

2011

特殊鋼

The Special Steel ————— Vol.60 No.3

5

特集／特殊鋼を支える非破壊検査



特殊鋼

5

目次 2011

【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)
ク	小椋 大輔	(神戸製鋼所)
ク	西森 博	(山陽特殊製鋼)
ク	出町 仁	(新日本製鐵)
ク	鎌田 芳彦	(住友金属小倉)
ク	本田 正寿	(大同特殊鋼)
ク	内藤 靖	(日新製鋼)
ク	繩田 隆男	(日本金属)
ク	加藤 方隆	(日本金属工業)
ク	山崎 浩郎	(日本高周波鋼業)
ク	佐藤 昌男	(日本冶金工業)
ク	加田 善裕	(日立金属)
ク	岡本 裕	(三菱製鋼)
ク	中村 哲二	(青山特殊鋼)
ク	池田 正秋	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
ク	岡崎誠一郎	(UEX)
ク	石黒 賢一	(三興鋼材)
ク	金原 茂	(竹内ハガネ商行)
ク	甘利 圭右	(平 井)

【特集／特殊鋼を支える非破壊検査】

I. 総論—特殊鋼の非破壊検査技術

.....(株)日鐵テクノリサーチ 杉 浩司 2

II. 非破壊検査機器の現状

1. 超音波探傷機器

-菱電湘南エレクトロニクス(株) 和高 修三 7
2. 磁粉探傷機器電子磁気工業(株) 安積 均 10
3. 漏洩磁束探傷器原電子測器(株) 佐藤 克也 13
4. デジタル画像撮影装置(株)リガク 佐藤 貴久 16
5. 最新の検査機器

(1) アコースティック・エミッション

.....青山学院大学 長 秀雄 19

(2) 赤外線サーモグラフィ

.....神戸大学大学院 阪上 隆英 22

III. 各製品の非破壊検査の現状

1. 鋼片大同特殊鋼(株) 本田 正寿 25
2. 棒鋼愛知製鋼(株) 澤 清和 27
3. 厚板
 (1) 厚板JFEスチール(株) 飯塚 幸理 29
 (2) 厚板 (ステンレス鋼)日本冶金工業(株) 吉田 裕志 31
4. 薄板—その1新日本製鐵(株) 永田 泰昭 34
 薄板—その2日新製鋼(株) 高特 宗和 36
5. 鋼管住友金属工業(株) 佐藤 康平 38
6. 線材(株)神戸製鋼所 今村 徹 40

“特集”編集後記(株)神戸製鋼所 小椋 大輔 42

金属の力。人間の情熱。

Maxis

株式会社マクシスコーポレーション

<http://www.maxis.co.jp>

大同特殊鋼の金型用材料

高韌性マトリックス型ハイス

DRM

ドリームシリーズ

●一人一題：「ガラパゴス化」考

..... 山陽特殊製鋼(株) 富永 真市 1

■業界の動き	43
▲特殊鋼統計資料	46
★俱楽部だより（平成 23 年 2 月 21 日～4 月 20 日）	50
☆社団法人特殊鋼俱楽部 会員会社一覧	51

特集／「特殊鋼を支える非破壊検査」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	小椋 大輔	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部課長
委員	木邑 信夫	神鋼検査サービス(株)	技術部 開発室主任部員
〃	福井 康二	愛知製鋼(株)	技術企画部 企画調査室 主査
〃	土田喜一朗	新日本製鐵(株)	棒線営業部 棒線商品技術グループ
〃	本田 正寿	大同特殊鋼(株)	特殊鋼事業部 特殊鋼商品開発部主任部員
〃	内藤 靖	日新製鋼(株)	商品開発部 特殊鋼開発チーム
〃	山崎 浩郎	日本高周波鋼業(株)	技術部 担当次長
〃	岡本 裕	三菱製鋼(株)	技術管理部
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	甘利 圭右	(株)平井	常務取締役

The advertisement features a red background with white text and graphics. At the top right is the company logo "TA/YO STEEL MATERIALS". To the left of the logo is a circular diagram with arrows pointing from various service icons to the company name "大洋商事株式会社" at the bottom. The icons include: 品質向上 (Quality Improvement), VE提案 (VE Proposal), コスト削減 (Cost Reduction), 材料、製品設計 (Material/Product Design), 豊富な実績 (Rich Experience), ノウハウを生かして (Utilizing know-how), 切削時間短縮 (Shorten cutting time), 管理工数削減 (Reduce number of workers), 重量軽減 (Weight reduction), and VE提案 (VE Proposal). A large red arrow points from the text "お客様" (Customer) at the top to the company name at the bottom. The text "VE提案" (VE Proposal) is repeated twice in the diagram. The bottom right corner contains the text "ISO 14001 認証取得" (ISO 14001 certification obtained) and a list of products: 特殊鋼 鑄造品 鍛造品 加工 組立 電子材料 ITデバイス. The bottom center provides the address: 本社 東京都中央区新富2丁目15番5号 (RBM築地ビル) and the phone number: TEL. 03-5566-5500.

一人一題

「ガラパゴス化」考

山陽特殊製鋼株
取締役 東京支社副支社長 とみ なが しん いち
富永真市



ダーウィンの「種の起源」で有名なガラパゴス諸島に生存する生物のように、文化・技術・サービスなどが日本市場において独自の進化を遂げ、世界標準からかけ離れてしまう現象のことを「ガラパゴス化」と言う。国内でしか使えず且つ売れない日本の携帯電話を「ガラパゴスケータイ」と称したことにも始まるように否定的な意味で使われることも多い。特殊鋼、なかでも構造用鋼について「ガラパゴス化」という切り口で駄文を認めてみた。

「ガラパゴス化」の必要条件は、「日本独自で進化し、世界標準とは異なる。」ことにある。日本の構造用鋼は、ユーザーの求める「高品質、高機能」と「鋼材・部品一貫での最適化（含む加工）」に対応することで欧米等に比べ表面疵等の外観、介在物等の内質、バラツキ等どこをとっても比較にならない素晴らしい製品を確立したと自負している。製造工程も、「大断面CC+分塊+鋼片手入れ」が略標準装備なのは日本位である。正に「擦り合わせ技術」「産業間連携」そのものである。これが、海外の非日系ユーザーに売り込む際には、彼らの太宗からは「皮むきするのでそこまでの品質は不要。安ければ良い。」等との声が返ってくる。足元、構造用鋼の輸出は大幅に増加しているがその大半が日系関連に止まっていると見られ、構造用鋼は残念ながら？「ガラパゴス化」の必要条件を満たしている。

さて、今後の特殊鋼の国内需要は、生産年齢人口の減少、財政赤字の放置やCO₂削減対応に象徴される政治経済の劣化に加え、車の小型化、EV化の進展等により長期的には減少すると見られ、日本での特殊鋼生産を維持するためには成長するアジア市場をホームマーケットとして取り込むしかない。その場合でも、中国乗用車市場で民族系が大きくシェアを伸ばし日系は欧州、韓国系に肉薄されているように、日系ユーザーの一人勝ちとともに発展する構図は想像しづらい。また、新興国の市場を取り込むには、機能を絞った低コスト商品を投入すべしとの「ボリュームゾーン攻略論」もある。家電製品などは既に新興国専用商品を販売し先行する韓国勢に対抗しており、自動車においても本格化しつつある。従って、非日系ユーザーへの「日本ガラパゴス特殊鋼」浸透が問題となる。

大上段に振りかぶったが、小職はこれに関し主に以下の2つの理由より楽観的である。一つは、特に、中国、インドは「平均値、一人あたりのGDP」で捉えると見誤る社会であり、例えば、中国はジニ係数が09年で0.47と米国、日本を上回る格差社会であり、20年には世帯可処分所得が35千\$以上の富裕層が3億人を大きく超える（日本は08年で約9千万人）ものと予想され高品質、安全を求める成長する大きな市場が潜在的に存在すること。二つ目には、中国でモータリゼーションが本格化したのは2002年でまだ始まったばかりであり、車の品質の差を認識するようになるのは正に「これから」だからである。自動車の場合、民族系メーカーであれ「品質の高位安定」を合理的手段で目指す場合、「日本型生産システム」にとって替わるものはない可能性が強い。従って、「今」をベースに判断するのではなく「近い将来」から現在をみると、既に「日本ガラパゴス特殊鋼」を求める流れは地下深く？確実に始まっているのではないか？最近の中国の特殊鋼ミルが、従来の欧米流製造プロセスではなく大断面CC等日本型特殊鋼生産システムを導入しつつある事も脅威ではあるが、その流れを裏付けるものと捉えることも出来る。まさに、日本の特殊鋼は、進化論でいう「適応、生存競争、適者生存」の勝者そのものではないか？「日本ガラパゴス特殊鋼」が世界を制し、世界標準となることを信じて止まない。

特集

特殊鋼を支える非破壊検査

I. 総論

特殊鋼の非破壊検査技術

(株)日鐵テクノリサーチ 検査・計測事業部 すぎ 杉 ひろ 浩 司

まえがき

特殊鋼製品は、自動車用、船舶用や発電用部品など各種産業分野において使用され、品質要求（使用環境、強度、形状など）の多様化、厳密化に伴い、製造中から最終製品検査段階でより厳密な検査が実施されている。この検査の一つの手段として非

破壊検査が適用されており、非破壊検査は品質管理及び品質保証上欠くことのできない重要な役割を果たすようになっている。

図1に鋼材における非破壊検査の適用状況の概要を示す。圧延鋼材の場合、出荷検査（品質保証）だけでなく、製品の不具合ができるだけ早期に検出し、次工程に不具合品を流さないための工程内

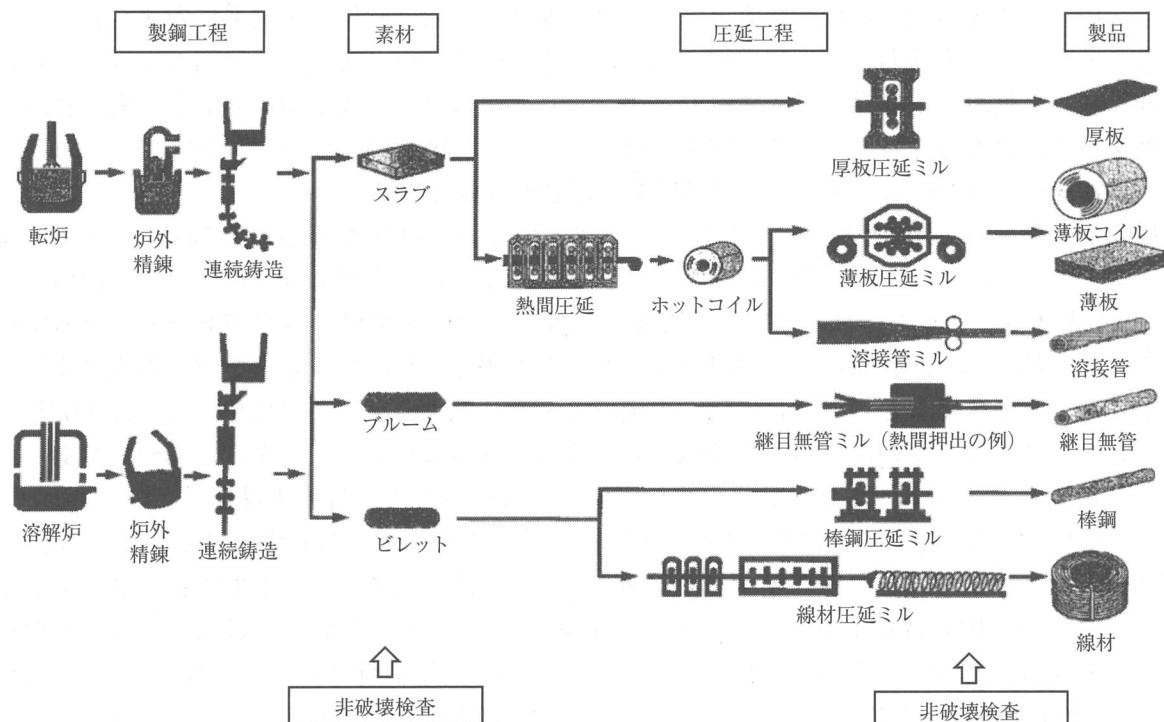


図 1 圧延鋼材の製造工程における非破壊検査の位置付け例¹⁾

検査（品質管理）においても非破壊検査が実施されている。

本稿では、非破壊検査の目的、種類や原理、鋼材への適用状況、更には最近の技術動向についての概要を説明する。

◇ 非破壊検査の用語

非破壊検査（試験）のことを、“NDI”あるいは“NDT”と呼んでいるが、JIS Z2300（非破壊試験用語）では以下のように定義されており、NDI（非破壊検査）の方が合否判定までを含んでおり、より広義な意味で使用されている。

NDI：非破壊検査（Nondestructive Inspection）

非破壊試験の結果から、規格などによる基準に従って合否を判定する方法

NDT：非破壊試験（Nondestructive Testing）

素材又は製品を破壊せずに、品質又はきず、埋設物などの有無及びその存在位置、大きさ、形状、分布状態などを調べる試験

また、検査において“きず”と“欠陥”という言葉を同意語として使用される場合があるが、JIS Z2300では以下のように定義されており、区別して使用している。

きず：非破壊試験の結果から判断される不完全部又は不連続部

欠陥：規格、仕様書などで規定された判定基準を超える、不合格となるきず

本稿の用語の説明等については極力JIS Z2300-2009（非破壊試験用語）から引用した。

◇ 非破壊検査の目的と種類

非破壊検査とは、その名のとおり素材又は製品を破壊せずにそのままの形状、性状で、材料の表面きず（割れ、へげきず、押し込みきずなど）又は内質きず（介在物、内部割れ、プローホールなど）の有無及びその存在位置、大きさ、形状、分布状態などを検出し、規格などによる基準に従って合否を判定する方法である。

鉄鋼製品においては様々な非破壊試験方法が適用されており、以下にその中の主要な方法について、基本的な原理、および最近の技術動向について簡単に述べる。また、非破壊試験方法の比較を図2^{1), 2)}に示す。

1. 放射線透過試験(RT : Radiographic Testing)

放射線(X線やγ線)を試験体に照射し、透過した放射線の強さの変化を写真フィルムに感光させ、感光の濃淡の差異から、試験体内部のきずの有無を調べる方法である。きずの形状やきず位置が画像として直接観察できる利点はあるが、検査能率が低く量産品の全数検査は適用困難という弱点がある。

RTにおいては、撮像後の画像処理、画像保存、画像計測の利便性の向上を目指し、X線フィルムに用いたRTからデジタル撮像への研究開発が最

	放射線透過試験	超音波探傷試験	磁粉探傷試験	浸透探傷試験	渦電流探傷試験
探傷方法の略図					
きず検出の原理(物理現象)	放射線の透過率	超音波パルスの反射	磁気吸引作用	浸透作用(毛管現象)	電磁誘導作用
対象とする材質	金属、非金属材料	金属、非金属材料	金属(磁性材料)	金属、非金属材料	金属(導電材料)
対象とするきず	表面、内部	表面、内部	表層部	表面(開口きず)	表層部

図 2 各種非破壊試験方法の比較

近盛んに進められているが、分解能や作業コスト、また規格等での制約からまだデジタル技術が普及していない状況である。

2. 超音波探傷試験 (UT : Ultrasonic Testing)

超音波を試験体中に伝搬させたときに試験体の音響的性質を利用して試験体のきず又は材質を調べる方法である。超音波探傷においては、超音波の伝搬方向に垂直なきずからの反射が大きいため、一般に板材などで発生する探傷面に平行なきずの探傷には超音波を探傷面に対して垂直に入射する垂直探傷法を、溶接部などで発生する探傷面に垂直なきずの探傷には超音波を探傷面に対してある角度を持たせて入射させる斜角探傷法が適用されている。

UTにおいては、従来の欠陥検出のみの試験から欠陥の高精度サイジング、更には欠陥の画像化への研究開発が推進されており、複数個の超音波振動子を適切な時間遅れで振動させることにより任意に入射角度を変えたり、多点計測データのデジタル処理による画像化が可能なフェーズドアレイ技術は着実に現場適用が拡大している。

また、通常超音波を入射する探触子と試験体は水や油を介して直接接触しているが、接触状態によらず効率のよい検査が可能な非接触超音波技術（レーザ超音波、空気超音波、電磁超音波）の研究開発が盛んに行われており、現状基礎研究の段階から様々な分野への応用段階に移行している。

3. 磁粉探傷試験(MT : Magnetic Particle Testing)

磁性粉末（磁石に吸いつく鉄粉）を含む適切な試験媒体を利用し、漏洩磁界によって表面及び表面近傍のきずを検出する方法である。磁化された鉄鋼材料（強磁性体：磁石にくつつく材料）などの表面きず部分から漏洩する磁束により、磁粉がきず部に吸着、凝集し、その拡大された磁粉のきず模様を目視によって判定し、きずの存在を検知するものである。

MTにおいては、検査作業の環境改善や検査の自動化を目指して、基礎的データの蓄積や新たな磁粉探傷方式や装置の開発が進められている。

4. 浸透探傷試験 (PT : Penetrant Testing)

表面に開口したきずに対して、毛細管現象を利用して浸透液をしみ込ませた後に、現像剤や加熱などによりきずから浸透液をしみ出させ、きずよ

りも拡大し、かつコントラストを高めた目視観察可能なきず指示模様を得る方法である。試験体の材質やきずの方向性をあまり問わないと、比較的簡便な装置で試験できる利点がある（手法によっては、水や電気がない場所での試験も可能である）が、きずの深さなどの定量的な測定は困難である。試験方法として、明るい場所で試験する染色浸透探傷試験と暗い場所で試験する蛍光浸透探傷に大別されるが、一般に蛍光浸透探傷の方が微細なきずの検出が可能である。

PTの研究開発はあまり活発ではないが、人と環境にやさしい探傷剤の開発や画像処理による定量評価の試みがなされている。

5. 湧電流探傷試験(ET : Eddy Current Testing)

コイル（プローブ）を用いて導体（電気を流しやすいもの）に、時間的に変化する磁場を与え、導体に生じた湧電流が、きずなどによって変化することを利用してきずの検出を行う方法である。きず信号の振幅や位相差からきずの有無・大きさ・種類を検出する。一般的な探傷はきず部と健全部を比較する2個のコイルを使用し、非接触での試験であるため、高温材の高速探傷も可能である。

試験コイルの型式としては、試験材をコイル内部に挿入して用いる貫通コイル、試験材内部に挿入して用いる内挿コイル、試験体の表面に当てて用いる上置コイルがあり、一般に管・棒・線材の製品検査などに貫通コイルが、熱交換器伝熱管の保守検査などに内挿コイルが、板材の製品検査や航空機の保守検査などに上置コイルが使用されている。

鉄鋼材料（強磁性材）の探傷においては、磁気的ノイズを抑えるため磁気飽和装置の設置等の対策が必要である。

ETにおいては、上置コイルの形状と配置を工夫して探傷時のガタ雑音の抑制や微小欠陥の検出精度の向上を目指した新型プローブコイルや広範囲の探傷部位を高速で検査する目的でマルチコイルの開発が進められており、棒鋼や角・丸ビレットのETにアレイ状渦流コイルを適用した事例もある。

6. その他試験

- ①漏洩磁束探傷試験 (MLFT : Magnetic Leakage Flux Testing)

磁化された鉄鋼材料のきず部からの漏洩磁束の検出を、磁粉ではなく半導体磁気検出子などで直接検出する方法である。磁粉探傷試験に比較して定量的な検査が可能で、自動化装置が広く適用されている。

②漏れ試験 (LT : Leak Testing)

漏れの有無、漏れ箇所、漏れ量の検出を行う試験である。溶接鋼管の製造工程においては、管内に水を加圧注入し、水が漏れるかで漏れの有無を判断する水圧試験 (HT : Hydrostatic Testing) や、管内に空気を封入し、水中で気泡が泡立つことにより漏れ箇所を検知する空圧試験 (NT : Pneumatic Testing) が適用されている。

③光学的探傷試験 (OPT : Optical Testing)

材料表面に光線を照射し、反射光を受光してきず部での散乱光の変化からきずを検出する方法である。

OPTはデジタルカメラ等の分解能やデータ処理技術の向上により目視検査の代替として適用が進みつつある。

◇ 鉄鋼製品における非破壊試験適用

前項まで鉄鋼製品に適用される非破壊検査手法の基本的な原理と最近の技術動向について述べてきた。表1に鉄鋼製品の製造工程における各手法の適用状況を示す。ここ数年来、適用状況にはあまり変化が見られないが、素材段階においては、外面欠陥の手入れを目的としたMT、PTなどの表面検査が実施され、最終製品においては内質欠陥の検査を含めた品質保証検査としてUTやMTが主に実施されている。

UT、ET装置においては、デジタル化が進みデー

タ処理機能が高速化し、記録の保存性も向上していることから、検査設備の自動化や検査データの一元管理化などが推進されてきている。

実際の非破壊検査に際しては、文書化され、資格を持った試験技術者に承認された“NDT手順書”(技術標準もその一つ)や“NDT指示書”に基づいて確実に実施することが品質システム上非常に重要である。JIS Z 2305(非破壊試験－技術者の資格及び認証)においてはこれらの文書類を次のように規定している。

NDT手順書：ある製品に対して、試験箇所、試験方法、またいかなる順序でNDT方法を適用すべきかを整然と段階的に記述した文書

NDT指示書：確立されたNDT手順、規格、コード又はNDT仕様書に基づいてNDTを実施する際に、従わなければならぬ正確な手順を詳細に記述した文書

また、いくつかのNDT手法に対して試験方法が規格化されているものがあり、規格に従って試験を実施しなければならない。表2に鉄鋼製品の試験方法に関する主なJIS規格を示す。

◇ 非破壊検査技術者

特殊鋼製品の非破壊検査の信頼性の向上に関しては、検査技術者の技量も重要な要素であり、特殊鋼製品の知識を有するのみでなく、非破壊試験の教育・訓練を受けた有資格者が実施することも重要である。非破壊試験技術者資格認定に関する規格においては3種類の資格レベルがある。以下に、JIS Z 2305に規定されている各資格レベルの

表 1 圧延鋼材の製造工程内における非破壊検査の適用状況

品種	製造工程内の位置 (非破壊試験は必要に応じ実施)		
	素材 (品質管理)	圧延工程 (品質管理)	最終製品 (品質保証、品質管理)
厚板	スラブのPT、OPT	—	UT、MT、PT
		—	UT、OPT
管	溶接管	コイル端のUT	溶接直後のUT、ET RT、UT、MT、ET、LT (HT)
	継目無管	ビレットのMT、ET、MLFT	— UT、MT、ET、MLFT、LT (HT)
棒線	棒	ビレットのUT、MT、MLFT	— UT、MT、ET、MLFT
	線		ET (熱間) MT、ET

表 2 鉄鋼製品の非破壊試験適用規格例

試験の種類	規 格 名		対象製品
放射線透過試験	JIS G 0581 : 1999	鉄鋼品の放射線透過試験方法	鉄鋼品
	JIS Z 3104 : 1995	鋼溶接継手の放射線透過試験方法	鋼板、钢管
	JIS Z 3106 : 2001	ステンレス鋼溶接継手の放射線透過試験方法	SUS鋼板、SUS钢管、耐熱鋼板…
超音波探傷試験	JIS G 0582 : 2004	钢管の超音波探傷検査方法	钢管
	JIS G 0587 : 2007	炭素鋼鍛鋼品及び低合金鋼鍛鋼品の超音波探傷試験方法	鍛造品
	JIS G 0801 : 2008	圧力容器用鋼板の超音波探傷検査方法	鋼板
	JIS G 0802 : 1998	ステンレス鋼板の超音波探傷検査方法	ステンレス鋼板
	JIS Z 3060 : 2002	鋼溶接部の超音波探傷試験方法	溶接構造品
磁粉探傷試験	JIS Z 2320-1 ~ 3 : 2007	非破壊試験 - 磁粉探傷試験 - 第1部～第3部	強磁性体製品
浸透探傷試験	JIS Z 2343-1 ~ 4 : 2001	非破壊試験 - 浸透探傷試験 - 第1部～第4部	
渦電流探傷試験	JIS G 0568 : 2006	鋼の貫通コイル法による渦流探傷試験方法	鋼線、線材、丸棒鋼、钢管
	JIS G 0583 : 2004	钢管の貫通コイル法による渦流探傷試験方法	钢管
漏洩磁束探傷試験	JIS Z 2319 : 1991	漏えい（洩）磁束探傷試験方法	丸鋼、钢管

要件について示すが、レベル3（又はレベルⅢ）が上位資格レベルとなっている。

NDTレベル1：指示書に従って、レベル2又はレベル3技術者の監督のもとで、NDT作業を実施する資格がある。

NDTレベル2：確立されている又は認可されているNDT手順書に従って、NDTを実施したり、指示する資格がある。

NDTレベル3：認証されているNDT方法において、どのような操作についても指示することが認められる。

従来、日本の非破壊試験技術者資格認定はアメリカ非破壊試験協会（ASNT）の推奨手順書（SNT-TC-1A）に基づいた雇用者認定が主流であったが、ISOとの国際整合化の中、第三者認定制度を導入する企業が増加する傾向にある。日本における第三者認定機関として、(社)日本非破壊検査協

会（JSNDI）があり、JIS Z 2305に基づいた資格認証試験を2002年春季から年2回実施している。

むすび

非破壊検査は、製品の品質管理あるいは品質保証において重要な役割を果たしており、今後の更なる品質の厳格化に伴い、きず検出力の向上を目指す必要がある。しかしながら、過度な検査の実施は検査コストの増大をきたし特殊鋼製品の競争力を低下させる恐れがある。非破壊検査の実施にあたっては、使用用途・目的に応じた適切な試験方法を選択する必要がある。また、技術的にはきず検出能力の向上だけでなく、省力化及び自動化技術の更なる向上を図り、検査コスト低減に向けた技術開発が必要と思われる。

参考文献

- 岡村毅：特殊鋼、46巻6号（1997）4-8
- (社)日本非破壊検査協会：非破壊試験技術総論（2004）15-17

II. 非破壊検査機器の現状

1. 超音波探傷機器

菱電湘南エレクトロニクス(株) 技師長 和高修三

まえがき

超音波という用語からは一般に、空中を伝搬する音で、人の耳には聞こえないほど高い周波数(20kHz以上)の音が思い浮ぶ。このため鋼の非破壊検査と超音波との関係は一般には想像しにくい。非破壊検査の分野においては、超音波という用語は、弾性波(縦波や横波などの機械的振動)を含むものとして広い意味で使われている。弾性波なら鋼内部を大きな減衰を受けずに伝搬すること、並びに減衰が小さいので弾性波を利用すれば鋼内部を検査可能であることは想像に難くない。実際の検査では、1MHz～20MHzの周波数帯が広く使われている。鋼の縦波音速は約6,000m/sなのでこの周波数帯に対応する波長は6mm～0.3mmと短く、ミリからサブミリメータのオーダで鋼内部を診ることができます。横波音速は約3,200m/sなので横波を使えば波長は縦波の約半分となる。ここでは超音波探傷技術の最近の話題や探傷機器についていくつか紹介する。

◇ 最近の話題

日本非破壊検査協会主催の最近の学術講演会におけるセッション名を見ると、キーワードとして、ガイド波、フェーズドアレイ、TOFD(Time of Flight Diffraction)、画像化、非線形超音波、数値シミュレーションなどが挙げられる。

ガイド波は、長尺材料中を長手方向に伝搬する超音波で、この用語は配管を軸方向に伝搬する超音波について使われることが多い。縦波や横波は回折によって波が拡がるので伝搬に伴い振幅が徐々に小さくなる。これに対してガイド波は、管の内外面が弾性的反射境界となり管自体にエネルギーが閉じ込められて伝搬するので、正確さを欠く説明にはなるが大雑把に言えば、波が広がらず、

伝搬に伴う振幅減少が生じない。このためガイド波は長距離伝搬が可能であり、ガイド波を用いると長距離を一括で検査できる特徴がある。2010年には日本非破壊検査協会規格(NDIS)2427:2010「ガイド波を用いたパルス反射法による配管の探傷試験方法通則」が制定された。現在も、送受信効率や検出感度の向上を目指すなど研究開発が盛んに継続して行われている。

フェーズドアレイ法は、探触子から送受信される超音波のビーム方向やビーム形状を電子的手段で可変できる手法である。探触子は、複数個の超音波送受信素子(振動子)を配列して構成され、フェーズドアレイ探触子と呼ばれる。探傷器は、探触子の各素子ごとに送受信部を設けた多チャネル構成で、フェーズドアレイ探傷器と呼ばれる。各素子を励振するタイミングを探傷器送信部で電子的に制御することによって、探触子から放射される超音波ビームの方向を変えたり焦点位置を変えることができる。探傷器受信部で、各素子により受信されたエコー信号に対して、素子ごとに電子的に制御された異なる遅延を与えた後、加算することによって受信ビームの方向を変えたり焦点位置を変えることができる。日本非破壊検査協会においてフェーズドアレイ法の規格化検討が着手されており、またフェーズドアレイ超音波探傷研究委員会が2011年度から発足し活動が始まっている。今後の発展が大いに期待される。

TOFD法については後述するが、この手法やフェーズドアレイ法では探傷試験結果が画像化されて出力される。画像での表示は視覚的に分かりやすく試験結果の解釈や、きずの定量的サイジングに役立ち、画像化表示手法は今後とも多用される方向に進むものと考えられる。TOFD法の規格に関しては、2001年にNDIS 2423:2001「TOFD法によるきず高さ測定方法」が制定された。

非線形超音波法は、振動振幅が従来に比べ1桁以上大きい10nmオーダの超音波を用いる手法であり、閉じた亀裂の検出に有効である。このような大振幅の超音波を閉口亀裂に照射すると、非線形現象が生じて、照射した超音波の周波数に対して、整数倍の周波数の超音波（高調波）や、整数分の1の周波数の超音波（分調波）が生じる。これら高調波や分調波を受信することによって閉口亀裂を検出しようとしている。今後の発展が期待される。

鋼内部での超音波の振舞いは複雑である。この振舞いを把握することは適切な検査手法の開発や検査結果の信頼性確保にとって重要である。鋼内部にアクセスして超音波の振舞いを直接観測できればそれに越したことはないが現実にはこのような手段はない。数値シミュレーションによる超音波の振舞いの可視化は有力な手段であり、計算機性能の進展に伴い有限要素法、境界要素法、差分法などを用いたシミュレーション手法の研究開発が精力的に行われている。

◇ デジタル探傷器

本誌1997年6月号 pp.12-14に、デジタル探傷器について、第1～第3世代に分類して述べた。その後、超音波エコー信号をRF (Radio Frequency)



図 1 第2世代デジタル探傷器 (UI-25) 概観写真

波形の段階で直接A/D変換（アナログ/デジタル変換）し、各種デジタル信号処理を施して探傷試験結果を表示する第2世代の探傷器が多用されるようになってきている。図1に例を示す。

試験結果を探傷図形として表示する方式として、従来からのAスコープ（横軸が時間で縦軸がエコー高さ）に加えて、Bスコープ（断面表示）や、Cスコープ（平面表示）を組み合わせて表示することも可能になっている。図2に例を示す。図2の下段がAスコープ表示であり、上段が探触子を試験体表面上で走査して得られたCスコープ表示である。Cスコープ表示することにより視覚的にきずを判別しやすく、またきずのサイジングにも

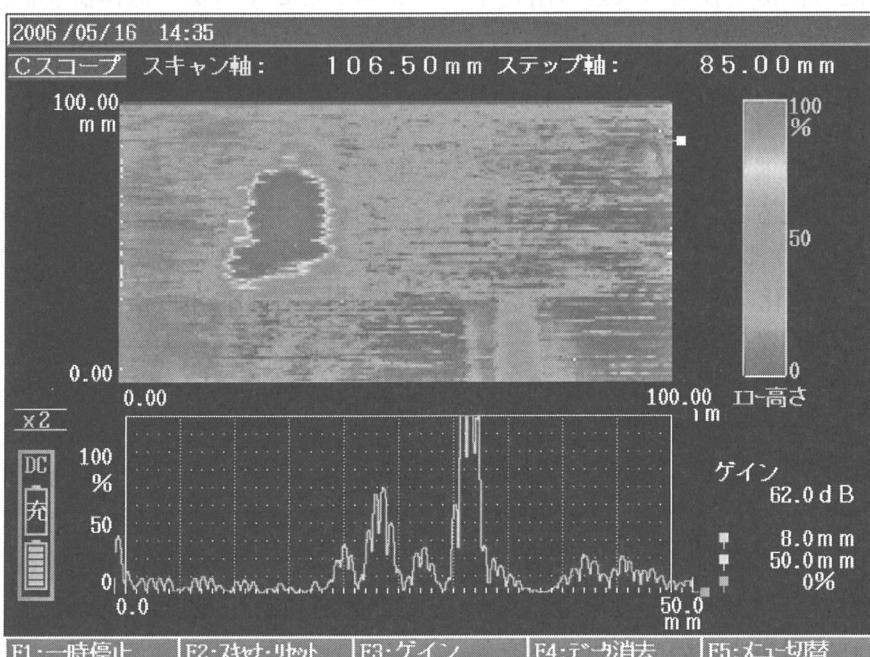


図 2 A/Cスコープの組合せ表示（上段：Cスコープ、下段：Aスコープ）

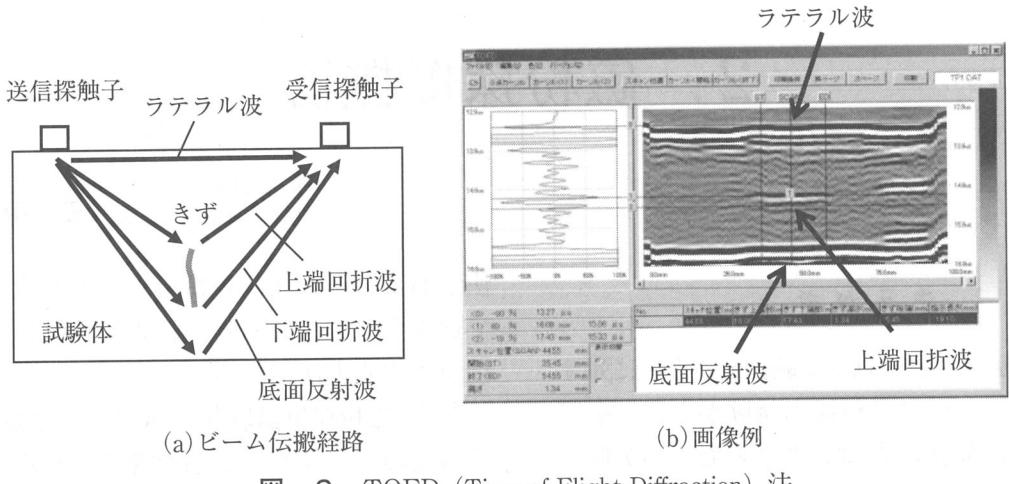


図 3 TOFD (Time of Flight Diffraction) 法

役立つ。画像化表示は現状では2次元であるが今後3次元表示へと進化すると考えられる。

また、きずの深さや大きさを定量的に取得できるTOFD (Time of Flight Diffraction) 機能も、特別なデータ処理装置を使用せず汎用探傷器に搭載されるようになってきている。TOFD法は図3 (a) に示すように、きずを挟んで送受信探触子を配置し、きず端部からの回折波の伝搬時間を利用してきずのサイジングを行う手法である。きずが無い部位ではラテラル波と底面反射波が受信され、きずがある部位ではきずの上端回折波と下端回折波が受信される。送受信探触子を図3 (a) の紙面に対して垂直方向に走査することによって図3 (b) に示すような画像が得られる。なお図3 (b) はきず下端が試験体底面の場合の例である。図3 (b)において、左側には送受信探触子を有一定の位置に固定した場合のAスコープが表示されている。縦軸が時間、横軸がエコー高さに対応する。また右側の画像において、横軸は送受信探触

子の走査方向、縦軸は試験体の深さ方向（時間）に対応し、エコー高さが輝度で表示されている。回折波の受信時間からきずの高さを算出できる。画像化表示することによって微弱なきず端部からの回折波を視認しやすいが、きず端部回折波は微弱なため測定条件や解析時に判断を誤ると、回折波の見逃しやきずの見逃しが起きるので注意を要する。

むすび

紙面の関係で技術内容の詳細は省略した。興味のある技術があれば例えば日本非破壊検査協会の機関紙「非破壊検査」、同協会主催の「超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集」、「春季大会講演概要集」、「秋季大会講演概要集」などを参照して頂きたい。超音波探傷技術は、エレクトロニクス技術など周辺基盤技術の進展に伴い、今後とも試験結果の更なる信頼性向上に向けて継続して大いに発展するものと期待される。

2. 磁粉探傷機器

電子磁気工業(株) あづみ
生産管理部 品証課 安積 ひとし
均

まえがき

鉄鋼製品（強磁性材：以下試験体という）に対する非破壊検査の一つに磁粉探傷試験がある。磁粉探傷試験は、試験体の表面および表面下の欠陥を検出する手段として、様々な製品製作工程で実施されている。

試験体表面および表面下の欠陥検出試験には、磁粉探傷試験以外にも電気的信号を用いて実施する方法等いくつか存在するが、試験体表面肌、試験体の複雑形状等の要因から、磁粉探傷試験以外に選択肢がない場合も多い。

◇ 磁粉探傷試験の概要および現状

1. 概要

磁粉探傷試験は試験体に磁界を与え、検出媒体である磁粉と呼ばれる細かい鉄粉を適用（散布）し、欠陥部分に集まった磁粉模様を目視確認する方法である。

試験体に直接電流を流し磁界を発生させる、コイル等に電流を流しコイルで発生する磁界を使用する等の手段で、試験体に磁界を作用させるのが一般的な手段である。

試験体に与えられた磁界により、磁束は試験体表面および表面下に集中して流れるが、試験体に欠陥がある場合には、欠陥部から試験体外部に磁束が漏洩する。そこに磁粉を適用すると漏洩磁束部に磁粉が吸着し、目視確認できるようになる。

磁粉には大別して非蛍光磁粉・蛍光磁粉の2種類がある。非蛍光磁粉を使用する探傷試験は明るい環境下で行い、黒い肌の試験体には白磁粉を、白い肌の試験体には黒磁粉をと、コントラストが強くなるよう色を選択する必要がある。一方、蛍光磁粉を使用する場合は暗い環境下でブラックライトと呼ばれる紫外線照射灯を用いて蛍光色を発光させ、欠陥確認を行なう。

磁粉の試験体への適用方法には、湿式法と乾式

法がある。湿式法は磁粉を水等の液体に分散させて適用する方法であり、乾式法は乾いた磁粉を直接散布する方法である。

なお、磁粉探傷試験後の試験体には磁気が残り、その後の工程に対して悪影響を与えることがあるため、試験体に残留する磁気を減少させる脱磁処理を実施するのが一般的である。

2. 現状

磁粉探傷機器（装置）の多くは、目視検査に至る「磁化」、「検出媒体適用」およびそれに係わる搬送は自動化されていても、欠陥検出（合否判定）そのものは人手に頼るという形態は一部を除けば以前と比較して大きく変化していないのが実状である。

全自动磁粉探傷機器に関しては、後述の今後の課題で触れるが、磁粉探傷全般で変化してきた事項としては次の点がある。

1) 作業環境改善

検出媒体として蛍光磁粉を用いることは多いが、磁粉模様とバックグラウンドのコントラストを確実にするために、暗室等を用いて暗い場所での作業となる。

現在市販されているブラックライトは、各種規格で規定されている試験面における紫外線の放射照度 $\geq 10W/m^2$ を楽にクリアできる能力を有している物も多く、またLED等を光源とした小型軽量タイプを使用し試験体直近に投光器を配して紫外線照度を確保することも容易であり、実質的にはオープンエリアでの観察を可能としている。

2) カメラ＆モニタを使用した遠隔検査

作業改善の一環であるが、暗室内に設置されたカメラの映像を別室にてモニタを使用して観察することにより検査者に対する環境は非常に良いものとなる。

複数カメラの映像を大型モニタの画面を分割表示することにより、試験体を回転させることなく全周検査する、サイズの大きな試験体の全体を一

度に検査する等も可能である。

今日の高解像度カメラ、モニタを使用すれば比較的簡単に実現できる手法である。

3) 探傷検査情報のオンライン制御

試験体の種類、形状、材質等が替わり探傷条件変更をする場合、上位コンピュータ等から試験体情報を受け、その試験体に対してプリセットされた磁化電流値等の条件を自動設定するのがオンライン制御である。

作業者が実施するマニュアル設定と異なり、ヒューマンエラーを回避できるため安定した検出能力の維持が可能である。

4) 探傷検査情報のトレーサビリティ

量産品の試験体の全数検査では、その後の工程で試験体に何らかの問題が生じた時、探傷試験時の情報を過去に遡って確認する必要性が生じる場合がある。

このため、探傷試験時の磁化電流値・検査媒体濃度・紫外線放射照度・試験体残留磁気等の情報をオンライン接続した上位コンピュータで管理している事例もある。

◇ 今後の課題

1. 画像処理を使用した自動探傷装置

画像処理を使用した検査装置は既に色々な分野で使用されているが、磁粉探傷試験に於いての画像処理技術を使用した自動探傷装置の普及率は依然として低い状況である。

しかし、磁粉探傷試験に於いても画像処理技術を使用した自動探傷装置を求める声に応えるため、当社でもその開発を継続させている(写真2)。

過去に製作した自動探傷装置から得たノウハウに基づき今後の装置製作に対する留意点には以下のものがある。

1) ブラックライト

ブラックライトは、検出媒体に蛍光磁粉を使用する場合の重要な要因の一つである。

省エネ、長寿命を目的とし、パルス点灯式LEDブラックライト(写真1)を使用したシステムを開発中である。LEDブラックライト自体も水銀灯式ブラックライトと比較し、省エネ・長寿命であるが、これをパルス点灯式にすることで定格電流の数倍の電流を短時間流し、本来の紫外線放射

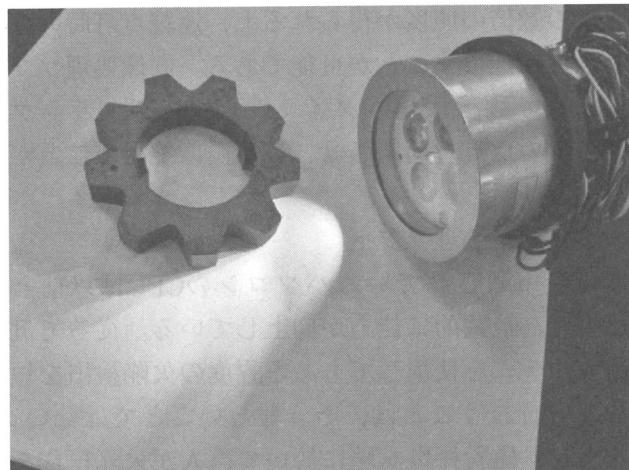


写真1 LEDブラックライトの一例

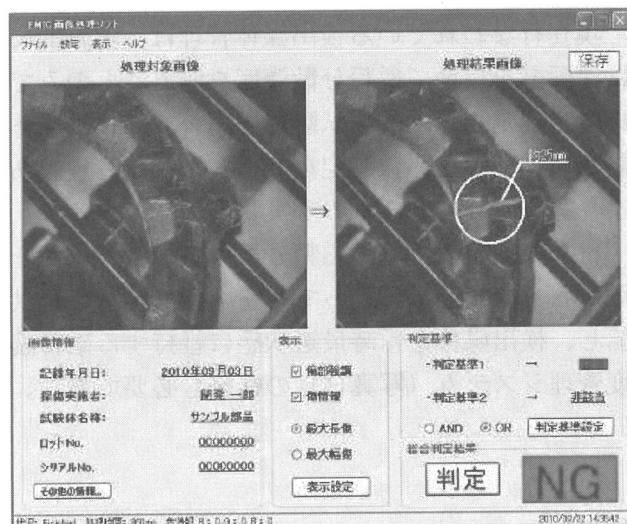
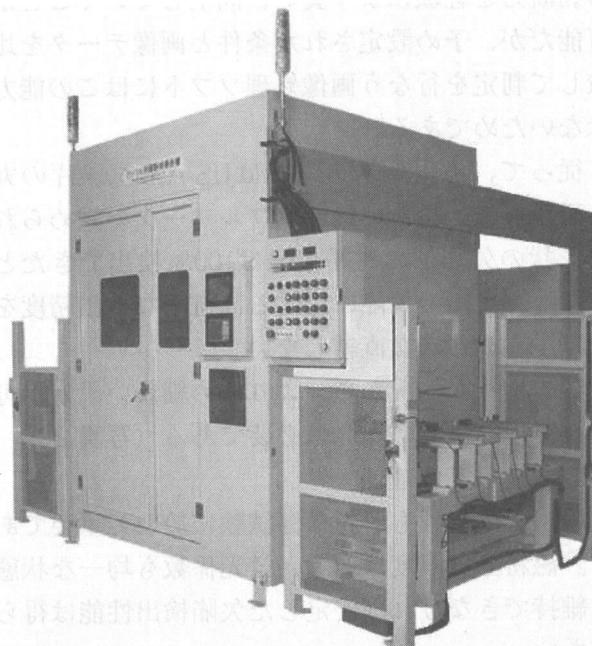


写真2 自動探傷装置と画像処理ソフトの一例

照度の数倍の照度が得られる上、連続点灯時の寿命を更に延ばすことが可能である。画像処理ソフトにより画像取込みタイミングとLEDブラックライトの点灯を同期させ、最適画像を得ることができる。

2) 画像処理ソフト

現在市販されているパソコンのCPUは以前と比較し、飛躍的に能力が向上している。従って汎用システムを使用してもある程度の欠陥検出を短時間で行なうことは、そう難しいことではない。しかし、磁粉探傷試験に於いて、人が欠陥模様を目で見て脳で判断する正確性をパソコンで実行させるのは、かなり困難であるのが実状である。

人は実際の磁粉模様を見て、欠陥であるか否かの判断力を経験により養い、向上していくことが可能だが、予め設定された条件と画像データを比較して判定を行なう画像処理ソフトにはこの能力はないためである。

従って、汎用システムではJIS-A形試験片の丸い磁粉模様、あるいはサンプルワークの定められた形状の欠陥部の磁粉模様は100%検出できたとしても、実際の欠陥に対する高確率な検出精度を保証することには直結しない。

このような状況から、よりきめ細かい設定が可能な専用ソフトの開発は必要である（写真2）。

3) 検出媒体管理

検出媒体管理も磁粉探傷試験に於いて重要である。磁粉分散濃度は勿論、蛍光係数も均一な状態を維持できなければ安定した欠陥検出性能は得られない。

現在行なわれている検出媒体管理は、実質的には沈澱計を用いて磁粉分散濃度を測ることのみである。規定された対比試験片を用いての検出媒体試験により蛍光係数測定を考慮した維持管理はあまり実施されていないのが実状のようである。

自動探傷装置では、磁粉分散濃度・蛍光係数を測定し、測定結果によって磁粉・分散媒を自動供給し、検出媒体を常時最適状態に維持する磁粉濃度管理システム（写真3）の構築も必要である。



写真3 磁粉濃度管理装置

2. 試験体の磁場解析

JIS-Z2320では「試験体表面近傍（試験体内部）の最小の磁束密度は、実効値で1Tとする」と記述があるが、複雑形状である試験体の全部位の磁束密度を計測できるような測定器は存在しないと思われる。またこのような場合、JISで規定された試験片を貼付けることも困難な場合もある。従って、試験体全体の磁束分布が把握できるような磁場解析が望まれる。

3. 省エネ磁化電源装置

どのような分野でも省エネの必要性は重要課題に位置付けられている。

磁粉探傷試験では多くの場合、試験体に磁界を作用させるため、専用の磁化電源装置を使用している。これは一般的に低電圧大電流（数千アンペア）を発生させる装置であるが、一次側入力電流が数百アンペアを超える場合もある。

冒頭で説明した脱磁処理に使用する電源装置では、インバータ回路を内蔵した非常に高効率で脱磁能力の高い低周波脱磁電源装置が実用化され、省エネに貢献している。

磁化電源装置に於いても同様な電源装置の開発が望まれる。

3. 漏洩磁束探傷器

原電子測器(株)
技術部 佐藤克也

まえがき

通常漏洩磁束探傷器といえば直流漏洩磁束探傷器を思い浮かべる方がいるかと思いますが、最近特殊鋼メーカーでは漏洩磁束探傷器といえば交流漏洩磁束探傷器を意味する事が普通となってきています。今回は交流漏洩磁束探傷器について記事にしたいと思います。

◇ 漏洩磁束探傷の原理

漏洩磁束探傷の原理は、図1にあるようにヨークより強力な磁束を被検査材に材料が磁気で飽和されるまで印加すると被検査材に、キズが無ければ図1の表面キズ内材のように飽和した磁束が被検査材から漏れだすことは無く、被検査材に表面にキズがあるときは被検査材の中で飽和した磁束がキズから漏れだすことになる。

この漏れ出した磁束を検出プローブで検出し、アンプを通して信号処理を行ないキズ検出となります。これを等価回路図にすると図2のようになります。

◇ 直流漏洩磁束装置と交流漏洩磁束装置

1. 直流漏洩磁束装置

図2の等価回路図でAのところが交流のものを直流漏洩磁束装置

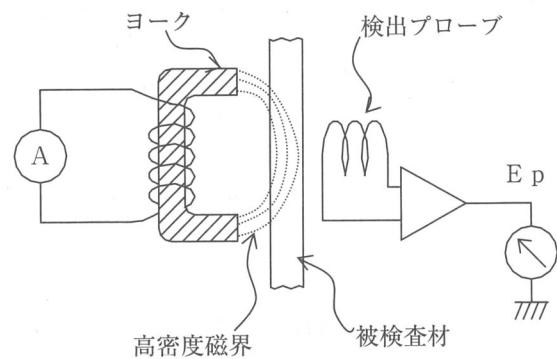


図 2 等価回路図

直流漏洩磁束装置は鋼管の内表面キズを検出するために、钢管材の工場で使用されることが多い棒鋼の分野では、あまり普及していません、理由は、残留磁気が発生してしまうので脱磁装置が必要となるからです。

2. 交流漏洩磁束装置 (AC-MLFT)

図2の等価回路図でAのところが交流（周波数では6kHz～16kHz位）のものを交流漏洩磁束装置 (AC-MLFT) といいます。

AC漏洩磁束装置は棒鋼の分野で外表面キズ検出を目的に多く使用されています。

その理由は、水や油を使わずに残留磁気が残らないため脱磁装置を必要としないからです。

水や油を使わずに、このような棒鋼を探傷する

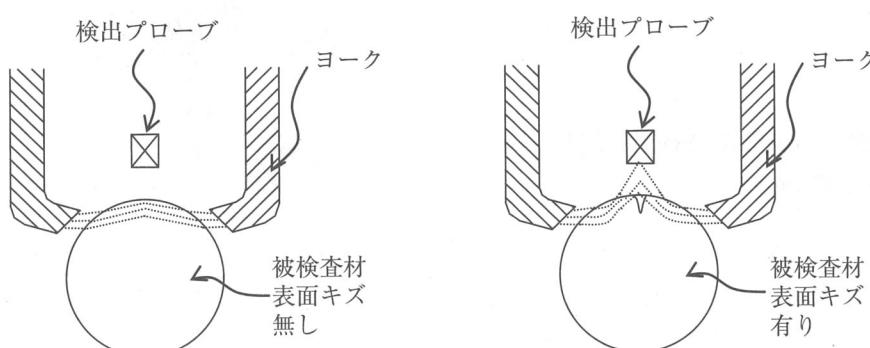


図 1 原理説明図

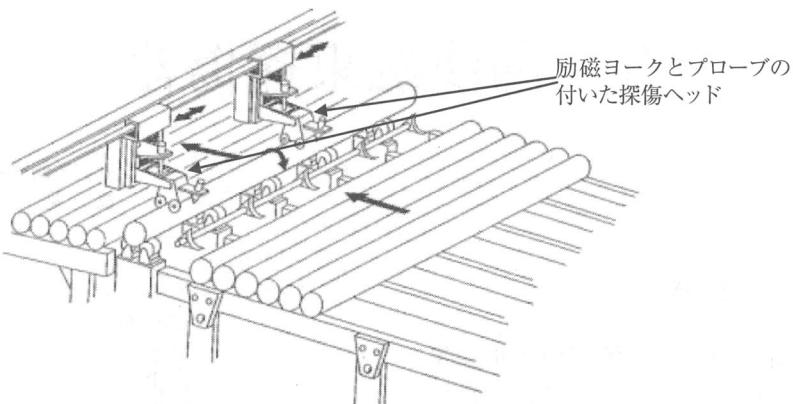


図 3 材料回転自走式AC漏洩磁束装置イメージ図

には直流磁気飽和装置付きの渦流探傷装置が有りますが棒鋼特に、黒皮肌材に発生するようなキズを見つけるには、この装置が適しています。

◇ 材料回転自走式AC漏洩磁束装置と 検出器回転式AC漏洩磁束装置

1. 材料回転自走式AC漏洩磁束装置（スキャン式AC-MLFT）

スキャン式AC-MLFTは図3のイメージ図のように励磁ヨークと検出プローブの付いた探傷ヘッドが回転している探傷材料の上を走行しながらスパイラル軌跡探傷を行なう方式の装置です。

この探傷ヘッドは材料の上下動にも追従できる機能を備えており径 $\phi 120\text{mm}$ を超えるような多少真円度がずれていますが、曲がりのある様な鋼材の探傷も行なえます。

検出能は次に紹介する検出器回転式漏洩磁束装置には劣りますがこのクラスの材料の肌状態を考慮すると十分な検出能と思います。

参考実績としては当社が納入した装置でキズ深さ $0.15 \sim 0.2\text{mmd}$ 相当の自然欠陥（材料肌の状態にも縁りますが）を $SN \geq 3$ で検出しているようです。

◇ 検出器回転式AC漏洩磁束装置 (回転式AC-MLFT)

回転式AC-MLFTは図4のイメージ図（回転部の中は見えませんが）のように回転機構に材料が直進搬送で搬送されて探傷することになります。

この回転部の中にヨークと検出プローブが取り

付けられた回転円盤があり、この円盤が回転しています。

回転円盤の中で、ヨークと検出プローブのセットされている部分は通称探傷ヘッド部としています。検出信号の伝達は、回転トランス方式です。

この回転式機構は、ヨークは検査材の上下、左右動には追従しておりませんが検査プローブは材料接触式となっているため材料ギャップの変動が有っても感度の変動は最小限に抑えられています。

尚、この機構部内の上下、左右動は機構部入口、出口に設けられている求芯装置により動き代は規制されています。

探傷サイズとしては、材料径 $\phi 10\text{mm} \sim \phi 120\text{mm}$ で真円度が良く、曲りが少ない鋼材を探傷するのに適しています。

検出力はスキャン式AC-MLFTより良く、参

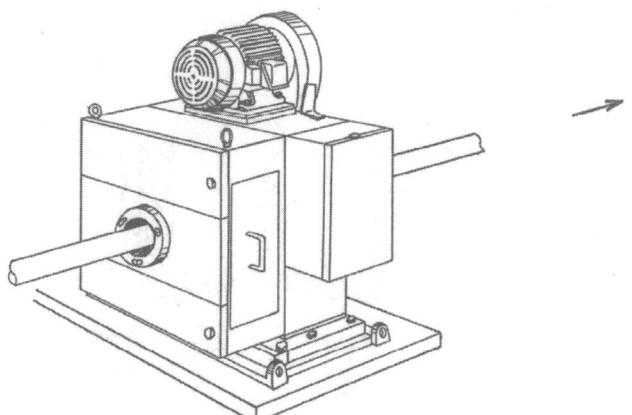


図 4 回転式AC漏洩磁束装置イメージ図

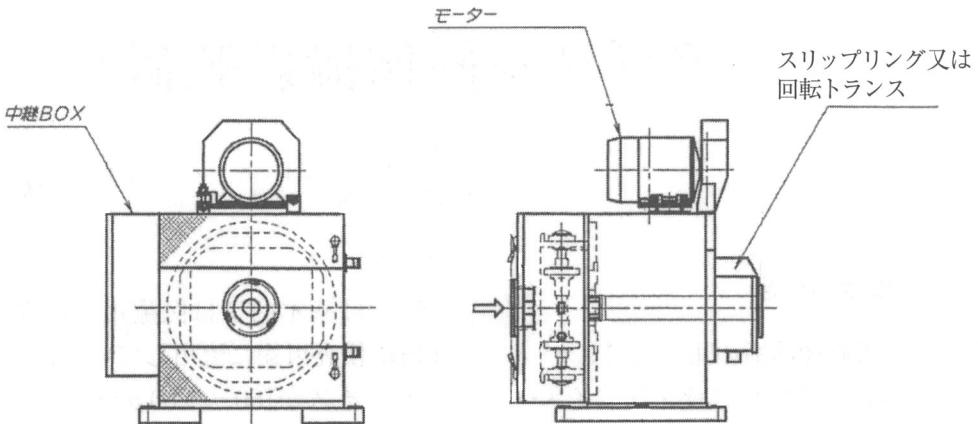


図 5 回転機構部

考実績としては当社が納入した装置でキズ深さ0.1mm相当の自然欠陥（材料肌の状態にも縁りますが）をS/N ≥ 3 以上で検出しているようです。

◇ 最近のAC漏洩磁束装置に求められる能力・機能

最近のAC漏洩磁束装置は、以前と同じ様に検出能力の向上と探傷時間の短縮が求められています。しかし、キズ検出能力特にキズ深さの能力UPは限界に達してきており最近では軸方向キズ長さの短いキズを検出し、探傷速度を上げ探傷時間を短くすることが求められて来ています。特に回転式AC-MLFTは棒鋼では探傷速度150m/minでキズ長さ10mmのスペックが要求されるようになって来ています。

尚、钢管材では200m/minでキズ長さ5mm以下の要求もありました。又、回転機構部でヨークに印加する電力を伝えるためにスリップリング（図5）を使用していますが、スリップリングと接触しているカーボンブラシの磨耗によるノイズの低減や、スリップリングの偏磨耗によるノイズの低減さらにカーボンブラシの交換頻度の低減が要求されるようになってきています。

◇ 当社に於ける要求される能力・機能向上への取り組み

前項で書きました、回転式AC-MLFTで要求されている短いキズ検出に関しては、小さなプローブを多数使用すればある程度解決する事は出来ま

すが、短いキズを検出して、尚且つ探傷速度を上げるのは探傷ヘッド部の回転数を上げていかなければ解決する事が出来ません。そこで、当社としては回転機構部に使用している軸受けベアリングを高回転まで耐久性のある物に換え、さらに摩擦ノイズ等の原因になるスリップリング（図5）を廃止し、ヨーク励磁用電力伝達を当社得意とする技術の回転トランス方式（図5）に変更し回転数のUPを実現しました。

このことによりスリップリング、カーボンブラシが必要なくなったためにブラシ交換等のメンテ回数、費用も低減されました。

又、探傷盤の多チャンネル化も実現しており探傷速度150m/min、軸方向キズ10mm検出は標準的なこととなりました。

むすび

当社としては、AC漏洩磁束装置の探傷性能の向上に努めて行きたいと思っており、色々な励磁方法、ヨーク材質の変更、色々な検出プローブ試作テストを行なっておりますが、なかなか本来の探傷性能の向上につながらず残念に思っております。

ただ、最近のテストで特殊鋼の中でも励磁の掛け方次第でS/Nが向上する鋼材や、どのように励磁を行なってあまりS/Nが向上しない鋼材があることが解ってきております。

当社では日々この様に色々トライしておりますので機会があればご相談ください。

4. デジタル画像撮影装置

(株)リガク NDTイメージング事業部
開発設計部 佐藤貴久

まえがき

放射線を使った医療画像診断の用途では、デジタル化の流れが急速に進んでいます。IP（イメージングプレート）やFPD（フラットパネル検出器）を使った二次元検出器による検査が行われており、またCT（Computed Tomography）でも同様にFPDを使った装置が使われ始めています。これらの検出器の特徴は、高感度でかつ高速に被写体を撮影することができます。X線フィルムのように現像する必要が無いため、簡単に画像を得ることが出来ることもこれらの機器の利用を加速させています。

これら二次元検出器では蛍光体（輝尽性蛍光体含む）を使われたものが多く、蛍光体からの情報を直接または間接的に読み出します。IPでは専用のスキャナーが使われていて

FPDでは半導体素子で直接読み出します。IP（CR : Computed Radiography）とFPD（DR : Digital Radiography）ではそれぞれ特性が異なり、それぞれの特徴を生かしたアプリケーションで利用が進んでいます。

本稿では非破壊検査で現在利用されている二次元検出器の特徴とその利用例について紹介します。

◇ 二次元検出器の特徴

1. FPDの特徴 (DR)

蛍光体を使いX線を光や電子に変換させ、CCD、TFT、CMOSなどにより画像化させます。一般的には検出器の表面またはフォトダイオードの表面に蛍光体が塗布され、それがCCD、TFT、CMOS等に接合された構造をとっています。FPDの最大の特徴は、画像をリアルタイムに高速に取り込むことが出来ることです。またビデオ画像としてリアルタイムに画像を映しだすこともできます。最大、30fps（30画像／秒）以上での測定も可

能です。

FPDは基本的には医療用で開発されたものを非破壊検査用途に流用しているため、一般的には画素サイズが $100 \sim 200 \mu\text{m}$ と大きく、またダイナミックレンジが狭いものとなっています。また、半導体の検出器を使っているため、放射線によるダメージを受けることがあります。そのためガンマ線や電圧が $200 \sim 300\text{kV}$ を超えたX線では使用できないものが大半です。

2. IPの特徴 (CR)

輝尽性蛍光体をフィルムに塗布されたものが広く流通しています。IPの特徴は、使えるX線のエネルギーの幅が広い事が挙げられます。軟X線からガンマ線まで広範囲で使用することができます。

また、X線フィルムに比べて数倍の感度とダイナミックレンジを持っているため、被写体の厚さが薄いものから厚いものまで一度に観察することができます。またそのフィルムの特性を使い、曲げて使うことが出来るため、例えばパイプに巻きつけて使われることもあります。

IPは繰り返し使うことが出来ることも特徴のひとつです。画像の読み出しは、レーザーを使ってスキャンされます。スキャン後は残像を消去することで、再利用ができます。なお、読み出しはレーザーでIPをスキャンするため、IP表面の傷などに影響を受けることがあります。そのため、取り扱いには注意が必要です。

◇ 二次元検出器の利用状況

1. FPDの利用状況

FPDはリアルタイムでの画像表示やビデオレターでの表示が可能なため、製品の異物検出など、スループットの必要な検査や、X線画像を見ながら被写体を傾けたり、移動させながら検査する必要があるもので使われています。

また、二次元画像の高速読み取り性能を利用

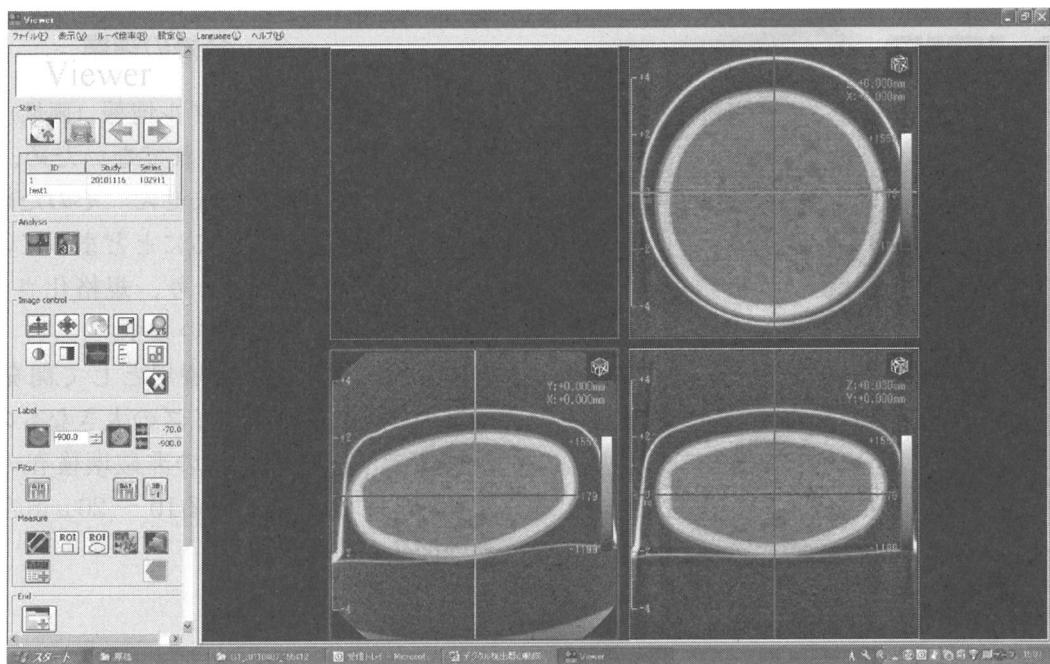


図 1 CTの表示画面例

薬（錠剤）をパッケージに入ったまま測定した例。ピクセルサイズ $20\mu\text{m}$ 、測定時間17秒、90kV $200\mu\text{A}$ で測定。

してCT装置にも利用が進んでいます。例えばリガク製 μ CTシステム『R_mCT2（図3）』では512スライスのCT画像を17秒の高速で撮影することが可能となっています（図1）。機械的拡大機構を持っているため、ボクセルサイズ $10\mu\text{m} \sim 143\mu\text{m}$ まで色々な分解能で測定が可能です。

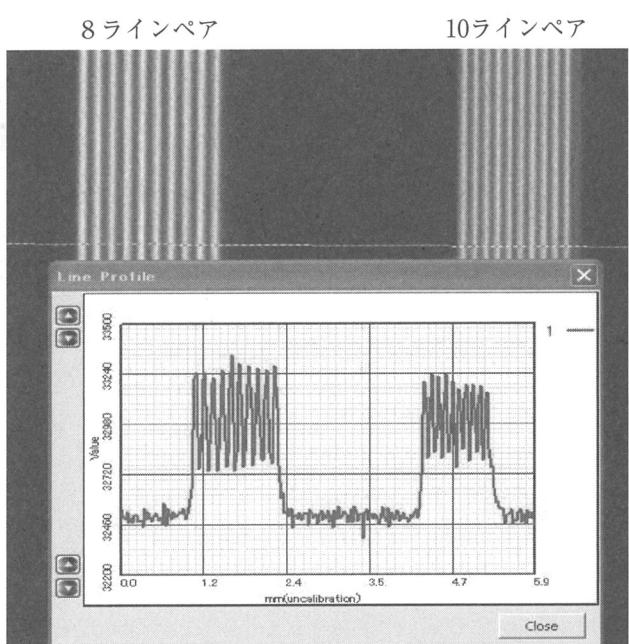
2. IPの利用状況

IPは一般的に 10×12 インチや 14×17 インチの大型の検出面積のものが使用できるため、大型鋳物の欠陥検査から、パイプの減肉検査まで色々な用途で利用されています。しかし、定型サイズのIPしか使えないとか、読み取り分解能が $50\mu\text{m}$ のように、制限事項があるものが大半です。

リガク製『工業用イメージングプレートスキャナー CR-1012（図3）』では 10×12 インチ以下のサイズであれば、希望のIPサイズを読み取ることが可能です。例えば 6×12 インチなど定形外のIPも読み取りが可能です。そのため狭い隙間にIPを挿入して撮影することも可能になります。また最小 $25\mu\text{m}$ での読み取りも可能なため、より高精細な画像測定が可能です。高精細の画像を測定する場合は、専用の高解像度対応のIPが必要になります。モバイル型のイメージングプレートスキャナーのため（小型軽量）、持ち運びが容易で現場

の近くで測定することが可能となっています。

基準ゲージの10ラインペア、8ラインペアの部分の拡大図（図2）を以下に示します。



各ラインペアのプロファイルに示されるように、10ラインペアの部分でも、十分に分離されていることが確認できます。

図 2

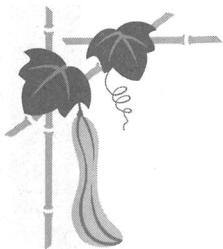


図 3 装置外観

◇ 今後の課題

DRやCRというデジタル情報（画像）は、非破壊検査ではJIS化がなされてないため、正式な検査画像として使用できません。そのため、自主検査として使用されているにとどまっています。海外ではASTMやENにより、規格化されており、早急なJIS化が望まれています。

また、FPDやIPは医療用として開発されているため、比較的画素サイズの大きなものが大きいのが実情です。微細な物の非破壊検査のためには $50\text{ }\mu\text{m}$ をはるかに下回る $10\sim20\text{ }\mu\text{m}$ の画素サイズの開発が待たれます。



5. 最新の検査機器

(1) アコースティック・エミッション

青山学院大学 ちょう
理 工 学 部 長 ひで
秀 雄 お 雄

まえがき

最近では、いずれの産業分野においても高経年化設備の安全な運用について検討されている。そのために非破壊検査に対する注目は高くなっている。代表的な非破壊検査には浸透探傷、超音波探傷、X線による評価などがある。これらの評価法では、検査機器や検査員が評価したい場所に行く必要がある。そのため定期検査時に行われることが多い。しかし、適正な検査周期や検査部位の決定は難しく、これらの決定には経験が大きな役割を果たしているように思われる。

一方、今後は供用中設備や機器の状態を評価して、どの部位を検査すべきか評価するスクリーニング技術が重要になる。アコースティック・エミッション (Acoustic Emission : AE) 法は設備や機器を診断するためのスクリーニング技術として期待できる。そこで今回はAE法の原理や超音波探傷との違いを説明し、一般的なAE計測方法を紹介した後、著者が感じているAE法の問題点や展望を示す。

◇ AE法の原理

AE法では、図1に示すように材料内部で微小き裂が発生・進展する際に解放される弾性ひずみエネルギーによって放出されるAE（超音波）を検出する。つまり、材料自身が発生したAE波が構造物内を伝搬し、測定対象表面に設置したセンサによって捉えることで、いつ？どこで？どの程度の規模の損傷が発生したのかをリアルタイムに評価する技術である。

よく例えられるのが地震である。地震は地球内部での地層のずれや破壊によって発生し、それを日本中に張り巡らされた地震計ネットワークによって検知し、数分後には震源位置や地震の規模を示すマグニチュードがテレビで流れる。規模こそ異なるが原理は同じであり、AEの基礎的な理論も地球物理学（地震学）から発展してきた。しかし、AE法と超音波探傷を混同している場合がある。

超音波探傷では、超音波を探触子から能動的に測定対象に照射し、欠陥からの反射波を再び探触

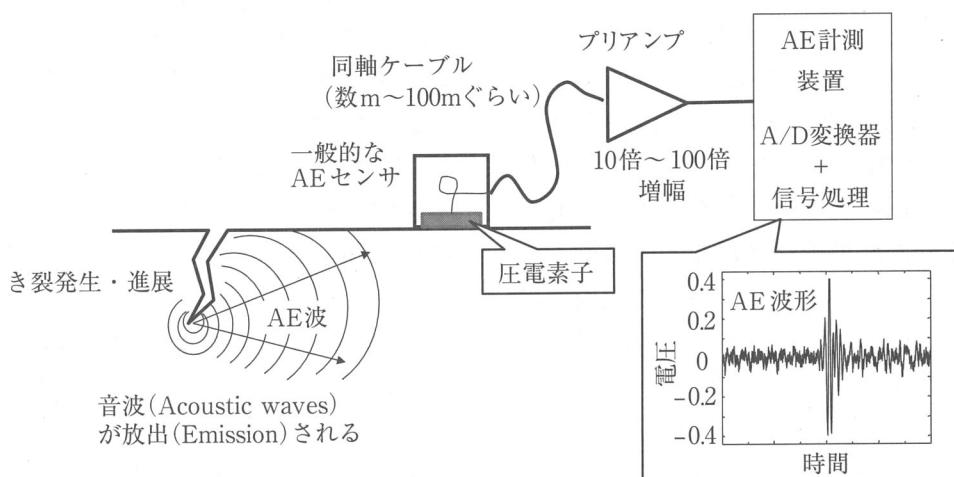


図 1 AEの原理および計測装置の概略

子で検出する。反射波の到達時間や振幅から欠陥の有無や深さなどを評価している。したがって、検査箇所がはっきりしている場合は詳細な欠陥の大きさや深さなど検査が可能である。しかし、大きな構造物ではどの部分に欠陥があるのか、どの部分を重点的に検査するべきなのかわからない。そこでAE法の出番となる。なぜAE法がスクリーニング技術になりうるのか？

すでに理解されている方がほとんどであると思うが、しつこく説明する。AE波は供用環境に存在する応力や振動などによって発生した動的な欠陥（発生や進展する欠陥）のみが放出する。つまり、構造物の健全性を低下させる動的な欠陥の有無や位置をリアルタイムで評価できる可能性がある。

したがって、定期的もしくは定常的にAEを計測すれば当該設備の状態を把握でき、詳細な検査や緊急補修が必要であるかを判断するスクリーニングの可能性がある（と信じている）。しかし、AE法はあまり評価が高くないのが現状である。その理由はのちほど。

◇ AE計測の概要

一般的なAEは図1に示すような装置を用いて計測を行う。センサには圧電素子が利用され、センサ出力はプリアンプによって10～100倍程度増幅されたのちA/Dコンバータによってコンピュータ上に取り込まれる。コンピュータの発展とともにAE信号の取込や処理速度は速くなつたが、ここ20～30年間は基本的な構成はほとんど変化していない。

解析は、各センサへの到達時間差からのAE音源位置評価のほか、AEの発生頻度やAE波の振幅や周波数成分などのいわゆるAEパラメータを用いた解析が行われている。また、AE波形形状に基づいたAE原波形解析やモーメントテンサー解析によってき裂の伝搬速度・体積などの定量的な評価や引張型やせん断型破壊区別などの破壊モードの同定が可能である。しかし、現場の設備では音源位置評価やAEパラメータによる破壊現象の評価のみの場合が多い。

AEパラメータによる解析はセンサの周波数特性や感度とAE波の伝搬経路の構造によって変化するため絶対的な評価は難しく、相対的な評価

になるのではと著者は考えている。AE法で有用な情報はやはりAE源の発生位置の評価であろう。つまり、同じエリアにAE源が集中している場合はそこには損傷が連続的に発生している可能性が高いと予測できる。

◇ 著者が感じているAE法の問題点

1. ノイズ対策とAE波形の意味

微小き裂の発生・進展に伴うAE波の振幅は小さい。一方、測定対象となる設備・構造物ではAE計測の邪魔となるノイズ源になる。屋外の設備であれば電磁波、可動部を有する機器では振動がノイズを発生する。一般的なAE計測では計測環境に存在するノイズ以上の振幅を計測するようしきい値を設定する。

小さなAE波を取るためにしきい値をギリギリに設定するためノイズを検出してしまこともある。その場合、ノイズを含んだ膨大なデータから破壊に起因したAE信号を選別しなければならない。しかし、AE信号は伝搬経路の形状やセンサ特性によって変化するためノイズ選別の統一的な手法はなく、測定対象の固有の対応が必要となる。

またAE波自身もセンサ特性と伝搬経路によって同じ破壊現象でも波形が異なる。つまり波形の解釈（AE波音源の意味など）にはセンサ特性と伝搬経路を考慮した評価が必要となる。

このやっかいな問題がきちんと理解されていないので、“計測すればAEはでるが、それが何を意味しているのかよくわからない”と嫌われるのではと思っている。これらの問題に対しては波形パターン認識によるAE波形の分類や破壊の同定やAE波とノイズの弁別などが研究されており、よい結果も報告されているので今後期待ができる。

2. AEセンサ

AEセンサにはチタン酸ジルコン酸鉛といわれる圧電セラミックスが使用されている。大きさや特性は図2に示すように様々で、計測対象に合わせて選択する。

圧電セラミックスは感度が高く、扱い易い。一方、電磁波の影響を受け、高温環境での使用が難しい（高温用の圧電セラミックスも存在する）。また、圧電素子の名通り、電気を発生するため本質的な防爆性がなく、引火性環境での使用は敬遠され

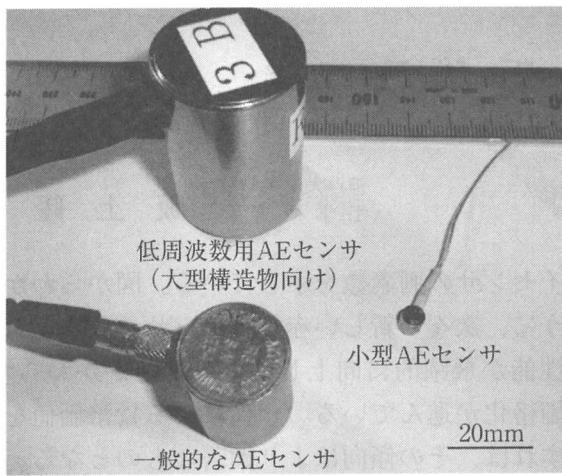


図 2 よく使用されるAEセンサの写真

るなど使用環境に制限がある。さらに、屋外設備を長期間計測するためには雨への対応も必要となる。現在では光ファイバを利用したセンサが研究されており、AEの使用環境の拡大が検討されている。すでに、一部では光ファイバAEセンサを用いた実装置に対する試験的な計測も始まっているようで、こちらも期待できそうである。

むすび

AE法は破壊現象をリアルタイムで評価できる手法として期待されているが、なかなか現場での適用例は増えていない。ひとつには上記のような問題がある。さらに、AE法では超音波探傷のような余寿命診断に使えるき裂深さの定量評価は難しいためではないかと思われる。一方では、スクリーニング技術して石油タンク底板の腐食損傷の評価が検討されるなど注目されている部分もある。

つまり、AE法でできること・できないことを理解すれば、使い方次第では信頼される評価法としての役割が担える部分があるのであって、最後に、今回重要な紙面をお借りして著者の勝手な思い込みも含めて書いており、生意気な部分もあるかと思うがお許し願いたい。AE法に興味をもたれた方は是非、文献（大津政康著 アコースティック・エミッションの特性と理論 森北出版）を参照されたい。AEに関する歴史や原理について詳しく説明されている。



(2) 赤外線サーモグラフィ

神戸大学大学院
工学研究科
阪上 隆英

まえがき

赤外線サーモグラフィ装置は、物体から放射される赤外線の強度をもとに、物体表面の温度分布を画像化して表示する装置である。赤外線サーモグラフィ装置により、広範囲の温度測定が遠隔から非接触的に効率良く行えること、温度分布が画像表示されるため異常が起こっている部分を視覚的に検出できることなどから、赤外線サーモグラフィ装置は設備診断・非破壊試験に応用されている。本稿では、赤外線サーモグラフィ装置の現状について解説するとともに、赤外線サーモグラフィ装置の設備診断および非破壊試験への適用事例を紹介する。

◇ 赤外線サーモグラフィの特徴と現状

1960年代に赤外線サーモグラフィ装置が開発されてから現在に至るまで、優れた赤外線センサの開発とデジタル信号処理技術の進展を背景に、赤外線サーモグラフィ装置は進歩を遂げてきた。初期の赤外線熱画像装置は、单一あるいは少数の赤外線センサと二次元光学走査の組合せによるものであったが、アレイセンサの開発により、赤外線サーモグラフィ装置の計測速度は飛躍的に向上した。さらに、最近、非冷却マイクロボロメータが進歩し、赤外線サーモグラフィ装置の小型軽量化、低価格化が進んでいる。

あるメーカーの赤外線サーモグラフィ装置について、年代による販売価格の推移を種類別に示したグラフを図1に示す。図中、FPAはフォーカルプレーンアレイセンサを、UFPAは非冷却フォーカルプレーンアレイセンサを意味しており、判例の括弧内はフォーカルプレーンア

レイセンサの画素数を示している。図からわかるように、次々と新しい赤外線センサが取り入れられ性能が飛躍的に向上しているにもかかわらず、低価格化が進んでいる。年代による貨幣価値を勘案すれば、その傾向はより顕著なものとなる。

現在、日本国内で入手可能な赤外線サーモグラフィ装置の一部について、それらの仕様をまとめたものを表1に示す。ここには、そのままでは温度換算表示機能を持たない、いわゆる赤外線カメラも含まれている。表中MBはマイクロボロメータを、重量の*表示はレンズを含む重量を示している。表では、赤外線サーモグラフィを3つのカテゴリーに分類した。

カテゴリーAは、最も高性能な機種であり、赤外線センサの画素数、最小検知温度差および計測速度において最高水準にある。赤外線センサとしては、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ の赤外線(MWIR)を検出するInSbセンサを搭載したものが主流であるが、最近 $8 \sim 9.2 \mu\text{m}$ の赤外線(LWIR)を検出するMCTセンサ等を搭載した高性能な機種が開発されている。カテゴリーAの機種は、高性能ゆえに高価格であるため、現状ではこれらの機種の普及は研究開発用途に留まっている。

カテゴリーBは、最小検知温度差や計測速度が

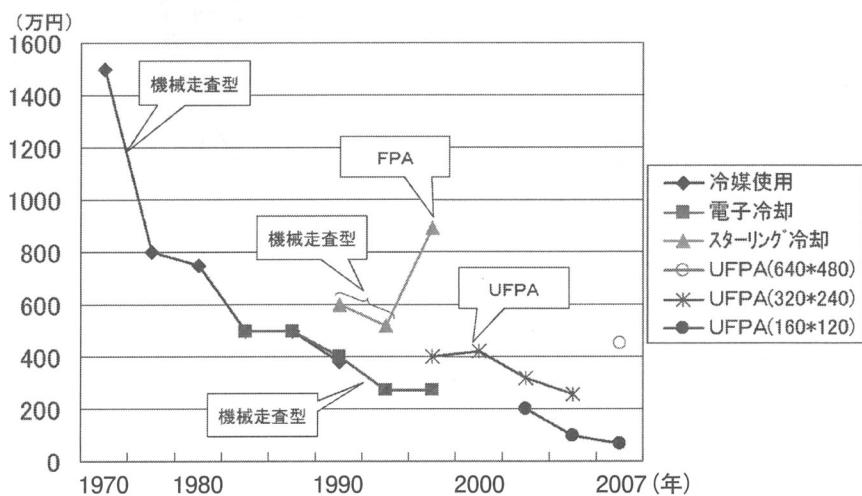


図 1 赤外線サーモグラフィ装置の価格の変遷

表 1 赤外線サーモグラフィ装置の仕様

	赤外線センサ	画素数	検出波長(μm)	冷却	NETD(K)	計測速度(Frames/s)	重量(g)	製造国
A	InSb	640×512	3～5	要	0.018	125	4,500	アメリカ
	InSb	640×512	2.5～5.1	要	0.02	100	4,950	フランス
	InSb	320×256	3～5	要	0.018	420	4,950	アメリカ
	InSb	320×256	2.5～5.1	要	0.02	380	4,950	フランス
	MCT	320×256	7.7～9.3	要	0.02	250	4,950	フランス
B	MB	640×480	8～13	不要	0.06	30	1,500*	日本
	MB	640×480	7.5～13	不要	0.045	30	1,700*	アメリカ
	MB	320×240	8～14	不要	0.05	60	1,300*	日本
	MB	320×240	8～14	不要	0.06	60	800*	日本
	MB	320×240	8～14	不要	0.05	30	880*	アメリカ
C	MB	320×240	8～13	不要	0.1	60	600*	日本
	MB	324×256	7.5～13.5	不要	0.085	30	97	アメリカ
	MB	320×256	7.5～13.5	不要	0.05	30	72	アメリカ

カテゴリー Aと比べて劣っているが、カテゴリー Aに比べて安価なものが多い。主流は、赤外線センサとしてマイクロボロメータを搭載した機種である。マイクロボロメータアレイセンサの性能が飛躍的に向上し、最小検知温度差が0.1°C以下で安定した画像が得られるようになった。非冷却センサの使用により、センサ冷却のための機構が必要となったことから、小型軽量化・低価格化が実現され、バッテリー駆動も可能となった。カテゴリー Bのマイクロボロメータ赤外線サーモグラフィ装置は、現場での使用に最も適した機種として、プラント設備診断や構造物の維持管理に広く用いられている。

カテゴリー Cは、装置単独での表示機能を省略するなど、小型軽量化をより進めた機種であり、赤外線カメラモジュールと呼ばれるものである。カテゴリー Bのものよりも一層の低価格化を実現している。

◇ 赤外線サーモグラフィによる設備診断

設備診断は、赤外線サーモグラフィ装置による温度分布測定の長所を活かした適用事例の一つである。この分野では主として、正常時の温度分布を基準として異常な発熱部位を検出することにより、保守検査が行われている。赤外線サーモグラフィ装置を用いることにより、広範囲にわたる温度分布情報を、測定対象に近づくことなく遠隔から計測でき、計測結果を瞬時に視覚的な情報として得ることができる。このため、測定対象物の

温度分布に関して、正常時の比較を容易に行うことができる、赤外線サーモグラフィ装置による日常の保守検査業務の効率化が可能となる。

設備診断においては、前述カテゴリー Bの赤外線サーモグラフィ装置の発展が大きく貢献している。前述のように、非冷却赤外線センサの使用により、小型・軽量化されたことに加え、リチウムイオンバッテ

リによるDC電源での使用も可能になった。このように現場使用における利便性を飛躍的に向上させたことは、プラントや構造物の保守検査のためのツールとして赤外線サーモグラフィ装置が注目される一因となった。

現在、多くの赤外線サーモグラフィ装置の適用事例が報告されているものとして、電力・配電設備の接合不良など不具合発生箇所からの異常発熱の検知、化学反応塔あるいは配管等の異常発熱の検知、発電所や工場の排水温度管理、回転機器などの異常検知すなわち摩耗あるいは潤滑不良などによる異常発熱の検知などがある。

電気設備の異常診断は、赤外線サーモグラフィ装置が古くから効果的に応用されている事例の一つである。電気設備の異常箇所では電気抵抗が増大し、局所的に異常過熱を起こしていることがほとんどである。これを赤外線サーモグラフィ装置により検知することで、異常箇所の検出が可能になる。また、正常時の温度分布データを記録しておくと、取得した赤外線画像との比較を行うことも異常の検出に有効である。定期点検において測定箇所を決めておくかあるいは常時監視を行い、測定視野内で正常時の温度差が一定限度を超える箇所が検出されれば警告を発するシステムを構築することも可能である。赤外線サーモグラフィ装置による電力設備の状態監視事例として、電源切替盤の赤外線画像を図2に示す。左が正常時の温度分布を示す赤外線画像である。異常箇所における過熱状態が温度分布画像に現れて

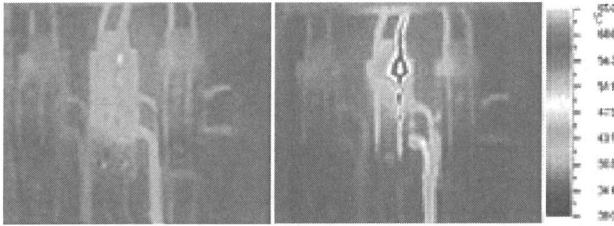


図 2 赤外線サーモグラフィによる電気設備診断

おり、瞬時に異常を検出できていることがわかる。

◇ 赤外線サーモグラフィによる非破壊試験

測定対象物の表面に現れたきずや欠陥による温度変化を、赤外線サーモグラフィ装置で検出することにより、きずや欠陥を検出する非破壊試験法は、赤外線サーモグラフィ法、Thermographic NDTなどと呼ばれている。赤外線サーモグラフィ法は、(1) 遠隔からの検査が可能なため、検査のための足場や特殊装置が不要、(2) 対象物の2次元画像による検査なので短時間に広範囲の検査が可能、(3) 欠陥の位置や形状が視覚的に推定できる、(4) 赤外光学系の選択により測定視野を自由に変えられる、などの特長を有していることから、特に大型構造物の非破壊試験法として注目を集めている。

1. 測定原理

赤外線サーモグラフィによる非破壊試験法は、熱負荷を与えた時の欠陥による断熱温度場を検出する方法と欠陥での自己発熱温度場を検出する方法に分けられる。前者では、測定対象物に外部から熱負荷を与えた時、欠陥による断熱効果（熱流が欠陥により遮られる効果）により熱移動が妨げられた結果、サンプル表面に現れる温度変化領域を検出する。温度変化領域の位置・形状は内部の欠陥を反映したものとなるため、欠陥の位置および形状を赤外線サーモグラフィで測定できる。後者は、欠陥自身が発熱源となっている場合に、測定対象物の温度変化に基づき欠陥を検出する方法であり、例えば航空機構造における水浸入部を氷結した低温領域をもとに検出できる。

2. 建築物のはく離検出

建築物のタイルやモルタルなどの内部に存在するはく離や空洞の検出は、断熱温度場検出に基づくサーモグラフィ法が早くから適用され、成果を

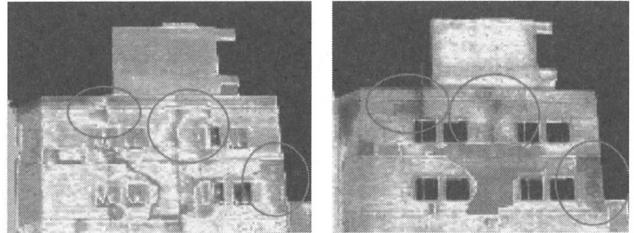
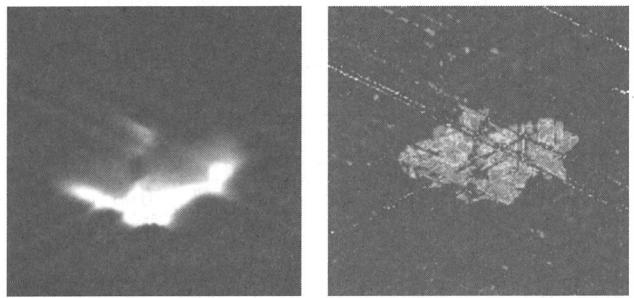


図 3 赤外線サーモグラフィによる建物外壁検査



(a) 赤外線サーモグラフィ (b) 超音波探傷
図 4 複合材料のはく離検出結果

収めている。建築物のはく離検出には、昼間の日照による加熱と夜間の放射冷却という24時間の温度変化が用いられる。タイルの内側に存在するはく離を検出した例を図3に示す。左に日中に計測した建物表面の赤外線画像を、右に夜間に計測した建物表面の赤外線画像を示す。日中には太陽光の照射により、建物は表面から加熱されるため、建物には表面から内部への熱移動が生じる。このため、構造物内部にはく離が存在すれば、はく離部の表面温度は健全部と比較して高温になる。逆に、夜間には建物内部に蓄えられた熱のため、内部から表面に向かう熱移動が生じ、はく離部の温度は健全部に比べて低くなる。

3. 複合材料のはく離検出

複合材料のはく離検出に対しては、フラッシュランプによる瞬時熱負荷直後の断熱温度場の計測による、パルス加熱赤外線サーモグラフィが有効に用いられる。パルス加熱赤外線サーモグラフィにより、CFRPに存在する衝撃剥離損傷を検出した結果を図4に示す。フラッシュランプを用いてパルス熱負荷を与えた直後の赤外線画像を図4(a)に示す。衝撃剥離損傷が存在する部分において温度が高くなっていること、その形状・寸法は図4(b)に示す超音波探傷Cスコープによる結果とよく一致している。

III. 各製品の非破壊検査の現状

1. 鋼片

大同特殊鋼(株) 特殊鋼事業部 ほん だ まさ とし
特 殊 鋼 商 品 開 発 部 本 田 正 寿

まえがき

特殊鋼は自動車を中心に各種産業用素材として重要な役割を果たしており、ユーザーの製造工法多様化に伴い、より高い品質保証が要求されている。線材や棒鋼製品の品質は、前工程の品質によって大きく影響されることから、半製品である鋼片の検査・手入れば品質保証上重要な工程である。本稿では、多くの鉄鋼各社が採用している角鋼片を対象に鋼片検査の現状と今後の課題について述べる。

◇ 鋼片表面きず検査

鋼片の表面きず検査において磁性鋼は蛍光磁粉探傷検査、非磁性鋼は目視検査が一般に用いられてきた検査法であるが、1990年代から各種自動探傷法が開発され、実用機が稼働している。図1に自動探傷法の代表例を示す^{1), 2)}。

1. 自動磁粉探傷装置

磁粉探傷法は、以下の理由から自動化が急速に発展してきている。

・黒皮角鋼片の表面きずに対しては、最小検出

きず深さが他の探傷法より優れている

- ・角形状断面にも適用可能である
- ・鋼片形状（曲がり、ねじれなど）の影響を受けにくい

この装置はきず部に付着した蛍光磁粉模様をCCDカメラからの画像信号を画像処理し、きず信号を抽出するものである。自動化の方案として、極間法を用いた鋼片走行－カメラ固定式と軸通電法を用いた鋼片固定－カメラ走行式の両方式があり、ともに検出きず深さはほぼ0.3mmとされる。曲がりやねじれに対しては、鋼片搬送中の衝撃や振動の影響を受けない軸通電法が有効である。

2. 誘導加熱式赤外線自動探傷装置

この探傷法は、高周波電流を通電したコイル内に鋼片を通過させると鋼片表層部に誘導電流が生じ表面温度が上昇するが、このとき健全部ときず部で温度変化が生じる現象を利用する方法である。これにより鋼片表面の温度分布を赤外線センサでスキャンし、きず部をマーキングするものである。探傷性能は、最小検出可能きず深さとしては約0.4～0.5mmとされている。また、自動磁粉探傷装置と比較すると、①非磁性鋼の探傷が可能、

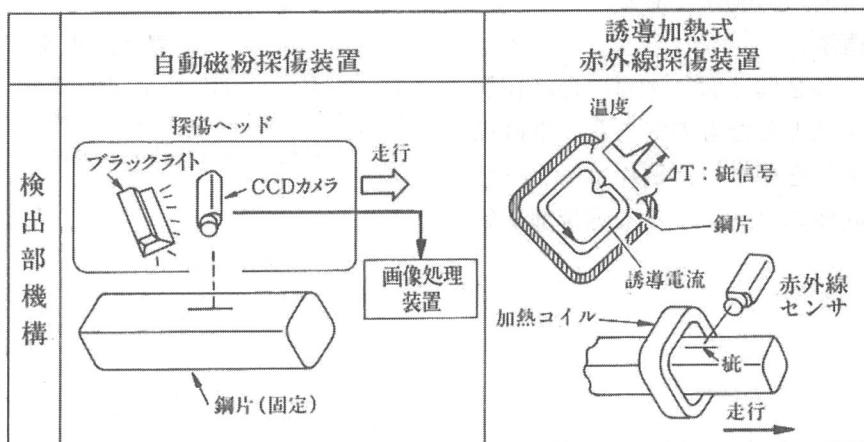


図 1 鋼片表面きず自動探傷法²⁾

	垂直法（従来）	斜角（複合）法+垂直法
探触子配置		
断面探傷範囲	約60%	95%以上

図 2 鋼片超音波探傷法²⁾

②消耗品が少なく操業コストが低いなどの特徴があり、非磁性鋼や鋳片などの表面きず探傷へ適用されている。

◇ 鋼片内部欠陥検査

鋼片の内部検査には超音波探傷法が用いられている。鋼片超音波探傷装置はユーザーの品質要求の高まりと製鋼工程の変化とともに進展してきた。特に1980年後半に鉄鋼メーカーの連続鋳造比率向上による表層部の品質保証要求の高まりに伴い、断面探傷範囲の拡大化が図られてきた。図2に主な超音波探傷法の事例を示す^{2), 3)}。

1. 垂直探傷

鋼片のほぼ中央部のみを探傷する代表的なものである。この事例では垂直探触子を3個／面×2面に合計6個配置し、ほぼ探触子の直下部を探傷する方法である。鋼片のコーナー部、送信および底面エコーによる不感帯部が探傷不可能な範囲となり、探傷範囲は断面の約60%である。

2. 斜角法+垂直法

斜角と垂直探触子各2個／面×4面に合計16個配置し、探傷範囲を拡大したものである。垂直探触子は探触子の直下部を探傷し、鋼片コーナー部近傍、送信および底面エコーによる不感帯部を斜

角探触子で探傷する方式である。

◇ 鋼片非破壊検査の課題と展望

今後の課題として、表面きず検査では、製品と比べて表面性状が悪くかつ曲がりやねじりのある材料も検査対象となる事から、①欠陥の定量化、自動判定化、②微細欠陥の検出能などでは改善の余地が残されている。さらに、製造部門の鋼片表面性状の改善、非破壊検査機器の微小欠陥検出技術や無害な欠陥との分別技術の開発改善が合わせて求められている。また、内部欠陥検査では、減衰材の探傷性能向上も必要であり、アレイ探傷法や広帯域超音波の利用が有効と考えられている。

今後も製品への品質保証要求は高まることから、鋼片での非破壊検査の重要性は増すばかりである。今まで以上に後工程への表面きずや内部欠陥を流出させない保証体制の構築が大切となってくる。

参考文献

- 1) 電気製鋼 Vol.70 No.1 (1999) P36
- 2) 特殊鋼 Vol.46 No.6 (1997) P30
- 3) 非破壊検査 Vol.37 No.11 (1988) P861

2. 棒鋼

愛知製鋼(株) さわ
第1生産技術部 きよ かず
澤 清 和

まえがき

棒鋼製品の非破壊検査は表面きずは漏洩磁束探傷（以下MLFT）または磁粉探傷（以下MT）、もしくは両者を併用して検査を実施する。一方、内部きずは超音波探傷（以下UT）を実施するのが一般的である。

この非破壊検査設備はユーザーからの要求精度に対応するため、検査精度向上が図られてきた。また、検査設備導入後、検査精度を維持するため、さまざまな取り組みがなされている。

この表面きず検査設備（MLFT）、内部きずの検査設備（UT）の精度向上、維持管理の事例について紹介する。

◇ MLFTの精度向上、精度維持

1. 精度向上

MLFTが棒鋼検査に導入され約30年経過した。導入当時の検査精度は0.3mm深さが限界であった。近年の検査設備では0.1mm深さ検出能力を有する設備が設置されている。これらの精度向上には材料を磁化するヨーク、きずからの漏洩磁束を検出するセンサーの小型化・高精度化の開発が大きく寄与している。

また、材料についても真円度・真直度の向上により、検査を妨害するノイズの低減が大きな進歩をもたらしてきた。

検査設備、材料の両方の進歩が高精度の検査を可能とした。

2. 精度維持

MLFTではきずからの漏洩磁束を検出するセンサーと材料間の距離（ギャップと称する）が精度維持に重要な管理項目となっている。

設備メーカーによって、ギャップを保持する方法は異なるが（図1参照）、どの方法でも材料との接触部分が存在する。

長時間使用すると接触部分が磨耗し、ギャップ



図1 センサーギャップ

量が変化する。

一方、検査設備を通過する材料サイズは多種存在するため、磨耗の様子もサイズにより変化する。このため、サイズの違いによってギャップ量が変化し、きずの検出感度に差が生じる。

この問題に対する性能の維持管理として、①被接触部分の定期交換、②多サイズでの感度確認の実施を行っている。

多サイズで感度調整を実施することにより、実際の探傷サイズと近いギャップ量で調整ができるので、精度の維持が図れる。

また同時に、サイズ変更のヒューマンエラーの有無が確認できるというメリットも含まれている。

◇ UTの精度向上、精度維持

1. 精度向上

UTの導入当初は超音波を送受信するセンサー（探触子と称する）を材料の円周方向に複数配置する方式が主流であった（図2参照）。この方法の場合、円周に配置できる探触子の数が制約されるため、材料へ送信される超音波の密度が材料断面中で不均一になり、超音波密度の低い部分の検査精度が低下する。

この問題を解決するためロータリー式が開発された。この方式では探触子が材料の円周上を回転し、多数の超音波の送受信を繰り返し、超音波密度の均一化を図った。

生産性の面でも検査速度を向上させるため、材料の長手方向に複数の探触子を配置した。

また、材料中の超音波密度をさらに向上するた

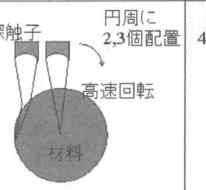
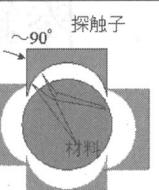
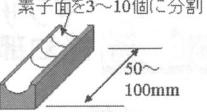
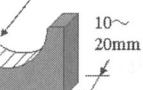
	マルチ式	ローラー式	フェーズドアレイ
配置	円周方向に 6~12個配置 	探触子 円周に 2,3個配置 	45° ~90° 探触子 材料 
探触子形状		素子面を3~10個に分割 	素子を32~128に分割 10~20mm 

図 2 超音波探傷方式と探触子形状

め、探触子の表面形状を材料に合わせた扇形にし、超音波を集束し、精度向上が行われた。

近年ではさらに技術が進歩し、超音波の送受信を電子制御で実施するフェーズドアレイ探傷法が開発され、積極的に導入が行われている。

2. 精度維持

UTの精度維持管理で重要な項目として探傷水の管理がある。管理項目としては探傷水の供給水量、温度、汚れである。

探傷水の供給水量が少ないと材料表面に気泡膜が残り、材料中に超音波が入らず探傷できない。逆に多すぎると、乱流となり気泡などを巻き込み探傷に悪影響を及ぼす。このため供給する探傷水量の管理は細かく制御されている。

探傷水の温度が変化すると超音波の音速が変化

し、屈折角、集束点が変化するため、性能が低下する。維持方法としては水温の計測による音速補正を実施する方法、または、過熱や冷却などにより温度を一定にする方法が用いられている。

◇ 共通する精度維持項目

MLFT、UTともに材料が直進しながら検査を実施する。このため、材料が通過する通り芯の管理は重要となっている。材料はVローラーにより搬送されるのが一般的である。Vローラーの磨耗により通り芯が変化すると、MLFTではギャップ距離が変化、UTでは屈折角や集束点が変化する。

この対策としてローラー材質を硬度の高いものを使用し、耐摩耗性を向上させるとともに、定期的な通り芯測定管理を実施している。

むすび

探傷技術の向上とともに、材料メーカーでの維持管理を行い高いレベルでの検査が可能となっている。しかしユーザーからの品質要求はさらに強くなり、面状から線状、線状から点状の欠陥検出、さらには既存のMLFT・UTでは検出困難な形状・方向・位置の欠陥検出が求められる。今後、これらの要求に追従するため、検出技術がさらに発展していくと思われる。

3. 厚板

(1) 厚板

JFEスチール(株)
スチール研究所 いいづかゆきのり
飯塚幸理

まえがき

厚板は、造船、建築、橋梁から圧力容器、ラインパイプなどに用いられ、広く社会基盤を支える基礎素材である。近年、船舶や構造物の大型化、建機・ラインパイプなどの寒冷地への適用拡大、インフラ長寿命化ニーズを背景に、強度、韌性、耐食性などの特性向上が図られ、これに対応して非破壊検査の重要性もより高まっている。

以下、厚板における非破壊検査の現状と実用例、最近の技術事例などについて述べる。

◇ 厚板の非破壊検査の現状

厚板に適用される非破壊検査手法を表1に示す。内部品質については超音波探傷法、表面品質については磁粉探傷法、浸透探傷法が適用されている¹⁾。表面については目視による検査も併用されている。

1. 超音波探傷法

超音波を鋼板の表面から入射し、内部のきずからのエコーを検出するパルス反射方式による垂直探傷法が適用されている。検出されるきずは鋼板内部のラミネーションや非金属介在物、板面に平行な水素割れなどである。板厚4.5mm～60mm

までは自動探傷、それ以上は現在では手動探傷が主流である。

自動探傷では図1に示される二振動子型垂直探触子が用いられる。超音波の周波数は5MHz、振動子の幅は20mm程度である。探傷装置は、このような探触子8個程度を配列した探傷ヘッドを、エッジ用および多数のインサイド用としてそれぞれ備え、鋼板あるいは探傷ヘッドを走査することで鋼板の全面100%を検査可能としている。検出性能は、人工きずで $\phi 2.0 \sim \phi 4.0$ mmの平底穴である。

手動探傷では一振動子型垂直探触子が用いられる。周波数は2MHz～5MHz、振動子の直径は20mm～30mm程度が用いられる。

2. 磁粉探傷法

磁粉探傷は、磁束を流した鋼板表層にきずがあると漏洩磁束が生ずることを利用し、そこに集まった磁粉を観察して探傷する手法である。検出されるきずは鋼板表層部の割れやへげなどである。浸透探傷に比べてより微細なきずの検出が可能であり、検出性能はきず高さで100μm程度である。表面に開口していないきずは、大きなものであれば2mm～3mmの深さでも検出可能である。

表 1 厚板に適用されている非破壊検査技術

手法	検査部位	きずの種類
超音波探傷法	内部	ラミネーション 非金属介在物 内部割れ
磁粉探傷法	表面・側面	割れ、へげ (微細なきず)
浸透探傷法	表面・側面	割れ、へげ (開口しているきず)

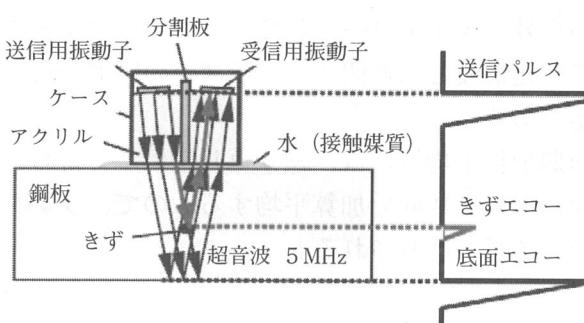


図 1 二振動子垂直探触子による厚板探傷の原理

鋼板に磁束を流すための磁化器には、表面に対しては回転磁場方式の4極式、断面に対しては2極式が多く適用されている。磁粉は一般に蛍光磁粉が用いられ、観察の際にブラックライトが併用される。

3. 浸透探傷法

浸透探傷は、開口した表面きずに液体が毛細管現象で浸透することを利用している。検出されるきずは割れなどの開口きずである。

通常、染色性の浸透液を表面に散布した後、表面を洗浄、さらに現像液を散布してきずに入った浸透液を吸い出すことできずの視認性を高める手順で探傷作業が行われる。きず部分で明瞭な色が浮き出るため、カラーチェックとも呼ばれる。

◇ 最近の技術開発例

近年、様々なIT技術や地上デジタル放送に代表されるようにデジタル技術の発展が著しい。厚板の超音波自動探傷についても最新のデジタル技術が取り入れられ、精度・信頼性の改善が図られている²⁾。

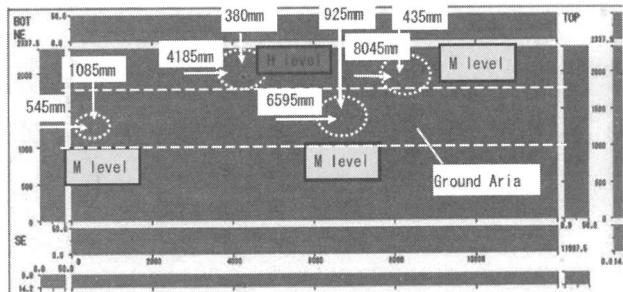
1. 探傷信号のS/N改善

超音波探傷において、より小さなきずを検出するためには探傷信号のS/N（信号対ノイズ比）が高いこと、すなわちノイズレベルが低いことが要求される。また、突発的なノイズ混入に対して信頼性の高い自動探傷を行うためにも、ノイズを低減することが必要である。

このS/N向上ニーズに対し、チャープ波パルス圧縮処理と同期加算平均処理によるデジタルノイズリダクション技術が実用化されている。

チャープ波とは鳥の鳴き声という意味であり、周波数を変化させたチャープ信号を超音波の送信に用いている。さらに受信時に、送信波と相關の強い信号をきずエコーとしてピックアップすることで、送信波とは無関係なノイズとの区別を行う技術である。

同期加算平均処理は、繰り返し送信して得られる探傷信号を数回分加算平均するもので、ランダムなノイズが低減される。



(2) 厚板(ステンレス鋼)

日本冶金工業(株) よし だ ひろ し
川崎製造所 吉田裕志

◇ 非破壊検査の必要性

ステンレス厚板製品で、問題となるきずには
内部きず：非金属介在物、鋳造きず(引けす)、二
枚板
表面きず：熱間圧延での押し疵、飛び込み疵、矯
正工程での押し疵、肌荒れ
などがある。

これらのきずのうち、表面きずについては、現在も検査員による目視検査を行っている場合が多いと思われる(当社では、現在、厚板については目視検査のみである)。

内部きずについては、超音波探傷による検査が一般的であるが、これは、人手で行う場合と、自動装置で行う場合とがある。

当社では、昨年、ステンレス鋼板全面を自動で探傷する設備を導入したので、以下にそれを紹介したい。

◇ ステンレス鋼の検査に応用できる 非破壊検査方法の検討

すでに、第Ⅱ章で、説明されたように、鋼材を非破壊的に検査する方法には、様々なものが開発されているが、これらの方の中でも、実際に工業的に厚板製造ラインで利用できる検査方法は、ま

だ限られている。

表1に各種の非破壊検査方法の中から、製造ラインへの適用性を当社で検討したものについて、一覧表にまとめた。それぞれの探傷技術の詳細については、本誌のⅡ章を参照していただきたい。

◇ 超音波探傷の自動化

最も一般的に使われているステンレス鋼厚板の非破壊検査は超音波探傷である。通常、ステンレス厚板鋼板の検査段階では溶接部などの特殊な部位がないため、単純な垂直法を用いる。

人手で探傷する場合の問題点は

- i. 探傷に時間がかかるため、格子状に探傷する(規格に定められている)などの工夫をして、工数を減らしている。そのため、板全面の完全な保証にはなっていない場合がある。
- ii. 全面探傷を行う場合、オーバーラップを確保し探傷範囲に抜けが無いようにするために、当て木などの治具を必要とし、探傷に時間がかかる。
- iii. JIS規格などには、探傷する場合のプローブの移動速度の上限が規定されており、これを人手の探傷で守るために、バラツキを考慮して意図的に規格よりもずっと低い速度でプローブを移動させるようにしなけ

表 1 ステンレス鋼厚板の非破壊検査方法として期待できる各種機器と当社での利用状況

非破壊検査方法・機器	特長	当社での導入・検討
超音波デジタル探傷器	アナログと比較して種々の信号処理が可能	導入済み
フェイズドアレイ探傷法	複雑な探傷方法にも対応でき、結果が可視化され、視覚的に判断しやすい	導入済み
ガイド波	長距離伝搬がある波で、大型構造物や、長尺ものの検査に用いる	薄板製品の検査として導入済み
渦流探傷(アレイ)	表層近傍のきず検出に有効	検討中
パルス渦電流法 低周波渦電流法	通常の渦流探傷に比較して、より深い部分のきずまで検出が可能	検討中

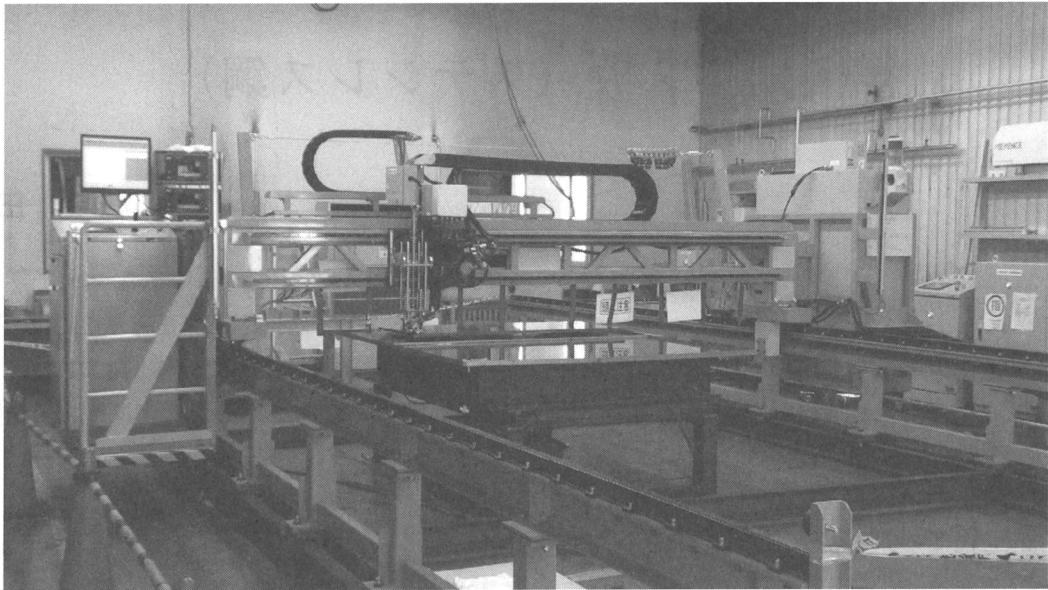


図 1 自動超音波探傷装置の外観（実験室にて動作確認テストをしている様子）

ればならない。

これらを考えると探傷を自動化したくなるが、実際に自動探傷装置を導入するには種々の問題点が出てくる。今回、当社での導入に際して検討した主な項目を以下に述べる。

1. スキャン方法の選択

厚板ステンレス鋼の超音波探傷を自動化するには、材料を検査台に乗せ、その上をプローブがXYテーブルで走る方法（バッチ式）と、固定された超音波プローブ・アレーの下を厚板がローラーなどで、前進する方法とが考えられる。

当社では、必要としている探傷処理能力と設備コストとの兼ね合いから、XYテーブル方式を導入した。

2. プローブの選択

探傷プローブには、非接触で探傷できる水浸式の探傷法と、接触式で探傷する方法とがある。水浸式では、板形状の影響を受けにくく、走査も簡単であるというメリットがある反面、製品を水に浸けるため、探傷後、製品を取り出してそのまま乾燥しても水模様と呼ばれるシミ状の模様が残るなどの問題がある。また水浸式では、材料に付着した気泡により、強い疑似きずエコーが発生するため、探傷前に完全に消泡しなければならない。当社では、これらを考慮した上で接触式の探傷プローブを採用している。ただし、接触式といっても、実際には、シューを履かせることで、プローブ

表面は材料表面には直接接触しないように数百 μm 浮かせており、その隙間には、連続的に水を流して、水の膜をつくり、材料とプローブとのカップリングを確保している。

材料表面を疵付けないように、シューの材質は柔らかいものを選択する必要があるが、あまり柔らかすぎると、消耗が激しく、頻繁にシューを交換する必要が出てくる。また、シューの摩耗により、プローブと材料との距離が少しづつ変化するため、シューを交換しなくとも、ある程度の頻度で超音波の感度校正を行う必要がある。

3. 板端部の処理

非接触式ではないため、プローブは常にバネにより材料表面に押しつけられており、板端部をオーバーしてスキャンすると、プローブが落ちて、探傷が中断してしまう。このため、自動探傷装置には端部検出装置がついており、板から脱落しないように設計されている。

4. 装置の校正

先に述べたように、自動探傷装置では、使用中にシューが摩耗することで、次第に感度が変化してしまうため、定期的にホームポジションに戻り、そこに置かれている標準きずサンプルで感度校正を行う。

5. 素材の形状および表面状態の影響

素材が平坦でない場合、その板形状の影響でうまく超音波探傷ができない場合がある。また、板

表面の状態によって、探傷信号が影響を受けたり、プローブのシューがうまく滑らなかったりする問題もあるので、製造工程のどの段階のどのような表面状態で探傷をするのかも、サンプルを用いて事前に検討しておく必要がある。

6. 走査方法

板製品のきずは、通常圧延されて長手に伸びていることが多いため、走査方向によって、検出感度が異なることも考えられる。

また、走査速度が大きすぎると、きずエコー信号を検出し落とす可能性があるため、事前に走査速度と、きず検出感度とを調査し、走査条件を決

めておく必要がある。

当社に設置するまえに、実験室で性能試験をしている時の自動超音波探傷装置を図1に示す。

◇ 自動探傷装置の活用

通常、検査・試験の役割は、不良やきずを検出して、客先に流出しないように管理することであるが、むしろ、きず情報から発生のメカニズムを解析し、さらにきずが少なくなるように材料製造プロセスを改善することが非破壊検査の一番の重要な点であると考えている。



4. 薄板—その1

新日本製鐵(株) ながたやすあき
環境・プロセス研究開発センター 永田泰昭

ここでは、薄鋼板製造工程における製品の検査精度や生産性向上等を目的とした非破壊検査技術・装置の開発例を紹介したい。

薄鋼板のオンライン内部欠陥検出のために、タイヤ探触子を用いた板波探傷装置が従来から良く利用されている。これは、板の長手方向に転がるタイヤ内部に探触子を封入し、鋼板の幅方向に超音波を入射し板波と呼ばれる超音波モードを発生させ、欠陥からの反射信号を検出し欠陥の有無を評価する装置である。しかしながらオンライン装置では、ノイズによる誤検出を防ぐために欠陥判定のための超音波反射エコー強度の閾値を高く設定しなければならず、微小欠陥に対する検出能が不足するという問題が近年顕在化してきた。この様な問題に対して、通常の線形フィルター処理のみでは十分なノイズ除去をできないため、先端的な非線形フィルター処理を板波に適用して、欠陥検出性能の向上に成功している例がある¹⁾。

SSP (Split Spectrum Processing) と呼ばれる非線形フィルター処理の手法では、図1に示すようにまず超音波受信信号 $r(t)$ を通過帯域が隣接するn個のフィルターを通すことによりn個の波

形データ $r_j(t)$ ($j=1, \dots, n$) を得て、時刻 τ における $r_j(\tau)$ に対して非線形処理を行い最終出力 $y(\tau)$ とする。SSPの原理は、欠陥からのエコーの場合、n個の波形データ $r_j(\tau)$ は同一位相で波形の正負が同じになる確率が高いのに対して、結晶粒界による粒界散乱ノイズの信号は、位相がランダムであり正負が混在する確率が高いため、この差を利用してノイズ除去を効率的に行うという手法である。

SSPのパラメータとしては図1に示すようにフィルター数n、各フィルター帯域b、第1フィルターの中心周波数 f_1 、中心周波数間隔 D_f があり、この様な各種パラメータの最適化をまず図る必要がある。そこで、人工欠陥として貫通穴を加工したサンプル鋼板を準備し、板波の生信号を収録しSSPによるSN向上の程度を調べ、各種パラメータの最適化を行った。なお、オンライン板波探傷装置では、超音波の周波数として例えば2.25MHz程度の狭帯域バースト波状送信波を用いて探傷が行われている。狭帯域の送信波を使用する理由は、特定の周波数の板波だけを使用して、板波の速度分散性（周波数が変化すると板波速度も変化する）の影響をなくして検出能を上げるためにある。既設の板波探傷装置から板波信号、探傷繰り返し信号（PRF信号）等を取り出せるようにし、波形のAD変換を行いデジタルデータをパソコンに収録し、その後SSPを実行するシステムを開発した。周波数2.25MHz程度のバースト波状送信波を用いていることから、十分な帯域を持つよう20MHzでのサンプリングを実施している。

次に、実際の自然欠陥は欠陥形状が一定ではなく板厚方向にも存在箇所が多様であるため、自然欠

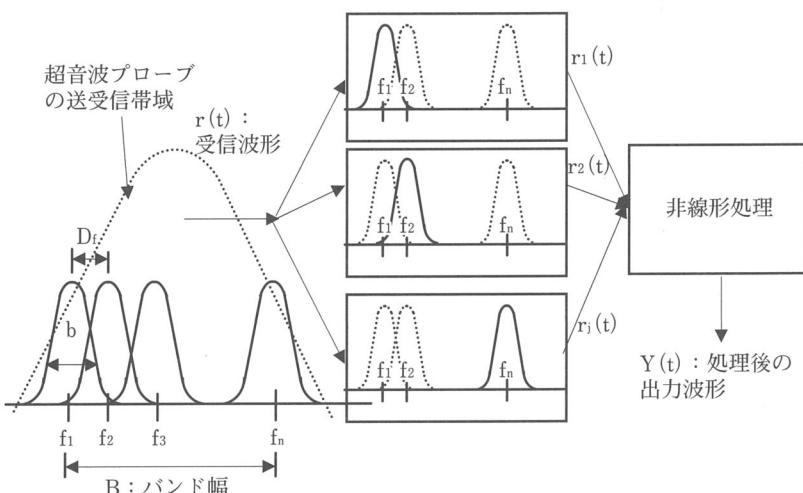


図 1 SSP (Split Spectrum Processing) と呼ばれる非線形フィルター処理の概要

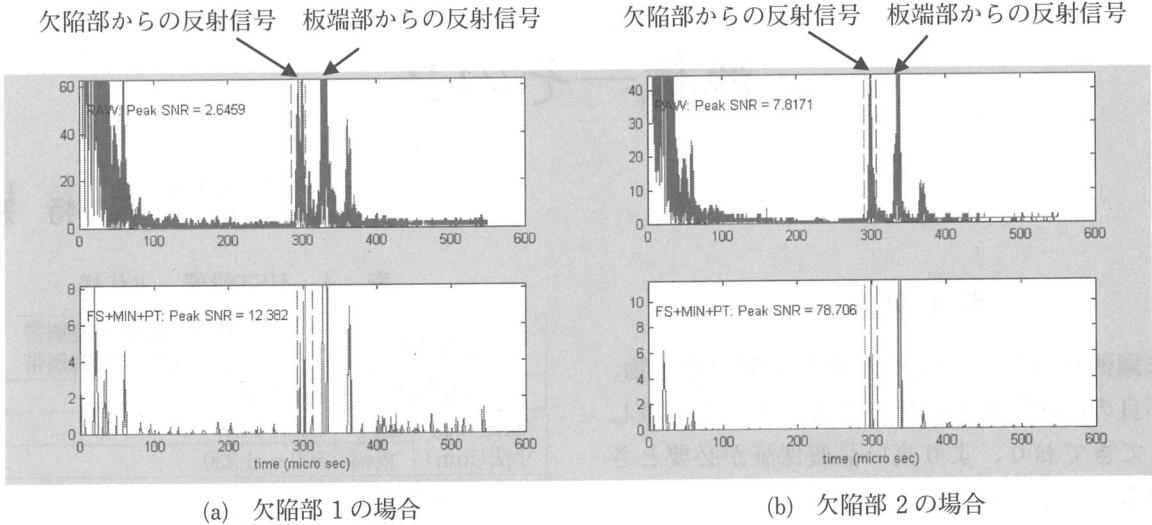


図 2 超音波生信号と非線形フィルター処理後の波形例（上図：生信号、下図：処理後信号）

陥を有する鋼板に対するSSPの有効性を調べる実験を行った。実験で使用した自然欠陥を有する鋼板は、内部に微小気泡が閉じ込められ、鋼板の表面がわずかに盛り上がっていたため、目視による検査によりかろうじて検出・採取できたサンプル鋼板である。このような微小欠陥部は、従来のオンライン板波超音波探傷器では検出が不可能である。本次陥部の場合、長手方向に細長く気泡が発生し線状の欠陥群を形成しており、後に断面観察を行い欠陥部の体積を計算すると、約 0.001mm^3 オーダーであった。図2は、超音波生信号とSSP後の波形の例を示しており、自然欠陥部の2箇所についての例である。波形例の比較から明らかなように、SSPにより欠陥部前後やエッジ部周辺からのノイズ信号を低減できており明瞭に各欠陥部を検出できるようになった。なお、一波形における超音波送信側とエッジ部分の不感帯（あらかじめ装置により設定）を除いた範囲での欠陥信号振幅値/最大ノイズ値をSN値として定義し定量評価を行った結果、どの欠陥部においてもSSPによるSN向上を確認できた。

この様に、SSP適用評価実験の結果からその有効性を確認できたため、SSPのリアルタイム処理化を図りオンライン活用できるシステムの開発を行った。その結果、演算数の低減の工夫と高速パソコンの活用により、探傷繰り返し周波数500Hzでの処理が可能なシステムの開発を達成してい

る。

薄板製造工程における製品の検査精度のためのその他の開発事例として、アレイプローブを活用した例がある²⁾。板波探傷装置の場合、基本的に全幅あるいはその半分程度を一度に探傷する方式であるため、介在物検出の精度向上をより図るために新方式としてリニアアレイプローブを用いた手法が考案されている。具体的には、線集束された送信用アレイプローブと受信用アレイプローブを検査体をはさんで対向配置し、介在物および検査体の表面または裏面で1回反射した反射波を受信プローブにて検出するシステムを開発している。全幅探傷のためには多数のアレイプローブを幅方向に配置する必要があるため、装置のメンテナンス性や性能維持の面で課題はあるものの、本方式により検出能の高精度化を実現できている。

薄鋼板製造工程における検査精度や生産性向上等が今後も益々要求されるため、非破壊検査技術・装置の高度化が不可欠であり、最先端の超音波信号処理技術やアレイプローブ等のハード技術を駆使したシステム開発が今後も行われていくと考えられる。

参考文献

- 1) 永田泰昭、今野雄介、木野敏治、廣渡淳、鉄と鋼、Vol.90 (2004)、No.11、p.890-896
- 2) 高田一、山崎拓也、戸村寧男、運崎秀明、佐々木聰洋、荒谷誠、鉄と鋼、Vol.90 (2004)、No.11、p.883-889

薄板—その2

日新製鋼(株) たか とく むね かず
呉 製 鉄 所 高 特 宗 和

まえがき

特殊鋼薄板材については、有害な鋼中介在物、表面不良のmin化等ユーザー要求はますます厳しくなってきており、より高い品質保証が必要とされている。

呉製鉄所での品質保証としては、サンプリングによる清浄性、組織、機械試験値確認等を実施している。また、非破壊検査としては目視検査による表面性状確認、及び、連続酸洗設備に設置している超音波板波探傷装置による介在物等の内部欠陥検出を実施している。

全長保証等のユーザー要求に応えていくために非破壊検査の精度向上は、現在、また将来においても必要な取り組みである。

ここでは、内質検査である超音波板波探傷についての当社の取り組みを述べる。

◇ 当所の板波探傷について

板波探傷は薄板鋼板の内部欠陥に対する最終品質保証ラインであり、重要保安部品を含む高精度な品質保証能力が要求されている。

当所の探傷装置は昭和49年に稼動を開始しており、平成11年に未探傷領域の縮小を目的に従来の1Chから2Chに更新している。

表1に当所の板波探傷装置の主仕様を示す。

当所では連続酸洗ライン通板材のおよそ8割に対して板波探傷を実施している。また、普通鋼では極低炭素鋼～ハイテンまで、特殊鋼ではSC、SK、合金鋼等多品種に対して探傷を実施している。

尚、探傷条件は鋼種分類、及び板厚毎に探傷条件テーブル（入射角、補正感度等）を自動設定し、さらに検査員（常時監視）による補正を実施し対応している。

しかしながら、現在薄板鋼板ではユーザー要求による製造可能範囲の拡大が進んでいるため、高

表 1 UST設備 主仕様

適用品種		熱間圧延普通鋼鋼帶 熱間圧延特殊鋼鋼帶
検査特性		内部欠陥
測定可能寸法(mm)	板厚	1.2～11.0
	板幅	500～1,320
板温度		70°C以下
探触子	種類	タイヤ探触子
	CH数	2CH
	配置	板幅中央部
板波伝播方向		コイル幅方向
ライン速度		MAX 210mpm
感度調整方式		底面エコー方式
探傷条件 (テーブル) 設定		・検査材の鋼種・板厚に応じて自動設定 ・加えて、検査員による補正を実施

精度な品質保証を行うためには各材質、板厚に応じた最適な探傷条件の確立が必要である。

よって、板波探傷に影響を与える因子について整理を試みた。

◇ 最適探傷条件整理

1. テスト方法

板波探傷に影響を与える因子について整理することを目的に、各材質について欠陥検出能力（減衰量、感度余裕値）の確認テストを行った

テストはオンラインで使用しているものと同じタイヤ探触子を用い、以下の手順で実施した。

- ①サンプル採取（熱間圧延普通鋼・特殊鋼鋼帶）
- ②サンプルエッジ～170mm位置に、ドリルにて人工欠陥（貫通穴欠陥）を作成
- ③人工欠陥から200～600mmの距離を100mmピッチでタイヤ探触子により探傷。
- ④A2S2、A3S3 or A0S0モードで各探傷位置における人工欠陥からのエコー高さが50%となる感度を測定。
- ⑤減衰量、及び600mm位置での感度余裕値を求める。

2. テスト結果

テスト結果、表2に示すように材質毎の減衰量

表 2 各材質における減衰量及び感度余裕値の調査例

区分	材質	減衰量 (dB/m)		感度余裕値 (dB)	
		A ₂ S ₂ or A ₃ S ₃	A ₀ S ₀	A ₁ S ₁ or A ₂ S ₂	A ₀ S ₀
普通鋼	L/C (270N)	39.8	39.6	35.9	46.1
	M/C (400N)	39.5	32.0	40.5	45.5
	M/C (440N)	28.0	28.0	49.5	52.5
	Mn-Nb鋼	31.3	28.4	59.0	58.6
	C-Mn鋼 (400N)	37.0	36.5	44.5	53.0
	C-Mn鋼 (440N)	31.5	33.0	42.6	44.6
特殊鋼	SC材	35.7	26.0	46.3	52.5
	SK材	29.5	19.4	46.3	53.6
	合金鋼	26.0	21.4	49.1	51.8

及び感度余裕値が求められ、これにより探傷条件について現状の材質区分と比較して、より詳細な区分が可能となった。

この結果を実ラインに反映すべく、板波探傷装置の更新を実施した。更新内容について以下に示す。

◇ 超音波板波探傷装置更新

探傷装置の老朽化に加え、ユーザーニーズによる多品種化、高精度化に対応するために、当所では平成21年に連続酸洗ラインにおける超音波板波探傷装置の更新を行った。表3に探傷装置の主要な更新内容を示す。

探触子や感度調整方法については、従来装置と同様としたが、上述したテスト結果より、材質テーブル数を従来の10から20テーブルに増加し、詳細

な材質区分を実施可能とした。

また、板厚についても従来装置の0.1mmから、0.01mmとすることで、通板材毎の最適な探傷条件の自動設定を可能とした。設定板厚ピッチの細分化は、個別の板厚、板幅、材質に応じた探傷条件が設定可能となることから、コイル巾方向未探傷領域のmin化にも有効である。

加えて、当所の板波探傷においては常時検査員が監視しバックエコー高さの補正を行っているため、この補正作業の作業性向上を目的に、探傷波形の表示ディスプレイを各チャンネル毎に1台設置し、またブラウン管から液晶ディスプレイに変更した。これによりバックエコーをより明瞭に確認可能となり、バックエコー調整時間の短縮が図れた。

その他、検査員の負荷軽減を目的にノイズ除去機能を導入して、誤検出除去の自動化を図る等、装置の更新により品質保証能力の向上に努めている。

むすび

特殊鋼薄板材における品質保証として、板波探傷による内部品質保証について述べた。

しかしながら、薄板材においては今回述べた内部品質だけでなく、表面品質保証も当然求められている。

当所では検査員による全長目視検査にて表面品質を保証しているが、目視検査では見逃し発生の懸念があり、また、全長徐動による検査では生産性の低下が発生する。

このため、当所ではH17年表面自動検査機を導入した。

但し、熱延特殊鋼酸洗材は地合のバラツキが大きいため、表面不良を精度良く認識することは難しい。これに対しては、昨今発展著しい画像処理技術を積極的に導入することで表面不良認識精度を高め、品質保証能力、及び生産性の向上を目指していきたい。

表 3 探傷装置更新内容

No	項目	旧型探傷装置	更新探傷装置
1	製造メーカー	菱電湘南エレクトロニクス(株)	
2	型式	SM600B	UI-180NT
3	感度調整方式	底面エコー方式	
4	探触子	2.25Z25×25W-LR	
5	距離減衰補正	近距離抑制	遠距離補正
6	探傷波形表示 ディスプレイ	ブラウン管×1台 (CH切替)	液晶×2台 (1台/CH)
7	チャート データ	基準値ON-OFF表示	リアル値表示
	ライン速度	表示無し	リアル値表示
8	テーブル データ	材質テーブル数 10	20
	設定板厚ピッチ	0.1mm	0.01mm
9	ノイズ除去機能	無し	有り

5. 鋼管

住友金属工業(株) さとうこうへい
特殊管カスタマー技術部 佐藤康平

まえがき

鋼管の製造においては、種々の非破壊検査装置が導入され、钢管の品質管理・品質保証手段として有効に活用されている。钢管の適用規格や要求される仕様を満足する非破壊検査の適用に加え、钢管の用途や利用の方法（曲げ、拡管等）に応じて適用されている。また、钢管は様々な方法で製造されることから材質、素材、製法に起因して異なる形態のきずの発生を考えられるため、複数の検査法を適用するなど、検出対象とするきずに対応した対応が図られている。

◇ 非破壊検査の分類と使い分け

1. 非破壊検査の分類

非破壊検査は、対象とする欠陥の位置によって試験方法を大別することができる。主として内部欠陥には、放射線透過試験と超音波探傷試験が適用され、表面又は表層部の欠陥には、渦流探傷試験、磁粉探傷試験、漏洩磁束探傷試験及び浸透探傷試験が適用される。各非破壊検査は特定の物理的現象を利用し、その透過・吸収・散乱・反射・漏洩あるいは浸透などによる変化を特定の検出体を用いて検出し、異常の有無を調べる方法である。従って、異常が検出できるか否かは、钢管の材質・形状・表面状態・使用する物理現象の性質・検出体の特性などに大きく影響を受けるため、適切な試験法の選択が必要となる。

2. 放射線透過試験

放射線透過試験は、大径ラインパイプ等の溶接管の溶接部に適用される。放射線透過試験は放射線（X線や γ 線）を対象部に照射し、透過した放射線を画像化することで内部欠陥を検出する方法である。画像化には、フィルムに放射線を感光させて現像する方法とセンサーを使う方法がある。放射線の透過は、钢管の材質や厚さの影響を受け、内部欠陥が存在する場合は画像に色の濃淡が生じる。このため、ブローホールやキャビティなど放射線の透過方向に対して厚さに差がある欠陥は、小さな欠陥でも比較的検出可能である。ある程度の面積を有しても厚さが極めて薄い割れ等の欠陥は、割れの面に対して平行方向から放射線を照射すると検出可能だが、割れの面に対して垂直方向から放射線を照射した場合は検出困難となる。

3. 超音波探傷試験

超音波探傷試験は、種々の探傷方法・探傷方式が適用されている。探傷方法は、斜角探傷法と垂直探傷法に大別される。斜角探傷法は円周斜角（超音波ビームを管円周方向に伝播させ管軸方向きずを検出する）探傷と軸斜角（超音波ビームを管軸方向に伝播させ管周方向きずを検出する）探傷に分類できる。垂直探傷法は钢管表面と平行な面上のいわゆる二枚割れ状のきず検出に用いられ、加えて钢管の肉厚測定にも適用される。

钢管に発生するきずの多くは管軸方向に発生するため、JIS G0582など各種規格にて円周斜角探

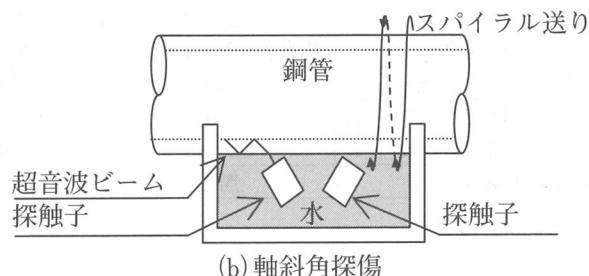
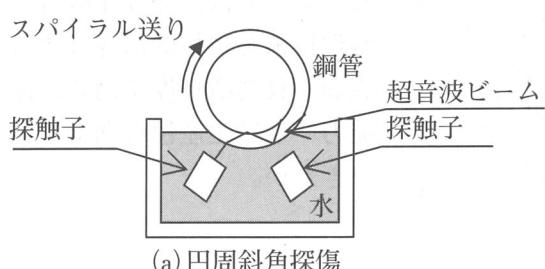


図 1 超音波探傷試験の一例（探触子固定・管スパイラル送り方式の概略図）

傷が規定されている。油井管や原子力用等の重要な箇所に使用される鋼管は、軸斜角探傷や垂直探傷が組み合わせて実施される。

钢管の探傷方式は、自動と手動に分けられる。自動探傷は全面全長探傷として管に対して、超音波ビームを発生させる探触子がスパイラル軌道となる、図1に示す様な探触子固定・管スパイラル送り方式、探触子直進・管回転方式、探触子回転・管直進方式の3形式に大別される。钢管の寸法、探傷機構、能率を考慮して最適な方式が決定される。

4. 湧流探傷試験

湧流探傷試験は交流を流したコイルを金属に近接させて誘導した湧電流が欠陥によって影響を受け、その結果湧電流が変化することを利用した検査方法である。钢管においては、管の形状が単純なことから、管表面および表面近傍のきず検出を目的とした製品の全数検査、保守検査などの品質確認に使用される。特に钢管の湧流探傷試験では自動化が進んでいるが、試験結果は钢管の物理特性、コイル形状等種々の影響を受けるため、目的ごとに最適な探傷方法の選択が必要となる。钢管製造メーカーでは、非接触で高速度探傷が可能な貫通コイル（図2のように钢管はリング状のコイルの中を通過する）方式が、熱交換器等の保守検査では、内挿コイル（钢管内部を円筒状のコイルが通

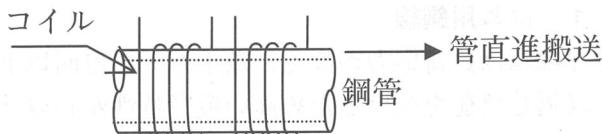


図 2 湧流探傷試験の一例（貫通コイル方式：自己誘導形・自己比較方式）

過する）方式が、広く採用されている。

5. 磁粉探傷試験、漏洩磁束探傷試験および浸透探傷試験

用途に応じ、钢管表層部に対し微小なきず検査が必要な場合がある。原子力用等で特に重要な部材では表面開口きずを検出するため、磁粉探傷試験、漏洩磁束探傷試験又は浸透探傷試験が適用される。磁粉探傷試験は磁性体に磁束を加え、钢管表面の磁束を専用粉末で可視化し、きず有無を確認する方法であるが非磁性体には適用できない。

漏洩磁束試験は、専用センサーで直接磁束変化を検出可能で、磁粉探傷試験の様な可視化が不要であるため自動ラインに多く用いられる。

浸透探傷試験は、探傷液を钢管表面に塗布後に余剰探傷液を除去し、微粉体を含んだ現像剤による毛細管現象を利用して開口きずからしみでる探傷液にてきずを検出する試験方法である。浸透探傷試験は吸湿性のある材料や表面が開口していないきずの検出には適用できない。

オーステナイト系ステンレス钢管など材質が非磁性体の場合、上述した通り磁粉探傷試験は適用できないため、浸透探傷試験が適用される。浸透探傷試験は、最終的な評価及び合否判定は検査員の目視にて行われ、その判定は検査員の技量に依存する。

むすび

非破壊検査は、品質管理及び品質保証上非常に重要な工程であるが、その目的に合わせた手法を適用しなければ十分な効果を発揮することはできない。適用にあたっては钢管の特性を考慮した上で検査することが大切である。

6. 線材

株神戸製鋼所 神戸製鉄所 いまむらとおる徹
線材条鋼圧延部 線材条鋼加工室 今村

まえがき

冷間鍛造の拡大によるコスト低減、ばね鋼や軸受鋼の疲労寿命の向上といった観点から、線材の表面品質への要求はますます厳しくなっている。そのため、素材メーカーから二次加工メーカー、そして部品メーカーまでそれぞれに表面品質保証を目的に非破壊検査機器の導入を行っている。

◇ 線材製品に適用される非破壊検査方法

線材に使用される渦流探傷には、回転型渦流探傷機と貫通型渦流探傷器がある。

1. 回転型渦流探傷機

線状疵等の線材の長さ方向に対して長い疵の検出に対して有効である。しかし、プローブの有効幅×2以下の短い疵は検出困難である。有効なS/N比を得るためににはプローブと被検材とのリフトオフ量が直径で0.1～0.3mm程度まで接近させる必要がある。

2. 貫通型渦流探傷器

被さり疵やロール疵等の線材の長さ方向に対して短い疵の検出に有効である。しかし、長い疵の検出は不得意であり、特に浅い疵やなだらかに深さが変化する疵は検出しにくい。プローブと被検材とのリフトオフ量はφ5mm以上の場合、直径で2～6mm程度であれば良い。

◇ 線材の熱間圧延工程への適用事例

線材の熱間圧延においては、コイル外観目視検査で発見しにくい被さり疵のような短い疵をあらかじめ検出することを目的として、貫通型渦流探傷器が広く用いられている。設置位置は一部のミルで粗圧延後に配置されている例を除くと、最終の製品形状で探傷するため仕上げ圧延機の直後に設置されている。また、この位置では製品の冷却むらによる探傷精度への影響を回避で

きる利点がある。一方、回転型渦流探傷器は被検材とのリフトオフ量が少なく適用が困難である。

熱間渦流探傷機の性能は表1に示すとおり、ステンレス等の非磁性鋼も含む全鋼種に適用可能である。

◇ 線材の引抜き加工への適用事例

線材の引抜き加工においては、検査の自動化と連続化を考慮して伸線機や引抜き加工機に組み込まれることが多い。また、自動車用弁ばねのように厳しい用途に使用されるものはオイルテンパー線で検査される場合もある。

引抜き加工品の探傷は、被検査材が比較的低温で表面肌が良好であるため、探傷精度に対して有利な条件にあると言える。このような好条件に加え、近年では探傷器性能や信号処理技術の改良により、高速自動検査において一般的な探傷深さである0.07mmに対してさらに浅い表面疵検出を得られるよう種々の取り組みがなされている。

ここでは線材が適用される最終製品ごとに探傷事例を紹介する。

1. ばね用鋼線

弁ばねは負荷応力が高く、数千万～1億回以上の繰返し負荷を受けるため高い疲労特性が必要と

表 1 熱間渦流探傷機の性能

項目	主な特性
性能	適用材種 全鋼種（非磁性鋼含む）
	材料温度 800～1200°C
	探傷方法 貫通式自己比較型
	周波数 1～1,000kHz
	検出能 ヘゲ疵 深さ \geq 0.15mm 線状疵 検出不可
	S/N比 S/N \geq 3
使用状況	適用サイズ φ5～φ44程度
	表示内容 ビレットあたり欠陥サイズごとの欠陥数表示
	検査頻度 全数
	記録内容 欠陥個数
	疵警報設定 欠陥サイズごとにトリガー設定
	警報材の処置 オフラインにて入念検査

なる。そのため弁ばね用鋼には表面欠陥(疵、脱炭)と表皮化の非金属介在物の制御が要望される。これを考慮し、表面性状(疵・脱炭)に対しては線材を全長にわたって皮削りを行うことによって欠陥を完全に除去し、伸線・オイルテンパー工程時に渦流探傷が実施される。

2. 磨き棒鋼

磨き棒鋼は一般に表面の精度や形状、真直性に優れていることから、シャフト部品、フレーム部品、切削加工により製造される部品、精密切断後に冷間鍛造される部品などに使われる。

探傷方法としてはピット、へげ疵には貫通型が用いられ、線状の疵に対しては回転型が用いられる。これら探傷方法は検出したい疵の種類や最終製品の用途に応じて選択される。

3. ワイヤロープ

機械、エレベーター、建設等に用いられるワイヤロープは、一般的に鋼線を平行に束ねたパラレルワイヤストランド、鋼線を撚ったスパイラルロープもある。従来ワイヤロープは漏洩磁束探傷により断線を検査する方法が用いられてきたが、近年磁力線分布の変化を高精度に識別することで外側の断線だけでなく内部の破断、疲労など定量的に探傷することができるようになってきた。

4. 冷間鍛造用鋼

冷間鍛造用鋼における全長品質保証システムの模式図を図1に示す。鍛造部品の形状が比較的単純であれば、(A)に示すように伸線及び冷間鍛造工程では探傷を行わず、鍛造品に対して部品探傷機で検査を行う方法がある。

近年広く適用されている方法としては、(B)に示す伸線工程に渦流探傷機を設置し、探傷およびマーキングを行い、次の冷間鍛造工程において鋼線上のマーキングを識別し、鍛造後マーク部に

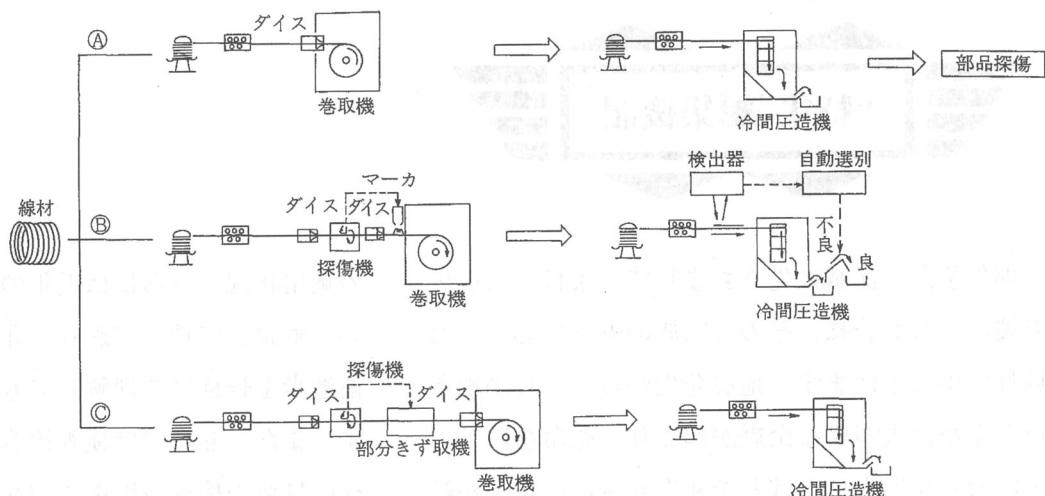


図 1 冷間鍛造用鋼における表面品質保証システム

該当する部品を自動的に取り除く方法である。

さらに、高い伸線材の表面品質を得る目的で、(C)に示す伸線工程における疵見・疵取り方式(ECPS: Eddy Current Partial Shaving)がある。このシステムは渦流探傷機で検知した表面疵を部分的に除去することで歩留まり損失の低減や、伸線を中断させる必要が無いため生産性の低下が少ないといった利点がある。しかし、疵取り時の線の逃げやフレにより細径の線材への適用が難しい面もある。

5. 軸受鋼線

軸受鋼材には軸受の転動体(ボール、ころ)に使用される軸受鋼線、レースに使用される棒鋼、磨き棒鋼があり、一般的に高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)が使用される。軸受製品は点や線接触状態での繰返し荷重が負荷されるため安定した転動疲労寿命が必要となり、高い表面品質が求められる。そのため軸受鋼線には全長疵保証が求められ、検出したい疵に応じて貫通型、回転型の渦流探傷検査や疵取りが実施される。

むすび

非破壊検査そのものは一般的な技術となってきたが、検査機器の開発、信号処理の高度化によって検出精度は更なる向上が図られている。

今後も線材に対する品質要求は厳しくなると思われ、本稿にて紹介した非破壊検査方法の適用が行われ、圧延材や引抜き加工材の全長疵保証への活動が進められるものと考えられる。

“特集”編集後記

編集後記の記載に先立ちまして、東日本大震災で被災された皆様、そのご家族の方々に心からお見舞い申し上げます。地震発生から1ヶ月が過ぎた今もなお大規模な余震が起り、懸命な原子力発電所の復旧も道半ばと予断を許さない状況が続いています。物資や電力不足による経済活動の落ち込みは大きく、復興の道筋も見えません。私も阪神淡路大震災で被災経験がありますが、多くの皆様の温かいご支援に勇気付けられたことを思い出します。被災地のそして日本の早期復興のために微力ながら支援を続けていきたいと思います。

さて、今回の特集は「特殊鋼を支える非破壊検査」ですが、1997年6月以来、14年振りに非破壊検査にスポットを当てて編集を行いました。この間に検査機器の性能は様々な改良が加えられて特殊鋼製品の品質や生産性向上に大きく寄与しています。また、新たな検査機器も開発されており、要求品質の高まりとともに特殊鋼の製造にも活用される可能性が大いにあると思います。

I章の総論では非破壊検査の原理や鋼材生産へ

の適用状況、さらには近年の検査技術の動向について解説して頂いており、非破壊検査の目的や技術進歩を皆様にご理解してもらえるものと思います。また、II章では検査機器メーカーや大学の皆様に最新の検査技術をご紹介して頂いており、最新の技術課題や開発動向を知って頂くとともに、普段聞き慣れない検査機器の実用化にご期待を抱いてもらえれば幸いです。III章では、特殊鋼メーカーの皆様に実際の生産工程における検査を紹介してもらっていますので、特殊鋼の検査の現状を知って頂くための格好の題材と思います。

検査技術の進歩により製品の品質保証レベルが向上するのはもとより、新たに得られた欠陥情報に基づいて製造技術を高めることができます。今後も特殊鋼メーカーと検査機器の開発者が連携して検査技術を革新し続けることが特殊鋼の製造技術を更に高めるものと確信しています。

最後になりますが、ご多忙の中本特集にご寄稿頂いた皆様、編集にご協力頂いた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

〔株）神戸製鋼所
線材条鋼商品技術部 小椋 大輔〕

業界のうごき

三和特殊鋼、機械加工機能を拡充 顧客対応力さらに強化

三和特殊鋼は、2011年度の設備投資計画として、機械加工用のNC旋盤や超硬丸鋸切断機など、加工設備を拡充する。加工機能拡充で川下工程へのシフトを進め、ユーザー対応力の強化を目指す。

本年2月には、機械加工部門の大東メカニックの機能を、従来の本社倉庫内から本社近隣地に移転するとともに、NC旋盤1基を導入。既存の3基と合わせて計4基体制となった。この機械加工部門の移転で空いたスペースを利用して、年内をめどに超硬丸鋸切断機を増設し、帯鋸盤をリプレースする。

同社では、09年に設立50周年の節目を迎えたことを機に、初の中期経営計画（10年～12年度）を策定。素材メーカーとの関係の一層強化による新規需要開拓や営業機能強化、加工機能強化などを進め、最終年度の12年12月期に売上高21億円、経常利益4,840万円達成を計画している。

（3月18日、産業新聞）

大洋商事、「福町第2倉庫」開設 関西の在庫拠点集約

大洋商事は、大阪支店の福町倉庫（大阪市西淀川区）に隣接して福町第2倉庫を建設し、8月中旬に稼働させる予定だ。鍛造品、切削加工品等の部品倉庫として活用する。

現在、関西地区では福町倉庫を鋼材と部品、京都倉庫（京都府久世郡久御山町）を部品の在庫拠点としている。業容の拡大に伴い手狭となっていた京都倉庫は福町第2倉庫の開設に合わせて閉鎖し、関西の在庫機能を福町で集約・拡充して、物流・管理業務の効率化を図る。

同社大阪支店は構造用鋼棒鋼、鍛造品の扱いが多く、同支店の在庫拠

点である福町倉庫も両品種を中心にお在庫している。

新体制では既存の福町倉庫を鋼材専門、福町第2倉庫を部品専門に分ける。

福町第2倉庫は敷地約1,700m²、建屋1,200m²。立体自動倉庫やフォークリフト、クレーンなどの荷役設備を導入する。

（4月11日、鉄鋼新聞）

日輪鋼業、モリテックと資本提携 関東、海外で連携強化

日輪鋼業はこのほど、モリテックスチール（本社・大阪市中央区、社長・清水正廣氏）から10%の資本参加を受けた。これを機に、関東や海外で同社との連携策も具体化していく。

需要家の海外展開への対応では、資本参加しているタイの日系現地法人で特殊鋼帶鋼のオシュレート加工品の現地加工販売に乗り出す。主力の自動車関連需要の低下が避けられない状況下で、需要家に対するジャスト・イン・タイムのデリバリー機能を軸に12年1月期でも安定収益の確保を目指す。

同社はヒモ付き専門の特殊鋼・ステンレスの大手磨帶鋼問屋で、日新製鋼が20%出資している。モリテックスチールは焼入鋼帶の大手メーカーで、自動車部品を中心とする板金加工部門と特殊鋼などの鋼材販売の商事部門をあわせ持つ。関東市場や海外での関係強化を狙いに資本参加を受けたもので、今後具体策を詰めていく。

（4月25日、鉄鋼新聞）

阪和興業、インドネシアのCC 在庫・加工能力増強

阪和興業はインドネシアの系列コイルセンター「阪和スチールサービス・インドネシア」（略称HSSI）について、需要増に対応するため在庫能力及び加工能力を増強した。母材ヤードを拡張し、在庫能力を6千ト

ンから2万1千トンにまで拡大。さらに増加傾向にある小ロット受注にもきめ細かく対応するため、ミニスリッター等も増設した。

新設したのはミニスリッター（板厚0.3～3.2ミリ、板幅100～500ミリ、園田エンジニアリング製）、ミニレベラー（板厚0.25～1.6ミリ、板幅100～650ミリ、同）。シャーリング設備も増設し、主要加工設備は大型スリッター及びレベラーがそれぞれ1ライン、ミニレベラー2ライン、ミニスリッター1ライン、シャーリング設備3基となり、月産能力は7千トンから7,500トンに拡大した。HSSIは2009年10月に稼働。

（3月7日、鉄鋼新聞）

堀田ハガネ、帶鋸切断機を更新 高効率、高精度切断図る

堀田ハガネは切削加工の効率化を図るため、帶鋸切断機1基を2月中旬に更新した。これに伴い老朽化した切削機2基を廃棄しており、省人化を図るとともに作業スペースも確保した。

同社で12～13年前に導入した切削機2基を廃棄し、1基新設することで切削加工の効率化を図った。

新設したのは、アマダ製のPC-SAW430。

最大切削サイズは430ミリ径。切削刃にパルス振動を与えることで切削時の騒音（びびり振動）や切削抵抗を低減。高速かつ高精度の切削が可能となっている。

付帯設備として素材の供給装置も設置し、自動化を図っている。堀田社長は「スペースの問題はあるが、今後の需要動向を見ながら、将来的には切削品の仕分けまでできる全自动の切削システムを導入したい。そうすれば夜間操業も出来るのでさらに効率化が図れる」としている。

（3月3日、鉄鋼新聞）

業界のうごき

山一ハガネ、 超精密機械加工に進出

山一ハガネは、超精密機械加工分野に本格進出した。ドイツ連邦規格であるDINドイツ規格に規定されている空間補正値5ミクロンを保証する精密加工機と、800ミリで公差1.6ミクロンを保証する3次元測定機を相次ぎ導入した。超精密機械加工分野で材料から熱処理、加工、部品製作までを一貫して対応できる拠点としてPR、自動車関連以外へのユーザー拡大も目指す。

同社の今営業年度（2010年4月～11年3月）は自動車関係を中心とした数量の回復などにより、売上高で前期比20%程度の増収になるとともに、収益面でも黒字転換を果たす見通しだ。

一方でリーマン・ショック以降は超精密機械加工への本格進出に向か工場のレイアウト改善、リフォームからスタート。その後は高い精度を持った加工機と測定機を相次いで導入した。さらにマシニング設備なども増設したほか、恒温室も新設している。

（4月4日、産業新聞）

陽鋼物産、大阪に本社移転 営業強化図る

陽鋼物産（資本金・8千万円、本社兵庫県姫路市、社長・岸本耕司氏）は5月に本社を移転する。新本社での業務開始は5月6日から。現在は山陽特殊製鋼の構内に本社があるが、大阪に移転して営業力の強化を図る。

移転先は、山陽特殊製鋼・大阪支店と同じ5月に事務所移転する大阪・中央区の御堂筋センタービル。

移転を機に現在の大阪支店（大阪市大正区鶴町）を本社営業部に改編、同支店の大坂物流センター（同）は「鋼材センター」と名称変更する。同センターでは店売り営業部門が常駐する。

また現本社内にある西日本支店と原料・資材営業部は、引き続き旧本社事務所で営業していく。

新本社の所在地などは次のとおり。住所=〒541-0058 大阪市中央区南久宝寺町3-6-6御堂筋センタービル9階、電話06-6251-6755。新本社で業務を行う部署=総務部、鋼材管理部、本社営業部営業課。

（4月11日、鉄鋼新聞）

愛知、知多の新ブルームCC 6月から本稼働へ

愛知製鋼が設備更新の目玉投資として知多工場で建設を進める新ブルーム連続鋳造機（第3ブルームCC）の工事が順調に進捗、4月にホットランを開始し6月から本稼働する。これにより粗鋼能力は20%アップし、知多工場の粗鋼生産・月間12万トン体制が確立する。

同設備は、既存設備が稼働後約30年を経過して老朽化が進んだことや、特殊鋼棒鋼を中心とする品質の向上と安定化を図るために09年夏に着工。

仕様は、大断面（370ミリ×480ミリ）の湾曲型で3ストランド。タンディッシュ大型化と溶鋼加熱装置により清浄度が向上するほか、電磁攪拌とダイナミック制御軽圧化による偏析改善、表面キズ改善、省エネルギーなどが特徴。一定速鋳造による品質安定化も果たせる。

同社では、新CCの稼働に先駆けてRH（炉外製錬）の能力増強投資や電炉トランスの更新、脱ガス設備の増強などを相次いで実施。

（3月7日、鉄鋼新聞）

秋山精鋼、中国子会社 新連続抽伸機を導入

秋山精鋼は、中国広東省東莞市にある100%子会社、東莞秋山精鋼有限公司に連続抽伸機1ラインを導入、今月中旬から稼働を開始した。

投資額は2億円で、月間生産量を現在の200トンから350トンに引き上げたい考え。OAシャフト向けをメインに高精度細径製品の中国現地での拡販を図る方針だ。

今回導入したのは宮崎機械システム製のO型連続抽伸機で、対応サイズは4～8ミリ。従来の連続抽伸機1ラインと合わせて同拠点での対応サイズは4～14ミリとなる。

東莞秋山精鋼は約5億円を投じて06年3月に設立。このほど350万米ドル増資し、資本金は750万米ドル。現行の従業員は25人だが、30人への増員も視野に入れて、生産体制を強化していく考えだ。（3月31日、鉄鋼新聞）

下村特殊精工、 1億9,000万円投資へ

下村特殊精工は、11年度、合計1億9千万円を投じて国内外の品質保証体制強化を推進する。真直度や表面きずに対する需要家の高まる要求への対応を強化するとともに「中国での細径サイズの研磨能力を強化し、自動車関連部品をメインに中国現地需要開拓を図る」方針だ。

研磨加工を行う富士見工場では3,500万円の設備投資を行い、センタレス研磨機1台を新たに導入する。コイル・ツー・バー引抜加工を行なう松尾工場でも2千万円かけて硬度測定器と引張り試験機を更新する。

中国子会社のSTSSでは、松尾工場から超音波検査機・回転式渦流探傷器を1ライン、富士見工場からはセンタレス研磨機を2台移設。直径3～10ミリに対応した合計9台の研磨体制を整備し、品質保証体制の拡充を図る。（3月24日、鉄鋼新聞）

JFES、発電、石油精製設備向け 大径薄肉継目無管を製造・販売

JFEスチールは、口径18インチ

業界のうごき

(457ミリ)以上で肉厚30ミリ以下の大径薄肉継目無(シームレス)特殊鋼管の製造、販売を開始すると発表した。

ガスタービン発電と蒸気タービン発電を組み合わせた「コンバインドサイクル発電」や石油精製プラント配管向けの増大する需要に対応する。

発電プラントのボイラーと蒸気タービンをつなぐ配管や石油精製プラントで高温・高圧の蒸気や油を通す鋼管は、一般的に継目無鋼管が使われる。近年エネルギー高率が高くCO₂発生量の少ないコンバインドサイクル発電のプラントが増えているのに伴い、主蒸気管、再熱蒸気管、連結管、ヘッダー管などで使用される鋼管の軽量化、薄肉化ニーズが増加。石油精製プラントでも、設備の大型化やコストダウンの観点で大径化、薄肉化需要が増大している。

(4月27日、鉄鋼新聞)

高周波、攻めの投資2年で50億円 研究開発体制を強化

日本高周波鋼業は、商品開発体制の強化、納期短縮のためのシステム開発、海外の販売加工拠点の増強などを中心に、向こう2年間で50億円(発注ベース)の投資を行う。減価償却(2年で30億円)を大きく上回る、攻めの投資だ。

国際競争の激化で一段と「高級品への特化」が求められているが、そのためには「商品開発力の強化が不可欠」と判断。4月1日付で富山製造所商品開発室を「部」に格上げすると同時に、スタッフも増強、実験設備の更新にも着手した。

アジア市場における工具鋼販売では、中国などで代理店を起用しているが、流通会社との資本提携により高級品の熱処理機能確保や販売強化を図ることも検討していく考えだ。

この他、高級品拡販のための2次溶解設備(VAR)新設などを含め今

中期計画(10~12年)の投資額を60億円に拡大した。(4月15日、鉄鋼新聞)

高砂鐵工、よく滑るステンレス 高強度品を開発・販売

高砂鐵工は、滑り性に優れたエンボスステンレス「ランナーステンレス」のラインアップに2ミリ厚の高強度品を追加、販売を開始した。用途を拡大することで拡販につなげる。

「ランナーステンレス」はBA(光輝焼鈍)ステンレスに圧延ロールで両面から凸凹を付けた製品で①摩擦抵抗が小さく滑りがなめらか、②静電気による紙やフィルムの貼り付きが起こりにくくなる、③載せたものに疵がつきにくくなる、④平板に比べ強度が増す、などが特徴。

食品製造機械、食品自動計量機、郵便仕分け用機械、冷蔵ショーケース棚板、飲料用自動販売機などに使用されており、月間販売量は10トン程度。

ステンレス事業における商品戦略は「特長商品(エンボス、めっき、塗装製品、加工品など)・特長サービス(小ロットでも短納期で納入する独自サービスを付加した取引)の拡大」で、今回のライアップ拡充もその一環だ。

(4月19日、鉄鋼新聞)

日本精線、新Ni基合金開発 低熱膨張で高強度

日本精線は、クロム、モリブデン、チタン、アルミなどの添加元素を最適化し、高温領域で低熱膨張特性を持つとともに、熱処理で高強度が得られるニッケル基合金『INS680X』を開発した。発電効率が高いとされる650度以上の高温域で低膨張特性を発揮できるため、燃料電池セルのスタック締結部品のボルト用材料などの用途展開が期待される。同社では年内中をめどに燃料電池メーカーなどの受注獲得を目指す。

開発品は、大同特殊鋼が開発した蒸気タービン用低熱膨張ニッケル基合金をベースに、線膨張係数に影響を及ぼすクロムやモリブデンなどを、バランスよく添加することで、高温強度と高クロム耐熱鋼並みの低熱膨張特性を合わせ持つファスナー用材料。熱処理で強度が向上し、2段階の時効で強度を上げることが可能。製造サイズは線形20mm以下。

(3月3日、産業新聞)

日立、神鋼など4社が新会社 大型航空機部材を国産化

日立金属、神戸製鋼所、IHI、川崎重工業の4社は航空機・電力プラント向け大型鍛造品の製造会社を共同で設立したと発表した。12年3月完成予定で岡山県倉敷市に工場を建設し、国内初で世界でも数基しかない5万トン級の超大型油圧式鍛造プレスを導入する。チタン合金、ニッケル合金、高合金製の航空機用大型鍛造品を国産化し、4社が緊密に連携して素材～製品の一貫競争力を構築する。量産開始は完成後1、2年後になる見通し。総事業費は200億円で、一部は経済産業省の補助金(10年度レアアース等利用産業等設備導入補助金)で賄う。

新会社名は日本エアロフォージ(略称・Jフォージ)。日立がニッケル合金・高合金素材や専用金型素材など、神鋼がチタン合金素材などをJフォージに供給し、鍛造後の加工材の熱処理、機械加工、検査を素材2社が行い、IHI、川重など国内重工メーカー、重電メーカーに供給する。

(3月2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	高抗張鋼	その他	
'09 暦年	118,838	2,843,319	2,361,756	5,205,075	290,195	546,103	2,346,002	526,073	3,630,014	607,092	7,945,479
'10 暦年	r264,305	4,709,973	r3,765,411	r8,475,384	433,942	990,566	r3,084,123	808,875	5,613,907	833,938	r11,765,351
'08 年度	229,637	4,231,269	3,570,745	7,802,014	409,750	869,298	2,724,499	748,715	4,821,881	780,684	10,354,827
'09 年度	153,577	3,505,715	2,746,229	6,251,944	356,793	687,413	2,717,181	654,708	4,225,196	678,039	9,319,330
'10. 1~3月	59,085	1,104,834	851,707	1,956,541	105,847	227,555	742,902	205,008	1,328,104	197,508	2,806,924
4~6月	66,271	1,151,520	903,451	2,054,971	104,548	245,163	802,303	200,723	1,413,920	206,918	2,973,575
7~9月	65,643	1,227,553	987,845	2,215,398	111,499	245,252	764,195	194,503	1,399,428	215,750	2,930,627
10~12月	r73,306	1,226,066	r1,022,408	r2,248,474	112,048	272,596	r774,723	208,641	1,472,455	213,762	r3,054,225
'10年 1月	20,147	356,315	281,198	637,513	34,119	71,160	229,579	66,490	434,283	65,018	900,649
2月	18,679	349,968	266,255	616,223	35,533	73,386	243,236	66,168	389,169	59,553	867,045
3月	20,259	398,551	304,254	702,805	36,195	83,009	270,087	72,350	504,652	72,937	1,039,230
4月	21,445	367,904	286,907	654,811	33,836	80,297	265,881	57,593	428,828	70,619	937,054
5月	21,450	386,567	324,676	711,243	33,398	81,068	258,728	70,828	480,347	59,193	983,562
6月	23,376	397,049	291,868	688,917	37,314	83,798	277,694	72,302	504,745	77,106	1,052,959
7月	23,099	394,813	343,537	738,350	38,797	83,820	259,859	63,517	473,492	69,195	988,680
8月	20,333	405,755	296,969	702,724	35,996	75,045	246,718	63,477	447,286	77,246	945,768
9月	22,211	426,985	347,339	774,324	36,706	86,387	257,618	67,509	478,650	69,309	996,179
10月	26,059	405,225	345,642	750,867	36,130	91,971	252,340	67,638	505,565	73,336	1,026,980
11月	r23,590	411,048	r343,160	r754,208	36,373	91,738	r250,159	67,058	454,076	79,221	r978,625
12月	23,657	409,793	333,606	743,399	39,545	88,887	272,224	73,945	512,814	61,205	1,048,620
'11年 1月	22,283	417,734	339,187	756,921	31,395	86,645	270,224	67,302	513,614	83,309	1,052,489
2月	19,620	386,538	341,738	728,276	39,960	89,670	258,076	69,948	439,760	82,809	980,223
前月比	88.0	92.5	100.8	96.2	127.3	103.5	95.5	103.9	85.6	99.4	93.1
前年同月比	105.0	110.4	128.3	118.2	112.5	122.2	106.1	105.7	113.0	139.1	113.1
											115.1

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	鋼帶	合計
'09 暦年	178,848	3,448,161	1,077,489	2,916,079	1,475,712	4,173,103	13,269,392
'10 暦年	393,638	r6,029,672	1,355,012	r4,382,009	r2,074,482	r6,270,227	r20,505,040
'08 年度	316,004	5,631,520	1,588,152	3,692,415	2,174,173	4,984,214	18,386,478
'09 年度	244,335	4,265,765	1,060,842	3,544,893	1,496,432	5,112,584	15,724,851
'10. 1~3月	86,799	1,371,375	303,740	1,064,270	473,725	1,522,641	4,822,550
4~6月	106,950	1,486,008	322,070	1,070,493	527,506	1,581,790	5,094,817
7~9月	78,680	1,546,193	376,422	1,116,734	500,281	1,593,358	5,211,668
10~12月	121,209	r1,626,096	352,780	r1,130,512	r572,970	r1,572,438	r5,376,005
'10年 1月	23,090	433,952	108,986	344,229	160,009	488,043	1,558,309
2月	22,459	439,181	89,231	341,223	118,886	490,967	1,501,947
3月	41,250	498,242	105,523	378,818	194,830	543,631	1,762,294
4月	36,016	461,956	111,837	338,439	164,851	500,211	1,613,310
5月	33,610	499,882	131,012	356,919	165,945	528,887	1,716,255
6月	37,324	524,170	79,221	375,135	196,710	552,692	1,765,252
7月	38,383	511,675	142,936	360,100	153,551	543,484	1,750,129
8月	13,480	485,177	113,665	380,724	165,244	510,535	1,668,825
9月	26,817	549,341	119,821	375,910	181,486	539,339	1,792,714
10月	29,470	547,121	132,491	366,447	218,787	509,590	1,803,906
11月	42,730	r545,615	108,202	r392,596	r173,356	r493,924	r1,756,423
12月	49,009	533,360	112,087	371,469	180,827	568,924	1,815,676
'11年 1月	49,858	527,135	124,006	376,001	187,853	566,840	1,831,693
2月	34,802	533,300	119,913	372,282	152,552	515,270	1,728,119
前月比	69.8	101.2	96.7	99.0	81.2	90.9	94.3
前年同月比	155.0	121.4	134.4	109.1	128.3	105.0	115.1

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							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高張力	その他			
'09 暦年	261,505	2,696,629	4,408,121	7,104,750	176,029	297,915	1,783,755	164,114	30,960	15,502	2,468,275	9,834,530	
'10 暦年	447,725	3,903,203	4,298,708	8,201,911	273,624	490,599	2,787,997	212,853	52,711	90,797	3,908,581	12,558,217	
'08 年度	267,145	4,194,948	7,311,248	11,506,196	224,166	363,475	1,793,103	216,964	60,324	18,002	2,676,034	14,449,375	
'09 年度	321,270	3,015,334	3,932,857	6,948,191	212,180	330,580	1,871,810	188,055	29,854	25,038	2,657,517	9,926,978	
'10年	6月	39,230	391,872	470,624	862,496	24,775	41,317	185,658	18,587	5,236	8,129	283,702	1,185,428
	7月	43,703	336,986	324,319	661,305	25,278	43,957	161,681	18,351	5,461	12,402	267,130	972,138
	8月	35,679	322,493	354,190	676,683	22,777	42,513	169,704	15,444	5,491	10,771	266,700	979,062
	9月	36,519	337,468	310,780	648,248	22,249	46,379	416,525	17,857	6,485	16,288	525,783	1,210,550
	10月	40,047	362,522	319,691	682,213	24,260	43,437	390,946	17,070	5,227	7,074	488,014	1,210,274
	11月	37,272	338,241	339,831	678,072	24,539	45,729	365,678	16,603	5,459	5,043	463,051	1,178,395
	12月	36,918	320,992	373,853	694,845	22,779	46,551	287,223	16,936	4,645	1,923	380,057	1,111,820
	11年 1月	37,184	342,096	329,878	671,974	22,130	44,055	388,352	16,726	4,433	2,793	478,489	1,187,647
	2月	43,059	355,251	382,849	738,100	23,594	45,941	327,904	15,734	5,375	22,868	441,416	1,222,575
前月比		115.8	103.8	116.1	109.8	106.6	104.3	84.4	94.1	121.2	818.8	92.3	102.9
前年同月比		121.2	128.8	138.8	133.8	123.4	145.0	219.8	88.5	190.9	511.9	196.1	150.5

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

(単位: t)

メーカー在庫

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高張力	その他			
'09 暦年	4,601	153,500	91,618	245,118	25,398	31,876	108,939	32,693	131,497	26,428	356,831	606,550	
'10 暦年	8,211	196,285	116,884	313,169	26,837	32,899	118,937	32,660	171,362	33,367	416,062	737,442	
'08 年度	6,194	115,083	66,501	181,584	15,277	24,709	97,968	25,398	112,391	26,736	302,479	490,257	
'09 年度	4,885	150,279	87,694	237,973	24,585	31,484	114,320	30,093	130,480	23,679	354,641	597,499	
'10年	6月	5,979	156,736	98,096	254,832	21,998	29,704	111,038	30,670	154,613	32,456	380,479	641,290
	7月	5,865	155,400	99,941	255,341	21,643	29,349	110,644	29,354	168,871	24,885	384,746	645,952
	8月	6,331	168,094	91,745	259,839	24,769	32,435	115,762	29,841	118,984	36,403	358,194	624,364
	9月	5,882	174,116	98,578	272,694	22,853	31,150	125,357	29,411	132,813	38,912	380,496	659,072
	10月	7,854	172,275	96,607	268,882	21,745	31,576	131,062	28,175	155,295	34,739	402,592	679,328
	11月	6,731	181,237	108,547	289,784	23,594	33,312	117,516	32,084	161,286	41,225	r409,017	r705,532
	12月	8,211	196,285	116,884	313,169	26,837	32,899	118,937	32,660	171,362	33,367	416,062	737,442
	11年 1月	9,289	199,272	105,331	304,603	24,456	31,650	126,660	35,905	188,950	39,097	446,718	760,610
	2月	9,421	195,068	115,475	310,543	28,910	34,563	123,971	36,273	146,405	45,683	415,805	735,769
前月比		101.4	97.9	109.6	102.0	118.2	109.2	97.9	101.0	77.5	116.8	93.1	96.7
前年同月比		171.2	117.1	123.4	119.3	109.3	102.0	112.7	110.1	92.3	154.2	106.2	112.0

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							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高張力	その他			
'09 暦年	46,236	159,628	123,412	283,040	13,221	47,639	128,676	22,719	6,619	2,075	220,949	550,225	
'10 暦年	58,676	233,045	154,142	387,187	20,594	53,478	143,960	17,731	7,227	2,142	245,132	690,995	
'08 年度	54,951	214,370	128,586	342,956	13,027	39,411	149,570	23,308	10,923	3,054	239,293	637,200	
'09 年度	37,814	181,341	117,345	298,686	14,797	50,383	128,100	19,782	6,074	1,762	220,898	557,398	
'10年	6月	52,683	198,385	130,345	328,730	18,296	50,430	134,344	19,046	5,983	1,606	229,705	611,118
	7月	53,827	190,574	130,374	320,948	18,760	47,783	138,033	19,254	6,392	1,531	231,753	606,528
	8月	52,515	204,025	132,555	336,580	18,859	49,518	139,003	19,557	6,699	1,586	235,222	624,317
	9月	56,064	210,019	135,009	345,028	18,693	50,480	141,662	18,040	6,746	1,648	237,269	638,361
	10月	57,338	213,183	138,889	352,072	21,924	51,500	141,772	18,360	6,988	1,776	242,320	651,730
	11月	57,029	221,787	143,020	364,807	20,413	51,658	145,175	16,095	7,236	1,913	242,490	664,326
	12月	58,676	233,045	154,142	387,187	20,594	53,478	143,960	17,731	7,227	2,142	245,132	690,995
	11年 1月	57,465	246,293	154,919	401,212	19,780	54,006	156,605	17,446	7,148	1,973	256,958	715,635
	2月	59,457	244,684	156,473	401,157	19,494	54,043	146,128	18,902	7,215	2,088	247,870	708,484
前月比		103.5	99.3	101.0	100.0	98.6	100.1	93.3	108.3	100.9	105.8	96.5	99.0
前年同月比		133.4	146.9	132.8	141.0	150.3	113.9	112.9	94.3	116.0	120.4	113.8	129.6

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			
'09 历年	13,363	275,179	267,637	542,816	102,049	1,048,255	111,808	1,262,112	11,528	2,994,593	3,006,121	4,824,411	
'10 历年	29,076	r526,073	r515,148	r1,041,222	r178,652	r1,245,293	178,065	r1,602,010	16,986	r5,092,548	r5,109,534	r7,781,841	
'08 年度	28,901	304,491	342,106	646,597	139,784	1,171,599	121,168	1,432,550	15,941	3,138,723	3,154,664	5,262,713	
'09 年度	15,360	370,560	330,811	701,371	r128,111	r1,137,034	137,736	r1,402,881	11,838	r3,591,215	r3,603,053	r5,722,664	
'10 年	6月	2,401	48,233	43,837	92,070	16,051	118,976	11,633	146,660	1,612	491,471	493,083	734,214
	7月	3,077	43,785	43,025	86,810	16,394	r109,859	14,929	r141,182	1,264	r421,688	r422,952	r654,020
	8月	2,576	39,868	r43,572	r83,440	13,892	89,480	14,876	118,248	1,155	457,330	458,485	r662,750
	9月	2,289	46,996	42,173	89,169	15,280	99,590	15,379	130,249	2,072	464,285	466,358	688,066
	10月	3,044	42,936	47,623	90,559	14,433	104,435	13,186	132,054	1,750	404,729	406,479	632,135
	11月	2,940	r40,318	44,984	r85,302	12,953	r103,890	12,343	r129,186	1,456	394,440	395,896	r613,325
	12月	2,526	42,070	43,163	85,233	16,156	r113,053	19,640	r148,849	1,613	450,855	452,468	r689,075
'11年	1月	2,032	38,440	43,852	82,292	16,141	93,482	20,619	130,241	1,534	453,745	455,280	669,845
	2月	3,474	41,073	49,626	90,699	15,696	116,559	15,977	148,232	1,243	450,524	451,768	694,173
前月比		170.9	106.9	113.2	110.2	97.2	124.7	77.5	113.8	81.0	99.3	99.2	103.6
前年同月比		178.7	94.8	145.5	117.1	106.4	130.1	98.7	123.0	114.8	120.0	120.0	120.4

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		高炭素鋼	合金鋼	計			
'09 历年	2,723	735	476	8,883	8,920	98,080	5,442	121,801	5	8,438	47,544	55,982	181,246	
'10 历年	4,549	1,084	975	10,871	9,624	137,703	8,327	167,499	3	r8,967	110,481	r119,449	r292,583	
'08 年度	4,085	997	337	6,429	10,403	104,680	6,463	128,312	12	6,784	61,678	68,462	201,869	
'09 年度	2,614	730	599	9,553	9,211	108,609	5,784	133,755	4	8,814	47,973	56,787	193,890	
'10 年	385	62	121	1,079	768	14,990	612	17,569	-	1,160	20,558	21,718	39,734	
	7月	469	84	97	928	827	12,195	750	14,797	-	1,119	13,403	14,522	29,872
	8月	441	145	109	916	781	12,483	1,045	15,334	-	1,129	8,493	9,622	25,541
	9月	444	108	80	1,073	793	10,431	583	12,960	1	1,091	7,610	8,701	22,213
	10月	440	129	42	1,047	573	11,090	739	13,491	-	1,131	7,297	8,427	22,488
	11月	330	52	57	921	753	13,863	725	16,319	-	r288	10,869	r11,158	r27,859
	12月	599	109	66	1,213	712	12,221	884	15,095	-	1,474	8,696	10,170	25,973
'11年	1月	774	70	73	594	480	11,426	654	13,228	-	1,896	10,378	12,274	26,345
	2月	496	112	52	846	684	10,736	733	13,052	-	708	7,760	8,468	22,127
前月比		64.0	160.0	71.7	142.4	142.4	94.0	112.1	98.7	-	37.3	74.8	69.0	84.0
前年同月比		350.1	156.5	36.8	167.0	94.7	132.8	151.0	131.3	-	606.7	289.3	302.5	170.8

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		産業車両生産		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	ブルドーザー	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック				
'09 历年	7,934,057	985,101	3,616,168	315,507	4,609,256	672,943	2,135	44,395	71,554	6,843	84,762	41,508	4,118	
'10 历年	r9,628,920	1,209,224	4,838,356	450,288	4,956,136	731,094	4,354	r101,788	r104,767	9,726	88,667	47,731	9,786	
'08 年度	10,005,637	1,329,877	5,602,813	557,515	4,700,779	776,925	7,300	115,902	145,424	14,381	106,168	56,201	9,690	
'09 年度	8,864,908	1,062,598	4,086,631	354,985	4,880,264	692,034	2,183	53,520	r77,925	7,454	84,337	46,010	5,471	
'10 年	r862,105	111,151	445,387	41,676	448,816	70,743	457	8,840	9,530	764	7,040	3,890	837	
	r867,242	110,846	422,640	42,107	486,604	64,925	446	9,071	9,445	817	7,663	3,233	841	
	r691,649	89,858	337,163	33,361	424,985	54,503	413	8,469	7,978	862	8,435	5,128	859	
	r925,003	117,567	438,910	42,534	471,955	70,490	455	10,630	r9,957	1,011	7,565	4,295	920	
	r751,420	97,781	417,190	35,988	304,328	52,186	466	10,140	r9,345	987	7,457	2,789	802	
	r801,969	101,853	432,585	39,423	323,600	64,167	392	11,269	r9,781	1,117	7,230	3,430	967	
	r747,867	92,740	467,590	43,107	287,851	47,515	363	10,364	9,223	868	7,353	4,231	988	
'11年	706,107	87,830	365,288	29,976	305,494	45,698	468	9,459	8,301	802	7,661	4,291	1,046	
	795,632	99,507	431,582	35,644	401,292	59,168	507	10,999	9,135	881	7,488	4,672	1,127	
前月比		112.7	113.3	118.1	118.9	131.4	129.5	108.3	116.3	110.0	109.9	97.7	108.9	107.7
前年同月比		94.5	99.5	113.2	99.3	87.6	96.8	181.7	172.7	116.2	129.0	107.7	148.0	173.9

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		2011年2月分							
鋼種別	月別 項目	実数 (t)	前月比 (%)	前年同 月比(%)	1995年基準 指 数(%)	1987~2011年随時			
						年月	ピーク時	年月	ボトム時
工	生産高	19,620	88.0	105.0	88.3	91.3	29,286	09.4	5,565
工具	輸出船積実績	3,474	170.9	178.7	97.0	87.3	10,368	09.6	693
鋼	販売業者受入高計	45,051	125.2	130.3	219.0	11.2	45,051	09.2	10,035
	販売高計	43,059	115.8	121.2	211.3	11.2	43,059	09.2	13,875
	消費者向	21,037	96.4	120.9	224.1	10.6	22,315	09.2	6,438
	在庫高計	59,457	103.5	133.4	165.0	11.2	59,457	87.10	31,813
	生産者工場在庫高	9,421	101.4	171.2	84.0	91.10	17,876	09.12	4,601
	総在庫高	68,878	103.2	137.5	145.8	11.2	68,878	88.1	41,105
構造用	生産高	728,276	96.2	118.2	134.1	08.10	827,404	09.2	269,906
鋼	輸出船積実績	90,699	110.2	117.1	535.8	10.6	92,070	92.1	10,222
	販売業者受入高計	738,045	107.6	135.2	223.4	08.10	1,157,330	98.8	257,445
	販売高計	738,100	109.8	133.8	225.1	08.10	1,134,981	99.8	253,971
	消費者向	424,315	126.5	136.4	198.5	08.10	670,656	98.8	166,732
	在庫高計	401,157	100.0	141.0	166.9	11.2	401,157	87.10	169,822
	生産者工場在庫高	310,543	102.0	119.3	103.7	97.11	320,394	09.4	176,539
	総在庫高	711,700	100.8	130.7	131.9	11.2	711,700	87.12	427,189
ばね	生産高	39,960	127.3	112.5	93.9	89.3	60,673	09.2	10,159
鋼	輸出船積実績	15,696	97.2	106.4	124.0	06.5	27,829	09.4	3,629
	販売業者受入高計	23,308	109.3	125.0	156.2	10.10	27,491	09.4	6,202
	販売高計	23,594	106.6	123.4	158.4	08.4	25,355	09.4	6,339
	消費者向	7,062	107.3	168.6	56.9	90.10	23,876	09.4	2,550
	在庫高計	19,494	98.6	150.3	613.4	10.10	21,924	03.9	1,534
	生産者工場在庫高	28,910	118.2	109.3	90.0	95.12	41,374	09.4	15,541
	総在庫高	48,404	109.4	122.8	137.1	11.2	48,404	02.9	23,836
ステンレス鋼	生産高	258,076	95.5	106.1	95.5	07.3	330,543	09.2	116,542
	輸出船積実績	116,559	124.7	130.1	114.6	05.3	152,476	90.1	27,286
	販売業者受入高計	317,427	79.2	216.6	211.4	06.5	587,740	09.2	88,978
	販売高計	327,904	84.4	219.8	219.5	06.5	587,941	09.2	88,740
	消費者向	57,829	83.9	106.7	101.5	06.1	292,191	87.1	34,263
	在庫高計	146,128	93.3	112.9	132.2	01.10	169,096	87.3	51,419
	生産者工場在庫高	123,971	97.9	112.7	84.2	02.4	188,988	09.6	94,564
	総在庫高	270,099	95.4	112.8	104.8	01.10	352,013	88.4	191,203
快削鋼	生産高	69,948	103.9	105.7	79.0	88.3	116,819	09.2	22,054
	販売業者受入高計	17,190	104.6	125.8	102.2	06.9	25,874	04.9	7,949
	販売高計	15,734	94.1	88.5	95.1	08.4	26,351	09.2	10,358
	消費者向	15,225	93.8	90.3	107.0	08.4	23,235	04.9	9,649
	在庫高計	18,902	108.3	94.3	82.6	07.8	27,861	87.1	9,364
	生産者工場在庫高	36,273	101.0	110.1	161.4	87.1	43,166	01.12	17,975
	総在庫高	55,175	103.4	104.1	121.6	06.5	69,020	02.3	31,448
高抗張力鋼	生産高	439,760	85.6	113.0	187.8	07.3	513,596	87.2	151,890
	販売業者受入高計	5,442	125.0	205.3	43.9	90.2	18,841	09.8	1,572
	販売高計	5,375	121.2	190.9	43.5	90.10	18,863	09.8	2,035
	消費者向	3,803	133.3	200.4	70.6	90.10	9,573	09.8	1,711
	在庫高計	7,215	100.9	116.0	54.5	99.12	20,289	02.12	5,895
	生産者工場在庫高	146,405	77.5	92.3	87.4	87.6	204,893	99.11	99,475
	総在庫高	153,620	78.3	93.2	85.0	01.5	217,711	06.3	110,555
その他	生産高	172,479	101.5	129.7	73.7	-	-	-	-
	販売業者受入高計	68,961	146.1	175.8	556.8	-	-	-	-
	販売高計	68,809	146.9	190.3	557.3	-	-	-	-
	消費者向	34,344	102.8	121.2	638.0	-	-	-	-
	在庫高計	56,131	100.3	114.2	423.6	-	-	-	-
	生産者工場在庫高	80,246	113.4	126.4	47.9	-	-	-	-
	総在庫高	136,377	107.6	121.0	75.4	-	-	-	-
特殊鋼材合計	熱延鋼材生産高合計	1,728,119	94.3	115.1	128.2	07.3	1,942,468	09.2	697,318
	鋼材輸出船積実績計	694,173	103.6	120.4	206.9	10.6	734,214	87.1	153,788
	販売業者受入高計	1,215,424	100.3	151.7	212.2	06.5	1,516,366	87.1	435,213
	販売高計	1,222,575	102.9	150.5	214.9	08.6	1,512,463	87.5	442,211
	消費者向	563,615	116.2	129.9	167.4	08.6	926,258	98.8	267,392
	在庫高計	708,484	99.0	129.6	160.2	11.2	708,484	87.10	290,674
	生産者工場在庫高	735,769	96.7	112.0	96.5	98.1	839,861	97.3	425,932
	総在庫高	1,444,253	97.8	120.0	119.9	11.2	1,444,253	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. 1987~2011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

俱楽部だより

(平成23年2月21日～4月20日)

理事会（3月29日）

- ①平成22年度事業報告（案）・決算報告（案）
- ②平成23年度事業計画（案）・収支予算（案）
- ③平成23年度入会金及び会費・賦課金徴収方法（案）
- ④役員改選（案）
- ⑤平成23年度貿易一般保険包括保険特約の締結
- ⑥第42回東京モーターショー協賛
- ⑦各種委員会委員長及び委員の変更
- ⑧平成23年4月～5月の会議開催日程
- ⑨報告事項

運営委員会

- ・本委員会（3月24日）
 - ①平成22年度事業報告（案）・決算報告（案）
 - ②平成23年度事業計画（案）・収支予算（案）
 - ③平成23年度入会金及び会費・賦課金徴収方法（案）
 - ④役員改選（案）
- ・総務分科会・財務分科会（3月22日）
 - ①平成22年度事業報告（案）・決算報告（案）
 - ②平成23年度事業計画（案）・収支予算（案）
 - ③平成23年度入会金及び会費・賦課金徴収方法（案）
 - ④役員改選（案）

海外委員会

- ・専門部会（3月1日）
 - ①平成22年度事業報告（案）・決算報告（案）
 - ②平成23年度事業計画（案）・収支予算（案）
 - ③平成23年度賦課金徴収方法（案）
- ・商社分科会（3月8日）
 - 平成23年度貿易一般保険包括保険特約の締結

市場開拓調査委員会

- ・第3回調査WG（2月25日）
 - 「中国・インドの自動車部品及び建設機械部品の現地調達動向」調査の最終報告書（案）について

編集委員会

- ・小委員会（3月31日）

7月号特集「やさしく知る損傷のメカニズム」（仮題）の編集内容の検討

- ・本委員会（4月5日）

7月号特集「やさしく知る損傷のメカニズム」（仮題）の編集方針、内容の確認

人材確保育成委員会

「平成22年度ビジネスマン能力向上研修講座」（2月21、22日）

テーマ：「職場メンタルヘルスにおける管理者（支援者・関係者）の役割」

講 師：（株）日鉄技術情報センター 講師
三好 良子氏

参加者：18名

【名古屋支部】

部会

・工具鋼部会（4月19日）

3団体共催技術講演会（2月24日）

テーマ：「最近のステンレスを取り巻く環境とそれを踏まえた今後の商品の方向性について－NSSCの新たな商品の提案－」

講 師：新日鐵住金ステンレス（株）
平松 博之氏

参加者：126名

2団体共催若手および女性社員研修

テーマ：「あなたの印象を変えるパーソナルカラー」

講 師：カラーアナリスト IZUMI氏
受講者：43名

2団体共催新入社員研修（4月12日）

①愛知製鋼（株）知多工場見学

②講 義：「特殊鋼の基礎知識」

講 師：愛知製鋼（株）岸 信隆氏

③講 義：「社会人としての基礎マナー」

講 師：JALアカデミー 近藤 ゆり子氏
受講者：52名

【大阪支部】

2団体共催工場見学会（3月17日）

見学先：（株）神戸製鋼所 加古川製鉄所

参加者：40名

社団法人特殊鋼俱楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

[会員数]		【販売業者会員】		
(正会員)				
製造業者	27社	愛 鋼 (株)	神 鋼 商 事 (株)	林 田 特 殊 鋼 材 (株)
販売業者	108社	青 山 特 殊 鋼 (株)	住 金 物 产 (株)	阪 神 特 殊 鋼 (株)
合 計	135社	浅 井 产 業 (株)	住 金 物 产 特 殊 鋼 (株)	阪 和 興 業 (株)
(賛助会員)	0社	東 金 属 (株)	住 商 特 殊 鋼 (株)	日 立 金 属 アド メット (株)
【製造業者会員】		新 井 ハ ガ ネ (株)	住 友 商 事 (株)	日 立 金 属 工 具 鋼 (株)
		栗 井 鋼 商 事 (株)	大 同 興 業 (株)	株 日 立 ハイ テクノロジーズ (株)
		石 原 鋼 鉄 (株)	大 同 マ テ ッ ク ス (株)	平 井 (株)
		伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)	大 洋 商 事 (株)	福 岡 ハ ガ ネ 商 店 (株)
		伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)	大 和 興 業 (株)	藤 田 商 事 (株)
		井 上 特 殊 鋼 (株)	大 和 特 殊 鋼 (株)	古 池 鋼 業 (株)
		植 田 興 業 (株)	竹 内 ハ ガ ネ 商 行 (株)	ブ ル 一 タ ス (株)
		孟 鋼 鉄 (株)	孟 鋼 鉄 (株)	堀 田 ハ ガ ネ (株)
		田 島 ス チ 一 尔 (株)	田 島 ス チ 一 尔 (株)	マクシスコーコーポレーション (株)
		辰 巳 屋 興 業 (株)	中 部 ス テン レス (株)	松 井 鋼 材 (株)
		中 部 ス テン レス (株)	千 曲 鋼 材 (株)	三 沢 興 産 (株)
		テ ク ノ タ ジ マ (株)	千 曲 鋼 材 (株)	三 井 物 产 (株)
		鐵 鋼 社	テルタスティール (株)	三 井 物 产 スチール (株)
		デルタスティール (株)	東 京 貿 易 金 属 (株)	三 菱 商 事 ユニメタルズ (株)
		東 京 貿 易 金 属 (株)	東 信 鋼 鉄 (株)	メタルワン (株)
		東 信 鋼 鉄 (株)	特 殊 鋼 機 (株)	メタルワン 特 殊 鋼 (株)
		豊 田 通 商 (株)	豊 田 通 商 (株)	森 寅 鋼 業 (株)
		中 川 特 殊 鋼 (株)	中 川 特 殊 鋼 (株)	山 一 ハ ガ ネ (株)
		中 野 ハ ガ ネ (株)	中 野 ハ ガ ネ (株)	山 進 特 殊 鋼 (株)
		永 田 鋼 材 (株)	永 田 鋼 材 (株)	山 野 鋼 材 (株)
		名 古 屋 特 殊 鋼 (株)	名 古 屋 特 殊 鋼 (株)	陽 鋼 物 产 (株)
		ナ ス 物 产 (株)	ナ ス 物 产 (株)	菱 光 特 殊 鋼 (株)
		南 海 鋼 材 (株)	南 海 鋼 材 (株)	リ ン タ ツ (株)
		日 輪 鋼 業 (株)	日 輪 鋼 業 (株)	渡 辺 ハ ガ ネ (株)
		日 金 斯 チ 一 尔 (株)	日 金 斯 チ 一 尔 (株)	
		日 鐵 商 事 (株)	日 鐵 商 事 (株)	
		日 本 金 型 材 (株)	日 本 金 型 材 (株)	
		ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)	ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)	
		野 村 鋼 機 (株)	野 村 鋼 機 (株)	
		白 鷺 特 殊 鋼 (株)	白 鷺 特 殊 鋼 (株)	
		橋 本 鋼 (株)	橋 本 鋼 (株)	
		長 谷 川 ハ ガ ネ 店 (株)	長 谷 川 ハ ガ ネ 店 (株)	
		ハ ヤ カ ウ カ ナ パ ニ 一 (株)	ハ ヤ カ ウ カ ナ パ ニ 一 (株)	

特 集／やさしく知る損傷のメカニズム

I. 総論

II. 損傷のメカニズム

III. 支援技術

IV. 会員メーカーの損傷対策品、製法の紹介

9月号特集予定…原材料事情

特 殊 鋼

第 60 卷 第 3 号

© 2011 年 5 月

平成23年4月25日 印 刷

平成23年5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 俱 樂 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

ホーメページ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 特殊鋼俱楽部の許可なく転載・複写することはできません。