 2 アレスト性能向上手法の模式図

ある方向に揃う様に制御する結晶方位制御もアレスト性向上に有効である。また、(100)面や(211)面の集合組織を発達させた鋼板では、脆性き裂伝播部の破面にへき開面に沿って多数のサブクラックが形成され、これによりアレスト性能が向上することが知られており<sup>3)</sup>、この原理も活用した。

開発された板厚85mmのYP460鋼の機械的特性を表2に示す。鋼板の1/4t部、1/2t部の引張試験結果とシャルピー衝撃試験結果は、いずれもYP460鋼のスペックを満足する特性が得られている。また、-40℃でのシャルピー吸収エネルギーは300J以上であり、E級鋼の規格を十分に満足している。開発鋼のぜい性亀裂伝播停止靱性はKca = 9,600N/mm<sup>1.5</sup>という非常に高いKca値が得られた。YP460級鋼の板厚1/4t部のマイクロ組織を、(a)普通鋼(空冷材)、(b)YP390鋼(TMCP適用)と比較して図3に示す。普通鋼に比べて、TMCPを

適用した厚鋼板のマイクロ組織は著しく微細化していることがわかる。

## むすび

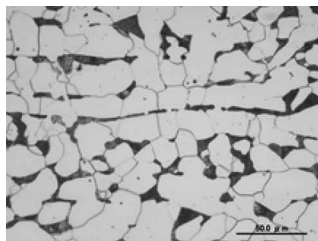
TMCP技術により様々な高性能厚鋼板が開発・実用化されているが、その基本原理は結晶粒微細化である。今後も合金設計と制御圧延プロセス、加速冷却プロセスの高度化・高精度化の組み合わせにより、社会的ニーズに対応した新しい厚鋼板が開発されるものと期待される。

## 参考文献

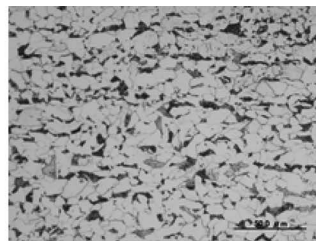
- 1) 廣田一博、中川隆、武田信玄、橋吉美、多田益男：三菱重工技報、Vol. 44、No. 3 (2007)、p. 28
- 2) 長谷和邦、半田恒久、衛藤太紀：JFE技報、No. 33 (2013)、p. 13
- 3) 半田恒久、田川哲哉、南二三吉：鉄と鋼、Vol. 98 (2012)、No. 1、p. 32

表 2 YP460鋼の機械的特性

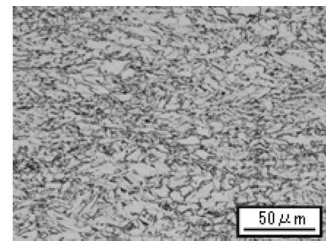
板厚 (mm)	採取位置	引張特性				シャルピー衝撃特性			ぜい性亀裂伝播停止靱性値 (N/mm <sup>1.5</sup> ) (試験温度 -10℃)
		方向	耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	方向	試験温度 (℃)	シャルピー吸収エネルギー (J)	
85	1/4t	C	486	587	26	L	-40	344	9600
	1/2t	C	477	586	21	L	-40	344	
YP460規格値		C	≥460	570-720	≥17	L	-40	≥64	(≥6000)



(a)普通鋼



(b)YP390 鋼(TMCP)



(c)YP460 鋼(TMCP)

図 3 ミクロ組織の比較

# IV. 高強度化を支える技術

## 1. 鋼材製造プロセス

山陽特殊製鋼(株) 小 林 一 博  
研究・開発センター

### まえがき

特殊鋼は鉄鋼材料の中の機能材料としても位置づけられ、客先における使用環境が厳しく、また主要ユーザーである自動車業界他の要求水準が高いこともあり、国内の特殊鋼メーカーは半世紀に亘り世界をリードする製造技術を確立しており、なお進歩を続けている。高強度化も自動車部品の小型、軽量化の動きの中で重要な開発アイテムとして捉えられて来ている。ここでは、高強度材料を提供する上での製造プロセスに関する取り組み状況について紹介する。

高強度化は、特殊鋼の範疇に規定される高抗張力鋼（いわゆるハイテン）や高炭素鋼線（ピアノ線）では特に重要なテーマであり、形状的に板が主体のステンレス鋼等でも同様であるが、ここでは特殊鋼鋼材の主要分野である棒線を主体とした強度（硬度）レベルの特に高い軸受鋼やばね鋼、工具鋼、機械構造用鋼等の鋼材の製造プロセスについて述べることにする<sup>1)</sup>。

### ◇ 特殊鋼鋼材製造プロセスの概要と特徴

特殊鋼は高炉－転炉法で7割、電気炉溶解法で3割の溶鋼が製造され、以降、取鋼精錬炉→脱ガス炉を経て連続鋳造や造塊工程で固められ、分塊・圧延機にて必要な形状に成形され、必要に応じて焼きなまし等の熱処理や引き抜き等の二次加工を施され、最終検査を経て客先へ出荷される。鋼材メーカーから出荷された鋼材は、一般に加工メーカーにおいて鍛造や切削加工等により機械部品に加工され、部品熱処理、最終仕上げ加工を経て、機械に組み込まれ使用される。普通鋼に比べて最終的に使用されるまでの足が長いのが特殊鋼の特徴の一つでもある。

特殊鋼の多くは上記のように一般に普通鋼と違ってユーザーサイドにおいて部品熱処理等の再加熱を受けて使用に供されることが多いため、鋼材メーカーで作りこみの段階で付与された高強度の状態で使用される例は、直接切削用非調質鋼やばね鋼、ボルト用材などの場合を除き多くない。しかし、部品が高強度材として用いられる場合、鋼材にも高い信頼性が求められるために、特に入念な材料の作り込みが行われている。以下、その概要を述べる。

### ◇ 特殊鋼部品の高強度化・長寿命化を支える鋼材製造プロセス技術

#### 1. 介在物制御技術

部品を高強度化させる場合、炭素を主体とした固溶強化、マルテンサイト強化、微細析出物の析出強化、転位強化等のメカニズムを活用して硬さを上昇させるが、軸受鋼、ばね鋼、工具鋼、機械構造用鋼（表面硬化用鋼）などの高強度（硬度）鋼では、部品の硬さが400HVを超えると疲労強度、疲労寿命は逆に低下する傾向を示す。この一因として鋼材内部に不可避的に存在する非金属介在物が疲労破壊の起点となり、疲労強度を低下させることが判っており、中でも特に酸化物系介在物が有害とされている。

酸化物系介在物の影響を低減させるためには、一つは鋼中に含まれる酸化物系介在物の量を低減させる、いわゆる高纯净度低酸素操業の実施による方法があり<sup>2)</sup>、もう一つはばね鋼や高炭素鋼線材等でのSi脱酸等による可塑性酸化物化による介在物無害化組成制御による方法とがある<sup>3)</sup>。

後者の可塑性酸化物組成制御による方法は、低融点介在物組成に制御した上でさらに引抜き加工等の強加工をすることにより、可塑性の酸化物が

加工方向に延伸、分断され、応力集中をし難くして介在物の無害化を図るもので、鋼材の冷間での強加工が前提となっている技術であり、用途的には限定される。

一般的な前者の高精浄度低酸素操業方法であるAI脱酸鋼では、製鋼の溶解から精錬、脱ガス、凝固の各プロセスにおいて酸素量低減のために図1に示すような方法がとられ、溶鋼中の酸素の低減ならびに外部酸素源からの汚染を防止して鋼中の酸素量の低減を図っている。図2に当社実績による軸受鋼及び肌焼鋼における酸素量の推移を示す。

図2に示すように過去製鋼技術の著しい進歩により酸素量すなわち酸化物系介在物の著しい低減が図られてきた。なお、近年、図にも示されているように低酸素化も限界に近いレベルにまで改善しており、操業のポイントは特性に対して有害な偶発的に発生する傾向の高い大型の酸化物系介在物を低減させる方向に進んでいる。この場合、介在物の評価技術が重要な技術要素となっており、図3に示すように大被検体積（面積）を確保できる超音波探傷法を活用した方法により介在物評価が行われるようになってきている<sup>4)</sup>。

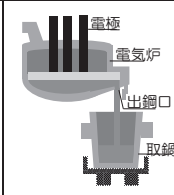
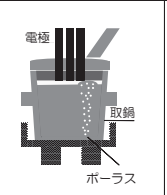
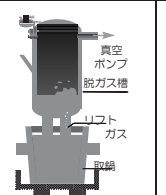
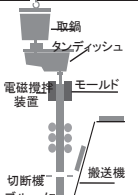
	電気炉	炉外精錬炉	脱ガス炉	連続铸造
工程図				
プロセスの役割	スクラップ溶解 成分粗調整 酸化精錬	還元精錬 (脱硫、脱酸素) 成分調整 温度調整	脱ガス(H,N) 介在物浮上 成分微調整	断気铸造 介在物浮上 偏析軽減 内外面疵軽減
酸化物の起源	鋼中酸素 スラグ巻込み 取鍋耐火物	スラグ巻込み 精錬反応 取鍋耐火物 空気酸化	初期スラグ巻込 耐火物 空気酸化 (エアリーク)	取鍋流出スラグ パウダー巻込 耐火物 空気酸化

図 1 電気炉製鋼プロセスの役割と酸化物系介在物の起源

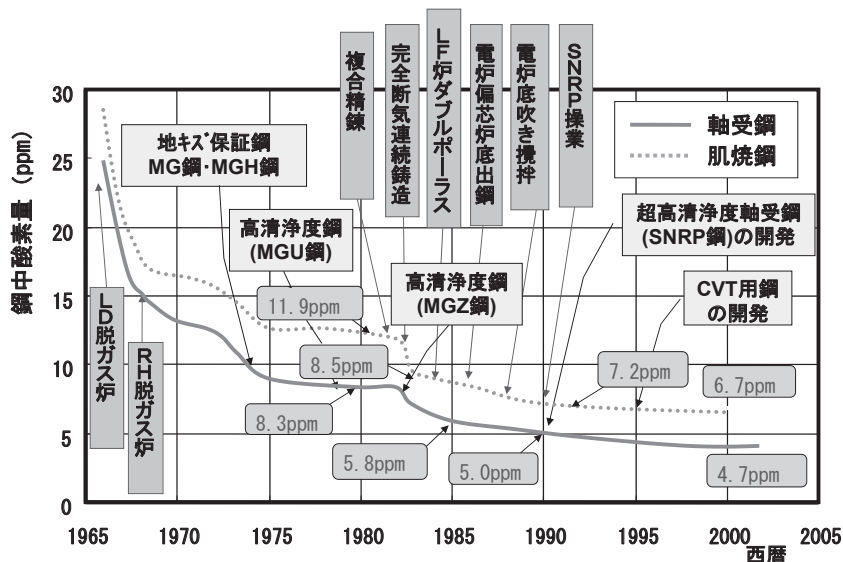


図 2 軸受鋼・肌焼鋼中の酸素量の推移 (弊社例)

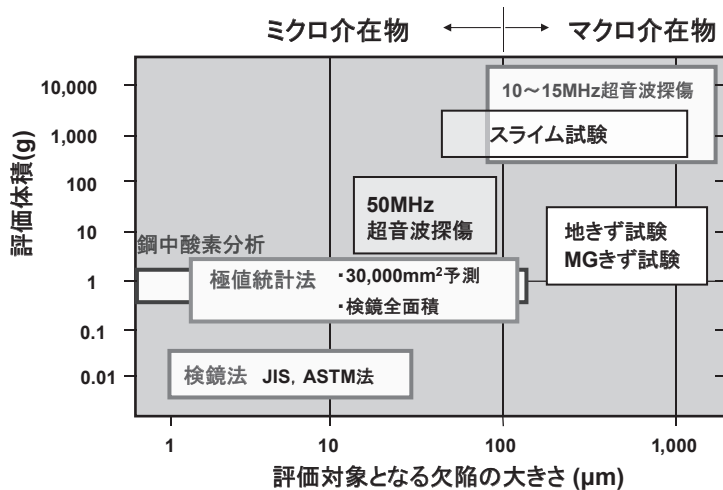


図 3 非金属介在物の評価体積と測定介在物大きさの関係

## 2. 微細析出制御技術

鋼中の第二相析出物は大きなものは非金属介在物として作用するために有害であり、上記のように制限されるが、100nm以下の微細析出物は、析出強化、粒界・転位等の移動に対するピン止め効果等により、特殊鋼においても広く活用されている。

VCN等の微細析出物による析出強化を活用した非調質鋼は、焼入焼戻しの工程が省略できるためコストダウン効果が大きく自動車部品を始として広範に使用されている。直接切削用や冷温間加工用途の非調質鋼は鋼材メーカーの圧延加熱冷却条件が微細析出物の析出状態に大きな影響を持っているため、これらの製造条件の管理が重要なポイントである。

AlNやNbCN等による粒界移動ピン止め効果を利用する肌焼鋼では、浸炭時に高温長時間の加熱を受けるために、通常の部品製造工程では、結晶粒度でNo. 14が限界といわれており、部品での超微細粒効果は余り期待出来ない。実用上、高温長時間加熱に伴う結晶粒の粗大化により疲労強度が低下するという問題があり、部品の高い強度を確保するための基盤技術として、 $\gamma$ 結晶粒度の安定化が必須技術である。このため、AlNやNbCN等の微細析出物の効果を最大限付与するために、添加量のコントロールとともに鋼片段階を含めた圧延加熱冷却条件の最適化が図られている。

耐水素脆化性高強度鋼などでも、VCN、 $V_4C_3$ 、

TiC等の微細析出物周辺の水素囲い込み効果を活用しており、微細析出物粒子に関わる元素の添加量やバランス、圧延時の加熱冷却条件とともに、その前の鋼片加熱条件等も重要な要因となるために、これらの鋼材では、一般材とは異なる更に特別な造り込みが行われている。

## 3. 鋼材検査技術

高強度鋼は、一般の鋼材に比べて非金属介在物、内部偏析や内部割れ等の内部欠陥や脱炭層、表面キズ等の表面欠陥への感受性が高いために、鋼材の検査段階における品質の維持管理が一般鋼材に比べてより一層重要となる。ブローホール、内部われ、大型介在物等の内部欠陥は、製鋼、凝固、分塊、圧延の各工程に関連し、ヘゲキズ、割れキズ、押込みキズ等の表面キズは製鋼以降、圧延や客先に納入されるまでの取り扱いに至るまで、広範にわたる要因が関わっている。鋼材の製造に当たっては、半製品段階の鋼片や最終圧延製品での全量検査で、不良品の客先への流出防止とともに発生源対策として情報がフィードバックされ、信頼性の高度化が図られている。

鋼片および製品の内部欠陥に対しては主に超音波探傷法 (UT) が、表面キズに対しては、磁粉探傷 (MT)、漏洩磁束探傷法 (MLFT)、斜角超音波探傷法が採用されており、近年、検査精度の更なる向上やキズ取り・確認作業の自動化、超音波探傷法における電子制御による探傷ビームの方向

や焦点位置を変えられるフェイズドアレイ探傷法の実用化と普及等、検査設備や機器、検査技術の進展が著しく進んでおり<sup>5)</sup>、品質保証精度の一層の向上と特殊鋼材の高信頼性化が図られている。

### むすび

前述したように特殊鋼材は部品までの工程が長く、品質上の管理のポイントが多岐に亙り、人の手に掛かる局面も多いため、最新鋭設備だけでは良いものは出来ず、製造プロセスに関わる作業員一人一人の努力が積み重なって最終的な品質を形成する。国内材の品質の確かさは、日本人のものづくりに真正面から真面目に取り組む優れた国

民性に根ざすものでもあり、日本のものづくりの原点をなすものともいえる。グローバル化した市場に今後ともこの優位性を維持しつつ、さらに広範なニーズに応えるべく努力を続けたい。

### 参考文献

- 1) 小林一博：熱処理、53 (2013)、2、p. 58
- 2) 川上 潔：第182、183回西山記念技術講座（日本鉄鋼協会編）(2004)、p. 150
- 3) 例えば、尾上義則：R&D KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS、56 (2006)、3、p. 2
- 4) 加藤恵之、佐藤海広、平岡和彦、塗嘉夫：山陽特殊製鋼技報、8 (2001)、1、p. 59
- 5) 例えば、特殊鋼、60 (2011)、3、「特殊鋼を支える非破壊検査」特集号



## 2. 鍛造における数値シミュレーションの動向

名古屋大学大学院 石川 孝 司

### まえがき

有限要素法 (FEM) による塑性加工の解析は、長年の開発過程を経て解析精度や信頼性において議論の余地がないレベルに達してきており、現在では重要な技術的パラメータを決めるために多くの企業で活用されている。経済・技術のグローバル化による国際的な競争の中で、日本の製造業の競争力を強化し生き残りをはかっていくためには、製品に対するニーズの多様化、新製品開発期間の短縮、環境、省エネルギー対策の強化、低コスト化への追及、熟練技術者不足問題等今まで以上に困難な課題を解決していくために有効な道具である。有限要素法をはじめとするコンピュータ支援工学 (CAE) ソフトは成形・加工の分野でも2D (2次元) 解析から3D (3次元) 解析へと実用レベルになってきており、鋳造、射出成形、圧延、鍛造、プレス成形、粉末成形、機械加工、熱処理など製造業の広い分野で利用が進んできている。この背景には解析技術および計算機能力の進歩があることはいままでのない。1940年代終りに電子計算機の時代の幕が開かれて以来、計算機自体の能力の進歩はめざましく、その計算速度は過去50年の間、ほぼ10年で100倍の割合で進歩してきており、50年間で100億倍である。しかも、パソコンレベルのマシンでその演算速度を実現している。我々が使っているパソコンで実用計算ができる時代になっておりこれを有効に使いこなすかどうか今後の企業の生き残りに関係するといっても過言ではない。

塑性加工分野でのシミュレーションの役割は、工程設計、金型設計の段階で条件を絞り込むための試行錯誤を計算機上で行い、実際の工程修正や金型の修正を最小限におさえ、製作期間、製作コストを大幅に減らすことにある。見えないものを見えるようにできることは非常に有力な武器であり、使い方を誤らなければその導入効果は絶大で

ある。解析対象は、材料流動、応力、ひずみ、温度、成形限界、破壊限界、材質・強度、金型寿命など多岐にわたる。ここでは鍛造加工の分野でのシミュレーション適用事例について紹介する。

### ◇ 解析事例

#### 1. 金型寿命の予測

鍛造品の低コスト化に大きな影響を及ぼす金型寿命に対して、その予測手法の開発に期待が寄せられている。金型寿命は材料との接触面における面圧、温度、すべり量、金型材料と被加工材の材質や強度など多くの因子の影響を受けるため、寿命予測はなかなか難しい問題である。鈴木らは金型損傷形態マップを作成し、金型の強度劣化を降伏比で表し、摩擦状態の厳しさを累積摩擦仕事量で表現して、シミュレーション結果をもとに予測する手法を開発している<sup>1)</sup>。図1に型損傷形態予測マップを示す。縦軸の降伏強度比 $\gamma$ は、金型材料のある加工回数、加工温度におけるせん断降伏応力と摩擦せん断応力の比であり、横軸は累積摩擦仕事量で表現して、シミュレーション結果をもとに予測する手法を開発している<sup>1)</sup>。図1に型損傷形態予測マップを示す。縦軸の降伏強度比 $\gamma$ は、金型材料のある加工回数、加工温度におけるせん断降伏応力と摩擦せん断応力の比であり、横軸は累積摩擦仕事量で表現して、シミュレーション結果をもとに予測する手法を開発している<sup>1)</sup>。

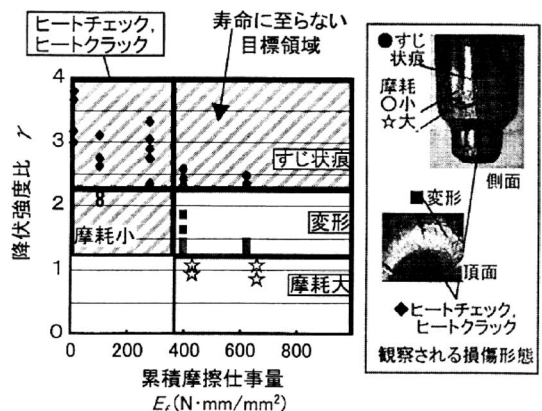


図 1 型損傷形態予測マップ<sup>1)</sup>



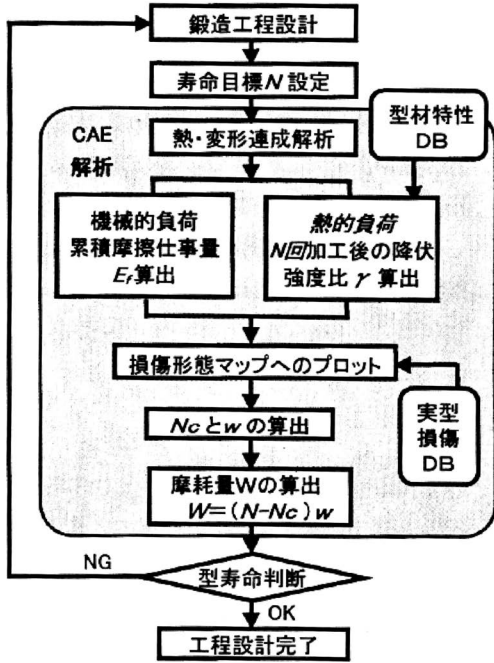
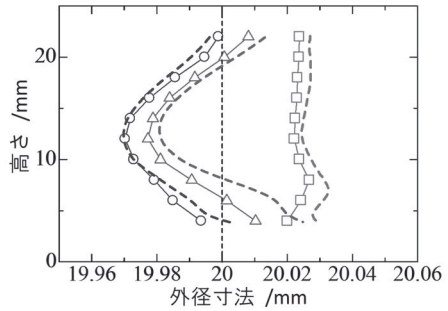
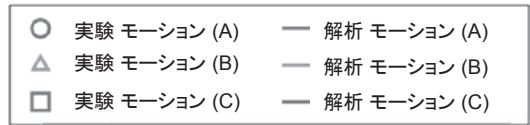
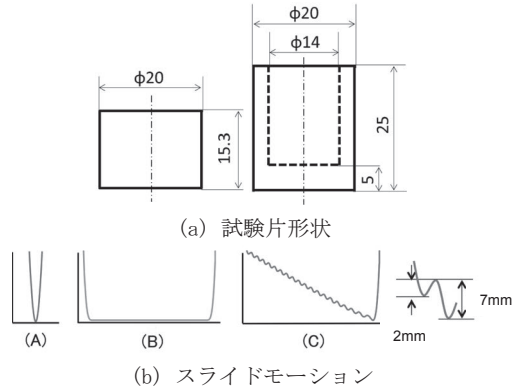


図 2 金型寿命予測の流れ<sup>1)</sup>

計算する。結果を損傷マップにプロットすることで寿命目標における損傷形態を見積もることができる。さらに摩耗量予測式より定量的な判断を行い、工程設計や冷却条件、金型材料の最適化を行うことで金型寿命の延長が期待できる。

## 2. 冷間鍛造品の寸法変化の予測

鍛造品の寸法精度に対する要求は、工程削減、コスト削減の観点からますます厳しくなっている。鍛造後の製品の形状をあらかじめ予測して金型や工程設計に反映し、高精度な製品を鍛造する技術は精密鍛造では重要である。鍛造時に金型は圧力による弾性変形をし、素材の発熱による熱的変形をする。また、素材は加工後に除荷と冷却による熱弾性変形をする。そのため、最終製品は設計値通りの寸法にはならない。著者らは、軸対称カップ後方押し加工において、サーボプレスのスライドモーションを変えることで熱収縮の量を変化させ製品精度を向上できることを示した<sup>2)</sup>。図3は熱連成弾塑性解析によりスライドモーションを変えたときの後方押し製品の外径寸法を計算したもので、計算結果は実験結果と良く一致しており、パルスモーションによると製品高さ方向の寸法精度が良いことが明らかである。



(c) 製品外径

図 3 後方押しにおける実験と解析の製品外径の比較

## 3. 組織・材質予測

変形と熱との連成有限要素解析が実用段階に入りつつある現在では、鍛造加工における材質予測精度も向上していくものと考えられる<sup>3)</sup>。材料流動や型への負荷だけを考えるのではなく、加工後の製品の組織、機械的性質もねらいをつけた新たな鍛造の工程設計、プロセス設計手法が完成し、部品全体が均一な、さらに進化して部分的に特性の異なる、いわゆる傾斜特性をもった鍛造品の製造が可能になる(ネットシェイプ+ネットプロパティ成形技術)。制御鍛造に関するNEDOのプロジェクトも進められ、材質予測のためのバーチャルシステム(VLS)が開発された。図4はその開発した材質予測システム<sup>4)</sup>である。塑性変形(ひずみ、ひずみ速度)と温度の履歴をもとに再結晶(動的再結晶、静的再結晶、粒成長)、変態、析出

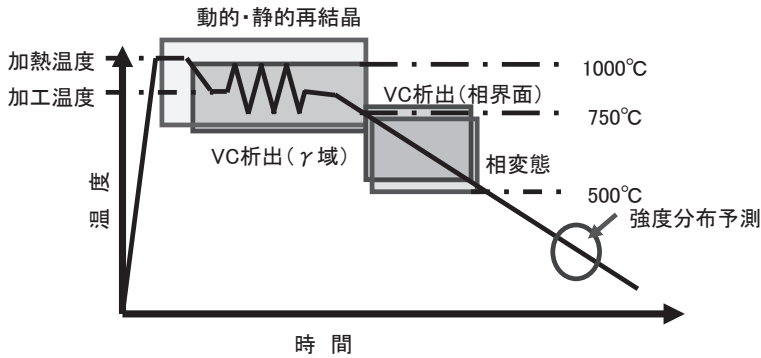


図 4 材質予測システム

などの組織変化を計算し、その組織から機械的性質を計算する。市販の鍛造解析ソフトにユーザーサブルーチンにより各モデルを組み込んでシステム化している。その適用例として、ピレットの加熱時に温度分布を付与して鍛造することで製品に強度分布を創製できることを解析と実験で確認した。被加工材をV添加非調質鋼として図5に示す

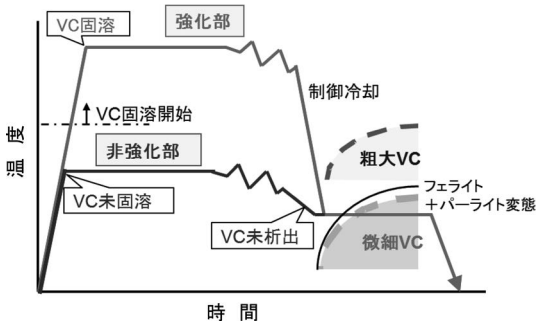


図 5 強度傾斜を付与するための鍛造工程例

鍛造工程により製品の強度傾斜を発現させた。高強度を付与したい場所は高温まで加熱してVを十分オーステナイト中に固溶させ、加工後の冷却過程において微細なVCとして析出させる。非強化部は低温加熱としてVのオーステナイト中への固溶量を減少させることにより、VCの析出量を抑える。VC非調質鋼を図6(a)に示した温度分布に加熱し、

押出ししたときの材質・強度の予測結果を図6(b)、(c)<sup>4)</sup>に示す。また、強度について実験との比較を図7<sup>1)</sup>に示す。両者ほぼ一致しており、本システムが鍛造工程設計に使用可能であることがわかる。この種の傾斜機能部品のニーズは多く、今後の成果が期待される。

#### 4. 材料流動、応力、ひずみの解析

鍛造のプロセスデザイン時に、金型内への材料の流動、特に型隅への材料充満の様子や、金型負荷の検討のため型面圧の可視化に適用される。図8はトリポートの鍛造工程を解析したもので、実際の鍛造品とシミュレーションから求められた成形過程を比較したものである<sup>5)</sup>である、シミュレーションによって得られた製品形状は、各段階で鍛造品と良く一致しており、不具合の状態も確認できることがわかる。現在ではこのような3次元解析が数時間で可能である。さらに3次元解析でも複雑な転造やリングローリングの解析も可能になって

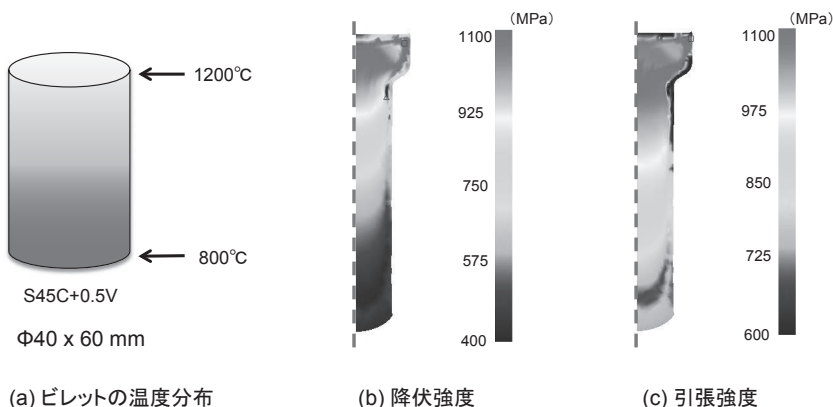


図 6 傾斜強度付与のための鍛造工程 (解析結果)

きている。転造やリングローリングでは、変形領域が被加工材の一部であり、しかも被加工材全体が回転、移動するため、接触やメッシュなどの問題が複雑となる。図9にはリングローリングの解析結果を示す。

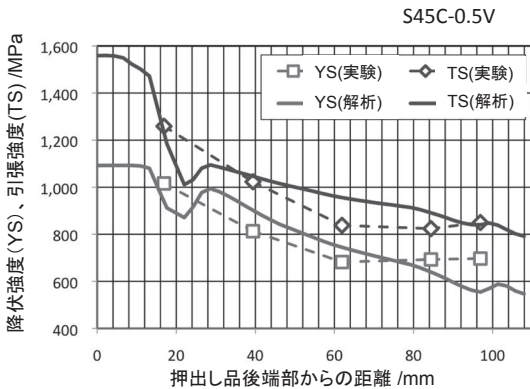


図 7 実験と解析の強度分布の比較

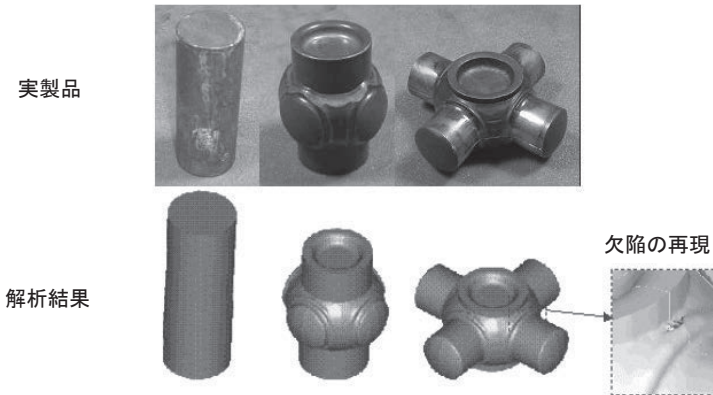


図 8 トリポートの鍛造解析（実製品との比較）

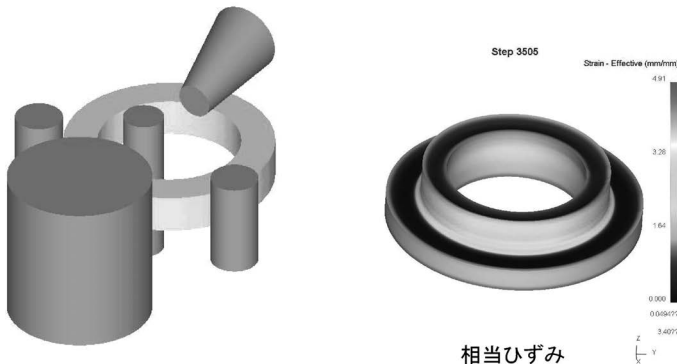


図 9 リングローリングの解析

### 5. 加工条件の最適化

鍛造工程設計の過程で、ある制約のもとで加工条件を最適化する問題は多い。ここではCVTプリー部品に冷間鍛造における加工荷重をサーボプレスにより成形速度を制御することで低減する取り組み事例を紹介する<sup>6)</sup>。成形速度を調整することで加工発熱による素材の温度をコントロールして成形性向上や荷重低減をねらうものである。図10<sup>6)</sup>にプレスモーションの概要を示す。成形開始から1mmの区間は5mm/sで成形し、 $\Delta H$ の区間は200mm/sの高速で、その後下死点に達するまでを低速 $V_L$ で成形するモーションとなっている。高速区間では加工発熱による素材の変形抵抗の減少を、また、下死点付近では低速成形による変形抵抗の減少を組み合わせるねらったものとなっている。図11<sup>6)</sup>に解析モデルと実験計画法（DOE）による条件表を示す。高速区間のストローク $\Delta H$ と低速区間の成形速度 $V_L$ を設計変数として設定してシミュレーションを用いたDOEスタディを実施した。図12<sup>6)</sup>にプレスモーションに対する成形荷重の応答曲面を示す。成形荷重低減のためにはB点の条件が最適であることがわかる。このようにシミュレーションにより最適条件を決めることが可能であり、量産条件を絞り込むための準備期間短縮に貢献している。

### むすび

現在、塑性加工の分野では有限要素法を主体としたシミュレーションが実用レベルになってきており、研究の道具の一つとして問題解決に使われている。ただ、シミュレーションソフトを導入すれば新しいプロセスや工法を創出できるとは思っていない。従来の工程設計や金型設計のエキスパートといわれる人たちは、実際に金型を作って実験をし、多くの試行錯誤をした体験をもとに知識を蓄え、それをもとに新しい製品に挑

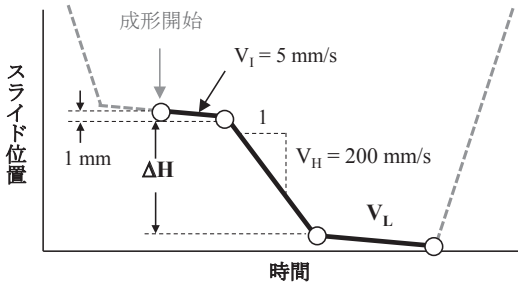


図 10 プーリー据え込み工程のプレスモーション

戦しそれらを実現してきた。このような人材を育成するには、時間もコストも非常にかかり、今後そのような人たちが急激に減少することがわかっている。人材育成は急務である。今後、シミュレーションの精度・信頼性が上がり、使い勝手がよくなれば、コンピュータ上でバーチャルな試行錯誤が可能となり、実験や実際の試行をやらなくてもいろいろな知識の蓄積が可能となるであろう。金型や加工機械が壊れることがないので、条件設定も冒険ができ、シミュレーションをうまく活用した人材育成も考えられる。ただ、実現象、現場

を常によく見ることを忘れてはならない。

シミュレーションの利用拡大を進める上で問題なのがシミュレーションに必要なデータベースがほとんどないことである。変形抵抗、金型寿命等の材料データベース、トライボロジーに関する摩擦・摩耗データベース、熱伝達等に関する熱解析データベース等が必要であり、これらデータベースの整備が急務と思われる。これには、大学や学協会だけでなく、鍛造メーカ、鍛造素材メーカ、工具材料メーカなどの協力体制が必要であろう。

### 参考文献

- 1) 鈴木寿之：第230回塑性加工シンポジウムテキスト、(2004)、53-59
- 2) T. Ishikawa, T. Ishiguro, N. Yukawa, T. Goto: Annals of the CIRP, 63-1 (2014), 289-292
- 3) 石川孝司：電気製鋼, 3-663 (1995), 186
- 4) 野崎康仁、湯川伸樹、石川孝司：平成23年度塑性加工春季講演会講演論文集、(2011)、407
- 5) 小坂田宏造、石川孝司、小野宗憲、森下弘一、安藤弘行編：精密鍛造、日刊工業新聞社、(2010)
- 6) 金秀英：第308回塑性加工シンポジウムテキスト、(2014)、13-20

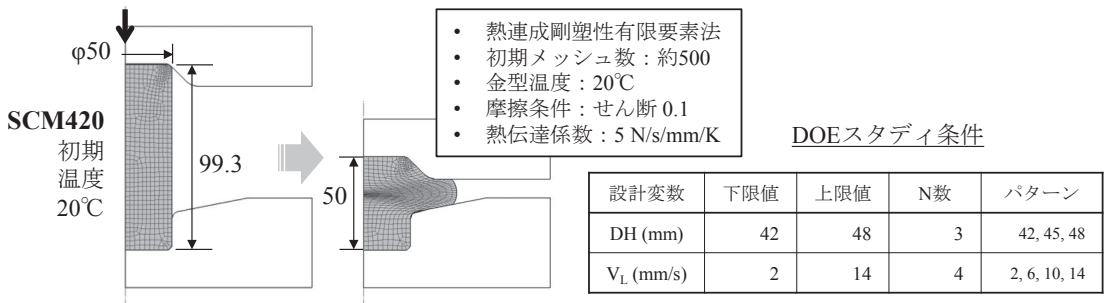


図 11 解析モデルとDOEスタディの条件

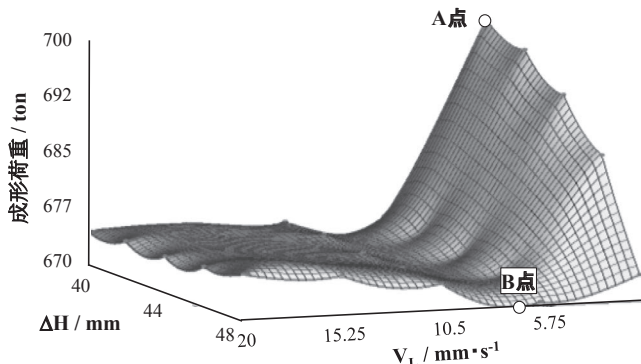


図 12 プレスモーションに対する成形荷重の応答曲面

# V. 会員各社の高強度材料、関連技術

愛知製鋼(株)

## 高強度非調質鋼

### まえがき

非調質鋼は、圧延・鍛造後の制御冷却中にTi、Nb、V等の炭窒化物が析出することで、炭素鋼・合金鋼の焼入れ焼戻し処理材と同等の強度特性を得られるよう成分設計された材料であります。そのため、熱処理コスト低減、工程簡略化による納期短縮、生産性向上などの大きなコスト低減効果が期待できること、更にCO<sub>2</sub>排出削減による地球環境保全に有効なため、自動車、建設機械等に幅広く使われています。

適用部品が増えるに従い、ユニットのコンパクト化や部品の軽量化のため、非調質鋼の高強度化ニーズが高まり、ニーズに合った高強度非調質鋼を開発してきました。弊社の開発鋼を表1に示します。

### ◇ 特徴

非調質鋼は、直接切削用途と熱間鍛造用途の2種類に大別されます。図1に弊社の高強度非調質鋼の強度レベルを示します。基本型が引張り強さ700MPa程度であるのに対し、高強度型は、800MPaを超える強度を実現しており、部品の軽量化に対して有効であります。

非調質鋼はフェライト・パーライト組織のものが多く、熱間圧延・熱間鍛造のままでは粗大な組織を有するため、調質鋼に比較して、衝撃値が低く、適用部品

に付加される荷重特性を良く見極めたいうえでの採用が重要となります。衝撃値の向上は、熱間加工温度を低くして結晶粒を微細化する方法があり、直接切削用途の非調質鋼においては、圧延温度を通常より低下させる、いわゆる制御圧延を実施することで、組織を微細化し、衝撃値を向上させることが可能であり、弊社ではSCM合金鋼相当の高強度な切削用非調質鋼(SVd40ST)も実用化しています。更に、非調質鋼は組織の違いにより焼入れ焼戻し鋼よりも切削性に優れる事も、切削用途に使用される鋼材として優位となります。これに対し、熱間鍛造用非調質鋼においては、鍛造温度を低下させることは金型寿命の低下や成型荷重の増加、製品欠肉を発生させるため、化学成分の検討により組織制御を行います。具体的には、低C化、かつMnSを活用したフェライトの微細分散による組織微細化、それ以上の高強度・高韌性化要求に対応する方策として、Mn、Cr、Mo等を添加することで、ベイナイト組織化した高強度鋼(SVd15BX)も商品化しています。

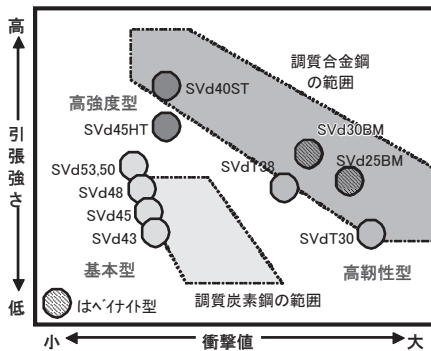
### むすび

高強度非調質鋼は、前述の効果を狙い、炭素鋼・合金鋼の代替として開発し、適用されてきました。ただし、すべての特性が同等ではないため、適用部品に付加される荷重条件を明確にした上で採用を検討する必要があります。適用に際し、ご不明な点をご相談頂きますと幸いです。

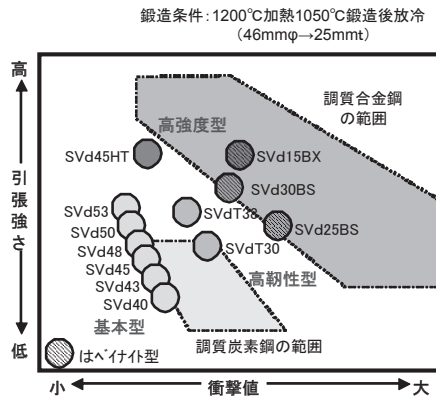
〔愛知製鋼(株) おおわき すすむ 技術開発部 第1開発室 大脇 進〕

表 1 わが社の高強度非調質鋼 (抜粋)

		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	タイプ	引張強さ
直接切削用途	SVd45HT	0.45	0.25	1.25	0.20	-	0.16	フェライト・パーライト型	≧830MPa
	SVd40ST	0.40	0.25	1.50	0.25	-	0.30	フェライト・パーライト型	≧880MPa
熱間鍛造用途	SVd45HT	0.45	0.25	1.25	0.20	-	0.16	フェライト・パーライト型	≧830MPa
	SVd15BX	0.13	0.25	2.20	1.00	0.18	0.08	ベイナイト型	≧880MPa



(1) 直接切削用非調質鋼 (50mmφ制御圧延材)



(2) 鍛造用非調質鋼

図 1 非調質鋼の強度と韌性

# 当社の高強度かち割り コンロッド用鋼KNF33MK

## まえがき

近年、自動車の低燃費化を目指した様々な取り組みが行われており、そのひとつとして部品の軽量化を目的とした材料の高強度化が挙げられる。

特に回転運動を行う部品には慣性重量の影響も加わるため軽量化効果が大きく、エンジンを構成するコネクティングロッド（以下コンロッド）の重量や大きさは、エンジンレイアウトや性能を大きく左右する。

コンロッドの製造方法には、ロッド部とキャップ部を一体で鍛造した後に大端部合わせ面の内側にレーザー等による切り欠きを付け破断分離させる（以下かち割り）工法がある。本工法では合わせ面加工などを省略でき、ロッド部とキャップ部を別々に加工する通常工法に比べてコストダウンが可能となるため、近年採用が増えている。

こうした背景のもと、かち割り工法で高強度コンロッドが製造可能な熱間鍛造用非調質鋼KNF33MKを開発した。

## ◇ 特長

欧州では、かち割りコンロッド用鋼として0.7%

Cパーライト鋼（C70S6）が広く用いられているが、強度（0.2%耐力）は500MPa程度であり被削性に問題を抱えている。

当社開発鋼KNF33MKでは、高い強度と良好なかち割り性を実現するためVCによる析出強化を積極的に活用している。0.2%耐力は図1に示すようにV無添加の0.35%C鋼（JIS S35C）と比べて300MPa以上析出強化によって高強度化された。同時に軟質なフェライト相の延性破壊を析出強化によって抑制し、C70S6を上回る良好なかち割り性を得た。その結果、高強度と良好なかち割り性の両立を実現した。

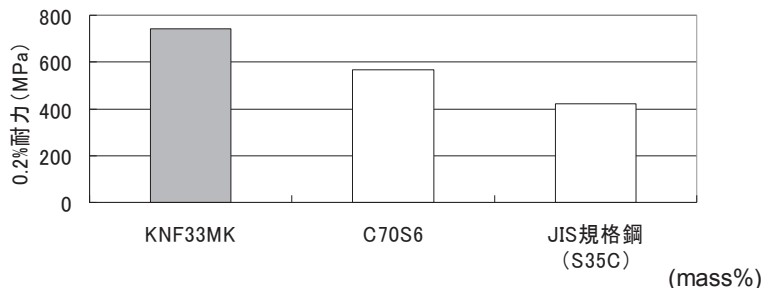
被削性についても、成分調整によって、鉛を添加しないで0.2%耐力が600MPa程度の一般非調質快削鋼と同等を達成した。

## むすび

KNF33MKを用いることで強度クラス700～800MPaの高強度かち割りコンロッドを得ることができる。

また当社では今後もかち割り工法の採用が増加すると見込んでおり、多様なニーズに対応できるラインアップを充実させていく予定である。

〔株神戸製鋼所 まつがさこ あきひろ〕  
線材条鋼開発部 松ヶ迫 亮廣



鋼材	C	Si	Mn	P	S	V	Pb	Ca
KNF33MK	0.33	0.25	1.25	0.045	0.095	0.26	-	添加
C70S6	0.70	0.20	0.50	0.010	0.060	-	-	-

図 1 開発鋼の強度

## 山陽特殊製鋼株

# 省合金型高強度はだ焼鋼 「ECOMAX (エコマックス)」

### まえがき

自動車のギヤ等の動力伝達部品用鋼には、耐摩耗性や疲労強度向上を目的に、浸炭焼入焼戻しを施して使用するのはだ焼鋼が広く用いられている。近年では、環境対応のため自動車部品の小型・軽量化ニーズがますます高まっており、はだ焼鋼にも高強度化が強く求められている。

はだ焼鋼の高強度化にはNiやMoといった合金元素を添加する手法が用いられているが、これらの合金元素の添加は、部品製造時の加工性の悪化、コストアップなどの問題がある。さらに近年では、合金元素の価格の乱高下や将来的な資源枯渇などが問題となっており、コスト変動が少なく供給不安の少ない合金元素を選定して高強度化を行うことが求められている。

このような背景の中、山陽特殊製鋼はNi、Moに頼ることなく、Si、Cr、Mnを主要成分として、高強度で且つ加工性にも優れた省合金型の高強度はだ焼鋼「ECOMAX (エコマックス)」を開発したので以下に紹介する。

### ◇ ECOMAXの開発コンセプト

ECOMAXはNi、Moを添加せず、Si、Mn、Crなど合金元素のバランスで、高強度化と加工性の両立を目指した開発鋼である。具体的にECOMAXはギヤに求められる主要強度特性に優れており、特に歯元の耐衝撃強度や曲げ疲労強度、歯面の耐ピッチング強度が高い。また、ねじり疲労強度にも優れるため、ギヤ部品に加えてシャフト部品等もターゲットとなる。したがって、従来の高強度鋼であるNi-Mo鋼や高Mo鋼などの代替や、高強度化アイテムへの展開が可能である。さらに、冷間加工性や切削加工性においてもJIS SCM420と同等以上であるため、部品製造性の低下による

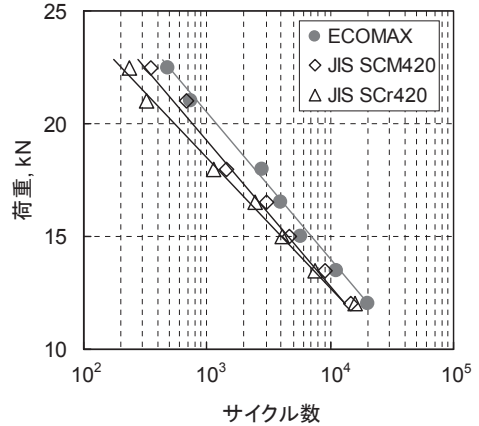


図 1 ECOMAXの低サイクル疲労試験結果

トータルコストアップを回避することが可能と考えられる。

### ◇ ECOMAXの特性例

代表的な特性として、図1にECOMAXと比較鋼であるJIS SCM420とJIS SCr420の浸炭焼入焼戻し状態での低サイクル曲げ疲労試験結果を示す。ECOMAXの疲労強度は、SCM420やSCr420と比較して優れており、 $1.0 \times 10^4$ サイクル疲労強度は約10%向上した。破断後の試験片の破面観察を行ったところ、ECOMAXは粒界破面が減少していたことから、微量元素として添加しているBによる粒界強化が低サイクル疲労強度向上の一因になったと考えられる。また耐ピッチング強度特性は、当社標準条件でのローラーピッチング試験によりSCM420に対して5倍以上の寿命を確認している。

### むすび

NiやMoに頼らない省合金型の高強度はだ焼鋼であるECOMAXは、性能向上とトータルコスト低減の両立に貢献できる材料であり、様々な動力伝達部品に幅広く使用いただける画期的な鋼である。

〔山陽特殊製鋼株 研究・開発センター 宮崎 武〕

## 高強度低歪二相鋼

## まえがき

自動車では、低燃費化、省スペース化のため各ユニットの小型化が検討されており、トランスミッションおよびデファレンシャルユニットでは歯車の高強度化による小型軽量化が課題となっています。

歯車はJIS肌焼鋼等を鍛造後、浸炭焼入れ焼戻しする物がほとんどですが、その際、熱処理歪が生じやすく、その程度によっては駆動時の騒音発生や耐久性低下が問題となります。そのため、浸炭焼入れの際の焼入油の温度管理厳格化、歪の生じにくい特殊な焼入れ処理の使用、また、最終仕上げとして歯面の研磨を行う等して歯車どうしの歯当たり性を良くする対応を取らなければならない場合もあり、コストアップにつながります。

このような観点から、当社では歯車材料の高強度化と同時に、熱処理歪低減を可能とする歯車用鋼を開発しました。以下にその鋼材について紹介します。

## ◇ 特長

## 1. 熱処理歪の低減

炭素を侵入させた表面の浸炭層はマルテンサイト組織として強度の確保を行い、内部の非浸炭部はフェライトを含んだマルテンサイト組織となる鋼材を開発しました。その鋼材の特徴は以下のとおりです。

- ①従来浸炭処理にて内部フェライト量を一定量以上確保し、従来鋼に比べ30～50%の低定歪化を実現
- ②内部の軟質層であるフェライトを固溶強化する事で、歯元曲げ疲労強度は従来鋼と同等

## 2. 高強度化

さらに熱処理歪低減した鋼をベースとして、面

表 1 ピッチング疲労強度への各因子の寄与

強化法	強化機構	耐ピッチング性向上
Si添加	固溶強化	10%
浸炭窒化(N添加)	固溶強化 析出強化	6%
真空浸炭	粒界強化	7%
ショットピーニング	加工硬化 圧縮残留応力	7%

疲労特性向上を目的とした成分系の見直しを行い、各種表面硬化処理と組み合わせる事でさらなる高強度化を図りました。

- ①Si添加：ギヤユニット駆動時の歯面焼戻し軟化の抑制
- ②浸炭窒化処理活用：固溶Nを利用した表面強化（固溶強化＋歯面焼戻し時の析出強化）
- ③真空浸炭：粒界酸化層抑制により疲労亀裂発生を遅延
- ④ショットピーニング最大活用：浸炭表層の圧縮残留応力分布最適化による疲労亀裂発生・伸展の抑制

以上の組合せにより、SCM822H浸炭材に対し30%の面疲労強度向上を達成しました。これらの強化手法を強化機構別に整理すると表1の様になります。

## むすび

高強度低歪二相鋼はお客様が要望される、熱処理歪の低減と同時に高強度化が期待できる鋼です。しかし、熱処理歪はお客様の浸炭焼入条件（浸炭温度、焼入温度）や焼入れ方法（冷却剤種、焼入時の配置）により大きく変化します。当社ではお客様の使用条件やご要望を充分にお聞きし、要求される最適な材料を今後とも提案し、提供していきたいと考えております。

〔JFEスチール(株) 鋼材研究所 福岡 和明〕



大同特殊鋼(株)

自動車エンジン排気バルブ用  
オーステナイト系耐熱鋼DY2-D

自動車用の排気バルブは、高温の排気ガス環境での使用に耐えられる高い耐摩耗性（高温硬度特性）と強度特性（回転曲げ疲労特性）が要求される。排気バルブ材には、オーステナイト系耐熱鋼 JIS SUH35（Fe-0.5C-0.1Si-21Cr-9Mn-6Ni-0.4N（wt%））が広く使用されているが、一般的にステライト系のCo基合金を肉盛することにより、バルブフェース部の耐摩耗性を確保している。また、一部の高性能エンジンにはJIS NCF751のように、より高温強度の高い $\gamma$ 相を析出させたNi基超合金が適用されている。当社では高強度のNCF440（70 Ni）、Niを低減しコスト性に優れたNCF5015D（50Ni）やNCF3015D（32Ni）などのFe-Ni基超合金を開発し肉盛レスの排気バルブ材として実用化している<sup>1)~3)</sup>。しかし、Niを多量に含有する上記の合金はNi原料価格によるコスト変動が大きいため、低Niのオーステナイト系耐熱鋼で高強度の排気バルブ材料が必要であった。

当社では、SUH35をベースにCおよびMo、Nb、Ni量を最適化し、耐熱鋼の主な強化手法である固溶強化と炭化物析出強化を最大限活用し、かつ長時間の組織安定性に優れたDY2-D（Fe-0.52C-0.1Si-21Cr-9Mn-6Ni-3.2Mo-0.1Nb-0.4N（wt%））を開発した<sup>4)</sup>。本開発材は状態図計算ソフトThermo-Calcを用い、固溶強化元素であるMoを、Laves相等の脆化相生成の無い範囲で最大限添加可能な3.2%とし、かつオーステナイト相の安定性確保のためNiを6%まで添加する設計とした。また、C量を体積率で0.52%としMC型およびM<sub>23</sub>C<sub>6</sub>型の炭化物を増加させることで、フェース部に求められる耐摩耗性の向上を図った。

当社の開発材とJISおよびDIN規格鋼の排気バルブ材を比強度と耐用温度で整理した図を示す。DY2-Dは規格鋼のオーステナイト系耐熱鋼に比較し高い高温強度特性を有しており、Fe-Ni基超合金

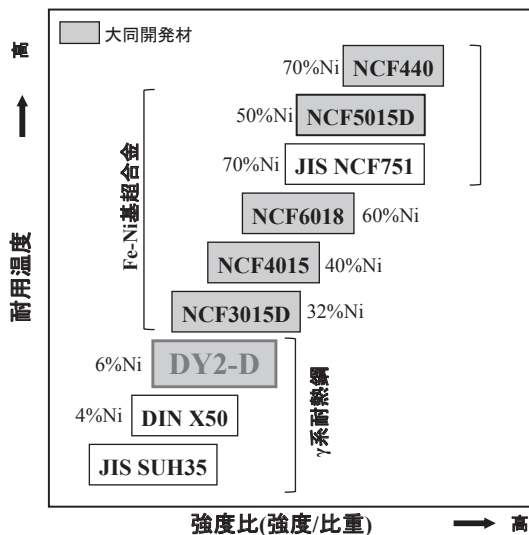


図 1 排気バルブ用材料の位置づけ

とオーステナイト系耐熱鋼との間にある特性差を補完する位置づけとなっている。

DY2-Dは炭化物による耐摩耗特性の改善により、フェース部の肉盛レスでの使用が期待できる。また、バイオ燃料を混合した燃料で走行するFFV（Flexible Fuel Vehicle）用のエンジンにおいては、エタノールに起因するOH基によって蟻酸、酢酸が生成されるため、これらの酸に対する耐食性が要求される。DY2-Dは3.2%のMo添加することによって、SUH35に比較し耐食性を改善させており、上記の酸に対し良好な耐食性を示すことから、今後FFV用エンジンへの適用も考えられる。

参考文献

- 1) Y.Takagi, M.Okabe, T.Likudo and S.Isobe: Stahl und eisen, 14 (1990), 138
- 2) 富永克彦、清水哲也、植田茂紀、倉田征児、都地昭宏：Honda R&D Tech. Rev., 19 (2007)、2、55
- 3) K.Sato, T.Saka, T.Ohno, K.Kageyama, K.Sato, T.Noda and M.Okabe: SAE Tech. Paper (1998), No. 980703
- 4) 露無崇志、植田茂紀、大崎元嗣、都地昭宏、大石勝彦：Honda R&D Tech. Rev., 1 (2014)、26、67

〔大同特殊鋼(株) 研究開発本部 特殊鋼研究所 耐食・耐熱材料研究室 大崎元嗣〕

高軟化抵抗性を有する  
ナノ組織工具鋼

金型材に利用される熱間工具鋼は、焼戻しにより析出する微細な炭化物の粒子分散強化を利用しているが、炭化物は粗大化と凝集が生じやすいため、温度上昇に伴い強度が急激に減少する。一方、酸化物は粗大化しにくい物質が多く、これを利用することで「高温でも軟化し難い工具鋼」が期待できる。弊社では、これまでメカニカルアロイング法を用いて、SKD61をベースに酸化物 (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を微細分散させた超微細結晶粒組織からなる熱間工具鋼 (ナノ組織鋼) を得ることに成功している

図1は、ナノ組織鋼の焼入れ組織のTEM暗視野像と電子線回折パターン、STEM暗視野像を示しており、焼戻し硬さ曲線も併せて示している。TEM観察の結果から、本ナノ組織鋼はbcc構造のおよそ500nm以下の結晶粒からなる微細組織を有していることが確認された。また、STEM暗視野像には10nm程度の粒子が観察され、これは均一微細に分散したY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であることも判明した。焼戻し硬さに着目すると従来のSKD61は、848Kを超えるような高温では顕著に軟化するのに対して、ナノ組織鋼は973Kでも高い硬さを維持できており、軟化抵抗性に優れていることが確認された。973Kで硬度差は約Hv480であり、硬さHと0.2%耐力σとの間には、

$$\sigma[\text{GPa}] \cong 0.3 \times H[\text{Hv}] \times 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \times 10^{-3}$$

の関係式が成り立つことから<sup>1)</sup>、0.2%耐力差Δσは約1.41GPaと見積もられる。以下では、この強度差がナノ組織による微細化強化と酸化物の粒子分散強化のいずれの強化機構に起因するものか考察を行った。

まず、結晶粒微細化強化に着目した。強化に寄与するのは大角粒界で囲まれた結晶粒径dである。従って、ナノ組織鋼は約500nm、従来鋼はブロック

サイズの約3μmとしてHall-Petch則

$$\sigma[\text{GPa}] = 0.1 + 0.6d[\mu\text{m}]^{1/2}$$

より結晶粒微細化強化の差Δσ<sub>d</sub>を算出した結果、約0.50GPaと見積もられた。次に、粒子分散強化について検討した。従来鋼とナノ組織鋼の炭化物量は同等であり、973Kではいずれも凝集、粗大化していると考え、両鋼の差は酸化物量のみとなる。ここで、分散粒子による強化量Δσ<sub>p</sub>は、

$$\Delta\sigma_p[\text{GPa}] = 4\beta Gb/\lambda$$

であり<sup>2)</sup>、剛性率Gおよびバーガースベクトルbには、それぞれ80GPaと0.25nmを、係数βは0.8を適用する<sup>3)</sup>。また、粒子間距離λは次式から求めた。

$$\lambda[\text{nm}] = \left( 1.25\sqrt{\pi/6f} - \sqrt{2/3} \right) d_p$$

今回添加したY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は体積割合f=0.03、粒子径d<sub>p</sub>=10nmであることから、λは約44nmとなり、Δσ<sub>p</sub>は、約1.45GPaと試算された。これは、先に算出したΔσとよく一致しており、結晶粒微細化強化と粒子分散強化の加算則が成り立たないことから、ナノ組織鋼と従来鋼の973K焼戻し状態における強度差は、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の粒子分散強化に起因することが示された。つまり、微細分散させたY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が優れた軟化抵抗性に寄与していると結論付けることができる。このようなナノ組織鋼を利用することで、熱間金型の長寿命化が期待できるため、今後実型での評価を進め、実用化を目指したい。

参考文献

- 1) 高木：「スーパーメタルの技術開発（鉄系メゾスコピック組織制御材料創製技術）」成果報告書、金属系材料研究開発センター、(2000)、192
- 2) 高木：「強化機構専科テキスト」、(2011)、67
- 3) 北浦ら：鉄と鋼、vol. 91、No. 11、(2005)、796-802

日立金属株 福丸 大志郎  
安来工場技術部

日立金属株 中津 英司  
安来工場技術部

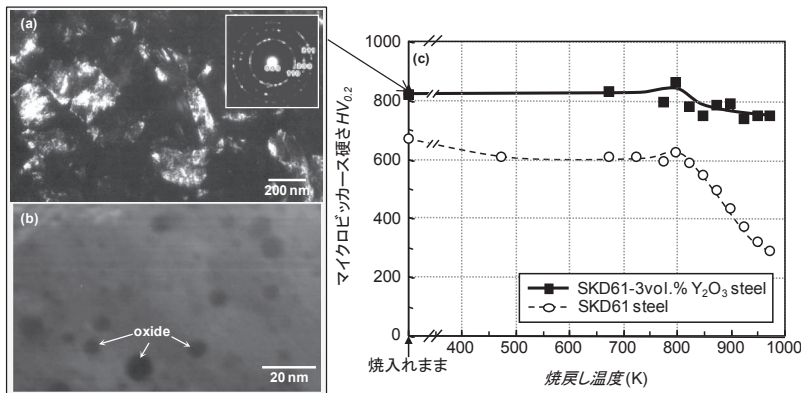


図1 ナノ組織鋼 (SKD61-3vol.% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の焼入れままの (a) TEM暗視野像 (b) STEM暗視野像および (c) 焼戻しに伴う硬さ変化

## “特集” 編集後記

特殊鋼の高強度化は、日本の鉄鋼・特殊鋼メーカーにとって最も得意とする分野であり、自動車産業をはじめとする様々な日本の産業分野の発展に貢献してきました。また様々な鉄鋼研究プロジェクトが立ち上げられ、日本の鉄鋼・特殊鋼のグローバル競争力向上のため産官学一体の取組もなされてきています。

上記のとおり、今回のテーマ「特殊鋼の高強度化」は、特殊鋼に対するニーズの中でも最も主要なものと言え、本誌「特殊鋼」においてこれまで様々な形で特集が組まれてきました。最近でも2014年1月号にて「がんばる日本の特殊鋼」という特集が生まれ、日本の高強度鋼・技術について紹介されています。小職が本特集の編集小委員長を担当、企画案を考えるにあたって、最初は比較的容易に企画が組めると漠然と考えていましたが、実際に検討を始めると主要な分野であるがゆえに、これまでの特集といかに差別化するかについて悩むこととなりました。様々な分野での高強度鋼を紹介するだけでは従来の企画に類似したものになってしまうためです。そこで二回の編集委員会にて、委員長はじめ編集委員の方々にご意見をう

かがった結果、「鋼の強化機構」を軸にまとめることになり、鋼の強化機構についてわかりやすく説明したうえで、高強度化の技術動向、高強度化の周辺技術について「強化機構」を軸として執筆いただくことになりました。小職の企画案が検討不十分だったため編集方針が確定するまで時間を要してしまい、編集委員、事務局、ご執筆者の皆様にご迷惑をおかけすることになり、申し訳なく思っております。

今回の特集を通じて、日本の特殊鋼の高強度化技術が様々な産業分野に貢献していること、高強度鋼の材料・成分設計技術はもちろん、プロセス技術、解析技術などの日本の強み技術がそれを支えていること、それらの技術が日本の特殊鋼のグローバルでの競争力を支えているということを読者の方々にご理解いただければ幸いです。

最後になりましたが、ご多忙の中、本特集にご寄稿をいただきました執筆者の皆様、また編集委員および事務局の皆様はこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

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

# 業界のうごき

## 青山特殊鋼、 浦安センターを改築

青山特殊鋼は、関東地区の主力倉庫である浦安センター（千葉県浦安市）を改築し、新たに導入した立体自動倉庫が10月から本格稼働を開始した。切断機9台を設置の上、クレーン（4.8トン）など7基を新設し、屋上には太陽光発電設備を完備、売電も行う。機械設備を含めた総投資額は約8億円で、設計・施工はJFEシビルが担った。

敷地面積5,415平方メートルに新築した浦安センターは、まる1年をかけて建て替え、8月に竣工した。従来の建物は築40年以上が経過し老朽化していたことに加え、2011年3月の東日本大震災でダメージを受けたことから青山利男会長（当時社長）が決断した。

竣工後の浦安センターには9月末に立体自動倉庫を導入し、このほど本格稼働を開始した。

新しい立体自動倉庫（トヨタL&F製）は前後に操作機があり、材質・寸法及び棚番のどれかの入力で、高速取出しが可能となった。

（11月25日、産業新聞）

## カネヒラ鉄鋼、 タイ現法の倉庫竣工

カネヒラ鉄鋼が、タイ近郊のサムトブラカーンに建設していた現地法人の倉庫がこのほど竣工した。営業拠点はすでに同所に移したが、これからクレーンや切断機2基などを設置し、11月初旬に在庫および切断加工品の販売を開始する。

同社は、03年にタイ・バンコクに現地法人を開設。業容の拡大、顧客サービスの向上を図るため自社倉庫を開設し、物流機能を強化することにした。

新倉庫は敷地約3,800平方メートルで、建て延べ面積は約2,600平方メー

トル。在庫能力は4千トン。切断機は帯鋸、丸鋸1基ずつの2基、在庫は構造用鋼を中心に700~800トンでスタートする。倉庫内のスペースに余裕があるため状況を見ながら切断加工などの機能を強化していく。嶋岡社長、浄閑優幸貿易部部長が現地を訪れ入魂式を執り行った。

（10月8日、鉄鋼新聞）

## 兼松・JFE、北米で 油井管加工事業拡大

兼松とJFEスチールは、北米で油井管加工事業を拡大する。共同出資した持ち株会社合弁「ベンワ・ホールディング」などを通じて所有するベンワ・プレミアム・スレディング社（本社・米国ルイジアナ州、略称・BPT社）が第2工場を新設することを決め、土地を購入した。

第2工場は、米国テキサス州ウォーラー郡に新設する。シェールオイル鉱区である同州イーグルフォードへの拠点として利便性が高い。

BPT社は、米国ルイジアナ州ホーマー市に油井管加工工場があり、油井管管端部ネジ切り、加工事業、油井関連の各種部品の製造および販売を行っている。12年11月の事業開始以来、順調に受注数量を伸ばしており、現工場に対応しきれない需要を確実に取り込むために設備増強を図る。なお、JFEスチールの持ち株会社に対する出資は14.8%。

（10月2日、鉄鋼新聞）

## 佐久間特殊鋼、 倉庫跡地に保育園開設

佐久間特殊鋼は、CSR（企業の社会的責任）活動を強化する。物流機能の移転に当たり遊休スペースとなる本社倉庫棟跡地に、大手NPO法人と協業して保育園を開設。名古屋市が進める待機児童解消に向けた新事業を始動する。

佐久間特殊鋼は中部地区の物流機能の集約、国内の競争力強化を目的に物流センター（西尾支店）の建設を進めている。他方、現在の本社倉庫棟は来年1月末から取り壊しに着手、跡地を活用した新たな事業展開を計画していた。

そんな中、名古屋市が待機児童解消を目的に進める保育所新設助成事業に着目し、賛同。佐久間特殊鋼が子育て支援大手のNPO法人「プレママクラブ」に協業を呼びかけ、補助金を活用して保育園開設を決めたもの。

新設する「すくすく浦里保育園」は英語を取り入れた保育、自家給食の提供による食育などを通じて、元気で豊かな心を持った子供を育てることを方針に掲げる。

（11月12日、鉄鋼新聞）

## 竹内ハガネ、 技とテクノの融合展に出展

竹内ハガネ商行は、都内で開かれた中小企業の総合ビジネスフェア「江戸・TOKYO技とテクノの融合展2014」（主催＝東京信用保証協会）に出展し、竹内誠二社長自らブースに出て扱い製品をPRした。

竹内社長は、開始から来場者が大勢駆けつけていることに「鉄鋼製品を扱い、加工する中小企業として多くの人に知ってもらいたい。金属・機械関連企業は地味だが、存在感を出していきたい」と意欲的に話した。

同社は大同特殊鋼の冷間金型材をはじめグループ会社、マコト製作所が手掛けるセラミック素材、超硬部品などを展示した。

同展示会は伝統工芸から環境・エネルギー、IT・情報通信、金属機械、食品製造、飲食関連まで全12業種、都内に拠点を持つあらゆる中小企業が一堂に会し、年に一度開催しており、展示即売会も開かれた。

（10月6日、産業新聞）

# 業界のうごき

## 千曲鋼材、茨城で加工体制拡充 新規需要を捕捉

千曲鋼材は茨城事業所（茨城県常陸大宮市工業団地）と100%子会社の茨城チクマ（同）での加工体制を拡充する。1月に開始したコマツ向け大型ダンプトラックのベッセル（荷台）生産が伸展、茨城チクマが手掛けるベッセルなど製缶部門と、茨城事業所での溶断事業の中間に位置する二次加工部門を充実、製缶を中心に高付加価値化を図る。老朽化したガス溶断機などをプラズマ、レーザーなどに更新、加工能力を高める方向で検討を始めた。鈹山機械の回復をにらみ、今後の2年程度で人員も含めて体制を強化、新規需要をとらえる。

今後、レイアウトの見直しを具体化する一方、設備体制も新規設備に更新するなど強化していく。すでに、第一弾として13年10月に450トンプレスブレーキを導入。引き続きガス溶断機などをプラズマ、レーザーなどにリプレースし、人員も現状の約40人体制を、順次増員する方向で検討する。（10月14日、産業新聞）

## 白鷺特殊鋼、鍛造加工能力を増強 20億円、2,500トンプレス導入

白鷺特殊鋼は、鍛造加工を強化するため、子会社ハクロフォーシングの関西事業所を開設し、2,500トン自由鍛造プレスを導入した。また、鍛造品をはじめとした加工品の営業を強化するため姫路支社特品販売部を新たに設ける。今後ハクロフォーシングでは年間加工量1千トン、年商は25億円を目指していく。

ハクロフォーシングは、本社鍛造工場（兵庫県加古郡稲美町）に1,500トンと500トンプレスを設置しているが、手狭で設備も老朽化していることから以前から新たな拠点開設を

検討してきた。そこで白鷺特殊鋼加西スチールセンターがある加西南産業団地内の約4万平方メートルの土地を取得。そこに約5,500平方メートルの工場を建設し7月末から営業生産を開始した。関西事業所には、プレスのほか加熱炉、大型帯鋸などの切断機、30トンクレーンなどを設置している。（10月21日、鉄鋼新聞）

## 藤田商事、独・KASTO社製 最新鋭帯鋸盤を販売

藤田商事は、独KASTO社製の最新鋭帯鋸盤「KASTO winA」シリーズを販売開始した。ボールスクリーを使用したサーボモータ制御により、高精度・高速切断能力や鋸刃寿命を大幅に高めた次世代型帯鋸盤で、KASTOの高生産性により「世界初の低価格」（同社）を実現した。

第27回日本国際工作機械見本市（10月30日～11月4日、東京ビッグサイト）にも出展する。winAシリーズは、サーボ機構を搭載した自動制御により、安定した切削、切断時間の短縮などを実現。新開発の操作パネルにより操作性も向上し、高速切断プログラムにより納期短縮、省人化ニーズにも応える。省エネ化や環境負荷低減も進め、ボールスクリー式の材料送りにより切断長さ300ミリ以内で公差±0.1ミリの高精度切断も実現する。シリーズは最大切断寸法（丸・角）330～1,060ミリの5機種をそろえている。（10月16日、鉄鋼新聞）

## 古池鋼業、帯鋸切断機を更新 特殊鋼、高速・高精度で加工

古池鋼業は、帯鋸切断機を1基更新した。既設機の老朽化に伴うもので、従来より高速で高精度の切断加工が可能になった。

新設したのはアマダ製のPCSAW 430。特徴は切断刃にパルス振動を

与えることで切削抵抗が低減し、刃先の摩耗を抑えて高速、高精度な切断ができる。また切削時のびびり振動が小さく、騒音が低減されている。能力としては430ミリ径までの切断が可能だが、同社では130～250ミリ径の量の多い切断品に活用していく。

同社の足元の販売状況は、工作機械や建機向けの油圧関係及び造船が堅調。本社倉庫及びその周辺にある第2、第3倉庫で作業員の多能工化を進め、社内物流の効率化を図っている。

古池社長は「ユーザーニーズに効率的に対応できる体制を整え、非価格競争力を高めていきたい」としている。（11月27日、鉄鋼新聞）

## メタルワンが本社移転 2015年5月、東京丸の内

メタルワンは、来15年5月初旬をめどに、本社を「JPタワー」（東京都千代田区丸の内2丁目7番3号）の30～32階に移転することを決めたと発表した。東京駅丸の内南口徒歩1分の場所になり、旧東京中央郵便局があった場所。

「取引先や関係先・株主会社へのアクセスが格段に向上し、発信力が強化され」（同社首脳）、より顧客に密着した営業力強化につながる。

また、コミュニケーションをより活発化できるよう、オフィス内の机の配置なども見直す。

現在の本社ビルは、港区芝にあるセレスティン芝三井ビルディング。本社移転で、社員のモチベーションアップも期待できそうだ。なお、引っ越し作業は来年のゴールデンウィークになるものと見られる。（10月14日、鉄鋼新聞）

## 愛知・知多工場 初の「女性工場アテンダント」

愛知製鋼は、「魅せる工場」ビジョンの一環として、知多工場製鋼工場

# 業界のうごき

の展示スペースを大幅に改良するとともに、今期入社した女性社員二人を同社初の選任のアテンダント（工場説明担当）として配置し、9月から本格活動を始めた。ユーザーなども多く見学に来るため「女性の目で、分かりやすく生産現場を案内することで、親しまれる工場としてファンを増やしていきたい」（安永直弘執行役員知多工場長）と話している。

二人は、新人研修後にアテンダントとなり、9月には専用のユニフォームもできた。1日平均100人が見学に訪れるが、それぞれの持ち場に分かれて流暢に説明する。

同時に、展示ルームを一新。同社の歴史や自動車産業とのかかわりを一覧できるボードや製鋼工程の精巧なミニチュア、大きなモニターに製鋼の現場を映し出し、ライブ感覚で生産現場を紹介する工夫をしている。

（10月14日、鉄鋼新聞）

## 神戸・加古川、高強度厚板を効率生産 加速冷却装置を改造、試運転

神戸製鋼所が加古川製鉄所（兵庫県加古川市）で改造していた厚板ミルの加速冷却装置が試運転に入った。需要拡大が期待されるエネルギー分野向け厚板の生産効率向上を主な狙いに工事していたもので、改造により同装置の冷却能力が向上。厚板の強度などの特性をより高精度に造り込めるようになった。来年3月までに試運転を終え、営業運転開始を目指す。

加速冷却装置は圧延後の高温状態の厚板をオンラインで水冷する熱処理設備。鋼の組織を微細化させることで強度や靱性といった製品特性を造り込む。

7月に主要工事を終え試運転に入った。改造工事では冷却機能を高めるため、装置に噴射ノズルを増設。これまでは膜状の噴射水による

徐冷機能だけを備えていたが、棒状の噴射水による急冷も可能にした。冷却の均一性なども増し、厚板の強度や靱性をより高精度に造り込めるようになる。

（10月14日、鉄鋼新聞）

## 大同特殊鋼・知多、150トン電気炉稼働順調

大同特殊鋼が総額200億円を投じて13年11月に知多工場に導入した150トン電気炉が、昼夜ともほぼフルに稼働している。製鋼工場内の溶鋼搬送ラインの物流を整流化、連続铸造機的能力をフルに発揮させ戦略商品群の品質・コスト競争力向上を狙ったもので、生産効率や時間コストが従来比30%向上した。

従来の70トン炉の製鋼プロセス比では、溶解エネルギーコストが約70%低減し、粗鋼生産能力は20%拡大した。

製鋼プロセスの合理化は、溶解能力の向上だけにとどまらない。溶解のための入熱効率向上、電気以外の天然ガスや炭材といった代替エネルギーを積極的に活用できるエネルギー多様化対応を進めたことで、製造コストの大幅な低減につながった。品質の安定・向上とともに、高機能自動車用鋼とステンレス・工具鋼・軸受鋼などと独立分離することで物流改善に大きな役割を果たしている。

（11月19日、産業新聞）

## 日立、工具鋼で大型投資 安来に1万トンプレス導入

日立金属は、工具鋼を中心とする特殊鋼事業の基盤強化を狙いに、安来工場で総額150億円超の大型設備投資を実行する。冷間工具鋼中心の铸造設備、熱間工具鋼中心の1万トン級自由鍛造プレスを導入し、工具鋼の製造プロセス革新を実現するとともに、主に航空機・エネルギー部材に焦点を当てて高速四面鍛造機を大型

化する。国内工場でものづくりを強化し、「高級製品にこだわってグローバルに成長する」基本方針を貫く。

特殊鋼事業では産機材（自動車材料、航空機・エネルギー部材）を成長ドライバーに位置付けるが、最主力の工具鋼は産機材との共有設備も多く、工具鋼の競争力強化が不可欠。

工具鋼の製品競争力強化、高級化ではプロセス革新により“一般材の成分設計で飛躍的に内質を高める”方向に転換する。

（11月25日、鉄鋼新聞）

## 三菱製鋼、インドネシアで特殊鋼生産 提携先に棒鋼ミル新設

三菱製鋼は、2016年初からインドネシアで特殊鋼鋼材の生産を開始する。資本参加している現地の電炉メーカー「ジャティム・タマン・スチール社」では、すでに特殊鋼用の製鋼工場を立ち上げているが、来年末までに新しい棒鋼圧延工場を建設する。その生産能力の半分を使って三菱製鋼自身の特殊鋼棒鋼を生産、インドネシア国内やアセアン市場で販売する計画だ。

三菱製鋼は08年に板バネ生産を中止、技術供与先のインドネシア「インドスプリング社」（ISP社）への全量委託に切り替えた。現地で素材から一貫生産する目的で、10年に普通鋼電炉メーカー「ジャティム・タマン・スチール社」と技術援助契約を結び、設備投資のアドバイスもしてきた。

計画に沿ってLF（取鍋精錬炉）、真空脱ガス炉、連続铸造設備を新設、既存の電気炉2基と合わせ特殊鋼の製鋼工場に変えた。

（11月19日、鉄鋼新聞）

おこわり：この欄の記事は、最近月における業界のおよその動向を読者に知らせる目的をもって、事務局において鉄鋼新聞及び産業新聞より記事を抜粋して収録したものです。

# 特殊鋼最終消費需要の変遷

(一社)特殊鋼倶楽部 専務理事 **小島 彰**  
 (一社)特殊鋼倶楽部 業務部長 **内田 宏幸**

## ◇ 特殊鋼最終用途別需要実態調査の狙いとこれまでの経緯

鉄鋼の需要状況の動きを把握するため、鉄鋼連盟・鉄鋼統計委員会の主導で、自主統計として昭和33年より普通鋼を対象に「鉄鋼用途別受注統計」が開始され、その後、昭和39年から同じく普通鋼を対象に「鉄鋼地域別受注統計」が追加された。特殊鋼については、普通鋼と同様の分類基準で昭和43年から「鉄鋼用途別受注統計（特殊鋼）」が実施され、さらに昭和48年からは普通鋼と同様に「鉄鋼地域別受注統計（特殊鋼）」が整備された。特殊鋼の需要先についてはこの二つの統計により需要分野別、地域別に把握することが可能となった。

特殊鋼鋼材・加工品の流れは図1のとおりである。このうち用途別受注統計は図に示す通り鉄鋼メーカーに対する直接の受注量を分野別に集計したものであり、最終用途が判明した分に加え、次工程向け及び販売業者向けがある。25年度の調査結果を表1に示すが、特殊鋼鋼材全体としては、内需計を100%とした場合、最終用途判明分では自動車用34.1%、産業機械・器具用11.6%、建設用4.4%、家庭用業務用機械器具用は1.5%、電気機械・器具用0.9%などである。

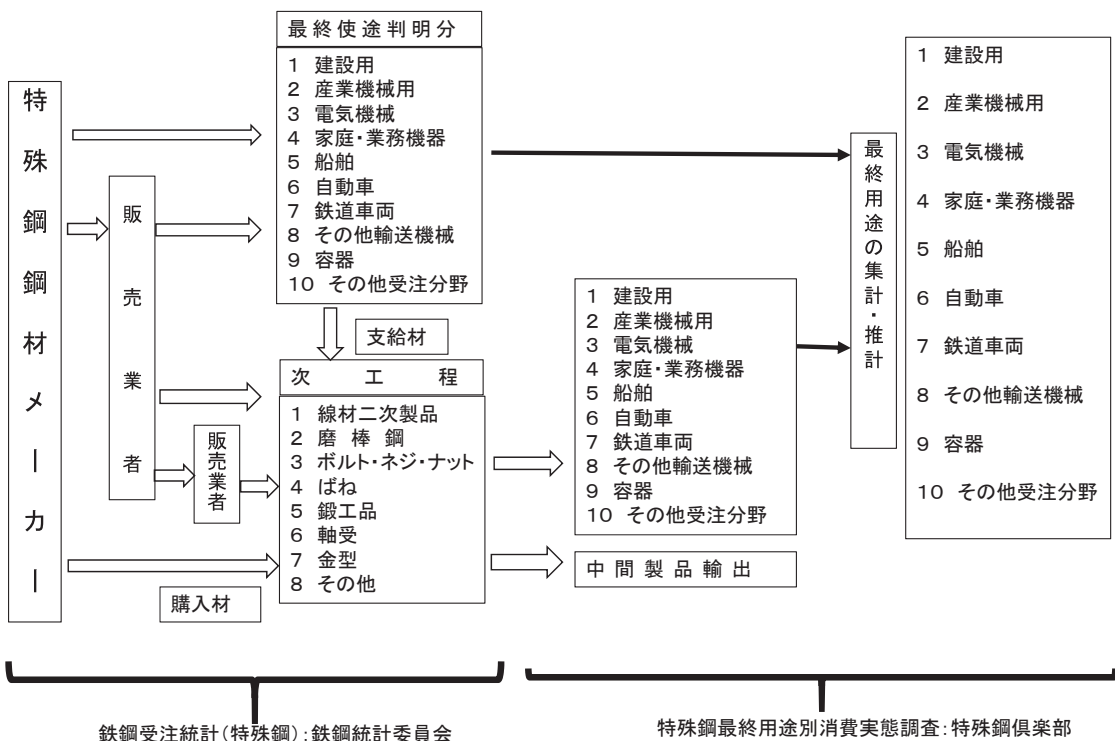


図 1 特殊鋼鋼材・加工品の流れ

単位：トン、%

表 1 平成25年度特殊鋼主要鋼材の用途別受注高

年度	工具鋼		機械構造用炭素鋼		構造用合金鋼		ステンレス鋼		高抗張力鋼		特殊鋼全鋼材合計	
	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比
建設用	1,008	0.5	29,733	0.8	48,561	2.0	109,247	7.1	266,792	14.7	524,389	4.4
産業機械・器具用	9,503	4.5	359,005	9.9	462,538	18.7	142,371	9.3	258,640	14.2	1,387,015	11.6
電気機械・器具用	4,549	2.2	10,132	0.3	8,143	0.3	79,733	5.2	4,114	0.2	107,393	0.9
家庭用業務用機械器具用	16,984	8.1	9,786	0.3	2,300	0.1	145,080	9.5	422	0.0	176,321	1.5
船舶用	9	0.0	13,128	0.4	2,247	0.1	22,845	1.5	30,670	1.7	76,689	0.6
自動車用	33,930	16.2	990,004	27.3	1,000,492	40.4	381,269	24.8	1,111,671	61.2	4,061,406	34.1
鉄道車両用	-	-	30	0.0	1,193	0.0	6,587	0.4	7,266	0.4	18,803	0.2
その他輸送機械用	33	0.0	9,683	0.3	2,961	0.1	2,388	0.2	675	0.0	16,369	0.1
容器用	-	-	9,232	0.3	14,000	0.6	5,413	0.4	398	0.0	35,188	0.3
その他諸製品用	5,827	2.8	6,625	0.2	4,270	0.2	22,918	1.5	628	0.0	41,965	0.4
計	71,843	34.2	1,437,358	39.7	1,546,705	62.5	917,842	59.8	1,681,276	92.6	6,445,538	54.1
線材二次製品用	4,033	1.9	703,655	19.4	260,713	10.5	120,824	7.9	61,406	3.4	1,618,542	13.6
みがき形棒鋼用	576	0.3	316,405	8.7	84,445	3.4	8,837	0.6	2,276	0.1	501,943	4.2
ボルト・ナット等用	1,084	0.5	241,062	6.7	71,918	2.9	2,225	0.1	13,055	0.7	338,734	2.8
ばね用	14,782	7.0	57,695	1.6	46,083	1.9	-	-	-	-	299,119	2.5
歯車用	-	-	566	0.0	3,796	0.2	-	-	2,365	0.1	10,711	0.1
鍛工品用	1,905	0.9	181,895	5.0	111,053	4.5	1,580	0.1	-	-	318,314	2.7
軸受用	9,373	4.5	118,678	3.3	116,326	4.7	3,915	0.3	-	-	799,640	6.7
切削工具用	6,954	3.3	304	0.0	1,746	0.1	-	-	-	-	28,057	0.2
金型用	29,727	14.2	17,319	0.5	1,220	0.0	-	-	-	-	48,808	0.4
その他次工程用	8,981	4.3	33,219	0.9	14,113	0.6	33,310	2.2	5,167	0.3	102,029	0.9
小計	77,415	36.9	1,670,798	46.1	711,413	28.8	170,691	11.1	84,269	4.6	4,066,853	34.2
最終用途不明の再加工用	-	-	3,651	0.1	900	0.0	3,258	0.2	47	0.0	8,198	0.1
販売業者向け	60,696	28.9	508,733	14.1	214,886	8.7	442,587	28.8	49,869	2.7	1,387,677	11.7
内需需用計	209,954	100.0	3,620,540	100.0	2,473,904	100.0	1,534,378	100.0	1,815,461	100.0	11,908,266	100.0
構成比下段は合計値に対する比率		69.5		80.5		77.8		63.6		51		63.6
輸出	92,267	30.5	879,447	19.5	704,731	22.2	994,412	39.3	1,770,944	49.4	6,808,845	36.4
合計	302,221	100.0	4,499,987	100.0	3,178,635	100.0	2,528,790	100.0	3,586,405	100.0	18,717,111	100.0

(注) 鋼塊、半製品を除く。みがき形棒鋼用には冷延形棒鋼用は含まない。  
 出典：日本鉄鋼連盟（鉄鋼統計専門委員会）普通鋼地域別用途別受注統計表の参考統計表



特殊鋼全体での次工程用用途を見ると、線材二次製品用13.6%、軸受け用6.7%、みがき形棒鋼用4.2%、ボルト・ナット用2.8%、ばね用2.5%などである。

当然のことながら鋼種別にみるとかなりの差が見られ、次工程向けは機械構造用炭素鋼、工具鋼の比率が高く、販売業者向け比率は工具鋼、ステンレス鋼が高い。また、自動車用は高抗張力鋼及び構造用合金鋼が高く、工具鋼が低いなど、鋼種別の用途に対応した状況が見られる。

特殊鋼全体をとると、自動車、産業機械、建設用等で合計54.1%が判明しているものの、次工程向け34.2%、販売業者向け11.7%で合計45.9%の最終用途は不明である。販売業者、次工程に向けて出荷された特殊鋼鋼材は一部が中間加工品として輸出に回るものもあるが、流通・加工されて最終用途の需要分野に回る。

これを解明するため、次工程向け及び販売業者向けの特殊鋼鋼材がその後どの需要分野へ流れているかを明らかにするため「特殊鋼の最終用途別需要実態調査」が昭和52年に初めて行われ、昭和58年からは調査内容も整理し、以降5年毎に実施されてきた。

#### ◇ 平成25年度調査の概要

平成25年度には、58年以降7回目の特殊鋼の最終用途別需要実態調査が行われ、その結果が26年11月に公表された。

特殊鋼の最終用途別需要実態調査では、次工程（線材製品、磨棒鋼、ねじ、ばね、鍛工品、金型）の各業界及び販売業者（商社、問屋）に対してアンケート調査（事業所ごとに1,576通発送し、630通の有効回答を得た）により当該年の10月の受払量及び最終用途を記入してもらい（軸受はヒアリング調査）、これを集計することにより、その先の最終用途を推計する。

推計方法はアンケート結果の集計から販売業者及び次工程事業所の最終用途先の構成比を算出し、この比率で用途別受注統計から得られる販売業者及び次工程向け数量を最終用途別に再配分して、これらをすべて最終用途別に集計することによって算出している。このプロセスは表2にまとめた通りである。この結果、販売業者及び次工程向けの数量が最終用途にどれだけ回ったかが算定される。これを整理すると表3のとおりである。

ここから理解されるように特殊鋼の最終用途としては、自動車が56.3%、産業機械が19.2%で、この2分野で75.5%を占めるといふ需要構造が明らかとなる。

#### ◇ 過去の調査との比較

上記の構成比の比較をこれまでの調査と比較したものが表4である。このなかで最終用途構成比の大きい自動車、産業機械、建設の推移については図2に、また受注統計による用途判明分（直需）、次工程用、販売業者向けの推移については図3に示す。

これらで理解されるように、産業機械向けや建設向けが横ばいで推移しているのに対して自動車向けの最終用途が年を追って拡大していることが注目される。

また、直需と次工程、販売業者向けの推移では次工程、販売業者向けが微減或いは横這い状態なのに対して直需分が上昇していることが注目される。

これは鋼材の支給材比率が増大していることとも関係があると思われる。最終用途別需要実態調査では支給材の比率にも質問をしている。この結果は表5及び図4のとおり、分野によって差異はあるものの支給材の比率が増大していることが理解される。支給材は自動車等の需要家からの受注にカウントされるため、支給材の量が増大すると直需分が増える結果となる。これは需要家による集中購買等の購買政策との関係もあり、今後の推移を見守る必要があろう。

最後に次工程向けでは年によって差はあるが、概して横這い又は微減のトレンドの中で軸受向けが近年増大していることが注目される。



表 3 用途別受注統計構成比と最終用途推計構成比との比較

用途	用途別受注構成比 (%)	最終用途推計構成比 (%)	差分 (ポイント)
建設	4.6	7.8	3.2
産業機械・器具	12.1	19.2	7.1
電気機械・器具	0.9	2.1	1.2
家庭用業務用機械器具	1.5	2.3	0.8
船舶用	0.7	0.9	0.2
自動車用	35.0	56.3	21.3
鉄道車輛用	0.2	0.4	0.2
その他輸送機械用	0.1	0.8	0.7
容器用	0.3	0.3	0
その他諸製品用	0.4	4.1	3.7
計	55.6	94.1	38.5
中間製品輸出用	0	5.9	5.9

表 4 特殊鋼最終用途推定値 (構成比: %) 推移 (全鋼種合計)

区分		58年	63年	5年	10年	15年	20年	25年
需 要 分 野	建設 受注統計	6.3	5.9	7.0	8.9	6.3	5.1	4.6
	建設 最終用途	12.1	11.8	11.5	14.2	12.5	9.4	7.6
	産業機械 受注統計	12.7	12.3	12.2	11.6	10.8	13.0	12.1
	産業機械 最終用途	21.9	22.3	20.9	19.3	18.2	19.9	19.2
	電気機械 受注統計	1.0	1.0	1.2	1.3	1.5	0.9	0.9
	電気機械 最終用途	3.2	3.7	3.5	3.5	2.8	2.0	2.1
	家庭・業務 受注統計	2.3	2.6	2.0	2.2	1.7	1.0	1.5
	家庭・業務 最終用途	3.8	4.5	3.6	3.8	3.1	1.8	2.3
	船舶 受注統計	1.3	0.7	0.7	0.8	1.9	1.6	0.7
	船舶 最終用途	2.0	1.0	1.1	1.3	2.4	2.1	0.9
	自動車 受注統計	21.3	25.2	27.3	27.1	29.4	31.8	35.0
	自動車最終用途	40.9	46.0	49.5	47.9	51.2	52.5	56.3
	鉄道車輛 受注統計	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
	鉄道車輛 最終用途	0.6	0.5	0.4	0.3	0.7	0.3	0.4
	その他輸送機 受注統計	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
	その他輸送機 最終用途	1.4	1.1	1.1	0.8	0.9	1.3	0.8
	容器 受注統計	1.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3
	容器 最終用途	1.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5	0.3
	その他 受注統計	1.1	0.6	0.4	0.4	0.6	0.3	0.4
	その他 最終用途	5.2	4.1	3.8	3.7	3.2	3.7	4.1
受注統計判明分合計	47.9	49.0	51.5	52.8	52.9	54.6	55.6	
最終用途推計合計	92.5	95.5	95.7	95.1	95.2	93.4	94.1	
中間製品輸出用	7.5	4.5	4.3	4.9	4.8	6.6	5.0	
次 工 程 用	線材二次製品	13.2	13.0	12.4	12.6	13.2	13.9	12.5
	磨棒鋼	5.7	5.2	4.7	4.0	4.7	4.7	4.1
	ボルト・ナット・ネジ	3.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.8	2.8
	ばね	4.8	3.8	3.1	2.7	2.9	2.4	2.6
	鍛工品	3.8	4.3	3.7	3.4	4.1	3.6	2.6
	軸受	7.0	6.4	7.2	6.5	5.2	7.3	7.1
	金型		0.3	0.6	0.9	0.7	0.4	0.4
	その他	2.1	1.9	1.8	1.7	1.4	1.3	1.2
	計	40.4	37.7	36.3	34.5	34.8	36.4	33.5
	受注統計判明分+次工程向け	88.3	86.7	87.8	87.3	87.7	91.0	89.1
販売業者向け	11.7	13.3	12.2	12.7	12.3	9.0	10.9	
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

出所：1) 受注統計は日本鉄鋼連盟 (鉄鋼統計専門委員会) 調べ 2) 最終用途は特殊鋼倶楽部調べ

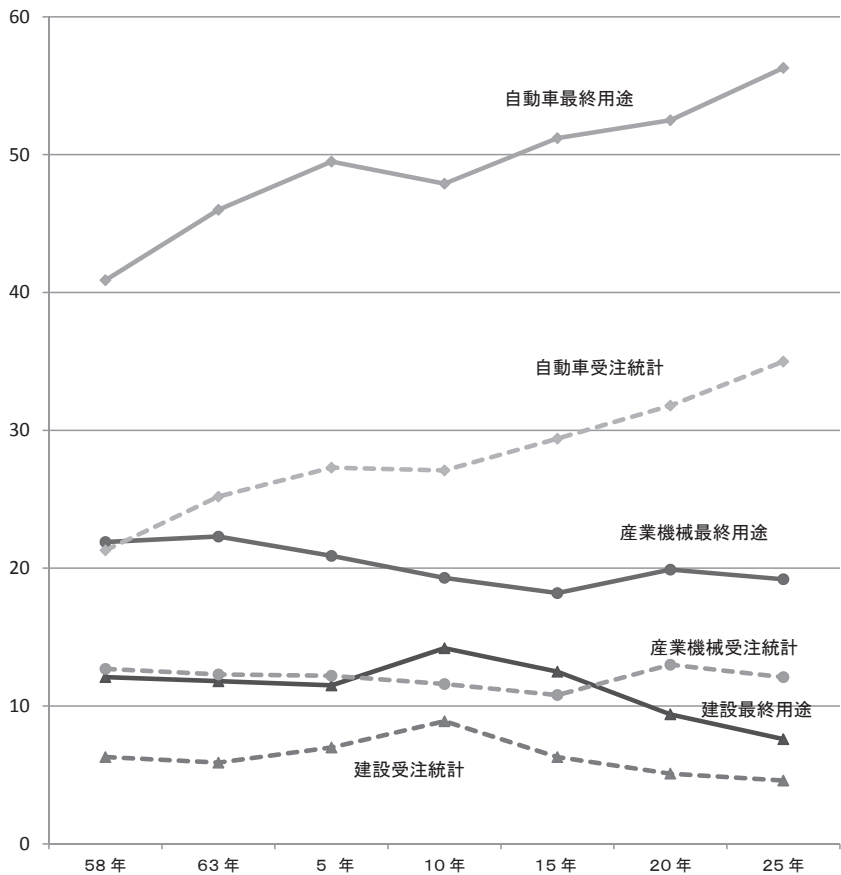


図 2 自動車、産業機械、建設の最終用途構成比推移 (表4のグラフ化)

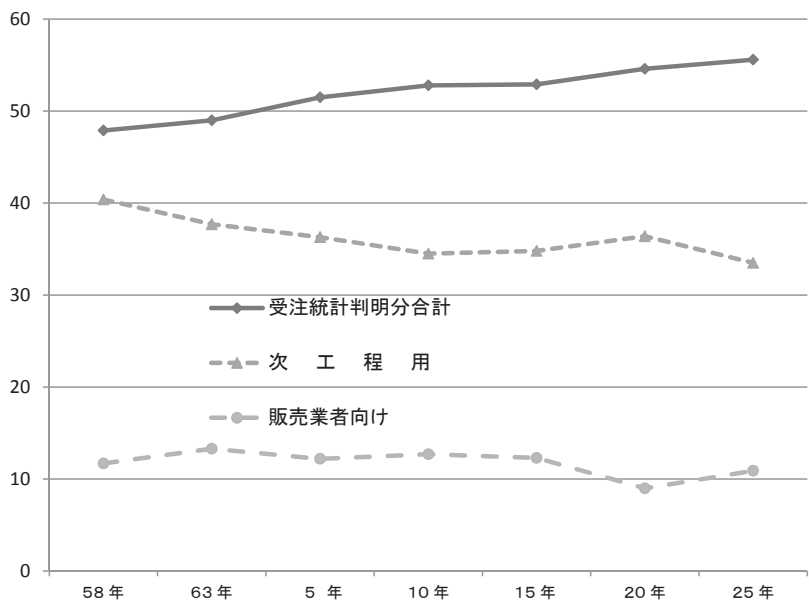


図 3 直需、次工程、販売業者向けの構成比推移 (表1より)

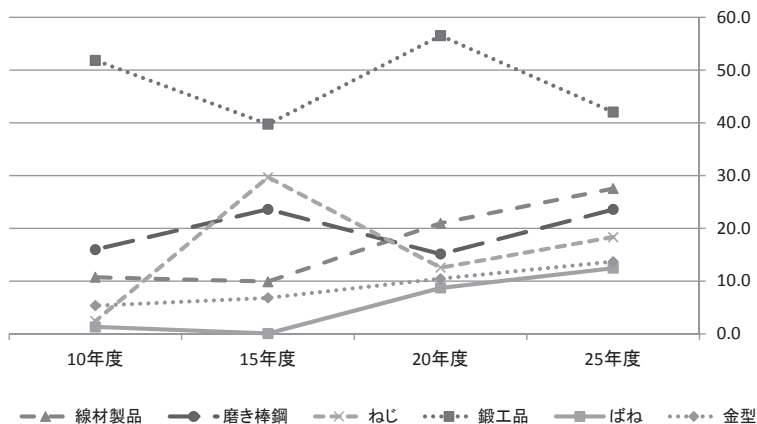


図 4 次工程分野の支給材比率推移 (%)

表 5 購入材と支給材の状況

次工程区分	年度	購入材		支給材		合計	
		数量 (トン)	構成比 (%)	数量 (トン)	構成比 (%)	数量 (トン)	構成比 (%)
線材製品	25年度	106,396	72.4	40,482	27.6	146,878	100
	20年度	139,500	79.0	37,027	21.0	176,527	100
	15年度	86,810	90.1	9,528	9.9	96,338	100
	10年度	76,670	89.3	9,216	10.7	85,886	100
磨き棒鋼	25年度	17,850	76.4	5,507	23.6	23,357	100
	20年度	24,442	84.9	4,361	15.1	28,803	100
	15年度	41,761	76.4	12,911	23.6	54,672	100
	10年度	73,222	84.0	13,911	16.0	87,133	100
ねじ	25年度	42,175	81.6	9,479	18.4	51,654	100
	20年度	65,286	87.4	9,370	12.6	74,656	100
	15年度	24,956	70.3	10,534	29.7	35,490	100
	10年度	31,815	97.6	788	2.4	32,603	100
鍛工品	25年度	57,030	57.9	41,390	42.1	98,420	100
	20年度	39,251	43.5	51,060	56.5	90,311	100
	15年度	39,152	60.2	25,836	39.8	64,988	100
	10年度	38,697	48.1	41,682	51.9	80,379	100
ばね	25年度	38,418	87.5	5,467	12.5	43,885	100
	20年度	56,986	91.3	5,435	8.7	62,421	100
	15年度	31,450	99.9	19	0.1	31,469	100
	10年度	37,500	98.7	495	1.3	37,995	100
金型	25年度	1,294	86.3	205	13.7	1,499	100
	20年度	874	89.5	102	10.5	976	100
	15年度	1,206	93	88	6.8	1,294	100
	10年度	1,401	95	79	5.3	1,480	100

注：各年度の10月時点の対象企業全体の受払量から算出

以上、本稿では特殊鋼鋼材全体についてのトレンドを見てきたが、実際の需要は鋼種、形状によって変わるものである。関心のある方はこれまでの最終用途別需要実態調査報告書により鋼種別の状況をチェックされることをお勧めしたい。

また、本調査は調査年の10月の一断面に区切った調査であり、その時々々の経済環境も反映されており、必ずしも普遍的なものではない点についても触れておきたい。

最後に平成25年度の特種鋼最終用途別需要実態調査にご協力をいただいた関係工業会及び調査を実施していただいた(株)日鉄住金総研の関係者に改めてお礼を申し上げる。

# 特殊鋼統計資料

## 特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合計
		機械構造用炭素鋼	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		
'12 暦年	226,595	4,583,118	3,934,190	8,517,308	425,252	976,986	2,822,820	701,970	5,607,620	617,671	11,152,319	19,896,222
'13 暦年	246,149	4,572,676	3,871,149	8,443,825	430,297	936,673	2,857,369	692,010	5,705,091	648,243	11,269,683	19,959,657
'12 年度	227,588	4,388,544	3,747,493	8,136,037	417,525	883,781	2,807,953	691,323	5,636,639	597,540	11,034,761	19,398,386
'13 年度	253,463	4,732,925	3,985,769	8,718,694	435,711	995,693	2,922,735	691,101	5,702,462	692,726	11,440,428	20,412,585
'13.10-12月	65,290	1,199,297	981,694	2,180,991	108,348	255,293	732,679	174,882	1,390,934	170,622	2,832,758	5,079,039
'14. 1-3月	64,477	1,202,227	1,005,334	2,207,561	109,566	249,787	754,003	176,332	1,412,434	183,307	2,885,429	5,157,467
4-6月	69,923	1,194,168	976,948	2,171,116	107,233	261,911	757,776	181,351	1,479,933	174,472	2,962,676	5,203,715
7-9月	63,908	1,240,034	1,021,050	2,261,084	115,322	250,954	774,956	171,523	1,596,461	171,903	3,081,119	5,406,111
'13年 9月	22,014	410,290	338,267	748,557	37,068	84,232	252,319	59,611	474,473	60,852	968,555	1,739,126
10月	24,346	398,524	332,049	730,573	37,348	89,189	249,753	58,895	449,757	63,257	948,199	1,703,118
11月	20,032	399,367	329,440	728,807	35,506	87,086	230,097	59,836	503,607	52,261	968,393	1,717,232
12月	20,912	401,406	320,205	721,611	35,494	79,018	252,829	56,151	437,570	55,104	916,166	1,658,689
'14年 1月	21,883	408,332	335,530	743,862	37,612	77,780	254,372	54,972	484,915	58,232	964,933	1,730,680
2月	19,960	374,301	315,210	689,511	35,642	83,376	231,552	55,609	439,496	52,600	898,275	1,607,746
3月	22,632	419,594	354,594	774,188	36,312	88,631	268,079	65,751	488,023	75,425	1,022,221	1,819,041
4月	23,678	399,403	329,085	728,488	37,896	87,167	262,335	58,079	470,308	58,803	974,588	1,726,754
5月	22,563	396,599	338,432	735,031	38,490	85,086	240,370	65,509	524,192	58,369	1,012,016	1,769,610
6月	23,682	398,166	309,431	707,597	30,847	89,658	255,071	57,763	485,433	57,300	976,072	1,707,351
7月	21,163	422,683	357,113	779,796	39,529	79,100	258,672	55,658	528,319	64,550	1,025,828	1,826,787
8月	21,297	398,992	318,937	717,929	38,294	82,873	255,772	56,752	540,741	49,800	1,024,232	1,763,458
9月	21,448	418,359	345,000	763,359	37,499	88,981	260,512	59,113	527,401	57,553	1,031,059	1,815,866
10月	24,495	412,311	339,268	751,579	36,929	89,825	264,134	54,151	519,979	60,503	1,025,521	1,801,595
前月比	114.2	98.6	98.3	98.5	98.5	100.9	101.4	91.6	98.6	105.1	99.5	99.2
前年同月比	100.6	103.5	102.2	102.9	98.9	100.7	105.8	91.9	115.6	95.6	108.2	105.8

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

また、鋼種別合計と形状別合計は、出所が異なることから一致しない。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'12 暦年	429,279	5,940,690	1,454,172	4,013,992	1,893,111	6,164,978	19,896,222
'13 暦年	420,716	5,782,384	1,413,921	4,143,965	2,122,894	6,075,777	19,959,657
'12 年度	430,247	5,607,651	1,378,459	3,913,109	1,928,292	6,140,628	19,398,386
'13 年度	386,674	5,959,248	1,469,820	4,289,571	2,106,686	6,203,452	20,415,451
'13.10-12月	71,615	1,491,006	370,493	1,078,673	532,599	1,534,653	5,079,039
'14. 1-3月	78,667	1,499,072	374,571	1,093,054	499,997	1,614,972	5,160,333
4-6月	73,505	1,537,017	348,788	1,073,277	593,462	1,580,993	5,207,042
7-9月	65,640	1,540,959	371,564	1,095,637	625,824	1,709,164	5,408,788
'13年 9月	23,408	516,972	110,260	373,837	188,130	526,519	1,739,126
10月	21,175	505,082	132,313	369,363	169,753	505,432	1,703,118
11月	24,844	498,522	123,997	349,328	190,672	529,869	1,717,232
12月	25,596	487,402	114,183	359,982	172,174	499,352	1,658,689
'14年 1月	19,728	481,603	133,351	360,361	180,168	556,535	1,731,746
2月	32,626	487,382	119,051	328,043	154,840	486,745	1,608,687
3月	26,313	530,087	122,169	404,650	164,989	571,692	1,819,900
4月	28,267	502,741	126,649	366,939	192,927	510,270	1,727,793
5月	21,394	512,985	121,668	362,459	214,207	537,986	1,770,699
6月	23,844	521,291	100,471	343,879	186,328	532,737	1,708,550
7月	22,636	521,374	136,662	372,895	203,055	571,044	1,827,666
8月	14,389	479,151	120,652	358,675	207,647	583,763	1,764,277
9月	28,615	540,434	114,250	364,067	215,122	554,357	1,816,845
10月	25,803	524,926	123,270	370,346	220,355	538,024	1,802,724
前月比	90.2	97.1	107.9	101.7	102.4	97.1	99.2
前年同月比	121.9	103.9	93.2	100.3	129.8	106.4	105.8

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

(注) 2014年1月以降の形状別合計と鋼種別合計は、出所が異なることから一致しない。

### 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 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他			
'12 暦年	360,170	3,947,624	4,068,239	8,015,863	247,191	543,614	2,976,768	176,204	91,149	25,210	4,060,136	12,436,169	
'13 暦年	321,646	3,825,120	4,018,791	7,843,911	249,017	500,921	2,984,291	195,198	109,018	39,134	4,077,579	12,243,136	
'12 年度	323,248	3,808,430	3,982,157	7,790,587	229,346	510,796	2,970,787	175,402	95,939	25,102	4,007,372	12,121,207	
'13 年度	324,404	3,879,315	4,061,105	7,940,420	267,951	513,723	3,002,125	199,622	111,431	51,971	4,146,823	12,411,647	
'14年 2月	26,093	321,348	339,084	660,432	21,239	42,839	253,386	17,244	9,145	6,137	349,990	1,036,515	
3月	27,831	330,263	348,915	679,178	27,321	44,373	263,832	17,970	9,851	5,192	368,539	1,075,548	
4月	26,122	318,908	341,416	660,324	24,679	38,251	247,023	15,969	10,078	2,268	338,268	1,024,714	
5月	25,440	312,939	337,386	650,325	25,416	36,943	247,491	16,732	9,339	2,594	338,515	1,014,280	
6月	27,323	313,303	338,463	651,766	20,651	38,460	258,491	17,096	9,899	2,333	346,930	1,026,019	
7月	28,186	329,923	347,148	677,071	23,468	39,682	256,784	16,228	11,052	2,291	349,505	1,054,762	
8月	23,457	293,157	324,129	617,286	17,601	34,988	240,869	12,533	8,749	2,045	316,785	957,528	
9月	27,803	321,793	343,381	665,174	20,722	38,461	259,056	15,912	11,454	1,981	347,586	1,040,563	
10月	28,046	327,185	350,871	678,056	20,818	39,094	256,308	15,022	11,864	2,255	345,361	1,051,463	
前 月 比	100.9	101.7	102.2	101.9	100.5	101.6	98.9	94.4	103.6	113.8	99.4	101.0	
前年同月比	94.8	98.6	102.7	100.7	90.7	84.7	103.2	91.7	124.6	26.2	98.1	99.7	

出所：経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

### 特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他			
'12 暦年	7,673	182,574	131,328	313,902	23,953	43,245	130,709	27,139	134,929	34,091	394,066	715,641	
'13 暦年	7,642	219,565	133,431	352,996	28,659	47,340	119,544	30,274	178,768	34,745	439,330	799,968	
'12 年度	7,695	180,446	124,271	304,717	23,748	37,634	112,706	26,790	150,073	30,459	381,410	693,822	
'13 年度	7,603	207,387	127,934	335,321	24,576	43,066	121,920	30,864	163,913	40,196	424,535	767,459	
'14年 2月	7,404	210,980	129,525	340,505	27,480	43,982	124,390	32,390	161,546	33,924	423,712	771,621	
3月	7,603	207,387	127,934	335,321	24,576	43,066	121,920	30,864	163,913	40,196	424,535	767,459	
4月	10,299	212,734	123,533	336,267	23,700	43,019	135,945	28,878	161,546	35,140	428,228	774,794	
5月	8,427	208,554	130,658	339,212	25,262	43,096	117,506	30,439	179,253	30,745	426,283	773,922	
6月	9,370	203,805	132,342	336,147	18,280	43,716	125,142	27,556	180,732	30,777	426,223	771,740	
7月	8,070	210,551	131,941	342,492	18,522	37,389	120,118	29,740	178,611	33,153	417,533	768,095	
8月	11,003	231,842	137,774	369,616	25,218	39,123	128,678	32,041	243,573	36,923	505,556	886,175	
9月	9,667	222,174	133,615	355,789	20,069	37,018	117,297	28,395	186,744	29,456	418,979	784,435	
10月	10,148	226,423	133,740	360,163	21,715	35,207	130,245	31,123	210,639	38,649	467,578	837,889	
前 月 比	105.0	101.9	100.1	101.2	108.2	95.1	111.0	109.6	112.8	131.2	111.6	106.8	
前年同月比	113.7	100.8	94.3	98.3	81.8	82.0	99.4	89.8	115.1	94.1	101.8	100.4	

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

### 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 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他			
'12 暦年	60,030	269,229	185,407	454,636	24,462	74,066	149,302	18,236	8,556	2,435	277,057	791,723	
'13 暦年	51,532	192,784	137,555	330,339	14,228	50,702	128,745	14,252	9,314	1,464	218,705	600,576	
'12 年度	58,473	255,755	170,930	426,685	22,021	64,747	146,230	21,457	8,269	2,393	265,117	750,275	
'13 年度	49,581	204,598	144,165	348,763	10,367	52,471	132,506	15,762	9,305	1,588	221,999	620,343	
'14年 2月	51,619	191,494	139,168	330,662	13,555	52,080	131,570	14,509	9,344	1,457	222,495	604,776	
3月	49,581	204,598	144,165	348,763	10,367	52,471	132,506	15,762	9,305	1,588	221,999	620,343	
4月	48,979	200,698	139,286	339,984	11,393	51,170	134,780	16,788	8,642	1,373	224,146	613,109	
5月	49,477	205,015	142,398	347,413	11,333	50,883	139,424	17,965	9,410	1,461	230,476	627,366	
6月	47,405	201,720	144,773	346,493	10,936	49,215	137,025	17,002	9,067	1,555	224,800	618,698	
7月	48,199	198,056	139,836	337,892	10,381	49,701	134,808	14,148	8,834	1,607	219,479	605,570	
8月	49,871	205,984	142,390	348,374	10,871	50,580	137,164	14,493	9,051	1,657	223,816	622,061	
9月	51,105	206,390	147,808	354,198	11,757	51,202	142,549	15,183	9,834	1,716	232,241	637,544	
10月	50,758	204,220	140,920	345,140	11,171	50,506	139,934	14,399	9,988	1,851	227,849	623,747	
前 月 比	99.3	98.9	95.3	97.4	95.0	98.6	98.2	94.8	101.6	107.9	98.1	97.8	
前年同月比	105.7	108.9	103.5	106.6	74.3	99.2	111.3	92.2	114.0	112.6	104.7	105.8	

出所：経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

### 特殊鋼鋼材の輸出入推移

#### 輸出

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼				そ の 他 の 鋼			特 殊 鋼 鋼 材 合 計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	ピアノ線	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'12 暦年	32,468	464,300	511,422	975,722	182,974	1,176,513	117,801	1,477,289	13,140	5,353,390	5,366,529	7,852,008
'13 暦年	46,815	467,652	559,899	1,027,551	187,205	1,118,549	120,628	1,426,381	13,176	5,145,102	5,158,277	7,659,025
'12 年度	33,787	463,315	528,913	992,228	181,940	1,135,905	117,144	1,434,990	13,212	5,324,302	5,337,515	7,798,519
'13 年度	49,234	474,018	580,043	1,054,061	191,652	1,130,329	135,718	1,457,698	13,215	5,402,773	5,415,988	7,976,982
'14年 1月	3,046	36,436	48,163	84,599	18,467	82,915	12,859	114,241	899	426,006	426,906	628,792
2月	3,256	42,062	49,166	91,227	14,145	94,050	9,115	117,310	905	525,908	526,813	738,605
3月	3,526	36,833	54,311	91,144	18,679	104,957	16,683	140,319	1,489	565,681	567,170	802,159
4月	3,604	43,650	53,521	97,171	19,180	95,205	16,142	130,527	1,229	464,267	465,496	696,798
5月	3,411	43,953	50,205	94,158	17,886	98,271	17,187	133,344	1,072	478,192	479,265	710,177
6月	9,644	48,255	53,242	101,497	17,683	94,488	13,771	125,942	1,552	517,442	518,994	756,077
7月	5,021	37,684	42,204	79,888	11,940	104,687	11,076	127,703	1,024	488,665	489,690	702,302
8月	3,359	41,696	43,306	85,002	13,719	103,273	11,366	128,358	865	520,994	521,858	738,576
9月	4,685	43,338	52,153	95,491	18,812	101,502	10,729	131,043	1,141	587,071	588,212	819,431
10月	4,076	45,415	44,307	89,722	14,047	97,175	10,628	121,849	1,412	588,126	589,538	805,185
前 月 比	87.0	104.8	85.0	94.0	74.7	95.7	99.1	93.0	123.7	100.2	100.2	98.3
前年同月比	108.2	124.1	113.0	118.4	89.8	99.9	149.0	101.5	141.5	128.5	128.5	122.3

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					計	快削鋼	そ の 他 の 鋼			特 殊 鋼 鋼 材 合 計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管			高炭素鋼	合金鋼	計	
'12 暦年	6,876	972	988	15,546	9,898	135,655	11,368	173,454	274	26,242	333,226	359,467	541,043
'13 暦年	5,376	1,497	493	12,079	12,970	170,751	13,387	209,681	310	19,977	396,068	416,044	632,909
'12 年度	5,679	1,077	781	14,359	11,151	139,237	11,910	177,438	452	26,907	342,039	368,946	553,591
'13 年度	5,725	2,913	504	12,330	13,654	180,931	13,839	221,258	118	21,920	582,545	604,465	834,478
'14年 1月	499	365	49	1,314	1,836	14,804	1,302	19,304	17	3,050	101,575	104,624	124,811
2月	453	1,158	39	931	1,017	16,951	1,014	19,951	2	231	65,542	65,773	87,338
3月	496	126	32	1,109	1,633	18,829	1,190	22,793	-	3,058	87,813	90,871	114,285
4月	707	69	86	1,130	992	17,950	1,556	21,715	-	1,599	52,161	53,760	76,251
5月	515	215	25	1,051	1,221	15,037	1,193	18,527	19	419	55,544	55,963	75,239
6月	362	122	102	1,027	1,362	12,734	1,466	16,691	1	2,683	64,132	66,814	83,991
7月	518	375	58	1,126	1,105	13,003	1,413	16,704	18	1,359	66,717	68,076	85,691
8月	405	166	29	964	1,341	8,972	1,128	12,434	-	1,417	64,890	66,307	79,312
9月	787	274	43	971	1,311	13,180	1,411	16,937	-	1,723	55,900	57,623	75,621
p10月	623	206	32	899	1,072	14,210	1,525	17,737	-	207	76,458	76,665	95,231
前 月 比	79.1	75.3	73.5	92.6	80.6	107.8	108.0	104.7	-	12.0	136.8	133.0	125.9
前年同月比	138.3	363.8	70.3	118.2	107.8	96.4	100.5	98.3	-	21.8	156.6	154.0	139.3

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p：速報値

### 関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年 月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新 車 登 録 ・ 軽 自 動 車 販 売		建 設 機 械 生 産		産 業 車 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			
'12 暦年	9,943,077	1,266,354	4,803,591	476,919	5,369,720	785,450	6,877	147,987	114,051	12,044	88,134	52,392	12,124
'13 暦年	9,630,181	1,308,177	4,674,633	472,179	5,375,513	801,975	6,236	148,161	107,777	13,538	93,232	47,742	11,170
'12 年度	9,550,883	1,237,262	4,658,649	475,364	5,210,290	759,973	6,215	140,130	111,426	11,937	87,026	45,932	11,398
'13 年度	9,912,403	1,333,945	4,632,178	468,925	5,692,162	843,644	6,648	158,109	110,214	14,181	97,030	47,753	12,049
'14年 1月	860,854	110,326	326,696	30,000	496,105	61,908	559	13,346	9,101	1,152	8,244	3,450	1,005
2月	863,452	110,052	366,779	39,963	565,168	73,583	561	13,518	8,906	1,139	7,863	4,264	1,020
3月	939,823	123,161	385,948	43,680	783,384	114,933	538	14,885	10,337	1,091	9,367	8,105	1,283
4月	770,591	107,670	375,824	41,594	345,225	51,757	615	13,377	9,007	1,070	8,513	2,919	1,219
5月	774,141	108,845	321,711	35,413	363,369	58,486	577	12,683	9,377	963	6,853	4,464	1,205
6月	857,415	117,606	390,915	40,689	452,555	72,516	535	14,166	10,198	1,152	7,458	5,133	1,276
7月	894,846	123,258	414,273	43,315	460,263	67,861	609	15,666	10,768	1,308	7,717	8,174	1,278
8月	634,833	91,179	322,838	35,260	333,470	51,165	526	11,818	7,815	1,126	8,078	3,282	1,352
9月	r851,177	r123,787	410,181	47,257	r518,772	r85,609	675	15,834	10,610	1,503	8,316	6,339	1,285
10月	816,936	119,728	401,250	44,881	396,598	67,233	672	16,561	10,475	1,645	7,780	3,004	1,337
前 月 比	96.0	96.7	97.8	95.0	76.4	78.5	99.6	104.6	98.7	109.4	93.6	47.4	98.6
前年同月比	93.7	103.4	98.4	121.0	94.1	101.3	119.8	111.2	104.8	108.4	95.5	99.2	130.8

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：訂正值



特殊鋼需給統計総括表

2014年10月分

鋼種別	月別		実数 (t)	前月比 (%)	前年同 月比(%)	1995年基準 指数(%)	
	項目						
工 具 鋼	熟間圧延鋼材生産		24,495	114.2	100.6	110.2	
	鋼材輸入実績		623	79.1	138.3	423.6	
	販売業者	受入計		27,699	95.4	100.7	134.7
		販売計		28,046	100.9	94.8	137.6
		うち消費者向		21,521	102.6	96.8	229.3
		在庫計		50,758	99.3	105.7	140.8
	鋼材輸出船積実績		4,076	87.0	108.2	113.8	
	生産者工場在庫		10,148	105.0	113.7	90.5	
	総在庫		60,906	100.2	107.0	129.2	
	熟間圧延鋼材生産		751,579	98.5	102.9	138.4	
鋼材輸入実績		42,889	124.3	110.4	2814.4		
構 造 用 鋼	販売業者	受入計	668,998	99.7	101.1	202.5	
		販売計	678,056	101.9	100.7	206.8	
		うち消費者向	461,360	103.6	104.2	215.9	
		在庫計	345,140	97.4	106.6	143.6	
	鋼材輸出船積実績		89,722	94.0	118.4	530.0	
	生産者工場在庫		360,163	101.2	98.3	120.3	
	総在庫		705,303	99.3	102.2	130.7	
	熟間圧延鋼材生産		36,929	98.5	98.9	86.8	
	鋼材輸入実績		206	75.3	363.8	-	
	ね 鋼	販売業者	受入計	20,232	93.6	89.7	135.6
販売計			20,818	100.5	90.7	139.7	
うち消費者向			6,050	102.9	98.1	48.7	
在庫計			11,171	95.0	74.3	351.5	
鋼材輸出船積実績			14,047	74.7	89.8	111.0	
生産者工場在庫			21,715	108.2	81.8	67.6	
総在庫		32,886	103.3	79.1	93.1		
熟間圧延鋼材生産		264,134	101.4	105.8	97.8		
鋼材輸入実績		17,737	104.7	98.3	455.0		
ス テン レ ス 鋼	販売業者	受入計	253,693	95.9	106.8	168.9	
		販売計	256,308	98.9	103.2	171.6	
		うち消費者向	61,455	102.1	99.1	107.8	
		在庫計	139,934	98.2	111.3	126.6	
	鋼材輸出船積実績		97,175	95.7	99.9	95.6	
	生産者工場在庫		130,245	111.0	99.4	88.5	
総在庫		270,179	104.0	105.3	104.8		
熟間圧延鋼材生産		54,151	91.6	91.9	61.1		
快 削 鋼	販売業者	受入計	14,238	85.8	90.1	84.6	
		販売計	15,022	94.4	91.7	90.8	
		うち消費者向	14,623	94.4	92.9	102.8	
		在庫計	14,399	94.8	92.2	62.9	
	生産者工場在庫		31,123	109.6	89.8	138.4	
	総在庫		45,522	104.5	90.5	100.3	
熟間圧延鋼材生産		519,979	98.6	115.6	222.0		
高 抗 張 力 鋼	販売業者	受入計	12,018	98.2	133.2	97.0	
		販売計	11,864	103.6	124.6	96.1	
		うち消費者向	7,977	98.9	120.6	148.2	
		在庫計	9,988	101.6	114.0	75.4	
	生産者工場在庫		210,639	112.8	115.1	125.7	
	総在庫		220,627	112.2	115.1	122.0	
熟間圧延鋼材生産		150,328	102.6	98.6	64.2		
そ の 他	販売業者	受入計	40,788	99.2	75.9	329.3	
		販売計	41,349	102.2	75.5	334.9	
		うち消費者向	37,570	101.2	91.5	697.9	
		在庫計	52,357	98.9	99.6	395.1	
	生産者工場在庫		73,856	111.1	87.9	44.1	
	総在庫		126,213	105.7	92.4	69.8	
熟間圧延鋼材生産合計		1,801,595	99.2	105.8	133.7		
特 殊 鋼 鋼 材 合 計	鋼材輸入実績		95,231	125.9	139.3	1204.1	
	販売業者	受入計	1,037,666	98.3	100.9	181.5	
		販売計	1,051,463	101.0	99.7	184.8	
		うち消費者向	610,556	102.9	102.3	181.3	
		在庫計	623,747	97.8	105.8	141.0	
	鋼材輸出船積実績		805,185	98.3	122.3	239.9	
生産者工場在庫		837,889	106.8	100.4	109.9		
総在庫		1,461,636	102.8	102.7	121.3		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算  
 (注) 1. 熟間圧延鋼材生産、生産者工場在庫及び総在庫は、2014年1月より『経済産業省生産動態統計』から『鉄鋼生産内訳月報』に変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。  
 2. 鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。  
 3. 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。生産者工場在庫は熟間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

# 倶楽部だより

(平成26年10月1日～11月30日)

## 理事会 (10月23日)

- ①平成26年度事業の進捗状況報告
- ②平成26年度会計中間報告
- ③平成26年度下期事業の今後の展開
- ④平成26年度予算の組み替え

## 運営委員会 (10月21日)

- ①平成26年度事業の進捗状況報告
- ②平成26年度会計中間報告
- ③平成26年度下期事業の今後の展開
- ④平成26年度予算の組み替え

## 海外委員会

- ・本委員会 (11月11日)
  - ①平成26年度事業活動方針の進捗状況
  - ②平成26年10月貿易制度改正に伴う貿易一般保険包括保険(鋼材)特約の変更による締結
  - ③個別通商問題
  - ④その他

- ・専門部会 (10月1日)  
「中南米の特殊鋼需給動向」調査の中間報告

## 市場開拓調査委員会

- ・説明会 (11月13日)  
「平成25年度特殊鋼の最終用途別需要実態調査」結果報告書説明会  
講師：日鉄住金総研(株) 経済産業調査部  
特別研究主幹 松尾 悟 氏  
参加者：55名

## 編集委員会

- ・小委員会 (10月10日)  
3月号特集「鍛造技術」(仮題)の編集内容の検討
- ・本委員会 (11月12日)  
3月号特集「鍛造技術」(仮題)の編集方針、内容の確認

## 人材確保育成委員会 (10月9日)

- ①平成26年度ビジネスパーソン研修講座実施について
- ②営業職新入社員向け教材発行について

## ③工場見学会企画について

- ・新人向け教材作成WG打合せ (10月7日)
  - ①WGの進め方
  - ②今後のスケジュール

- ・新人向け教材作成第1回WG (10月28日)
  - ①WG委員構成の紹介
  - ②教材の編集・構成内容
  - ③文章の執筆担当
  - ④掲載する写真・図などの収集方法

- ・新人向け教材作成第2回WG (11月28日)
  - ①各担当会社提出の章立て内容
  - ②引用した写真・図表などの転載許可
  - ③今後の予定

## 流通委員会

- ・説明会 (10月2日)  
「平成26年度第3・四半期の特殊鋼需要見通し」  
講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課  
課長補佐 成瀬 輝男 氏  
参加者：40名

- ・工具鋼分科会 (10月8日)

## 特殊鋼関連記号集編集委員会 (10月31日)

- 平成26年度版特殊鋼関連記号集のまとめ方について

## [名古屋支部]

### 部会

- ・第3回工具鋼部会 (10月22日)
- ・第3回構造用鋼部会 (10月23日)
- ・第3回ステンレス鋼部会 (10月24日)

### 説明会

- ・(10月7日)  
演題：平成26年度第3・四半期特殊鋼需要見通し  
講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課  
課長補佐 成瀬 輝男 氏  
参加者：69名

- ・(11月17日)  
演 題：「平成25年度特殊鋼の最終用途別需要  
実態調査」  
結果報告書  
講 師：日鉄住金総研(株)経済産業調査部  
特別研究主幹 松尾 悟 氏  
参加者：45名

- 二団体共催 中堅社員研修 (10月14日)  
テーマ：仕事の基礎徹底講座  
講 師：(株)名南経営コンサルティング  
山田 亮太 氏  
参加者：32名

- 三団体共催 優良企業見学会 (10月15日)  
見学先：富士ゼロックスマニファクチャリ  
ング(株)鈴鹿工場  
参加者：45名

- 三団体共催 一般講演会 (11月18日)  
演 題：「職場のメンタルヘルス対応」  
～法改訂に伴うストレスチェックの  
義務化を踏まえて～  
講 師：大同特殊鋼 産業医 斉藤政彦 氏  
参加者：49名

- 二団体共催 管理職研修・懇親会 (11月20日)  
テーマ：「部下の力を引き出すリーダーシップ」

～リーダーシップの理論を学び実践  
に活かそう！～

- 講 師：名南経営コンサルティング  
村野 文洋 氏  
参加者：20名

- 中部特殊鋼親善ゴルフ大会 (11月13日)  
参加者：41名

#### [大阪支部]

二団体共催説明会

- ・(10月6日)  
演 題：平成26年度第3・四半期の特殊鋼需  
要見通し  
講 師：経済産業省製造産業局鉄鋼課計画係長  
市丸 純 氏  
参加者数：48名

- ・(11月21日)  
演 題：平成25年度特殊鋼の最終用途別需要  
実態調査結果報告書  
講 師：日鉄住金総研(株) 経済産業調査部  
特別研究主幹 松尾 悟 氏  
参加者数：53名

- 二団体共催第13回関西特殊鋼ゴルフ大会 (10月  
8日)  
参加者数：28名

## 特殊鋼倶楽部の動き

### 「平成25年度特殊鋼の最終用途別需要実態調査」結果報告書の説明会開催

去る11月13日（水）午後1時30分より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館701号室、11月17日（月）午後1時30分より名古屋市中村区名駅・愛知県産業労働センターウインクあいち1203号室、11月21日（金）午前10時00分より大阪市中央区北久宝寺町・御堂筋本町アーバンビル11階・鉄鋼会館5・6号室において「平成25年度特殊鋼の最終用途別需要実態調査」結果報告書の説明会を開催しました。

本説明会は、当倶楽部・市場開拓調査委員会の2013年度調査事業として実施した調査報告書（5年毎）を解説したものです。当日は講師として調査を担当された日鉄住金総研(株) 経済産業調査部

特別研究主幹 松尾 悟 氏にご説明頂きました。

説明の内容は、1. 調査概況（目的、調査対象、調査項目、アンケート回収状況等）、2. 調査時点の経済状況及び特殊鋼概況、3. アンケート結果（総論、各業種別）、4. 最終結果（最終パターン推定）であり、最終用途パターンの自動車用比率は前回を更に上回った（56.3% ← 53.8%）。

需給のタイト感、各企業の集中購買政策が盛んになったこと等により、支給材の比率が前回以上に上昇していると考えられる。

当倶楽部からは過去8回の調査結果データを纏めて、全鋼種の最終用途別パターンのシェア状況及び鋼種別の変化状況（工具鋼 条鋼、高抗張力鋼 鋼管など）について説明をした。

約1時間40分の説明会でしたが、参加者は55名で、松尾講師の詳細かつ分かり易い説明で盛会の内に終了いたしました。

以下に説明会会場写真を掲載します。



説明会の様子

### 「平成26年度第3回一般社団法人特殊鋼倶楽部工場見学会開催」

去る12月9日（火）に平成26年度第3回の工場見学会を開催しました。

見学先は午前中が日本発条株式会社横浜工場（神奈川県横浜市）、午後が日本冶金工業株式会社川崎製造所（神奈川県川崎市）、鉄鋼会館前より大型バスにて両工場を訪問するコースで、会員企業から49名が参加しました。

日本発条（株）横浜工場では、最初に大会議室

で執行役員佐伯様のご挨拶及び概況説明を受けました。その後3班に分かれて熱間巻ばねの製造ライン及び展示品コーナー・安全道場を見学し、大会議室に戻って質疑応答という手順で行われ、同工場の見学を終了しました。

午後の日本冶金工業（株）川崎製造所では、工場到着後、同製造所で川崎製造所長大田取締役のご挨拶及び営業本部 販売企画部次長の磯部様による工場概況のご説明を伺いました。その後4班に分かれて溶解製錬（電気炉、真空アルゴン酸素製錬、炉外製錬）・連続鋳造・熱間圧延（熱間粗圧延

機、ステッセル熱間圧延機)・冷間圧延(冷間圧延機[20段圧延]、焼鈍酸洗ライン)など上工程から下工程の一貫製造ラインの工場見学を行いました。その後本館に戻って質疑応答を行い、同工場の見学を終了しました。

工場見学後の参加者の感想では、ほぼ全員が工場見学の成果に満足し、次回の工場見学にも参加したいとの回答をいただきました。

見学先の感想では、日本発条(株)横浜工場殿については、「安全道場を含め、人材育成がしっかりされていた」、「5Sが徹底されて、非常に清潔感のある工場」、「熱間巻ばね製造のコイリング工程が興味深かった」、「素材から出荷の一連の流れ・製造工程が理解できた」等がありました。

また、日本冶金工業(株)川崎製造所殿につい

ては、「製鋼から最終仕上げ・スリット加工の一貫製造工程が理解できた」、「電気炉(30トン、60トン)の大きさ、熱間圧延設備・冷間圧延設備の機能について体感できた」、「製鋼工場を含め工場全体の5Sが徹底されていた」等の感想をいただきました。

今回、両工場の見学を通じて特殊鋼のユーザー企業、製造企業が生産性向上や競争力向上に取り組む努力を理解でき、特殊鋼関係者にとって大きな収穫のある工場見学会となりました。

最後に、特殊鋼倶楽部会員企業のために貴重な機会を与えていただいた日本発条(株)横浜工場殿と日本冶金工業(株)川崎製造所殿の関係の方々に感謝申し上げて、工場見学会の報告とします。

以下に、写真を掲載いたします。



工場見学会の様子 日本発条(株)横浜工場殿



工場見学会の様子 日本冶金工業(株)川崎製造所殿



## 「平成26年度第4回一般社団法人特殊鋼倶楽部 工場見学会開催」

去る12月16日（火）に平成26年度第4回の工場見学会を開催しました。

見学先は午前中が日産自動車株式会社追浜工場殿（神奈川県横須賀市）、午後が東邦チタニウム株式会社茅ヶ崎工場殿（神奈川県茅ヶ崎市）、鉄鋼会館前より大型バスにて両工場を訪問するコースで、会員企業から38名が参加しました。

日産自動車（株）追浜工場では、最初にゲストホールにて、同工場で生産されているモデルの展示や生産工程のパネルなどを見学した後、大会議室で工場アテンダントの女性よりご挨拶及び概況説明を受けました。その後2班に分かれて生産エリア（組立工程・最終検査工程）・物流エリア（国内外専用埠頭など）を見学し、大会議室に戻って質疑応答という手順で行われ、同工場の見学を終了しました。

午後の東邦チタニウム（株）茅ヶ崎工場では、工場到着後、大会議室で経営企画部 主席技師 菊地様のご挨拶及び工場概況のご説明を伺いました。その後4班に分かれてスポンジチタン製造プロセス（クロール法）の各工程（塩化→蒸留・精製→還元・分離→破碎）、インゴット溶解鑄造[VAR法]の工場見学を行いました。その後大会議室に戻って質疑応答を行い、同工場の見学を終了しました。

工場見学後の参加者の感想では、ほぼ全員が工場見学の成果に満足し、次回の工場見学にも参加したいとの回答をいただきました。

見学先の感想では、日産自動車（株）追浜工場殿については、「多くの部分で自動ロボット化され、効率的に生産されていた」「1つの生産ラインで4車種を生産されていたことに驚いた」「受注生産であり、車種別受注量に応じて製造順序が編成されていた」「作業者にミスさせないための工夫があり、素晴らしい活動だと感じた」等がありました。

また、東邦チタニウム（株）茅ヶ崎工場殿については、「スポンジチタン製造工程を初めて見学し、精製には多くの手間・工数が必要なことが理解できた」「工場内が非常にクリーンで高品質さを感じた」「素材・溶解・精製工場であるが、5Sの行き届いた美しい工場だった」等の感想をいただきました。

今回、両工場の見学を通じて特殊鋼のユーザー企業、製造企業が生産性向上や競争力向上に取り組む努力を理解でき、特殊鋼関係者にとって大きな収穫のある工場見学会となりました。

最後に、特殊鋼倶楽部会員企業のために貴重な機会を与えていただいた日産自動車（株）追浜工場殿と東邦チタニウム（株）茅ヶ崎工場殿の関係の方々に感謝申し上げて、工場見学会の報告とします。

以下に、写真を掲載いたします。



工場見学会の様子 日産自動車（株）追浜工場殿



工場見学会の様子 東邦チタニウム（株）殿

# 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 24社</p> <p>販売業者 101社</p> <p>合 計 125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>(株)神 戸 製 鋼</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 日 鋳 日 石 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>新 日 鐵 住 金 (株)</p> <p>ス テ ン レ ス パ イ プ 工 業 (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 新 製 鋼 (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 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</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>井 上 特 殊 鋼 (株)</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>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (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>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (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>田 島 ス チ ー ル (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>中 部 ス テ ン レ ス (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 テ ー ル (株)</p> <p>東 京 貿 易 金 属 (株)</p> <p>(株) 東 信 鋼 鉄</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 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 鋼 材 (株)</p> <p>日 輪 鋼 業 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (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 ア ド メ ッ ト (株)</p>	<p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株)日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ズ</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>(株) 堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン</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>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>



## 特 集 / 「鍛造と特殊鋼」

- I. 鍛造加工
- II. 鍛造に用いられる特殊鋼
- III. 特殊鋼と鍛造製品
- IV. 会員メーカーの鍛造関連の製品紹介

5月号特集予定…製造工程、検査工程

## 特 殊 鋼

第 64 卷 第 1 号  
© 2 0 1 5 年 1 月  
平成26年12月25日 印刷  
平成27年1月1日 発行

定 価 1,230円 送 料 100円  
1年 国内7,300円 (送料共)

発 行 所  
一般社団法人 特殊鋼倶楽部  
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館  
電 話 03(3669)2081・2082  
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>  
振替口座 00110-1-22086

編集発行人 小 島 彰  
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。