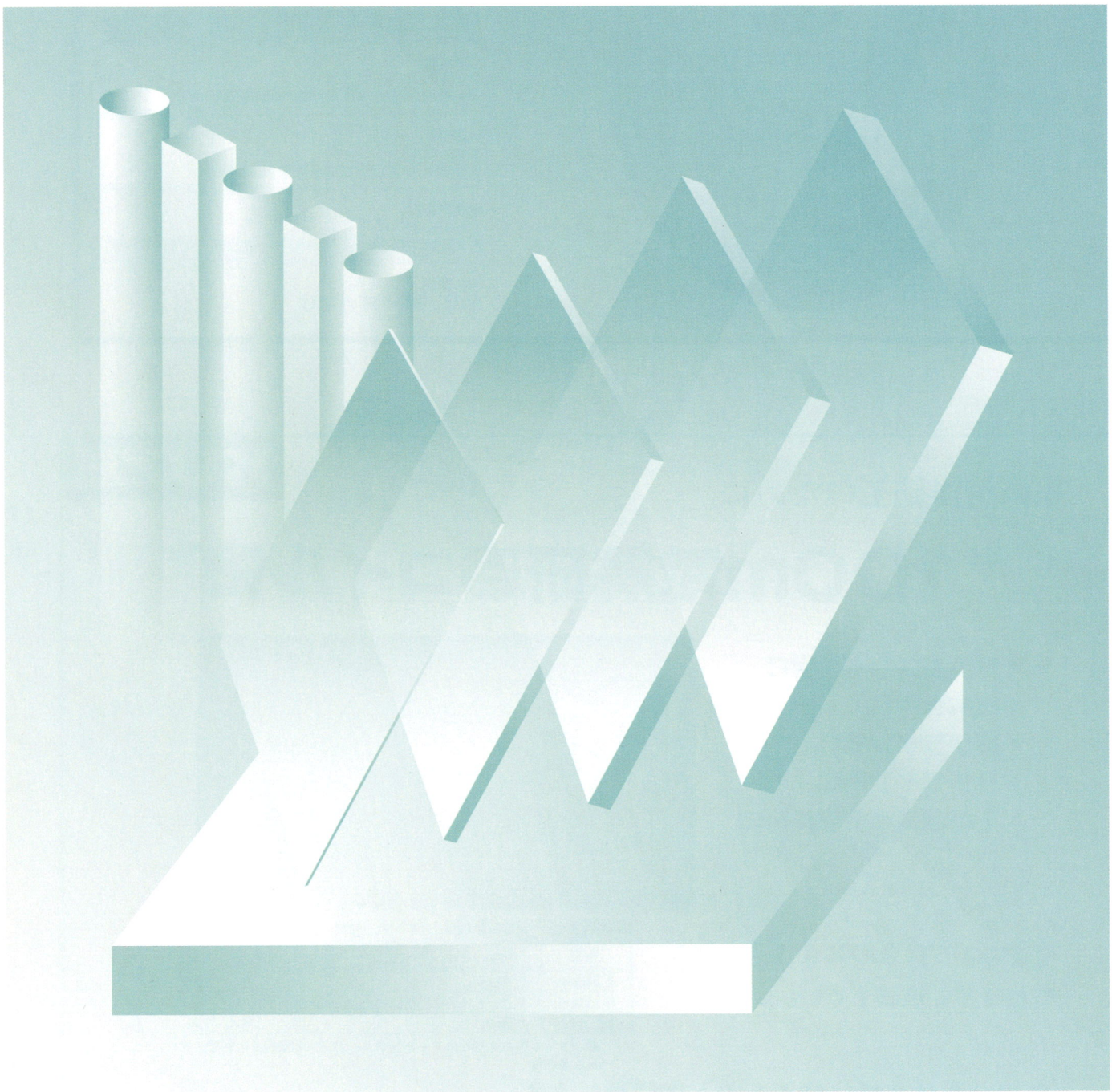
昭和28年2月26日第三種郵便物認可　平成21年3月1日　第58巻第2号（通巻641号）　隔月1日発行　ISSN 0495-7644

特殊鋼

2009
3
The Special Steel ——— Vol.58 No.2

特集／やさしく知る高機能特殊鋼



社団法人　特殊鋼倶楽部

特殊鋼 ③ 目次 2009

【特集／やさしく知る高機能特殊鋼】

Ⅰ．はじめに…… 愛知製鋼㈱　福井　康二　2

Ⅱ．機能特性と材料、用途

1．超の付く高強度・高靭性

（1）析出物を制御：超強力鋼（マルエージング鋼）
…… 日立金属㈱　伊藤　正和　4

（2）結晶粒を制御：超細粒鋼
……JFEスチール㈱　木村　秀途　6

（3）熱処理と伸線で制御：高炭素鋼線
…… 新日本製鐵㈱　山崎　真吾　8

2．特殊な環境での強度

（1）高強度材料はここに注意（耐遅れ破壊性）
…… ㈱神戸製鋼所　並村　裕一　10

（2）次世代エネルギーの水素を使いこなす
（耐水素脆性）…… 愛知製鋼㈱　中川　英樹　12

（3）高温環境で実力発揮（耐熱性）
…… 山陽特殊製鋼㈱　射場　俊彰　14

3．様々な環境に強い耐食特性

（1）大気、水環境での耐食性
…… 日新製鋼㈱　原田和加大　16

（2）腐食環境での疲れ強さ… 三菱製鋼㈱　大石　裕之　20

4．鉄は磁気の宝庫

（1）磁気を感じて力に変える軟磁性

1）強い力を引き出す（高磁束密度）：電磁鋼板
…… 新日本製鐵㈱　新井　聡　22

2）効率良く力を引き出す（高透磁率）
…… 日立金属㈱　中島　晋　25

3）さび、腐食環境に強い磁性材料：電磁
ステンレス鋼…… 東北特殊鋼㈱　佐藤　武信　27

（2）磁気に影響されず力を出しつづける：磁石
…… 日立金属㈱　村田　剛志　29

（3）磁気を感じない（非磁性）
…… 日本金属工業㈱　小野　寛　31

【編集委員】

委員長　並木　邦夫（大同特殊鋼）
副委員長　久松　定興（中川特殊鋼）
委　員　福井　康二（愛知製鋼）
〃　戒田　收（神戸製鋼所）
〃　西森　博（山陽特殊製鋼）
〃　中村　充（新日本製鐵）
〃　小山　隆治（住友金属小倉）
〃　稲垣　英利（大同特殊鋼）
〃　大久保直人（日新製鋼）
〃　大和田哲也（日本金属）
〃　小野　寛（日本金属工業）
〃　山崎　浩郎（日本高周波鋼業）
〃　足達　哲男（日本冶金工業）
〃　加田　善裕（日立金属）
〃　岡本　裕（三菱製鋼）
〃　中村　哲二（青山特殊鋼）
〃　池田　正秋（伊藤忠丸紅特殊鋼）
〃　岡崎誠一郎（UEX）
〃　石黒　賢一（三興鋼材）
〃　金原　茂（竹内ハガネ商行）
〃　甘利　圭右（平　井）

MGMT. SYS. RvA C 114　JAB QS, EMS Accreditations R006, RE018　NKKKQA ISO 9001 ISO 14001

あらゆる素材を次世代に向けて　HIRAI

ISO9001（全事業所）
ISO14001（特殊鋼部門）

JCSS 0088 は計量法に基づくトレーサビリティ制度のロゴです。
流量—小流量国家認定事業者

特殊鋼・高合金・半導体装置
株式会社平井
http://www.kk-hirai.co.jp/

本社：〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町2丁目17番9号
TEL.03-3667-7311（大代表）FAX.03-3667-7341～4
営業所：所沢・北関東・名古屋・静岡　加工センター：所沢・北関東
システム事業部（半導体）　システム事業部技術研究所

5．特殊鋼にはこんな機能もある
（1）熱による体積変化量を制御（熱膨張性）
……㈱YAKIN川崎　小室　真　33
（2）音や振動の伝わり方を制御（減衰能）
……大同特殊鋼㈱　渡部　健司　35
（3）変形しても加熱すると元に戻る金属：
形状記憶合金……大同特殊鋼㈱　小柳　禎彦　38
（4）低摩擦への挑戦（摩擦特性）
……㈱住友金属小倉　小山　隆治　40

Ⅲ．会員メーカーの機能材料
高加工性高炭素熱延鋼板『スーパーホット-F』
……JFEスチール㈱　42
電磁波吸収（磁性シート）……大同特殊鋼㈱　43
高機能耐熱ばね材シリーズ……日本精線㈱　45
NAS36　寸法変化を嫌う精密部材に最適
低熱膨張インバー合金
……㈱YAKIN川崎、日本冶金工業㈱　46

●一人一題：「アジアに2年」……㈱メタルワン　四戸　良治　1

■業界の動き ……47

▲特殊鋼統計資料 ……50

★倶楽部だより（平成20年12月21日～平成21年2月20日）…54

☆社団法人特殊鋼倶楽部　会員会社一覧 ……55

特集／「やさしく知る高機能特殊鋼」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	福井　康二	愛知製鋼㈱	技術企画部主査
委員	稲垣　英利	大同特殊鋼㈱	技術サービス部 主任部員
〃	内藤　靖	日新製鋼㈱	商品開発部特殊鋼開発チーム
〃	岡本　裕	三菱製鋼㈱	技術管理部
〃	甘利　圭右	㈱平井	常務取締役

いかに　より　お役に立つか

株式会社プルータス

ばね用・精密機器用
特殊鋼二次製品

本社 〒101-0032 東京都千代田区岩本町3-11-11
☎ 03-3861-0101　FAX 03-3863-6153
東京営業所 ☎ 03-3766-6301　FAX 03-3762-8130
北関東支店 ☎ 0282-86-6613　FAX 0282-86-6513
前橋支店 ☎ 027-266-8361　FAX 027-266-8363
仙台支店 ☎ 0224-55-1184　FAX 0224-57-1587
新潟プルータス ☎ 025-260-7701　FAX 025-260-7812
諏訪プルータス ☎ 0266-53-0775　FAX 0266-58-0104

一人一題

「アジアに２年」

㈱メタルワン
執行役員 線材・特殊鋼本部長　四戸良治（しのへりょうじ）

2005年・2006年とタイに居を構えアジアを歴訪する機会を与えられ、職務がら鉄鋼関連のメーカー、顧客を中心にいろいろと勉強させて頂きました。訪問した国はインド、パキスタン、バングラデシュ、マレーシア、シンガポール、ベトナム、カンボジア、インドネシア、フィリピンにタイとなります。これらの国の中でカンボジア以外の各国に製鉄業がある事は皆さんご存知の通りです。

特に、インドでは古くから製鉄業が発達しているわけですが、Qutub Minarというイスラム遺跡にIron Pillarがあるのも有名な話です。Iron Pillarは今で言えば耐候性鉄柱とでも言うのでしょうが、４世紀に古代式製鉄法で作られた鉄を鍛造成型した高さ約７メートル、重さ６トンの歴史的なフリー鍛造丸棒という事になります。不思議なのは地中に埋められた部分に多少の腐食が認められるだけで1600年もの間ほとんどさびが発生していないFe含有量98％の鉄柱です。インドの言い伝えでは、背を当てて後手に手を回せば幸せが訪れるといわれています。インド発の世界最大の鉄鋼メーカーの出現や、欧州・北米の鉄鋼メーカーを買収したインド製鉄業は技術の獲得とグローバル化により新たな旋風を巻き起こしていますが、私もあやかろうと古代技術の粋を集めた鉄柱に手を回そうと思ったものの、今では囲いが出来ておりそれは出来ないとの事。

アジアというとコピー商品も多く出回っているが、$５の本物のPoloのシャツとか、十数ドルから数十ドルのローレックスにヴィトンのバッグなど、装飾品からお酒、ゴルフセットまで何でもござれで、本物はどれだ？と何を信用して良いのかわからない土地柄。自動車部品から家電製品まで鉄と関係のある偽物も横行している中、まさか鉄鋼製品自体でコピー商品はないだろうと思っていましたら、豪州メーカーの建材用鉄板の偽ブランド品が売り出され訴訟に発展する事件もありました。ちなみに上海では日本でなかなか手に入らない焼酎「…年の孤独」がレストランに当たり前のように何十本も置いてあるので一度お試しあれ。

古代文明がありながら近代産業の起点とはなりえなかったアジア、偽物や模倣品もあり、移転技術の違いが微妙なアジアに今新たな時代が訪れています。人口10億を超す中国、インド、１億を超すインドネシア、バングラデシュ、パキスタン、更には１億に達しようとするベトナムを含め、世界の人口の５割を有するアジアの潜在消費パワーが現実のものとなるのはいつの日か。その時に日本はアジアの主役の一員として参加しているのか。欧米は？ BRICsのアジア以外の国々は？歴史は繰り返し古代三大文明の復活はなるのか等々思いは巡り、アジアンパワーに改めて魅了された２年間でした。

特集
やさしく知る 高機能特殊鋼

Ⅰ．はじめに

愛知製鋼㈱
技術企画部　福井康二

鉄および特殊鋼の商品力向上と言う場合、度々、高機能化というキーワードが使われます。例として経済産業省がまとめている「鉄鋼技術戦略マップ」[1)]に示される今後の取組むべき技術の中には、「資源循環・環境調和型新機能鋼材、新商品」「特殊鋼材の高清浄・高機能化技術」が挙げられ、新機能、高機能の鋼材、特殊鋼が求められています。ここで表現されている鉄および特殊鋼の高機能化とは、どのような機能を指しているのでしょうか。

国語辞典を調べてみると「機能」＝目的に応じた分化した働き、と言う意味があります。この意味を使うと、機能材料は、目的に応じた分化した働きを持った材料ということとなり、実態をよく表現したものと思います。また、英語では機能材料＝Functional Materialといいます。何かの入力信号が入ると、変換されて、別の出力を出す材料というように理解できます。また、本間、北田著「機能材料入門」[2)]によりますと、機能材料は以下のような定義分類が述べられております。

①多数の工業材料…、それらは素形材料（構造材料）と機能材料とに大別される。

②機能材料の中で比較的明瞭な材料群は、ある物理量を他の物理量に変える変換材料である。すなわち、電気⇔光、電気⇔磁気、電気⇔光というように、…。

③素形材料も広義には構造材料である。

④超高温、超高圧のような極端条件下で使用される材料は、素形材料ではあっても通常の素形材料とは桁違いの特性を要求される。これらの特殊な条件のもとで使用される素形材料も機能材料と呼ばれている。

ここで述べられた機能材料の分類を特殊鋼を中心とした鉄系の材料の機能に当てはめてみると、その分類イメージは**図1**のようになります。特殊鋼において、②の狭い意味での機能（変換機能）は、電磁気特性のみではないでしょうか。耐食性も減衰特性も、構造材料をベースにしたものと考えることができます。また、④の特殊な環境での強度・加工特性も機能に含まれ、④の分類に近いものとして、超の付く高強度・加工特性も機能に含まれると思います。ただし、ここで挙げている機能特性は、他の材料に比べ、単独で優れたものや、コストを含めたその他の特性とのバランスから見て、優れたもの、つまりその材料、それを使った用途部品で商品力を持たせることが出来る機能を挙げております。

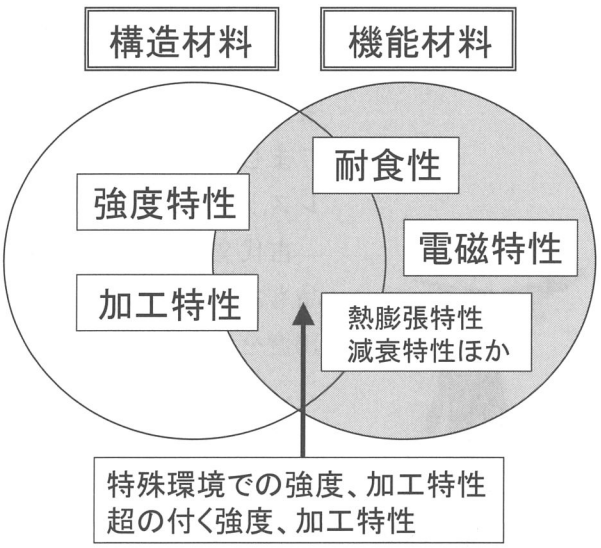


図　1　構造材料と機能材料の関係

表　1　特殊鋼の機能（本特集内容）

No.	機能特性の大分類	機能特性の小分類	鋼種、材質	用途例
1	超の付く高強度･高靭性	（1）析出物を制御：超強力鋼（マルエージング鋼） （2）結晶粒を制御：超細粒鋼 （3）熱処理と伸線で制御：高炭素鋼線	マルエージング鋼 超微細粒鋼 高炭素鋼線	CVTベルト 自動車足廻り部品など スチールコード、橋梁用ケーブル
2	特殊な環境での強度	（1）高強度材料はここに注意(耐遅れ破壊性) （2）次世代エネルギーの水素を使いこなす（耐水素脆性） （3）高温環境で実力発揮（耐熱性）	高強度ボルト用鋼 オーステナイト系ステンレス鋼 耐熱ステンレス鋼	高強度ボルト 高圧水素ガスタンク ごみ発電ボイラー
3	様々な環境に強い耐食特性	（1）大気、水環境での耐食性 （2）腐食環境での疲れ強さ	ステンレス鋼 ばね鋼	屋根・外装、給湯タンクなど 自動車用懸架ばね
4	鉄は磁気の宝庫	（1）磁気を感じて力に変える軟磁性 1）強い力を引き出す（高磁束密度）：電磁鋼板 2）効率良く力を引き出す（高透磁率） 3）さび、腐食環境に強い磁性材料：電磁ステンレス鋼 （2）磁気に影響されず力を出しつづける：磁石 （3）磁気を感じない（非磁性）	電磁鋼板 パーマロイ、アモルファス 電磁ステンレス鋼 磁石（希土類磁石） オーステナイト系ステンレス鋼	モータ、変圧器 変流器、磁気シールドなど 電磁弁、インジェクターなど ハイブリッド車用モータ モータシャフト、非磁性ばね
5	特殊鋼にはこんな機能もある	（1）熱による体積変化量を制御（熱膨張性） （2）音や振動の伝わり方を制御（減衰能） （3）変形しても加熱すると元に戻る金属：形状記憶合金 （4）低摩擦への挑戦（摩擦特性）	インバー合金 制振合金 形状記憶合金 低摩擦表面改質 DLC	半導体製造装置部材など バイトホルダー敷板など メガネフレーム、温度感応弁 切削工具コーティング 4WDカップリング、バルブリフター

本特集では、「やさしく知る高機能特殊鋼」と題し、上記分類にしたがって、**表1**に示すように、特殊鋼のもつ商品力のある機能について、その機能内容、原理の解説とその機能を発現、利用している材料、さらにはその材料の用途例について解説していきます。対象材料としては、特殊鋼を主体とし、その周辺のいわゆる鉄（Fe）を主原料として作られる材料で、特殊鋼メーカ、鉄鋼メーカにて製造している材料まで範疇を拡げております。「他にも入れるべき機能はあるぞ」と言われるかもしれませんが、あくまで商品力と言う意味で特殊鋼が優位であり、現状使われている機能を選んでおります。不足するものがありましたら、ご容赦願います。また、個々の機能は、物理的、化学的な特性になりますので、難しい用語の表現だけでは、その機能の内容がイメージしにくいという編集委員会でのご意見もあり、イメージできるような平易な言葉で分類し、解説することで、読者の皆さんにも理解していただけるようにこころがけております。

特殊鋼に関係深い、機能について理解し、より商品力の高い特殊鋼の製造、販売に役立てていただければ幸いです。

参考文献

1）特殊鋼Vol.57（2008）No.1、19-23

2）本間基文、北田正弘：機能材料入門(上巻)まえがき、1981、㈱アグネ

Ⅱ．機能特性と材料、用途

1．超の付く高強度・高靭性

（1）析出物を制御：超強力鋼（マルエージング鋼）

日　立　金　属　㈱
特殊鋼カンパニー　技術部　伊藤正和（いとう まさかず）

◇　析出強化とマルエージング鋼の概説

鉄鋼材料の強化機構には５種類あり、固溶強化、加工強化（硬化）、結晶粒度微細化、変態強化及び析出強化です。通常、強度（硬さや引張り強さ）が高くなると、ねばさや靭性が低下します。これらの強化機構の中で、結晶粒度微細化による強化は、靭性と強度の両方を向上させる方法と言われています。

さて、析出強化とは、合金の母相組織から硬い炭化物や金属間化合物が析出することによって材料を強化する機構です。炭素鋼や合金鋼の強度は炭素量と合金成分による固溶強化に加え、種々の炭化物が析出することによって、強度（硬さ）が高くなり、耐摩耗性や常温・高温強度が向上します。また、ステンレス鋼では、SUS631に代表される析出硬化型合金がありますが、Ni_3Alの金属間化合物による強化（硬さ）とステンレスの耐食性を兼ね備えた材料です。インコネル718などのNi基超耐熱合金と言われる材料は、前出のNi_3Alを更に多く析出させた高温用材料です。しかし、強度が上がると言うことは、靭性やねばさが低下することになります。析出強化において、強度を向上させ且つ靭性やねばさをあるレベルに保つには、柔らかい母組織に強化相を析出させてやれば、実用的に強度と靭性を両立させることが出来ます。それの典型的な例が、極低炭素マルテンサイトを時効析出によって強靭化させたマルエージング鋼です[1)]。即ち、低炭素の為、マルテンサイト変態直後の強度（硬さ）は低いので靭性が高い。これに金属間化合物を析出させて強化（硬さ）するのです。

マルエージング鋼の名前の由来は、マルテンサイト・エージング鋼です。本鋼は溶体化処理（Solution Treatment）で得られる低炭素マルテンサイトが高靭性であり、これを時効処理（Aging）すると、主にNi_3Mo（他にNi_3TiやNi_3Al）の析出によって強度が上昇します。但し、この析出相は時効時間と温度によって変化しますが実用上の時効温度範囲である480℃～520℃では、前出の金属間化合物が主体です。但し、過時効を含めた析出過程の詳細はまだ判明していない点もあり、今後の研究成果を待ちたいと思います。合金元素の役割は、炭素を極小にしているので、マルテンサイト変態を起こしにくくなるので、Ni等を多量に添加する必要がある。Mo及びTiも同様の効果があり[1)、2)] CoはMs点を上昇させるが、Moの固溶度を下げるので、Ni_3Moを増加させる効果があると言われています。

現在流通しているマルエージング鋼の種類は、

表　1　18% Ni系マルエージング鋼の化学成分（mass%）[3)]

名称	Ni	Co	Mo	Al	Ti	強度(耐力)例MPa
(200)クラス	18	8	3.2	0.1	0.2	1,430
250クラス	18	8	5	0.1	0.4	1,780
300クラス	18	9	5	0.1	0.9	2,140
350クラス	18	12	4	0.1	1.7	2,498

表1に示すように18% Ni鋼です。

クラス名称の由来は、耐力をksi（k・ポンド／インチ^2）表示したときの値です。

マルエージング鋼の用途は、その高い引張強度、疲労強度と靭性にあり、金型、溶接材料、航空機エンジン部品、原子力などに広く使用されている。

マルエージング鋼の溶解方法は、AlやTiを含むためVIM-VAR溶解が採用されています。特に航空機用途では3重真空溶解に規定があるものもあります。

◇　マルエージング鋼の新用途 —CVTベルト材料

地球環境保護の観点から、自動車に求められているのは、排ガスクリーン化や燃費向上です。これに加えて昨年の原油急騰により燃費への関心が高くなりました。そこでAT車に比べて約10%の燃費が向上する変速機としてCVT（Continuous Variable Transmission）が脚光を浴びました。技術の向上により、CVTの適用排気量の幅が広がり、全体での適用量が拡大されています。**図1**にCVTベルトの概念図を示しますが、リングベルトとエレメントから構成されたベルトがプーリー間で動力を伝達する構造になっています。マルエージング鋼はこのリングベルトに使用されています[4)]。実際に使用されているマルエージング鋼のクラスは250クラスであります。

溶接で接合されエンドレスとなったリングベルトは、溶接部の強度が低下しないという特性が必要です。マルエージング鋼は、溶接後に適切な溶体化処理を行うことにより、強度低下を防ぐことができるという利点があります。またプーリーとプーリーを繋いで回転するという機能上、引張強さ、靭性、疲労強度が要求されます。特に疲労強度については、材料内部に存在する介在物の大きさによりベルトとしての信頼性が大きく左右されます。そのため、マルエージング鋼の溶解方法を厳しく管理することにより破壊の起点となる非金属介在物（酸化物系及び炭窒化物系）を極力少なく、そして小さくする必要があります。

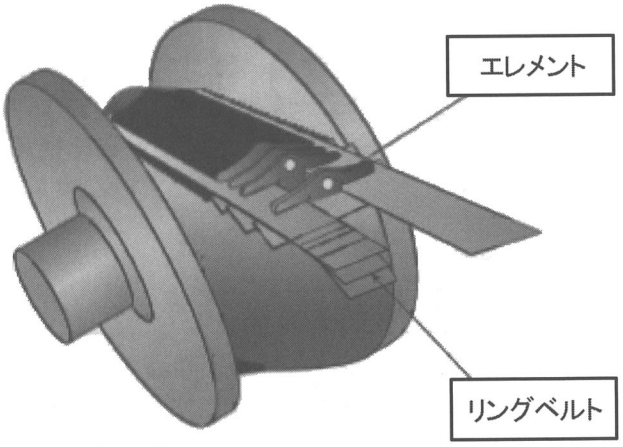


図　1　CVTの機構とベルト[4)]

参考文献

1）鉄鋼材料の設計と理論（丸善）藤田利夫他　1981年　P137
2）Maraging Steels Cartech情報
3）マルエージング鋼の組織と強靭性　河部義邦　日本金属学会会報　14巻　第10号　1975　P767-P777
4）日立金属技報　Vol21　2005年1月　P25

（2）結晶粒を制御：超細粒鋼

JFEスチール㈱　スチール研究所
棒鋼・線材研究部　木村秀途（きむらひでと）

◇　微細結晶粒の利点

金属材料のほとんどは、細かい結晶の集合体です。一つ一つの結晶を結晶粒とよび、通常は方向の無秩序な多くの結晶粒が、境界（結晶粒界）を介して隣り合い、材料を構成しています。

金属材料は、結晶粒の寸法（結晶粒径）を微細にするほど、強度が上昇します。細粒化による強化現象は古くから定量的に検討されており、材料の降伏強さ（弾性限界を超えて初めて不可逆な変形が残るときの強さ）σは、結晶粒径の平方根の逆数に比例することが知られています（即ち、$\sigma \propto d^{-1/2}$；これはHall-Petchの関係[1]と呼ばれます）。

金属材料を強化する方法としては、加工による硬化、異種の元素を溶かし込む事による固溶強化、組織に第二相が生じて強化する析出強化、焼入れ等により強化する組織強化など他にいろいろとありますが、これらの多くは強度が上昇するにつれ、粘り強さの指標である靱性は低下してしまいます。ところが、結晶粒の微細化は、強度が上昇し、しかも靱性向上とも両立する数少ない強化方法です。

◇　なぜ細粒材は強いのか

結晶体が変形するときは、規則正しく並んでいるはずの原子配列の線状のズレ（＝転位）が、応力の作用で流れるように位置を変えて伝わり、全体の変形に沿った形に結晶の形を変化させて行くのが最も通常です。

個々の結晶の内部では、転位は比較的低い応力で配列のズレを伝える事が出来ますが、一旦結晶粒界に到達すると、これを越える事は出来ません。粒界で重なり合って堆積してしまいます。さらに変形させようとすると、相当大きな抵抗を示すようになります。

結晶粒が小さいほど、転位はすぐに粒界に達し、変形に大きな抵抗が加わるために強度が上昇すると考えると、細粒材の強度が高い事の理解が可能です。

一方の靱性についてですが、端的には、結晶引いては材料が破壊までに要するエネルギーの総和が、靱性の大きさに対応すると言われています。

力が加わったときの破壊を考えるとき、結晶には割れやすい方向があり、また結晶粒界で割れる場合も含めて、隣り合う結晶の方向性がなるべく不揃いで割れの経路が曲がりくねっていたほうが、破壊までに要するエネルギーの総和は増加します。ランダムな細粒の集合体であるほど、破壊の方向が揃わずに曲がりくねる結果、破壊までのエネルギーが上昇すると考えてください。こうして、細粒化は靱性の向上にも利点をもたらします。

こうした訳で、実用材料では結晶粒が微細化するよう、あるいは少なくとも巨大化しないよう、製造方法や熱処理が配慮されています。**図1**[2]

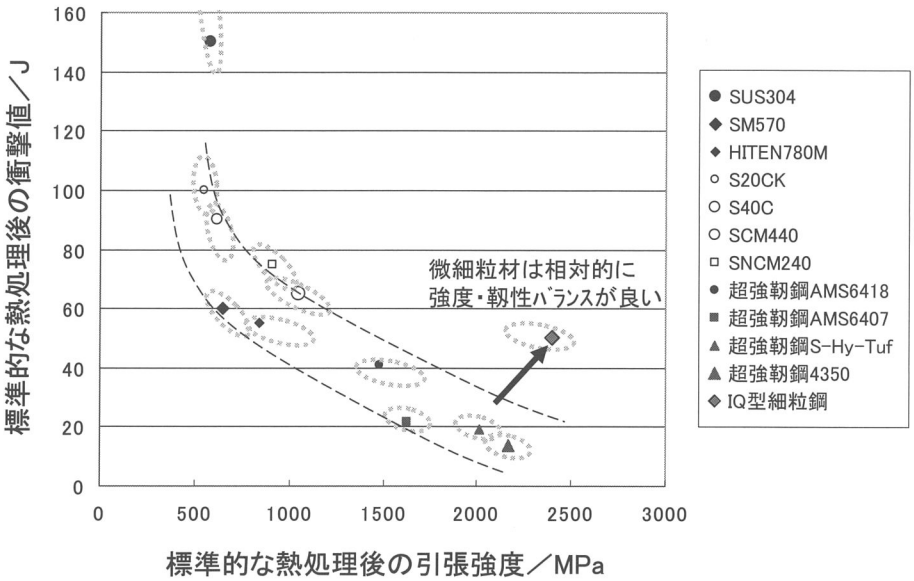


図　1　鉄鋼の強度・靱性バランスの例

に、実用材料の標準的な熱処理後の引張強度と靱性（衝撃値）の関係を示しますが、強度と靱性とはトレードオフの関係にあり、データはほぼ図中の破線の範囲内に収まっています。しかし◆で示した微細粒材料では、このデータ範囲を外れる良好な強度、靱性バランスを有し、これは微細粒化の効果が現れていると考えられます。

以上、鉄鋼材料の結晶粒微細化は、構造材料用途に利点を有します。その他、例えば超塑性現象なども、微細粒のもたらす特性ですが、本稿では言及しません。

◇　どうすれば微細になるか

金属の細粒化の手段は数多くあります。室温付近での加工と熱処理の組合せ、析出物を分散させて粒径の巨大化を妨げる方法、細粒の金属粉末の焼結、加工と加熱冷却を組合せる方法（例えば析出温度・変態温度付近で加工や加熱冷却を繰返した後の徐冷など[3]）、短時間焼入れによる方法などです。

この短時間焼入れですが、主として鉄鋼材料のマルテンサイトとよばれる硬い焼入れ組織を強靭化するのに特に有効です。

焼入れでは、予め850℃～1150℃の高温に保持した後、急冷して焼きを入れますが、この加熱中に、結晶粒は粒成長の熱エネルギーを与えられて大きく成長してしまいます。しかし、周波数の高い電磁波で誘導加熱して焼きを入れる「高周波焼入れ（Induction Quenching、IQ）」は急熱と急冷の組合せなので、粒成長の熱エネルギー付与を最小限にでき、粒成長が抑制され細粒を保ちます。こうした短時間焼入れでマルテンサイト組織を細粒化すると、優れた強度・靱性バランスが得られます。

◇　細粒材料の例

室温加工＋熱処理による細粒材は、従来から数多く報告されています。近年では1997～2001年度に展開された国家プロジェクト（６大学、５企業が参画）で、１μm級のフェライト結晶粒を有する微細組織鋼が厚さ５mmの板材として開発されました[4]。

短時間焼入れタイプの微細粒の例としては、**写真１**に示す、結晶粒径２μmのオーステナイト組織を有するIQ型超細粒鋼を紹介します[5]。これは、前述の**図１**で◆印のデータ点のものです。2,500MPaに近い引張強さを有するにもかかわらず、靱性も50Jと相対的に高いのが特徴です。

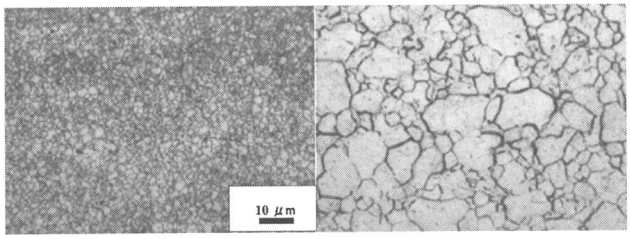


写真１　焼入型細粒鋼の光学顕微鏡オーステナイト組織（左）　結晶粒径は約２μm　右は同じ倍率の汎用材，JIS S53C

本材料は中炭素鋼に0.4% MoとBを添加し、微細粒化しやすい性質を有する構造用鋼です。Moは焼入れ前の元組織を細粒向けに整える役割（ベイナイト安定化）と、焼入れ時の加熱中に結晶粒の成長を抑制する作用を兼ねていると考えられます[5]。

◇　細粒材料の用途

強度と靱性を兼ね備える事は、構造用材料として理想的です。上述の超細粒材料に限らず、こうした細粒型の高性能材料は、自動車の足回り部品に適用する事で、部品の強度レベル向上、ひいては寸法小型化による車体の軽量化などへの貢献が期待されています。

さらには、強靭性の特徴を活かし、産業機械等の機械部品として、また建設用工機の部品材料としても優良な特性を発揮する事が期待でき、幅広い用途への適用が展望されます。

参考文献

1）J. Friedel：Dislocations（Pergamon Press），(1964)，p.140
2）丸善：「金属データブック　４訂版」、㈳日本金属学会編（2004）
3）R.A.Grange：Trans.Quart.ASM.，59（1966），p.26
4）例えば、高木節男：材料とプロセス、10、No.6（1997）、p.1176-1178
5）Y.Omori，T.Hayashi，N.Kurosawa，K.Uwai，K.Hase，H.Kimura and T.Toyooka：Intnl.Conf.New Developments in Long&Forged Products；Metallurgy and Applications；June（2006），Winter Park，Colorado

（3）熱処理と伸線で制御：高炭素鋼線

新日本製鐵㈱　技術開発本部
君津技術研究部　山崎真吾（やまさきしんご）

◇　高炭素鋼線とは

高炭素パーライト鋼を伸線して得られる高炭素鋼線は実用鋼の中では最高の強度を誇り、4,000MPa程度の強度の製品が実用化されています。鋼材の炭素量や伸線条件の組み合わせによって、様々な線径と強度に調整することが可能で、自動車用タイヤの補強材や、橋梁用のめっき線材として、広く用いられています。高炭素鋼線を得るためには、以下に示すように伸線前のパーライト鋼の高強度化と、伸線工程における延性の確保が重要です。

◇　パーライト鋼の高強度化

Fe-C二元系の共析組成（0.77％C）に近い成分の鋼を、オーステナイト（γ）温度域に加熱後、550℃前後の温度域で保持することによって、**図1**に示すような、軟質相であるフェライト（α）と硬質相であるセメンタイト（θ）の層状組織であるパーライト組織が得られます。パーライト組織を高強度化するには、①α／θ層間隔（ラメラ間隔）の微細化、②αの固溶強化、③θ相の体積率の増加、が有効です。ラメラ間隔は恒温保持温度を低下させることや、Crの添加で微細化できます。αはSi添加による固溶強化で強度が増加します。θは鉄と炭素の化合物であるため、炭素量を増加させることでその体積率は増加します。最近では1.0％程度までの高炭素鋼が実用化されています。

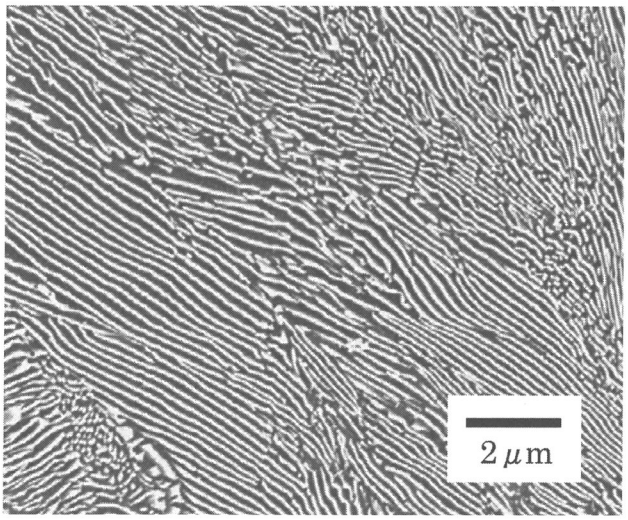


図　1　パーライト組織の走査型電子顕微鏡写真
白い部分がセメンタイト、黒い部分がフェライト。

◇　伸線による高強度化

伸線とは、ダイスを用いた引抜き加工であり、1パス当たり10～30％の減面率の加工を繰り返すことにより、鋼線を細経化すると共に高強度化する工程です。鋼線の工業的な製造工程では、数パスから20パス以上の伸線を連続的に行います。パーライト鋼の伸線工程においては、層状のラメラ組織が伸線方向に揃うと同時に、αとθが薄く引き延ばされるため、ラメラ間隔は微細化し、伸線材は伸線方向に伸延した微細な繊維状組織を呈するようになります。

図2に炭素量が0.82％と0.92％C鋼の伸線にお

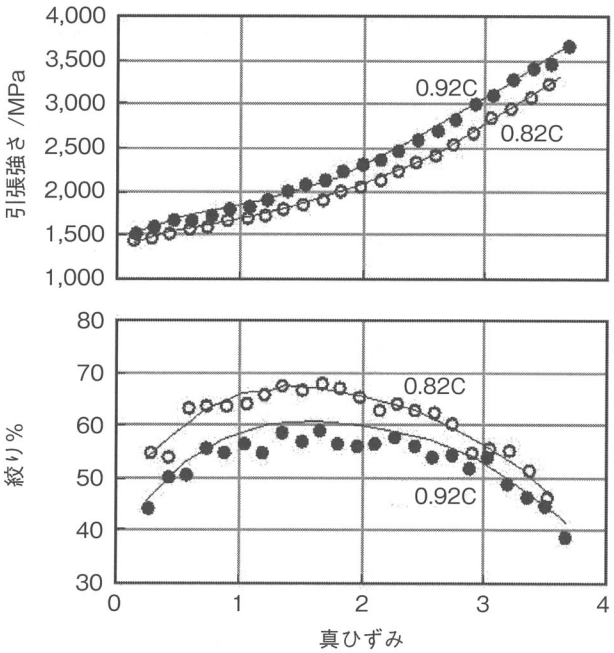


図　2　伸線による引張強さと破断絞り値の変化

ける、真ひずみと強度および絞り値の関係を示します。高炭素鋼は強化相であるθの体積率が高いため、伸線前の強度が高く、伸線による加工硬化も大きいのが特徴です。一方、延性の指標である絞りは真ひずみ1.5程度までは、金属組織が繊維化するために増加しますが、その後は高強度化に伴い減少します。また、鋼線はコードあるいはロープとして撚り合わせて使用されるため、ねじり（捻回）特性が特に重要な延性特性となります。ねじり特性は、破断に至るねじり回数や破断時の縦割れ（デラミネーション）の発生の有無によって評価されます。鋼線の延性は、加工ひずみが大きくなるにしたがって低下するため、延性を確保しつつ目的の強度を得るためには、鋼の炭素量を増加させ、伸線前のパーライト鋼の強度を上げる、加工ひずみを低下させることが有効です。また、鋼線の延性は、炭素量と加工ひずみが同じでも、伸線中の鋼線の温度が高くなると低下します。これは、変形を担う転位という欠陥が、鋼線中の炭素や窒素原子によって固着され、動きにくくなるためです。工業的な伸線においては、潤滑剤、伸線パススケジュールや冷却の工夫により、鋼線の温度の上昇が極力抑制されています。しかしながら抜熱速度は鋼線径に大きく依存するため、実用化されている鋼線の強度は、後述するように細径商品の方がはるかに高くなります。

◇　高強度鋼線の適用例

スチールコード用鋼線：自動車のタイヤには剛性、操縦安定性、転がり抵抗（燃費向上）、乗り心地など、様々な性能が求められます。スチールコードは補強材として用いられ、これらの特性の向上に寄与しています。スチールコードは乗用車用タイヤではベルト部に、トラックやバスなどの大型車では側面部のカーカスにも使用されており、その使用量は乗用車用タイヤ１本当たり１kg程度となります。一般的なスチールコードの成分はJIS G3502のSWRS72A ～ 82A相当で、線径は0.2 ～ 0.4mmです。スチールコードの強度は、1970年代には2,800MPa、1980年代には3,600MPa、2000年以降は0.9％以上の高炭素鋼により、4,000MPa級まで高強度化が進んでいます。

橋梁用メインケーブル：橋梁には種々の方式がありますが、数百m規模以上の長大橋では、斜長橋もしくは吊橋となります。これらの橋梁の重量を支えるメインケーブルに、φ５～７mmの高強度鋼線が用いられています。1940年代以降、永らく1,600MPa級止まりでしたが、1998年に開通した明石海峡大橋にて1,800MPa級の鋼線が採用されました。明石海峡大橋は橋長3,911mの世界最長の吊橋で、φ５mm－1,800MPa級鋼線を36,000本も用いた、直径約1.2mのストランドが用いられています。この鋼線の成分は0.8C-1.0Si-0.8Mnで、伸線後に施す溶融亜鉛めっき処理時に強度が低下しないように、Siを１％程度添加しています。最近では、圧延・伸線技術の発展に伴い、0.88％Cのφ７mm－1,800MPa級の鋼線が採用されています。

PC鋼線：コンクリートは引張応力には割れやすく、圧縮応力には強い性質があります。そのため、コンクリート製の橋やポールには、緊張力（pre-stress）を付与した鋼線を埋め込み、コンクリートに圧縮応力を付与することで割れを防止しています。この鋼線がPC鋼線です。従来の橋梁用PC床板には、JIS G3506のSWRS82Bを伸線したφ５mm－1,900MPa級の鋼線を拠り合わせたストランドが用いられていますが、2006年に、1.00C-0.87Si-0.41Mn-0.21Cr-0.07V材を用いたφ５mm－2,300MPa級のPC鋼線が実用化され、実橋に採用されています。

以上のように、高炭素鋼線は実用鋼では最高の強度と延性を両立させた材料であり、社会基盤整備や耐久消費材に使用されています。

2．特殊な環境での強度

（1）高強度材料はここに注意（耐遅れ破壊性）

㈱神戸製鋼所
線材条鋼商品技術部　並村裕一（なみむら ゆういち）

◇　遅れ破壊とは

遅れ破壊（Delayed fracture）とは、別名静的疲労（静的疲れ：Static fatigue）破壊と呼ばれ、静的な引張応力状態下に置かれた高強度部材がある時間経過後に突然脆性的に破断する現象である。特に鋼材強度が高いほどその発生の危険性が高く、例えば通常の低合金焼入れ焼戻し（調質）鋼では引張強さが1,200MPa以上になると遅れ破壊感受性が高くなることが知られている。

◇　遅れ破壊はなぜ起こる

高強度鋼の遅れ破壊は、製造工程や使用環境から鋼中に侵入した水素がねじ部や腐食ピットなどの引張応力集中部近傍に集合して、破壊を引き起こすいわゆる水素脆化機構によるものと考えられている。この水素脆化による破壊は、鋼中への水素の侵入時期により２種類に大別される。**図１**にこれら高強度鋼の遅れ破壊機構を概念的に示し、内部水素起因型と外部水素起因型の遅れ破壊機構について説明する。

１．内部水素起因型

めっきボルトやタッピンねじ、プレストレスト・コンクリート用鋼棒に見られるように、製造工程中に侵入した水素が原因となって比較的短時間に遅れ破壊が生ずる場合であり、冬場の低温環境下で負荷後数日以内に起こり易い。ボルト製造中に侵入した水素が鋼中に溜まり、ボルト締結後ねじ部などの応力集中部に拡散、集合して遅れ破壊を起こすケースであり、ボルトのめっき工程で鋼中に侵入した水素による遅れ破壊が典型例（めっき脆性とも言う）である。

２．外部水素起因型

摩擦接合ボルトに見られるように使用中にその

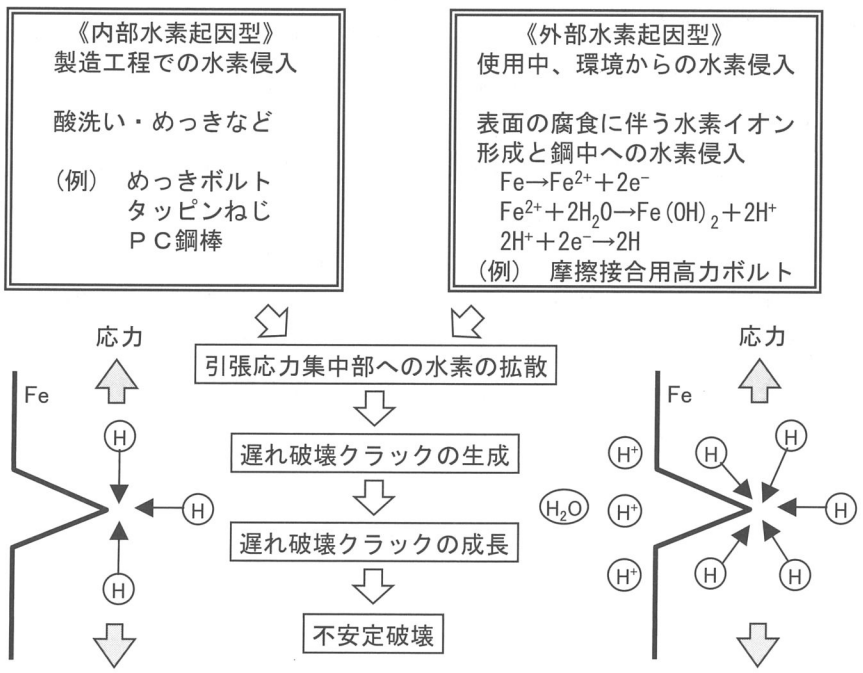


図　1　鋼材の水素脆化による遅れ破壊機構

表　1　高強度ボルト用鋼の代表化学成分例（mass%）

		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Ti
調質型	A	0.37/0.42	≦0.10	0.40/0.60	≦0.010	≦0.010	0.85/1.15	0.90/1.10	添加	添加	添加
	B	0.40	0.05	0.50	＜0.010	＜0.010	1.20	添加	添加	－	－
	C	0.33	＜0.10	0.30	≦0.015	≦0.005	1.20	1.00	添加	－	－
パーライト鋼線型	D	0.80/0.85	0.12/0.32	0.60/0.90	≦0.025	≦0.025	添加	－	－	－	－

環境から侵入する水素が主原因となる場合であり、比較的高温の湿潤環境で起こり易い傾向がある。締結されたボルト表面が腐食環境にさらされ表面の腐食進行に伴ってH^+が発生、鋼中に侵入した後、応力集中部に集合して遅れ破壊クラックを生じるケースである。

上記いずれの場合でも焼入れ焼戻しした高強度鋼が遅れ破壊を起こすには、引張応力の存在と鋼材中の水素の存在が必要であると考えられており、鋼材が高強度になるほど、小さい応力と少ない水素量で破壊が起こるようになる。

◇　耐遅れ破壊性に優れた鋼材

遅れ破壊は旧オーステナイト粒界割れが支配的であるとの特徴から、旧オーステナイト粒界への水素の拡散を防止するとともに粒界強化を図ることにより、耐遅れ破壊性の改善を図っている。高強度ボルト用鋼の代表化学成分例を**表1**に示し、高温焼戻し型マルテンサイト鋼（調質型高強度ボルト）と冷間伸線加工型パーライト鋼（パーライト鋼線型高強度ボルト）について、以下に紹介する。

1．高温焼戻し型マルテンサイト鋼（調質型高強度ボルト）

①不純物のP、Sを極力減らすと共に、P、Sの粒界偏析を促すMnを減らすことにより、粒界強化を図る。

②V、Ti、Nbなどの添加により結晶粒を微細化し、粒界強化を図るとともに鋼材の靱延性を向上させる。

③析出硬化型の元素であるMo、V、Tiなどを添加し、高温焼戻し処理を行うことにより、微細な炭窒化物を析出させる。微細な析出物は、応力集中部に拡散し遅れ破壊を引き起こすと考えられている水素をトラップ（無害化）する。更に高温焼戻しは、旧オーステナイト粒界のフィルム状セメンタイト析出を防止し、粒界強度の低下を抑制する。

2．冷間伸線加工型パーライト鋼（パーライト鋼線型高強度ボルト）

①パーライト鋼の旧オーステナイト結晶粒界が残存しない特徴を利用し、粒界破壊を抑制する。

②パーライト中のセメンタイト－フェライト界面やフェライト中の転位によって、水素をトラップする。

◇　用途例

調質型は、1,300MPa級および1,400MPa級高強度ボルトに適用されており、土木建築用ボルトや自動車用のコンロッドボルトなどに使用されている。

パーライト鋼線型は、1,600MPa級超高強度ボルトとして自動車用のコンロッドボルトに使用されている。

(2)次世代エネルギーの水素を使いこなす(耐水素脆性)

愛知製鋼㈱
技術本部　技術開発部　中川英樹

◇　燃料電池自動車と水素ステーション

環境汚染、地球温暖化、エネルギー源の枯渇化の問題から、水素をエネルギー媒体とした水素エネルギー社会の構築に向け、様々な取組みが推進されている。それら取組みのなかでも、自動車への水素エネルギーの適用は、市場規模の大きさ、CO_2削減可能量、脱石油依存への直接的な寄与などの観点から、特に注目されている。本稿では、水素を燃料とする燃料電池自動車の水素貯蔵手段として主流な高圧水素ガス、その水素を自動車に供給する水素ステーションへの輸送手段およびステーションでの貯蔵手段として想定される液体水素を取り上げ、各々の環境における鉄鋼材料側から見た問題点（脆性）と、それを回避するための材料選択について述べる。

◇　高圧水素ガス

現在実用化されている燃料電池自動車の水素貯蔵方式としては、高圧水素ガスタンクが主流となっている。実際、35MPa高圧水素ガス容器に関しては、2005年３月に例示基準（圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準（JARI-S001)、同・附属品の技術基準（JARI-S002)）が発行されており[1) 2)]、容器の認定体制も確立している。この基準では、使用できる金属材料がSUS316Lオーステナイト系ステンレス鋼およびA6061アルミニウム合金の２種類に限定されている。これは、これら２種類の金属材料が高圧水素ガス環境において、水素ガスの影響を受けにくく、大気環境と遜色ない機械的性質を示すことに拠っている。

鉄鋼材料の多くは、水素ガス環境において脆化を起こす。これは水素ガス環境脆化と呼ばれ、古くは1960年代のNASAの研究まで遡る。一般には、水素の固溶度が非常に小さく、水素の拡散速度が大きいマルテンサイト鋼やフェライト鋼では、水素ガス環境脆化が顕著であり、一方、水素の固溶度が大きく、水素の拡散速度が小さいオーステナイト鋼では、水素ガス環境脆化が起こり難いと考えられる。国内においても、産業技術総合研究所を中心に多くの研究がある。実際、水素ガス環境脆化の度合いが大きい鉄鋼材料としては、SCM440、SNCM439、SUS630、S35C、S55C、SUS304などが挙げられる。一方、その度合いが小さい鉄鋼材料としては、SUS316L、SUS310Sなどが挙げられる[3)]。

一例として、SUS316L、SUS304オーステナイト系ステンレス鋼の70MPa高圧水素ガス環境および大気環境における引張試験結果を**図１**に示す[4)]。横軸はストローク変位、縦軸は引張荷重を初期断面積で除した応力である。SUS316Lでは、70MPa高圧水素ガス環境においても、大気環境

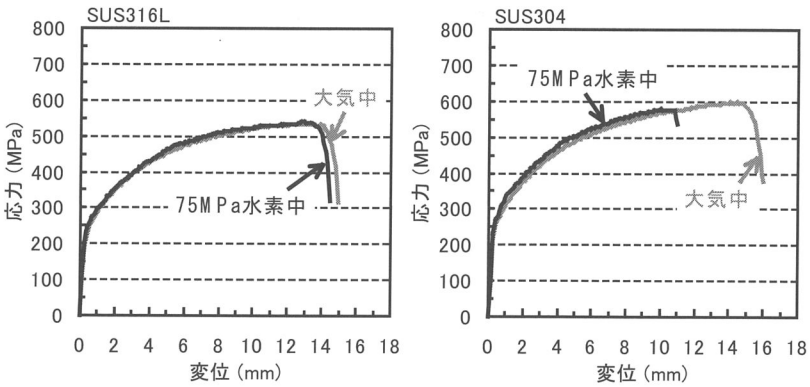


図　1　SUS316L、SUS304の70MPa高圧水素ガス環境および大気環境における変位－応力曲線

と同様な変位－応力曲線を示すことがわかる。一方、SUS304では、70MPa高圧水素ガス環境において、大気環境より早期に破断していることがわかる。これは、上述した水素ガス環境脆化と呼ばれており、その破面にも脆性的な特徴ある様子が観察される。SUS304は、オーステナイト系ステンレス鋼であるものの、引張変形中に、その一部がマルテンサイト変態するため、水素ガス環境脆化を起こすものと考えられている。

現在、燃料電池自動車の航続距離の延長を目的に、70MPa高圧水素ガス容器に関する新基準の策定および高強度材料や廉価材料など使用できる金属材料の拡大も検討されている。

◇　液体水素

水素は液化することで体積が約1/800になるため、液体水素は効率的な水素の輸送・貯蔵媒体と考えられる。しかしながら、液体水素の沸点は約－253℃と極低温であり、大気との温度差は270℃程度に達する。また、現在液化貯蔵されている液化天然ガス、約－160℃と比較しても、90℃程度も低温域になる。このような極低温域では、上述の水素ガス環境脆化ではなく、低温脆化が問題となる。したがって、液体水素の輸送・貯蔵用容器には、低温脆化を起こさない金属材料の選定が求められる。

鉄鋼材料の多くは、低温環境において低温脆化を起こす。マルテンサイト鋼やフェライト鋼は、ドライアイス温度、約－80℃でも低温脆化を示す。液化天然ガスのタンク用鋼材として用いられる9％Ni鋼でも、液体水素温度では低温脆化を示す。液体水素温度でも使用可能な鉄鋼材料としては、SUS304LやSUS316L等のオーステナイト系ステンレス鋼のみが挙げられる。

液体水素の輸送・貯蔵用容器の製作には、溶接は不可避であり、オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の極低温域における脆化が懸念される。一例として、様々な溶接方法で溶接したSUS316L溶接部の極低温域におけるシャルピー衝撃特性を**図2**に示す[5]。SUS316L母材およびいずれの溶接金属においても、室温に比べて、極低温域では低い吸収エネルギーを示しており、特に溶接金属の低下度合いは大きいことがわかる。オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属には、凝固割れを回避するため、10％前後のδフェライトが生成するように溶接棒が設計されており、そのδフェライトの低温脆化に起因して、全体的に低い吸収エネルギーを示していると考えられる。一方、RPEB（減圧電子ビーム）溶接では、SUS316L母材並みの高い吸収エネルギーを示しており、大変に興味深い。液体水素の輸送・貯蔵用容器の設計・製作においては、溶接方法の選定、評価に十分注意する必要がある。

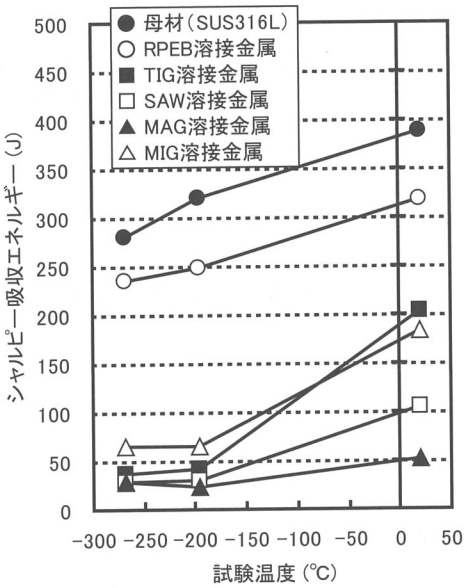


図　2　SUS316L溶接金属のシャルピー衝撃特性に及ぼす各種溶接方法および試験温度の影響

これらの研究開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の各プロジェクト「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）研究開発」、「水素安全利用等基盤技術開発」、「水素社会構築基盤整備事業」において精力的に実施されている。詳細には、それらの成果報告書[6]および「水素の有効利用ガイドブック」[7]を参照頂きたい。

参考文献

1）http://www.meti.go.jp/feedback/downloadfiles/i50224hj.pdf
2）http://www.meti.go.jp/feedback/downloadfiles/i50224jj.pdf
3）http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vol07_07/special/p06.html
4）中川英樹：CAMP-ISIJ Vol.21（2008）1273.
5）http://www.nedo.go.jp/informations/other/200716_1/10appendix_b.pdf
6）http://www.nedo.go.jp
7）http://www.nedo.go.jp/informations/other/200716_1/200716_1.html

（3）高温環境で実力発揮（耐熱性）

山陽特殊製鋼㈱
研究・開発センター　射場俊彰（いばとしあき）

◇　耐熱性（耐高温腐食性）

昨今の技術の発達に伴い、機械または装置に使用される材料は高温、あるいは厳しい腐食環境にさらされることが多くなってきています。先進超々臨界圧火力発電、ごみ発電に使用されるステンレス鋼管などはその一例で、今後の技術革新は材料がどの程度の高温酸化、高温腐食に耐えるかによって決まると言っても過言ではありません。

高温で使用される鋼材には、高温で化学的に安定であり、機械的性質が良く、組織が安定であることが求められます。つまり、高温の空気、ガス、液体などの中で長時間さらされても、酸化や腐食が少なく、強度も比較的減少しないことが必要となります。

鋼材を空気中で加熱すると、酸化が進行し、表面にFe酸化物が生成されます。この生成した酸化物の膜を通して、酸化性ガス（酸素）が作用して酸化を進めます。高温になるほどこの酸化の進行は速くなります。したがって、酸化が進行しないようにするには、表面にできた酸化物層が、緻密でよく密着し、それ以上の酸化の進行を防止するような作用を備えていればよいことになります。

鋼材にこのような作用を持たせるためには、Feよりも酸化しやすい金属を添加することが有効です。Al、Ti、Si、Crなどがその例で、例えば、CrやAlを多く含む鋼材を、高温で加熱した時にできた表面の酸化物を分析すると、Cr_2O_3、Al_2O_3の含有量が多く、Fe_2O_3の含有量は極めて少ないことが確認されています。つまり、AlやCrがFeよりも先に選択的に酸化されて、表面に保護膜をつくり、鋼材の酸化の進行を防止するという役割を果たしたことになります。

一般的にCr_2O_3、Al_2O_3およびSiO_2は保護膜として良好であり、耐酸化性を得るためには、Cr、Al、Siなどが多く添加されています。しかし、過度に添加すると加工性や靭性が悪化するので、実用的には主としてCrが利用され、AlとSiは補助的に添加される方法が主流となっています。

当社では、この保護膜の特性をうまく利用することで、ごみ発電ボイラー用ステンレス鋼管QSX5を開発しました。QSX5はJIS規格鋼であるSUS310Sの耐高温腐食性をさらに改善させた材料です。QSX5は東京都中央地区清掃工場で採用されています（2001年８月竣工）。以下にQSX5の特長をご紹介します。

◇　高効率ごみ発電ボイラー用ステンレス鋼管QSX5

１．化学成分

QSX5の化学成分を**表１**に示します。QSX5は、優れた耐高温酸化性、耐高温腐食性を有するJIS規格鋼のSUS310S（概略成分：25％Cr－20％Ni）の、ごみ焼却環境で発生する塩素（Cl）系や硫黄（S）系ガスなどの腐食環境下での耐高温腐食性をさらに改善させた材料です。耐高温腐食性を向上させるために３％Siと１％Moを添加し、さらに材料の鋭敏化抑制のための低C化とNbの添加を行っていることが特長です。

表　1　QSXの化学成分（％）

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb
QSX5	≦0.03	2.50～3.50	≦1.00	≦0.040	≦0.030	22.00～25.00	24.00～26.00	1.00～2.00	0.10～0.30
SUS310S	≦0.08	≦1.50	≦2.00	≦0.045	≦0.030	19.00～22.00	24.00～26.00	—	—

2．耐高温腐食性

清掃工場ごとにごみ質が異なるために焼却灰の腐食性が大きく変化するので、実機清掃工場で採取した２種類の焼却灰を用いて、過熱器管が暴露されるガス環境を模擬した条件で高温腐食試験を実施したところ、QSX5はごみ発電用の過熱器管として広く使用されているSUS310S改良規格鋼と比較して、腐食減量が良好であることが確認できました。さらに、東京都の清掃工場にて実証試験を行ったところ、当社の開発鋼であるQSX5が、既存材に対して同等以上に優れた耐性を有することが実証されました。**図１**に実証試験の結果を示します。

試験後の過熱器管断面を分析したところ、QSX5の腐食表面では、緻密なSiO_2とCr_2O_3の保護膜が形成されていることが確認できました。つまり、ごみ燃焼環境において、QSX5の優れた耐高温腐食性は、主にSiの添加でのCrとSiの相乗効果によるもので、それにより形成されるSiO_2とCr_2O_3の緻密な保護膜が、ClやSなどの腐食因子のアタックを抑制する働きをしたものと考えられます。

3．強度特性

QSX5はSUS310Sと同等の強度特性を示し、ほぼ同等の許容引張応力特性を有しています。

4．加工性と溶接性

QSX5はオーステナイト組織を示しており、良好な曲げ性、押し広げ性を有しています。また、溶接には溶接部の耐腐食性、強度を維持するためNCF625相当の溶接棒を使用することになっており、さらに溶接入熱を可能な限り抑えることで、良好な溶接継ぎ手が得られます。

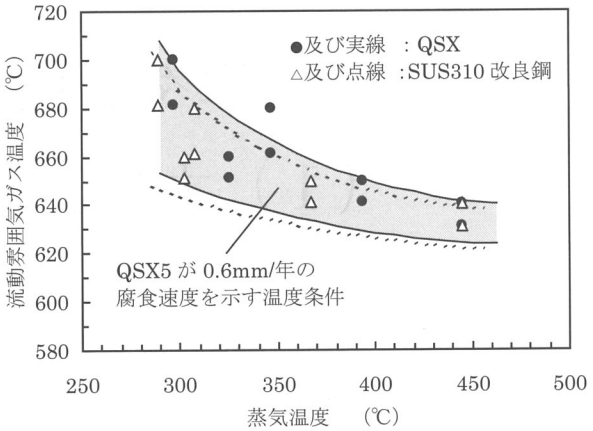


図　1　最大減肉速度が0.6mm/年を示すガス温度－蒸気温度条件（２年間の実証試験による）

むすび

省エネルギーや温室効果ガス排出量の削減などの観点や、もともと資源が乏しい我が国が、将来にわたり継続的に発展していくための対策の1つとして、高効率発電技術は今後とも進化しつづけていくものと思われます。それに伴い、さらなる高耐熱材料、高耐食材料などのニーズが強まっていくと思われます。

3．様々な環境に強い耐食特性
（1）大気、水環境での耐食性

日新製鋼㈱　技術研究所
ステンレス・高合金研究部　原　田　和加大（はら　だ　わかひろ）

まえがき

さびにくい金属材料として一般的に思い浮かぶものはステンレス鋼である。ステンレス鋼とは約11％以上のCrを含む鉄基合金の総称で、表層に数nm（10^{-6}mm）の不動態皮膜が存在するために耐食性に優れる。不動態皮膜は主にCrとFeの水和・酸化物より形成され、材料を保護する上に、破壊されても自己修復するために耐食性を維持できる[1)]。そのためステンレス鋼の用途は厨房機器をはじめ建材、家電製品、配管、タンク、自動車排気系材料およびプラント用部材など多岐にわたっている。しかし、ステンレス鋼といえども過酷な腐食環境に曝されると腐食するため環境や構造に応じたステンレス鋼の適用が必要となる。

ここではステンレス鋼の腐食特性と耐食メカニズムを解説し、大気環境ならびに水環境で優れた耐食性を示すステンレス鋼について紹介する。

◇　ステンレス鋼の腐食特性と防食メカニズム

1．孔食

ステンレス鋼の不動態皮膜は表面全体に存在するために、何らかの要因で不動態皮膜が破壊され、腐食を生じると局部的に孔状の腐食が進行する。これを孔食と称す。これに対し鉄板やめっき鋼板の腐食形態は全面的に腐食するので全面腐食という。穴あきなどの機能性が要求される場合には全面腐食型より局部腐食型の孔食のほうが機能性を損なう恐れはある。ステンレス鋼の不動態皮膜は塩素イオンなどのハロゲンに弱いため、用途によっては孔食が起きにくいステンレス鋼を選定する必要がある。一般的にステンレス鋼の耐孔食性は鋼中に含まれるCrやMoの量が高いほど優れ、孔食指標としてCr＋3Moで整理される場合がある。ステンレス鋼の耐孔食性の評価として孔食電位があるが、Cr＋3Moが高い材料ほど孔食電位は貴化し、耐孔食性が向上する[2)]。

2．隙間腐食

ステンレス鋼特有の腐食形態として隙間腐食がある。溶接などの接合により隙間構造が形成されると、隙間の外と内で酸素の濃度差による酸素濃淡電池が形成される。電池の形成により隙間内でステンレス鋼の腐食が発生する。腐食の進行にともない隙間内のpHは低下し、あわせて塩素イオンの濃縮が起こることから、過酷な腐食環境が形成される。ステンレス鋼はその組織からオーステナイト系ステンレス鋼とフェライト系ステンレス鋼に大別されるが、フェライト系ステンレス鋼の方が隙間腐食に対して弱い。

3．応力腐食割れ（SCC：Stress Corrosion Cracking）

オーステナイト系ステンレス鋼において加工部や溶接部など応力が加わった部分に腐食が生じると応力腐食割れ（SCC）と称する割れを生じる場合がある。この腐食形態は特定の要因がそろった場合に起こるもので、①材料がオーステナイト系ステンレス鋼である、②引張応力が存在する、③使用温度が高い、④腐食起点が生じる場合にのみ起こる。したがって、80℃前後の温水配管や溶接施工タンクなどは溶接部や隙間部で応力腐食割れが生じやすい。割れは結晶粒内、粒界を問わず生じるのも特徴的である。オーステナイト系ステンレス鋼に応力腐食割れが生じる要因としては組織がFCC（面心立方構造）であるために応力が加わった場合に粗大すべりが生じ、活性面にそって腐食割れが進行する活性経路溶解説が一般的である[3)]。BCC（体心立方構造）であるフェライト系

ステンレス鋼の場合には微細すべりになるため活性面が露出しにくく応力腐食割れが生じにくい。

4. 粒界腐食

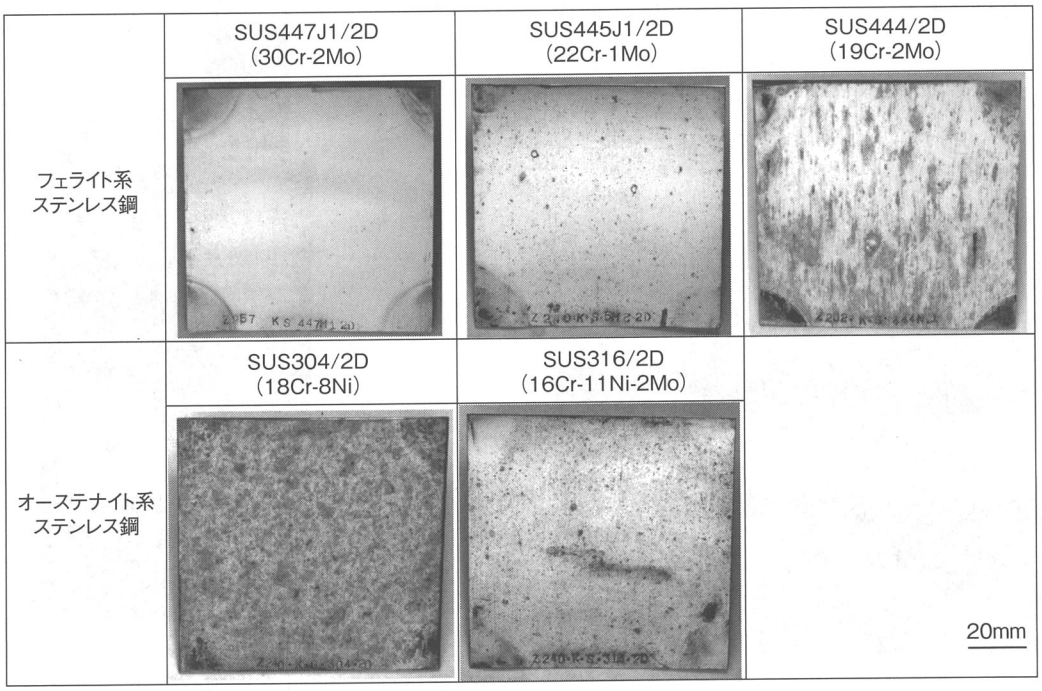
溶接などでステンレス鋼に熱が加わりCr炭化物が粒界で生成すると、ステンレス鋼粒界近傍のCr濃度が低下し、粒界にそって腐食が進むことがある。これを粒界腐食と称し、粒界腐食を起こす金属組織の状態を鋭敏化という。その対策のためにオーステナイト系ステンレス鋼では鋼中のC量を低減したり、フェライト系ステンレス鋼ではさらにTiやNbなど炭化物を形成しやすい元素を添加し、Crの炭化物生成を抑制する策がとられている[4)]。

◇ 大気環境における耐食ステンレス鋼

ステンレス鋼が建材として適用される最大の特徴は耐発錆性に優れる点にある。屋根・外装材のおかれる大気環境は場所によってステンレス鋼の耐食性に対する影響が大きく異なる。大気環境において最も腐食要因となるのは海からの海塩粒子の飛来である。発錆は海塩粒子の付着－乾燥時の塩分の濃縮－湿潤時の腐食電池の形成において促進される。したがって、海岸付近ほど発錆が強く、使用場所がウォーターフロントか山間かで大きく適用材料も異なってくる。また、同じ海岸環境でも構造的に雨で海塩粒子が流される屋根面と比較して海塩粒子が流されない軒下、軒天面の腐食が厳しく、より耐食性材料が必要となる[5)]。

従来、屋根・外装用ステンレス鋼にはSUS304とSUS316が用いられてきた。大気環境におけるステンレス鋼の腐食形態は孔食であるが、SUS304やSUS316などのオーステナイト系ステンレス鋼は孔食が発生しても深さ方向への成長が遅いのが特色である。SUS304の10年間の暴露試験結果から40年後の最大孔食深さは0.2mm以下程度と推定されている[6)]。しかし、オーステナイト系ステンレス鋼は熱膨張係数が大きく、屋根面積の広い大型の建物では温度差による材料の伸縮が問題となる。

そこで、熱膨張係数の小さいフェライト系ステンレス鋼が注目されるようになった。Cr量を増加しMoを添加したフェライト系ステンレス鋼は耐孔食性に優れ、赤さびを問題とする用途に向いていることが確認され、屋根・外装用途に21％以上のCrを含有するフェライト系ステンレス鋼が開発された[7)]。JISにもSUS445J1、SUS445J2およびSUS447J1として規格化された。これらのフェライト系ステンレス鋼は海岸環境でも特に塩が雨などで流されずに残る軒下環境においてその耐候性が発揮される。**写真1**に沖縄における各種ステ



写 真 1　各種ステンレス鋼の沖縄10年暴露試験結果

ンレス鋼の10年の暴露試験結果を示す。長期的な実暴露試験においても22% Cr、30% Crフェライト系ステンレス鋼は優れた耐候性を示した[8]。

屋根・外装用ステンレス鋼では、意匠性に加えて光の反射を抑える必要があり、ダル圧延仕上げで使用されることが多い。高耐食フェライト系ステンレス鋼の実用例を**写真2**に示す。22% Crフェライト系ステンレス鋼ではドーム球場の屋根材や高層ビル外装材などに、30% Crフェライト系ステンレス鋼ではウォーターフロント建造物の屋根材などに実績を有する。

◇ 水環境における耐食ステンレス鋼

ステンレス鋼は衛生感を有することから配管や塔槽類などのユーティリティー材料としても多用されている。特に近年の環境問題より給湯設備としてエコキュートの市場拡大が進む中、その給湯タンク材料としてステンレス鋼は用いられている。給湯機器の場合には上水中の塩素イオン濃度は200ppm以下であるが、貯湯温度が最高90℃あり、溶接施工されるために、溶接部の粒界腐食や溶接隙間部における隙間腐食や応力腐食割れが起こる可能性がある。

電気温水器にステンレス鋼が採用された当初はSUS304が用いられたが、応力腐食割れの問題からAl棒などで防食した16% Crフェライト系ステンレス鋼缶体が主流であった。その後、無防食化が進み、タンクには18～19% Crで2% Moを含むSUS444が適用されてきた。しかし、近年のMo原料費の高騰などで上述した屋根材として用いられるSUS445J1が適用されるようになった[9]。これらの材料はCやNを低減し、TiやNbなどの安定化元素が添加されているために溶接部の耐粒界腐食性を有し、高Cr、Mo添加の影響により耐隙間腐食性を有している。しかし、フェライト系ステンレス鋼の場合には上述のように溶接施工や構造を誤ると隙間腐食の懸念がある。

一方、フェライト系ステンレス鋼は加工性に劣るため、タンクの小型化および形状の複雑化に対してはオーステナイト系ステンレス鋼が有利となる。しかし、上述のようにオーステナイト系ステンレス鋼では溶接時の残留応力を起因とした応力腐食割れが生じる可能性がある。そこでオーステナイト系ステンレス鋼にCuとSiを添加し、耐応力腐食割れ性を向上させたSUS315J1、SUS315J2が開発された。従来のSUS304が50℃で応力腐食割れを起こす試験環境でも、SUS315J2は90℃でも応力腐食割れが起きなかった[10]。**写真3**にSUS315J2による石油焚き温水ボイラー缶体の施工例を示す。SUS315J2はフェライト系ステンレス鋼では製造、加工が困難である給湯屋内配管用材料としても実績を得ている[11]。

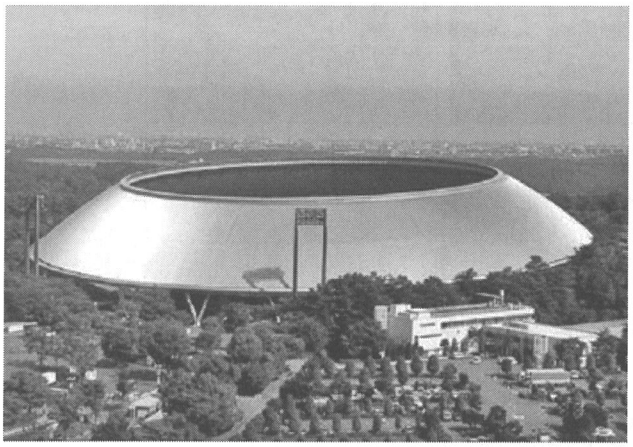


写真2 高耐食フェライト系ステンレス鋼の屋根施工例

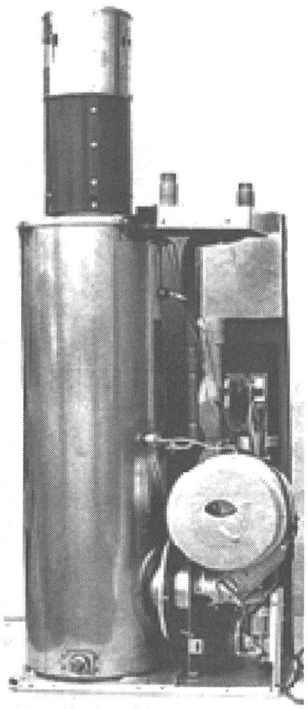


写真3 耐応力腐食割れ性オーステナイト系ステンレス鋼の熱交タンク施工例

むすび

ステンレス鋼は今回紹介したように優れた耐食性を有し、加工や溶接が可能なために様々な用途に用いられる。特殊環境でも耐食性を有するために自動車給油管やプラント配管、容器などにも用いられている。また、その耐食性をいかして用途によっては薄肉化による軽量化が可能な材料である。

近年の原料費の高騰や変動にともない適用鋼種も様々変化してきている。ステンレス鋼は「さびにくい材料」ではあるが、「さびない材料」ではない。材料側での工夫はもちろんであるが、環境や構造側からの対応も重要である。大きく変動する社会経済の中で耐食性の面から寿命を支える社会貢献型材料であるステンレス鋼にとって、長期的な耐食性、機能性を予測できる評価手法、システムの構築が今後の課題である。

引用文献

1）杉本克久：材料と環境，57（2008），375
2）佐藤栄次、武藤泉：第2回技術セミナー資料，腐食防食協会，（1993），35
3）P.R.Swann and J.Nutting：J.Inst.Metals，90（1961/62），133
4）星野和夫、吉井紹泰：日新製鋼技報，51（1976），47
5）白山和、宇都宮武志、名越敏郎：日新製鋼技報，75（1997），46
6）吉井紹泰、西川光昭、林公爾：日新製鋼技報，54（1988），59
7）宇都宮武志、杉本育弘、足立俊郎、植松美博：日新製鋼技報，70（1994），45
8）原田和加大、足立俊郎：第155回腐食防食シンポジウム資料，（2006），11
9）足立俊郎、西川光昭、杉本育弘、林公爾：日新製鋼技報，66（1992），119
10）足立俊郎、西川光昭、吉井紹泰：日新製鋼技報，60（1989），56
11）西川光昭、原田和加大、足立俊郎、名越敏郎：日新製鋼技報，77（1998），25

（2）腐食環境での疲れ強さ

三菱製鋼㈱
千葉製作所　技術部　大石裕之（おおいしひろゆき）

◇　疲れとは

金属材料は、その材料が持つ引張強さ以上の荷重を作用させると破断してしまうことは良く知られています。しかしこの引張強さ以下の荷重を繰り返して作用させると破断してしまうことがあります。これは、微視的に見ると金属材料は均一な材料ではないため弱い部分に亀裂が発生し、徐々に亀裂が進行して破断に至るためです。この現象を「疲れ」による破断から「疲労破壊」と称します。

◇　腐食環境下での腐食のメカニズム

腐食環境と言っても、金属材料が使用される環境によって様々な環境があります。ここでは、腐食現象の大半を占める水溶液（電解質溶液）が関与した腐食環境に関して金属材料が腐食していくメカニズムを簡単にご説明します。金属材料は、微視的には化学成分やミクロ組織、結晶構造などが僅かずつ場所によって異なっています。この微視的に異なる部分は、水溶液に触れると「**図1：鉄の腐食概念と腐食断面**」のように1）から2）のような反応を起こし腐食が起こり、表面には腐食ピットが生成します。（腐食電池作用と言います）

1）鉄が水に溶け出す（イオン化し電子放出）
2）溶け出した鉄が酸素と水と反応して水酸化第二鉄が生成され、更に乾燥する際に酸化が進み、皆さんが良く知っている黒錆、赤錆へと変化して行きます。

また、環境汚染による酸性雨や融雪剤が撒かれた道路などの水溶液は、塩素が含まれ酸性となり、鉄の溶出速度を著しく速くします。酸性になった水溶液には多くの水素イオンが存在し、鉄の溶出と共に放出される電子を受け取り、鉄を脆く（脆化）させる水素ガスを発生させる反応も起こります。

◇　腐食環境下での疲れ強さの低下

腐食環境下と腐食のない環境下で金属材料に

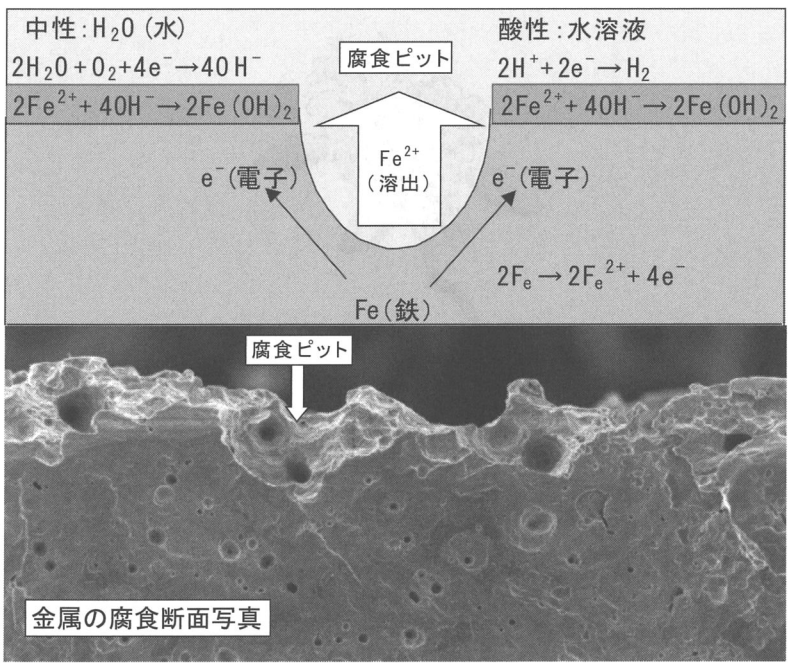


図　1　鉄の腐食概念と腐食断面（錆除去）

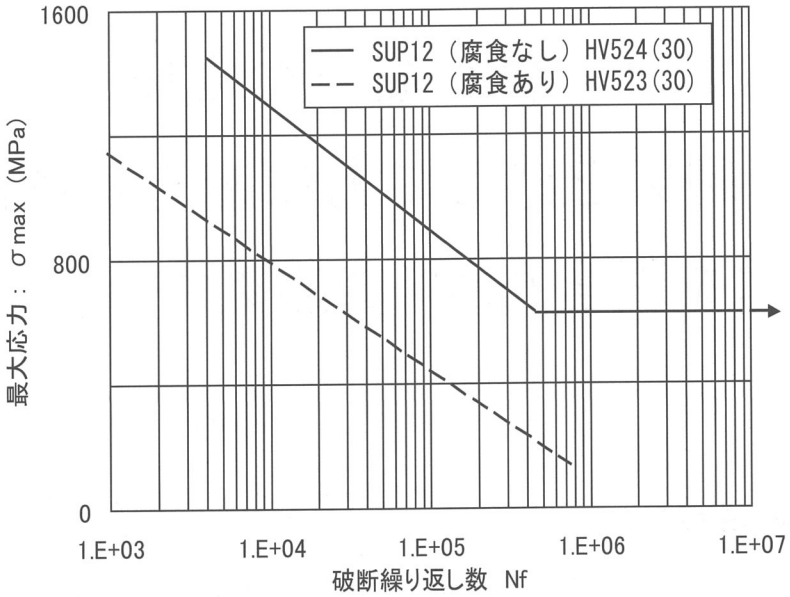


図 2 SUP12腐食あり・なしの疲労試験結果

同じ荷重を繰り返し作用させて疲労破壊までの繰り返し回数を比べると腐食環境下の金属材料は著しく回数が少なく破壊してしまいます。**図2**に一般的なばね鋼SUP12材を用いて熱処理後、腐食させたものと腐食させない物の回転曲げ疲労試験結果を示します。腐食なしで800Mpaの応力を作用させ約20万回で破断したものが、腐食させると約1万回で破断してしまっていることがわかります。

この現象は、水溶液と接触する金属材料の表面が腐食反応により腐食ピットを生成し、この腐食ピットに応力が集中することにより疲労亀裂の発生を促進するためだと言われています。更に腐食反応の際に発生した水素は、この亀裂先端に集まり亀裂の進行を早めてしまいます。また近年軽量化するために高強度高硬度化されていく材料は、この水素により低硬度のものに比べ、脆くされやすいことが知られています。

前記したことをまとめると、腐食環境下での疲れ強さの低下は、次の要因が考えられます。

①腐食環境により、腐食ピットが生成し疲労亀裂が早期に発生してしまう。

②腐食ピットは応力が集中するため、亀裂が早く成長してしまう。

③亀裂先端の応力集中部や高硬度化材料は腐食時に発生した水素により脆くされてしまいやすい。

これらを克服するために、長年の研究により腐食環境下での疲れ強さの向上がなされてきています。

◇ 腐食環境下での疲れ強さ向上技術

【腐食ピットの低減】使用する金属材料に耐食性を有するNi、Cr、Cu等の耐食性合金元素を添加し、腐食を抑制することにより腐食ピットの生成を押さえ、また錆びも酸素が入れない緻密な錆（非晶質錆）を生成させ、錆の進行を抑制する技術（耐食性向上）。

【亀裂進行の抑制】Mo、V、Nb等の添加により結晶粒度を微細化し、材料内部の応力の伝搬を分散させる。またSi等の添加により材料の割れ抵抗性を向上させ亀裂が発生しても亀裂の進行を遅らせる技術（破壊靱性の向上）。

【水素による脆化抑制】Ti、V、Nb等の析出状態を制御し、この析出物により水素を捕らえる事で、応力集中した亀裂先端部へ水素が移動できないようにする技術（水素のトラップサイトの形成）。

自動車用懸架ばねは、数年前まではSUP7、SUP12等が最大設計応力約1,100Mpaにて使用されていましたが、現在、これらの腐食環境下での疲れ強さ向上技術により鋼種改良され、約1,200Mpaまで実用化されています。近年更なる研究開発により約1,300Mpa級のばね鋼が実用段階に来ています。

4．鉄は磁気の宝庫
（1）磁気を感じて力に変える軟磁性
1）強い力を引き出す（高磁束密度）：電磁鋼板

新日本製鐵㈱
鉄鋼研究所　鋼材第一研究部　新井（あらい）　聡（さとし）

◇　電磁鋼板とは

聞きなじみはないかも知れませんが、電磁鋼板は、ほとんど全てのモータ、変圧器の鉄心に使用される磁性材料です。**図1**に、モータと変圧器の鉄心を模式図で示します。モータには“無方向性電磁鋼板（NO）”を、変圧器には“方向性電磁鋼板（GO）”を使用します。鉄心は、磁気エネルギーを高密度で利用するために必須の部品です。理科の実験で、コイルを巻いた釘で造った電磁石を思い出してください。鉄心なしでは、モータの力が出ませんし、変圧器も巨大になってしまいます。

このように、電磁鋼板は強い力を引き出すために、磁束密度を高める材料設計をしてあります。鉄は原子一つ一つの持つ磁力（磁気モーメント）が強く、それぞれが平行に揃う性質を持つ“強磁性体”の代表的な物質ですが、その能力を極限まで高めるために、電磁鋼板では結晶方位や結晶粒径、鋼の純度を所定のものに造りこんでいます。

例えば変圧器に使われるGOでは、鉄の立方晶の結晶構造で“磁化されやすい方向（磁化容易軸）”である＜100＞軸を圧延方向に数度以内の精度で揃えて、高磁束密度としています（**図2**、**図3**）。高磁束密度材料は、銅線に少しの電流を流しただけで、強い磁石になります。

結晶方位以外にも、電磁鋼板が磁化されるのを妨げる、結晶粒界とか、不純物とかを極限まで抑えて、高磁束密度になるように材料を造り込んであります。

電磁鋼板には、高磁束密度と並んで重要な性質があります。電気⇒磁気エネルギー変換に伴って、一部のエネルギーは熱として失われてしまうのですが（鉄損）、このエネルギーロスを最小にすることが重要となります（低鉄損）。

エネルギー変換時に電磁鋼板は交流で磁化されます。磁化が変化したときに、電磁誘導起電力により流れる誘導電流（渦電流）による抵抗発熱が鉄損の主な原因の一つですから（**図4**）、電磁鋼板の電気抵抗を高くして、渦電流を抑えることにより発熱＝鉄損を抑えることができます。

このため電磁鋼板では、電気抵抗を高くする合金元素を添加することにより、低鉄損化を図っ

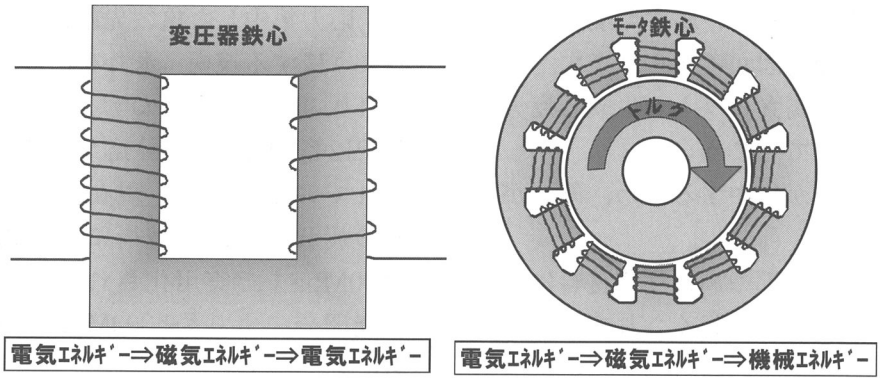


図　1　モータと変圧器鉄心の模式図

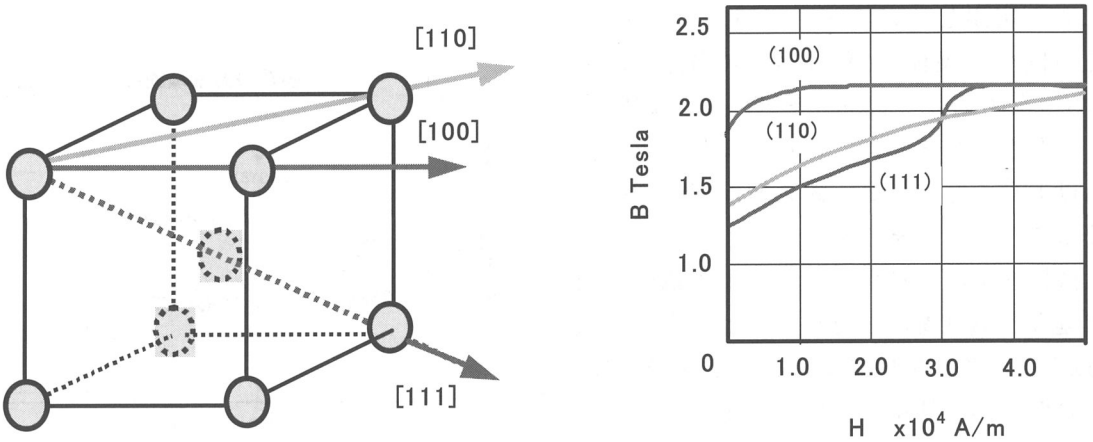


図　2　鉄の結晶構造と磁気異方性（磁化され易さの方向による違い）

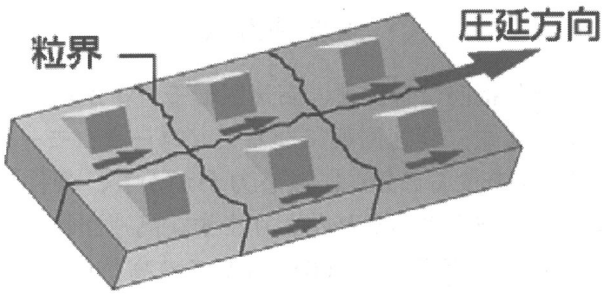


図　3　方向性電磁鋼板（GO）の結晶方位分布

ています。特に珪素（Si）が、高電気抵抗化効果が高く、安価であることから、最もよく用いられます。そもそも電磁鋼板は、鉄に珪素を添加すると、磁気特性が著しく改善するという1900年のHadfieldの発明が、その起源であり、かつては珪素鋼板と呼ばれていました。

渦電流低減による低鉄損化に有効なもう一つの手段は、板厚の薄い材料を積み重ねて使うことです。**図4**に示すような板厚の薄い材料に誘導される起電力は厚い材料に較べて小さくなり、渦電流も小さくなります。この時、積層間で渦電流が流れてしまわないように、鋼板表面には絶縁被膜を施す必要があります。一般的な規格では、GOの板厚は0.35, 0.30, 0.27, 0.23mm、NOの板厚は0.50, 0.35mmとなっています。

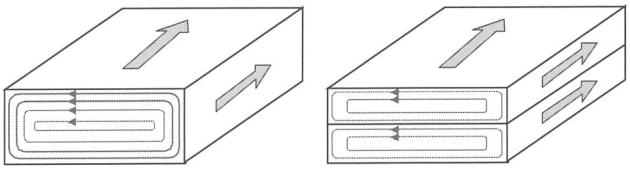


図　4　電磁鋼板内の渦電流と薄手化の効果

◇　高磁束密度低鉄損GO

変圧器は設置された瞬間から、24時間絶えず交流で磁化されることになり、その寿命までの数十年間、鉄損を発生し続けることになります。そのため、低鉄損のGOを使用することは、将来に渉りエネルギー消費を抑えられることを意味する重要な決断となります。

一方で、高い磁束密度まで磁化するように変圧器を設計した方が、小型化でき、電磁鋼板の使用量を小さくでき、設置スペースの面からも、経済的にも有利になりますが、一般に鉄損が大きくなりエネルギー消費が大きくなります。そこで、高磁束密度低鉄損GOの開発が重要となります。

高磁束密度GOは、結晶方位の制御を厳格化す

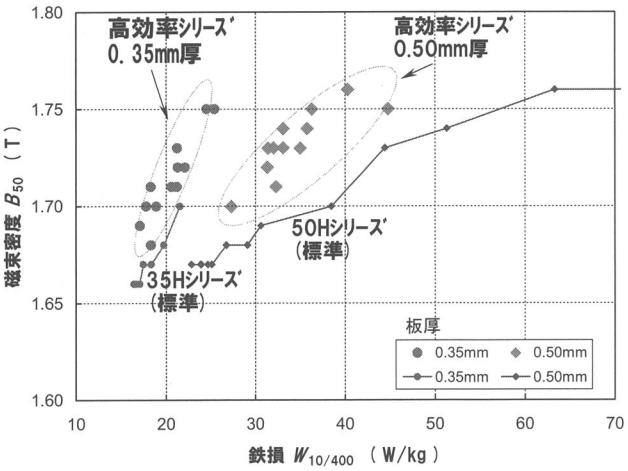


図　5　高効率NO材の磁束密度－鉄損マップ

ることにより実現しています。前述した<100>軸の圧延方向への集積度が、従来のGO材では平均7°であったものが、高磁束密度GOでは3°まで高めることができました。これにより、磁束密度が5％以上高くなり、高い磁束密度での鉄損を20％下げることができました。

さらに鉄損を下げる技術として、電磁鋼板表面にレーザ処理や機械溝加工を施すことにより、鉄損を5％以上下げる“磁区制御技術”が開発され、最高効率の変圧器に使用されています。

◇　高効率NO

モータは力を出す必要がありますが、エアコン、冷蔵庫等の長時間使用される家電製品のモータにはエネルギー効率も求められます。2003年から施行されたトップランナー法では、出荷するエアコン、冷蔵庫の平均効率が一定値をクリアするように規定されています。モータ効率を上げるためには、鉄心の鉄損を下げるとともに、高磁束密度材を使い、コイルに流れる電流による発熱も抑えるバランスのよいモータ設計が必要になります。

鉄損を下げるためには、合金添加をして電気抵抗を増しますが、それだけでは磁束密度が低くなります。プロセス条件を制御して、同じ鉄損でも磁束密度の高い高効率NOシリーズが開発されています（**図5**）。

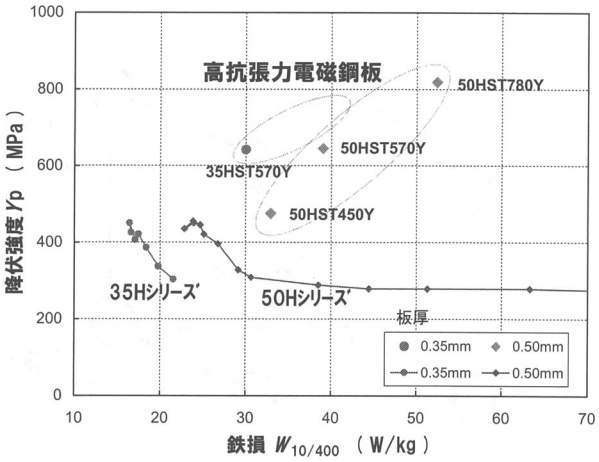
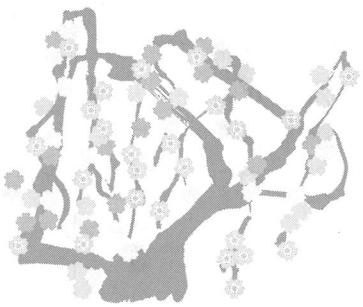


図　6　高抗張力NO材の鉄損－機械強度マップ

◇　高抗張力NO

小型化指向に合わせ、高速回転モータが増えてきています。高速回転になると、ロータ（モータ中心の回転する部分）に遠心力がかかり、条件によっては破壊のおそれがあります。高速回転ロータの為に、降伏応力800MPaまでの高抗張力NO材が開発されています（通常は450MPa以下）（**図6**）。

変圧器、モータの高度化、多様化に伴って、電磁鋼板は日々、高性能化しています。これからもニーズに応じて、高特性で多様な電磁鋼板の開発は続きます。



2）効率良く力を引き出す（高透磁率）

日立金属㈱
軟磁性材料カンパニー　中島　晋（なかじま　しん）

◇　透磁率とは

軟磁性材料に磁化力Hを加えたときに、どれだけ効率良くその磁束密度Bを変化させることができるか、つまりどれだけ効率良く磁気の力を引き出すことができるかを示すのが透磁率μです。透磁率μは、磁束密度Bを磁化力Hで割ることで求められ、SI単位系では、その単位はH/m（ヘンリーパーメートル）で表現されます。この透磁率μを真空中の透磁率$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$H/mで割ったものを比透磁率$\mu_r$と呼びます。一般には、この比透磁率$\mu_r$が広く用いられており、これを単に透磁率と呼んでいます。ここでは、以下、比透磁率のことを透磁率μ_rと呼ぶことにします。

◇　初透磁率μ_{ri}と最大透磁率μ_{rm}

透磁率μ_rは軟磁性材料の材質に依存しますが、このほかに、どのような条件で磁化力Hが加えられるかによって、非常に大きく変化します。消磁を行い脱磁状態とした軟磁性材料に、直流の磁化力Hを増加させることで、**図1**の太線で示すような初磁化曲線が得られます。この初磁化曲線上のHの値が小さい場合には、Hを再び0まで変化させたときに、磁束密度Bも0にすることができます。この領域を初透磁率範囲と呼び、この初透磁率範囲における透磁率μ_rを初透磁率μ_{ri}と呼びます。一方、この初透磁率範囲以上にHを大きく変化させてしまうと、Hを再び0にしてもBを0とすることはできなくなります。この図において、磁化力Hを0からH_{ma}、同0からH_{mb}、および同0からH_{ms}まで変化させたときの透磁率μ_rは、これに対応する直線0－a、0－b、および0－sの傾きから与えられ、各々、$\mu_{ra} = B_{ma}/(\mu_0 \cdot H_{ma})$、$\mu_{rb} = B_{mb}/(\mu_0 \cdot H_{mb})$、および$\mu_{rs} = B_{ms}/(\mu_0 \cdot H_{ms})$となります。このことからも分かるように、透磁率$\mu_r$は、加える磁化力Hに大きく依存し、Hが小さいときには低い値を示し、Hの増加に伴い、ある極大値を示した後、急激に減少します。なお、この透磁率の極大値を最大等磁率μ_{rm}と呼びます。また、透磁率μ_rは周波数を高くするにしたがい

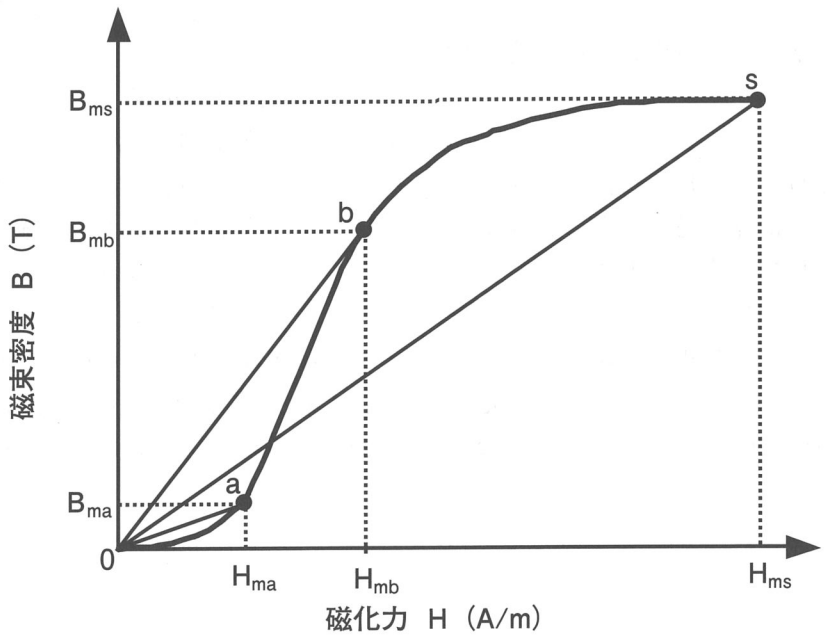


図　1　直流初磁化曲線

表　1　主な軟磁性材料の代表的直流磁気特性例

種　　類	組成 (mass%)	板厚 (mm)	B_s (T)	H_c (A/m)	μ_{ri} ($\times 10^3$)	μ_{rm} ($\times 10^3$)	抵抗率 ($\mu\Omega$-m)
方向性電磁鋼板	3Si、97Fe	0.23	2.03	6.0	1.5	92	0.48
無方向性電磁鋼板	3Si、97Fe	0.35	1.96	40	1.5	18	0.57
	6.5Si、93.5Fe	0.10	1.80	45	1.2	23	0.82
PCパーマロイ	79Ni、16Fe、5Mo	−	0.79	0.16	100	1,000	0.60
Mn-Znフェライト	−	−	0.42	3.2	12	−	20×10^3
Fe基アモルファス	78Fe、13B、9Si (at%)	0.025	1.56	1.7	5.0	500	1.3
Co基アモルファス	61.6Co、4.2Fe、4.2Ni、10Si、20B (at%)	0.025	0.54	0.16	120	1,000	1.4
Fe基ナノ結晶	73.5Fe、1Cu、3Nb、13.5Si、9B (at%)	0.018	1.24	0.5	100	690	1.2

増加する渦電流損失の影響で低下します。高周波で透磁率μ_rが低下する割合は、その材料の抵抗率が高いほど、また金属材料の場合には板厚が薄いほど小さくなります。

◇　代表的な高透磁率材料

表1に主な軟磁性材料の代表的直流磁気特性例を示します。高透磁率磁性材料についての明確な定義はなく、あくまでも相対的なものです。直流磁気特性に着目すれば、一般に、初透磁率μ_{ri}で5×10^3程度以上、あるいは最大等磁率μ_{rm}で100×10^3程度以上の材料を高透磁率磁性材料と呼ぶことが多いようです。

◇　高透磁率材料の応用例

ここでは、高透磁率磁性材料の代表的な応用例について紹介します。

1．変流器（CT）

変流器は、漏電遮断機や、世界各国で急速に普及が進んでいる電子式積算電力計などの電流センサなどに広く用いられています。漏電遮断機では微小な電流の検出が必要なことから、初透磁率μ_{ri}の高いPCパーマロイやFe基ナノ結晶を用いた巻磁心が主に用いられています。電子式積算電力計では広い範囲で高精度の電流の測定が必要なことから、初透磁率μ_{ri}と最大透磁率μ_{rm}がともに高く、飽和磁束密度B_sも高いFe基ナノ結晶やFe基アモルファスを用いた巻磁心が用いられています。

2．ラインノイズフィルタ（EMIフィルタ）

エアコン、洗濯機、電磁調理器などの家電機器、エスカレータやエレベータなどの搬送機器、電気自動車、ハイブリッド自動車、電機鉄道車両などの輸送機器に至る幅広い分野で使用されているインバータのノイズ対策に、ラインノイズフィルタは不可欠です。この用途では、高レベルの高周波ノイズを抑制するため高周波の初透磁率μ_{ri}が高いことと飽和磁束密度B_sが高いことが要求されており、Mn-Znフェライトに変わってFe基ナノ結晶を用いた巻磁心が用いられるようになっています。

3．磁気シールド

医療設備や精密測定室で使用されるシールドルームでは、低磁場でのシールド効果が高く、加工技術の蓄積が十分な初透磁率μ_{ri}が高いPCパーマロイが一般に用いられています。また、デジタルカメラやノートパソコンなどの電子機器では、小スペースで高周波のシールドが必要なことから、板厚が薄く高周波の初透磁率μ_{ri}が高いFe基ナノ結晶やFe基アモルファスが用いられています。

3）さび、腐食環境に強い磁性材料：電磁ステンレス鋼

東北特殊鋼㈱
技術部　佐藤武信（さとう たけのぶ）

◇　電磁ステンレス鋼とは

磁性材料として純鉄系の材料は安価で入手しやすく、また十分良好な磁気特性を有することから、電磁弁の鉄心材料として古くから使用されている。しかしながら純鉄系の材料は錆びやすい、あるいは硬さが低いため扱い疵が付きやすかったりアクチュエーター部品として繰り返しの衝突で変形しやすかったりという欠点がある。これら欠点を回避するため磁性を有するステンレス鋼、すなわちマルテンサイトまたはフェライト系のステンレス鋼を磁性材料として電磁弁の鉄心材料に使用するという発想から電磁ステンレス鋼が生まれた。

今から50年程前、13％ Cr-Fe（SUS410相当）ステンレス鋼において磁気特性を改善するために２％ Siを添加し、磁性材料として世に生まれたのが世界初の電磁ステンレス鋼であった。本鋼種はK-M31と命名され、今日尚電磁弁用鉄心材料のスタンダード鋼として使用されている。

◇　電磁ステンレス鋼の進化

その後、用途や加工方法から来るさまざまな要求に応じた改良が加えられ、より機能的、より付加価値の高い多数の電磁ステンレス鋼へと進化していった（特性詳細は**表１**参照）。

１．耐食性改善

当初電磁ステンレス鋼は油空圧用電磁弁を中心に使用されていたが、水あるいは水溶液などの媒体中のめっき無しでの使用や、半導体部品製造装置のように錆や腐食を極度に嫌う環境で使用したいという要求に応え、より耐食性の高い電磁ステンレス鋼が開発された。

耐食性は主にその化学成分に依存し、Cr濃度を高めたり、Moの添加などにより耐食性が改善される。水用ではK-M38（18％ Cr-2％ Si-2％ Mo）、半導体製造装置あるいは一部薬品用ではK-M45（20％ Cr-2％ Si-2％ Mo）が代表例である。

２．被削性改善

切削加工を容易とするため電磁ステンレス鋼の快削化がはかられた。鋼の場合S添加による快削化が最も一般的だが、Sは磁気特性や溶接性あるいは耐食性を損なうという欠点があるため、電磁ステンレス鋼のS快削鋼は少数である。Pb添加による鋼の快削化も一般的である。特にPbはFeに対して非固溶であるため上記特性を損なわず、電磁ステンレス鋼にとっては理想的な快削化元素である。K-M35FL（13％ Cr-Si、Al、Pb添加）はその代表例である。しかしながら環境負荷物質であるPbは、RoHSやELV指令においてまだ例外的に鋼の快削化の為の0.35％以下のPb添加を許容しているものの、脱Pbの動きも出てきている。TICS快削鋼（Ti、C、Sの化合物による快削鋼）の開発はその一例である。

３．冷鍛性改善

電磁ステンレス鋼の使用量が飛躍的に増えたのは、自動車の燃料噴射装置に採用されてからである。低コストで大量生産するため、冷間鍛造での部品加工が始まった。それに合わせ、電磁ステンレス鋼の冷間での塑性加工性の改善も行われた。冷間鍛造性を損なうC、S、Si等の元素を極力低減し、結晶粒の細粒均一化をはかった。もともと快削鋼として開発されたK-M35FLはCを初めとする不純物元素を低減して冷間鍛造性を向上させ、現在では電子燃料噴射装置用の材料としてはトップクラスのシェアを頂いている。ネットシェイプ化を目指してさらに冷鍛性を向上させたK-M60（13％ Cr-Ti添加）がありABS（アンチロックブレーキシステム）のセンサー鉄心材として採用されている。

４．磁気応答性改善

自動車燃料の直噴化や電磁弁の比例制御化など、より精密な制御がなされるようになり、鉄心

表　1　電磁ステンレス鋼の諸特性

鋼種名	主成分	磁気特性					孔食電位 (mV)	硬さ (HRB)	体積抵抗率 ρ(μΩ·m)
		磁束密度（T）				保磁力 Hc(A/m)			
		B160	B400	B800	B2000				
純鉄	Fe	1.23	1.37	1.46	1.62	65	＜－250	38	0.12
K-M31	13Cr-2Si	0.45	0.93	1.13	1.28	150	－10	90	0.92
K-M38	18Cr-2Si-2Mo	0.70	0.99	1.10	1.16	80	350	92	0.85
K-M45	20Cr-2Si-2Mo	0.78	0.92	1.00	1.10	50	750	92	1.09
K-M35FL	13Cr-0.7Si-0.3Al-Pb	0.85	1.10	1.21	1.33	73	－130	72	0.72
K-M35CS	13Cr-0.7Si-0.3Al-TICS	0.70	1.10	1.20	1.34	105	－100	76	0.72
K-M33CS	15Cr-2Si-0.3Mo-TICS	0.80	1.15	1.20	1.29	100	140	87	0.88
K-M60	13Cr-Ti	0.82	1.15	1.22	1.35	85	0	72	0.65
K-M24F	13Cr-2.8Al-Pb	0.60	1.00	1.20	1.30	80	－100	72	1.02
K-M57	15Cr-1Si-3Ni-1Al-2Mo	0.62	0.97	1.10	1.20	80	260	350（HV）	0.90

（表中の値は代表例であり、規格値ではない）

・表中の各特性値は熱処理後のものである。
　熱処理条件　950℃×３時間保持－炉冷：K-M31、K-M35FL、K-M60、K-M24F
　　850℃×３時間保持－炉冷：K-M38、純鉄
　　1000℃×３時間保持－急冷：K-M45
　　1050℃×2.5時間保持－急冷、550℃×３時間保持－急冷：K-M57
・孔食電位はその値が大きいほど耐食性に優れる。
・HRB72、92はHV換算でそれぞれ約132、203相当である。
・成分は主成分のみを記載しており、その他元素が添加されている場合がある。
・主成分のTICSはTi、C、Sの化合物であることを示し、TICS快削鋼であることを表している。

材料には磁気応答性の向上が求められるようになった。磁気応答性を高めるため良好な磁気特性はそのままに、材料の電気抵抗を大きくする開発が行われた。これは磁化に伴う渦電流損失を軽減させることで磁気応答性を向上させるものである。Si、Alは電気抵抗を飛躍的に大きくする元素であり、例えばK-M24F（10% Cr-2.8% Al-Pb添加）は直噴燃料噴射装置、K-M45（前出）は電磁式マスフローに採用されている。

◇　電磁ステンレス鋼トピックス

1．磁気特性本体保証

通常磁性材料は部品加工後に磁気焼鈍を施し使用するが、丸棒鋼製品そのままで磁気特性（保磁力）を保証し、部品加工後の磁気焼鈍を省略可能としたのが磁気特性本体保証である。熱処理による変形、着色を回避するとともにコスト削減の効果も期待できる。

2．高硬度電磁ステンレス鋼K-M57

純鉄系材料に比べ電磁ステンレス鋼は高い硬度を有するが、さらに耐磨耗性向上の要望に応えて開発されたのが高硬度電磁ステンレス鋼K-M57である。従来HV100～200であった熱処理後硬度がHV350以上と飛躍的に高まり、耐磨耗性が向上した。また本鋼種は高耐食性も併せ持ち、２輪用の燃料噴射装置に量産採用いただいている。

◇　電磁ステンレス鋼の用途

電磁ステンレス鋼は民生用、産業用の自動制御機器の電磁アクチュエーター、あるいはセンサー用鉄心材として広範囲に使用されている。以下に主な用途例を示すので、御参考いただきたい。

1．電磁弁
　油　圧…工作機械、建機、産業用ロボット等
　空　圧…エアシリンダー制御等
　水　用…洗濯機、給湯器、自販機、水洗トイレ等
　その他…エアコン、都市ガス遮断弁他
2．電磁ポンプ
　温風ヒーター、自動車燃料ポンプ、消毒液噴霧、トイレシャワー他
3．自動車用電子燃料噴射装置
4．電磁開閉器、継電器
　コンピューター端末機、エアコン他
5．その他
　回転センサー、荷重センサー、位置センサー他

（2）磁気に影響されず力を出しつづける：磁石

日立金属㈱　NEOMAXカンパニー
磁性材料研究所　村田剛志（むらたたけし）

◇　磁石とは

磁石は鉄などを引き付ける力を持っています。これは、磁石が常に磁界を発生しているためです。一般に強磁性体は、磁石になることができる物質（硬磁性体）と、鉄のように磁石にはつくけれども磁石にはならない物質（軟磁性体）の二つに大きく分類することができます。

これらの違いを説明するために、硬磁性体と軟磁性体の磁化-磁界曲線の模式図を**図1**に示します。図のように、軟磁性体は小さな磁界でも磁化がすぐに飽和しますが、磁界を除去すると磁化を失ってしまいます。一方で硬磁性体は、磁化の飽和に比較的大きな磁界を必要としますが、一度磁化されると磁界を取り除いても、磁化を失わないという特徴を持っています。このため、磁石は外部に磁界を発生することができるのです。

また、磁石の性能を示す主な指標として、残留磁束密度（残留磁化）、保磁力があります。残留磁束密度が大きいほど強力な磁石となり、保磁力が大きいほど熱安定性に優れた磁石となります。さらに、磁石の総合的な性能を示す指標として、最大磁気エネルギー積が良く用いられます。

◇　磁石の歴史

磁石は、紀元前の時代からギリシアのマグネシア地方で磁鉄鉱という天然鉱石として産出されていました。その後、この磁石によって方位磁針が発明され大航海時代の幕が開けるなど、磁石は一つの時代の形成に重要な役割を果たしたと言えます。

しかし、その時代においても磁石は天然のものが利用されていたに過ぎず、1917年になって初めて磁石が工業的に生産されるようなりました。その後現在に至るまで、**図2**に示すように磁石は目覚しい発展を遂げています。

1917年に誕生したKS鋼は、本多光太郎によって世界で初めて人工的に作られた磁石です。その後、1932年には三島徳七によりMK鋼、1938年には米国のGeneral Electric社によりアルニコ磁石が発明され、磁石が工業的に広く用いられるようになりました。

また、1930年には、酸化物系の磁石であるフェライト磁石（OP磁石）が加藤与五郎、武井武によって発明され、その後バリウムフェライト磁石、ストロンチウムフェライト磁石へと高性能化が進み

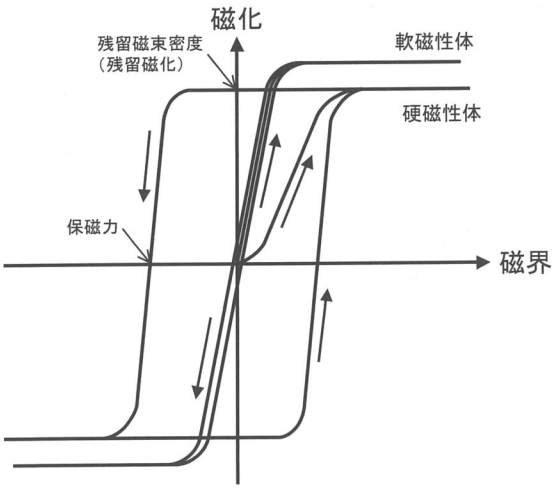


図　1　硬磁性体と軟磁性体の磁化－磁界曲線の模式図

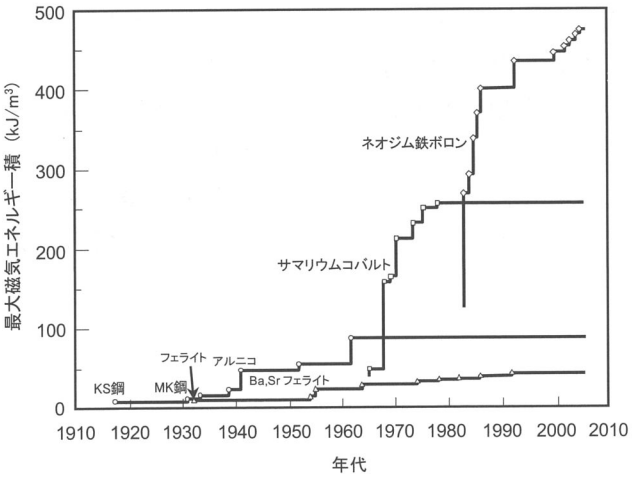


図　2　磁石の発展の歴史

ました。これらの磁石の主原料は製鉄工程の副生成物であり安価なことから、現在でも多くの用途で利用されています。

その後、磁石に革新的な進化があったのは、1967年にアメリカ空軍材料研究所によりサマリウムコバルト磁石が発明された時です。この磁石は、希土類元素の一つであるサマリウムを用いており、それまでの磁石をはるかに凌駕する性能を持っていました。この磁石の出現により、希土類元素を用いた磁石の開発が精力的になされ、1983年には住友特殊金属㈱（現日立金属㈱NEOMAXカンパニー）とアメリカのGeneral Motors社によりほぼ同時期にネオジム鉄ボロン系磁石が発明されました。

この磁石は、サマリウムコバルト磁石よりも強力であることに加え、高性能磁石には必須元素と考えられていたコバルトを用いることなく、鉄という極めて身近な元素で高性能磁石を作ることができたという点で非常に画期的なものでした。また、この磁石は発明されてから25年近く経った現在においても、世界最強の磁石として広く知られており、最初の磁石であるKS鋼と比べて約100倍もの磁力を持っています。

◇　磁石の応用製品

磁石は、我々の日常生活において様々なところに利用されています。最も身近なところでは、ホワイトボードなどに貼り付ける円盤状の磁石ではないでしょうか。また、磁石はアルミ缶とスチール缶を分別するのにも用いられる事があります。これらは、磁石が鉄を引き付けるという性質を利用したものです。しかし、このような性質を利用した応用製品はあまり多くありません。

磁石を用いた製品の大半は、コイルを用いた電磁石と組み合わされており、コイルに流す電流によって電磁石と磁石の間の吸引力・反発力を制御できるようにしたものです。ここで、電磁石というのは、鉄芯などの軟磁性材料に導線を巻きつけ、電流を流すことにより磁界を発生するものであり、磁石のようにN極とS極を持ちます。また、電磁石は磁石とは異なり、電流の向きを変えることによりN極とS極が容易に反転します。

したがって、電磁石の極性をうまく制御すれば、常に同じ方向に力を発生させることができます。これを利用したものの典型例がモータです。一般的な永久磁石式モータの内部は、回転子の回転角度に応じてコイルに流れる電流の向きが変わるような構造をとっているため、常に同じ方向に回転し続ける事ができるのです。

また、電磁石はコイルに流す電流を大きくする事によってより強い磁力を発生することができます。したがって、モータに大電流を流すことにより高出力を得ることができますが、これでは非常に多くのエネルギーを消費してしまいます。そこで、モータに大電流を流す代わりに、モータに使用する磁石をより強力なものに変えれば、同じ電流であっても高出力なものになり、小型化・省エネルギー化にも貢献できるわけです。

最近では、世界最強の磁石であるネオジム鉄ボロン磁石を使ったモータが、電気自動車やハイブリッド自動車のような環境対応車にも搭載されるようになりました。このモータは、自重の約100倍もの重量の車体を動かすことができる非常に高出力なものです。

しかし、モータ内は非常に高温の環境になることから、熱安定性を確保するために希少元素であるディスプロシウムやテルビウムを大量に使用した磁石が使われています。

一方で、これらの元素は、非常に高価であるだけでなく、残留磁束密度を低下させてしまうという欠点があります。そこで、これらの元素の使用量を削減しても、高温環境下においても使用でき、かつ高い残留磁束密度を有する磁石の開発が現在も精力的に進められています。

（3）磁気を感じない（非磁性）

日本金属工業㈱
研究開発本部　小野（おの）　寛（ひろし）

◇　非磁性とは

材料の磁性は、強磁性、常磁性、反磁性の３つに分類されます。非磁性とは、強磁性以外の性質の総称として使われる言葉であり、文字通り磁性がない、即ち磁石に付かない性質を表しています。

磁性は物質を構成する原子の中の電子（荷電粒子）のスピン（自転運動）によって発生する性質であり、この運動に配向性があると磁性として現れます。強磁性体は、磁石などの外部磁場によって電子スピンが容易に配向し、その結果、強い磁性を示します。一方、常磁性体は、熱による電子スピンの乱れが強いため、外部磁場によっても配向せず、磁性は現れません。

非磁性材料は、磁石を近づけるなどして磁場を加えても磁化されないので、磁石に付かないという性質があります。この磁化される程度を表すのに、透磁率[*1]という指標を使います。非磁性材料は透磁率が小さいという特徴があり、実用金属材料では銅やアルミニウムは非磁性であり、鉄鋼材料では、SUS304等のオーステナイト系ステンレス鋼や高マンガン鋼が代表的非磁性材料です。

（＊１）透磁率とは材料に外部磁場を与えたときの磁化される程度を表す物性値で、外部磁場の強さHと磁化の程度（磁束密度B）の関係式B＝μHのμのことです。また、真空の透磁率μ_0との比μ/μ_0を比透磁率と言い、非磁性材料の比透磁率はほぼ１です。

※$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.2566\cdots \times 10^{-6}$［H/m］

◇　ステンレス鋼の磁性

１．金属組織と磁性

ステンレス鋼は金属組織（結晶構造）により、オーステナイト系、フェライト系、マルテンサイト系の３種類に分類されます。磁性の有り無しは、この金属組織によって決まります。

オーステナイト系はfcc（面心立方）の結晶構造を持ち、非磁性で磁石に付きません。主成分はFe、CrおよびNiであり、代表鋼種はSUS301、SUS304、SUS316、SUS310Sなどです。フェライト系はbcc（体心立方）、マルテンサイト系はbct（体心正方）の結晶構造を持ち、ともに磁性があり磁石に付きます。主成分はFeとCrであり、フェライト系の代表鋼種はSUS430、SUS434など、マルテンサイト系の代表鋼種はSUS410、SUS420J2などです。

２．冷間加工と磁性

オーステナイト系ステンレス鋼は非磁性材料に分類されますが、SUS301やSUS304は焼鈍状態では非磁性を示すものの、冷間加工を施して硬くすると磁性を帯びるようになります。これは、冷間加工によりオーステナイト相の一部がマルテンサイト相に変態するためです。

この変態の起こりやすさは、オーステナイト相の安定度が関係しています。ステンレス鋼には種々の合金元素が添加されていますが、合金元素の量が多いほどオーステナイト相は安定になり、マルテンサイト相への変態は起こり難くなります。

オーステナイト相の安定度を表すための指標として、次に示す式が知られています。

$$Md_{30}(℃)_{GS} = 551 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29(Ni+Cu) - 18.5Mo - 68Nb - 1.42(\upsilon - 8.0)$$ [1]　※υ：ASTM粒度番号

この値が小さいほどオーステナイト相はより安定になり、冷間加工によるマルテンサイト相への変態が起こり難くなります。この式で、合金元素の種類によって係数が違うことから、オーステナイト安定度に対する合金元素の寄与度に違いがあることが分かります。

SUS304やSUS301は冷間加工によりマルテンサイト相への変態が起こることから準安定オーステナイト系と呼ばれ、一方、高Cr、NiのSUS310S

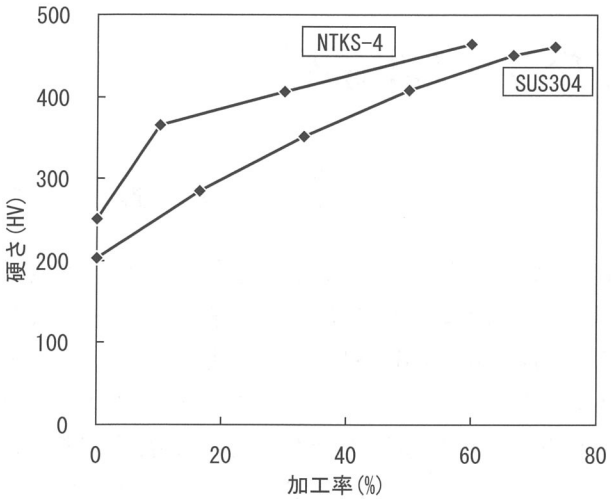


図　1　冷間加工による硬さの変化

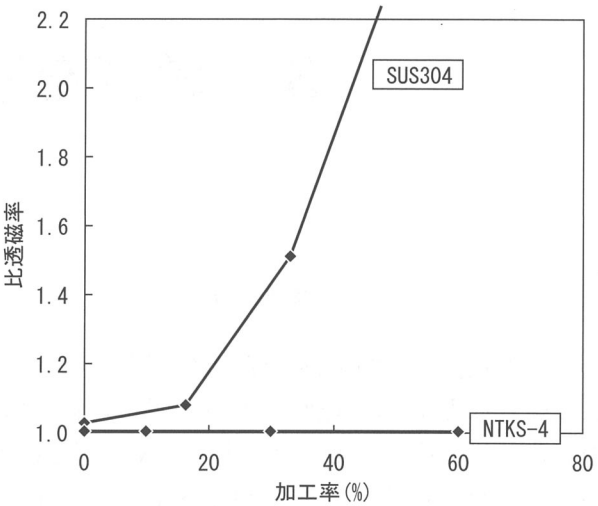


図　2　冷間加工による透磁率の変化

等は冷間加工によってもマルテンサイト相への変態が起こらないため、安定オーステナイト系と呼ばれます。

このように、磁性の有無は材料の金属組織の他、加工の影響を受けるため、特に高強度の用途で非磁性が必要な場合は、これらの特性をよく理解して材料の選択を行なう必要があります。

◇　高強度非磁性ステンレス鋼の開発と用途

ステンレス鋼は、優れた耐食性、加工性により、様々な用途・環境で使用されています。その中には、磁性を嫌うため、非磁性が要求される用途があります。例えば、パソコンや携帯電話に内蔵している精密モータのシャフト、VTRのローラやガイドピン、電子機器用の非磁性ばね、検針機対応品、超伝導分野のボルト・ナットなどであり、磁性を利用した部品の動作性能に影響を与えないことが必要なため、非磁性が要求されます。

高強度で非磁性のステンレス鋼として、ステンレス鋼メーカー各社により高Mn系のオーステナイト系ステンレス鋼が開発されています。一例として、**図1**および**図2**に日本金属工業㈱のNTKS-4(17Cr-15Mn-1.5Ni)のデータを紹介します。**図1**は冷間加工による硬さの変化、**図2**は冷間加工による透磁率の変化を示しています。この鋼種は冷間加工により高強度になるにもかかわらず、磁性がほとんど出ないという特徴があり、非磁性ばね、ガスケット等に使用されています。

モータシャフト用の材料についても、Mnを高めた高強度、非磁性のオーステナイト系ステンレス鋼が開発されています。この用途には、高強度、非磁性の他、切削性を付与した鋼種も開発されています。

参考文献

1）ステンレス協会編：ステンレス鋼便覧第3版（1995）、P.925［日刊工業新聞社］

5．特殊鋼にはこんな機能もある
（1）熱による体積変化量を制御（熱膨張性）

㈱YAKIN川崎
技術開発室　小室　真

まえがき

20世紀、科学技術は急速に発展しました。そのフロンティアは、一方では肉眼で見えないミクロの世界に、他方では遠く巨大な宇宙に向かっています。人の身の丈からかけ離れた小さい物又非常に遠くの物を扱うには、小さい世界・遠い世界を拡大する必要があります。拡大する道具の寸法精度、熱膨張による僅かな寸法変化が問題となります。低熱膨張材料のインバー合金は、20世紀直前、明治の中頃1897年スイス人のギヨームによって発見されました。金属でノーベル賞を受賞した唯一つのものです。invariable＝一定不変という言葉がインバーの語源です。その原理と材料、用途について見てみましょう。

◇　低熱膨張の原理

金属を拡大すると、まるでパチンコの玉を千両箱に詰めたような格好をしています。パチンコの玉一つ一つが金属の原子と考えて下さい。パチンコ玉はくっついていませんが、金属原子は引きあって互いに結合しています。パチンコの玉は動かないのですが、金属原子はいつもぶるぶる振動しています。温度が上昇すると、この振動が大きくなって、金属原子の間の距離が広がり、全体として嵩が増えます。これが熱膨張の原理です。

金属の原子はそれぞれ地球のように南極と北極を持つ小さな磁石になっていて、ある集団の金属原子の極がみんな同じ方向を向く場合があります。このような現象を強磁性と言います。この時の原子間の距離は、新たに磁気エネルギーを加えた力のバランスで決まります。インバー合金の磁気エネルギーは温度が低いほど強くなって体積が増加するように働き、温度が高いほど弱くなって体積が減少するように働きます[1)]。それで熱膨張は鉄の10分の一になります。磁気エネルギーが消える温度はインバー合金のNi（ニッケル）量によって異なり、200～500℃です。この温度を超えると普通の金属と同じように熱膨張が大きくなります。この温度は、発見者ピエール・キュリー（キュリー婦人の夫）にちなんでキュリー温度といいます。

熱膨張は一般的に長さを計測するので線膨張係数を使います。温度が1K（℃）上昇した時の長さの変化割合を言います。単位は1/Kです。一般的に$\times 10^{-6}$(/K) で表します。1mの材料が1℃で伸び縮みする長さをミクロンで示していて、分かりやすい表記です。25～100℃で1mの材料が1℃上昇した時の熱膨張は、鉄では約10μm、インバーでは約1μmです。これに対象品のm数、温度差を掛ければ伸縮量μmが簡単に計算できるわけです。

◇　代表的な材料

インバー合金はFe（鉄）とNiの合金です。**図1**は横軸にNiの割合、縦軸に熱膨張係数、グラフ内

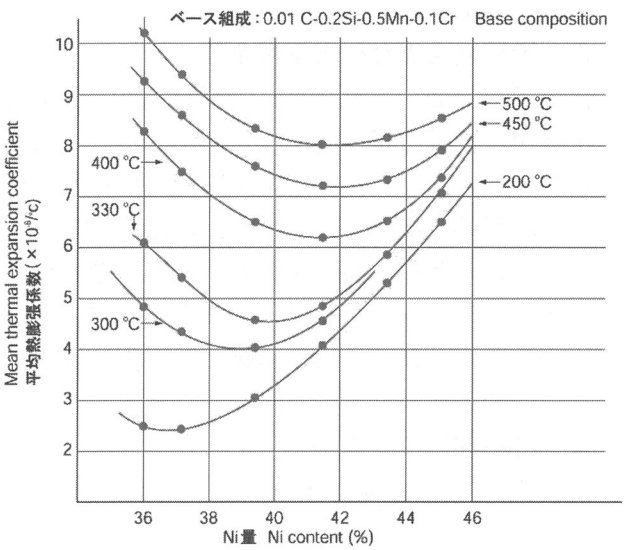


図　1　インバー合金の平均熱膨張係数

の曲線は200℃から500℃まで50℃おきに熱膨張係数がNiの割合によってどう変化するか示しています。使用する温度によって熱膨張係数が一番小さくなるNiの割合が変わる事が分かります。たとえば200℃ではNiが36％の時に、450～500℃ではNiが42％の時に最も熱膨張係数が小さくなります。一般的に200℃以下と500℃近傍で使われる場合が多いため、インバー合金というとNiが36％のものと42％のものになります。

更にCo（コバルト）を加えた熱膨張係数の小さいインバー合金やNb（ニオブ）を加えた硬いインバー合金なども開発されています[2)]。

◇　用途例

1．半導体製造装置部材

半導体などでは高精細な製品が求められ数μを制御しようとしています。製造する環境の温度変化を小さく、更に部材の熱膨張も小さくしています。液晶や有機ELなどの薄型ディスプレーや半導体の検査治具、製造機器のベースや部材としてインバー合金が要所に使われています。

2．電波望遠鏡

宇宙の起源を調査するための電波望遠鏡が世界各地に建設されています。南米チリの高原には直径10mを超える電波望遠鏡80台が設置されます。このアンテナは1mm以下の波長の電波を観測するために風荷重、自重、熱によるアンテナの変形を小さく抑える必要があり、構造材料にインバーを用いるなどの対策を取って目標とする精度をクリアしています。

3．炭素繊維複合材成型用金型

軽量で高強度（高比強度）、剛性が高い事が炭素繊維複合材料の特長です。初めはスポーツ用品に使われていましたが、省エネの観点から航空機部品、自動車・電車部品と用途が広がっています。製品の元となる柔らかい原料を成形型に挟んで加熱し金型通りの形状に作ります。形状精度を高くするため金型には炭素繊維の熱膨張に近いインバー合金が使われるようになってきました。

4．LNG船内タンク

液化天然ガスを輸送するLNGタンカーの構造は、球状タンクを搭載する方法と、四角い船倉に合わせて断熱材と金属薄板を張り合わせタンクにしてしまう方法があります。後者はメンブレン（薄い膜という意味）方式といいます。空間の無駄がない。上甲板の突出が少ない。タンク重量も軽いといったメリットがあります。このメンブレン方式のタンクの内壁にインバーの薄板が使われます。LNGを充填した時の－162℃の極低温とLNGを抜いた時の激しい温度変化でも膨張収縮量が少なくタンクの固定・気密性確保に役立っています（写真1）。

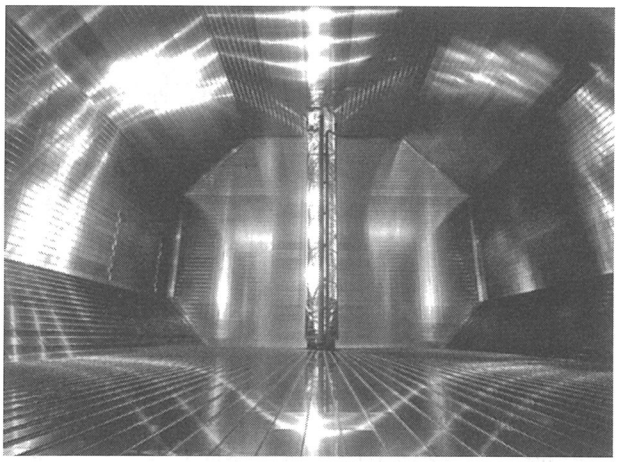


写真1　インバー合金製LNGタンク内壁

5．バイメタル

バイメタルは熱膨張係数が異なる2枚の合金を張り合わせて1枚の板にした物です。温度が上がると低膨張材側へ曲がります。この曲がりを利用して、温度計や電気接点を開閉する温度調節計などが作られています。インバーはこの低熱膨張側に使われています。最も身近な物には蛍光灯のグローランプがあります。

むすび

科学技術発展の開始時点で、熱膨張が小さいインバー合金がすでに発見されていて、ミクロの世界とマクロの世界という技術の両フロンティアで重要な役割を担っている事に歴史の不思議を感じます。インバー合金は私たちの身の周りで使われ私たちの生活を豊かにしています。この特徴を捉える事で新たなアイデアが生まれる事を期待します。

参考文献

1）深道和明：まてりあ第36巻　第11号（1997）PP1064-1069
2）王　昆：日本冶金技報4（1995）PP42-45

（2）音や振動の伝わり方を制御（減衰能）

大同特殊鋼㈱
新分野開発センター　渡部健司（わたなべ けんじ）

◇　減衰能とは

減衰能とは外部から与えられた振動を吸収する能力のことです。金属材料では内部摩擦が高く振動エネルギーをよく吸収するものを制振合金（high-damping alloys）と呼んでいます。

制振合金の減衰作用は内部摩擦によって発生します。つまり外部から加わった振動や衝撃のエネルギーが主として合金内部で熱に変化することにより消費されます。従って制振合金とは振動エネルギーを熱に変換することによって音や振動を吸収する機能を持つ合金と言えます。

制振合金はエネルギー損失の機構によって４種類（**表１**）に分けられます。

制振合金の中で最も高い減衰能を有する双晶型制振合金Mn-Cu-Ni-Fe（スターサイレント）の結晶構造を**写真１**に示します。立体的に示されている隣り合う双晶の界面において振動エネルギーが熱に変換されます。最終的に熱は合金表面から放熱されます。

表　1　制振合金のメカニズムによる分類

名　称	機　構	例
複合型	母相と析出相との界面または粒界での粘性流動または塑性流動によるエネルギー損失	片状黒鉛鋳鉄、Al-Zn合金
転位型	すべり転位と不純物原子の相互作用による機械的静履歴によるエネルギー損失	Mg、Mg-0.6% Zr合金
強磁性型	磁区壁の非可逆移動に伴う磁気・機械的静履歴によるエネルギー損失	Fe12% Cr、T.D.ニッケル、NIVCO-10合金
双晶型	熱弾性マルテンサイトの双晶境界または母相とマルテンサイト相との境界の移動に伴う静履歴損失あるいは応力緩和によるエネルギー損失	NiTi、Cu-Al-Ni、Mn-Cu、Mn-Cu-Ni-Fe（STAR SILENT）

合金は極めて小さな双晶で構成されていますので微小な振動を有効に吸収出来ます。また合金全体が双晶で構成されていますので大きな振動を吸収することも可能です。振動の大きさにかかわらず効率的に振動エネルギーを吸収できることが双晶型制振合金スターサイレントの大きな特徴です。

◇　制御合金の適用例

双晶型制振合金スターサレイントはあらゆる大きさの振動を効率良く吸収できるという特性を活かして各種産業用途に使用されています。現在、主として使用されているのは工作機械・半導体・測定機器業界です。具体的な使用例を**表２**に示します。

これらのうちバイトホルダー敷板とファスナー

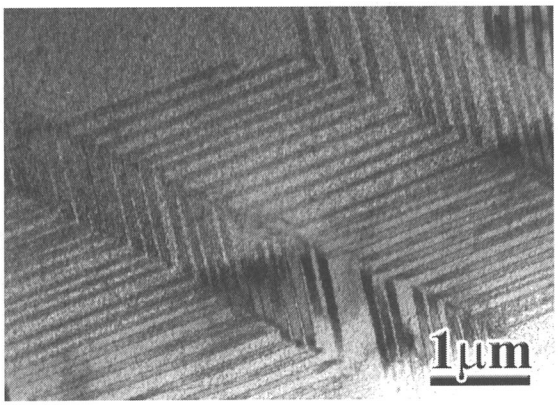


写真１　双晶の透過電子顕微鏡写真軸受

表　2　制振合金の使用例

分野	用途（部品名、適用箇所等）
工作機械	バイトホルダー敷板、マウント、軸受 ファスナー（ネジ、ボルト、ワッシャー）
半導体	定盤、マウント、切断機フランジ
測定機器	定盤、マウント
アメニティ	パター（ゴルフ） インシュレータ（プレイヤー・スピーカ脚部）
自動車	各種モータ締結部ワッシャー 軸受

（ネジ、ワッシャー）に適用した場合の具体的な効果について説明します。

1．バイトホルダー敷板への適用

旋盤のバイトホルダー敷板としてスターサイレントを使用した例を**写真2**に示します。SUS304を被削材とし、切削条件は軽切削から重切削まで検討しました。それぞれの場合の代表的な切削条件を**表3**に示します。 敷板材質の比較例としてはS45Cを検討しました。

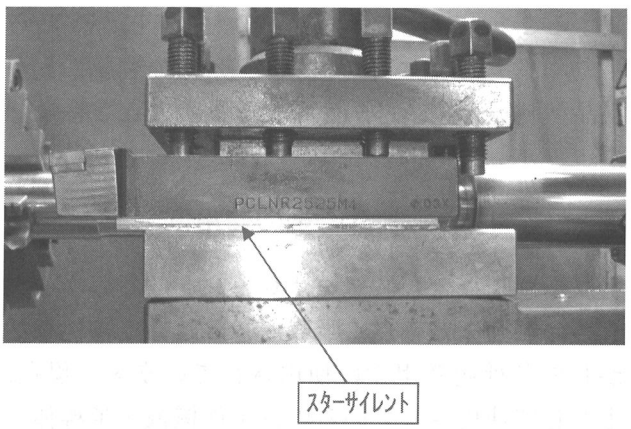
スターサイレントを使用することによって広い周波数範囲で振動加速度が大幅に低減されており（**図1**）、結果的に加工精度（表面粗さ）が向上することが確認されています（**図2**と**3**）。

2．ファスナーへの適用（ネジ・ワッシャー）

スターサイレントは各種形状への加工が容易で、ネジ、ボルト、ワッシャーの作製が可能です。

（1）ネジへの適用

ネジへ適用した場合の締付トルクと戻しトルクの関係を普通ネジと比較した結果を**図4**に示します。スターサイレントは普通ネジと比較すると大きな戻しトルクを有しています。さらに振動試験においても極めて優れた緩み止め効果が実証されております。



写 真 2　旋盤バイトホルダー敷板への適用

表　3　旋盤切削条件

	切込み量（mm）	送り速度（mm／rev）
軽切削条件	1.0	0.05
重切削条件	6.0	0.15

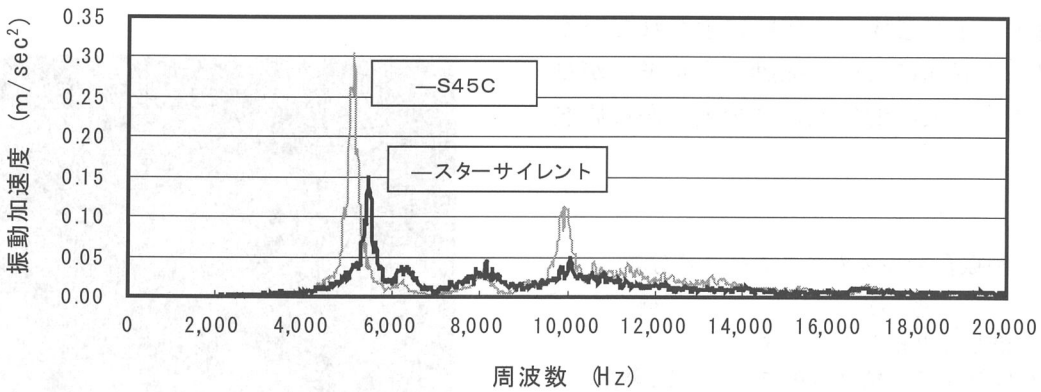


図　1　旋盤バイトホルダーの振動加速度の低減

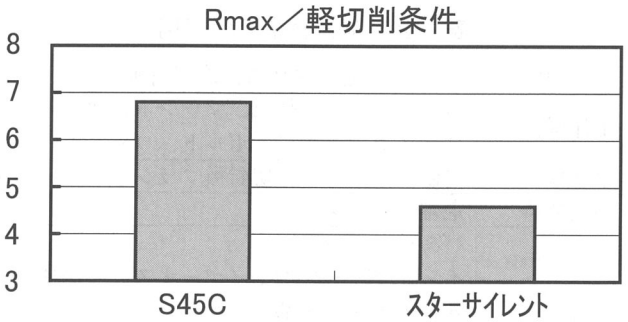


図　2　軽切削条件での効果

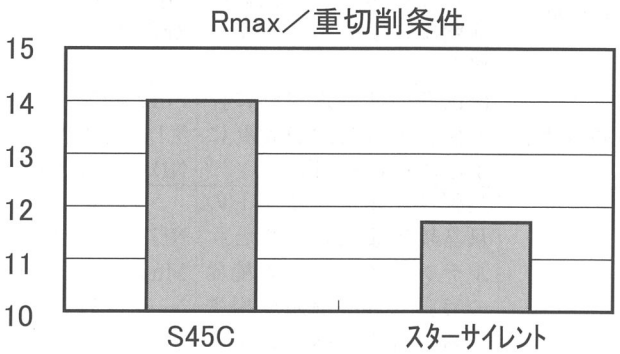


図　3　重切削条件での効果

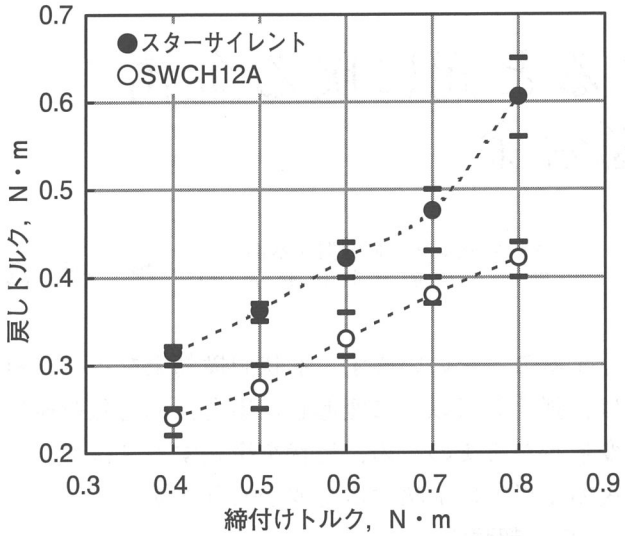
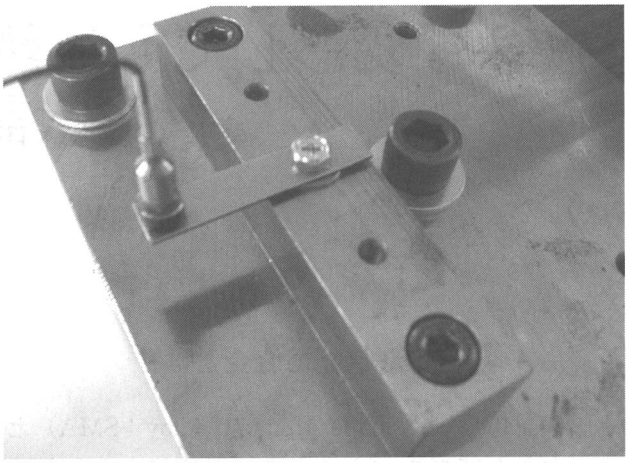


図　4　ネジの締付け－戻しトルク試験結果



写 真 3　ワッシャーへの適用（振動試験治具）

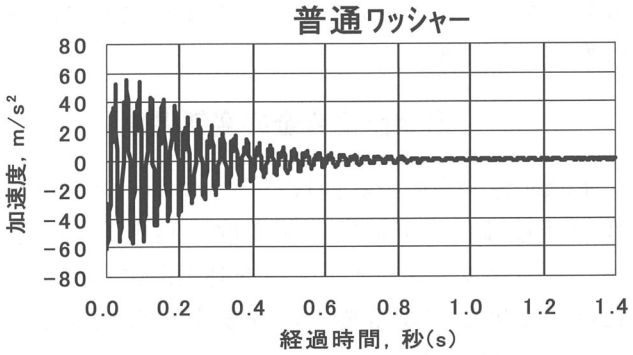


図　5　普通ワッシャーの場合の減衰挙動

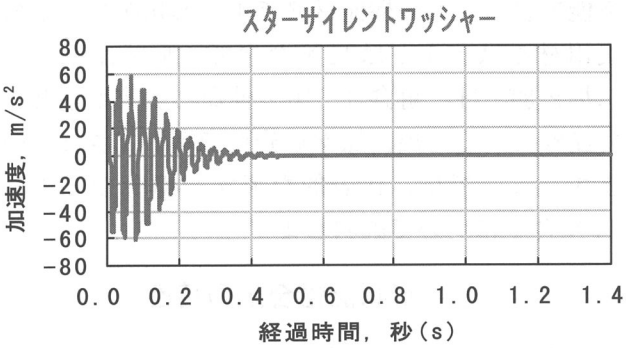


図　6　スターサイレントワッシャーの場合の減衰挙動

（2）ワッシャーへの適用

ワッシャーの効果を検証するために振動試験で使用した治具を**写真3**に示します。**写真3**の治具の下部から加速度5G、周波数30Hz、振幅2.8mmの振動を与えた時に、スターサイレントワッシャーと普通ワッシャーの振動減衰挙動の様子を**図5**と**6**に示します。ネジは普通ネジを使用しています。

スターサイレントワッシャーは極めて短時間に振動を吸収していることが分かります。ワッシャーの形状は製造が簡単なことから、最近大型化しシムとして使用される例が増えてきています。

むすび

以上、簡単にスターサイレントの使用方法を説明しました。様々な形状に加工出来るという特徴を活かして最近急速に応用例が増えて来ています。

（3）変形しても加熱すると元に戻る金属：形状記憶合金

大同特殊鋼㈱　研究開発本部
軽量・機能材料研究室　小柳禎彦（こやなぎよしひこ）

◇　形状記憶合金とは

形状記憶合金（Shape Memory Alloy：SMA）とは、大きな変形を加えてもある温度以上に加熱することにより元の形状に復元する合金をいいます。そのため、温度センサーと駆動装置の2つの機能を合わせもつ機能材料です。形状記憶合金の実用材のほとんどはTi-Ni合金で、形状記憶特性に加え加工性、耐食性、耐久性など工業用途として優れているため、様々な分野で実用化されています。ここでは、代表的な形状記憶合金であるTi-Ni合金について説明します。

◇　形状記憶合金の特性

一般に金属材料を弾性領域を越えて変形させると応力を除いてもひずみは残り材料は変形したままです。しかし、形状記憶合金では、弾性領域を越えて変形しても、元の形状に復元させることができます。**図1**に形状記憶合金の模式的な応力－ひずみ曲線を示します。形状回復の種類として形状記憶効果と超弾性があり、実用化されている素材では全ひずみで6％程度のひずみが回復します。

（1）形状記憶効果

形状記憶効果とは、弾性領域を越えて変形後、形状回復温度以上に加熱することで元の形状に復元することをいいます。形状記憶効果を示す材料は、弾性領域以上に変形した場合、応力除荷後は変形したままのため、形状を復元するには形状回復温度以上に加熱する必要があります。

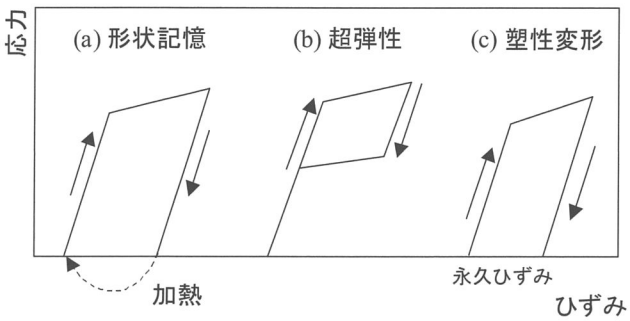


図　1　形状記憶合金の応力－ひずみ曲線

（2）超弾性

超弾性とは、見かけ上弾性領域を越えて大きく変形しても、応力を除くとゴムのように元に戻る性質のことです。

◇　形状記憶合金の変態温度

形状記憶合金の形状回復には、マルテンサイト変態と呼ばれる可逆的な相変態を利用しています。このマルテンサイト変態を効果的に利用するには、変態温度が重要となります。Ti-Ni合金の変態温度は、Ms、Mf、As、Afの４つの温度で表され、冷却によるオーステナイト相からマルテンサイト相への変態をマルテンサイト変態（正変態、記号M）、加熱によるマルテンサイト相からオーステナイト相への変態をオーステナイト変態（逆変態、記号A）といい、それぞれの開始、終了温度にs（start）、f（finish）の添え字をつけて変態温度を表します。JIS H 7101にDSC（Differential Scanning Calorimetry）による変態温度測定方法が規定されています。

- Ms：マルテンサイト変態開始温度
- Mf：マルテンサイト変態終了温度
- As：オーステナイト変態開始温度
- Af：オーステナイト変態終了温度

代表的なTi-Ni合金の組成は、Ti-49～51mol％Niであり、変態温度は組成によりほぼ決ります。しかし、Ni量が0.1mol％異なると変態温度は、約10℃変化するため厳重な成分管理が必要です。そこで、実際には、成分の代替として変態温度を測定し管理することが一般的です。**表1**に示すようにJIS H 7107では、形状回復温度（Af温度）で分

類しており、組成での分類はしておりません。

◇　形状回復はなぜおきる？

図２に形状記憶合金の変形のメカニズムを示します。形状記憶効果のある材料を弾性領域を越えて変形させた場合、材料はマルテンサイト相内のバリアントの再配列を起こしながら変形します。応力除荷後の材料は、変形したままですが、形状回復温度以上に加熱することでマルテンサイト相からオーステナイト相へ逆変態し形状が復元します。一方、超弾性を示す材料では、応力が加えられるとマルテンサイト相が誘起され、応力が除荷されると逆変態により形状が復元します。そのため見かけ上は、塑性変形せず大きな弾性変形を示しているように見えます。いずれの効果も最大回復ひずみ量を超えて変形させると塑性変形してしまいます。

◇　変態温度と使用温度の関係

形状記憶効果と超弾性は、本質的に同じ現象で、変態温度と使用温度によってどちらが発現するか決まります。この場合Af温度が最も重要な変態温度であり、使用温度がAf温度以上か以下で形状記憶効果か超弾性のいずれが発現するか大別されます。

表　1　Ti-Ni形状記憶合金線のJIS規格（JIS H 7107）

種類	記号	形状回復温度（Af、℃）
SE	TN-SEW	25℃以下
30	TN-30W	25℃を超え35℃以下
40	TN-40W	35℃を超え45℃以下
50	TN-50W	45℃を超え55℃以下
60	TN-60W	55℃を超え65℃以下
HT	TN-HTW	65℃を超える場合

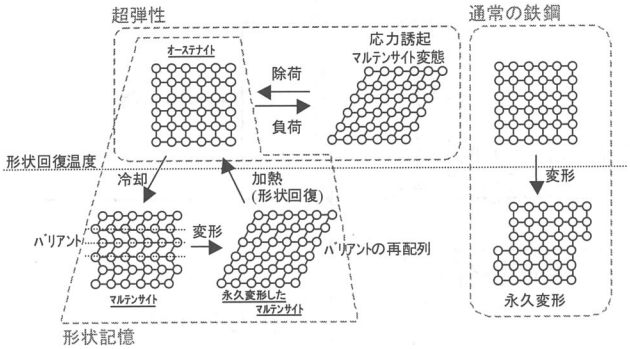


図　2　形状記憶合金の変形のメカニズム

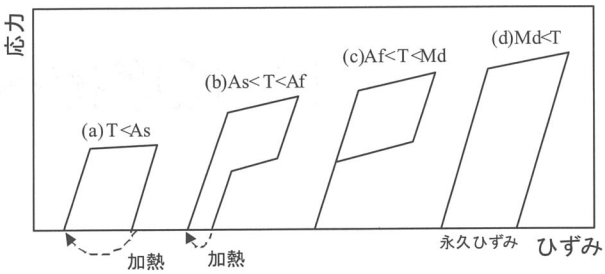


図　3　応力－ひずみ曲線に及ぼす温度の影響

図３に種々の温度での応力－ひずみ曲線を示します。形状記憶合金の応力－ひずみ曲線には顕著な温度依存性が認められます。低温側（Af温度以下）の応力－ひずみ曲線は、変形後の加熱による形状が回復する形状記憶効果を示します。温度が高くなるに従い超弾性挙動を示し始め、Af温度以上では完全な超弾性を示します。しかし、Md温度（おおよそAf＋30～40℃）以上での変形では永久ひずみが残ります。

◇　Ti-Ni合金の実用化例

Ti-Ni合金で1963年に形状記憶効果が確認され、その後航空機の油圧配管継ぎ手に応用されました。現在、形状記憶効果を利用した実用化例として、温調機能付き混合水栓用のコイルバネがあります。これは、湯温を感知して形状記憶合金バネとバイアスバネとの力の釣り合いが変化することで自然に伸び縮みし、水と湯の混合比を微調整させ快適な湯温を実現します。従来のワックス素子に比べて応答性、温度管理が格段に向上しています。

超弾性を利用した実用化例として、メガネフレームや携帯電話用アンテナ、医療用途などが挙げられます。医療用途としては、歯列矯正用ワイヤーやカテーテルガイドワイヤーとして使用されています。いずれも大きい超弾性特性と耐食性、耐久性が要求される用途であり、Ti-Ni合金の特性を最大限活用した例といえます。

以上のようにTi-Ni合金は形状記憶効果や超弾性などの特性を用途によって使い分けながら、様々な分野で使用されています。なお、現在は用途の点から、ほとんどは丸棒材（直径２mm以下）の形状で使用されています。

（4）低摩擦への挑戦（摩擦特性）

㈱住友金属小倉
商品技術部　小山隆治

◇　摩擦、摩耗とは

摩擦には、固体同士の摩擦、固体と液体間の摩擦など、さまざまなケースが考えられますが、ここでは固体同士の摩擦を中心に考えます。

床の上に質量mの箱を置いた場合、床に垂直な方向に重力と同じ大きさの垂直抗力Nが働きます。この箱をある力で横から押す場合、力と反対方向に箱が動くのを妨げようとする抵抗がはたらきます。これを摩擦といい、接触面（床）に沿ってはたらく抵抗を摩擦力といいます。摩擦力は垂直抗力Nにほぼ比例し、このときの比例係数μを静摩擦係数と呼びます。

力が弱い場合、箱は静止したままです（**図1-〈a〉**）。力がある一定の値を超えると箱は床の上を動きだします。このときの摩擦力は最大摩擦力（$F_0 = \mu N$）と呼ばれています。

いったん動き出した箱は、今度は最大摩擦力よりも弱い力（$F' = \mu' N$）で動かすことができます（**図1-〈b〉**）。このときの比例係数を動摩擦係数と呼びます。動摩擦係数は静摩擦係数よりも小さくなります。

摩擦によって固体の表面が次第にすり減ってゆくことを摩耗といいます。摩耗は、材料の機械的性質や硬さ（材料因子）だけではなく、どのような力が加わっているか（力学的因子）や、温度や雰囲気、（環境因子）などのさまざまな因子に影響を受けます[1)]。

◇　低摩擦化、摩耗抑制のためには

摩擦による損失や、摩耗を防止するためには、固体同士の接触をなくすのが最も効果的ですが、機械や加工の分野では困難です。

低摩擦化には、先の摩擦力と垂直抗力、摩擦係数との関係より、接触面の垂直抗力Nを低くする（接触部の荷重負荷低減、接触部の面積を低減など）か、摩擦係数を低くする（表面を滑らかにする）ことが有効です。また、摩耗抑制のためには、潤滑剤の使用や接触部の材料硬さを上げることなどが効果的です。

◇　特殊鋼の低摩擦化、耐磨耗性向上のための技術

切削工具には、高速度工具鋼鋼材（いわゆるハイス、JIS G4403）や超硬合金が広く用いられておりますが、さらに耐摩耗性を高めるため表面にコーティングを行います。コーティングは、ハイスや超鋼の表面にTiC（炭化チタン）やTiN（窒化

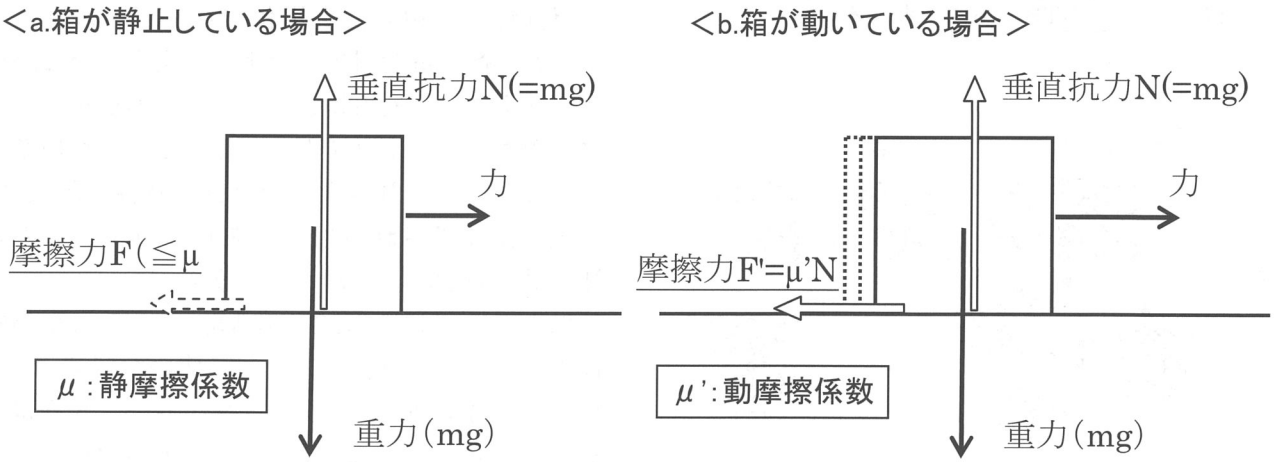


図1　箱に働く力と摩擦力の関係

表1　ダイヤモンド、黒鉛とDLCの比較

	ダイヤモンド	DLC	黒鉛
構造など	ダイヤモンド構造	非晶質 （アモルファス）	グラファイト構造
比重	3.52	1.2 ～ 3.3	2.2
硬さ［Gpa］	90 ～ 100	10 ～ 80	（非常に軟らかい）
水素含有量［at.%］	0	0 ～ 40	0
特徴	自然界で最も硬い物質	耐摩耗性に優れる 低摩擦係数	軟らかくもろい

チタン）、Al_2O_3（アルミナ）などの硬質物質を、数ミクロンの厚みに強固に付着（蒸着）させたものです。コーティングの中でもAl_2O_3は化学的に安定なため、摩擦熱による腐食摩耗を防止するのに役立ちます。またTiCは非常に硬いことから、被削材と工具の接触部分（逃げ面）の摩耗を防止するのに有効です。以前のコーティング層はTiC単層でしたが、近年ではこれらを組み合わせた多層構造が主体となっています。

また、近年注目されている表面改質技術にDLCがあります[2)~4)]。DLCはダイヤモンドライクカーボン（Diamond-like Carbon）の略称で、炭素原子と一部水素原子から成り立っています。構造はダイヤモンドと黒鉛（いずれも炭素原子のみで形成）の構造が混在したアモルファス構造（非晶質）となっています（**表1**）。

DLC膜は主にCVD（Chemical Vapor Deposition, 化学気相成長法）やPVD（Physical Vapor Deposition, 物理気相成長法）によって作製されます。DLCの特長としては、硬度が高く耐摩耗性に優れることや、摩擦係数が極めて低いことが挙げられます。これらの特長を生かして、切削工具や自動車用部品での実用化が進んでいます[2)]。

切削工具の分野では、DLCはTiC等に替わる新たなコーティング膜として着目されています。一般に、切削加工時には加工発熱を抑えるため潤滑剤が使用されます。しかしながら、近年では環境意識の高まりから、有害物質の低減や作業環境の改善、省エネルギー等のため、潤滑剤を使用しないドライ加工が志向されています。DLCを切削工具に適用するにあたっては、DLC膜と工具母材の密着性が従来のコーティング材に比べ低いことが課題となっていましたが、DLCにチタン、クロム、シリコン等の元素を添加することで密着性を改善したMe-DLC（Metal Incliuded DLC）が開発されています。これにより、難切削材であるアルミ合金のドライ加工が可能となっています[2)]。

また、自動車部品の分野でも4WDカップリングや、エンジン部品を中心にDLCの実用化が進められており、摩擦低減によるパワートレインの効率アップや燃費向上に貢献しています。

4WD車の走行安定性や燃費低減のため、電子制御4WDカップリングにより前後輪のトルク配分が行われます。その動力伝達部の電磁クラッチに耐摩耗性を高めたDLC-Si（シリコン含有DLC）が適用され、高い耐久性を得ることに成功しています[2)]。

また、パワートレインの摩擦損失低減として、エンジンバルブリフターへのDLCの適用が進められています。PVDの一種であるイオンプレーティング法によって、水素を含まないDLC膜を作製することにより、従来のコーティング膜に対して約30%のフリクション低減が達成されています[4)]。

DLCはこのように摩擦特性の改善等に有望な素材であり、組成や水素含有量のコントロール、膜厚の制御や多層化等によりさらに特性を向上させることが期待されています。

参考文献

1）日本金属学会編：「金属便覧改訂6版」（2000）378
2）日本鉄鋼協会：ふぇらむ　vol.13（2008）No.9 589
3）三浦健一：特殊鋼　vol.56（2007）No.5 9
4）保田芳輝：ふぇらむ　vol.13（2008）No.9 595

Ⅲ．会員メーカーの機能材料

JFEスチール㈱

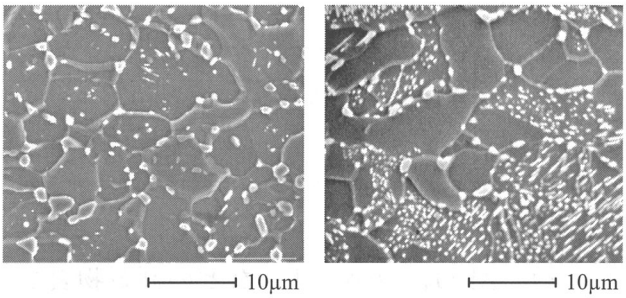
高加工性高炭素熱延鋼板『スーパーホット-F』

当社は、板厚精度と表面性状に優れ、良好な加工性も兼備した高炭素熱延鋼板を開発し、『スーパーホット-F』として製品化しています。この製品は、炭素量が0.35％または0.45％の機械構造用炭素鋼（SC材）の熱延鋼板であり、例えば、自動車変速機部品の素材として用いると、部品製造工程の短縮や部品重量の軽減に寄与します。

複雑な形状を有する自動車の駆動系部品などは、従来は鋳造品や鍛造品に切削や接合等の追加加工を施して必要な形状とすることが大半でした。しかし、最近では、製造コストの低減や軽量化を目的に、高炭素熱延鋼板を板金加工して部品を一体成形する工法が活発に検討されています。このとき、素材の熱延鋼板には、軟質で優れた加工性（延性、バーリング成形性）を有することが求められます。さらには、良好な焼入性や精緻な板厚精度も必要とされます。

当社は、加工性に優れた高炭素熱延鋼板を工業的に製造するため、独自の設備を最大限に駆使することにより、熱間圧延工程において非常に精度の高い急速冷却技術ならびに温度制御技術を確立しました。『スーパーホット-F』では、これらの技術を活用することによって、熱延鋼板のミクロ組織を均一微細化し、球状化焼鈍後の鋼板の加工性を大幅に向上させました。

高炭素鋼板の延性は、鋼板組織のフェライト結晶粒が等軸かつ整粒であるほど良好であり、バーリング成形性は、セメンタイト（炭化物）が球状で均一かつ微細に分散しているほど高まります。**図1**に示すように、『スーパーホット-F』は、等軸で一様なフェライト母相中に球状セメンタイトが均一に分散したミクロ組織を有しています。このような組織に調製することで、一般材と比較して、延性の指標となる破断伸びが約1割、バーリング成形性の指標である穴拡げ率が約3割増加し、引張強さが440MPa級である普通鋼熱延鋼板と同等の加工性水準に到達しています。



(1) スーパーホット-F　(2) 一般材

図 1　0.35％ C鋼熱延鋼板のミクロ組織（球状化焼鈍後）

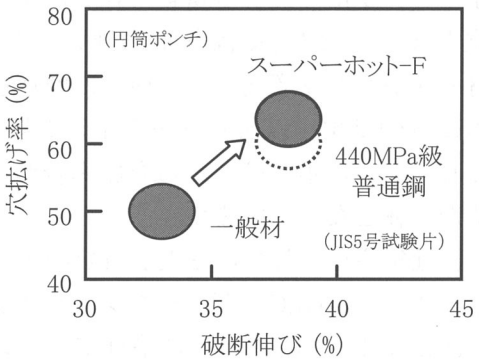


図 2　0.35％ C鋼熱延鋼板の加工性（板厚4.0mm）

『スーパーホット-F』では、圧延条件の高度な制御によって、熱延鋼板でありながら冷延鋼板に匹敵する板厚精度（板厚4mm未満では厚さ許容差±80μm以下）も達成しています。また、赤スケール模様と呼ばれる鋼板表面の荒れを最小限に抑制し、美麗な表面性状も実現しています。さらに、厳格な成分管理や前記の組織調製により、良好な焼入性や打抜性も確保されていますので、幅広い用途で使用できます。

『スーパーホット-F』は、上記した多くの特長から、軸受部や円周フランジ部の成形加工が必要な回転体機械部品の素材として特に好適です。各部位を個別に成形して接合している複雑な形状の複合部品に適用すれば、板金一体成形化による製造工程の削減や部品の軽量化に大きな効果が期待されます。

〔JFEスチール㈱ スチール研究所　小林（こばやし）　崇（たかし）〕

大同特殊鋼㈱

電磁波吸収（磁性シート）

◇　磁性シートとは

電子機器の小型化、薄型化等に伴い電磁波環境両立性（EMC）要求が強まり、電磁波ノイズ対策として電磁波吸収効果を有する磁性シート（通称、ノイズ抑制シート）がよく使用されます。

また、最近では、同様にRFIDシステムにおいても通信距離改善のため金属対応として、磁性シートが使用されます。

磁性シートは、扁平状の軟磁性粉末と合成ゴムからなる２層体です。製品形態は、**写真１**のように、ロール、またはシートのタイプがあります。

◇　磁性シートの特徴

・貼るだけでEMC対策可能（両面テープで貼付）
・広いノイズ周波数に対応可能（10MHz ～ 10GHz）
・柔軟性があり、自由な形状に加工可能
・高い絶縁性（電気抵抗：105Ω～ 107Ω）
・難燃性（規格UL94-V0準拠）
・自然環境配慮（RoHS指令環境影響物質否含有）

◇　磁性シートの効果

１．ノイズ対策の場合

・吸収効果：電磁波ノイズを吸収して熱に変換
・インピーダンス付与：回路へのインピーダンス（抵抗、インダクタンス）付与による伝送ノイズ抑制
・磁気シールド効果：磁気の遮蔽による回路間干渉防止

図１にFPCに貼付した場合の効果を示します。

２．RFIDシステムの場合

交差するアンテナからの磁束により金属板上に誘導される渦電流による磁気エネルギー低下を防止し、対抗するリーダ・ライタとの通信距離を改善します。

◇　磁性シートの使用方法

１．ノイズ対策の場合

ノイズ発生源、又は影響を受ける個所へ磁性シートを貼付します。

写真２はFPCに貼付した場合の状況を示しま

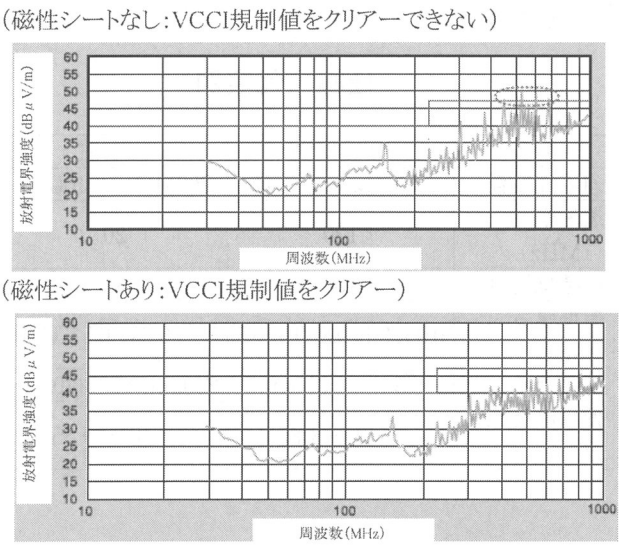
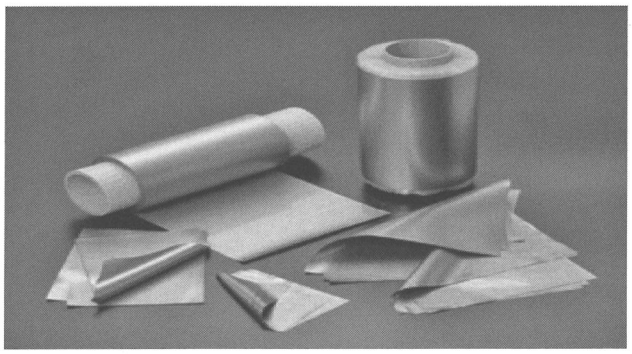
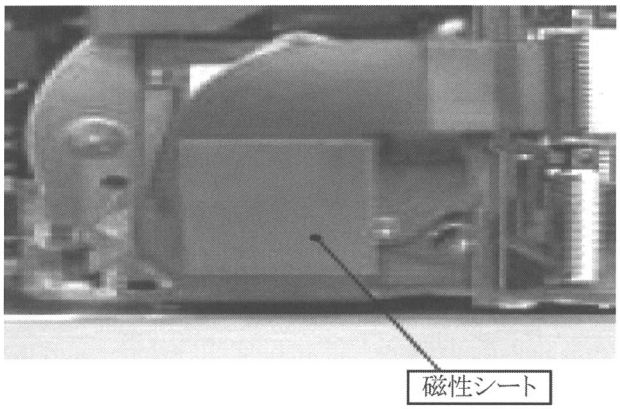


図　１　放射電界強度の周波数特性



写 真 １　磁性シート外観



写 真 ２　磁性シート貼付図

す。

2．RFIDシステムの場合

RFIDシステム用アンテナと金属板（プリント板、電池等）の間に磁性シートを設置します。

◇　磁性シートの選択方法

1．ノイズ対策の場合

電磁波ノイズの吸収効果は、透磁率×厚さに比例しますので、対策が必要なノイズ周波数に対応した帯域で高い透磁率のμ''（磁気損失）の磁性シートを選択します。又、厚い方が効果があります。

2．RFIDシステムの場合

通信周波数（例えば、13.56MHz）において、透磁率のμ'（磁束収斂）が高く、μ''が低い磁性シートを選択します。

図2は代表的な磁性シートの透磁率の周波数特性を示します。

◇　仕様（代表例）

品名	DPR-MF3	DPR-H
適用周波数	10MHz ～ 3 GHz	200MHz ～ 10GHz
透磁率μ' (1MHz)	120	20
面積抵抗(Ω)	10^6	10^6
標準厚さ (mm)	0.05、0.1、0.2、0.3、0.5	0.1、0.25、0.5、(1.0)
製品サイズ	225mm×315mm	230mm×20（10）m
使用温度範囲 (℃)	－40 ～ ＋85	－40 ～ ＋85

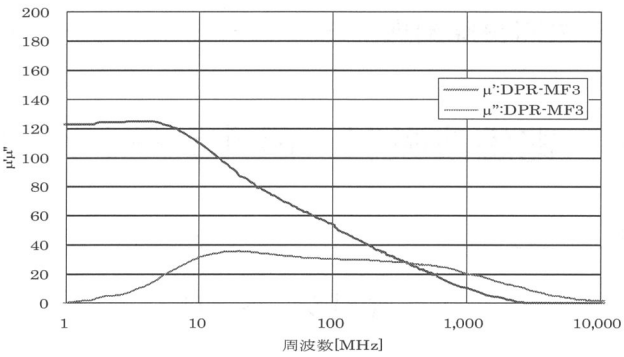


図　2　DPR-MF3透磁率の周波数特性

◇　用途

・筐体輻射対策
　金属筐体内部の内部反射・共振防止
・ICおよび基板輻射対策
　ICからの輻射ノイズ防止、基板間のクロストーク抑制
・ケーブル輻射対策
　ケーブル、FPCからの輻射ノイズ防止
・ESD対策
・RFID用アンテナ特性改善

〔大同特殊鋼㈱
新分野開発センター　井上（いのうえ）　博光（ひろみつ）〕

日本精線㈱

高機能耐熱ばね材シリーズ

はじめに

SUS304やSUS631J1は耐熱ばね用鋼線として、ピアノ線・硬鋼線やオイルテンパー線と比較して高い耐熱へたり特性や耐食性を有していることから幅広く使用されています。

また、最近では特に自動車エンジン等の高性能化や環境対応の為、ばねについてもより高温下での使用が求められており、ばね材への耐熱性向上への要求も高まってきました。

しかしステンレス鋼線ばね材は耐熱温度が約300～400℃程度であることから、より高温の環境においてはインコネルX-750やインコネル718のようなニッケル基析出強化型合金がばね材として一部用いられてきましたが、これらはニッケル基合金であるためにステンレス鋼線と較べて大幅なコストアップとなっています。

当社ではこれらのユーザー要求に応える為、鉄基耐熱合金でありながら従来のニッケル基合金と同等以上の性能を有するNAS670HT、および従来のニッケル基合金ばね材よりも耐熱性に優れたNAS530、NAS520を開発し、高機能耐熱ばね材シリーズとしてラインナップしましたのでここに紹介いたします。

◇ ニッケル基耐熱合金ばね材 NAS530、NAS520

NAS530、NAS520はともに析出強化型ニッケル基合金ばね材です。何れもばね加工後の時効処理によりγ'の析出強化を利用して耐熱へたり特性を高めており、**図1**のようにNAS530（主要成分：19.5Cr-13.5Co-4.3Mo-Al、Ti添加）はインコネル718より耐熱温度が約50℃高く、使用状況・許容へたりにもよりますが約650℃の温度域までばねとして使用可能です。そしてNAS520（主要成分：19Cr-12Co-6Mo-W、Al、Ti添加）はNAS530よりもγ'の析出量を高め、さらに50℃高い約700℃の温度域まで使用可能であり、弊社で最も耐熱温度の高いばね材です。

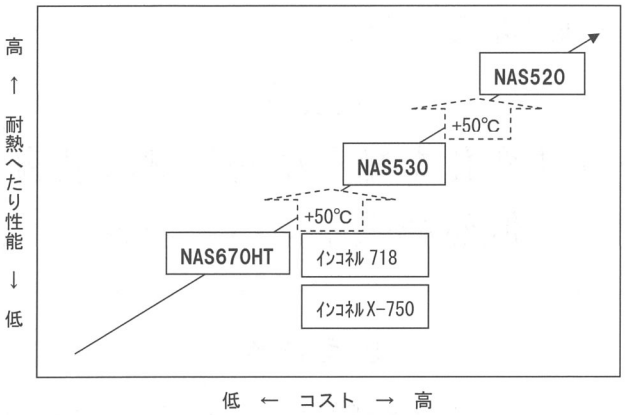


図 1 コストと耐熱へたり性能の位置付け

◇ 鉄基耐熱合金ばね材NAS670HT

NAS670HTは鉄基合金でありながら化学成分および製造方法の最適化によりインコネル718と同等以上の耐熱へたり特性を有するばね材であり、時効処理によりばねとしての強度も確保できます。

また鉄をベースとした耐熱合金の為、**図1**のようにニッケル基の耐熱合金より安価でありながら耐熱へたり性能が高く、コストパフォーマンスに優れた耐熱合金ばね材です。使用状況・許容へたりにもよりますが約600℃までばねとして使用可能です。

◇ 適用範囲

線径：φ1.0～3.0mm

仕上：硬質ニッケルめっき仕上（弊社記号：HNF）、硬質樹脂被膜仕上（弊社記号：HRD）

その他の線径・仕上については、御引合時、別途相談に応じます。

むすび

当社は幅広い耐熱ワイヤーのニーズに応えるべく、高機能耐熱ばね材をシリーズ化しています。今後は自動車関連分野を始めとして化学産業やエネルギー関連分野、その他様々な用途への展開を期待します。

〔日本精線㈱ 研究開発部 飽浦（あきうら） 常夫（つねお）〕

日本冶金工業㈱

NAS36
寸法変化を嫌う精密部材に最適
低熱膨張インバー合金

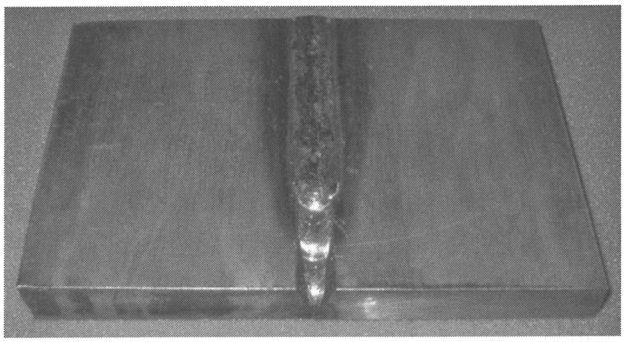
まえがき

インバー合金NAS36の熱膨張率は、鉄の約1/10です。低熱膨張という、あまり金属らしくない特徴の故に熱膨張を嫌う精密部品や、熱膨張率が低い樹脂や炭素繊維複合材料の製造向けに、その用途が飛躍的に広がっています。当社ではインバー製造・利用の技術ノウハウを蓄積し、大量に安定的に高品位の製品を供給する体制を整えています。多くのユーザー様から高い評価を得ています。当社の製品・技術の特徴をまとめます。

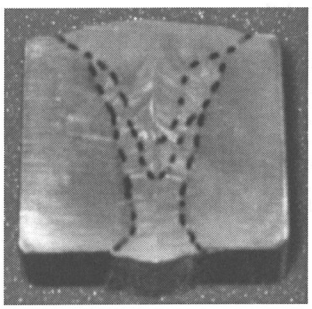
◇ 特徴

1．極低S

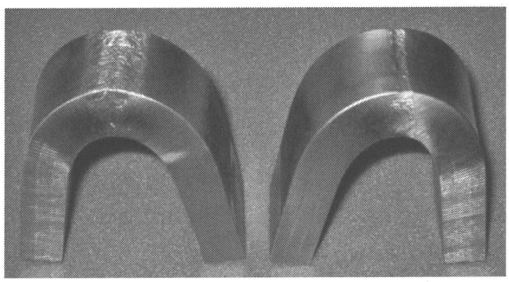
インバー合金は熱間での加工や溶接で割れを起こし易い金属です。しかし、当社NAS36厚板、薄板は長年の改善により、優れた溶接性・加工性をもっています。TIG、MIG溶接ばかりでなく、シーム溶接も可能です。



25mm厚板溶接概観



厚板ビード部断面



溶接部曲げ試験結果

図 1 NAS36の溶接技術

2．介在物

工業的に作られる金属材料には必ず酸化物である介在物が含まれています。高精細CRTに使われるシャドーマスクでは、電子線が通る約0.1mmφの細孔をエッチングで空ける時、大きな介在物があると精密な加工が出来ません。当社では介在物の径を10μm以下に制御しています。大きな介在物を嫌う精密品に最適な材料です。

3．製品ラインナップ

当社では、大量生産設備でNAS36の製造条件を確立し一般ステンレス並の厚板、薄板の品揃えを可能としました。厚板の板厚は用途によりますが最大100mmが可能です。またグループ会社と協力して丸パイプ・角パイプ等、幅広く製品をラインナップしています。これらの製品をパッケージとして供給しています。

4．技術フォロー体制

使った事がない、加工した事がないインバー合金を始めて使う際には心配事が想定されます。また実際に心配した通りにいろいろトラブルが発生します。当社では、ご使用いただく先と協力しながら事前のトラブル回避、使用時の問題解決を図っています。例えば、当社材料溶接のための専用溶接棒も開発してお使いいただいています。

むすび

インバー合金には鋳物、鍛造品、圧延品が用途に応じて使われています。近年は加熱時の割れ防止、溶接時の欠陥防止の技術が著しく進歩し厚板を曲げ・溶接加工した製缶品も多用されるようになってきました。今後も用途が広がる低熱膨張材NAS36を気軽にご利用頂けるようあらゆる面でサポートして参ります。

日本冶金工業㈱ 高機能材販売部 濱田（はまだ） 謙一（けんいち）
㈱YAKIN川崎 商品開発チーム 小室（こむろ） 真（まこと）

業界のうごき

井上特殊鋼、鍛造品加工を強化

井上特殊鋼は、高知県内での鍛造品生産から出荷までの体制を整備するため、業務提携した加工業者の誘致や仕上げ工程の移設を行う。今回、高知県南国市内の流通団地に約500m^{2}の工場を建設。そこへ業務提携した機械加工業者が３月中に移転する。

また、山崎機械製作所室戸工場の仕上げ工程を奈半利工場（高知県安芸郡奈半利町）に移設し、物流効率化を図る。３月中には移設を終える予定。移設によりできた室戸のスペースは金型部門として利用する。

能力増強として、富士鍛工本社工場に建屋を増築し、大型ローリングミルを設置する。これにより最大生産可能サイズが2,700ミリ径まで拡大するのに加え、より重量のあるローリング鍛造品の生産ができる。５月以降に本格稼働に入る予定。また井上特殊鋼単体としては、情報システムを更新する。第1弾運転は10月の予定。（２月12日、鉄鋼新聞）

櫻井鋼鉄、本社倉庫バンドソー２基更新

櫻井鋼鉄はこのほど、本社倉庫にアマダ製などバンドソー２基を導入した。設備の老朽化に伴うリプレースで、３年前から進めている全社的な設備見直し策の一環。本社倉庫は６基のバンドソーを配置しており、今回の新鋭設備導入に伴い１基を金沢支店（石川県白山市）に移設している。

設備投資については、設備の改修・保全を主体に例年1,500万円前後を継続的に実施。特にここ数年は、将来的な事業戦略を考慮した上で、全社的な見直しが必要であるとの判断から、本社及び富山、金沢支店で順次設備投資を実施しており、昨春には老朽化した富山支店の事務所建屋を全面改築している。

今期（2010年１月期）の設備投資については、一連の設備投資が前期で完了したことから、既存設備の改修など必要最低限に抑えるとしている。（２月20日、産業新聞）

住金物産特殊鋼、本社倉庫の整備完了

住金物産特殊鋼は、07年８月から進めてきた本社倉庫の整備を３月上旬に完了させる。安全・衛生を第一に効率化、スピード化を図るため、加工能力の増強、土間の平坦化、ラックの全面入れ替え、新たな入出荷口の設置などを順次実行してきた。総投資額は機械設備を除き１億円強。

同社は、旧井筒鋼業の営業権を譲り受け、06年６月に住金物産の100％子会社として発足。約5,600m^{2}の本社倉庫にSC、SCMなどを在庫。特に大径の丸棒に強みを持ち名古屋以西に素材及び加工品を販売している。

加工設備では昨年12月に老朽化した切断機を２基廃棄し、大型帯鋸切断機（大東精機製、SGA530CNC）を新設した。07年８月にも同様に老朽化設備を２基廃棄し大型帯鋸切断機１基を設置。現在の切断機は整備前に比べ２基減の７基体制となっているが、高速化により加工能力は強化されている。（２月５日、鉄鋼新聞）

孟鋼鉄、創業60周年で記念式典

孟鋼鉄は、１月４日、名古屋市内のホテルグランコート名古屋で「伊藤孟会長卒寿祝・創業60周年・設立30周年記念式典を行い、関係者約150人が出席した。

席上、伊藤秀樹社長は、「同社の成長を支えてきた従業員、取引先に感謝を述べると共に「松岡特殊鋼との共同出資会社のグリーンスチールは業界でも珍しい会社、特殊鋼流通業界の一つのモデルになるのではないか。波乱の年明けを迎えたが、今年を変化への先駆けの年としたい。従業員の人間形成に力を入れ、会社の成長につなげていきたい」と挨拶した。

同社は、1949年９月に伊藤孟会長が名古屋市昭和区で伊藤孟商店として創業。80年には社名を現在の孟鋼鉄に変更、84年には長男の伊藤秀樹氏が社長に就任した。

98年にはインドに合弁で金属長尺屋根工事会社JMBS（ジャパン・メタル・ビルディング・システム）を設立、02年にはグリーンスチールを設立している。

（１月21日、鉄鋼新聞）

豊田通商、ベトナムに現法設立金属系材料を輸入販売

豊田通商はベトナム・ハノイ市に金属系原材料の輸入販売などを手掛ける現地法人「豊田通商ベトナムカンパニー」（TTVN）を設立した。非自動車分野の拡大などを主眼に現地営業を強化する。2012年には年商1,200億円を目指す。

ベトナムは、WTOへの加盟などにより、サービス分野の市場が開放され今年１月から商社現地法人の設立が可能になった。同社では既に、ベトナムを非自動車分野のモデル国と位置付けた取組を行っており、規制緩和を機に現地法人を設立したもの。

現地法人はハノイに本社機能を置き、ホーチミンに支店を展開。

主な事業内容は、金属系原材料の輸入販売や日系企業の現地進出支援、資源開発事業、自動車部品物流など。また、衣料（ユニフォームなど）の縫製事業や洗剤原料の輸入販売、食材の生産及び加工事業も手掛ける。（１月28日、鉄鋼新聞）

業界のうごき

日本金型材、高付加化進め受注強化

日本金型材は09年度の事業計画として、主力のプラスチック金型用鋼をはじめとした扱い商品の一層の高付加価値化と受注強化を主軸に位置付け、売上高について今期予想並みの100億円規模をめざす。同社ではここ数年、国内３加工拠点（三田工場、那須工場、青木工場）の生産設備の見直し策として、工場ごとに新設備導入や組み立てライン増設などを実施している。昨年には三田工場と青木工場で、複雑な３次元形状加工が行える大型マシニングセンタを導入し、三田では自動車や住宅設備関連向け、青木では自動車と弱電関連をターゲットに受注活動を展開。さらに、コンピュータシステムを再構築するなど、全社的な業務効率の見直しも実施している。

09年度については、これら拡充した設備を効率活用しながら、複雑な３次元形状加工品などの対応強化を積極的に行い、売り上げ規模の維持を図る。（１月27日、産業新聞）

白鷺特殊鋼、品質管理体制強化 技術SC試験室設置

白鷺特殊鋼は、このほど品質管理体制を強化するため、本社内に技術サービスセンター試験室を設置した。扱い鋼材の成分チェックなどを自社内で行うことにより、クレームやニーズへの対応が迅速化した。

技術サービスセンター試験室は本社敷地内に昨年開設。専用建屋内に金属顕微鏡や材料判別装置、超音波探傷装置などの各種検査機器を導入し、冶金専門技術者２人で対応している。自社で扱う鋼材の成分検査を行うことで、異材混入などを未然に防ぎ、業務の効率化を実現。

また、成分判別などの検査工程を活用して、ユーザーを対象とした特殊鋼鋼材に関する勉強会や見学会も行うなど、独自のサービス体制を打ち出している。

同社では品質管理体制の強化は、商品への信頼度を高めることが主眼。皆様のお役に立つ企業になるためにも、一層のサービス向上に努めるとしている。（２月９日、産業新聞）

藤田商事、神奈川支店を開設 構造用鋼など即納強化

藤田商事は、２月２日付で神奈川県相模原市に神奈川支店を開設する。西関東の顧客に対する即納強化が狙いで、最新鋭の切断機を置き、構造用丸鋼、ステンレス丸鋼の専門店として地域密着サービスを展開する。

神奈川支店は、昨年５月に廃業した吉葉シャフトの跡地を活用して開設する。敷地737m^2、建屋459m^{2}で2.8t天井クレーン２基、KASTO高速帯鋸盤２台を置き、420ミリ径までの構造用丸鋼のほかステンレス丸鋼、磨棒鋼など合計約300tを在庫する。従来は西関東の顧客に対して浦安鉄鋼センターから配送対応してきたが、都心を抜けるため時間効率が不十分だった。神奈川支店の開設により即納強化、密着型営業が進められる。北関東や茨城とは異なり、浦安のバックアップ体制を前提に小規模で出店展開する。

（１月12日、鉄鋼新聞）

秋山精鋼、合弁会社を設立 ベトナムで磨棒鋼製造

秋山精鋼は、日系のプリンター製造メーカが集積するベトナムで磨棒鋼事業を本格展開するため住友商事とOA機器向け細径磨棒鋼の生産・販売を行う合弁会社を設立した。ベトナム国内での磨棒鋼製造業者は始めとなる。新会社は、「AKIYAMA-SC（VIETNAM）COMPANYLIMITED」。

本格生産は09年11月からの予定。設備はコイル・ツー・バー引抜ライン２ライン（O型、I型）を導入し、製品サイズは４～14ミリ径。センタレスグラインダは２基体制でスタート。当面は細径のOA機器向け精密シャフトを月刊500t程度生産する計画。今後ベトナム市場でのOA機器向け精密シャフト材の需要拡大に対応すると同時に、中国・東南アジア地区で磨棒鋼の供給体制を構築することを狙い、ベトナムでの合弁を進める。（１月19日、鉄鋼新聞）

住金、交通産機品カンパニー 鉄道車両品事業が堅調

住友金属工業・交通産機品カンパニーの鉄道車両品事業が堅調だ。住金は国内シェア100％の車輪、車軸、鍛鋼ディスクブレーキをはじめ駆動装置、連結器、台車などでも国内トップシェアを持つ。国内鉄道需要の堅調に加えて、インド、欧州向け車輪輸出の強化にも継続的に取組んでおり、09年度も08年度並みの売上げ規模を維持する見通しだ。

08年10月末時点の業績見通しでは、交通産機品カンパニーの08年度連結売上高見通しは1,150億円で、このうち鉄道車両品事業は約４割。同事業については09年度も同水準の売上規模を見込んでいる。国内では、JRなど鉄道各社向けが堅調推移しているほか、10年開業の京成電鉄・成田新高速鉄道「新型スカイライナー」向け台車の全量納入などがプラス要因になる。鍛鋼車輪は年産24万枚体制を構築しており、国内向けは10万枚の堅調レベルを維持。

（１月29日、鉄鋼新聞）

日本金属、コンピュータシステム 全面オープン化

日本金属は、コンピュータシステ

ムの全面オープン化を１月に完了、すべての基幹業務をオープン系システムで開始した。同社は、受注・生産管理・売上げ、人事・経理などすべての基幹業務管理をメーンフレーム系のホストコンピュータで行っていたが、パソコンから必要な情報を簡単に取得できる“オープン系システム”に移行したもの。

全面オープン化は鉄鋼業界では初めて。全面オープン化は日立製作所グループ（中国・大連でのオフショア利用）の支援を受け、07年５月から作業を進めていた。全プログラム資産の活用状況を精査して、本数を半分以下にまで減らし、それに合わせた安価なハードを導入した。今後は営業関連情報をオープンシステムに統合し、利用者のパソコンからすべての営業所情報へアクセスできる「営業支援システム」を導入し、営業活動を支援する計画だ。

（２月６日、鉄鋼新聞）

日金工、SUS自動車構造材 引き合い好調

日本金属工業が昨年開発したオーステナイ系ステンレスの自動車用車体構造材NTKS-4Lは、引き合いが好調で、問い合わせが相次いでいる。高強度を目的に窒素を添加し、溶接での粒界腐食感受性低減のために炭素を低下させ、耐食性維持のためにクロム含有量を17％とした。「薄肉化、耐食性などの特徴を生かし、トータルメリットで売り込む」とし、超高強度鋼（ハイテン材）が主流の自動車用ボディー、足回りなどの車体構造材として普及させたい考えだ。

NTKS-4LのベースとなるNTK-Sは1980年代に同社が開発した。自動車用エンジン部品であるシリンダーヘッドガスケットとして、ユーザーニーズに応えた材料として使用されている。自動車の車体構造材として使用する場合、S-4Lは板厚を薄くすることが可能な高強度材として適している。

（２月17日、産業新聞）

日新、グローバル展開強化 アセリノックス持分法適用会社に

日新製鋼は、ステンレス最大手のスペインのアセリノックス株935万9,000株を129億7,000万円で追加取得したと発表した。従来11.3％だった保有比率は15％に上昇し、１～３月から持分法適用会社とする。１月にはマレーシアのステンレス冷延新工場の合弁事業契約を締結し、アジアの新拠点を共同で整備している。

アセリノックスとはマレーシアの年産24万tのステンレス冷延鋼板合弁工場新設で昨年３月に合意した。資本金５億5,160万リンギット（約143億円）の合弁会社。バル・ステンレスはアセリノックスが67％を支配し、日新製鋼が33％を出資する。約３億2,000万ドル（287億円）を投じて冷延ミル、焼鈍酸洗設備からなる新工場を建設、2010年に営業生産を開始する。

足元の需要は落ち込んでいるものの、東南アジアで中長期の需要拡大をにらんで供給拠点を整備する。

（２月５日、産業新聞）

冶金、スーパーステンレス 海洋構造物向け受注強化

日本冶金工業は、高機能材拡販戦略の一環で、海洋構造物向けスーパーステンレスの受注強化を図る。海上空港や石油・ガス関連設備等はプロジェクト規模が大きく、海水に対する高耐食性などの点でスーパーステンレスの使用メリットも大きい。２月からは「高機能材拡販推進本部」を新設して、全社的にベクトルを合わせて拡販戦略に乗り出している。

海上空港関連では、羽田空港再拡張事業で、海水に対する優れた耐食性から保守・維持費用低減のためスーパーステンレスが採用された。同社のNAS185N（SUS312L、UNS S31254）が主に連絡誘導路ジャケットのステンレスライニング材（ジャケットレグとブレースの銀色部分）として採用。滑走路ジャケットのステンレスライニングには主に他社の同等材が使用されており、国内の海洋構造物向けスーパーステンレスの採用案件として注目されている。

（２月12日、鉄鋼新聞）

日立、コーティング事業 日立ツールに統合

日立金属と日立ツールは、両社のコーティング事業を統合すると発表した。開発力強化や効率化が狙い。日立金属は、金型・自動車部品・切削工具のコーティングを行う表面改質センター（島根県松江市）を３月１日付で日立ツールに移管する。日立ツールは同センターの開発技術を他工場にも適用する一方、09年末に同センターに隣接して基盤技術研究センターを開設し、研究部門を松江に集約。日立金属との連携を強化する。

日立金属は、特殊鋼事業の高度化の一環で、05年に表面改質センターを開設。島根県などと開発した技術をベースに、耐摩耗性や潤滑性を高水準で両立する複合PVD（物理蒸着）コーティング技術を確立している。

日立ツールは３月１日付で松江表面改質センターを開設。金型・部品向けの販売は日立金属が継承し、日立ツールに加工委託する。

（２月19日、鉄鋼新聞）

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

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

（単位：t）

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
'07暦年	277,935	5,099,889	4,102,711	9,202,600	504,131	923,983	3,492,210	987,711	5,278,383	831,286	12,017,704	21,498,239
'08暦年	278,962	5,152,106	4,192,382	9,344,488	509,061	1,047,806	3,209,876	919,300	5,576,199	891,875	12,154,117	21,777,567
'06年度	258,425	4,895,024	3,905,821	8,800,845	487,448	889,270	3,514,766	1,039,998	5,308,355	989,937	12,229,774	21,289,044
'07年度	284,120	5,198,139	4,187,223	9,385,362	520,413	968,273	3,389,620	972,770	5,355,840	869,309	12,076,225	21,745,707
'08. 1-3月	73,671	1,363,275	1,088,871	2,452,146	138,560	264,753	857,100	246,958	1,485,224	237,752	3,230,347	5,756,164
4-6月	72,376	1,336,141	1,084,235	2,420,376	132,234	262,200	885,677	243,005	1,395,600	216,256	3,134,972	5,627,724
7-9月	70,955	1,307,300	1,069,784	2,377,084	132,828	264,421	855,672	229,187	1,414,948	231,091	3,128,147	5,576,186
10-12月	61,960	1,145,390	949,492	2,094,882	105,439	256,432	611,427	200,150	1,280,427	206,776	2,660,651	4,817,493
'07年 11月	24,013	446,828	364,500	811,328	46,271	84,274	261,089	77,464	498,214	70,640	1,037,952	1,873,293
12月	23,785	454,211	345,611	799,822	43,887	83,622	275,460	82,582	420,026	74,137	979,714	1,803,321
'08年 1月	23,421	448,393	353,200	801,593	45,526	79,781	294,517	78,613	490,494	72,902	1,061,833	1,886,847
2月	25,072	446,277	360,712	806,989	44,537	88,323	272,117	80,015	469,100	74,542	1,028,634	1,860,695
3月	25,178	468,605	374,959	843,564	48,497	96,649	290,466	88,330	525,630	90,308	1,139,880	2,008,622
4月	24,571	440,672	365,477	806,149	45,274	83,675	298,431	76,552	452,333	78,664	1,034,929	1,865,649
5月	22,781	440,992	364,867	805,859	45,017	90,098	298,611	80,485	476,640	73,592	1,064,443	1,893,083
6月	25,024	454,477	353,891	808,368	41,943	88,427	288,635	85,968	466,627	64,000	1,035,600	1,868,992
7月	23,751	454,823	379,836	834,659	45,052	86,854	292,850	82,817	489,112	80,499	1,077,184	1,935,594
8月	23,634	400,695	325,814	726,509	43,540	80,782	288,393	67,145	453,530	65,129	998,519	1,748,662
9月	23,570	451,782	364,134	815,916	44,236	96,785	274,429	79,225	472,306	85,463	1,052,444	1,891,930
10月	24,910	461,306	366,098	827,404	39,360	93,683	268,509	75,338	482,751	79,226	1,038,867	1,891,181
11月	19,655	388,191	340,881	729,072	36,563	93,295	192,741	67,307	424,641	61,602	876,149	1,624,876
12月	17,395	295,893	242,513	538,406	29,516	69,454	150,177	57,505	373,035	65,948	745,635	1,301,436
前月比	88.5	76.2	71.1	73.8	80.7	74.4	77.9	85.4	87.8	107.1	85.1	80.1
前年同月比	73.1	65.1	70.2	67.3	67.3	83.1	54.5	69.6	88.8	89.0	76.1	72.2

※平成19年1月（2007年1月）の調査区分改正によるステンレス鋼及びその他の計上区分変更に伴い、以前の値と比較することはできない。

経済産業省調査統計部調べ

形状別

（単位：t）

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'07暦年	381,911	6,724,149	1,662,975	4,394,559	2,240,897	6,093,748	21,498,239
'08暦年	398,610	6,883,261	1,679,403	4,446,064	2,303,024	6,067,205	21,777,567
'06年度	351,023	6,480,691	1,744,846	4,296,807	2,319,440	6,096,237	21,289,044
'07年度	393,934	6,904,242	1,620,290	4,463,129	2,220,519	6,143,593	21,745,707
'08. 1-3月	102,877	1,805,512	410,663	1,189,105	581,856	1,666,151	5,756,164
4-6月	115,388	1,778,897	414,275	1,157,010	592,702	1,569,452	5,627,724
7-9月	115,424	1,756,562	433,920	1,125,035	596,020	1,549,225	5,576,186
10-12月	64,921	1,542,290	420,545	974,914	532,446	1,282,377	4,817,493
'07年 11月	55,808	601,629	132,763	375,039	194,824	513,230	1,873,293
12月	32,701	592,333	129,077	375,883	188,100	485,227	1,803,321
'08年 1月	29,550	578,425	140,445	378,721	201,439	558,267	1,886,847
2月	32,557	600,221	128,026	385,314	176,496	538,081	1,860,695
3月	40,770	626,866	142,192	425,070	203,921	569,803	2,008,622
4月	31,726	579,288	148,678	382,985	187,692	535,280	1,865,649
5月	40,636	586,940	150,261	394,476	199,913	520,857	1,893,083
6月	43,026	612,669	115,336	379,549	205,097	513,315	1,868,992
7月	40,839	606,766	153,621	398,417	204,473	531,478	1,935,594
8月	28,392	534,604	145,888	337,601	192,727	509,450	1,748,662
9月	46,193	615,192	134,411	389,017	198,820	508,297	1,891,930
10月	27,524	614,156	151,364	377,127	195,195	525,815	1,891,181
11月	26,415	536,776	146,437	324,178	168,711	422,359	1,624,876
12月	10,982	391,358	122,744	273,609	168,540	334,203	1,301,436
前月比	41.6	72.9	83.8	84.4	99.9	79.1	80.1
前年同月比	33.6	66.1	95.1	72.8	89.6	68.9	72.2

経済産業省調査統計部調べ

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別販売（商社＋問屋）の推移

（単位：t）

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
'07暦年	329,657	4,443,784	6,031,829	10,475,613	233,771	356,537	2,363,281	265,934	68,706	19,797	3,308,026	14,113,296
'08暦年	301,143	4,784,138	7,539,250	12,323,388	249,969	387,676	1,996,132	255,561	70,477	20,039	2,979,854	15,604,385
'06年度	299,601	5,053,474	4,414,140	9,467,614	147,940	338,204	−	277,738	68,729	3,262,139	4,094,750	13,861,965
'07年度	327,547	4,408,766	6,522,433	10,931,199	233,623	359,758	2,355,364	266,340	69,005	20,256	3,304,346	14,563,092
'08年 4月	26,121	399,935	598,379	998,314	25,355	32,464	188,151	26,351	6,209	1,793	280,323	1,304,758
5月	26,996	381,313	599,416	980,729	24,168	41,074	221,553	22,020	5,937	1,471	316,223	1,323,948
6月	27,261	407,318	648,712	1,056,030	21,243	34,777	343,089	21,524	6,653	1,886	429,172	1,512,463
7月	27,105	434,113	720,236	1,154,349	25,066	35,855	▲23,825	22,657	6,435	1,839	68,027	1,249,481
8月	22,811	359,696	652,770	1,012,466	19,039	31,284	373,043	18,123	5,170	1,282	447,941	1,483,218
9月	26,172	454,859	690,885	1,145,744	25,694	33,981	423,653	21,039	7,242	1,506	513,115	1,685,031
10月	25,199	421,256	713,725	1,134,981	20,059	33,619	▲345,677	20,613	5,647	1,841	▲263,898	896,282
11月	21,807	485,939	632,929	1,118,868	17,413	29,543	119,948	17,556	3,656	1,698	189,814	1,330,489
12月	18,930	290,631	514,461	805,092	18,941	26,163	110,378	14,642	4,314	1,404	175,842	999,864
前月比	86.8	59.8	81.3	72.0	108.8	88.6	92.0	83.4	118.0	82.7	92.6	75.2
前年同月比	72.9	77.5	86.3	82.9	92.8	80.3	45.1	70.6	82.2	86.0	54.1	75.6

経済産業省調査統計部調べ

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別在庫の推移

メーカー在庫

（単位：t）

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
'07暦年	7,654	159,314	86,474	245,788	25,311	27,623	165,130	37,346	145,944	30,951	432,305	685,747
'08暦年	8,093	158,882	97,436	256,318	20,118	33,335	117,430	34,466	143,757	35,032	384,138	648,549
'06年度	6,975	134,026	74,208	208,234	23,324	22,866	−	31,498	138,673	192,208	408,569	623,778
'07年度	7,597	135,358	81,623	216,981	23,037	28,377	173,543	34,013	163,180	28,440	450,590	675,168
'08年 4月	8,735	143,097	88,991	232,088	27,635	27,493	169,294	33,931	157,780	34,254	450,387	691,210
5月	6,331	139,918	89,250	229,168	24,468	28,220	160,703	31,676	154,733	35,935	435,735	671,234
6月	6,816	144,309	95,262	239,571	26,473	29,995	164,428	37,586	141,812	33,149	433,443	679,830
7月	5,995	136,515	91,658	228,173	24,157	26,443	153,971	33,734	144,683	37,748	420,736	654,904
8月	7,264	142,548	86,312	228,860	27,615	30,053	166,452	34,316	144,115	32,221	434,772	670,896
9月	7,125	147,953	83,369	231,322	22,978	28,477	162,801	34,214	136,062	30,485	415,017	653,464
10月	7,550	157,787	89,072	246,859	18,640	28,410	131,773	33,339	150,618	32,784	395,564	649,973
11月	7,504	161,768	98,890	260,658	23,497	33,985	135,781	32,450	149,164	28,464	403,341	671,503
12月	8,093	158,882	97,436	256,318	20,118	33,335	117,430	34,466	143,757	35,032	384,138	648,549
前月比	107.8	98.2	98.5	98.3	85.6	98.1	86.5	106.2	96.4	123.1	95.2	96.6
前年同月比	105.7	99.7	112.7	104.3	79.5	120.7	71.1	92.3	98.5	113.2	88.9	94.6

経済産業省調査統計部調べ

流通在庫

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他	計	
'07暦年	47,333	176,205	99,901	276,106	9,143	27,190	156,460	22,819	8,268	2,650	226,530	549,969
'08暦年	56,844	205,637	128,710	334,347	14,722	35,480	156,850	24,409	9,735	3,107	244,303	635,494
'06年度	48,369	187,193	120,511	307,704	8,036	31,881	−	26,995	7,394	143,770	218,076	574,149
'07年度	46,713	168,377	100,739	269,116	8,207	26,966	156,277	20,133	7,705	2,439	221,727	537,556
'08年 4月	47,610	158,307	97,566	255,873	9,339	26,417	152,194	17,680	7,674	2,181	215,485	518,968
5月	48,759	157,754	99,066	256,820	9,676	26,948	152,325	16,756	7,563	2,377	215,645	521,224
6月	49,217	151,604	98,361	249,965	10,207	26,387	152,738	17,412	7,227	2,233	216,204	515,386
7月	49,455	150,234	97,801	248,035	9,631	25,225	153,017	18,071	7,569	2,412	215,925	513,415
8月	50,461	149,467	99,510	248,977	10,717	24,787	155,408	21,206	7,686	2,470	222,274	521,712
9月	51,427	153,420	102,956	256,376	11,757	25,406	158,248	20,979	7,654	2,536	226,580	534,383
10月	53,328	170,661	108,064	278,725	12,298	27,369	156,417	22,025	8,214	2,694	229,017	561,070
11月	55,369	187,513	122,184	309,697	13,780	32,178	155,517	24,235	8,967	3,029	237,706	602,772
12月	56,844	205,637	128,710	334,347	14,722	35,480	156,850	24,409	9,735	3,107	244,303	635,494
前月比	102.7	109.7	105.3	108.0	106.8	110.3	100.9	100.7	108.6	102.6	102.8	105.4
前年同月比	120.1	116.7	128.8	121.1	161.0	130.5	100.2	107.0	117.7	117.2	107.8	115.6

※平成19年1月（2007年1月）の調査区分改正によるステンレス鋼及びその他の計上区分変更に伴い、以前の値と比較することはできない。

経済産業省調査統計部調べ

特殊鋼熱間圧延鋼材の輸出入推移

輸　出

（単位：t）

年　月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼				その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ｽﾃﾝﾚｽ鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'07 暦年	27,789	382,147	365,320	747,467	144,701	1,284,215	126,273	1,555,189	15,168	3,443,229	3,458,397	5,788,841
'08 暦年	32,886	379,994	392,976	772,970	165,124	1,343,111	151,537	1,659,772	15,874	3,429,633	3,445,508	5,911,136
'06 年度	26,441	331,605	290,303	621,908	145,238	1,464,263	85,692	1,695,193	11,762	3,256,039	3,267,802	5,611,344
'07 年度	29,193	396,994	385,052	782,046	157,513	1,302,718	145,326	1,605,556	15,357	3,504,345	3,519,702	5,936,498
'08年 4月	2,802	29,714	32,097	61,811	10,703	111,922	10,659	133,284	1,156	279,684	280,839	478,736
5月	3,523	36,788	31,603	68,391	14,694	123,730	13,552	151,976	828	279,093	279,921	503,811
6月	2,709	28,552	31,801	60,353	13,212	125,551	6,283	145,046	1,589	266,519	268,108	476,216
7月	2,826	33,408	42,953	76,362	14,746	135,541	10,722	161,009	1,601	307,783	309,384	549,581
8月	2,818	29,156	34,468	63,623	14,711	103,750	17,727	136,189	1,611	313,066	314,677	517,307
9月	2,475	32,597	36,860	69,457	15,501	128,717	16,725	160,943	2,232	329,831	332,063	564,939
10月	3,581	30,495	30,302	60,797	13,792	109,239	9,263	132,294	1,479	298,289	299,768	496,440
11月	2,368	23,293	29,014	52,308	9,166	72,836	6,706	88,708	1,530	217,498	219,028	362,412
12月	2,070	25,818	22,466	48,284	16,088	71,188	9,951	97,226	1,160	243,365	244,526	392,106
前月比	87.4	110.8	77.4	92.3	175.5	97.7	148.4	109.6	75.9	111.9	111.6	108.2
前年同月比	74.1	68.6	66.0	67.4	130.4	59.1	71.2	66.3	96.5	75.8	75.9	72.2

財務省通関統計

輸　入

年　月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼						快削鋼	その他の鋼			合　計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管	計		高炭素鋼	合金鋼	計	
'07 暦年	3,460	1,112	635	6,182	11,308	192,988	7,980	219,094	40	27,359	35,380	62,739	286,445
'08 暦年	4,473	1,090	257	6,633	10,173	112,107	6,170	135,341	10	7,874	55,741	63,614	204,527
'06 年度	3,142	978	711	9,282	12,492	186,814	10,953	220,252	31	17,084	33,281	50,365	274,767
'07 年度	3,978	1,107	532	5,489	9,694	151,995	6,473	174,183	19	21,849	38,052	59,900	239,187
'08年 4月	281	17	12	659	607	7,150	422	8,851	−	869	5,040	5,909	15,059
5月	451	190	40	624	633	6,767	571	8,636	−	305	5,253	5,558	14,835
6月	325	69	33	435	1,451	16,887	334	19,139	10	393	3,691	4,084	23,627
7月	388	143	32	644	972	10,420	454	12,522	−	242	5,692	5,934	18,986
8月	515	86	26	577	749	10,092	628	12,072	・	195	3,991	4,187	16,860
9月	296	98	・	474	953	8,461	751	10,638	−	373	8,524	8,897	19,930
10月	294	77	16	715	1,358	10,555	676	13,320	−	823	4,751	5,573	19,265
11月	210	60	13	436	435	6,647	583	8,113	−	610	3,217	3,826	12,210
12月	523	52	15	464	1,094	8,620	535	10,728	−	2,221	4,966	7,187	18,490
前月比	249.4	85.7	119.3	106.4	251.3	129.7	91.8	132.2	−	364.2	154.4	187.8	151.4
前年同月比	255.9	100.0	26.4	187.1	178.6	108.8	102.7	114.6	−	223.5	152.6	169.2	133.4

財務省通関統計

関連産業指標推移

（単位：台）　（単位：億円）

年　月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録		建設機械生産		産業車輌生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
		うちトラック		うちトラック		うちトラック	ブルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック			
'07 暦年	11,596,327	1,538,020	6,549,940	616,450	5,353,648	937,732	9,120	180,425	171,128	18,752	123,366	65,118	15,900
'08 暦年	11,563,629	1,508,378	6,727,091	658,218	5,082,235	839,259	9,249	149,228	174,025	17,539	116,022	65,866	13,011
'06 年度	11,501,208	1,621,093	6,130,421	587,900	5,618,545	1,044,171	8,971	167,457	157,292	18,921	127,413	62,094	14,746
'07 年度	11,790,059	1,559,205	6,769,851	641,168	5,319,620	913,961	9,515	181,945	177,864	18,965	123,640	66,918	15,939
'08年 4月	917,951	119,882	584,059	53,101	368,827	61,804	931	13,926	14,725	1,363	10,094	5,693	1,282
5月	924,897	122,097	528,617	47,294	360,519	63,414	857	12,918	15,401	1,365	11,146	5,323	1,328
6月	1,034,277	136,763	594,684	58,694	446,989	81,825	877	14,115	16,966	1,493	10,851	5,800	1,284
7月	1,087,454	144,581	619,174	64,304	454,593	70,107	738	14,310	17,200	1,433	10,428	4,494	1,239
8月	769,829	106,911	r 496,732	54,363	310,091	53,730	529	10,348	12,045	1,135	8,917	4,637	1,118
9月	1,056,556	142,385	615,922	59,997	476,817	78,044	793	13,134	16,337	1,739	9,407	6,511	1,135
10月	1,013,063	139,037	575,391	57,884	r 379,364	r 63,415	735	11,739	14,428	1,838	8,997	3,274	815
11月	854,171	106,170	491,990	51,536	368,883	72,241	695	8,465	11,442	1,511	7,542	2,859	517
12月	725,552	89,023	422,077	43,158	306,319	52,898	417	6,396	9,347	1,080	7,416	6,189	369
前月比	84.9	83.8	85.8	83.7	83.0	73.2	60.0	75.6	81.7	71.5	98.3	216.5	71.3
前年同月比	74.8	72.2	66.4	73.8	83.3	85.9	48.0	43.5	64.1	58.7	73.2	118.2	28.2

出所：日本自動車工業会、経済産業省、総務省、産業機械工業会、工作機械工業会

特殊鋼流通統計総括表　２００８年　１２月分

鋼種別	項目＼月別	実数(t)	前月比(%)	前年同月比(%)	1995年基準指数(%)	1987～2008年随時 年月	ピーク時	年月	ボトム時
工具鋼	生産高	17,395	88.5	73.1	78.2	91. 3	29,286	02.01	13,584
	輸出船積実績	2,070	87.4	74.1	57.8	87. 3	10,368	07. 1	1,353
	販売業者 受入高計	20,405	85.6	76.8	99.2	07. 1	31,631	87. 2	15,703
	販売業者 販売高計	18,930	86.8	72.9	92.9	07. 1	30,175	87. 5	15,925
	販売業者 消費者向	10,267	87.8	65.1	109.4	07.10	17,272	04. 9	7,843
	販売業者 在庫高計	56,844	102.7	120.1	157.7	08.12	56,844	87.10	31,813
	生産者工場在庫高	8,093	107.8	105.7	72.2	91.10	17,876	07. 8	6,042
	総在庫高	64,937	103.3	118.1	137.4	08.12	64,937	88. 1	41,105
構造用鋼	生産高	538,406	73.8	67.3	99.2	08.10	827,404	04. 9	416,651
	輸出船積実績	48,284	92.3	67.4	285.2	08. 2	79,915	92. 1	10,222
	販売業者 受入高計	829,742	72.2	85.9	251.2	08.10	1,157,330	98. 8	257,445
	販売業者 販売高計	805,092	72.0	82.9	245.5	08.10	1,134,981	99. 8	253,971
	販売業者 消費者向	511,498	91.1	91.6	239.3	08.10	670,656	98. 8	166,732
	販売業者 在庫高計	334,347	108.0	121.1	139.1	08.12	334,347	87.10	169,822
	生産者工場在庫高	256,318	98.3	104.3	85.6	97.11	320,394	05. 6	204,523
	総在庫高	590,665	103.6	113.2	109.4	08.12	590,665	87.12	427,189
ばね鋼	生産高	29,516	80.7	67.3	69.3	89. 3	60,673	98. 8	25,096
	輸出船積実績	16,088	175.5	130.4	127.1	06. 5	27,829	00. 6	4,975
	販売業者 受入高計	19,883	105.2	96.4	133.2	08. 4	26,487	03. 4	6,747
	販売業者 販売高計	18,941	108.8	92.8	127.1	08. 4	25,355	03. 4	6,701
	販売業者 消費者向	3,185	84.5	75.0	25.7	90.10	23,876	07. 1	2,765
	販売業者 在庫高計	14,722	106.8	161.0	463.2	08.12	14,722	03. 9	1,534
	生産者工場在庫高	20,118	85.6	79.5	62.6	95.12	41,374	08.10	18,640
	総在庫高	34,840	93.5	101.1	98.7	96. 3	45,219	02. 9	23,836
ステンレス鋼	生産高	150,177	77.9	54.5	55.6	07. 3	330,543	08.12	150,177
	輸出船積実績	71,188	97.7	59.1	70.0	05. 3	152,476	90. 1	27,286
	販売業者 受入高計	111,711	93.8	45.8	74.4	06. 5	587,740	87. 1	94,120
	販売業者 販売高計	110,378	92.0	45.1	73.9	06. 5	587,941	87. 1	94,977
	販売業者 消費者向	51,701	95.7	76.2	90.7	06. 1	292,191	87. 1	34,263
	販売業者 在庫高計	156,850	100.9	100.2	141.9	01.10	169,096	87. 3	51,419
	生産者工場在庫高	117,430	86.5	71.1	79.8	02. 4	188,988	94. 1	106,744
	総在庫高	274,280	94.2	85.3	106.4	01.10	352,013	88. 4	191,203
快削鋼	生産高	57,505	85.4	69.6	64.9	88. 3	116,819	08.12	57,505
	販売業者 受入高計	14,816	75.0	69.4	88.1	06. 9	25,874	04. 9	7,949
	販売業者 販売高計	14,642	83.4	70.6	88.5	08. 4	26,351	98. 8	11,224
	販売業者 消費者向	13,213	78.2	66.8	92.9	08. 4	23,235	04. 9	9,649
	販売業者 在庫高計	24,409	100.7	107.0	106.6	07. 8	27,861	87. 1	9,364
	生産者工場在庫高	34,466	106.2	92.3	153.3	87. 1	43,166	01.12	17,975
	総在庫高	58,875	103.9	97.9	129.8	06. 5	69,020	02. 3	31,448
高抗張力鋼	生産高	373,035	87.8	88.8	159.3	07. 3	513,596	87. 2	151,890
	販売業者 受入高計	5,082	115.3	94.2	41.0	90. 2	18,841	02. 8	3,675
	販売業者 販売高計	4,314	118.0	82.2	34.9	90.10	18,863	02. 8	3,521
	販売業者 消費者向	2,943	115.5	76.7	54.7	90.10	9,573	02. 5	2,387
	販売業者 在庫高計	9,735	108.6	117.7	73.5	99.12	20,289	02.12	5,895
	生産者工場在庫高	143,757	96.4	98.5	85.8	87. 6	204,893	99.11	99,475
	総在庫高	153,492	97.1	99.5	84.9	01. 5	217,711	06. 3	110,555
その他	生産高	135,402	87.4	85.8	57.8	－	－	－	－
	販売業者 受入高計	30,947	85.1	88.8	249.9	－	－	－	－
	販売業者 販売高計	27,567	88.2	80.6	223.3	－	－	－	－
	販売業者 消費者向	21,053	88.9	79.9	391.1	－	－	－	－
	販売業者 在庫高計	38,587	109.6	129.3	291.2	－	－	－	－
	生産者工場在庫高	68,367	109.5	116.7	40.8	－	－	－	－
	総在庫高	106,954	109.5	121.0	59.2	－	－	－	－
特殊鋼鋼材合計	熱延鋼材生産高合計	1,301,436	80.1	72.2	96.6	07. 3	1,942,468	03. 9	1,043,967
	鋼材輸出船積実績計	392,106	108.2	72.2	116.8	07.12	543,431	87. 1	153,788
	販売業者 受入高計	1,032,586	75.3	78.3	180.3	06. 5	1,516,366	87. 1	435,213
	販売業者 販売高計	999,864	75.2	75.6	175.8	08. 6	1,512,463	87. 5	442,211
	販売業者 消費者向	613,860	91.1	88.1	182.3	08. 6	926,258	98. 8	267,392
	販売業者 在庫高計	635,494	105.4	115.6	143.7	08.12	635,494	87.10	290,674
	生産者工場在庫高	648,549	96.6	94.6	85.1	98. 1	839,861	97. 3	425,932
	総在庫高	1,284,043	100.8	103.9	106.6	01. 5	1,355,516	97. 1	873,633

出所：経済産業省　大臣官房調査統計部

注　1．総在庫高とは販売業者在庫高に生産者工場在庫高を加算したもの。生産者工場在庫高は熱延鋼材のみで、冷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。

2．1987～2007年のピーク時とボトム時とは、最近の景気循環期間中の景気変動の大きさの指標を示す。

3．「その他」のピーク時、ボトム時は掲載せず

4．平成19年1月（2007年1月）の調査区分改正によるステンレス鋼及びその他の計上区分変更に伴い、以前の値と比較することはできない。

倶楽部だより

（平成20年12月21日～平成21年２月20日）

海外委員会

・インドのステンレス冷延鋼板AD調査打合せ（12月24日）

編集委員会

・小委員会（１月20日）
　５月号特集「熱処理（仮題）」の編集内容の検討

・本委員会（１月28日）
　５月号特集「熱処理（仮題）」の編集内容の確認

流通委員会

・説明会（12月25日）
　「平成20年度第４・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　桑原　靖雄氏
　参加者：50名

平成21年新年賀詞交換会（１月６日）

場　所：東京・グランドプリンスホテル赤坂
参加者：800名

市場開拓調査委員会

・「新エネルギー産業及び化学物質規制の最近の動向」講演会（２月13日）
　講　師：神鋼リサーチ㈱
　　産業技術情報センター
　　事業創発マーケティンググループ
　　グループ長　田中　雪芳氏
　　取締役営業企画部長
　　黒坂　俊雄氏
　参加者：40名

【大阪支部】

平成21年新年賀詞交換会（３団体共催　１月５日）
　場　所：リーガロイヤルホテル
　参加者：780名

【名古屋支部】

平成21年新年賀詞交換会（３団体共催　１月７日）
　場　所：名古屋観光ホテル
　参加者：416名

部会
　・構造用鋼部会（１月16日）
　・ステンレス鋼部会（１月22日）
　・工具鋼部会（２月６日）

委員会
　・人材確保育成委員会（２月４日）
　　「ビジネスマン研修について」他

２団体共催若手及び女性社員研修（２月17日）
　テーマ：「ワンランク上のビジネスマナーと立食パーティマナー」
　講　師：㈱クレース・プランナーズ
　　代表取締役　正門　律子氏
　参加者：35名

３団体共催技術講演会（２月20日）
　演　題：「日本冶金工業の高機能材料」
　講　師：日本冶金工業㈱商品開発部部長
　　足立　哲男氏
　出席者：70名

社団法人特殊鋼倶楽部　会員会社一覧

（社名は50音順）

［会　員　数］

（正　会　員）

製造業者	29社
販売業者	113社
合　計	142社

（賛助会員）　0社

【製造業者会員】

愛知製鋼㈱
秋山精鋼㈱
川口金属工業㈱
㈱神戸製鋼所
合同製鐵㈱
山陽特殊製鋼㈱
ＪＦＥ条鋼㈱
ＪＦＥスチール㈱
下村特殊精工㈱
新日本製鐵㈱
ステンレスパイプ工業㈱
住友金属工業㈱
住友電工スチールワイヤー㈱
大同特殊鋼㈱
高砂鐵工㈱
中部鋼鈑㈱
東北特殊鋼㈱
日鉱金属㈱
日新製鋼㈱
日本金属㈱
日本金属工業㈱
日本高周波鋼業㈱
日本精線㈱
日本冶金工業㈱
日立金属㈱
㈱不二越
三菱製鋼㈱
ヤマシンスチール㈱
理研製鋼㈱

【販売業者会員】

愛鋼㈱
青山特殊鋼㈱
浅井産業㈱
東金属㈱
吾妻金属㈱
新井ハガネ㈱
粟井鋼商事㈱
石原鋼鉄㈱
伊藤忠丸紅鉄鋼㈱
伊藤忠丸紅特殊鋼㈱
井上特殊鋼㈱
植田興業㈱
㈱ＵＥＸ
碓井鋼材㈱
ウメトク㈱
扇鋼材㈱
岡谷鋼機㈱
カネヒラ鉄鋼㈱
兼松㈱
兼松トレーディング㈱
㈱カムス
㈱カワイスチール
川本鋼材㈱
北島鋼材㈱
金商㈱
クマガイ特殊鋼㈱
ケー・アンド・アイ特殊管販売㈱
小山鋼材㈱
佐久間特殊鋼㈱
櫻井鋼鐵㈱
佐藤商事㈱
サハシ特殊鋼㈱
㈱三悦
三協鋼鐵㈱
三京物産㈱
三興鋼材㈱
三和特殊鋼㈱
ＪＦＥ商事㈱
芝本産業㈱
清水金属㈱
清水鋼鐵㈱
神鋼商事㈱
㈱スチール
住金物産㈱
住金物産特殊鋼㈱
住商特殊鋼㈱
住友商事㈱
大同興業㈱
大同マテックス㈱
大洋商事㈱
大和興業㈱
大和特殊鋼㈱
㈱竹内ハガネ商行
孟鋼鉄㈱
田島スチール㈱
辰巳屋興業㈱
中部ステンレス㈱
千曲鋼材㈱
㈱テクノタジマ
㈱鐵鋼社
デルタスティール㈱
東京貿易金属㈱
㈱東信鋼鉄
特殊鋼機㈱
豊田通商㈱
中川特殊鋼㈱
中野ハガネ㈱
永田鋼材㈱
名古屋特殊鋼㈱
ナス物産㈱
南海鋼材㈱
日輪鋼業㈱
日金スチール㈱
日鐵商事㈱
日本金型材㈱
ノボル鋼鉄㈱
野村鋼機㈱
白鷺特殊鋼㈱
橋本鋼㈱
㈱長谷川ハガネ店
㈱ハヤカワカンパニー
林田特殊鋼材㈱
阪神特殊鋼㈱
阪和興業㈱
日立金属アドメット㈱
日立金属工具鋼㈱
㈱日立ハイテクノロジーズ
㈱平井
㈱福岡ハガネ商店
藤田商事㈱
古池鋼業㈱
㈱プルータス
㈱プロスチール
㈱堀田ハガネ
㈱ホンダトレーディング
㈱マクシスコーポレーション
松井鋼材㈱
三沢興産㈱
三井物産㈱
三井物産スチール㈱
宮田ステンレス㈱
㈱メタルワン
㈱メタルワンチューブラー
㈱メタルワン特殊鋼
森寅鋼業㈱
㈱山一ハガネ
山進産業㈱
ヤマト特殊鋼㈱
山野鋼材㈱
陽鋼物産㈱
菱光特殊鋼㈱
リンタツ㈱
渡辺ハガネ㈱

― お知らせ ―

財団法人省エネルギーセンター

平成21年度　第６回　特別研修（実施予定）

本研修は、平成17年度以前に熱管理士、電気管理士のいずれかの資格をお持ちの方を対象とした移行措置の研修です。対象者で現行制度のエネルギー管理士へ移行を希望する方は、今回是非受講してください。（平成22年度で終了になります。）

○特別研修の日程、実施場所及び募集人員

平成21年６月９日（火）

時　　間	9：30～15：50	16：20～17：40
内　　容	講　義	修了試験

実　施　場　所	募集人員	
	熱管理士[1]	電気管理士[2]
北海道経済センター（札幌）	50	50
仙台国際センター（仙台）	100	100
東京ビッグサイト（東京）	400	400
愛知県産業貿易館（名古屋）	200	200
富山県中小企業研修センター（富山）	50	50
マイドームおおさか（大阪）	200	200
広島商工会議所（広島）	100	100
かがわ国際会議場（高松）	100	100
サンポートホール高松（高松）		
九州ビルディング（福岡）	200	200
財団法人福岡県中小企業振興センター（福岡）		
沖縄産業支援センター（那覇）	50	50

1）熱管理士とは、熱管理士免状取得者、熱管理士試験合格者、熱管理研修修了者をいう。
2）電気管理士とは、電気管理士免状取得者、電気管理士試験合格者、電気管理研修修了者をいう。
※実施場所は都合により変更する場合があります。

○特別研修申込書受付期間

平成21年４月３日（金）～平成21年４月20日（月）

○特別研修受講料

20,000円（非課税）（テキスト代を含む）

○特別研修申込書配布箇所（配布は３月19日から予定しております。）

機　関　名	住　所	電　話
㈶省エネルギーセンター エネルギー管理試験・講習センター　試験部	〒104-0032　東京都中央区八丁堀3-19-9 ジオ八丁堀ビル	(03)5543-3019
㈶省エネルギーセンター　北海道支部	〒060-0001　札幌市中央区北1条西2-2 北海道経済センタービル	(011)271-4028
㈶省エネルギーセンター　東北支部	〒980-0811　仙台市青葉区一番町3-7-1　電力ビル本館	(022)221-1751
㈶省エネルギーセンター　東海北陸支部	〒460-0002　名古屋市中区丸の内3-23-28　イトービル	(052)232-2216
㈶省エネルギーセンター 東海北陸支部北陸支所	〒930-0004　富山市桜橋通り5-13　富山興銀ビル	(076)442-2256
㈶省エネルギーセンター　近畿支部	〒530-0057　大阪市北区曽根崎1-2-6　新宇治電ビル	(06)6364-8965
㈶省エネルギーセンター　中国支部	〒730-0012　広島市中区上八丁堀8-20　井上ビル	(082)221-1961
㈶省エネルギーセンター　四国支部	〒760-0026　高松市磨屋町8-1　富士火災高松ビル	(087)826-0550
㈶省エネルギーセンター　九州支部	〒812-0013　福岡市博多区博多駅東1-11-5 アサコ博多ビル	(092)431-6402

※本記事に関する問い合わせは、上記申込配布箇所にお願いします。

各　位

総務省統計局

平成21年経済センサス
—基礎調査の実施に関する協力について

平素より、総務省統計局が実施している各種統計調査にご協力を賜り、厚く御礼申し上げます。

さて、当局では、平成21年７月１日に「平成21年経済センサス—基礎調査」を実施いたします。

この調査は、統計法（平成19年法律第53号）に基づく基幹統計調査として、事業所及び企業の活動の状態を調査し、我が国における産業構造を包括的に明らかにすること等を目的とし、これまで行われてきた事業所・企業統計調査やサービス業基本調査などの大規模統計調査を統合して実施するものです。調査は、全国のすべての事業所及び企業を対象としており、この結果に基づいて作成される統計は、国や地方公共団体の経済政策や雇用政策などの各種行政施策の基礎資料として、幅広く利用されます。

つきましては、この調査の趣旨、必要性を御理解いただき、御協力を賜りますようお願い申し上げます。

問い合わせ先
総務省統計局統計調査部　経済基本構造統計課　経済センサス広報担当
電 話：03-5273-1027（直通）　FAX：03-5273-1494

次号予告　5月号

特　集／最近の熱処理技術

Ⅰ．動向と展望

Ⅱ．最近の熱処理技術と課題

Ⅲ．熱処理関連技術の開発動向

Ⅳ．会員メーカーの熱処理・素材技術

7月号特集予定…自動車の環境対応技術と特殊鋼

特　殊　鋼

第 58 巻　第 2 号
©2009 年 3 月
平成21年2月25日　印　刷
平成21年3月1日　発　行

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

発行所
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　秋　山　芳　夫
印刷人　猪　俣　公　雄
印刷所　日本印刷株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、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。