

# 特殊鋼

2022 **3**  
Vol.71 No.2  
The Special Steel

特集

非破壊検査技術と特殊鋼

# 特殊鋼

3

## 目次

2022

### 【編集委員】

委員長	井上幸一郎	(大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫	(中川特殊鋼)
委員	宇田川毅志	(愛知製鋼)
〃	吉原 直	(神戸製鋼所)
〃	西森 博	(山陽特殊製鋼)
〃	小川 道治	(大同特殊鋼)
〃	青山 敦司	(日本製鉄)
〃	正能 久晴	(日本金属)
〃	谷井 一也	(日本高周波鋼業)
〃	吉田 統樹	(日本冶金工業)
〃	酒寄 一志	(日立金属)
〃	大石 裕之	(三菱製鋼)
〃	阿部 泰	(青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	番場 義信	(UEX)
〃	池田 祐司	(三興鋼材)
〃	関谷 篤	(竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人	(平井)

## 【特集／非破壊検査技術と特殊鋼】

### I. 総論

特殊鋼の非破壊検査技術…	日鉄テクノロジー(株)	山田 裕久	1
--------------	-------------	-------	---

### II. 非破壊検査方法

1. 磁粉探傷……………	マークテック(株)	齋藤 直樹	7
2. 渦電流探傷……………	日本フェルスター(株)	吉川 仁	10
3. 浸透探傷……………	栄進化学(株)	相澤 栄三	14
4. 漏えい(洩)磁束探傷 ……………	日本フェルスター(株)	吉川 仁	17
5. 放射線透過試験……………	神鋼検査サービス(株)	荒木絵里子	20
	神鋼検査サービス(株)	松本 真弥	
	神鋼検査サービス(株)	揚野 東	
6. 超音波探傷……………	菱電湘南エレクトロニクス(株)	松井 晃一	23

### III. 各製品の非破壊検査の現状

1. 鋼片……………	大同特殊鋼(株)	森 大輔	26
2. 棒鋼……………	愛知製鋼(株)	鈴木 宣生	28
3. 厚板……………	JFEスチール(株)	飯塚 幸理	31
4. 薄板の超音波板波探傷装置の開発事例紹介 ……………	日本製鉄(株)	鈴間 俊之	34
5. 鋼管……………	日本製鉄(株)	山野 正樹	38
6. 線材……………	(株)神戸製鋼所	松井 智政	40
7. ステンレス鋼……………	日本冶金工業(株)	橋本 暢之	43

■業界のうごき	45
▲特殊鋼統計資料	48
★倶楽部だより (2021年12月1日～2022年1月31日)	52
☆特殊鋼倶楽部の動き	54
◇お知らせ メタルジャパン 関西展に継続出展	58
第243・244回西山記念技術講座	59
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧	62

特集／「非破壊検査技術と特殊鋼」編集小委員会構成メンバー (2021年9月22日現在)

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

# 特集

# 非破壊検査技術と特殊鋼

## I. 総論

### 特殊鋼の非破壊検査技術

日鉄テクノロジー(株) やま だ ひろ ひさ  
計測・検査事業部 山 田 裕 久

#### 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様々な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まで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、品質管理、ならびに、品質保証上欠くことのできない重要な役割を担っている。

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、製造の中間工程での素材の検査(品質管理)においても非破壊検査が実施される。

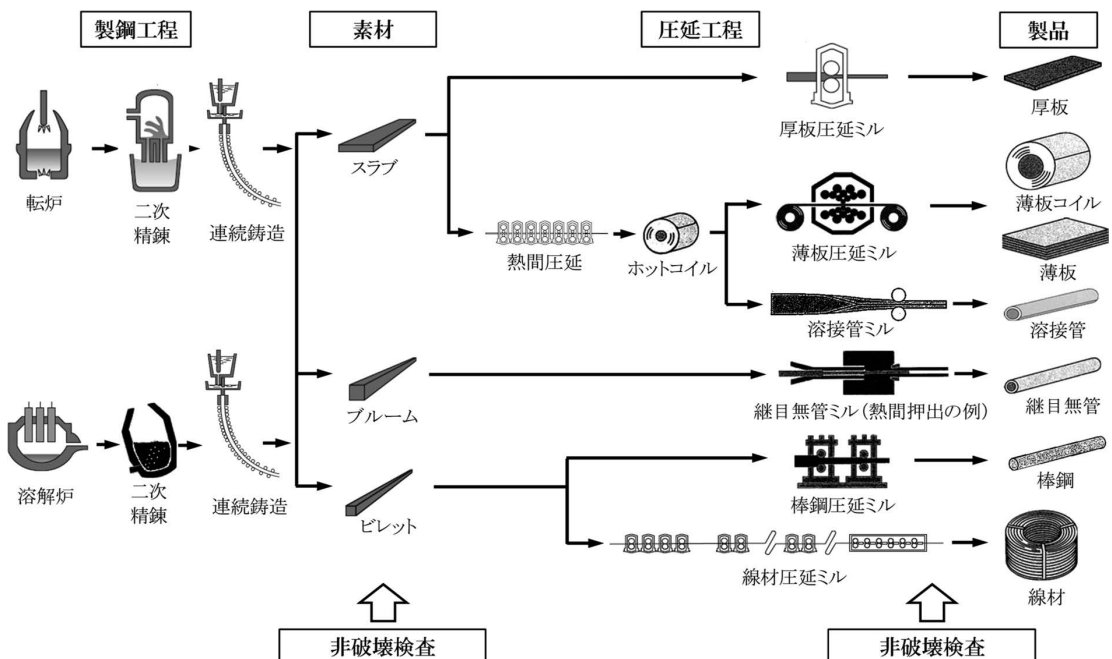


図 1 圧延鋼材の製造工程における非破壊検査の位置付け例

非破壊検査の目的は顧客や製造プロセスの次工程に不具合品を流出させないことに加えて、検査した結果を解析して製造プロセスで発生している不具合を直接的あるいは間接的に特定し、製造改善をはかることで歩留りを向上させる面でも活用されている。すなわち非破壊検査は品質保証だけでなく、生産効率向上、製造コスト低減という品質管理の面においても大きく寄与する技術である。

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、さらには最近の技術動向について概要を説明する。

### ◇ 非破壊検査の用語

非破壊検査（試験）は一般に“NDI”、“NDT”と呼ばれるが、JIS Z2300（非破壊試験用語）では以下のように定義されている。

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。

NDE：非破壊評価（Nondestructive Evaluation）…非破壊試験で得られた情報を、試験体の性質又は使用性能の面から総合的に解析・評価すること。

NDI（非破壊検査）は合否判定までを含んでおり、NDTに比べてより広義な意味で使用されている。また、解析・評価が主体になる場合はNDEも使われている。

検査において“きず”と“欠陥”という言葉が混同して使用される場合があるが、JIS Z 2300では明確に区別されている。すなわち、きずが必ずしも有害であるとは限らないということには注意を払う必要がある。

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合格基準を満たさず、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 Z2300:2020（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、その名のとおり製品または素材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）、または、内質きず（介在物、内部割れ、ブローホールなど）の有無およびその存在位置、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したがって合否を判定する方法であり、製造プロセスにおける不具合の発生状況を検知する技術でもある。

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、基本的な原理と最近の技術動向について簡単に述べる。そのなかでも主要となる非破壊試験方法を表1に示す。

#### 1) 放射線透過試験（RT: Radiographic Testing）

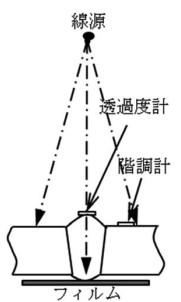
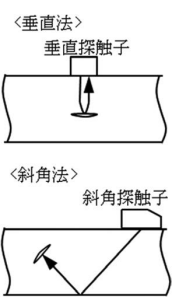
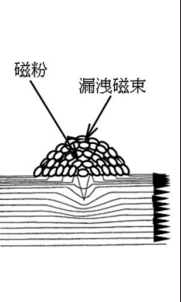
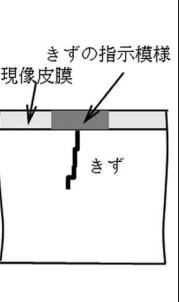
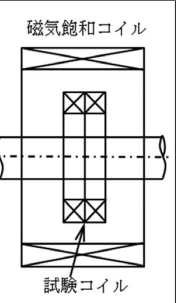
放射線（X線や $\gamma$ 線）を試験体に照射し、透過した放射線の強さの変化を写真フィルムに感光させ、感光の濃淡の差異から、試験体内部のきずの有無を調べる方法である。きずの形状やきず位置がほぼ実物のサイズをもつ画像として直接観察できる利点がある。またフィルムを必要としない方法として、イメージングプレートと呼ばれる放射線の強度を直接的にデジタル画像に変換するユニットを用いた試験方法も一部JIS化が行われている。しかし、放射線を扱うことから管理区域の設定や、厳しい線源の管理、さらに検査能力が低い課題があり量産品の全数検査には適用が難しい。

放射線検査の中でもマイクロオーダーで集束された線源を使用するマイクロフォーカスX線は、完成後の製品や部品などの内部の詳細な評価にも活用されており、CT技術（Computed Tomography）との組み合わせで内部を3次元的に観察することが可能である。

#### 2) 超音波探傷試験（UT: Ultrasonic Testing）

一般に数MHzの高周波数で振動する超音波を試験体に入射させ、試験体中に存在するきずなどからの反射や超音波の伝搬特性（音速、減衰等）を計測することで試験体のきずや材質を調べる方法である。UT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

表 1 各種非破壊検査方法の比較

	放射線透過試験	超音波探傷試験	磁気探傷試験	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 (毛細管現象)	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

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、あるいは、一定の角度を有する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、きずの高精度な定量化や画像化の研究開発が多く推進されており、複数個の超音波振動子を順に励振することで従来の機械走査にない高速な電子走査の実現や、複数素子を適切な時間遅れで励振することにより超音波の入射角度や集束位置を変えることが可能なフェーズドアレイ技術が一般化している。これは高速で動作する電子回路技術や振動子の微細加工技術などのハードウェア技術の発展に負うところが大きく、コンピュータの高速化にともない開口合成技術などの処理も実用化され、きずの高精度でかつ高速な検出に寄与している。近年、開口合成処理は全波形を収集する技術（FMC: Full Matrix Capture）と、収集した波形から探傷画像を再構成する技術（TFM: Total Focusing Method）で実現されており、全ての深さで高分解能な探傷画像を得ることが可能である。FMC/TFM技術についてはISOでの規格化も進められている<sup>1)</sup>。

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、接触媒質を必要としない非接触超音波技術（レーザー超音波、空中超音波、電磁超音波）の開発が盛んに行われており、実用化も進められている。さらにはSCC（応力腐

食割れ）などの非開口のきずから反射する超音波成分には、入射する周波数以外にも高調波成分やサブハーモニック成分が生じる非線形現象を利用した検出法の研究も行われている。近年では超音波フェーズドアレイ技術と融合する形での非線形超音波技術の研究も進められており<sup>2)</sup>、今後の展開が期待される。

試験体の内部のきず検出に使える手法はRTとUTのみであり、RTは使用制約が大きいことから、内部きずの検出はUTが主流でもあり前述のように多くの研究開発が行われている。

### 3) 磁気探傷試験 (MT: Magnetic Particle Testing)

磁粉（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、および、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：磁石に吸着する材料）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。磁粉としては蛍光塗料をコーティングしたものが一般的であり、紫外線を照射することで観察を行う。そのため暗所での使用が必要になるが、明るい場所で紫外線なしで使用できるように黒色磁粉を用いる場合もある。磁気探傷では磁粉そのものがきずを検出するセンサであり、きず部に直接付着することからきずの検出性能は高い反面、試験体表面の性状や物性の変化等でも漏洩磁界が発生することから疑似模様とよば

れるノイズも多く現れる。そのため判定には熟練の技能を要する。また、暗所での適用が必要な場合が多いことから検査員への負荷も高く、検査の自動化を目指した磁化や磁粉の自動適用や、画像処理による磁粉模様の判別技術がビレットなどで開発・実用化されている。

#### 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、きずを拡大し、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ことと、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) 渦電流探傷試験 (ET: Eddy Current Testing)

試験コイルを内蔵するプローブを用い試験体(導体)に、時間的に変化する交流磁場を与え、導体に生じた渦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・種類を推定する。ETは非接触での試験であるため、線材における熱間圧延後での高温材の高速探傷も可能である。

試験プローブの型式としては、試験体をコイル内部に挿入して用いる貫通プローブ、試験体内部に挿入して用いる内挿プローブ、試験体の表面上を走査させて探傷する上置プローブがある。一般に管・棒・線材の製品検査などに貫通プローブが、熱交換器伝熱管の保守検査などに内挿プローブが、板材の製品検査や航空機の保守検査などに上置プローブが使用されている。

強磁性の鉄鋼材料の探傷においては、試験体の磁氣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、上置プロ

ブ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きずの検出精度の向上を目指した新型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にアレイ状のコイルを適用した事例もある。

渦電流探傷試験はきずの検出だけでなく、渦電流の発生が試験体の材質や組織に大きく影響を受けることから、材質判別にも用いられている。

#### 6) 漏洩磁束探傷試験 (FT: Magnetic Leakage Flux Testing (MLFT))

検出原理は磁気探傷に類似しており、磁化された鉄鋼材料のきず部からの漏洩磁束を、磁粉ではなくサーチコイルやホール素子などの半導体磁気センサで直接検出する方法であり、電氣的な処理で実行されるため自動化装置として適用されている。

漏洩する磁束の大きさはきず深さに略比例するため、きずの深さの推定も可能であり、磁気探傷試験に比較してきずの定量評価性に優れる。磁化には直流と交流の2タイプがあり、内部や部材表面のきずを検出するためには磁場が深く浸透する直流磁化が用いられる。反対に交流磁化を用いると表皮効果により磁束が材料表面に集中するため浅いきずの検出能が高くなる。棒鋼では表面の微小なきずを検出するために数kHzの高い周波数を用いた漏洩磁束探傷装置が用いられた事例がある。また、漏洩磁束探傷試験においてもアレイセンサーを用いた高速化、高精度化の取組が進められている。

#### 7) 光学的探傷試験 (OPT: Optical Testing)

材料表面に光を照射し、きず部での光の散乱や、きず形状を直接的に観察する方法である。鋼板表面のきず検査においては、スポットレーザ光を板幅方向に高速でスキャンし、きずによる光の散乱を検出する方法が実用化された。最近ではコンピュータの発展と、CCDやCMOSによる撮像素子の高集積化・高速化に伴って、鋼板表面を2次元画像として取り込み、きずを解析する方法が主流である。画像処理技術や機械学習技術の進展によりきず種の判別精度も飛躍的に向上してきており、品質検査だけでなくきずの解析情報を用いた製造工程改善にも活用されている。

#### 8) 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。

### 9) 赤外線サーモグラフィ試験（TT: Infrared Thermographic Testing）

試験材をコイルで電磁誘導加熱を行い、きずとその周辺での発熱の差異を赤外線カメラで検出する方法である。近年のカメラ技術や画像処理技術の進展に伴い、素材（ビレット）の検査向けに開発されている。

#### ◇ 鉄鋼製品における非破壊試験の適用

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2に鉄鋼製品の製造工程中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、外面きずの手入れを目的とした表面検査が実施され、最終製品においては内質きずの検査を含めた品質保証検査としてUTや表面きず検出に優れたMT、自動化に優れたET、FTが主に実施されている。

UT、ET、FT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 2305:2013（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：規格、コード又は仕様書に従って製品のNDTを実施する際に適用すべき全ての必須の要素及び注意事項について記載した文書

NDT指示書：確立された規格、コード、仕様書又はNDT手順書に基づいて、NDTを実施する際に従わなければならない正確な手順を記載した文書

また、いくつかの非破壊検査手法に対して試験方法が規格化されているものがあり、規格にしたがって試験を実施しなければならない。表3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種類の資格レベルある。以下に、JIS Z 2305-2013に規定されている各資格レベルの要件について示すが、レベル3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、かつ、レベル2又はレベル3技術者の監督の下で、NDTを実施する力量を実証している。

NDTレベル2：NDT手順書に従ってNDTを実施する力量を実証している。

NDTレベル3：認証の対象となるNDT作業の実

表 2 圧延鋼材の製造工程における非破壊検査の適用状況

品種	製造工程内の位置（非破壊検査は必要に応じ実施）		
	素材	圧延工程	最終製品
厚板	スラブのPT、OPT	—	UT、MT、PT、OPT
薄板、薄板コイル		—	UT、OPT、FT
管	溶接管	コイル端のUT	溶接直後のUT、ET
	継目無管	ビレットのMT、ET、FT	—
棒線	棒線	—	UT、MT、ET、FT
		ビレットのUT、MT、MLFT	ET（熱間）
			MT、ET



表 3 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	鋳鋼品の放射線透過試験方法	鋳鋼品
	JIS G 0803:2015	溶接鋼管溶接部のフィルム式放射線透過検査方法	溶接管
	JIS G 0804:2015	溶接鋼管溶接部のデジタル式放射線透過検査方法	溶接管
	JIS Z 3104:1995	鋼溶接継手の放射線透過試験方法	鋼板、鋼管
	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鋼管、耐熱鋼板…
超音波探傷試験	JIS G 0582:2012	鋼管の自動超音波探傷検査方法	鋼管
	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 0802:2016	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 3060:2015	鋼溶接部の超音波探傷試験方法	溶接構造品
磁気探傷試験	JIS Z 2320-1~3:2017	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 2343-1~6:2012~2017	非破壊試験 - 浸透探傷試験 - 第1部~第6部	
渦電流探傷試験	JIS Z 2316-1~4:2014	非破壊試験 - 渦電流試験 第1部~第4部	
	JIS G 0583:2021	鋼管の自動位渦電流探傷検査方法	鋼管
漏洩磁束探傷試験	JIS Z 2319:2018	漏えい(洩)磁束探傷試験方法	丸鋼、鋼管

施及び指示する力量を実証している。

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、第三者認定制度の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、（一社）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2003年から実施している。

### むすび

非破壊検査は、製品の品質管理・保証さらには製造プロセス改善に重要な役割を果たしており、今後更なる顧客の要求する品質の厳格化やコスト削減要求に伴い、きず検出力の向上を目指す必要がある。またきずの定量評価技術を進めることで製造プロセスへの改善につなげることができ、特殊

鋼製品の競争力を向上させることにも寄与できる。

非破壊検査の手法は多く、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。しかしながら熟練者の官能検査に依存した手法も多く、これらについては熟練技術者減少への対応、検査職場の改善や検査コスト低減の観点から画像処理などによる自動化判定技術の進展が必要となっており、近年進歩が目覚ましいDeep Learning技術による判定精度向上の取組も盛んである。また、検査は冷間で主に行われるが、スラブやピレットの熱間での探傷技術が従来より切望されており、ブレードスルーとなる技術の開発が望まれている。

### 参考文献

- 1) 松園：非破壊検査協会2021年度秋季講演大会講演概要集、(2021)、pp 97-98
- 2) 小原：非破壊検査、Vol. 70 (2021) pp 379-385

## Ⅱ. 非破壊検査方法

### 1. 磁粉探傷

マーケットテック(株) 研究開発部 さいとう なおき  
シニアマネージャー 齋藤直樹

#### まえがき

磁粉探傷試験は、比較的簡易的な手法で表面近傍のきずを非破壊で高精度に検出することができる優れた検査方法である。ここでは磁粉探傷試験全体の概要について述べさせていただくが、近年では目視判定に加えて、画像処理を用いた判定方法が一般的になってきていることから、磁粉指示模様しじょうもようの自動画像判定技術についても簡単に紹介させて頂く。

#### ◇ 磁粉探傷試験概要

磁粉探傷試験では、対象物を磁化することで割れ等不連続部に磁極を発生させ、そこに磁性粉じせいこな(以降 磁粉)を付着させる。磁粉による指示模様は、一般的にきず本来の幅よりも広く、さらに磁

粉自体にコントラストが高くなるような着色が施されていることから、直接目視では検出が難しい微細なきずであっても検出が可能となる。適用対象は強磁性体の表面および表面直下の割れきずとなる。一般的な磁粉探傷試験の流れは、前処理→磁化→検出媒体けんしゅたい(磁粉)の適用→磁粉模様じせいこなもようの観察→(必要に応じて)脱磁等の後処理となる(図1)。

#### 1. 磁化

磁化の際には、検査体の材質や検出対象となるきずの性状や方向性を考慮した上で、磁化の時期、磁化方法、磁化電流の種類、電流値等を決定する。各項目の大きな分類は表1のようになる。

#### 2. 検出媒体(磁粉)の選定

磁粉は、強磁性粉末(湿式磁粉ではおもに酸化鉄系、乾式磁粉では金属微粉末)と蛍光又は着色顔料を結着したもので、顔料の種類によって蛍光

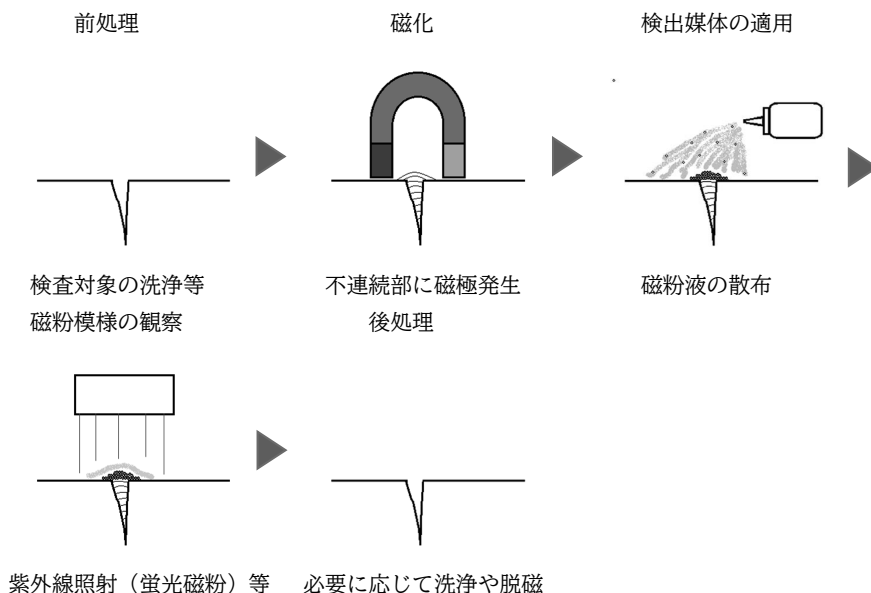


図 1 磁粉探傷試験の流れ

表 1 磁化の種類

項目	種別	説明	備考
磁化の時期	連続法	磁化と磁粉の適用を同時に行う。	磁化効率がよい。
	残留法	磁化後に磁粉を適用する。	作業能率に優れる。反磁界が発生する場合は磁化効率が低い。
磁化方法	通電法	検査体に電流を流し、発生する磁場によって磁化を行う。	軸通電法・直角通電法・プロッド法等。
	磁束投入法	検査体に磁束を投入して磁化する。	電流貫通法・極間法・コイル法等。
磁化電流の種類	直流磁化	磁化に直流（主に脈流）を使う。	表面下のきずが対象となる場合は直流磁化を使う。直流磁化されたものは脱磁が難しい。
	交流磁化	磁化に交流を使う。	残留磁気が問題となる場合は交流磁化が有利。

磁粉と非蛍光性磁粉に分類される。これを適切な分散媒に分散させ、検査体に適用できる状態となったものを検出媒体と呼ぶ。

磁粉は用途に応じて適切なものを選定する必要がある。例えば、走問式の検査設備のように観察時間が短い場合は視認性が高く明るい蛍光磁粉、固定された検査対象で十分な観察時間をかけることができる場合は、微細なきずが検出できるように粒子径の小さな蛍光磁粉を採用するのがよい。また観察時に十分な暗環境を準備できない場合は、検査対象とコントラストが得られる色彩を持つ非蛍光性磁粉を可視光下で使用することがある。

分散媒には、水の他に磁粉を分散させるための界面活性剤や防錆剤、消泡剤を添加するのが一般的だが、これらが予め添加された分散液に高濃度の磁粉を分散させた濃縮磁粉を用いることがある。濃縮磁粉は、水を入れたタンクに一定量を投入するだけで検査に適した検出媒体を安定して得ることが出来る上、調液時間を削減することが出来る。

一般的に検出媒体は、検査機器内で回収され繰り返し使用されることから、磁粉が検査体に付着し持ち去られることにより濃度が低下する。この為、JIS Z 2320-1には、検査媒体を再利用する場合には、適正な濃度を維持するために、注意を払うことが推奨されている。沈殿管を用いたり、目視で磁粉液の濃度を確認することがあるが、この際、磁粉から剥がれ、欠陥部への付着能力を失った顔料が検出媒体中に残留したり、検査対象物から持ち込まれた鉄粉などの影響により、沈殿管計測や目視確認では磁粉液の濃度が保たれているように見えることがある為、実際に適正な磁粉濃度に管理されているか現場で判断することは困難と

言える。この為、タンク内の検出媒体を定期的に全交換したり、再利用しないなどの対応を実施している事業者も存在する。

### 3. 磁粉模様の観察

磁粉模様の観察は、非蛍光磁粉であれば昼光あるいは白色光、蛍光磁粉であればA領域の紫外線照射下で行う。紫外線照射器に関しては、近年紫外線LEDを使用した製品が多く使われるようになってきている。LEDを使ったものは、従来のメタルハライドタイプと比べて、長寿命で、消灯直後の再点灯ができるといったメリットがあるが、一般的に、複数のLEDを配置し広い照射範囲を得ているため、LED素子毎の明るさの差が照射面の配光に影響を与えてしまう。このため、照射面中心における強度だけではなく、LED光源の配置に合わせた強度の管理が重要となってくる。

従来、磁粉探傷試験における「きずの判定」は目視判定が主流であった。これは、きずの形態、深さによって磁粉模様が異なることや、バックグラウンドの状態によりきず部のコントラストがはっきりしないことから、熟練技術者によるノウハウが必須とされてきた。しかし、熟練技能者の退職や少子化による技能伝承課題や近年の撮像技術の進歩、デジタル処理技術、コンピューター処理能力の向上により、熟練技能者の技術に頼らない自動判定の開発が急ピッチで進んでいる。

#### ◇ 画像処理による自動判定について

磁粉指示模様をカメラで取込み、画像処理により合否判定を行うという手法は、銅片を対象としたもの等がすでに実用化されている。これらの多くは、磁粉指示模様の長さや面積等、判定に適し

ていると設計者が判断したパラメータを用いて判定（以降ルールベース）を行っている。これに対し、データからルールやパターンを機械的に抽出する機械学習の手法、特にディープラーニング（以降DL）、を使った自動判定の適用が近年広がってきている。磁粉指示模様をDLで行う場合、欠陥と良品を分類するクラス分類か、良品だけの特徴を学習する異常値検査がよく用いられる。クラス分類は学習用に必要な量の欠陥画像を集めることができれば比較的よい精度を得ることができる。しかし発生しうる欠陥が少なくとも良品クラス以外のクラスに分類されるためには、発生しうる磁粉指示模様が全て適切なクラスに分類されるような特徴を学習しなくてはならない。この学習時に漏れた特徴を持つ欠陥がどこに分類されるかあらかじめ予測することは難しい。これに対し異常値検査では、良品の特徴を学習させることで、良品の特徴から外れたものを異常として判定する。この方法は良品の画像さえあればよく、良品の特徴を適切に抽出できれば、良品でないものを異常と判断することができる。しかしながら、良品であっても磁粉指示模様は常に一定とはならず、画像全体に対してきず指示模様も小さいことなどから、判定精度が思うように上がらないという状態に陥りやすい。また機械学習を使った判定では、実際に何を基準に判定しているのか説明することが難しく、判定結果の信頼性が問題となりやすい。例えば周囲環境の明るさ変化、検出媒体の状態変化等、作業者が判定するのであればあまり問題とならないような変化が判定精度に大きな影響を及ぼす可能性を否定できない。

こうした状況を鑑みつつ、当社では、従来のルールベースとDLを組み合わせた判定方法を組み合わせることで、信頼性を確保しつつ従来の方法では難しかった複雑な判定が行えないか検討を行っている。また画像処理で判定する場合には、従来よりも検出媒体や観察環境の管理が重要になってくる。そのため指定量の水に投入して攪拌するだけで適切な磁粉濃度で検出媒体を作製する



図 2 磁粉液評価装置 MPEU-1（マークテック株）

ことができる濃縮磁粉、従来は沈殿管で管理していた検査液の磁粉濃度をライン上で評価することができる磁粉液評価装置（図2）、カメラ取込みタイミングと同期させて高強度の紫外線をパルス発光するブラックライト等、画像処理を前提とした磁粉探傷システム用の製品開発を行っている。

## むすび

今回は、磁粉探傷試験の概要とともに、画像処理を使った磁粉指示模様の自動判定についても紹介させていただいた。画像処理による自動判定技術は、省力化や要求品質の高まりにより更なる技術革新が求められている。撮像装置の精細化や、機械学習技術の発展による解析技術の高度化は日進月歩であり、これらの技術に対応した設備管理、観察ノウハウも含めた磁粉探傷システムの開発を進めていく。

## 参考文献

- 1) 日本非破壊検査協会編：磁気探傷試験Ⅲ、日本非破壊検査協会
- 2) 日本規格協会編：JIS Z2320-1:2017 非破壊試験－磁粉探傷試験－第1部：一般通則 日本規格協会
- 3) 日本規格協会編：JIS Z2320-2:2017 非破壊試験－磁粉探傷試験－第2部：検出媒体 日本規格協会
- 4) 日本規格協会編：JIS Z2320-3:2017 非破壊試験－磁粉探傷試験－第3部：装置 日本規格協会
- 5) 日本規格協会編：JIS Z2323:2017 浸透探傷試験及び磁粉探傷試験－観察条件 日本規格協会

## 2. 渦電流探傷

日本フェルスター(株) よし かわ ひとし  
事業企画・開発ユニット **吉川 仁**

### まえがき

渦電流探傷は線・棒・管の素材検査、線・棒・管から製造される部品検査、航空機や発電所の保守検査など様々な分野で利用されている。ここでは線・棒・管の素材検査と、そこから製造される部品の検査について、述べる。熱間圧延ラインでの探傷に始まり、伸線・抽伸・引き抜きラインなどの2次加工での探傷、そして線・棒から鍛造や切削加工で製造された部品の探傷と各製造工程で探傷が行われている。渦電流探傷のメリットは、非接触で液体などの媒体を使用しない事や前処理・後処理が不要な事、さらに、きずの程度を電氣的信号で取り出す事ができるので定量的な評価と自動化が可能である。

### ◇ 渦電流探傷とは

渦電流探傷は電磁誘導の原理を応用している。電磁誘導とは、コイル内での磁束の時間的な増減の変化に対して逆の磁束を生じさせようとする電流がコイルに流れる現象を言う。ある特定の周波数の電流を流したコイルを導電体に近づけ、もしこの導電体表面にきずがあった場合、渦電流は流れにくくなり、そこから生じる磁束も変化することになる。そうすると、コイルに流れる電流にも影響が出てインピーダンスも変化し、きずが見つかるということだ。以下の式に示すように渦電流の浸透深さ ( $\delta$ ) は試験周波数 ( $f$ )、被検査材の導電率 ( $\sigma$ ) と透磁率 ( $\mu$ ) によって決まる。

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{f \cdot \sigma \cdot \mu \cdot \pi}}$$

この公式からインピーダンスの変化は導電率の変化と、磁性体ならば透磁率の変化の影響も受けることが分かる。この変化は他にコイルと導電体の距離の変化(リフトオフ)にも影響を受ける。

電磁誘導を原理とした機器には渦電流探傷機以

外に、硬さや材質判別などをする電磁誘導検査器、非鉄金属用の導電率測定器、膜厚測定器などがある。

### ◇ 実際の探傷

線材や棒鋼の前工程の熱間圧延ラインでは熱間渦電流探傷が行われるが、表面温度が約1200℃の高温になるために水冷式の貫通テストコイルが使用される。鋼のキュリーポイント以上では磁性を持たなくなるために磁気飽和の必要はない。この熱間工程での探傷で検出できなかったきずは2次加工での伸線や抽伸、引き抜き工程で再度探傷が行われる。品質管理の内容によって回転型と貫通型のタンデムでの同時探傷が行われる。伸線工程での探傷は伸線加工と探傷が同時に行うために効率的であるが、同じ条件での再探傷は不可である。1コイル単位での流通が普通なので、コイルの中間にきずがあった場合は1コイルそのものが不良材になる可能性がある。これを防ぐために、探傷機からの欠陥信号をコンピューターで処理をして自動的に部分きず取りをする装置や、きずマーキングをして後工程で欠陥部位を除去するシステムも構築されている。棒鋼での探傷は1本ごとの定尺単位で行われるために、きずのある棒鋼のみを分別することができ、再探傷が可能である。しかし、先端と後端部のある一定区間は、突入・突出時に発生する妨害信号を消すために、未探傷領域が発生する。

### ◇ 貫通型渦電流探傷

貫通型渦電流探傷機は主にへげ、打痕、穴など軸方向に長さの無い短いきずの検出が目的で、センサーは固定型の貫通型テストコイルを使用する(図1)。アルミニウム合金や銅などの非鉄金属は、比透磁率が1なので磁気飽和をすることなく探傷が行えるが、磁性を示す被検査材は、透磁率の変化によるテストコイルのインピーダンス変動が大

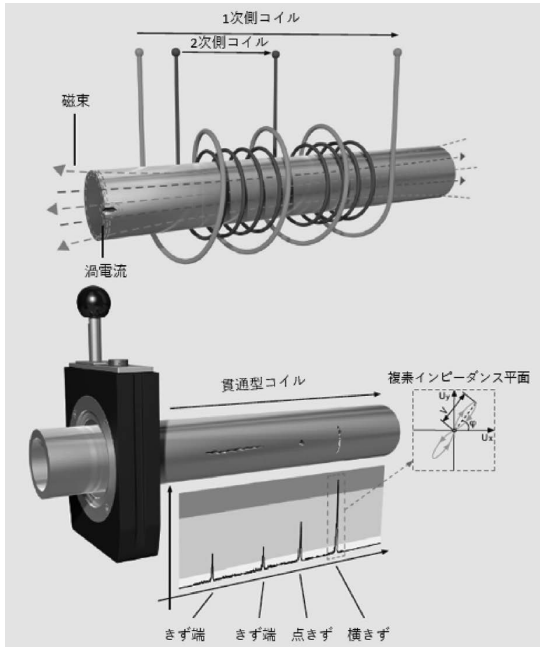


図 1

大きく、妨害ノイズが生じる。その為、磁気飽和ヨークと一緒に使用して、被検査材を磁気飽和することにより、比透磁率を1にして探傷を行う必要があるが、探傷後は着磁するので脱磁をする必要がある。探傷速度によってフィルター設定を変える必要はあるものの、回転型のように未探傷領域（トラ刈り探傷）が生じることはない。熱間探傷のように線速が120m/秒でも線材の先後端不感帯を除き、全面探傷が可能である。

#### ◇ 回転型渦電流探傷

回転型渦電流探傷機は主にダイスマーク、割れなどの線状の軸方向に続くきずの検出が目的で、センサーは複数のプローブを機械的に3,000～18,000rpmの回転数で回転をさせて使用する（図2）。従って、被検査材の通材速度によっては未探傷領域（トラ刈り探傷）が発生するので、検出したい最小きず長さに着意して探傷条件を決める必要がある。プローブのトレース有効幅は0.8～10mmの間で数種類あり、最小検出欠陥長さはトレース有効幅の2倍で計算上は決まる。回転型を併用することにより貫通型で見逃すようなきずの検出を補完することができる。

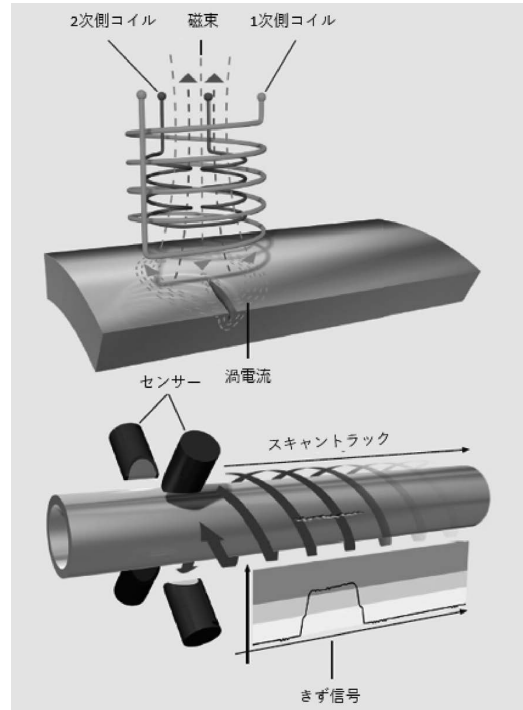


図 2

#### ◇ 材料検査

2次加工された線材や棒鋼はその後、切断、切削、鍛造、熱処理などの工程を経て最終製品の部品になる。2次加工では問題にならなかったきずも鍛造や熱処理工程で新たに発生するか、より明確になる場合がある。そこで最終製品である部品での探傷が行われるが、渦電流探傷が適用しやすい部品形状は円筒形のような対称形が好ましい。部品を高速で回転させ、その上をプローブで走査する方式や、プローブ回転機構に部品を直進させて探傷を行う方式がある。目視検査や他の非破壊検査方法に比して効率的で定量的な評価が行え、自動化が可能である。また割れきずのような表面欠陥ではなく、電磁誘導検査で異鋼種混入による異材判別や熱処理後の硬度判定も行われることが多い。1次側コイルに2Hz～1,000Hzもしくは1KHz～128KHzで最大4Aの高出力の電流を流すことにより、部品の磁気特性を2次側コイルで検出する。異材は電気伝導度の影響を大きく受け、硬さなどの組織変化は透磁率の影響を受けるので、これらの特性を利用し、判定している（図3）。

### ◇ 最新テクノロジー

貫通型渦電流探傷の場合、材料の通り芯がずれると、信号強度に差異が生じる。同じ深さのきずでも、コイルに近ければ信号が大きくなり、遠ければ信号が小さくなる。その時の材料の機械的位置により、きずの評価が変わってしまう。このデ

メリットを改善するために貫通コイルのセンサーを8つに分け、且つ各々のセンサーにリフトオフ距離を検出するセンサーも取り付けられたセグメントアレイコイルがある。リフトオフ距離の変化に応じて信号振幅を電氣的にリアルタイムに補正を行うことにより、芯ずれに関係なく欠陥評価を行える。また、従来、きずの位置は軸方向位置しか分からなかったが、**図4**に示すように、周方向位置も把握できるようになった。さらに1サイズの貫通コイルの使用範囲も広がった。

アナログからデジタル、さらにソフトウェアによる処理とモバイル遠隔操作に移り変わってきている。渦電流センサーから得られたアナログ信号は探傷盤へと送られて、A/D変換されソフトウェア処理されている。センサーから検出される信号は非常に微弱であるために、探傷電気盤へ送られる経路で減衰や外来ノイズの影響を受け、S/Nが低下する。これを改善するために、センサーからの信号を直ぐにデジタル処理し、それから探傷電気盤に送る技術がすでに実用化されている。また、社内ネットワークがつながっていれば、社内のどこからでも探傷機へのアクセスが可能となり、探傷状況の確認や探傷設定までもが行うことも可能である。**図5**に示すように、探傷画面を立体的な

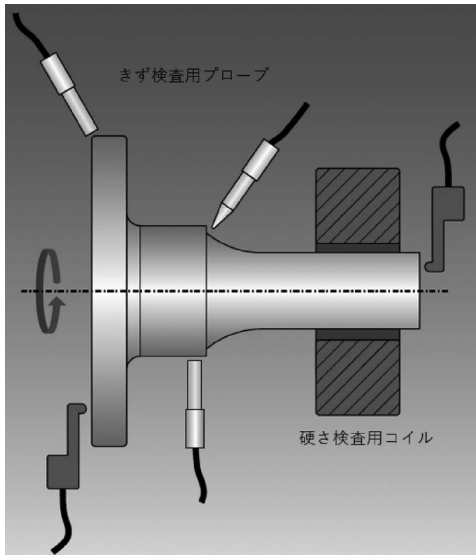


図 3

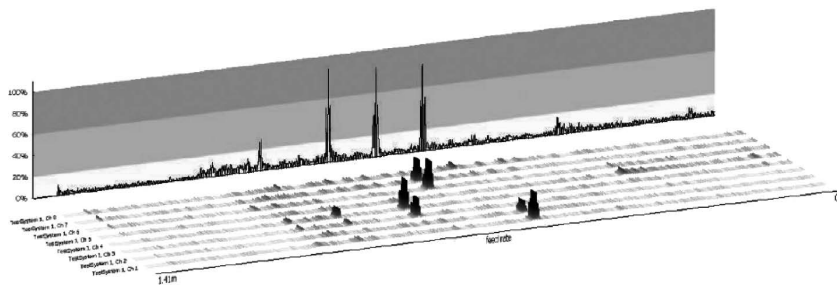


図 4

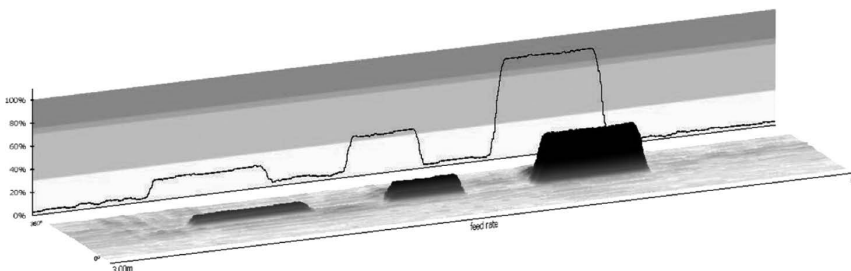


図 5

表示にさせることにより、きずの種類が推測が可能になり、欠陥発生の原因や有害きずか、無害きずかの判断材料にもなる。

◇ あとがき

渦電流探傷機の要素技術は変わらないが、新た

な半導体開発やソフトウェア開発により、機器の一層のコンパクト化や操作性向上が図られている。探傷電気盤でのソフトウェア処理の比重がさらに高まる中、同時にセキュリティー面での対策強化も行われている。近い将来はAI技術との融合でさらに探傷性能が上がることを期待したい。





### 3. 浸透探傷

栄進化学(株) あいごわまいぞう  
茨城工場 化学技術課 相澤 栄三

#### まえがき

浸透探傷試験は、表面に開口した割れなどのきずを検出するための優れた非破壊試験方法として、広く利用されている。試験対象は、金属、非金属を問わず、あらゆる産業分野の素材、機器、構造物等の信頼と安全性を高める表面検査として極めて重要な役割をはたしている。

#### ◇ 浸透探傷試験の原理と種類及び特徴

##### 1. 浸透探傷試験の主な手順と原理

浸透探傷試験は、表面に開口しているきず（割れなど）に、浸透性に優れた着色液体（染色浸透液）や、蛍光染料を溶かした蛍光性液体（蛍光浸透液）を浸透させ、きず中に浸透している浸透液により、試験体表面に指示模様を形成させるための現像処理（加熱又は現像剤を適用）を行い、きず中に浸透している浸透液を表面、現像塗膜中（現像剤の白色微粉末）に吸出し、拡張させ、実際の開口部の寸法よりも拡大された指示模様を形成させ、容易にきずの存在を知ることができる方法である。人間の目の分解能以下の微細な割れなどを数倍～数十倍の大きさに拡大し、識別性を増大させる。これらは、毛管現象やぬれの現象及び知覚性が寄与している。

以下、浸透探傷試験の主な手順（作業の各処理）の概略を図1に示す。

- ①前処理：試験面ときず内を清浄にする。
- ②浸透処理：浸透液を試験面に適用し、十分に

きず内に浸透液を浸透させる。適正な浸透時間が必要である。

- ③除去処理／洗浄処理：きず以外の試験面の浸透液（余剰浸透液）をウエス／除去液または洗浄水等にて除去する。
- ④現像処理：現像剤を適用し、きずの内部に残存している浸透液を吸い出し、拡大した指示模様を形成させる。適正な現像時間が必要である。
- ⑤観察：現像処理後、指示模様の有無を確認し、きず指示模様ときずに起因しない疑似模様とを区別し、きず指示模様の形状、検出したきずの大きさを調べ、合否判定を行う。

##### 2. 浸透探傷試験の種類と特徴

実際の探傷試験では、試験体及び探傷条件等を含め確認し、適正な探傷試験方法を選定する必要がある。浸透探傷試験方法は6種類ある（表1参照）。

###### (1) 観察方法による分類（2種類）

（指示模様／背景＝コントラスト）

###### ①染色浸透探傷試験（赤色／白色）

・観察条件：白色光下、明るい場所、明るさ500lx以上。

###### ②蛍光浸透探傷試験（黄緑色の輝き（蛍光）／暗い）

・観察条件：暗所、紫外線照射灯下、明るさ20lx以下、紫外線放射照度：10W/m<sup>2</sup>以上

\* 検出感度は、蛍光浸透探傷試験の方が高い。

###### (2) 余剰浸透液の除去方法による分類（3種類）

- ①溶剤除去性浸透探傷試験：大形試験体や大形構造物の部分探傷

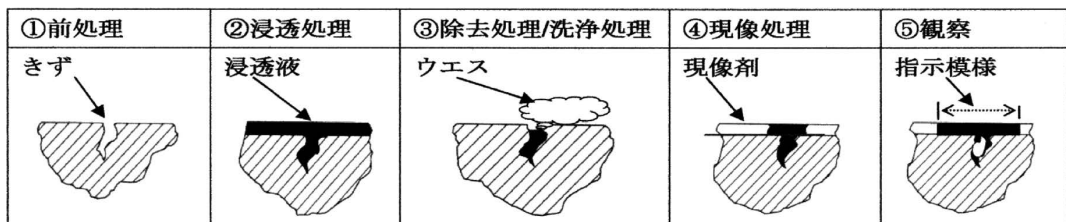


図 1 浸透探傷試験の主な手順（作業の各処理）

表 1 浸透探傷試験の選択例

選択対象項目		浸透探傷試験方法					
		水洗性 蛍光浸透 探傷試験	後乳 化性蛍 光浸透 探傷試 験	溶剤 除去性 蛍光浸 透探傷 試験	水洗 性染色 浸透探 傷試験	後乳 化性染 色浸透 探傷試 験	溶剤 除去性 染色浸 透探傷 試験
きずの種類・ 大きさ	微細な割れ・幅が広く浅い割れ		○			○	
	疲労割れ・研磨割れなど幅が非常に狭い割れ	(○)	○	○		○	
試験体	小形の量産部品・ネジやキー溝など鋭角な隅部	○			○		
	粗い面の試験品	○			○		
	大形部品や構造物を部分的に探傷する場合			○			○
環境条件	試験場所を暗くすることが困難な場合				○	○	○
	水道及び電気設備のない場合			(○)			○

②水洗性浸透探傷試験：量産品の探傷、複雑な形状、あるいは表面の粗い試験体

③後乳化性浸透探傷試験：微細なきず検出が要求される探傷

(3) 現像方法による分類（4種類）

①速乾式現像法 ②湿式現像法 ③乾式現像法

④無現像法（現像剤を使用しない）

(4) 浸透液の感度レベルによる分類

JIS Z 2343-2：2017による浸透液の感度レベルは、染色浸透液では普通感度と高感度の2種類、蛍光浸透液では超低感度、低感度、普通感度、高感度、超高感度の5種類に分けられている。

### ◇ 浸透探傷試験の現状

#### 1. 浸透探傷試験方法の選定

浸透探傷試験の選定は、試験体の重要性、試験体の材質と大きさ及び処理数量、試験面の粗さ並びに予測されるきずの種類と大きさなどから総合的に評価して方法を定める必要がある。表1に一般的な浸透探傷試験の選択例を示す。

2. 主な浸透探傷試験関連の適用規格について  
試験体に要求される適用規格を遵守する必要がある（社内規格、JIS規格、ASTM規格、ASME

規格等の主な関連する規格）。

3. 主な浸透探傷試験方法の操作手順について  
特殊鋼（ステンレス鋼など）の試験体（丸棒、チューブ状、ディスク状、航空機関連など）素材や製品の浸透探傷試験方法の中で広く行われている、3種類の試験方法の主な適用と特徴について示す。

・試験条件：浸透時間5分～30分、現像時間10分～30分

・合否判定：客先、社内規定による。{きず（長さ、深さ）、きず特定（線状、ラップ、介在物、ピット、ブローホールなど）}

(1) 染色浸透探傷試験－速乾式現像法

大形試験体や大形構造物の部分探傷に適す。

(2) 水洗性蛍光浸透探傷試験－無現像法／速乾式現像法

長尺物素材の探傷で多用されており、検査室までの自動装置化も可能である。

①水洗性蛍光浸透探傷試験・無現像法

一般に、無現像法は、素材、製品等の比較的大きなきずの検出に使用される。

②水洗性蛍光浸透探傷試験・速乾式現像法

前述の①の工程に現像処理が追加され、よりきず検出性が高くなっている。航空機関連にも用い

られている方法である（水洗性染色浸透探傷試験においても同一工程）。

#### （3）後乳化性蛍光浸透探傷試験（水ベース乳化剤）－乾式現像法

最も検出性能に優れた探傷方法であり、主に航空機関連の素材、加工製品、保守検査に使用されている。手順においては、前記の（2）②に予備水洗、乳化処理が追加されている。

#### 4. 品質管理

必要な詳細内容を規定して管理する必要がある。

（1）設備、装置（2）探傷剤（3）試験員の試験実施技術と判定能力（4）試験要領書、手順書

#### 5. 安全管理

火災予防、安全衛生、環境への影響などを十分理解し、安全に作業しなければならない。安全データシート（SDS）等を事前に確認する。

### ◇ 最近の浸透探傷試験の動向について

#### 1. 環境等に対応した探傷剤と装置の対応

##### （1）浸透探傷剤

特に化学物質の人体や環境への有害性、危険性

について認識され、使用や管理が厳しくなり、対応した探傷剤が開発（水ベース探傷剤等）されている。

①国内：労働安全衛生法が改正、化学物質について事業場におけるリスクアセスメント等が必要。

②海外：特にEU発による化学物質の規制等。

#### （2）LEDブラックライト（紫外線照射灯）

最近では、従来の高圧水銀灯タイプなどを用いたブラックライトに代わり、紫外線LEDを使用したブラックライトが開発され急激に置き換わっている（水銀を使用しない）。

特徴：軽量・低発熱・即時点灯・低電力・長寿命・高紫外線放射照度、画像処理・画像判定での使用・自動化等。

今後、人や環境に安全で規制対象にならない探傷剤やシステム（リサイクル、処理コストの削減）及び装置の開発、検査の効率化（自動化）としてのロボットやAIの技術開発が進み、人間に代わる観察・評価（精度）、コストも含めた開発が進むと考える。

## 4. 漏えい（洩）磁束探傷

日本フェルスター(株) よし かわ ひとし  
事業企画・開発ユニット 吉川 仁

### まえがき

漏えい磁束探傷とは、棒鋼や継目無鋼管を外部に配置する磁化器で磁化することにより、その表面に存在するきずからの漏れ磁束を磁気センサーによって検出する探傷方法である。きずの深さや大きさによって漏れる磁束量も違うために定量的な検査が可能で、電気的な信号として取り出すことが出来るので自動化が容易に行える。但し、被検査材は強磁性材に限定される。JISに関してはJIS Z2319が1991年制定以来、見直しが行われていなかったが、現状の運用や技術に基づき2018年に改定されている<sup>1)</sup>。

### ◇ 漏えい磁束探傷の原理

直流磁場で説明をする。図1のようにコの字型をしたヨークの両極の間に磁性材を挟み込む。この磁性材には、きずに見立てたスリットが加工されている。ヨークに巻かれたコイルに電流を流し始める。そうするとヨークの一方の磁極から出る磁束は磁性材を貫いて、もう片方の磁極に到達し、磁気ループの閉回路が形成される。コイルに流す電流量を増やしていくにつれて、ヨークから発生

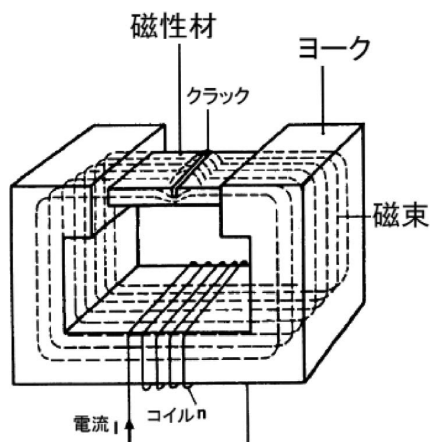


図 1

する磁束密度は増加していき、磁性材が磁気飽和状態近くになると、スリットから磁束が外部に漏れだす。この漏れ磁束を磁気センサーで検出して、その漏れ磁束の強度に応じて評価を行う。これが基本原理である。重要なのは磁束が漏えいするのに必要な強力な磁場を発生させるための励磁電源、高磁束発生磁化器、回転型ならばロスの無い励磁伝達回路である。もちろん、わずかに漏れる磁束を検出する磁気センサーも重要になる。

### ◇ 探傷方式

原理図でも分かるように、きずの方向に対して磁束を直交させる必要がある。きずに対する磁束の横切り角度が浅くなればなるほど漏洩する磁束量が低下してくる。よって、検出したいきずが軸方向か、周方向かによって磁化器及び磁気センサーの位置や配列が変わる。さらに棒鋼ならば外表面だけのきず検出になるので交流磁化方式をとる。交流磁化は表皮効果により、棒鋼表面近傍にのみ磁束を通す特性があるからである。継目無鋼管の場合は、外側表面きずに加え、内径面側の表面きずの検出も必要になってくるので、磁束が全断面に通る直流磁化方式で行う。探傷機と被検査材を含む全体的な機構は、磁化器や磁気センサー、追従機構を含む探傷ヘッドが回転し、被検査材が直進する探傷方式と、外径が大きい鋼片や鋼管を探傷する場合は、探傷ヘッドが静止で、被検査材が回転する探傷方式がある。被検査材がその場回転ならば、探傷ヘッドを被検査材の軸方向に移動させて探傷する必要があるのでガントリーが必要になる。探傷ヘッドはその場に固定された状態で、被検査材をスキュー送りで探傷する方法もある(図2)。

ここで重要なことは、磁気センサー部分が被検査材から離れると漏えい磁束を検出できなくなる事がある。要因は探傷機側の調整不足と被検査材の曲がり、真円度、矯正状態、端面状態等が考え

対象とするきず形態	磁化方式	磁化器・センサーの動き	被検査材の動き	対象被検査材
軸方向きず	交流	回転	直進	棒鋼・鋼管
〃	〃	静止・直進	その場回転	棒鋼・鋼管
〃	〃	静止	スキュー送り	棒鋼・鋼管
〃	直流	回転	直進	鋼管
〃	〃	静止	回転	鋼管
周方向きず	〃	静止	直進	鋼管

図 2

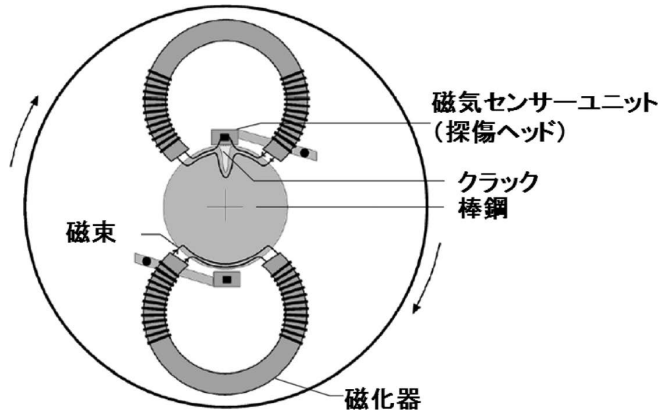


図 3

られる。さらに、探傷ラインの精度によっても探傷に大きく影響を受けるので注意が必要である。

#### ◇ 棒鋼の探傷

渦電流探傷が伸線材や引き抜き棒鋼を対象とするのに対して、漏えい磁束探傷は肌性状の悪い黒皮丸棒鋼を対象とする。棒鋼の探傷は交流磁化方式で図3に示すように180度対向の2組の交流の磁化器と磁気センサーユニットからなり、丸棒鋼の回りを回転する。磁化器に交流（6KHz～10KHz）の電力を印加することにより、磁束が発生して、棒鋼表面を磁化する。磁気センサーはウェアシューという超硬製の板の内側に十数個、実装されており（磁気センサーユニット）、ウェアシューは棒鋼表面に直接、接触して回転している。もし棒鋼表面にきずがあるならば、そこから漏れる磁束を磁気センサーが検出する。回転する探傷ヘッドの角度位置信号と棒鋼の長さ方向の移動信号と磁気センサーの検出チャンネルとを信号処理してきずマッピング処理を行う。これを行うことで、きずが円周上の何度に、軸方向のどの位置に、

何mm連続して存在しているきずか、どうかの判定が可能となる。この信号を利用して、円周16分割のセクターマーキングを行ったり、あるいは、別の機器に伝送することで応用範囲が広がる。

#### ◇ 継目無鋼管の探傷

前述したように継目無鋼管の探傷は、内・外表面のきずを検出するために直流磁化を用いる。さらに軸方向きずに加えて、円周方向きずも検出する必要がある。図4に軸方向きず検出と周方向きず検出の探傷ヘッドのイメージを示す。外表面側のきずも、内径面側の表面きずも、外径側に配置された同じ磁気センサーで、きずを検出する。内径面側の表面きずによる漏えい磁束も外表面側に漏えいするからである。但し、外表面のきずから漏れる磁束の角度よりも、内径面側の表面きずから漏れる磁束の角度の方が、その傾斜が緩やかである。この磁束を磁気センサーが横切った時、この角度の差が検出する信号の周波数の差として表れる。すなわち、内径面側の表面のきず周波数は、外表面側のきず周波数よりも低くなる。探傷電気盤の

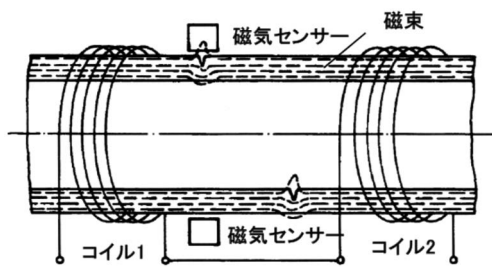
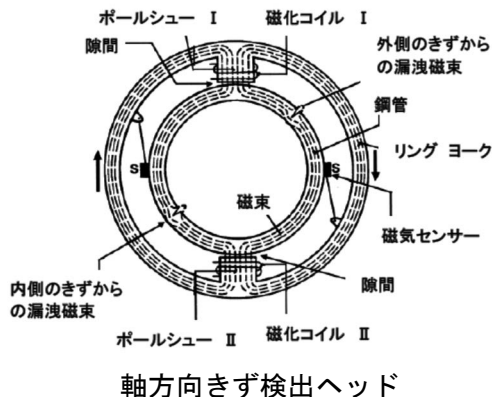


図 4

ローパスフィルターとハイパスフィルターのかけ方によって検出されたきず信号が外表面側なのか、内径面側表面なのかを識別する。きずの検出能は内径面側表面の方が外表面側よりも劣る。なぜなら、外表面側に漏れる内径面側の表面きずからの磁束の量はわずかであるからである。また肉厚が厚くなるほど検出能は低下していく傾向にある。

### むすび

現在、既に直流型漏えい磁束探傷機では最新のセンサーと画像処理技術及び評価技術により、斜めきずや、より細かいきずの種類にも評価を行う探傷技術が開発をされ、実際の現場で運用されている (図5)。今後、AI技術などの最新テクノロジーとの組み合わせで、さらに漏えい磁束探傷の探傷技術は向上していくと思われる。

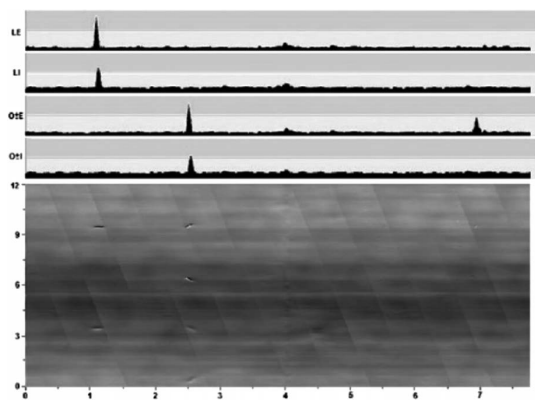


図 5

### 参考文献

- 1) 日本工業規格：JIS Z 2319:2018 漏えい（洩）磁束探傷試験方法

## 5. 放射線透過試験

神鋼検査サービス(株) 検査技術Gr あら き えり こ 荒木 絵里子  
神鋼検査サービス(株) 検査技術Gr まつ もと しん や 松本 真 弥  
神鋼検査サービス(株) 検査技術Gr あげ の つかさ 揚野 東

### まえがき

放射線透過試験は他の非破壊検査方法と同様に検査対象物を破壊することなく、きずの有無・大きさ・形状・位置等を知ることができる技術である。多くの工業分野で広く利用されており、品質保証、開発・調査、コスト低減等を目的に用いられている。今回、検査会社の視点で、放射線透過試験の原理から適用事例を紹介させて頂く。放射線透過試験の適用を検討する際の一助になれば幸いである。

#### ◇ 放射線透過試験の原理

放射線透過試験とは、放射線が物質を透過する現象と、フィルムを感光させる性質を利用して、試験対象物の内部状態をフィルムに投影する方法である。きずや異物を透過した放射線量と健全部を透過した放射線量との差により、フィルム上に濃淡のある透過像を写し出しその濃淡から異常部を識別する。

#### ◇ 試験方法の概要

放射線透過試験では装置から試験対象物に向けて放射線を照射し、対象物の背面に配置したフィルムを感光させる。照射の後、フィルムを現像することにより透過像が得られる。透過像は、異常部と健全部の体積差や比重差が大きいほど濃淡が大きくなり、きずや異物が識別しやすい像となる。試験では異常部の様子を想定し、最も識別し易くなる様、使用する装置や撮影条件、撮影する方向等の試験条件を計画することが重要である。

また、他の非破壊検査方法と大きく異なる点は、装置・機材・試験技術者が揃えば実施できる訳で

はなく、法規に従った安全に関する設備や管理責任者が必要となることである。

#### ◇ 放射線発生装置

エックス (X) 線とガンマ ( $\gamma$ ) 線

放射線透過試験に用いられる放射線は大きく分けてX線と $\gamma$ 線がある。X線は真空管に高電圧を印加し電氣的に発生させる。 $\gamma$ 線は放射性同位元素(例： $^{60}\text{Co}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ )から常時放出されており、この放射性同位元素を線源格納容器から出し入れすることで装置として使用する。X線は電気を使用するため電源設備が無いと発生できないのに対し、 $\gamma$ 線は発生に電源設備が必要ない。常時 $\gamma$ 線を発生させている放射性同位元素は、被爆の観点から取り扱いに注意が必要である。

##### 1. 装置の種類

・工業用X線装置

ほとんどが携帯型のため、試験対象物がある現場での撮影にも対応できる。出力が300kVを超える高出力装置になると更に大きく、重くなるため照射設備内に据え付けて使用するのが一般的になる。

・直線加速型X線装置 (リニアアクセレータ)

直線加速型X線装置は携帯型の工業用X線装置より高い出力が得られる装置で、分厚く大きな対象物の撮影が可能である。据置き型であるため、試験対象物を照射設備内へ持ち込む必要がある。X線発生部分は移動昇降設備に据付けており、照射方向や範囲に制限がある。

・ $\gamma$ 線装置

放射性同位元素を格納容器から出し入れすることで装置として使用する。容器と先端棒を伝送管でつなぎ、放射性同位元素を照射位置に配置した先端棒まで送り出して撮影を行う。撮影時に放射

線源 (線質)	装置出力	透過厚さ (mm)										
		5	10	20	30	40	50	100	200	300	400	
直線加速X線	9MeV							100			300	(350)
	5MeV						50	150				
工業用X線	450kV				30		60					
	300kV		10			40						
	250kV		5	20								
	200kV		3	20								
	100kV			10								
γ線	<sup>60</sup> Co 1850GBq					36		100				
	<sup>192</sup> Ir 370GBq		16				50					

図 1 試験対象物の厚さ-装置出力 適用例 (鉄鋼系材料)

線の発生源となる先端棒は、非常にコンパクトなため、X線装置に比べて狭い場所での撮影に向いている。

## 2. 装置の使い分け

X線及びγ線装置には様々な種類があり、試験対象物の厚さなどに応じて使い分けている。鉄鋼系材料の試験における装置の適用例を図1に示す。

### ◇ 放射線透過写真・画像

#### 1. 放射線透過写真 (フィルム)

X線フィルムは、放射線で感光する感度によって分類される。フィルムの特性上、感度が低いフィルムは感光しにくく長い照射時間が必要になるが、粒度が細かく鮮明な透過像が得られる。一方、感度が高いほど照射時間が短くなるが、透過像の粒度が粗く異常部の識別がしにくくなる傾向がある。試験内容や目的に応じ適切なフィルムを選定する必要がある。

#### 2. デジタル画像

医療分野では早くからデジタル画像が主流になっているが、近年工業分野においてもコンピューテッド・ラジオグラフィやフラットパネルディテクターなど、デジタル化の動きが活発になっている。コンピューテッド・ラジオグラフィ (CR) と呼ばれるデジタル設備ではフィルムと現像機がそれぞれイメージングプレート (IP) とスキャナに置き

換わる。スキャナでIPの画像をデジタル化した後、観察用端末に転送され専用ソフトウェアで処理される。試験時は暗所にて観察用端末を用いて観察するが、一般的な画像データを出力することもできる。画像データを保存・共有できるため汎用PCから簡易的に結果を確認することができる。

### ◇ 観察・評価方法

結果の観察はフィルムでは観察器を用い、デジタル画像では専用ディスプレイを用いて行う。放射線透過試験の評価にはフィルムに対する評価、検査対象物に対する評価がある。

フィルムに対する評価は、検査対象物を評価する事が可能なフィルムであるかを評価する。その評価基準は、JIS/ISO/ASTMなどの規格で規定されている。

検査対象物の評価は、きずの種別判定や合否を判定する事をいう。合否判定基準は、放射線透過試験に関する試験規格では規定されていない事が多く、設計基準や法規から許容されるきずを決める必要がある。

### ◇ 適用事例

これまで弊社で放射線透過試験を実施した試験対象物、検出対象となるきず、製品及び適用規格の一例を表1に示す。



表 1 適用事例

試験対象物	対象となるきず	製 品	適用規格 (撮影方法)
溶接構造物	割れ、ブローホール スラグ巻込み 溶込不良、融合不良 タングステン巻込み	圧力容器 船舶品 建設機械部品 発電設備（ボイラー管）	JIS Z 3104 ISO 17636 ASME Sec.V Art.2 ASTM E1742、E94
鋳造品	割れ、引け巣 砂かみ、介在物	バルブ 建設機械部品 航空宇宙部品	JIS G 0581 EN 12681
調査品	断線チェック 内部液面確認 異物混入 異常膨張 配管内部減肉 部品組立挿入量確認	ヒューズ バッテリー ケーブル 配管 電子部品 鍛造品	無し (都度要相談)

## むすび

放射線透過試験では、フィルムやデジタル画像として試験結果を残す事ができる。他の非破壊検査方法と比べて記録性と客観性での利点が大い反面、想定するきずを検出できる適切な撮影を実施する事が非常に重要である。撮影方法が不適切であっても、きずの写っていないフィルムがあれば

ば無欠陥という結果が一人歩きしかねない。試験対象物を正しく評価するためには、試験の目的や検出したいきずの明確化が最も重要である。

## 参考文献

- 1) (社) 日本非破壊検査協会編. イラストで学ぶ非破壊検査入門. 2011、95p
- 2) (一社) 日本非破壊検査協会編. 非破壊検査シリーズ 放射線透過試験I. 2013、223p

# 6. 超音波探傷

菱電湘南エレクトロニクス(株) 検査計測事業部 松井 晃一  
 検査システム部 検査システム一課 主幹

## まえがき

高い山の中で大声を出すと、遠くの山からこだまが帰ってくる。超音波探傷の原理はこれと同じで、探触子（プローブ）が音を出し、被検体の形状やきずからのこだま（エコーecho）を検知する。

人の声の周波数はおおむね数千Hzである。人の耳が聞くことのできない20kHz以上の音が超音波である。

## ◇ 超音波探傷試験

### 1. 超音波発生原理

超音波発生には、一般に圧電体を用いるのが主流となっている。圧電体として、水晶、ニオブ酸リチウム (LiNbO3)、PZT (PbTiZrO3) などのバルク振動子をもちいる。振動子両面に電極を形成し、分極処理、高周波電圧を掃引することによる厚み縦振動を利用して超音波を発生する (図1)。超音波周波数は、振動子厚みと厚み縦振動の周波数定数によって決まる。振動子の径 (巾) は、超音波の指向性に関与するファクターである。

### 2. 超音波探傷用探触子

図1のような振動子を含む汎用的超音波探触子の構造を図2に示す。どちらも、被検対象物に直接に接触する (直接法) タイプである。

被検対象物表面に対して平行に振動子を配置したものを垂直探触子、一定の角度で振動子を配置したものを斜角探触子と呼ぶ。

斜角探触子では振動子に角度をつけるための補助材としてアクリルを用いる。直接法では探触子と被検対象物との接触面の音響結合のため、接触媒質として水、機械油、グリセリンなどを塗布する。垂直探触子を直接法で用いた場合、被検対象物内部に伝搬する超音波は縦波である。一方、斜角探触子では振動子の角度をコントロールすることにより被検対象物の内部や表面に各種モードの超音波が伝搬する。入射角に対する屈折角は、ス

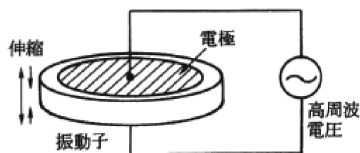


図 1 超音波発生原理

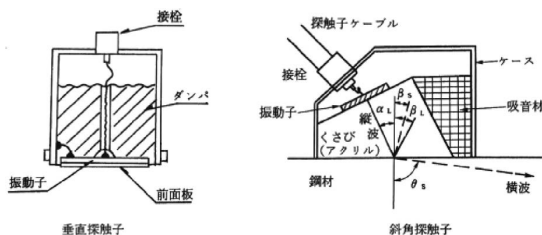


図 2 超音波探触子

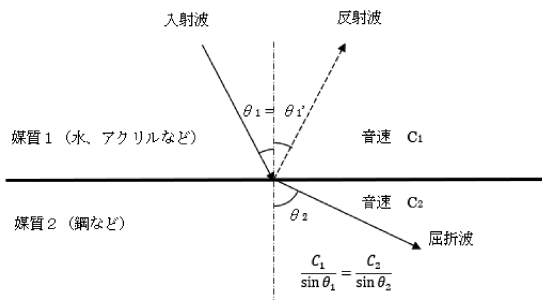


図 3 スネルの法則

ネルの法則により決まる (図3)。

### 3. 超音波のモード

超音波の物質中の伝搬には表1に示す種類がある。これをモードと称する。

振動子から送信される超音波、垂直探触子から送信される超音波は縦波である。斜角探触子では、被検対象物との接触面でスネルの法則に応じた角度で屈折した縦波または横波超音波が伝搬する。横波の音速は一般に縦波よりも遅い。表面波は、被検対象物表面にレイリー波が生じる臨界角度で入射する。

表 1 超音波のモード

種類	振動と伝搬の様子	伝わる物質
縦波	物質中の粒子の動きが波の伝搬方向と平行	固体・液体・気体
横波	物質中の粒子の動きが波の伝搬方向と垂直	固体
表面波	物質の表面を伝搬	液体・固体
板波	薄い板全体が振動	薄い固体

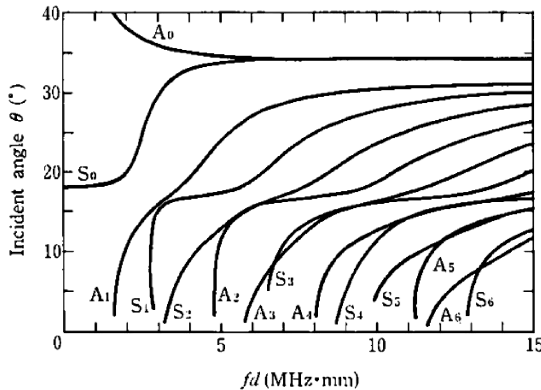


図 4 入射角θと板波fdの関係

板波（ガイド波）は薄い板全体が振動するもので、振動の向きによりSH波によるものとラム波がある。超音波の入射角θと厚みdと周波数fの積の間関係によって振動モードが決まる（図4。図中のSn、Anは振動態の対称・非対称を表す。）。

水をはじめとする液体の音速は、おおむね1,500～2,000m/s、鋼をはじめとする金属では縦波音速はおおむね4,000～6,000m/s、横波音速は2,000～3,000m/sである。参考までに、ジェット機の飛行速度は最大280m/sである。

4. 超音波探傷

超音波探傷には連続波法とパルスエコー法がある。一つの探触子で、きずや形状エコーの位置を計算するためパルスエコー法が多用される。パルスエコー法は、超音波の1/2波長（=1/2f）時間のみ振動子に電圧を印加してパルスを送信し、被検対象物内部からのエコーを受信する。

金属や樹脂などの固体中では超音波の減衰が起る。一般に波長（λ=音速C/周波数f）が短いほど減衰は高い。被検対象物のサイズや材質に応じ、距離減衰係数の低い0.1～20MHz帯が使用される。一般に、樹脂内の減衰は金属内に比較して高い。



図 5 汎用的な超音波探傷の様子

表 2 きず評価法

利用情報	測定方法種類
探触子移動距離	しきい値法、デシベルドロップ法、有効ビーム巾法
エコー高さ	断層探傷法、散乱波法、DGS法、タンデム法、透過反射法
伝搬時間	端部エコー法、散乱波法、表面波法、モード変換表面波法
周波数	周波数分析法、ケプストラム法
画像・映像	断面表示（Bスコープ）法、マップピング（Cスコープ）、開口合成法、ALOK法、TOFD法、ホログラフィ法

表 3 超音波モード応用例

モード	応用例
縦波	医療：腹腔、関節など 産業：溶接、銅片、丸棒、パイプ、厚板、車軸探傷、厚さ測定、ボルト軸力測定など
横波	溶接、圧接、銅片、丸棒、パイプ、厚板、橋梁など
表面波	表面ワレ、位置計測など
板波	薄板、パイプなど

図5に実際の探傷の様子を示す。

きずエコーは、そのエコー高さ、エコーまでの時間（距離）を計測することにより対称箇所健全性が評価される。表2にきず評価法の例を示す。

5. アプリケーションへの応用例

表1に列挙した各モードの具体的な応用例を表3に示す。应用到際には、アレイ探触子やそれに応じたアレイ探傷器が用いられることもある。

## 参考文献

- 1) 川端昭：「超音波圧電振動子とその応用（I）」材料 第22巻（1973）第232号 P96～101
- 2) 米山弘志：「超音波探傷検査技術」鋳物 第65巻（1993）第12号P910～915
- 3) J. クラウトクレーマー／H. クラウトクレーマー：「超音波試験技術」-理論と実際- 社）日本能率協会訳
- 4) 市川文彦、栗田邦夫ほか：「板波超音波探傷の最適条件の検討とその応用」川崎製鉄技報 Vol. 18（1986）No. 2 P192～198
- 5) 小原良和、三原毅：「表面波を用いた超音波非破壊計測」日本材料学会高温強度部門委員会資料
- 6) 横野泰和：「材料中の超音波の減衰の測定」溶接学会誌 第62巻（1993）第7号 P522～527
- 7) 菱電湘南エレクトロニクス株式会社：デジタル超音波探傷器 UI-S9/UI-R1カタログ（2019）



# Ⅲ. 各製品の非破壊検査の現状

## 1. 鋼片

大 同 特 殊 鋼 (株) もり だい すけ  
 技術開発研究所 計測制御研究室 森 大 輔

### 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の多様化に伴い、より高い品質保証が求められている。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を受けることから、半製品である鋼片段階での検査・手入は品質保証上において重要なプロセスとなる。そこで本稿では、多くの鉄鋼各社が採用している角鋼片を対象とした表面および内部検査の紹介と今後の課題について述べる。

#### ◇ 鋼片の表面きず検査<sup>1)</sup>

鋼片の表面きず検査において磁性鋼は蛍光磁粉探傷、非磁性鋼は目視による検査方法が一般的であったが、1990年代以降は各種探傷技術の自動化が進められてきた。実用化してきた例を表1に示す。

#### 1. 自動磁粉探傷装置<sup>2), 3)</sup>

磁粉探傷法は、以下の理由により自動化が急速に発展してきた。

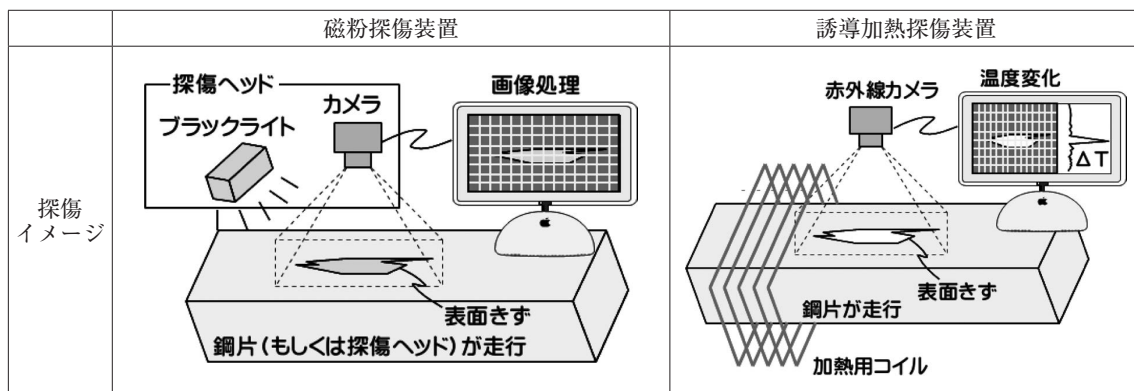
- ・黒皮角鋼片の表面きずに対しては、最小検出きず深さが他の探傷法より優れている。
- ・不連続な断面角形状にも適用可能である。
- ・鋼片形状（曲がり、ねじれなど）の影響を受けにくい。

検査方法は、きず部に付着した蛍光磁粉模様をカメラで撮像し、画像処理をすることできずからの信号を抽出する。自動化の方案として、極間法：鋼片走査-探傷ヘッド固定式と、軸通電法：鋼片固定-カメラ走行式（もしくはカメラを複数台配置）があり、どちらも検出きず深さは0.3mm程度とされている。特に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にくい軸通電法が有効であるが、生産性の観点ではやや劣る。

#### 2. 誘導加熱自動探傷装置<sup>4)</sup>

高周波電流を通电した加熱用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。このとき健全部ときず部で生じる温度変化を利用したのがこの探傷方法であり、鋼片表面の温度分布は赤外線カメラで連続収録される。検出可能なきず深さは約0.4mmとされており、

表 1 鋼片表面きず自動探傷方法



自動磁粉探傷装置と比較すると以下のメリットが挙げられ、主に非磁性鋼のほか、鋳片などの表面きず探傷へ適用されている。

- ・非磁性鋼の探傷が可能である。
- ・設備の導入コスト、消耗品が少なく操業コストが低い。

#### ◇ 鋼片の内部きず検査<sup>1), 5)</sup>

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、ユーザーが期待する高い品質要求に応えるため、断面探傷範囲の拡大や微小きずの検出を目指して開発が進められてきた。表2に主な超音波探傷法を示す。

##### 1. 垂直探傷法+斜角探傷法

中心部を探傷する垂直探触子と表層近傍を探傷する斜角探触子を複数個配置し、探傷範囲を拡大したものである。

##### 2. フェーズドアレイ探傷法<sup>6)</sup>

2000年代以降に普及した方式で、複数の超音波素子を1つのフェーズドアレイプローブとして、それらの素子の送受信タイミングを電子的に切り替えることで、鋼片中の任意の位置に焦点を結ぶことができる探傷法である。メリットとしては1つのセンサーで垂直探傷と斜角探傷が実施できるため較正作業などの管理面が容易になることや、任意の位置に焦点を結ぶことができるため検出能が高い。

#### ◇ 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に対しても、「きず深さの定量化」や「きず種類の特定」などの改善が期待されている。また、近年急速に進化しているAI技術を組み合わせることで、検出能向上に加えて過剰検出抑制に向けた開発も進められている<sup>7)</sup>。

鋼材内部のきず検査では、一般に難しいとされる高減衰（粗大結晶粒）材の探傷が課題として挙げられる。こちらについては、超音波素子を二次元に配列したマトリクスアレイプローブを使った探傷法による探傷性能向上が期待されている<sup>8)</sup>。

今後も製品品質保証要求は高まりを続け、鋼片での非破壊検査の重要性は増すと考えられる。そのため、今まで以上に後工程へ表面きずや内部きずを流出させない保証体制を構築するため、技術開発を継続することが大切である。

#### 参考文献

- 1) 本田正寿：特殊鋼、62巻5号（2013）25-26
- 2) 高田健一：電気製鋼、74巻3号（2003）173-178
- 3) 水野正志：非破壊検査、44巻8号（1995）616-620
- 4) 遠藤敏夫：電気製鋼、74巻3号（2003）161-166
- 5) 松實敏幸：鉄と鋼、79巻7号（1993）823-832
- 6) 樹神啓司：電気製鋼、89巻1号（2018）39-46
- 7) Karim Tout: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 112（2021）3307-3326
- 8) 森永武：超音波部門講演会資料（2021）13-16

表 2 鋼片の超音波探傷方法

	超音波探傷法（1探触子）		フェーズドアレイ探傷法 （垂直+斜角）
	垂直探傷法	斜角探傷法	
探傷イメージ	<p>垂直探触子</p> <p>探傷範囲 鋼片中心</p>	<p>斜角探触子</p> <p>探傷範囲 表層直下</p>	<p>フェーズドアレイプローブ</p> <p>各素子からの超音波送受信タイミングを変えて任意位置に焦点 →垂直+斜角探傷が可能</p> <p>合成波面 焦点位置</p>

## 2. 棒 鋼

愛知製鋼(株) オダキのりお  
銅生産技術部 **鈴木宣生**

### まえがき

棒鋼製品の非破壊検査においては、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。

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に、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。この非破壊検査設備の概略及び、精度向上、維持管理の事例について紹介する。

### ◇ 表面きず検査（MLFT）

#### 1. 検査設備概略

MLFTでは、棒鋼を磁化するヨーク、表面きずからの漏洩磁束を検出するセンサーの組み合わせで検査を実施している（図1 1）参照）。回転するヨークとセンサーの間を棒鋼が直進することで、棒鋼の全長、全表面の表面きずの検査をすることが可能である。

#### 2. 検査精度

MLFTが棒鋼検査に導入された当時の検査精度は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棒鋼を磁化するヨーク、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。

#### 3. 検査精度の維持管理

MLFTでは表面きずからの漏洩磁束を検出するセンサーと棒鋼間の距離（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 2）参照）、どの方法でも棒鋼との接触部分が存在する。

長時間使用すると接触部分が摩耗し、ギャップ量が増える。

一方、検査設備を通過する棒鋼サイズは多種存在するため、摩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増減し、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を

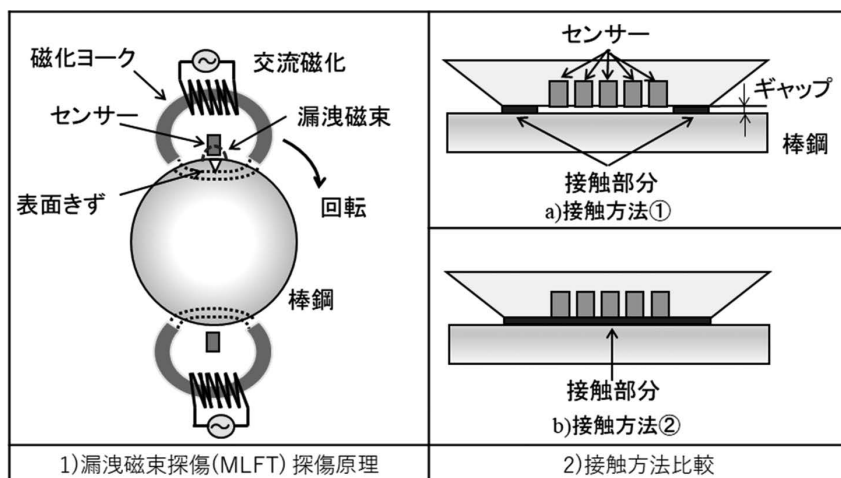


図 1 漏洩磁束探傷（MLFT）

実施している。

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、サイズの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。

### ◇ 内部きず検査 (UT)

#### 1. 検査設備概略

UTでは、棒鋼の全周より超音波を送受信し、内部きずの検査を実施している。垂直探傷と斜角探傷を組み合わせて棒鋼の全断面を探傷している(図2 1) 参照)。

#### 2. 検査精度

UT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)を棒鋼の円周方向に複数配置するマルチ方式が主流であった(図2 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にロータリー方式(図2 2) 参照)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させるため、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(図2 2) 参照)が開発され、積極的に導入が行われている。

#### 3. 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

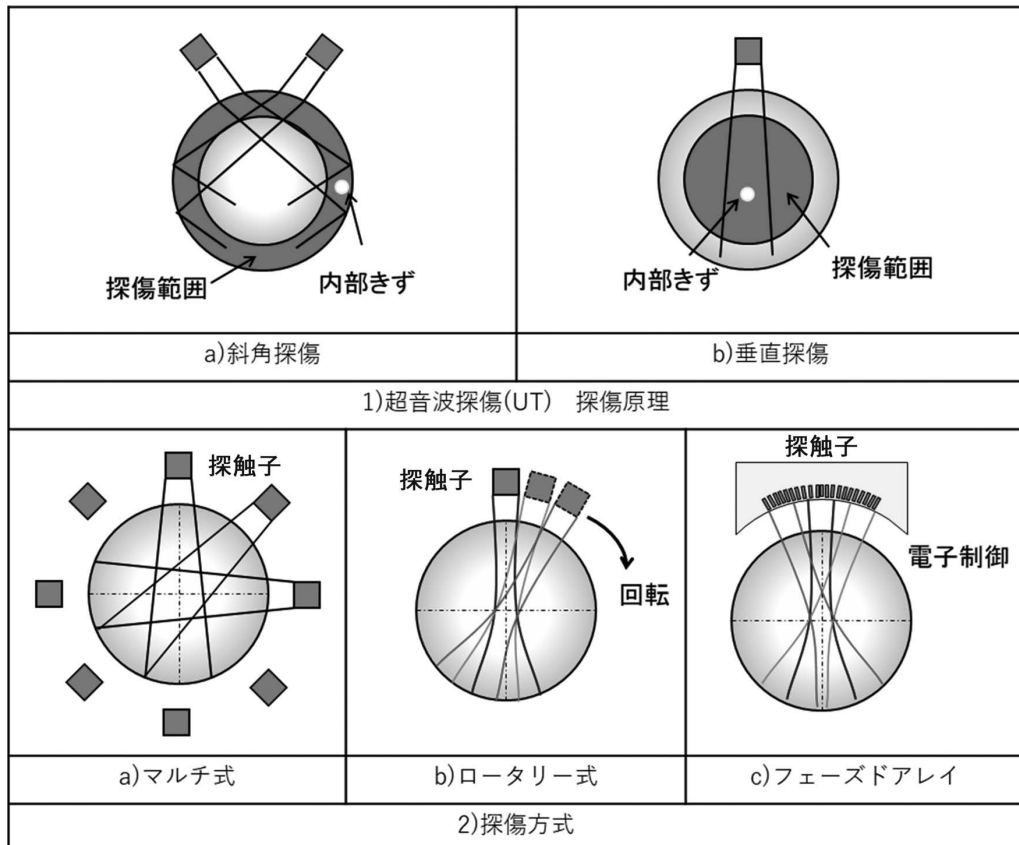


図 2 超音波探傷 (UT)



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。

探傷水の供給量が少ない場合は棒鋼表面と探触子間に多数の気泡や気泡膜が残り、材料中に超音波が入らず探傷できない。逆に多すぎると、探傷水の流れが乱れ、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、集束点が変わるため、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、加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。

#### ◇ 共通する維持管理項目

MLFT、UTともに棒鋼が直進しながら検査を実施する。このため、棒鋼が通過する通り芯の管理は重要となっている。棒鋼はVローラーにより搬送されるのが一般的である。Vローラーの摩耗により通り芯が変化すると、MLFTでは棒鋼とヨークのギャップが変化、UTでは屈折角や集束点が変わる。

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、定期的な通り芯の芯測定を実施している。

#### ◇ 探傷結果の活用

非破壊検査設備導入当初、探傷結果は、ペンレコーダーでチャート紙に記録されていた。チャート紙の記録からでは、読み取れる情報が少なかった。近年、ITの発展により、大容量のデータを高速で処理することが可能になり、探傷結果も電子データで種々の記録を保存でき、かつ、迅速に閲覧することが可能になった。探傷結果の種々の記録から非破壊検査設備の状態や、棒鋼のきずの特徴（発生位置や発生頻度、長さ、連続性）が推測できるようになった。

IoTを活用することにより精度維持管理およびきず情報を製造工程へフィードバックすることでより品質のよいモノづくりに活用されることが期待される。

#### むすび

探傷技術の向上とともに、棒鋼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、検出技術の発展がさらに望まれる。

# 3. 厚板

J F E スチール(株) いいづかめきのり  
 スチール研究所 主席研究員 **飯塚幸理**

## まえがき

厚板は、社会基盤を支える基幹素材として、造船、建築、橋梁、压力容器やエネルギー関連分野など幅広く用いられている。近年、構造物の大型化、安心・安全設計、製作プロセスにおける高効率化、地球環境保全などのニーズに対応して性能向上が図られており、これに応じて非破壊検査技術のレベルアップも進んでいる。

以下、厚板における非破壊検査の現状と実用例、最近の技術事例を紹介する。

### ◇ 厚板の非破壊検査

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（UT）、表面品質については磁粉探傷法（MT）、浸透探傷法（PT）が適用されている<sup>1)</sup>。表面については目視による検査も併用されている。

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 (UT)	内部	ラミネーション 非金属介在物 内部割れ
磁粉探傷法 (MT)	表面 断面	割れ、へげ (微細なきず)
浸透探傷法 (PT)	表面	割れ、へげ (開口しているきず)
目視検査	表面	視認できる表面きず

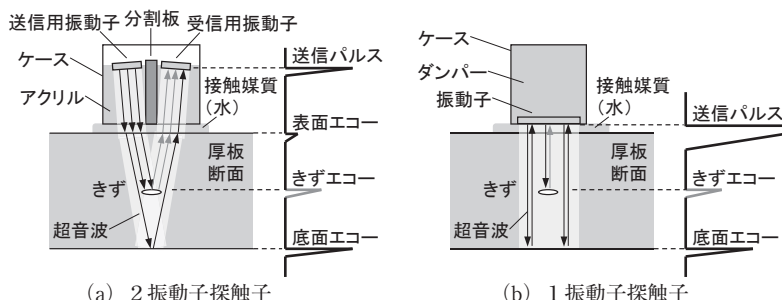


図 1 厚板の超音波探傷の原理

## 1. 超音波探傷法

超音波パルスを厚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。検出されるきずは厚板内部のラミネーションや非金属介在物、板面に平行な例えば水素割れなどである。板厚60mm程度までは主に自動探傷が適用され、寸法、重量条件によって自動探傷が適用できない場合に手動探傷が適用されている。代表的な規格にJIS G 0801がある。

自動探傷は、一般に製造ライン中に据え付けられた大型の装置が用いられる。多くの探触子（例えば128チャンネル）を配列した探傷ヘッドあるいは厚板をコンピュータ制御で移動させながら厚板の全面を自動検査するものである。図1(a)に示される2振動子型垂直探触子が用いられる。性能向上のためにデジタル信号処理を適用した装置も開発されている<sup>2)</sup>。

手動探傷では図1(b)に示す1振動子型垂直探触子が用いられる。

## 2. 磁粉探傷法

磁化器を用いて厚板に磁束を流し、きずがあると磁束が厚板表面に漏れることを利用し、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る。代表的な規格にJIS Z 2320がある。

厚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

開口した表面きずは液体が毛細管現象で浸透することを利用する手法である。検出されるきずは割れなどの開口きずである。代表的な規格にJIS Z 2343がある。

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浸透し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。きず部分が明瞭な色が浮き出するため、カラーチェックとも呼ばれる。

### ◇ 最近の技術開発例

人手に頼る検査は、作業能率や記録の正確性に限界があり、自動化が長年の課題であった。近年、ロボット技術やセンサー技術の発展が目覚ましく、これら先端技術の活用により検査の自動化が急速に進展している。

#### 1. 厚板自走式超音波探傷ロボット<sup>3)</sup>

自走式ロボットと超音波探傷器を組み合わせた厚板自走式超音波探傷ロボットが開発されている。本ロボットには屋内型の高精度自己位置認識システムが採用され、厚板上において移動すべき目標位置と自己位置との差をロボットが認識することで、目標ルート上を自動で移動しながら超音波

探傷を行う。

図2にロボットの外観と、手動探傷との比較を示す。探傷動作から合否判定に至るプロセスを自動化することができるため、検査信頼性をオンライン自動探傷検査と同等まで向上できる。手動探傷と同様に、厚さのある板にも対応できることに加え、検査場運用の柔軟性も備え、作業の自動化・効率化が可能となった。

#### 2. 厚板表面検査装置<sup>4)</sup>

厚板の表面は黒皮と呼ばれる黒い酸化膜で覆われており、黒皮による表面模様ときずとの区別が難しく、熟練オペレータによる目視検査のレベルに匹敵する自動検査技術は確立されていなかった。

これに対し開口性かつ凹形状のきずを対象として表面の自動検査が可能な新しい技術「ツイン投光差分型検査技術」が開発され、製造ラインへの導入が進んでいる。この技術では2方向から異なるタイミングで光を照射し、カメラでそれぞれ撮像する。2枚の画像において、表面模様は平坦であることから陰影の違いはない。一方、凹形状のきずでは陰影が異なる。そこで、両画像の差分を演算すると、表面模様はキャンセルされ、凹形状のきずのみが強調される。

図3に本原理と実用化された装置の概要を示す。きずの向きに対応するために長手方向用と幅方向用の光源を備え、厚板の幅方向に複数台のカメラを配置する構成となっている。きず候補からの判別には機械学習が適用されている。

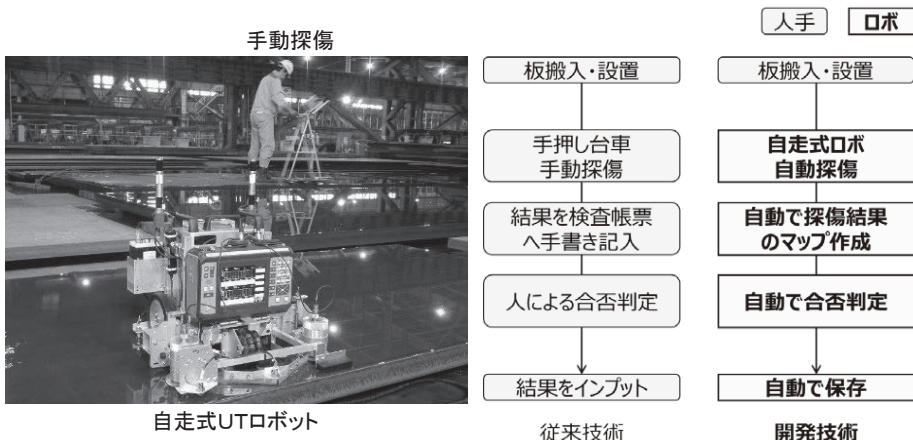


図 2 厚板自走式UTロボット、手動探傷との比較

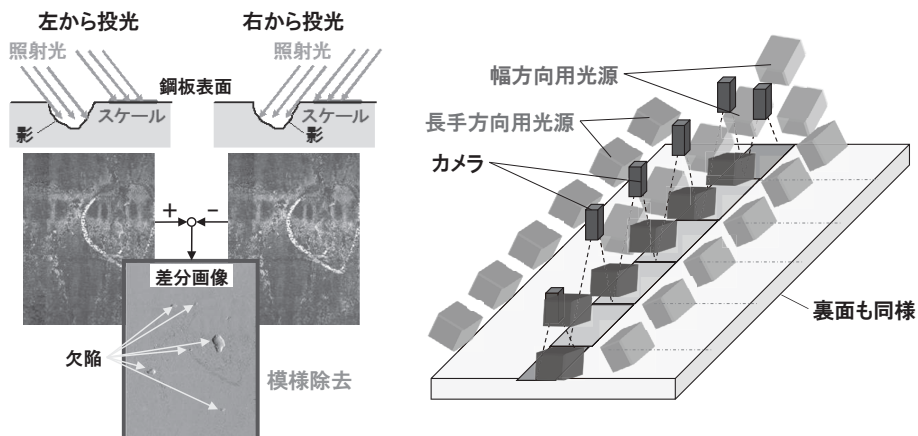


図 3 厚板表面検査装置の原理と構成

### ◇ 今後の展望

近年、深層ニューラルネットワークに代表されるAI（人工知能）技術が著しく発展しており、画像判別能力は既に人の目を超えるレベルになっている。磁粉探傷や浸透探傷については現在でも人手による目視・手動検査で行われているが、今後、ロボット技術とAI技術の適用によりこれらの検査も自動化が進んでいくと思われる。検査データがデジタル化され厚板製造工程における様々な操業データとの一元管理が進むことで、品質作り込み

技術のさらなるレベルアップに貢献していくものと期待される。

### 参考文献

- 1) 鉄鋼協会品質管理部会編：鋼板の超音波探傷法 改訂第3版、日本鉄鋼協会（2007）
- 2) 飯塚ほか：デジタル信号処理を導入した厚板自動超音波探傷装置、NKK技報 No. 167、(1999)、pp. 39-43
- 3) 小林ほか：設備点検・検査自動化のためのロボット自律走行制御、JFE技報 No. 44、(2019)、pp. 34-38
- 4) 松井ほか：鋼材商品の品質を支える新しいQA技術、JFE技報 No. 46、(2020)、pp. 32-37

# 4. 薄板の超音波板波探傷装置の開発事例紹介

日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所計測・制御研究部  
 オナジ マとし ゆき  
 プロセス加工計測研究 研究第一課 課長 鈴 間 俊 之

## まえがき

薄板の内部欠陥探傷に有効な手法の一つに超音波探傷法がある。超音波が鋼材の内部を伝搬する性質があり、内部の異物（介在物や空隙）による反射信号を解析することで、欠陥の存在やその有害度を判定する。薄板を対象とする超音波探傷の場合、板厚が薄いため、垂直探傷や斜角探傷が困難であり、また広い探傷面のすべてに垂直や斜角の探触子を並べることは困難である。そこで鋼板の表面方向を伝搬する波すなわち板波を利用することが一般的である。本報では、当社の開発事例から、板波探傷の精度向上のための信号処理開発事例例や、実ラインにおける、探傷への影響因子の整理と実機装置の更新の歴史について述べる。

### ◇ 信号処理による精度向上の検討の一例

ここでは、薄板材製造工程における検査精度や生産性向上等を目的とした技術・装置の開発について、信号処理手法の開発を中心に述べる。薄鋼板のオンライン探傷装置では、タイヤ探触子を用

いた板波探傷装置が従来からよく利用されている。これは、板の搬送にしたがって長手方向に回転するタイヤの内部に探触子を封入し、鋼板の幅方向に超音波を入射して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て欠陥の有無を評価する装置である。オンライン装置では安定稼動を前提とする場合、ノイズによる誤検出事例を一定頻度に抑える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ない。微小欠陥に対する検出能が不足するという問題があった。これに関して通常より用いられてきた線形フィルターに代わる処理として、先進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た<sup>1)</sup>。

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  $r_j(t)$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) を得て、時刻  $\tau$  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

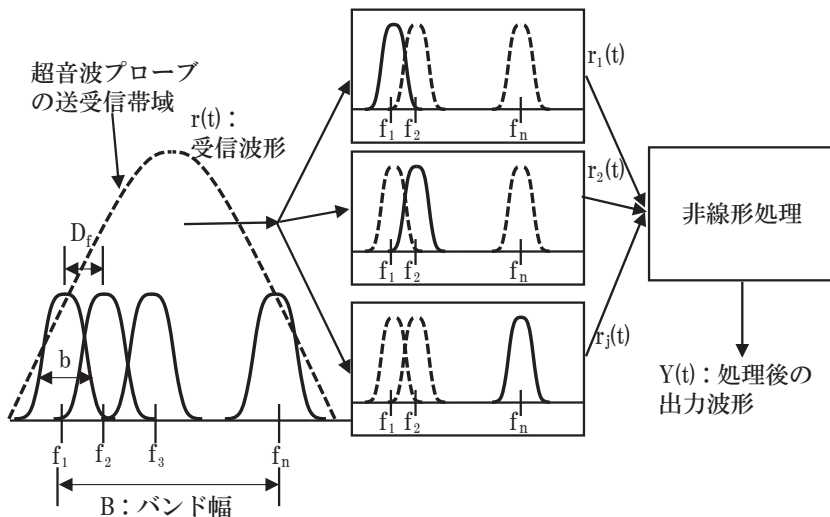


図 1 SSP (Split Spectrum Processing) と呼ばれる非線形フィルタ処理の概要

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場合には、位相がランダムであり正負が混在する確率が高いため、この差を利用することでノイズ除去を効率的に行うという方法である。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 $n$ 、バンド幅 $B$ に対する各フィルターの帯域 $b$ 、第1フィルターの中心周波数 $f_1$ 、中心周波数間隔 $D_1$ がある。SSPフィルターを有効に動作させるためには、まずこれらのパラメータを最適化する必要がある。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てSSPによるSN比向上の程度をもとに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（周波数が増えると板波速度も変化する特性）の影響をなくして検出能を向上させるためである。既設の板波探傷装置から板波信号、PRF（Pulse Repetition Frequency）ごとに探傷信号波形をAD変換して記録したのち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十分な分解能でAD変換するためにサンプリングを20MHzとしている。

実際の自然欠陥は形状や板厚方向の存在位置が多様であるため、それらに対する検出安定性を評

価するために、自然欠陥を有するサンプルについてSSPを用いた実験を行った。図2に、鋼中に発生した2か所の自然欠陥部についての超音波生信号とSSP処理後の波形の例を示す。実験で使用した鋼板は、内部に微小気泡が閉じ込められて鋼板の表面がわずかに盛り上がっていたために目視検査でかろうじて検出・採取できたものである。気泡が長手方向に細長く発生して線上の欠陥群を形成していた。断面観察によれば欠陥部の体積は約 $0.001\text{mm}^3$ オーダーであり、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が、波形例の比較から明らかのように、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、明瞭に各欠陥部を検出できた。なお、一つの波形中の超音波送信エコーとエッジエコーを除いた範囲での欠陥信号振幅値/最大ノイズ値をSN値として定量評価した結果、どの欠陥部においてもSSPによるSN向上を確認できた。

上述の実験により有効性を確認できたため、SSPの処理速度向上を図ってオンラインリアルタイム処理が可能なシステムを開発した。演算数の低減の工夫と高速パソコンの活用により、PRF=500Hzでの処理速度を達成した。

薄板製造工程における製品の検査精度向上に資する開発事例として、アレイプローブを活用した例がある<sup>2)</sup>。板波探傷装置の場合、基本的に全板幅あるいはその半分程度を一度に探傷する方式であり、介在物検出の精度を改善するために新方式

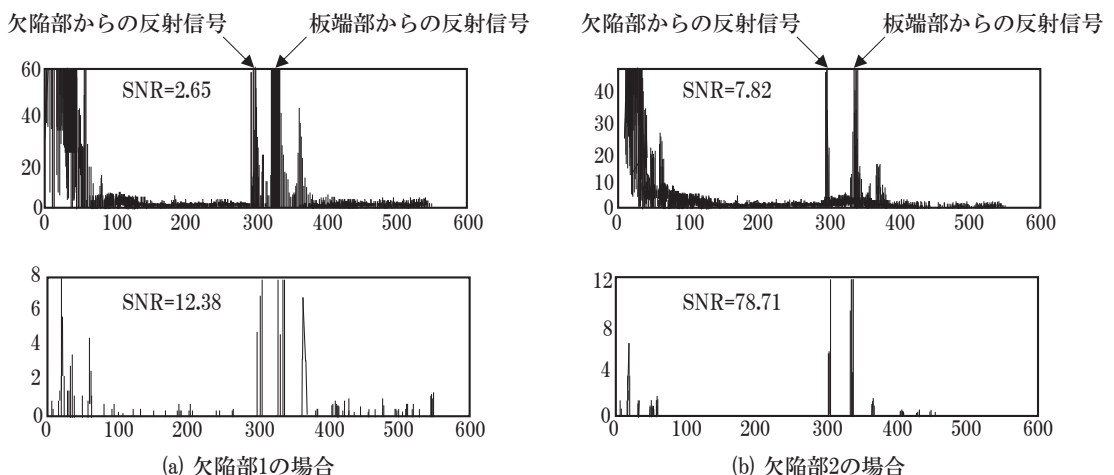


図2 超音波生信号と非線形フィルター処理後の波形例（上図：生信号、下図：処理後信号）

としてリニアアレイプローブを用いた方法が考案されている。具体的には、線収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、検査対象を挟んで対抗配置し、介在物及び検査体の表面または裏からの1回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向上を実現できた。

#### ◇ 特殊鋼薄板材の板波探傷装置開発事例

特殊鋼薄板材の品質保証としては、サンプリングによる清浄性や組織、機械試験値等により実施している。また、非破壊検査としては目視検査による表面清浄確認等に加えて、ユーザーの全長保証ニーズに応えるべく、連続酸洗設備に超音波板波探傷装置を設置して介在物等の内部欠陥を実施している。年々高度化するユーザーからの保証要求に応じていくために、非破壊検査の精度向上に継続的に取り組む必要がある。本章では、超音波板波探傷についての当社の取り組みを述べる。

呉製鉄所における板波探傷は、薄板鋼板の内部欠陥の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きた。最初の探傷装置は昭和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に更新した。表1に装置の主な仕様を示す。当所では連続酸洗ライン通板材のおよそ8割

表 1 UST設備 仕様

適用品種		熱間圧延普通鋼鋼帯 熱間圧延特殊鋼鋼帯
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℃以下
探触子	種類	タイヤ探触子
	CH数	2CH
配置		板幅中央値
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

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からハイテンまで、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。なお、探傷条件は鋼種分類、および板厚ごとにテーブル（入射角、感度補正等）を自動設定し、さらに検査員の常時監視による補正を実施して対応している。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たため、高精度な品質保証を行うために、各材質、板厚に応じた最適な探傷条件の確立を目的とした条件整理の試みを紹介する。

#### (1) テスト方法

材質ごとの欠陥検出能力（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熱間圧延普通鋼、特殊鋼鋼帯のサンプルを採取。
- ②サンプルエッジから170mm位置にドリルにて人工欠陥（貫通穴欠陥）を作製。
- ③人工欠陥から200~600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、および600mm位置での感度余裕値を決定。

#### (2) テスト結果

表2に示すように材質ごとの減衰量および感度余裕値が求められ、これにより探傷条件について、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

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 <sub>2</sub> S <sub>2</sub> or A <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	A <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> S <sub>1</sub> or A <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	A <sub>0</sub> S <sub>0</sub>
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

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	バックエコー	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

た。更新内容について以下に示す。

その後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、平成21年に連続酸洗ラインにおいて板波探傷装置を更新した。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、板厚についても分類ピッチを従来装置の0.1mmから0.01mmとすることで、通板材ごと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により、コイル幅方向未探傷領域の最小化にも有効であった。加えて、当初の板波探傷では検査員が常時監視しバックエコー高さの補正を行う、時間を要する作業であったが、探傷波形の表示ディスプレイをチャンネルごとに1台設置して、バックエコーを同時に明瞭に確認可能とすることでバックエコー

調整時間の短縮が図られた。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作業負荷軽減を図るなど、装置の更新により品質保証能力が向上した。

### むすび

薄鋼板製造工程における内部品質の検査技術の一つとして、超音波板波探傷技術について述べた。今後、検査精度や生産性向上等がますます要求されるため、非破壊検査・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、佐々木聡洋、荒谷誠、鉄と鋼、Vol. 90 (2004)、No. 11、p. 883-889



# 5. 鋼 管

日 本 製 鉄 (株) やま の まさ き  
鋼管事業部 部長代理 山 野 正 樹

## ま え が き

鋼管は油井管、ラインパイプなどのエネルギー分野からメカニカル鋼管に代表される自動車・建機分野まで様々な分野で使用され、且つ重要な部材を構成している。また、近年、過酷環境下で使われる事例が増加するに伴い、非破壊検査が従来以上に重要な役割を担っており、鋼管の品質管理・品質保証の手段として欠かせないものとなっている。以下に鋼管における非破壊検査の現状と最近の技術開発事例について記述する。

### ◇ 鋼管の非破壊検査の現状

鋼管の非破壊検査手法として、内部欠陥検査には、放射線透過試験と超音波探傷試験が、表面近傍の欠陥検査には、渦電流探傷試験、漏えい（洩）磁束探傷試験、磁粉探傷試験、及び浸透探傷試験が適用されている。また、鋼管の内外表面については目視による検査も併用されている。

#### (1) 放射線透過試験<sup>1)</sup>

放射線（X線や $\gamma$ 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り、大径SAW鋼管の溶接部や円周突合せ溶接部の検査に適用されている。画像化にはフィルムに感光させた後に現像する方法とイメージングプレートなどのデジタル検出器を用いる方法がある。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拡がりをもつ欠陥は、小さな欠陥でも比較的検出が容易であり、肉厚10mmの溶

接部などでは、0.2mmのブローホールを検出可能である。

#### (2) 超音波探傷試験<sup>2)、3)</sup>

超音波を鋼管の外周から入射し、内部の欠陥からのエコーを検出するパルス反射方式が一般に適用されている。超音波ビームを管円周方向に伝搬させ管軸方向に伸びた割れ欠陥を検出する円周斜角探傷、管軸方向に伝搬させ円周方向欠陥を検出する軸斜角探傷（図1に例示）、更には鋼管表面と平行なラミネーションを検出する垂直探傷を準規規格、用途などに応じて組み合わせ用いている。

自動探傷時には、超音波センサー（探触子）を鋼管外周面に沿ってスパイラル状の軌跡を描く様に走査させつつ、探傷することで全面全長の探傷を実現している。探傷周波数は1～10MHz程度であり、5～20mm程度の寸法を有するセンサーが用いられている。

#### (3) 渦電流探傷試験

電磁誘導にて生じた渦電流が、鋼管表面（もしくは表面近傍）に存在する欠陥によって変化することを利用した探傷方法である。鋼管探傷時には、被検査材を直進搬送させつつ円環状のセンサーコイル内を通過させる貫通コイル方式（図2に例示）、もしくは、微小なセンサーコイルを鋼管外周面に沿ってスパイラル状に走査する回転センサー方式が広く採用されている。

探傷周波数は1～100KHz程度であり、表皮下数mm程度までの欠陥を検出することができる一方で電磁気特性（透磁率、導電率）が局所変化する

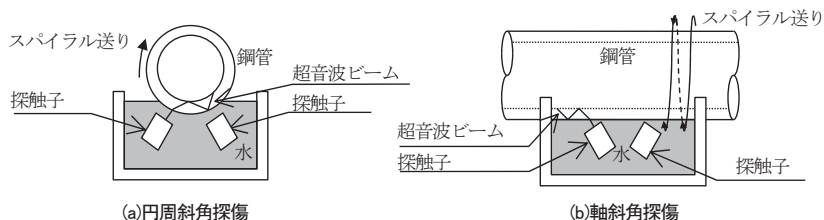


図 1 超音波探傷試験の一例（探触子固定・管スパイラル送り方式の概略図）

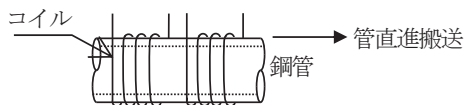


図 2 渦電流探傷試験の一例（貫通コイル方式：自己誘導形・自己比較方式）

る部位や被検査材の形状が急変する部位において擬似信号が発生することがある。

#### ◇ 最近の技術開発事例<sup>4)</sup>

微細センサー加工技術、及びデジタル信号処理技術などの発展が非破壊検査における技術革新の一翼を担っている。超音波フェーズドアレイ、渦電流アレイなどの集積型センサーが製造ラインの非破壊検査設備に実装され、開口合成やFMC/TFM (Full Matrix Capture/Total Focusing Method) などの高度信号処理技術が適用され始めている。

##### (1) 開口合成による欠陥定量評価技術

開口合成はレーダー計測分野で実用化が進む技術である。微小センサーをアレイ状に併設して欠陥からの反射波形を複数の送信／受信センサーの組合せで取得した後に、送受信センサー群と被検査材の幾何学情報、音速情報などを元に被検査材の断層像を再構成することを特徴とする。欠陥寸法や形状を高精度に評価可能とする技術として注目されている。

垂直アレイ超音波センサーを用いた鋼管のラミネーション検査に当該技術を適用した結果、欠陥の発生位置に依存することなく欠陥の面積を定量評価できることが確認されている。また、FMC/TFMは超音波斜角探傷（溶接部検査など）への適用事例が国内外で報告され始めている。

##### (2) 電磁気を利用した全方向欠陥検出技術

鋼管の電磁気探傷（渦電流探傷、及び漏えい（洩）磁束探傷）では、従来、管軸方向と円周方向に伸びた欠陥を検査対象としてきたが、あらゆる方向に伸びた欠陥を高精度に検出可能とする技術開発が進められている。例えば直交する2つの励磁コイルに互いに位相が90度異なる振幅変調波を通電させることでセンサーの指向性を360度回転させる技術が開発されている。また、微小な磁気センサーをアレイ状に配置することで、管軸方向から傾いた欠陥を検出可能とする漏えい（洩）磁束探傷機器も実用化され始めている。

#### ◇ 今後の展望

今後も過酷環境下での鋼管用途が増え続け、鋼管に対する品質保証要求が高まることから、非破壊検査の重要性は増加の一途を辿ると考えられる。検査機器の発展や信号処理の高度化に伴い、欠陥の有無を判定し、品質保証機器として利用するのみではなく、欠陥形状や種類、あるいは分布状況などの情報を元に発生メカニズムを解明し、欠陥の発生自身を抑制する製造プロセスの提案にまで波及展開させることが可能になると期待する。

#### 参考文献

- 1) 鉄鋼協会品質管理部編：鉄鋼製品の放射線試験法 改訂新版、日本鉄鋼協会（2005）
- 2) 鉄鋼協会品質管理部編：継目無鋼管の超音波探傷法 改訂新版、日本鉄鋼協会（2004）
- 3) 鉄鋼協会品質管理部編：溶接鋼管の超音波探傷法 改訂三版、日本鉄鋼協会（2008）
- 4) 山野、鈴間、上田、中尾：鋼管商品の差別化に寄与する非破壊検査技術、新日鉄住金技報（2013）、PP125-130

## 6. 線材

(株)神戸製鋼所 神戸製鉄所 まつ い とも まさ  
線材条鋼圧延部 線材条鋼加工室 松 井 智 政

### まえがき

線材は、自動車産業をはじめ産業機械や電気機器部品、土木建築など幅広い分野で使用されている。線材に要求される重要な特性は、部品の小型・軽量化・長寿命化を目的とした高強度化や部品の加工工程省略、熱間加工から冷間加工への変更など地球環境問題に対応したCO2排出量削減を目的としている。このような観点から、線材に求められる表面品質は厳格化する傾向にある。本稿では、表面品質保証を目的とした各線材製品における非破壊検査の紹介と今後の課題を紹介する。

#### ◇ 線材に適用される非破壊検査技術

線材に使用される主な非破壊検査技術として過電流探傷試験が挙げられる。過電流探傷試験には、回転型と貫通型の探傷方法があり、各探傷方法の特徴は以下の通りである。

##### (1) 回転型渦流探傷試験の特徴

線状疵等の線材軸方向に対して長い疵を検出しやすく、貫通型と比較して探傷精度が高い。一方、探傷プローブが材料を一周する必要があり、貫通

型と比較して探傷速度が落ちる。また、リフトオフを一般的に0.1-0.2mm程度に設定するため、材料径の変更に伴うスリーブの取替が発生するため、生産性がネックとなる。

##### (2) 貫通型渦流探傷試験の特徴

被さり疵等の線材軸方向に対して短い疵を検出しやすく、探傷速度に制限がない。また、高温化で探傷が可能である。一方、回転型と比較して探傷精度（検出疵深さ）が劣る。

#### ◇ 熱間圧延工程への適用

線材の熱間圧延工程における表面疵検査として、貫通型過電流探傷方法が広く適用されている。

これは、探傷速度に制限が無く、線材全長にわたって探傷が可能のためである。また、熱間圧延中に各線材の疵個数をランク毎にリアルタイムに把握できることから、熱間圧延中に発生状況をフィードバックし、疵の大量発生時に次工程への流出を防止できる利点もある。

熱間渦流探傷機の性能は、表1に示す通り、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。

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℃	
	探傷方法	貫通式自己比較型	
	周波数	1~1,000kHz	
	検出能	へげ疵	深さ≥0.15mm
		線状疵	検出不可
	S/N比	S/N≥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	

## ◇ 引抜き加工工程への適用

熱間圧延後の線材における引抜き加工は、部品加工前に寸法精度を向上させるために必要な加工工程である。過流探傷機は、引抜き加工機である伸線機や抽伸機に組み込まれて使用されることが多い。また、引き抜き加工時に線材の表面粗さが改善するため、熱間圧延工程と比較して探傷精度の向上が見込まれる。更に、探傷性能や信号処理技術の改良により、検査の高速化や一般的な探傷深さである疵深さ0.07mmより浅い表面疵を検出に向けた種々取り組みが行われている。以下に各線材製品における探傷事例を紹介する。

### (1) ばね用鋼

ばね鋼に求められる特性として、疲労強度や耐へたり性に優れていることが挙げられる。特に弁ばね鋼は、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なることから、表面疵には非常に敏感である。そのため、表面疵を全長にわたって除去する皮削り工程を行い、伸線・オイルテンパー工程後の最終工程で過流探傷法を採用している。

### (2) 磨き棒鋼

磨き棒鋼は、熱間圧延線材に引抜きなどの2次加工を施し、寸法精度や表面粗さを改善した棒鋼の2次加工製品である。表面品質や真直性に優れていることから、自動車部品、シャフト部品、精

密冷間鍛造用の部品などに使用されている。磨き棒鋼の表面疵探傷方法は、貫通型と回転型の両方が用いられることが多い。取り扱い疵やへげ疵などの短い疵に対して貫通型を用い、線条疵などの長い疵に対して回転型を用いられる。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適用している。

### (3) 冷間鍛造用鋼

冷間鍛造用鋼は、ボルト、ナット、リベット、ねじなどの締結部品や自動車用部品に使用されている。

鋼種の種類が多く様々な形状に加工されるため、用途によって熱処理有無など製造工程が異なる。

冷間鍛造用鋼における表面品質保証システムの模式図を図1に示す。大きく分けて3つの工程(A、B、C)がある。工程Aは、線材を伸線後に冷間鍛造工程まで行い、鍛造品を部品探傷機にて検査する工程である。適用例の多い工程Bは、伸線工程に過流探傷機を設置し、探傷と不良部にマーキングを行う。次工程の冷間鍛造にてマーキング部を識別し、冷間鍛造後にマーキング部の部品を自動的に除去する工程である。工程Cは、伸線工程に過流探傷機による表面疵の検出と疵取り機( ECPS、Eddy Current Partial Shaving )を設置している。過流探傷機で検出した表面疵を疵取り機で部分的に除去することで、高い表面品質を得られることや伸線を中断することなく疵取りできるため、生

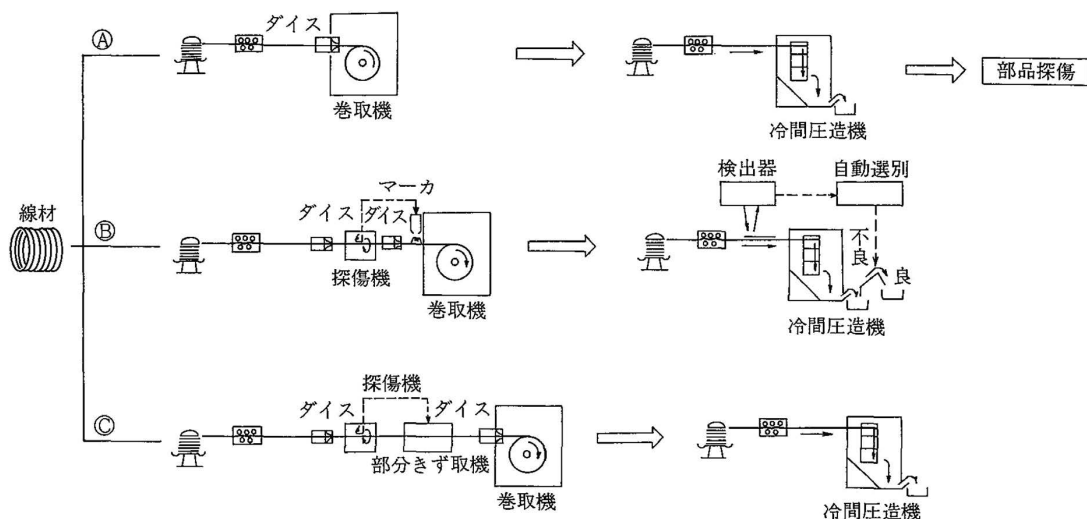


図 1 冷間鍛造用鋼における表面品質保証システム

産性の悪化を最小限に抑えることができる利点がある。一方、疵取り後にある程度の減面率を確保しなければならないことや細径線材は、線が振れやすいため適用することが難しい。

#### (4) 軸受鋼

軸受鋼には軸受の転動体（ボール、ころ）に使用される軸受鋼線、軌道輪に使用される磨き棒鋼があり、高炭素クロム軸受鋼（SUJ2）が多く使用されている。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ることから、高い表面品質が求められる。

そのため、軸受鋼線・磨き棒鋼には全長疵保証が求められることが多く、検出したい疵に応じて貫通型、回転型の渦流探傷機を適用し、表面疵検

査や疵取りが実施されている。

#### むすび

線材への非破壊検査は一般的な技術となり広く適用されてきたが、より微細な疵の検出に向けて貫通型や回転型共に探傷精度の更なる向上が課題となっている。また、新しい検査技術として画像処理やセンサー、AI技術を用いた方法による探傷精度向上へのアプローチも行われているが、多くの課題が残されている。

今後も線材に対する表面品質への要求は厳しくなっていくと思われ、本稿にて紹介した非破壊検査方法における探傷精度向上や新技術の適用により、熱間圧延線材や引抜き線材の表面品質向上に向けた取り組みが進められていくもの考える。



# 7. ステンレス鋼

日本冶金工業(株) 川崎製造所 橋本暢之  
品質保証部 検査課 課長

## ◇ 非破壊検査の必要性

厚板ステンレス鋼板（以下ステンレス鋼板という。）は、他の鋼板と同様に、クラッド用素材や圧力容器、建築構造物などに用いられる。これらの製品においては、使用上問題となる欠陥を検出し混入を防止するために、客先要求や品質保証、品質管理において、非破壊試験が適用される。その中で最も一般的に使用されている試験が、超音波探傷試験である。通常、ステンレス鋼板は、素材の超音波探傷としては、主に垂直法が用いられる。

## ◇ 検出の対象となるきずの種類

超音波探傷試験で検出できるきずは内部きずである。ステンレス鋼板は、溶鋼を精錬した後、鋳造したスラブを圧延し製造する。鋼板内部のきずは、非金属介在物の混入や内部割れなどに起因するものが多く、これらは、圧延により表面とは平行に延伸されるため、表面側から垂直探傷を行うことで検出できる。板厚が薄くなると、不感帯の割合が大きくなるために、一般的に厚さ6mm未満では、垂直探傷は困難である。

## ◇ ステンレス鋼板の超音波探傷試験について

ステンレス鋼板の超音波探傷試験については、一般的には他の鋼板と同様に探傷することができる。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼はフェライト系炭素鋼に比べ結晶粒が大きく、更に溶接部は母材の圧延組織に比べ結晶粒が大きい。このため、結晶粒界での反射、屈折し、散乱による減衰や林状エコーが現れ、きずエコーとの判別が困難になる場合がある。通常、オーステナイト系ステンレス鋼板は、圧延後に熱処理を行い再結晶させることで、結晶粒が小さくなるため、減衰の影響を受けにくく、超音波探傷を行うことが可能である。

## ◇ 探傷規格

ステンレス鋼板に適用される超音波探傷規格については、日本国内では、JIS G0802「ステンレス鋼板の超音波探傷検査方法」が代表的である。この規格は、JIS G0801「圧力容器用鋼板の超音波探傷検査方法」のステンレス鋼板に適用できる項目はそのまま規定し、減衰特性の違いなどの不都合な箇所については、ステンレス鋼の特殊性にのっ

表 1 ステンレス鋼板に適用される主な超音波探傷規格

規格番号	JIS G 0802	ASTM A435	ASTM A578
規格名称	ステンレス鋼板の超音波探傷検査方法	Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates	Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Rolled Steel Plates for Special Applications
板厚範囲	6mm～200mm (200mm超は受渡当事者間の協定)	1/2in. (12.5mm) 以上	3/8in. (10mm) 以上
探触子	周波数：2～5MHz (1MHzは受渡当事者間の協定) 寸法：直径20～30mm、または長辺30mm以下 (厚さにより、二振動子探触子と一振動子探触子の指定あり。)	周波数：2.25MHz推奨。(1MHz未満は購入者の同意が必要) 寸法：直径1in.～1・1/8in. (25～30mm)、1in. (25mm) 角。	周波数：2.25MHz推奨。板厚3/4in. (20mm) 未満は5MHz。(1MHz未満は購入者の同意が必要) 寸法：直径1in.～1・1/8in. (25～30mm)、1in. (25mm) 角。
感度設定	底面エコー高さを表示器の50%に合わせた後、RBSを用いて補正。	底面エコー高さを表示器の50～70%に合わせる。	底面エコー高さを表示器の50～90%に合わせる。
探傷範囲	規格に規定されている範囲より、選択。	規格に規定されている範囲より、選択。	規格に規定されている範囲より、選択。
判定基準	きずのレベルにより軽中重の分類を行い、個数、指示長さ、密集度により判定を行う。	底面エコーが消失する部分が3in. (75mm) または板厚の1/2のいずれか大きい値の円内であれば合格。	底面エコーが消失する部分の大きさによりレベルABCの基準を選択して判定する。

とり作成された規格である。海外規格では、ASTM A435やASTM A578が要求されることが多い。表1にステンレス鋼に適用される主な規格の内容について示す。

### ◇ 自動探傷

手動による超音波探傷の問題点としては、探傷に時間を要する、表面積が大きくなった場合に装置の取り回しが大変である、オーバーラップや探傷速度の管理が必要、欠陥の見逃しの可能性がある等があげられ、これらを改善するために自動探傷装置が用いられる。

当社では、垂直探傷により、ステンレス鋼板を全面自動探傷する設備を導入しているので、その内容について紹介する（装置の外観を図1に示す）。

#### 1. 探傷方法

全面探傷ができる装置には、オンラインテーブル上に探触子を幅方向に複数配置して、その下に鋼板を通過させて全面探傷する方法と、テーブル上に板を置いた状態で探触子をXY方向に移動させて探傷する方法がある。当社では、処理能力とコスト、管理面から判断して、後者を採用した。

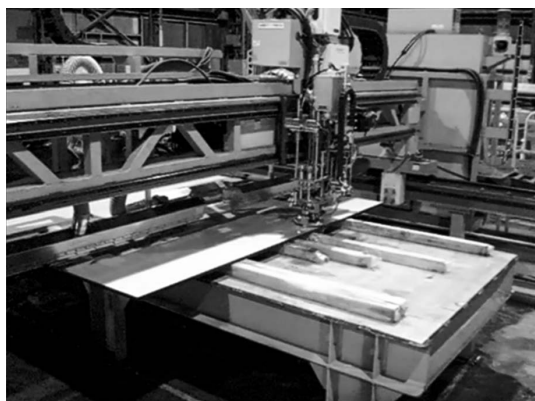


図 1 自動探傷装置の外観

#### 2. 探触子

探触子は、板厚に応じて一振動子と二振動子が使い分けられるが、適用する板厚と検出感度の観点から、二振動子探触子を採用した。そのため、探傷できる板厚は6～60mmとしている。

探傷方式については、水浸法は、板形状の影響や表面粗さの影響を受けにくく、近距離音場の影響を避けることができるというメリットがあるが、水槽の設置が必要であり、材料に付着する気泡を考慮する必要がある等の問題点がある。直接接触法では、水浸法であげた問題点は無いが、逆に形状や表面粗さの影響を受ける。これらを考慮した上で、試験体表面と探触子の間にわずかな間隔をあけ、そこに水を接触媒質として供給して探傷を行う水ギャップ方式を採用した。

#### 3. 評価方法

底面エコー方式、感度補正試験片による感度補正、平底穴を加工した試験片を用いて作成した距離振幅特性曲線を使用した評価も可能である。

#### 4. データ処理

探傷結果については、探傷条件や欠陥の位置、深さ、大きさ、エコー高さ等の情報を接続されたコンピューター内に電子データとして保存し、必要に応じてアウトプットすることが可能である。

### むすび

今回は、ステンレス鋼板に適用される非破壊試験として、超音波探傷試験について述べた。外観では判別できない欠陥の流出を防止するという観点で、超音波探傷試験は有用な検査であり自動化も進められている。ただし、きずの形状や大きさによっては検出が困難なものもあり、検査コスト増など考慮すべき項目も多い。使用用途、目的に応じて、適切な方法、基準で検査するとともに、検出したきず情報より、発生、混入防止のために製造条件の改善を進めていくことが重要である。

# 業界のうごき

## 井上特殊鋼、社名変更 「ISSリアライズ」

井上特殊鋼は、社名を「ISSリアライズ」に変更した。グループ会社も同時に社名を変更。グループでさらなる成長と事業拡大を図る。

井上特殊鋼は1920年創業、51年設立の特殊鋼流通。特殊鋼鋼材や製品の複合加工を強みに、国内15カ所の営業拠点と8つの物流拠点を持つ。ISSホールディングスを持ち株会社とするホールディングス制を敷き、グループ会社に持ち株会社はじめ井上特殊鋼、型打鍛造メーカーの山崎機械製作所、ローリング鍛造を行う富士鍛工、精密加工を手掛けるダイニチ、金属加工の西川機械製作所、非鉄・樹脂加工を得意とするアート・マークなどがある。

1月1日の井上特殊鋼の社名変更にあわせ、グループ会社も社名を変更。山崎機械製作所は「ISS山崎機械」、富士鍛工は「ISS富士鍛」、ダイニチは「ISSダイニチ」、西川機械製作所は「ISS西川機械」、アート・マークは「ISSアート・マーク」となった。(12月7日)

## 三和特殊鋼、ハイス専用切断機導入 金属粉末製品の販売強化

三和特殊鋼は、本社倉庫にアマダマシナリー製バンドソーマシン「HFA250」を導入、稼働を開始した。粉末高速度工具鋼（ハイス鋼）の切断専用を導入したもので、切削工具関連向けをメインに切断スピードアップと精度向上により、ユーザーへの対応強化を図る。

昨夏に特殊鋼専門商社の浅井産業から受託する形で、山陽特殊製鋼の粉末ハイス鋼「SPM30」の切断加工を開始。18-222ミリ径の同鋼種を月間5-6トン常時在庫し、ユーザーニーズに沿った形で切断加工、出荷している。

新たに導入したバンドソーマシンは、ブレード幅を27ミリから34ミリにまでサイズアップできることや、超硬刃も使用可能で、切断スピードを一層向上できるほか、送材機能を自動化し、NCプログラム切断機能による連続切断が自動でできる。当該ハイス鋼の受託加工専門機として活用し、迅速かつ精密切断で、強みを発揮していく。(1月20日)

## 神鋼商事、アルミ加工能力増強 中国新エネルギー車向け、25年40%以上

神鋼商事は、今中期経営計画中の海外アルミ加工事業強化の一環として、中国の新エネルギー車（NEV）向けのアルミ加工能力を増強する。2025年のアルミ材の年間加工数量を21年比で40%以上引き上げる。

中国のNEV向けのアルミ材加工能力の増強では、新工場用地の確保に加え、広幅板材の加工ができるレベラーシャーの導入を進める。NEV向け需要を取り込むほか、自動車の軽量化需要にも対応する。

神鋼商事は23年までの今中計で、中国と東南アジア、北米のアルミ加工事業を強化するほか、中国で液晶・半導体製造装置向け事業とベトナムの厚板加工事業の強化も進める。

液晶・半導体製造装置向け事業の強化では、材料調達と機械加工を手掛ける神商精密器材（蘇州）が、組立や据付を担う企業を4億円で買収し子会社化した。材料調達から据付まで一連のサービス提供で付加価値を高める。(12月16日)

## 豊通、トヨタ米車用電池工場建設地 ノースカロライナ州に決定

豊田通商は、トヨタ自動車の北米事業体であるトヨタ自動車北アメリカ（TMNA）と共同で設立した車載用電池製造会社の工場を米国ノースカロライナ州のグリーンズボロ・ランドル

フ・メガサイトに建設する。投資額は用地、建物の費用を含めて約12億9,000万ドル。名称はトヨタ・バッテリー・マニュファクチャリング・ノースカロライナ（TBMNC）になる。

TBMNCは25年の稼働開始時には、4本のリチウムイオン電池の生産ラインでスタートする。生産能力は1ライン当たり20万台分で、合計で80万台分を確保する予定。将来は生産ラインを6本以上に拡張し、合計で年間120万台分の電池生産を目指す。当初はハイブリッド自動車向けに生産を行う予定。

豊田通商は30年に温室効果ガス（GHG）の排出量を19年比で50%削減し、50年にはGHGネットゼロの目標を掲げ、脱炭素社会への移行に向けた取り組みを続けている。(12月8日)

## メタルワン、IWWIで設備投資 線材二次加工、インドネシアで

メタルワンは、出資するインドネシアの線材二次加工メーカー、アイアンワイヤワークス・インドネシア（IWWI）で新たな設備投資を行う。順次設備導入を行い、2023年度で量産体制を確立する。

IWWIは既存のブカシ工場を拡張し、自動車・二輪部品の素材となるCHQワイヤ、磨棒鋼の一部老朽化した設備の更新を含め、新たに加工設備を導入する。

IWWIはインドネシアの自動車・二輪業界向けに高品質の部品素材を供給してきたが、今回の設備投資によって生産性を高めるとともに、安全衛生面の改善も実施し、一層の安定供給体制を整備する。これらの取り組みを通じて、今後拡大していく需要、多様化・高度化する顧客ニーズに応える方針。

今回の設備投資は日本企業の海外サプライチェーン強靱化に寄与するものとし、経済産業省が実施する



# 業界のうごき

「海外サプライチェーン多元化支援事業」の対象事業として採択されている。  
(12月16日)

## リントツ、半田の太陽光発電拡充 自家消費横展開も検討

リントツは、半田ステンレス加工センター（愛知県半田市）第一工場の屋根南東部に太陽光モジュールを設置し稼働を開始した。第三工場及び駐車場の太陽光発電と異なり、第一工場での発電分はCSRへの取り組みなどを視野に初めて全量を自家消費に充て、今秋をめどに潮干コイル流通センター（愛知県半田市）への横展開も検討。

太陽光パネルは597枚で、設置面積は2,500平方メートル、発電量は約230キロワット。海岸部が近い立地のため、取り付け金具のさび止め塗装などを含め事業は阪和興業に委託。

投資の狙いは日本の温室効果ガス削減目標に貢献するとともに、電気料金上昇リスク回避、契約電力のデマンド削減、パネル設置による遮熱効果、CSRの取り組み、BCP対策（非常用発電5キロワット）で、同事業は「2021年度ストレージパリティの達成に向けた太陽光発電設備の価格低減促進事業」に認定。  
(1月20日)

## 愛知製鋼、鍛造工場新ライン稼働 電動車用駆動ユニット向け

愛知製鋼は、鍛造工場内（愛知県東海市）に電動車用駆動ユニット「eアクスル」向け新品（アウトプットシャフト）の生産ラインを設置し、稼働を開始した。機械加工と冷間鍛造を一貫で行う最新鋭ラインで、生産リードタイム短縮や物流コスト削減を実現するとともに、より完成部品に近い高付加価値な製品提供を図る。投資額は4億5,000万円、月間2万個の生産を見込む。

2050年カーボンニュートラル実現

と将来の生き残り戦略の一環として、今後の需要増が見込まれる電動車搭載部品の新規開発と量産体制整備を積極推進。電動車向け部品に求められている、航続距離を伸ばすための高強度・軽量化や、静粛性確保（ノイズ低減）のための高精度化に、これまでに培ってきた高い鍛造技術で対応する。  
(1月21日)

## 神鋼と三マテ、投資会社に譲渡 コベルコマテリアル銅管の全株式

神戸製鋼所と三菱マテリアルは、合弁会社で国内銅管最大手のコベルコマテリアル銅管（KMCT）の全株式を投資ファンドである丸の内キャピタルの特別目的会社に譲渡する。神戸製鋼所は銅合金管などを造る神鋼メタルプロダクツの全株式も同じ特別目的会社に譲渡。いずれも実行日は2022年3月31日の予定。

KMCTは04年に神戸製鋼所と三菱マテリアルの銅管事業を統合して設立したメーカー。21年3月期の単体業績は売上高が398億円、営業利益は5億1,900万円。従業員数は約300人（21年3月時点）で、原則として当面は雇用を維持する見通し。経営ビジョンと経営体制は今後検討する。

神鋼メタルプロダクツは銅・銅合金管のほか、モールドなどの製造販売を手掛けるメーカー。88年に設立され、21年3月期の売上高は32億円。

神戸製鋼所は戦略投資の収益貢献と不採算事業の再構築を重点施策として実施。  
(12月27日)

## JFEスチール、新純鉄粉を開発 「電磁郎」、軟磁性材料を最適提供

JFEスチールは、アキシヤルギャップモーターに用いる重要素材の圧粉磁心用絶縁被覆純鉄粉「電磁郎」を開発した。JFEグループは世界で唯一、広周波数域に対応できる軟磁性材料のラインアップを確立。モーター

を含むあらゆる電源機器に対してワンストップで最適なソリューションの提供を強化、推進する。電磁郎は東日本製鉄所千葉地区で水アトマイズ法を用いて製造。

電磁郎を用いた圧粉磁心と電磁銅板の鉄損を比較すると、400ヘルツと800ヘルツを超える領域で電磁銅板より鉄損が低いことが分かった。同社は電磁郎を回転数が高いアキシヤルギャップモーターなどの適用に最適な素材として採用を見込む。

軟磁性材料分野はJFEスチールの機能材料研究部とJFEケミカルの研究部門が連携し、強度の向上や研究開発を行っており、今後はナノ結晶粉末など次世代電磁鉄粉の開発を進める。  
(1月28日)

## JX金属、日立市に新工場建設へ ターゲット・圧延銅箔の能力増強

JX金属は、茨城県日立市に半導体用スパッタリングターゲットと圧延銅箔の新工場を建設する。建設費用は2工場合わせて約300億円。スパッタリングターゲットは磯原工場（茨城県北茨城市）などで進行中の増強計画も上積みし、一連の増強に関わる合計投資額は約480億円になる。生産能力はスパッタリングターゲットが2020年度比80%、圧延銅箔が同25%増加。先端半導体や次世代通信分野での需要増に対応する。

スパッタリングターゲットの新工場は日立市北部の工業団地内に建設。溶解および圧延工程を担う。面積は約2万3,000平方メートルで、従業員数は30-40人を予定。22年度下期に着工し、23年度下期の稼働を計画する。

圧延銅箔は同社日立事業所内の白銀地区に新工場を建設。敷地面積は約8,000平方メートルで、仕上げ圧延ラインと脱脂ラインを導入。従業員数は20-25人で、24年度上期稼働を計画している。  
(12月9日)

# 業界のうごき

## 大同特殊鋼、第2世代STC炉発売 省エネ・IoT強化 NOx低減

大同特殊鋼は、第2世代のプレミアムSTC炉を発売するとともに、冷間圧造用鋼線、磨棒鋼メーカー大手の宮崎精鋼から初号機を含む2基を受注した。精密炉圧制御機能など複数の新開発機能搭載で、標準型STC炉（1チャージ20トン）対比で燃料ガスを15%、窒素ガスを30%削減、操業時間の8%短縮と、CO2排出量の11%削減も達成し、IoTやUX（ユーザーエクスペリエンス）機能も強化。燃焼排ガス中に含まれるNOx（窒素酸化物）を低減させるNOxバスターの装備で省エネ性と環境性の両立にも成功した。これらの機能で、同第1世代機種種の販売実績（17台）の倍以上の販売を目指していく。

新STC炉は、省エネ・省CO2、IoTなどネットワーク性や環境性能の向上をコンセプトに開発。バーナー排ガスからの高効率熱回収を可能にする高効率熱交換器のDINCSを、第1世代から引き継ぎ搭載する。（1月28日）

## 日鉄ステンレス、800H開発 ニッケル系耐熱高合金の製造開始

日鉄ステンレスは、ニッケル系耐熱高合金の製造を開始する。新たな高合金製品の製造は同社発足後初めて。このほどASTM規格TYPE800H（800H）の製品化にめどが付き、2022年度からサンプル出荷を開始する。中国向け輸出を主体としており、同国国内での多結晶シリコン製造装置などの需要増を背景に、高合金メニューの拡充でニーズ捕捉を目指す。

800Hは高温状況で優れた強度を持ち、耐酸化に強い耐熱合金の一種。太陽光パネルの原料である多結晶シリコン製造装置に採用される。カーボンニュートラルに向かう中で多結晶シリコン製造装置のさらなる拡大や

その他需要の発生が見込まれ、800Hの需要が今後も期待されており、参入する余地があると判断した。

同社はSUS304などの汎用ステンレス鋼、省合金二相ステンレス鋼、高耐食・高耐熱のステンレスのほか、高合金ではモネルや純ニッケルなどを製造している。（12月23日）

## 日本金属、販価体系抜本見直し アロイリンク導入やエキストラも

日本金属は、資源価格が急激に変動する経営環境下で再生産可能な適正マージンを確保するため、抜本的な販売価格体系の見直しに着手した。ステンレス加工品の販売価格にアロイリンク方式を導入し、ステンレスモール材などでエキストラの設定を検討している。原料やエネルギーなどの価格高騰に伴う母材調達費用上昇分、製造コストアップ分を自助努力で吸収することは難しいことから、体系を見直している。

2021年度上期から、型钢やパイプなどの加工品で、ニッケルやクロム原料価格と連動したアロイリンクによる価格改定方式を導入した。ニッケル価格やフェロクロム市況など原料価格の適用前提条件を四半期単位とし、価格を改定する。ステンレス加工品は半年ごとの個別交渉から四半期単位のアロイリンク適用にシフトすることで、資源市況が販価に反映されやすくなるなど需要家のメリットも大きい。（1月25日）

## 日本製鉄、タイ電炉2社を買収 汎用熱延製品、現地需要を捕捉

日本製鉄は、タイで年産能力約300万トンの電炉熱延製品一貫の2社を最大約880億円で買収する。Gスチール株の49.99%と間接保有分含めGJスチール株の49.90%を4億1,900万ドルで取得、両社を実質支配し、子会社化。残りの株式も最大3億4,400万

ドルで公開買付する。品質を高め、将来の拡張、ゼロカーボン・スチール生産拠点化も視野に入れる。需要の伸びが見込まれる東南アジアで、日系含め製造業の拠点多く展開するタイに上工程からの一貫工程を構築してインサイダー化することで、現地需要を取り込む。

両社は電炉から熱延工程までの一貫メーカー。汎用品の熱延製品をタイ国内の建材向け主体に販売。日本製鉄は両社の製造、販売基盤を生かして生産性や品質を改善し、タイ国内の需要を捕捉する。タイの高級鋼については輸出と現地拠点でカバーしていたが、買収により汎用品への対応を強化する。（1月24日）

## 日本冶金工業、新電気炉が完工 川崎製造所で竣工・起動式開く

日本冶金工業は、約130億円を投じて、川崎製造所（川崎市）で建設を進めてきた70トンの高効率電気炉設備関連工事がこのほど完了し、2022年1月には本格稼働を開始した。21年12月には現地竣工式と起動式を執り行った。

久保田尚志社長は、「新しい電気炉に期待しているのは3つ。原料溶解時間の短縮による製鋼工場のネック工程解消。炉体旋回や電磁攪拌など最新省エネ技術による電力および電極コストの削減と安価原料の使用拡大。ドグハウスによる粉塵・騒音対策といった環境対応と炉体交換方式によるメンテナンスとチャンスフリー化である。総力を挙げて操業技術やノウハウを積み重ね、ハードもソフトも最高の電気炉に育てていく」とした。工事は70トン交流電気炉をはじめ付帯設備などを新設。60トン電気炉2基を70トン新電気炉1基体制に切り替え、能力ネックを解消して生産効率を高める。（12月6日）

文責：(株)産業新聞社

# 特殊鋼統計資料

## 特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力	その他			
'20 暦年	155,917	3,419,635	2,861,119	6,280,754	294,388	646,096	2,172,096	421,126	4,140,987	388,543	8,063,236	14,499,923	
'21 暦年	221,395	4,709,058	3,726,591	8,435,649	374,891	987,441	2,578,832	580,434	4,875,054	493,548	9,890,200	18,547,244	
'19 年度	208,719	4,424,471	3,684,293	8,108,764	371,016	858,786	2,648,575	548,062	5,236,485	483,150	10,146,074	18,463,557	
'20 年度	161,061	3,578,698	2,956,593	6,535,291	309,316	702,538	2,114,557	428,594	4,153,666	397,469	8,106,140	14,802,492	
'21. 1-3月	52,198	1,172,883	945,404	2,118,287	97,499	232,582	616,132	140,585	1,261,801	128,589	2,477,188	4,647,673	
4-6月	56,296	1,201,876	965,482	2,167,358	96,546	260,367	611,090	145,767	1,229,889	120,022	2,463,681	4,687,335	
7-9月	53,928	1,214,051	924,956	2,139,007	97,316	245,647	689,982	154,403	1,223,104	128,188	2,538,640	4,731,575	
10-12月	58,973	1,120,248	890,749	2,010,997	83,530	248,845	661,628	139,679	1,160,260	116,749	2,410,691	4,480,661	
'20年 11月	12,979	356,087	274,536	630,623	32,032	72,584	179,340	44,175	375,623	35,515	739,269	1,382,871	
12月	13,364	365,607	281,755	647,362	29,662	74,242	193,257	44,538	409,351	36,688	787,738	1,448,464	
'21年 1月	15,682	372,859	296,328	669,187	30,002	66,332	204,565	41,230	416,562	40,591	799,282	1,484,151	
2月	16,845	374,034	309,346	683,380	32,617	80,647	199,435	46,797	381,683	41,284	782,463	1,482,688	
3月	19,671	425,990	339,730	765,720	34,880	85,603	212,132	52,558	463,556	46,714	895,443	1,680,834	
4月	18,294	408,808	340,632	749,440	29,946	80,297	212,529	48,060	381,395	37,097	789,324	1,557,058	
5月	19,668	392,952	316,676	709,628	29,719	90,410	180,326	49,210	434,132	45,174	828,971	1,558,267	
6月	18,334	400,116	308,174	708,290	36,881	89,660	218,235	48,497	414,362	37,751	845,386	1,572,010	
7月	18,960	417,239	325,237	742,476	34,012	76,642	220,538	54,553	422,541	34,939	843,225	1,604,661	
8月	16,959	398,938	295,879	694,817	28,703	81,025	229,439	45,315	417,534	44,886	846,902	1,558,678	
9月	18,009	397,874	303,840	701,714	34,601	87,980	240,005	54,535	383,029	48,363	848,513	1,568,236	
10月	20,208	369,718	308,766	678,484	27,164	87,684	203,862	44,520	402,259	42,705	808,194	1,506,886	
11月	19,551	388,574	298,018	686,592	28,799	85,188	222,985	51,302	390,490	32,633	811,397	1,517,540	
12月	19,214	361,956	283,965	645,921	27,567	75,973	234,781	43,857	367,511	41,411	791,100	1,456,235	
前月比	98.3	93.1	95.3	94.1	95.7	89.2	105.3	85.5	94.1	126.9	97.5	96.0	
前年同月比	143.8	99.0	100.8	99.8	92.9	102.3	121.5	98.5	89.8	112.9	100.4	100.5	

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'20 暦年	236,085	4,263,744	846,580	2,974,323	1,048,015	5,137,647	14,506,394
'21 暦年	278,898	6,065,226	856,955	3,846,183	1,081,675	6,424,971	18,553,908
'19 年度	293,237	5,497,480	1,202,234	3,709,327	1,333,238	6,433,580	18,469,096
'20 年度	237,286	4,512,899	780,205	3,099,528	935,791	5,243,680	14,809,389
'21. 1-3月	63,404	1,475,409	223,330	994,566	233,533	1,659,330	4,649,572
4-6月	69,455	1,540,053	217,539	980,346	268,361	1,613,248	4,689,002
7-9月	66,937	1,556,494	199,286	990,216	280,504	1,639,676	4,733,113
10-12月	79,102	1,493,270	216,800	881,055	299,277	1,512,717	4,482,221
'20年 11月	15,719	453,040	48,237	318,676	64,243	483,691	1,383,606
12月	26,021	456,292	65,755	310,240	72,862	517,750	1,448,920
'21年 1月	21,061	441,608	71,368	322,516	68,734	559,604	1,484,891
2月	19,947	483,262	76,603	319,688	69,074	514,532	1,483,106
3月	22,396	550,539	75,359	352,362	95,725	585,194	1,681,575
4月	26,225	496,073	92,222	331,137	87,015	524,889	1,557,561
5月	22,294	511,388	62,109	325,551	92,043	545,306	1,558,691
6月	20,936	532,592	63,208	323,658	89,303	543,053	1,572,750
7月	26,389	529,891	66,699	332,383	77,079	572,669	1,605,110
8月	14,364	490,628	77,787	324,291	102,620	549,717	1,559,407
9月	26,184	535,975	54,800	333,542	100,805	517,290	1,568,596
10月	27,778	505,105	91,285	281,251	104,337	497,663	1,507,419
11月	29,975	524,016	55,264	291,930	101,076	515,593	1,517,854
12月	21,349	464,149	70,251	307,874	93,864	499,461	1,456,948
前月比	71.2	88.6	127.1	105.5	92.9	96.9	96.0
前年同月比	82.0	101.7	106.8	99.2	128.8	96.5	100.6

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

## 特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計		ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'20 曆年	209,727	2,198,378	1,185,987	3,384,365	56,123	314,764	1,229,083	109,383	64,711	85,442	1,859,506	5,453,598	
'21 曆年	245,486	2,716,911	1,455,748	4,172,659	49,883	399,243	1,459,480	124,703	61,853	95,991	2,191,153	6,609,298	
'19 年度	259,702	2,759,143	1,499,742	4,258,885	52,877	356,356	1,413,730	132,161	90,062	96,935	2,142,121	6,660,708	
'20 年度	211,779	2,240,670	1,213,083	3,453,753	55,083	328,523	1,232,187	108,689	56,572	82,995	1,864,049	5,529,581	
'21年 4月	21,847	227,909	135,300	363,209	4,454	34,106	118,314	11,795	4,469	8,088	181,226	566,282	
5月	18,839	214,561	113,363	327,924	3,871	30,746	107,041	9,568	4,632	5,845	161,703	508,466	
6月	23,261	241,012	132,470	373,482	4,388	36,439	127,265	12,066	5,106	9,209	194,473	591,216	
7月	21,522	247,803	124,178	371,981	4,448	36,507	135,351	11,116	5,523	9,450	202,395	595,898	
8月	18,116	212,990	112,670	325,660	3,169	29,515	118,938	9,570	4,331	8,185	173,708	517,484	
9月	20,985	227,116	120,779	347,895	3,781	32,954	128,476	9,386	6,033	9,117	189,747	558,627	
10月	19,072	218,261	113,035	331,296	3,874	32,989	126,427	8,717	5,490	8,061	185,558	535,926	
11月	20,489	225,683	120,299	345,982	4,001	33,090	129,595	10,715	4,807	7,766	189,974	556,445	
12月	19,449	230,330	120,228	350,558	4,147	33,935	134,227	10,219	5,469	7,779	195,776	565,783	
前月比	94.9	102.1	99.9	101.3	103.6	102.6	103.6	95.4	113.8	100.2	103.1	101.7	
前年同月比	101.3	108.2	103.5	106.5	100.8	105.1	121.3	97.4	123.0	98.7	115.2	109.2	

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

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

## 特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計		ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'20 曆年	7,121	227,632	138,579	366,211	23,123	34,242	122,999	27,331	143,334	23,014	374,043	747,375	
'21 曆年	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846	
'19 年度	10,477	244,436	157,976	402,412	22,405	31,778	132,154	28,139	140,036	25,484	379,996	792,885	
'20 年度	6,109	225,231	149,743	374,974	25,103	34,654	118,733	24,034	145,894	22,503	370,921	752,004	
'21年 4月	6,536	245,760	156,815	402,575	21,217	34,341	121,437	28,162	150,477	20,214	375,848	784,959	
5月	7,396	249,939	148,666	398,605	20,701	39,751	129,999	35,089	178,941	28,109	425,590	831,591	
6月	6,023	243,170	146,891	390,061	22,064	36,397	121,106	27,447	155,693	23,875	386,582	782,666	
7月	7,148	247,866	147,957	395,823	24,513	33,689	116,749	27,736	153,976	21,057	377,720	780,691	
8月	7,641	253,595	164,384	417,979	25,740	40,086	139,926	29,602	193,634	26,938	455,262	881,546	
9月	6,073	243,728	147,664	391,392	25,537	39,600	160,821	27,789	171,710	27,676	453,133	850,598	
10月	7,814	237,083	150,207	387,290	22,841	39,610	132,122	26,371	175,837	22,638	419,419	814,523	
11月	7,528	245,739	153,174	398,913	23,423	39,517	139,226	30,425	184,589	17,560	434,740	841,181	
12月	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846	
前月比	107.0	100.4	103.3	101.5	106.5	98.3	103.9	97.2	91.2	129.1	98.7	100.1	
前年同月比	113.1	108.3	114.2	110.6	107.9	113.4	117.6	108.2	117.4	98.5	114.7	112.6	

出所: 経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

## 特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計		ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'20 曆年	65,383	253,328	167,185	420,513	11,503	54,038	203,455	12,278	13,904	6,544	301,722	787,618	
'21 曆年	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560	
'19 年度	78,320	240,274	184,120	424,394	12,436	52,625	178,599	14,953	9,126	9,668	277,407	780,121	
'20 年度	64,494	277,040	177,841	454,881	11,736	53,793	217,355	14,206	16,535	5,470	319,095	838,470	
'21年 4月	63,604	277,061	171,374	448,435	12,001	51,579	218,795	12,503	17,211	5,220	317,309	829,348	
5月	64,976	297,891	186,281	484,172	12,187	57,754	232,390	12,803	18,531	5,664	339,329	888,477	
6月	64,955	305,205	188,693	493,898	12,206	59,161	233,477	11,492	19,138	6,172	341,646	900,499	
7月	66,794	314,980	188,484	503,464	12,050	58,150	237,478	11,217	19,413	6,339	344,647	914,905	
8月	69,325	334,251	196,255	530,506	11,890	62,703	242,242	10,994	19,740	7,018	354,587	954,418	
9月	72,710	349,674	197,482	547,156	11,773	62,794	247,590	13,659	19,613	7,066	362,495	982,361	
10月	75,162	368,533	202,570	571,103	11,712	65,074	260,217	14,519	19,328	7,935	378,785	1,025,050	
11月	75,441	359,128	195,371	554,499	12,075	59,161	259,914	14,606	18,347	7,182	371,285	1,001,225	
12月	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560	
前月比	103.5	98.3	103.8	100.2	98.3	111.3	100.7	96.6	98.5	111.0	102.3	101.2	
前年同月比	119.4	139.3	121.3	132.2	103.1	121.9	128.7	114.9	130.0	121.8	125.9	128.7	

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

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

### 特殊鋼鋼材の輸出入推移

#### 輸出

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼					その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	快削鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	合金鋼	計		
'20 曆年	29,024	265,564	383,431	648,995	130,574	777,330	83,044	59,199	1,050,147	3,072	4,101,391	4,104,463	5,832,629	
'21 曆年	41,270	437,028	558,747	995,775	198,944	846,814	122,324	73,541	1,241,624	2,866	5,394,962	5,397,827	7,676,496	
'19 年度	35,063	353,608	527,588	881,195	174,665	925,925	95,132	74,822	1,270,544	3,858	5,014,950	5,018,808	7,205,611	
'20 年度	30,661	286,158	400,957	687,115	139,795	757,172	88,335	64,008	1,049,310	2,961	4,065,480	4,068,440	5,835,525	
'21年 3月	3,125	40,425	51,136	91,561	16,263	81,725	14,173	6,782	118,943	292	478,149	478,441	692,070	
4月	3,349	34,237	53,406	87,642	18,100	74,679	9,205	3,662	105,647	240	471,003	471,243	667,881	
5月	3,363	32,257	44,283	76,540	15,818	61,222	5,746	6,285	89,070	137	439,396	439,533	608,507	
6月	5,848	47,347	48,046	95,394	18,711	74,503	14,425	5,122	112,761	212	460,517	460,729	674,732	
7月	3,546	35,819	47,719	83,538	19,063	67,642	9,126	6,325	102,156	274	493,546	493,820	683,060	
8月	2,588	36,713	42,721	79,434	15,501	65,556	10,709	7,953	99,720	258	482,599	482,857	664,600	
9月	3,047	40,018	52,272	92,290	19,512	79,370	11,178	5,856	115,917	360	459,791	460,151	671,405	
10月	3,449	35,615	47,791	83,406	18,586	69,343	12,617	5,938	106,484	194	466,887	467,081	660,420	
11月	3,721	37,313	37,809	75,122	15,320	70,895	8,252	5,641	100,108	316	427,025	427,341	606,292	
12月	3,488	33,521	47,089	80,610	14,266	76,112	12,263	3,763	106,404	240	410,537	410,778	601,279	
前月比	93.7	89.8	124.5	107.3	93.1	107.4	148.6	66.7	106.3	76.1	96.1	96.1	99.2	
前年同月比	156.0	103.7	124.5	115.0	99.0	112.9	112.9	76.6	109.0	88.4	113.1	113.1	112.8	

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

#### 輸入

(単位：t)

年月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					快削鋼	その他の鋼			特殊鋼鋼材合計	
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管		計	高炭素鋼	合金鋼		計
'20 曆年	4,425	8,681	481	11,582	7,806	182,037	15,644	217,550	226	5,508	378,421	383,929	614,813
'21 曆年	3,425	7,333	282	12,394	11,674	237,726	18,602	280,679	323	7,765	274,257	282,022	573,782
'19 年度	4,566	8,270	575	14,214	7,762	198,515	15,501	236,568	283	8,259	476,144	484,403	734,090
'20 年度	3,570	8,042	435	11,445	8,396	188,470	15,730	224,477	250	6,395	358,609	365,004	601,343
'21年 3月	266	582	28	838	702	21,712	1,541	24,821	35	991	36,441	37,433	63,137
4月	207	950	18	998	1,104	17,196	1,600	20,916	15	575	43,745	44,320	66,408
5月	336	321	45	878	1,011	21,077	1,378	24,389	62	1,019	22,771	23,790	48,898
6月	332	732	15	1,256	1,026	18,514	1,450	22,260	-	758	20,181	20,939	44,263
7月	256	519	27	1,156	1,091	18,514	1,626	22,413	51	503	12,597	13,100	36,339
8月	245	354	26	778	717	18,001	1,724	21,246	18	1,065	20,811	21,876	43,739
9月	447	396	16	1,579	1,008	20,378	1,746	24,727	41	432	17,529	17,961	43,572
10月	164	641	25	979	937	21,309	1,370	24,620	13	128	20,057	20,185	45,623
11月	313	788	16	840	1,283	17,525	1,782	21,446	・	772	16,357	17,130	39,677
p 12月	438	1,069	17	1,220	1,387	24,700	1,799	29,123	29	235	15,406	15,641	46,300
前月比	139.7	135.6	107.9	145.2	108.0	140.9	101.0	135.8	-	30.4	94.2	91.3	116.7
前年同月比	175.1	107.5	32.9	136.0	143.1	169.8	122.0	162.3	77.9	45.2	63.9	63.5	105.6

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p:速報値

### 関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	ブルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック			
'20 曆年	8,067,943	1,037,731	3,740,832	259,879	4,598,615	779,300	-	180,833	108,419	8,267	95,570	46,022	9,018
'21 曆年	-	-	3,818,910	379,007	4,448,340	765,762	-	222,252	119,477	11,205	102,086	55,176	15,414
'19 年度	9,489,302	1,196,578	4,714,027	318,555	5,038,727	852,328	-	190,374	111,917	9,935	104,036	47,879	10,995
'20 年度	7,969,529	1,064,697	3,670,709	275,189	4,656,632	790,406	-	184,423	105,357	8,732	94,870	50,322	9,885
'21年 3月	869,937	120,010	r 395,662	36,579	613,003	101,087	-	19,777	10,878	802	7,981	6,611	1,279
4月	721,363	107,614	355,659	33,988	349,894	61,049	-	19,490	9,105	804	8,029	3,413	1,240
5月	502,828	77,156	267,079	27,841	319,318	57,439	-	16,105	9,293	775	8,657	2,822	1,239
6月	737,420	106,980	360,669	32,794	365,631	68,520	-	20,474	11,479	959	8,524	4,123	1,321
7月	r 730,430	r 111,045	r 374,889	r 38,038	377,448	67,514	-	18,960	10,951	1,077	8,597	3,661	1,350
8月	r 480,613	r 71,028	r 252,154	r 27,390	319,697	55,517	-	15,161	7,901	911	8,393	4,041	1,259
9月	r 430,593	r 79,263	r 200,025	r 25,999	318,371	60,879	-	18,945	10,481	1,115	8,389	4,628	1,406
10月	r 515,250	r 80,603	r 246,189	r 29,289	279,341	48,366	-	20,078	10,708	1,115	8,708	3,777	1,492
11月	756,625	103,409	342,078	32,028	352,455	60,404	-	20,134	11,332	1,195	9,003	4,044	1,454
12月	-	-	381,925	37,617	336,442	55,806	-	19,619	10,218	1,053	9,324	5,559	1,392
前月比	-	-	111.6	117.5	95.5	92.4	-	97.4	90.2	88.1	103.6	137.5	95.8
前年同月比	-	-	103.0	124.7	88.6	87.1	-	115.2	117.1	143.5	105.8	145.2	140.6

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、

新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、

軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、

建設機械生産、産業車輛生産は(一社)経済産業省生産動態統計、

機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、

工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r:訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2021年12月分

鋼種別	項目	月別					
		実数 (t)	前月比 (%)	前年同月比(%)	2015年基準指数(%)		
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産	19,214	98.3	143.8	93.2		
	鋼材輸入実績	438	139.7	175.1	141.9		
	販売業者	受入計	22,098	106.4	113.7	81.9	
		販売計	19,449	94.9	101.3	74.0	
		うち消費者向	16,013	94.1	99.1	84.6	
		在庫計	78,090	103.5	119.4	132.2	
	鋼材輸出船積実績	3,488	93.7	156.0	73.2		
	生産者工場在庫	8,055	107.0	113.1	97.1		
	総在庫	86,145	103.8	118.8	127.9		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産	645,921	94.1	99.8	94.4	
販売業者		受入計	351,779	106.8	101.8	53.8	
		販売計	350,558	101.3	106.5	53.6	
		うち消費者向	278,430	101.5	105.9	63.4	
		在庫計	555,720	100.2	132.2	157.9	
鋼材輸出船積実績		80,610	107.3	115.0	98.1		
生産者工場在庫		404,877	101.5	110.6	115.7		
総在庫		960,597	100.8	122.1	136.9		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産	27,567	95.7	92.9	76.7	
		鋼材輸入実績	1,069	135.6	107.5	262.3	
	販売業者	受入計	3,936	90.2	101.3	18.6	
		販売計	4,147	103.6	100.8	19.8	
		うち消費者向	2,919	103.7	119.4	62.8	
		在庫計	11,864	98.3	103.1	97.2	
	鋼材輸出船積実績	14,266	93.1	99.0	90.7		
	生産者工場在庫	24,939	106.5	107.9	96.6		
	総在庫	36,803	103.7	106.3	96.8		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産	234,781	105.3	121.5	102.2	
鋼材輸入実績		29,123	135.8	162.3	201.3		
販売業者		受入計	136,176	105.3	112.9	54.3	
		販売計	134,227	103.6	121.3	53.4	
		うち消費者向	68,399	103.1	118.5	122.3	
		在庫計	261,863	100.7	128.7	191.6	
鋼材輸出船積実績		76,112	107.4	112.9	86.8		
生産者工場在庫		144,605	103.9	117.6	125.5		
総在庫		406,468	101.8	124.5	161.4		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産	43,857	85.5	98.5	85.5	
	販売業者	受入計	9,726	90.0	87.0	68.8	
		販売計	10,219	95.4	97.4	71.0	
		うち消費者向	9,770	94.8	96.9	70.2	
		在庫計	14,113	96.6	114.9	104.3	
	鋼材輸出船積実績	12,263	148.6	112.9	128.2		
	生産者工場在庫	29,563	97.2	108.2	106.5		
	総在庫	43,676	97.0	110.3	105.8		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産	367,511	94.1	89.8	89.0	
		販売業者	受入計	5,196	135.8	96.1	50.5
販売計			5,469	113.8	123.0	53.8	
うち消費者向			4,629	120.9	128.4	69.1	
在庫計			18,074	98.5	130.0	164.9	
生産者工場在庫		168,305	91.2	117.4	88.7		
総在庫		186,379	91.8	118.5	92.9		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産	117,384	99.6	105.8	84.8	
		販売業者	受入計	49,207	143.9	119.4	121.4
			販売計	41,714	102.1	103.8	102.9
	うち消費者向		39,437	101.0	103.2	107.3	
	在庫計		73,836	111.3	121.9	139.0	
	生産者工場在庫	61,502	107.8	107.4	88.9		
	総在庫	135,338	109.7	114.9	110.7		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	1,456,235	96.0	100.5	92.6	
		鋼材輸入実績計	46,300	116.7	105.6	57.0	
		販売業者	受入計	578,118	108.5	105.6	56.8
販売計			565,783	101.7	109.2	55.6	
うち消費者向			419,597	101.4	107.3	72.8	
在庫計			1,013,560	101.2	128.7	159.0	
鋼材輸出船積実績計		601,279	99.2	112.7	93.5		
生産者工場在庫		841,846	100.1	112.6	107.1		
総在庫		1,855,406	100.7	120.9	130.4		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算。

(注) 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの、生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれに含まない。

# 倶楽部だより

(2021年12月1日～2022年1月31日)

## 海外委員会

説明会 (12月15日・日本鉄鋼連盟主催)  
演 題：地域的な包括的連携 (RCEP) 協定  
発効にむけて～RCEPの原産地規則  
について  
講 師：経済産業省 通商政策局 経済連携課  
佐藤 氏、柴 氏  
方 式：オンライン配信

## 市場開拓調査委員会

調査WG (12月20日・Web会議)  
2021年度調査事業の中間報告について

## 特殊鋼PR展示・講演会WG

第8回高機能金属展 東京展に協賛すると共に  
ブースを出展 (12月8～10日)  
第8回高機能金属展 東京展において技術セ  
ミナーを開催 (12月9・10日)

## 講演会 (12月17日)

演 題：新勢力ブランドのクルマづくりと  
マーケティング (中国・NIO社等の  
事例)  
講 師：(株)現代文化研究所 市場戦略情報第  
2領域 主任研究員 八杉 理 氏  
方 式：オンライン配信  
申込者：約100名

## 講演会 (1月28日)

演 題：主要国 (日欧米) における自動車運  
転の動向～主要プレイヤーの取組み  
紹介～  
講 師：(株)現代文化研究所 市場戦略情報第  
3領域 主事研究員 佐藤 駿一 氏  
方 式：オンライン配信  
申込者：約60名

## 編集委員会

本委員会 (12月16日・Web会議)  
①委員交代の報告  
②2022年5月号特集「特殊鋼と窒化 (仮題)」  
の編集方針、内容の確認  
③2022年1月号以降の表紙デザイン決定の報告

小委員会 (1月24日・Web会議)  
2022年7月号特集「機械学習による特殊鋼の  
進化 (仮題)」の編集内容の検討

## 人材確保育成委員会

2021年度特殊鋼教養講座4回目 (12月15日)  
テーマ：鉄鋼業の歴史と先端技術による未来  
への挑戦  
講 師：(一社)特殊鋼倶楽部 専務理事  
脇本 真也  
方 式：オンライン参加  
受講者：67名 (2地区)

## 流通委員会

説明会 (12月27日)  
演 題：2021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 金属課  
課長補佐 佐藤 俊輔 氏  
方 式：オンライン同時配信 (東京・名古屋・  
大阪3地区)  
参加者：95名

## カーボンニュートラルWG

第6回会合 (12月9日・Web会議)  
第7回会合 (1月25日・Web会議)

## ミルシートWG

第3回会合 (12月2日・Web会議)

## [大阪支部]

講演会 (12月6日・三団体共催)  
演 題：「取材現場から」—私の出逢った人た  
ち—  
講 師：作家・僧侶 家田 莊子 氏  
方 式：オンライン+対面  
申込者：80名

説明会 (12月27日・全特協との共催) 再掲  
演 題：2021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 金属課  
課長補佐 佐藤 俊輔 氏

方 式：オンライン配信  
参加者：27名（大阪地区参加）

参加者：35名（名古屋地区参加）

[名古屋支部]

部会

企画部会（1月24日・オンライン）

総会後の講演会講師決定

説明会・講演会

説明会（12月27日）再掲

演 題：2021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 金属課  
課長補佐 佐藤 俊輔 氏

方 式：オンライン配信

講座、研修会、セミナー等

2021年度特殊鋼教養講座4回目（12月15日）

テーマ：鉄鋼業の歴史と先端技術による未  
来への挑戦

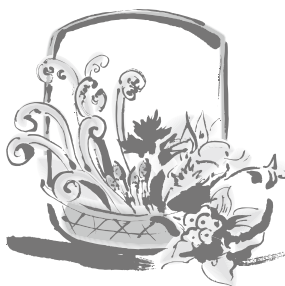
講 師：（一社）特殊鋼倶楽部 専務理事  
脇本 真也

方 式：オンライン参加

受講者：11名（名古屋地区参加）

会員企業見学会（12月16日・三団体共催）

見学先：リントツ(株) 半田ステンレス加工セ  
ンター





## 特殊鋼倶楽部の動き

### 「第8回高機能金属展 東京展」(於：幕張メッセ)へ出展しました

特殊鋼倶楽部は12月8日～10日、幕張メッセにて開催されました「第8回高機能金属展東京展」の協賛団体として出展を致しました。

特殊鋼倶楽部ブースには、会員様企業から自社製品PRを目的として南海鋼材(株)様、ヤマト特殊鋼(株)様の2社が出展し、積極的なPR活動を実施しました。

コロナ禍にもかかわらず、ブースにはさまざまな業種の多くの方々にお立ち寄り頂き、特殊鋼及び当倶楽部の認知度アップに貢献致しました。

本展には、昨年比2倍以上の、40,629名の業界関係者が来場し、大変盛況な展示会となりました。

★会場の様子>>><https://www.youtube.com/watch?v=521lTQcXOS0&t=4s>

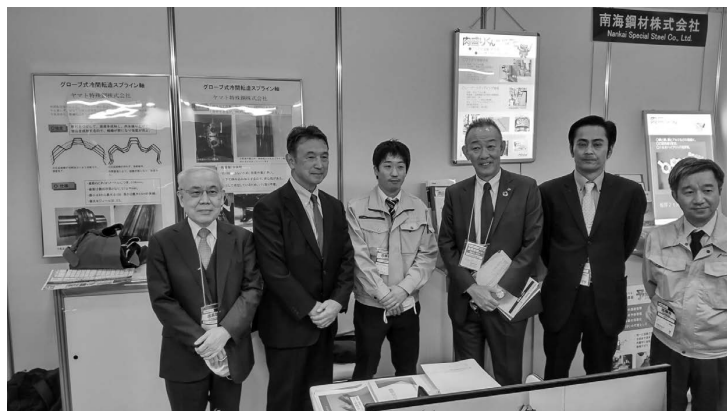
以下に、特殊鋼ブース写真を掲載いたします。



【ブース内を視察される藤岡会長】



【中央 脇本専務理事(共同出展の皆様と)】



【中央 藤岡会長（共同出展の皆様と）】

## 特殊鋼倶楽部主催：技術セミナー（於：幕張メッセ）を開催いたしました

特殊鋼倶楽部は12月8日～10日、幕張メッセにて開催されました「第8回高機能金属展東京展」の技術セミナーにおきまして、特殊鋼倶楽部主催で技術セミナーを開催致しました。

講演者として愛知製鋼株式会社ステンレス事業統括部 部長 中川英樹氏（SDGsを支えるステンレス鋼の進展）、ヤマト特殊鋼株式会社スプラインチーム チームリーダー 斎藤真氏（グローブ転造方式を用いたスプラインシャフト組成加工のご紹介）をお招きし、非常にわかりやすいご説明でご講演頂きました。

多くの方がご聴講され、盛況な講演会となりました。（技術セミナー講演内容）

2022年5月開催予定のメタルジャパン関西におきましても技術セミナーを開催いたします。

2021年12月9日（木）10：00～10：45

METAL-5

SDGsを支えるステンレス鋼の進展

愛知製鋼(株) ステンレスカンパニー ステンレス事業統括部 部長 中川 英樹

### 講演内容

ステンレス鋼は世に出て、わずか100年の若い鋼である。SUS304に代表されるステンレス鋼は、耐食性、意匠性の他、高温強度、低温韌性、非磁性、高延性、高水素ガス環境延性など様々な優れた特性を有しており、持続可能な社会形成を支える素材の1つと言える。講演では様々な具体例を紹介したい。

### 講演者プロフィール

1993年愛知製鋼株式会社に入社、ステンレス鋼材の開発に従事。

2011年からはステンレス鋼構造エンジニアリングも担当。

2020年に現職となり、ステンレス事業を統括する立場にある。

2021年12月10日（金） 13：30～14：15

METAL-10

グローブ転造方式を用いたスプラインシャフト塑性加工のご紹介

ヤマト特殊鋼(株) 山形グループ 加工プロジェクト スプラインチーム リーダー 斎藤 真

#### 講演内容

従来の切削スプライン加工は加工工数、耐久面が問題となっている。耐久性、コストを改善する目的として弊社で取り扱っているグローブ転造方式でのスプライン加工を推奨する。強度に優れ、リードタイムも削減出来る加工である。

上記でお悩みのお客様のお力になれます。

#### 講演者プロフィール

2012年ヤマト特殊鋼株式会社入社。入社と同時にスプライン加工部門に配属、2017年よりチームリーダーを担当。長尺材へのスプライン転造加工法を確立し、以後、現在に至るまでグローブ転造を用いたのスプライン加工業務に従事。

## 『新勢力ブランドのクルマづくりとマーケティング（中国・NIO社等の事例）』講演会の開催（オンライン配信）

市場開拓調査委員会では、特殊鋼の需要開拓事業の一環として、需要産業の動向・展望について講演会を実施しております。

トヨタグループの調査会社でございます(株)現代文化研究所殿より講師をお招きして、「新勢力ブランドのクルマづくりとマーケティング（中国・NIO社等の事例）」を題材に部品・部素材企業にとっての新たな供給先候補となる新勢力ブランドのクルマづくり、顧客マーケティングの新たな手法や特徴を、NIO社等の中国新勢力ブランドの例を通じてとりまとめた内容をご紹介頂き、標記講演会を下記の通り開催致しました。会員の皆様の中国市場への展開の議論のたたき台としてとして参考になりました。

Teams配信にて多数の会員の皆様にお申込み（お申込み総数：約100名）ご参加頂きました。

当日、講演会に参加された方々にはWEBアンケートを実施し、お聞かせいただいた貴重なご意見は今後の説明会に是非とも反映させたいと思います。多数のご参加をいただき、誠にありがとうございました。

尚、講演会資料は会員専用HPにて掲載しております。

1. 日 時：2021年12月17日（金） 13：30～15：00
2. 場 所：オンライン配信
3. 演 題：「新勢力ブランドのクルマづくりとマーケティング（中国・NIO社等の事例）」
4. 講 師：株式会社現代文化研究所 市場戦略情報第2領域 主任研究員 八杉 理 氏

## 『主要国（日欧米）における自動車運転の動向～主要プレイヤーの 取組み紹介～』講演会の開催（オンライン配信）

市場開拓調査委員会では、特殊鋼の需要開拓事業の一環として、需要産業の動向・展望について講演会を実施しております。

トヨタグループの調査会社でございます(株)現代文化研究所殿より講師をお招きして、「主要国（日欧米）における自動車運転の動向～主要プレイヤーの取組み紹介～」を題材としてご講演頂きました。車の自動運転の実現を最終目標として、CASE・MaaSといった先進技術の活用に向けた取組みの活発化が自動車業界では進んでいますが、自動運転を含めたこれらのキーワードの実態を単なる標語としてではなく、実態を伴った形で理解する必要があります。本講演では、自動運転に関するキーワードの解説と実例のご紹介がございました。会員の皆様の今後の対策の検討等、議論のたたき台としてとして参考になりました。

Teams配信にて多数の会員の皆様にお申込み（お申込み総数：約60名）ご参加頂きました。

当日、講演会に参加された方々にはWEBアンケートを実施し、お聞かせいただいた貴重なご意見は今後の説明会に是非とも反映させたいと思います。多数のご参加をいただき、誠にありがとうございました。

尚、講演会資料は会員専用HPにて掲載しております。

1. 日 時：2022年1月28日（金） 13：00～14：30（目途）
2. 場 所：オンライン講演会（ご参加の方にURLのご連絡を致します。）
3. 演 題：「主要国（日欧米）における自動運転の動向～主要プレイヤーの取組み紹介～」
4. 講 師：株式会社 現代文化研究所 市場戦略情報第3領域 主事研究員 佐藤 駿一 氏

## カーボンニュートラルへの取り組みについて（2021年12月27日更新）

会員各位

一般社団法人 特殊鋼倶楽部 会長 藤岡 高広  
カーボンニュートラルWG 坂本 定

拝啓 時下ますますご清栄の段お慶び申し上げます。

平素は特殊鋼倶楽部の活動にご協力を賜り、誠に有難うございます。

2020年10月に日本政府が『2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すこと』を宣言致しました。

これを受けて、特殊鋼倶楽部におきましても、「カーボンニュートラルに関する推進グループ（カーボンニュートラルWG）」を発足し、2021年7月28日に第1回WGを開催致しました。

当WGにおきまして、会員の皆様のカーボンニュートラルにおける取り組みについて情報交換・共有化を取り纏め、当WG専用ページにおいて、情報共有を行います。（都度更新いたします。）

## ■ お知らせ ■ ■ ■ ■ ■

### ～メタルジャパン 関西展に継続出展～

第9回 [関西] メタルジャパン (高機能金属展)

会期：2022年5月11日(水)～13日(金)

時間：10:00～18:00 13日(金)のみ17:00終了 会場：インテックス大阪

主催：RX Japan 株式会社 協賛：(一社)特殊鋼倶楽部

特殊鋼倶楽部では、ユーザー業界での「特殊鋼の本当の価値」の理解を深めていくことを目的に市場開拓調査委員会の事業の一環として、例年、東京で開催される「メタルジャパン (高機能金属展)」に出展しております。

関西圏での出展は、今回の「第9回 [関西] メタルジャパン (高機能金属展)」で3回目となり、現行2大都市への出展を恒例で実施しています。

会場では、東京と同様に、特殊鋼倶楽部ブースにて、特殊鋼商品知識の普及及び啓蒙、特殊鋼倶楽部及び会員会社の紹介、当倶楽部出版物配布、共同出展される会員会社の「選ばれる特殊鋼」を目指す特殊鋼の製品・技術・サービスを展示します。

また、協賛団体セミナーと題し、会員2社にセミナーに登壇いただきます。

是非ともご来場下さい。お待ちしております。

#### 【特殊鋼倶楽部ブース内会員会社展示】

- ・浅井産業株式会社 殿
  - ・南海鋼材株式会社 殿
- (上記、五十音順)

#### 【協賛団体セミナー予定】

- ・5月11日(水) 15時15分～ 愛知製鋼株式会社 殿
- ・5月12日(木) 15時15分～ 山陽特殊製鋼株式会社 殿

# 第243・244回西山記念技術講座 基礎から振り返る先端鉄鋼材料学

▼2022年5月20日（金）【対面開催】

▼2022年6月3日（金）【オンライン開催】

主催（一社）日本鉄鋼協会 協賛（一社）特殊鋼倶楽部

## 講座の視点

鉄鋼に関する学問は、いまだ絶え間ない進歩を続けている。その進歩はより細分化され、複雑化しており、専門性がより重要となっている。しかしながら、鉄鋼材料学の基礎を十分に会得せずに専門性を高めることはできない。また、鉄鋼の技術者にとって基礎学問から最新研究を一貫して学び直すことは、技術革新のきっかけにも繋がり、本技術講座の趣旨にも沿うものと考えらる。

そこで、中堅以上の技術者を対象に、鉄鋼材料における基礎学問から最新理論への展開を理解するための講座を企画する。熱力学の基礎から、最新組織制御の今後の展開まで、鉄鋼材料学全般について新進気鋭の研究者がわかりやすく解説する。

本講座を通じ、鉄鋼材料技術者のさらなるレベルアップとともに、革新的材料開発のさらなる発展を期待する。

1. 日時・場所：第243回：2022年5月20日（金）9：00～17：10 受付時間：8：40～15：50

【対面開催】早稲田大学西早稲田キャンパス63号館2階会議室

（東京都新宿区大久保3-4-1）

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

第244回：2022年6月3日（金）9：00～17：10

【オンライン開催】（Cisco Webex Meetingsを使用）

\* 今後の感染状況によっては、6月3日のオンライン開催のみとなる場合がございます。

あらかじめ、ご了承下さい。その場合、5月20日の参加申込は自動的に6月3日に振替となります。

ご了解の上、お申込み下さい。

## 2. 内容および講演者、司会者

司会者：未定

1) 9：00～10：20 熱力学の基礎と最近の展開

東北大学 金属材料研究所 金属組織制御学研究部門 准教授 宮本 吾郎

2) 10：30～11：50 相変態の基礎と最近の理解

東京工業大学 物質理工学院 材料系 准教授 中田 伸生

司会者：未定

3) 12：50～14：10 力学特性の基礎（転位運動と加工硬化）

九州大学 大学院工学研究院 材料工学部門 教授 田中 將己

4) 14：20～15：40 組織制御の基礎と複合組織鋼の理解

九州大学 大学院工学研究院 材料工学部門 教授 土山 聡宏

5) 15：50～17：10 高度な組織制御技術と今後の展開

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科 機械工学系 教授 戸高 義一

### 3. 講演内容

#### 1) 熱力学の基礎と最近の展開

宮本 吾郎

高い機能を持つ鉄鋼材料を開発するため、元素添加や相変態等を利用して複雑な微細組織が作りこまれており、熱力学に基づく材料・プロセス設計が不可欠となっている。現状、ThermoCalcなどの商用ソフトが広く普及し、多元系における平衡計算が手軽に行える状況ではあるが、計算結果を理解し有効に活用するためには熱力学の基本的な理解が必須である。そこで、本講座では、エンタルピー、エントロピー、自由エネルギー、相平衡、状態図といった熱力学の基本について解説する。さらに、最近の展開として、明確な相ではないものの特性に大きく影響する溶質クラスターや欠陥への溶質元素偏析の熱力学についても紹介する。

#### 2) 相変態の基礎と最近の理解

中田 伸生

鉄鋼材料の優れた力学特性は、相変態によって形成する変態組織の多様性に由来する。本講座では、鉄鋼材料における相変態の本質を理解することを目的に、拡散型相変態ならびに無拡散型相変態に大別し、それぞれの特徴について従来の理解を踏まえた概説を行う。さらに、侵入型元素と置換型元素の拡散速度の違い、異相界面移動におけるエネルギー散逸などが変態速度に与える影響、また、変態ひずみの緩和による階層的下部組織の形成など、最近の話題も紹介する。そして、高強度鋼の強度-延性バランス改善に有効な加工誘起変態についてもオーステナイト安定性の観点から紹介する。

#### 3) 力学特性の基礎（転位運動と加工硬化）

田中 將己

塑性変形挙動は主に転位の運動によって進行する。フェライト鋼のようにパイエルス応力の高い結晶においては、らせん転位のキンク対形成機構によって塑性変形が律速されている。一方、近年の解析技術・計算技術の発展は著しく、従来の弾性論を基盤とした転位論では説明できなかったマクロな加工硬化挙動や、転位と溶質原子との相互作用などが徐々に明らかとなってきた。本講座では、まずらせん転位の運動挙動について説明し、従来の弾性論の範囲外であった転位芯と溶質原子との相互作用について紹介する。そして更に、中性子回折など最新の解析技術を通して明らかとなってきた、応力分配に基づく複合材料の加工硬化挙動についても解説を行う。

#### 4) 組織制御の基礎と複合組織鋼の理解

土山 聡宏

強度と延性の両立が望まれる高強度鋼の多くは、フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイトなどの複数の組織から構成される複合組織を有している。複合組織鋼の特性を理解し、さらなる特性改善を図る組織制御を行っていくには、各構成組織の特性を支配する強化因子を理解し、さらにそれらを一つの鋼種内で同時に制御、評価する技術を要する。本講座では、各単一組織における組織制御指針の基礎を概説し、さらにそれらを組み合わせ、次世代の高強度鋼として注目されている中Mn鋼やQ&P (Quenching and Partitioning) 鋼など、最近の自動車用高強度鋼板の分野で研究が進められている組織制御の現状について紹介する。

#### 5) 高度な組織制御技術と今後の展開

戸高 義一

合金元素の添加によらず鉄鋼材料を高強度化する手法として結晶粒・組織の微細化が最も優れており、同時にリサイクル性も向上できることから、継続した研究が進められている。結晶粒径を $1\mu\text{m}$ 以下にするための試みとして、強ひずみ加工に関する研究が行なわれている。強ひずみ加工により形成する超微細粒組織と類似の組織は、機械加工した部材表層や使用したレール表層等においても観察される。本講座では、強ひずみ加工により形成する超微細粒組織の特徴や形成メカニズムについて説明した後、その力学特性について紹介する。これまでは均一組織を中心に研究されてきたが、近年では不均一組織（ヘテロ組織）も注目されており、それらの組織制御技術を紹介する。また、超微細粒組織を活用した熱処理技術の高度化についても紹介する。

#### 4. 参加申込み

[申込方法] 本会ホームページからの事前申込みのみとします。当日参加受付は行いません。

第243回（5月20日）：会場の収容人数の関係上、定員になり次第、締切とします。

第244回（6月3日）：オンライン開催のため、人数制限は行いません。

**\*今後の感染状況によっては、6月3日のオンライン開催のみとなる場合がございます。**

**その場合、5月20日の参加申込みは自動的に6月3日に振替となります。ご了解の上、お申込み下さい。**

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

[締め切り] 申込、入金ともに4月21日（木）までに完了するようお願いします。

※ご入金後の返金および**当日不参加の場合**の返金はいたしませんのでご了承下さい。その場合、講座終了後、テキストをお送りします。

※入金の確認後、開催約1週間前にテキストと領収証を送付します。

※申込・支払い方法・オンライン受講についての詳細は、本会ホームページに掲載します。

#### 5. 参加費（税込み、テキスト付）

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

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

\*一般（15,000円）でご参加の方で希望される方には、2022年12月までの準会員資格を進呈します。

入会方法は別途ご案内いたします。

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

問合せ先：（一社）日本鉄鋼協会 育成グループ

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



# 一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 25社</p> <p>販売業者 101社</p> <p>合 計 126社</p>	【販売業者会員】		
<p><b>【製造業者会員】</b></p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>高 周 波 熱 錬 (株)</p> <p>(株)神 戸 製 鋼 所</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 鉄 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 製 鐵 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)広島メタル&amp;マシナリー</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)ISSリアライズ</p> <p>(株)U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株)カ ム ス</p> <p>(株)カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 グ ロ ー バ ル メ タ ル ズ (株)</p>	<p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テ ク ノ タ ジ マ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デ ル タ ス テ ー ル (株)</p> <p>東 京 貿 易 マ テ リ ア ル (株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>(株)ト ー キ ン</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 島 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 物 産 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株)日 立 ハ イ テ ク</p> <p>(株)平 井</p>	<p>(株)フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)プ ル ー タ ス</p> <p>平 和 鋼 材 (株)</p> <p>(株)堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 ス チ ー ル (株)</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>リ ン タ ツ (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

## “特集” 編集後記

本誌3月号の特集「非破壊検査技術と特殊鋼」は、非破壊検査方法の種類と使用装置を説明し、特殊鋼の製造現場における非破壊検査技術の実用例を紹介いたしました。過去の特集においても2018年5月「最新の特殊鋼の信頼性評価技術」や2016年9月「特殊鋼に要求される特性とその評価方法」等でも非破壊検査技術の記述がされています。特殊鋼の製造工程において、非破壊検査技術は必要不可欠なものとなっています。そこで、今回の編集のポイントは、検査機器メーカーと特殊鋼メーカーの方々に、非破壊検査技術についてそれぞれの目線で執筆して頂き、若手技術者や流通の読者に向けた入門的な内容を目指しました。

I章の総論では非破壊検査技術の基礎を解説し、JISに規定されている試験方法や概要を紹介しました。II章では各非破壊検査方法の詳細、実際に使用される試験検査機器、測定における重要な点について代表的なメーカーの方に紹介頂きました。

III章では、特殊鋼メーカーの方から製造現場で利用される非破壊検査技術について紹介頂き、鋼種・形状毎に求められる要求品質と非破壊検査工程の重要さがユーザーの方々にも解りやすい内容になっていると思います。今後は非破壊検査の分野においても、AI技術やIoTの活用といったデジタルトランスフォーメーション(DX)の推進による現場改善が求められることと思います。時代の変わり目の中、特殊鋼の製造現場と検査・評価技術は相互に連携しつつ、製品の品質向上に努めていかなければならないと考えます。

最後になりましたが、今回の特集を組むにあたり、ご多忙中にも関わらずご寄稿いただいた執筆者の皆様、編集にご協力いただいた事務局の皆様に深く感謝申し上げます。

〔日本冶金工業(株) よしだ とうき  
ソリューション営業部 課長 吉田 統樹〕

## 特 集 / 特殊鋼と窒化

- I. 概論
- II. 窒化方法
- III. 窒化の適用例
- IV. 各社の窒化用鋼および窒化技術

7月号特集予定…DXと鉄鋼業への適用

## 特 殊 鋼

第 71 卷 第 2 号  
© 2 0 2 2 年 3 月  
2022年2月25日 印 刷  
2022年3月1日 発 行

定 価 1,252円 送 料 200円  
1年 国内7,434円 (送料共)

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

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

編集発行人 脇 本 眞 也  
印刷人 増 田 達 朗  
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。