

特殊鋼

2018
Vol.67 No.3

5

The Special Steel

特集／最新の特殊鋼の信頼性評価技術



特殊鋼

5

目次

2018

【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	増田 智一 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	浜田 貴成 (新日鐵住金)
〃	大矢 耕二 (大同特殊鋼)
〃	福田 岳史 (日新製鋼)
〃	正能 久晴 (日本金属)
〃	殿村 剛志 (日本高周波鋼業)
〃	戸塚 覚 (日本冶金工業)
〃	古谷 匡 (日立金属)
〃	福田 方勝 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人 (平井)

【特集／最新の特殊鋼の信頼性評価技術】

I. 総論

特殊鋼の非破壊検査技術

…………… 日鉄住金テクノロジー(株) 藤原 弘次 2

II. 非破壊検査の動向

1. 表面欠陥

(1) 漏えい(洩)磁束探傷

…………… 日本フェルスター(株) 吉川 仁 8

(2) 磁粉探傷試験…………… 電子磁気工業(株) 茂木 良祥 12

(3) 渦電流探傷…………… 日本フェルスター(株) 吉川 仁 15

(4) 浸透探傷…………… 栄進化学(株) 相澤 栄三 18

(5) 画像処理による表面欠陥検査技術

…………… アメテック(株) 鈴木 聡 22

(6) 赤外線サーモグラフィによる

溶接・接着・欠陥の非破壊検査

…………… (株)ケン・オートメーション 矢尾板達也 25

2. 内部欠陥

(1) 超音波探傷

…………… 菱電湘南エレクトロニクス(株) 松井 晃一 29

(2) 電磁超音波探傷 (EMAT)

…………… ULTRASONIC(株) 河村 皓二 32

3. 寸法……………

日鉄住金テックスエンジ(株) 本間 猛 35

III. 最新の材料解析技術

リバーズ4D材料エンジニアリング:

その構想と最近の展開

九州大学大学院 戸田 裕之

豊橋技術科学大学 ラファエルパトレス

…………… 福井大学 桑水流 理 38

豊橋技術科学大学 小林 正和

九州大学大学院 細川 明秀

IV. 会員メーカーの信頼性評価技術

転がり疲れに対する非金属介在物評価技術について 山陽特殊製鋼(株) 平岡 和彦	48
特殊鋼を支える大同特殊鋼の評価技術 大同特殊鋼(株) 片岡 克仁	49
“特集” 編集後記..... 山陽特殊製鋼(株) 西森 博	63

●一人一題：「溪流釣りに魅せられて」

..... 大同特殊鋼(株) 平林 一彦	1
----------------------	---

■業界の動き	50
▲特殊鋼統計資料	53
★倶楽部だより（平成30年2月1日～3月31日）.....	57
☆特殊鋼倶楽部の動き	59
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧	62

特集／「最新の特殊鋼の信頼性評価技術」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 自動車・産機営業部 自産機CS室長 品質保証部
委員	福田 岳史	日新製鋼(株)	品質保証・技術サービス部 普通鋼・特殊鋼品質保証チーム チームリーダー
〃	戸塚 覚	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	古谷 匡	日立金属(株)	特殊鋼カンパニー 技術部 部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長

「溪流釣りに魅せられて」

大同特殊鋼(株) 常務執行役員
工具鋼事業部長兼大阪支店長

ひら ばやし かず ひこ
平 林 一 彦



私が生まれたのは東京の池袋である。田舎が無かったせい、単に父が好きだっただけなのか分からないが、幼少の時から父に連れられてよく魚釣りに行っていた。最初は河口付近でのハゼ釣りからで、その後、平野部でフナ、コイ釣り、上流域でのウグイ、ニジマス等を釣る清流釣りへと変わっていった。最終的には、川の最上流域（源流）でのイワナ、ヤマメ、アマゴの溪流釣りと変化していった。川の河口から源流まで釣りをしてきたが、最上流域での溪流釣りは言葉では伝えられないほどの素晴らしさがあり、私は溪流釣りに魅了された。どんな魅力かを言葉で伝えるのはかなり難しい行為であり、言葉で伝えること自体が野暮かも知れない。

敢えて溪流釣りの魅力を言えば、景色が綺麗で空気も澄んでおり、山の雄大さ、山肌から広がってくる溪流のダイナミックな流れ、そして溪流の変化による様々な水が奏でるメロディー、花や木々の香りといった大自然を五感で感じる一体感、そして心のリフレッシュ、溪流魚との知恵比べの末に魚を釣り上げるまでの快感、運動不足解消といったところか。

最近「釣りガール」という言葉があるように、溪流釣りの人気は年々高くなってきており、全国的に入渓者が多い。

私の溪流釣りのホームグラウンドは、新潟県の魚野川本流とその支流、岐阜県の長良川、庄川の源流、支流であるが、かなり入渓者が増えてきている。具体的な釣り場は秘密にさせて頂く。

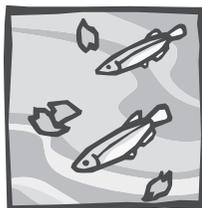
溪流魚は上流へ向かって泳いでいるため、溪流釣りは入渓した場所から上流へ向かって釣り進むのが一般的であり、先行者だけが釣りを楽しむことができるため、私もそうした。日の出から日没まで、岩場や崖を超えたり、川の中を歩いたりしながら毎回10km程度は歩きながら釣り進んだ。翌日は心地良い筋肉痛になる。

釣り進んでいると「クマ出没注意」「**月**日クマ目撃」といった看板を数多く見かけた。私はクマ除けの鈴を付けていたが、7年前に一度だけクマと遭遇をした。距離は大よそ10m程。鈴を付けていたが、釣りをしている時は立ち止まっているために鈴が鳴らず、クマに遭遇し、また風下であったことでクマに気付かれずに逃げられたと推測する。この遭遇の経験から、立ち止まっている時はホイッスル持参し定期的に吹くようにしている。

しかし、ここ2年間は溪流釣りに行けておらず、溪流竿の代わりにゴルフクラブを買う状況。ゴルフはリフレッシュというより、私にとってはストレスの方が未だ先行している。今年こそは溪流釣りで大自然を五感で感じて心身共にリフレッシュしたいと思う。

皆さんも是非一度溪流釣りにトライしてみてもは如何ですか？

〔(一社)特殊鋼倶楽部 大阪支部 運営委員長〕



最新の特殊鋼の信頼性評価技術

I. 総論

特殊鋼の非破壊検査技術

日鉄住金テクノロジー(株) 計測・検査事業部 藤原弘次

まえがき

特殊鋼製品は、自動車用、船舶用や発電用部品など各種産業分野において使用され、品質要求(使用環境、強度、形状など)の多様化、厳密化に伴い、製造中を含め最終製品検査段階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・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、製造の途中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。

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

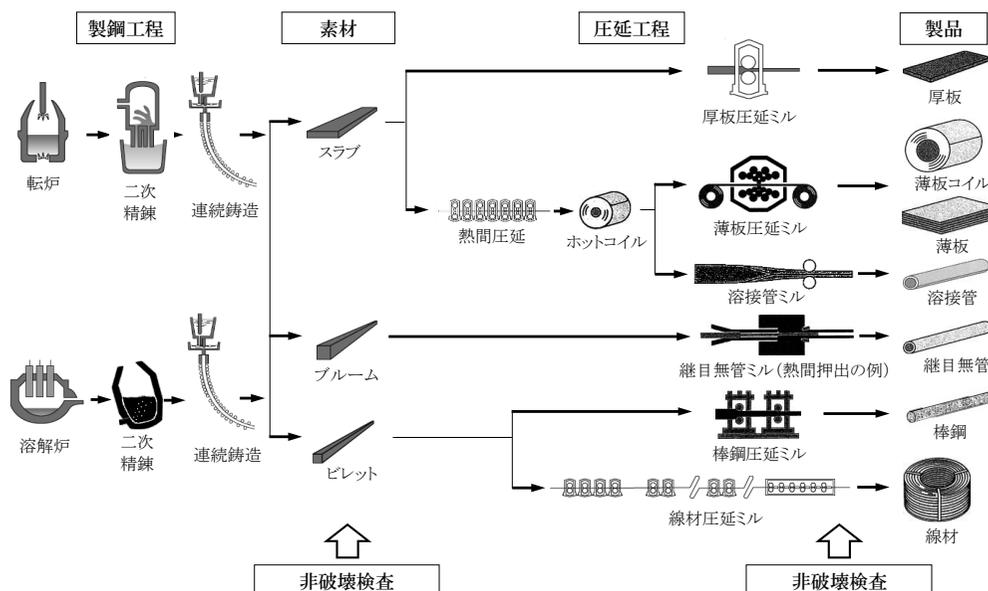


図 1 圧延鋼材の製造工程における非破壊検査の位置付け例

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面の確保だけでなく生産効率向上、製造コスト低減に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、更には最近の技術動向についての概要を説明する。

◇ 非破壊検査の用語

非破壊検査（試験）は一般に“NDI”、“NDT”と呼ばれるがJIS Z 2300（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指示を、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。

解析・評価が主体になる場合はNDEも使われている。

また、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判定基準を超え、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 Z 2300：2009（非破壊試験用語）から引用した。

◇ 非破壊検査の目的と種類

非破壊検査とは、その名のとおり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）又は内質きず（介在物、内部割れ、ブローホールなど）の有無及びその存在位置、大きさ、形状、分布状態などを検出し、規格などによる基準に従って合否を判定する方法であり、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、および最近の技術動向について簡単に述べる。そのなかでもさらに主要な非破壊試験方法を表1に示す。

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

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

放射線 (X線や γ 線) を試験体に照射し、透過した放射線の強さの変化を写真フィルムに感光させ、感光の濃淡の差異から、試験体内部のきずの有無を調べる方法である。きずの形状やきず位置が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。またフィルムが不要な方法として、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、さらに検査能率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ミクロン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の高周波数振動を試験体に付与して超音波を入射させ、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いため、一般に板材などで発生する探傷面に平行なきずの探傷には超音波を探傷面に対して垂直に入射する垂直探傷法を、溶接部などで発生する探傷面に垂直なきずの探傷には超音波を探傷面に対してある角度を持たせて入射させる斜角探傷法が適用されている。

UTにおいては、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振動させ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振動させ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アレイ技術が一般化している。これらは高速で動作する電子デバイス技術や振動子の微細加工技術などのハードウェアに負うところが大きく、最近では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ており、きずの高精度でかつ高速な検出に寄与している。

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おこなわれている。

試験体の内部のきず検出に使える手法はRT、UTのみであり、RTで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及び表面近傍のきずを検出する方法である。磁化された鉄鋼材料 (強磁性体 : 磁石に吸着する材料) 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。磁粉に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い。そのため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方法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、きずよりも拡大し、かつコントラストを高めた目視観察可能なきず指示模様を得る方法である。試験体の材質やきずの方向性をあまり問わないことと、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評価は困難である。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直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、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、上置プロー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・丸ピレットの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の検出を、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、電気的な処理で行うことから自動化装置として適用されている。

また漏洩する磁束の大きさがきず深さに略比例することから、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、内部や部材裏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。

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。画像処理ならびに識別技術の進展によりきず種の判別精度も向上してきており、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. その他の試験

a) 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。

b) 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(ピレット)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る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の高速化し、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、規格に従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

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（品質管理）	圧延工程（品質管理）	最終製品（品質保証、品質管理）
厚板	スラブのPT、OPT	-	UT、MT、PT
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	ビレットのUT、MT、MLFT	-
	線		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 JIS G 0803 : 2015 JIS G 0804 : 2015 JIS Z 3104 : 1995 JIS Z 3106 : 2001	鋳鋼品の放射線透過試験方法 溶接鋼管溶接部のフィルム式放射線透過検査方法 溶接鋼管溶接部のデジタル式放射線透過検査方法 鋼溶接継手の放射線透過試験方法 ステンレス鋼溶接継手の放射線透過試験方法	鋳鋼品 溶接管 溶接管 鋼板、鋼管 SUS鋼板、SUS鋼管、 耐熱鋼板…
超音波探傷試験	JIS G 0582 : 2012 JIS G 0587 : 2007 JIS G 0801 : 2008 JIS G 0802 : 1998 JIS Z 3060 : 2015	鋼管の自動超音波探傷検査方法 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 圧力容器用鋼板の超音波探傷検査方法 ステンレス鋼板の超音波探傷検査方法 鋼溶接部の超音波探傷試験方法	鋼管 鍛造品 鋼板 ステンレス鋼板 溶接構造物
磁気探傷試験	JIS Z 2320-1~3 : 2007	非破壊試験-磁粉探傷試験-第1部~第3部	強磁性体製品
浸透探傷試験	JIS Z 2343-1~6 : 2001~2012	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 JIS G 0583 : 2012	非破壊試験-渦電流試験 第1部~第4部 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 : 1991	漏えい(洩)磁束探傷試験方法	丸鋼、鋼管

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いる。また、検査は冷間で主に行われるが、スラブやビレットの熱間での探傷技術は従来より切望されており、ブレイクスルーとなる技術の開発も望まれている。

Ⅱ．非破壊検査の動向

1．表面欠陥

(1) 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

鉄鋼製品における表面検査を電磁気的に行う方法は磁粉探傷、漏えい（洩）磁束探傷、渦電流探傷の3種類ある。漏えい磁束を利用する探傷方法に磁粉探傷と漏えい磁束探傷があるが、磁粉探傷はビジュアル的に探傷を行うのに対して、漏えい磁束探傷は漏れ磁束を磁気センサーによって電気的に検出を行う。きずの深さ、大きさによって漏れる磁束量も違うので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。被検査材の形状・大きさ、材質、表面性状、どの工程で行うのか、処理能力、省力・自動化の程度、データ処理の必要有無、導入コストなどにより、どの探傷方法をとるかは選択される。なお漏えい磁束探傷は磁気を利用してあるのでオーステナイト系ステンレス鋼以外の棒鋼、継目無鋼管が検査対象になる。

◇ 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

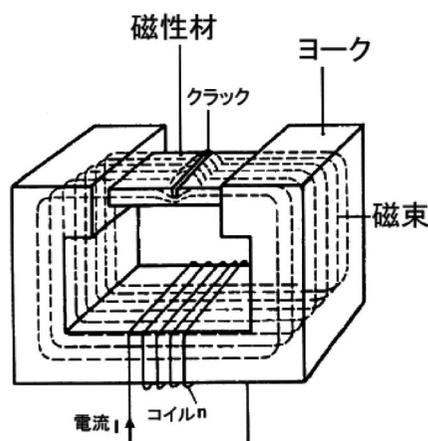


図 1

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、高磁束発生用の磁化器、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。

◇ 探傷方式の分類と適用被検査材

きずの方向に対する探傷方法と対象被検査材の系統図を図2に示す。検出したいきずの方向が軸方向なのか、周方向なのかによって、磁化をする方向と磁気センサーの配列が変わってくる。軸方向きずの場合は磁束を円周方向に入れて、磁気センサーは円周方向に回転させる。周方向きずの場合は磁束を軸方向に入れて、周方向に並べられた複数の固定された磁気センサーで行う。

次に交流磁化と直流磁化の使い分けについて。棒鋼ならば表面きずのみが検査の対象となるので

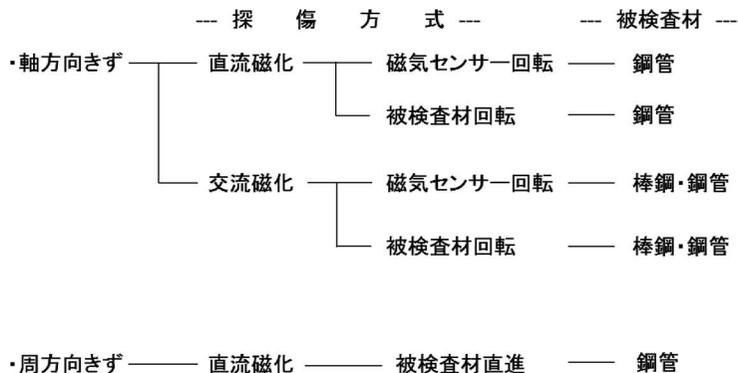


図 2

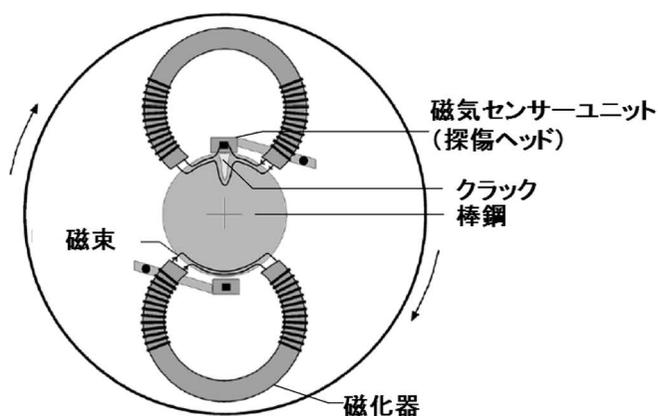


図 3

交流磁化を使用して探傷を行う。交流磁化は表皮効果により、表面近傍にしか磁束が通らないのでこの方法をとる。しかし、継目無鋼管は外表面のきず以外に内径側の表面きずも対象となるので全断面に磁束が通る直流磁化を使用する必要がある。

さらに全体的な機構として、磁化器や磁気センサー、追従機構を含む探傷ヘッド側が回転して、被検査材が直進して探傷する方式と、外径が大きい鋼片や鋼管を探傷する場合は、探傷ヘッドが固定で被検査材が回転して探傷する方式がある。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送って探傷する方法もある。

◇ 棒鋼の探傷

棒鋼の表面探傷には渦電流探傷という方法があ

るが、そのほとんどがダイス引き抜き後の磨棒鋼で表面性状も良く、真直度も良いので要求される探傷条件が満たされる。しかし圧延黒皮棒鋼の場合、ロール矯正をした以降の探傷とは言え、黒皮残りもあり、肌性状も悪く、渦電流探傷では要求される探傷条件を満足できない。そこで、その影響を受けにくい探傷方法として交流磁化の漏洩磁束探傷が採用されている。図3に示すように交流の磁化器と磁気センサーユニットからなる一組の探傷ヘッドが180度対向で2組あり、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。探傷処理能力を確保するために、

磁気センサーは棒鋼の流動方向に十数個、直列に並べられている。検出したきず信号は交流の搬送信号上に載っているため、探傷電気盤で電気的な処理をして、きず信号のみを分離したうえで評価を行う。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。これを行うことで何度の円周上の、軸方向に何mm連続してあるきずか、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や別の機器に伝送することで応用範囲が広がる（図4参照）。

磁気センサーユニットは棒鋼の表面を接触した状態で400~2,400rpmの回転数で回転しており、常に一定圧で接触している必要がある。少しでも浮いてしまうと、きずからの漏れ磁束を検出できなくなる。通材する棒鋼の外径によっても周速度と回転モーメントが変わるので機構的にそれに対応するような構造になっている。探傷機の最大限の性能を出して、安定した探傷をするには棒鋼の真円度や曲がりや矯正状態や端面などの状態、さらに探傷搬送ラインの精度が大きく影響してくる。真円度が悪ければ、高速で棒鋼の周りを接触して回転している磁気センサーユニットがジャンプする現象が生じて、信号を受けられなくなる。曲がりがあれば、同じく磁気センサーユニットが浮いてしまうので、信号が低下したり、信号が途絶えるチャンネルが出てくる可能性がある。通材して、探傷できる曲がりの限度は探傷機の仕様上で明確にしているが、曲がりの状態がその規定値

以上になると回転をしている探傷ヘッドそのものを損傷する危険性がある。矯正機での矯正状態によっては応力的なものも残り、妨害ノイズの原因になる場合もある。端面にバリがあると、磁気センサーユニットがジャンピングしたり、探傷ヘッドが破損する可能性があるため、面取りは必要となる。棒鋼が供給テーブルから蹴り出され、搬送ローラーで加速され、探傷ヘッドに到達するまでに一定の速度に達していないと、搬送速度計測にばらつきが生じて、先後端不感帯長さが不安定になる。さらに、きず位置や長さ評価、マーキング位置に狂いが生じる原因になる。探傷ライン前後の搬送ローラーの間隔をあまり長く取りすぎると、棒鋼のローラー乗り上げ時の妨害ノイズの原因となるので、ローラー間隔は短くして、且つ、全てのローラーの駆動は同期をとる必要がある。良い探傷を行うには探傷機そのものだけではなく、探傷機の前工程の設備など総合的に考えていく必要がある。もちろん、これらだけではなく、棒鋼そのものの製鋼から圧延に渡る総合的な知識と情報を持って探傷評価を行う必要がある。

◇ 鋼管の探傷

前述したように継目無鋼管の探傷は内外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5に軸方向きず検出、また、図6に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、内径側表面のきずも、外径側に



図 4

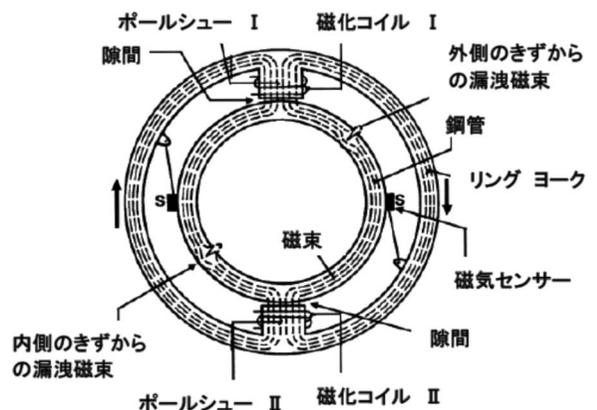


図 5

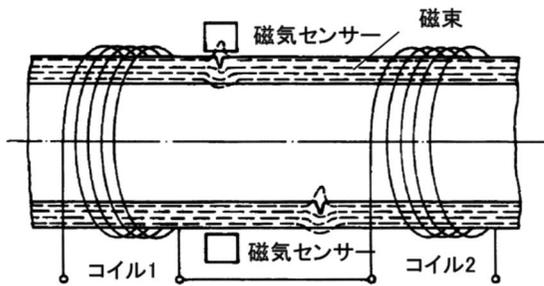


図 6

配置された同じ磁気センサーできずを検出する。内径側表面のきずによる漏えい磁束も外表面側に漏えいする（図7参照）。但し、外表面のきずから漏れる磁束の角度よりも内径側の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るわけだから、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、内径側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なのかを識別する。きずの検出能は内径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側表面のきず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。

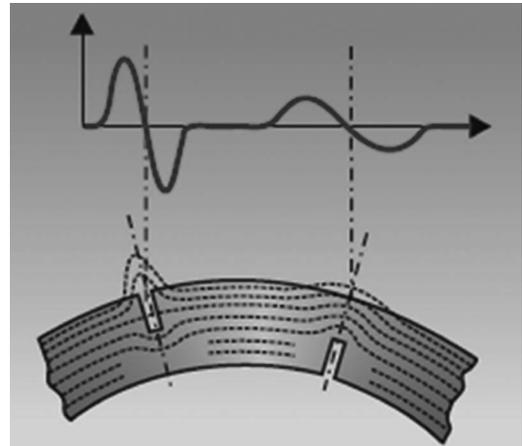


図 7

むすび

探傷の要求精度や耐久性向上のために新たな検出センサーや磁化器の開発、探傷電子装置の開発を行っている。探傷電子装置はハード的な回路からソフトウェアによる処理に移行してきているのは時代の流れではあるが、その分、現場からのフィードバックによる探傷機器の改善のスピードは上がった。今後もソフトウェアの比重が増していくのは間違いが無い。さらに探傷電子装置のハード的な部分は流通する電子デバイスの発達から、より機能的なものになっていくであろう。

(2) 磁粉探傷試験

電子磁気工業(株) もて き よし なが
生産管理部 品証課 **茂木良祥**

鉄鋼材料の一般的な探傷方法である磁粉探傷試験は、発電所のタービブレード、タービン軸、新幹線の車輪軸、航空機のランディングギア、ブレーキ部品、車のエンジンやブレーキ部品、足回り部品、エレベータモーターの軸等、安全にかかわる多くの部品の検査に使われています。また、原油のパイプライン、石油タンク等のエネルギー関連施設、化学プラントのフランジ検査等に確実な検査方法として採用していただいております。

磁粉探傷のJIS Z2320の改正がありその一部を紹介します。

JIS Z2320 (2017)

○磁化 一般 連続法では、試験面の最小磁束密度は1Tとする。

→1T程度が望ましい。

○総合性能試験 実施することが望ましい

→実施しなければならない

○新たに項目を追加

→LED及び光ファイバーを使用したブラックライトは、試験面で紫外線放射照度が $10\text{W}/\text{m}^2$ 以上

○試験報告書の項目に“検出媒体の適用時期”

は使用せず、試験条件の項目に含める。

全体として実務優先の規格になりました。詳細は原本を参照願います。

◇ 概要

表面欠陥は大規模破壊の原因となることから重点を置いて検査がなされています。特に、特殊鋼と呼ばれる材料については、腐食の原因や直接の強度に関わり、微細な欠陥も検出する必要があります。

磁粉探傷試験は、漏洩磁束に磁粉と呼ばれる磁性粉(大きさは数~数十 μm)が吸着することで幅数 μm の小さな割れから隠れている介在物まで検出できる探傷方法です。

磁力線は、電流を流すことや磁石を近づける事

で発生します。また、磁力線は、磁性体内部は通りやすく、空気や非磁性体の内部は通りにくいで、傷や介在物である非磁性体を避けて通ります。

磁性体の表面付近に傷や介在物があり、この現象が起こると一部の磁力線が表面に漏れ出し漏洩磁束になり、これに磁性体の磁粉が吸着されて、傷や表面下の介在物を検出することができます。

1. 磁化方法

磁界中に磁性体を入れると磁石のように磁性体を引き付ける様になります。これを磁化するといえます。磁化の方法には、コイルに流した電流で発生した磁界で試験体を磁化するコイル法、試験体に直接電流を流し、流した電流で発生する磁界が試験体自身を磁化する軸通電法、鉄心にコイルを巻き電流を流して電磁石にしたものを試験体に近づけ磁化するヨーク法、リング状の試験体には銅棒を通しこれに電流を流す電流貫通法等があります。

2. 磁化方向と欠陥検出方向

検出できる欠陥の方向と磁化する方向との間には関係性があり、一方向の磁化ですべての方向の欠陥を検出することは出来ません。検出しようとする欠陥の方向は磁化するために流す電流の方向と同一、と覚えるのが簡単です。傷が一方向にしか発生しない物は単一磁化方法を使用します。しかし、焼き入れや切削加工等の傷方向は、定まらないので複数方向の磁化を行う必要があります。

3. 磁粉適用・観察

磁粉は漏洩磁束に付着して傷を示します。磁粉には非蛍光磁粉、蛍光磁粉の2種類があります。非蛍光磁粉を使用する探傷試験は明るい環境下で行い、試験体の表面の色に合わせて磁粉の色を選択します。一方、蛍光磁粉を使用する探傷試験は検査面を暗くし、ブラックライトと呼ばれる紫外線照射灯を用いて傷に集まった磁粉の蛍光色を発光させ欠陥確認を行ないます(参照:写真1)。

磁粉の散布(適用)方法には液体に分散して使

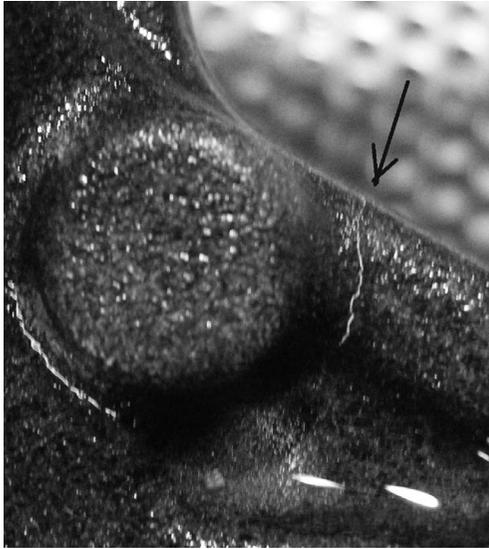


写真 1 実際の欠陥

用する湿式法と、磁粉を乾いたまま使用する乾式法があります。

ブラックライトはここ数年で水銀灯からLEDへと転換しました。これは水俣条約等の水銀規制法により水銀灯の国内での生産に規制が入った事と、LEDで紫外線を発光できる技術が出来たことによります。また、LEDのブラックライトは軽量で持ち運びが楽なため現場に普及してきています。また、省エネであり、寿命も長いことから据置用として徐々に増えてきています。

◇ 実際の検査の現場

1. 製鐵所（素材）

製鐵所ではビレット、パイプ、板材等で磁粉探傷が実施されております。

ビレットはライン上でヨーク法、軸通電法等で磁化をして湿式で検査しています。欠陥部分はサンダーで研削し除去します。線材まで加工したものは端末部分をサンプルとして切出しダイスで付いた傷を検査します。

板材はスラブを伸ばし板材とします。板材は端末部をサンプルとしヨーク法を使用し、湿式で検査をします。

パイプは板をまげて溶接して作るシームパイプと、丸鋼材の中に治具を通して穴をあけるシームレスパイプ等があります。シームパイプは溶接部

分を中心に、シームレスパイプは全体を探傷します。またパイプは接続して使用することが多い為、管端部分を探傷します。

2. 鍛造・鑄造・冶金工程

鑄造品は炭素が多く硬い反面、脆く傷が入りやすく磁粉探傷が最適な検査手法として利用されています。

鍛造は鉄の生地を型で伸ばして形にしますので伸びた部分に傷や割れやしわが生じます。鑄造と同様に形状が少し複雑な物が多く磁粉探傷を行うことが多くなります。

冶金は金型でほぼ製品に近い形になる一方、粉を焼き固める製造工程中で脆い状態があり、まれに割れが生じます。製品に近いので形状も複雑で磁粉探傷の対象になります。

3. 機械加工・熱処理・研磨

機械加工・熱処理・研磨の後には表面付近に割れが入ることが知られています。この時の割れは細かい事も多く傷の深さも浅い場合が有り粒度の細かい磁粉を使用し精度の高い探傷を行います。

◇ 画像処理を使用した自動磁粉探傷装置

画像処理装置を使用した検査装置は既に様々な分野で使用されています。形状認識、印刷のムラ、瓶の割れ、形状の安定した部分についての欠陥の検出、形状測定は実用化になって久しいです。しかし、磁粉探傷に関しては以前から要望はあるものの実用例が少なく、解決すべき問題を抱えているように思います。

1. 磁粉探傷装置

画像処理装置を使用する時の課題は、いかに擬似欠陥の発生を抑えるかにかかっています。擬似欠陥は以下のような条件がかさなり現れます。

- ①試験体の表面状態（なめらかな肌か荒れている肌か）
- ②試験体の形状
- ③磁粉の濃度、検査液の適用方法
- ④磁化電流の強さや通電時間
- ⑤その他、段取り等

これらの再現性を確保できる精度の良い磁粉探傷を行わなければなりません。

2. 画像処理装置

パソコンの計算速度は向上し続けています。ま



写真2 高画質カメラとLEDブラックライト

た、カメラもマシンビジョンと呼ばれていた30万画素の時代から1,200万画素と大きく変化しています(参照:写真2)。これらを使用すれば磁粉模様を欠陥と擬似欠陥に振り分けることも可能のように思えます。しかし、一般的な画像処理は、フィルタリングと呼ばれる操作を繰り返し指定した条件を満たす磁粉模様を抽出する事を行います。しかし、これだけではすべての欠陥を正確に抽出することはできませんでした。歩留まりを最小にすることは、生産者の目標とするところです。しかし「欠陥らしい物はNGとして捨てる」とすると生産性が損なわれます。そこで画像処理に求められるのが正確性です。

検査者は、よく傷の発生する部分を知っています。また、発生頻度の低い部分も知っています。たとえばこのような重み付けをして効率化する。一方、発生頻度の低い部分でも条件を考慮し傷と判断する。この様に検査者は効率を考えつつ見落としのない検査を続けているのです。この状態を画像処理装置に置き換えると臨機応変に対応するAIが必要かもしれません。

◇ 試験体の磁場解析

確実な磁化を行うことは磁粉探傷の基本です。

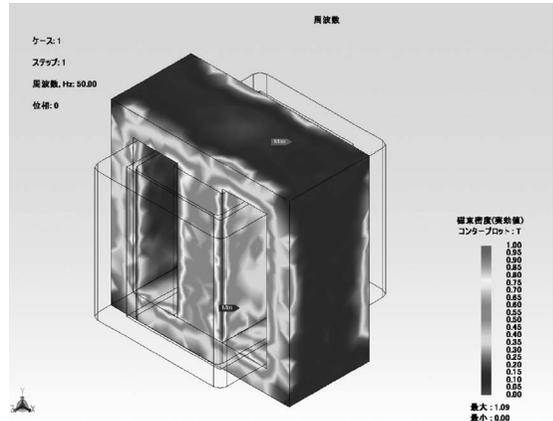


図1 三次元磁場解析

これを実現するためには磁場解析が必要です。現在は三次元の磁場解析(参照:図1)を行うことができます。

立体のイメージを用いた三次元有限要素法は、三次元の磁場を使用した磁化を表現できます。また、磁界は交流や直流を自由に設定でき、時間ごとに磁界がどのように変化するかが動画で確認でき最適な磁化のイメージも計算できます。一方、有限要素法はメッシュと呼ばれる計算単位の設定を行います。これを増やすと時間はかかりますが計算精度が向上します。メッシュを減らすと時間は短縮できますが計算精度が低下します。大きな検査物をシミュレーションする場合は、メッシュを多くしすぎると計算に数時間以上かかることもしばしばです。費用対効果を考えて効率の良い条件検索を行うことが必要です。

むすび

磁粉探傷の一部の検査ラインでは、工場のLANに接続し検査条件、検査結果をサーバーにアップしています。今後もIoTをはじめ磁粉探傷を取り囲む環境は日々進歩します、新技術を使い効率の良い完成度の高い検査の実施が望まれます。

(3) 渦電流探傷

まえがき

棒鋼や線材や管の表面を非破壊で探傷する方法にはいくつかの方法がある。それぞれの探傷方法にはその探傷原理により様々な特色がある。渦電流探傷を行うメリットとして高速で能率の良い探傷が行えること。センサーは被検査材と非接触で液体などの媒質は不要である。きずの大きさを電気的な信号として取り出せることからその結果を他の情報と合わせて電氣的、ソフト的に処理して評価を行うことが可能である。もちろんこの評価には人間の感覚が入り込むことが無いので常に一定の安定した評価が可能になり検査の信頼性が上がることになる。

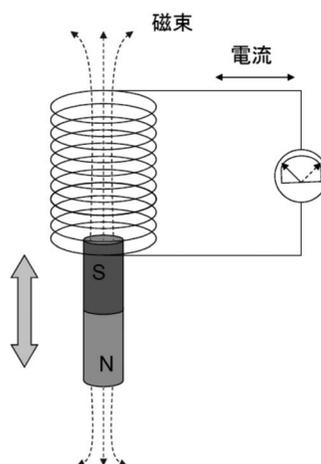


図 1

◇ 渦電流探傷の原理

まず渦電流とは何かを知る必要がある。そして、なぜこの渦電流で表面のきずが検出できるのかを考えていく必要がある。身近に渦電流を応用した様々な機器がある。その中でも家庭で使用される電磁調理器を例に挙げよう。原理は電磁調理器内部にあるコイル状に巻かれた導電体に交流の電流を流すことにより磁束が発生する。その磁束は近接する金属のお鍋に作用してお鍋の表面近傍に電流が流れ、そのジュール熱で熱くなるという仕組みである。お鍋の表面に流れるのが渦電流である。この一連の作用を電磁誘導と言う。図1のようにコイルに棒磁石を出し入れすると、コイル内での棒磁石からの磁束が増減を繰り返すことになる。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。これを自己誘導作用と言う。図2のように両端に交流電源が接続されたコイルAに、負荷が接続されたコイルBが直列に並んだ場合、コイルBに起電力が生じて電流が流れる。これを相互誘導作用と言う。図3のようにコイルAに導電体を近づけた場合、導電体の表面に電流が流れる。導電体がコイルB

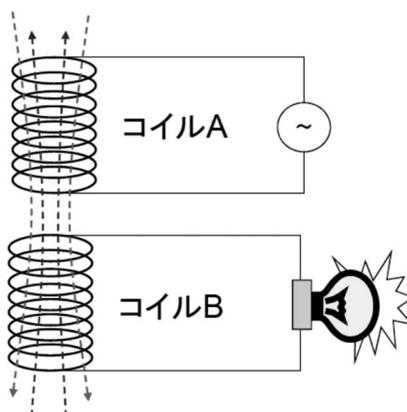


図 2

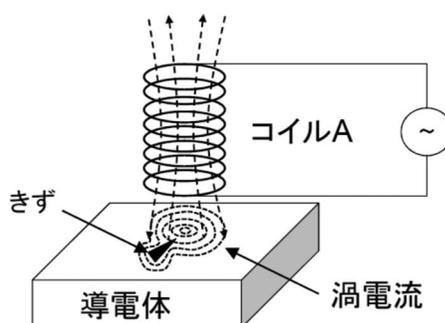


図 3

と同じと見ればよい。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Aに流れる電流にも影響が出る。交流における電気抵抗（導電率）の変化、すなわちインピーダンスの変化によりきずが見つかるということになる。このインピーダンスの変化は導電率の変化と強磁性体ならば透磁率の変化にも影響を受ける。このように電磁誘導の原理を利用したものが渦電流探傷である。

◇ 渦電流探傷への応用

電磁誘導を応用した非破壊検査機器には表面きずを検出する渦電流探傷機、硬さや材質判別をする渦電流検査器、導電率測定器、透磁率測定器、膜厚測定器などがある。

線材・棒鋼や管の表面きずを評価する探傷機は熱間圧延ライン、冷間の伸線ライン・引き抜きライン、冷間鍛造ライン、鍛造後の部品検査ラインと上流工程から最終加工工程に渡り、広く活用されている。センサー部分である試験コイルは使用されるラインにより様々な構造をしているが、基本は全て同じである。図4に示すように、ある特定の周波数を流す1次側コイル、被検査材の状態をピックアップする2次側コイルから構成されている。2次側コイルは差動型コイルと言われる2個のコイルから構成されている。差動型コイルにすることにより温度ドリフトの影響は受けなくなり、被検査材と試験コイルのリフトオフの変化による振動ノイズが大きく抑制される。きずがこの差動コイルを通過するとき差動バランスが崩れて小さなきずが安定して探傷できるということである。探傷方法は大きく分けて貫通型と回転型がある。

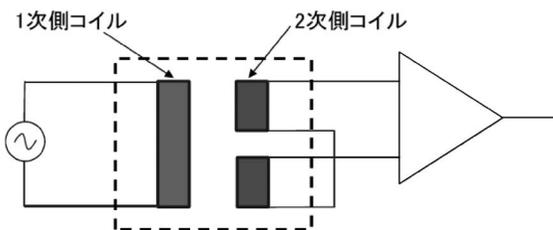


図 4

◇ 貫通型渦電流探傷

貫通型と呼ばれる探傷方法は、試験コイルの中に線材や棒鋼や管を通過させて探傷を行う。検出するきずの形態はへげきずや打痕といった短欠陥、また周方向欠陥などである。なぜならば、図5のように差動コイルの配置が被検査材の進行方向に対して前後に分かれているからである。きずが通過するとき差動バランスが崩れて検出する。そのかわり、軸方向に長く続くきずは、一旦きずの端が入ってしまうと差動バランスは均等となるので検出は不可能となる。しかし、いくら速度が高くても必ず試験コイルの中を通過していくのできずの見逃しは発生しない。よって最大ライン速度が120m/秒の熱間圧延ラインでも問題なく探傷が行える。強磁性体である鋼はキュリーポイントを越す熱間では比透磁率が1となるので磁気飽和の必要はないが、冷間での探傷の場合は比透磁率が200から1,000程度になり、透磁率の変化分が全て妨害ノイズになる。そこで磁気飽和をして比透磁率を1にすることにより安定した探傷が行える。インピーダンスの変化に大きく影響する要素が透磁率であるからである。もちろん磁気飽和すると被検査材は着磁するので脱磁してやる必要がある。

最近の技術動向として、貫通型でありながらクリアランス補正が可能な探傷システムの開発がされている。貫通型の場合、被検査材の通り芯がずれると同じ深さのきずであっても信号振幅の差が生じて安定した探傷評価が出来ない。その問題点を解決するためにセグメントアレイ方式の試験コイルと探傷機が開発されている。これにより芯がずれてもクリアランス補正が可能となり、また周方向のきずの位置情報も得られる。

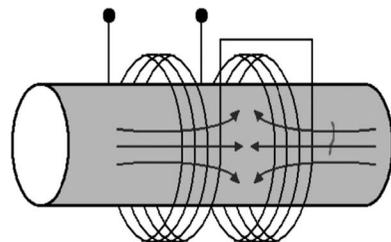


図 5

◇ 回転型渦電流探傷

回転型と呼ばれる探傷方法は、プローブ（上置コイル）が回転する中を線材や棒鋼を通過させて探傷を行う。検出するきずの形態は主に軸方向欠陥である。図6のように差動コイルの配置がプローブの回転方向の前後に分かれているからである。プローブがきずの上を通過するときに差動バランスが崩れて検出する。貫通型と違い、探傷速度の制限が発生する。プローブが被検査材の回りをスパイラル状に探傷しているからである。ある決められた通材速度以上になると、いわゆるトラリリ探傷となり未探傷域が発生する。もし、この未探傷域にきずがある場合、見逃しになる。どれだけの長さのきずが検出できるかはプローブの有効幅とチャンネル数と回転数と被検査材の通材速度の関係から計算される。逆に、短い無害きず信号による不良判定を抑制したい場合はSFS（Short Flaw Suppression）という機能がある。回転型はプローブの1回転の角度信号を常に取り込んでいるために、この信号とタッチ式の線速計測エンコーダーの両方の信号を処理することにより、線材の何mmの長手方向位置の円周方向の、どの位置に何mm長さのきずがあるのかが分かる。これを利用して伸線しながら同時にきず取りを行うことも可能である。一般的には貫通型に対して回転型は精密探傷と言われている。プローブと被検査材の間隔距離は0.3mmから0.5mm程度で、且つきめ細かく材料表面を走査することでより深さの浅いきずを検出が可能となる。

◇ 特殊鋼の探傷

高炭素鋼、合金鋼、高合金鋼と言われる特殊鋼

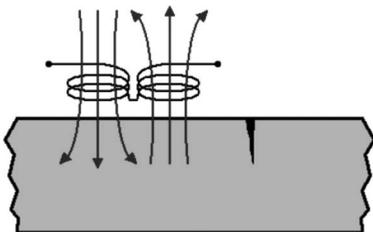


図 6

は鋼種によっては探傷が難しいと言われる。特殊鋼と言われる鋼種はより多くの炭素や様々な添加元素が多く含まれており、これが電気伝導度を下げる要因になる。前述したように渦電流探傷は被検査材に電気を流してその変化を検出してきず判定をしている。電気が流れにくいということはそこから受けとる電気信号も小さいということになる。小さければその信号を電氣的に増幅すれば良いのだが、きず以外の妨害信号、つまり肌性状によるノイズや素材由来の材料ノイズ、さらに搬送時の機械的ノイズや外来電気ノイズなども同じように増幅されるとS/Nが低下することになる。そこでいかにS/N低下を抑えるかはセンサーの性能や探傷電子回路の性能、回転型ならば機械的な性能に左右されることになる。探傷機側の性能とは別に、探傷ラインそのものもノイズの影響を及ぼさないような工夫が必要となる。搬送時の機械的なノイズが発生しないように常にメンテナンスをしておくことや、インバータ制御ならば電気ノイズの対策を事前しておくことなどが考えられる。

これら以外には被検査材側の要素で虚報が生じることがある。例えばSUS304はオーステナイト系ステンレス鋼の中でも最も塑性加工による透磁率の変化が大きい。被検査材全長の透磁率が一樣に高い場合、貫通型渦電流探傷ならば磁気飽和をすることでその影響は受けないが、製造工程上の何らかの原因でマルテンサイト化した部分が局部的にあれば、透磁率に他の部分と差が生じて大きな信号を検出する可能性がある。これもまた前述したように渦電流は透磁率の変化によるインピーダンス変化の影響を受けるからである。

むすび

塑性加工の技術向上により従来考えられなかったような部品加工も可能となり、益々、その母材である線材や棒鋼や管の表面きず検出の要求は厳しくなっている。基本的な渦電流探傷の要素技術は昔と変わっていないが新しいセンサーエレメントの開発や探傷機の開発でそれに応えようとしている。

(4) 浸透探傷

栄進化学(株) 茨城工場 あい ぎわ せい ぞう
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。試験対象の金属、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

浸透探傷試験には、表面に開口しているきず(割れなど)に、浸透性に優れた油性の着色液体(染色浸透液)や、蛍光染料を溶かした油性の蛍光性液体(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て、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。現象としては、毛管現象やぬれの現象及び知覚性によると考えられる。指示模様からの情報は、きず部の表面開口の位置であり、内部の状態の特定は難しい。

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)だけを除去する。
- 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

浸透探傷試験は、観察方法(2種類)、余剰浸透液を除去する方法(3種類)、現像方法(4種類)の違いにより分類され、各方法に適した探傷剤が使用されている。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。

(1) 観察方法による分類

(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)



図 1 浸透探傷試験の主な手順(作業の各処理)

- ②蛍光浸透探傷試験 (黄緑色の輝き (蛍光) / 暗い)
 * 検出感度は、指示模様の知覚性によって、一般に蛍光浸透探傷試験の方が高い。

(2) 余剰浸透液を除去する方法による分類

- 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
 ②水洗性浸透探傷試験：量製品の探傷、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

- ①速乾式現像法 ②湿式現像法 ③乾式現像法
 ④無現像法
 * 無現像法 (現像剤を使用しない) は、他の現像法に比べ、検出感度が劣る。

(4) 浸透液の感度レベルによる分類

JIS Z 2343-2：2017では、浸透液の感度レベルが分類され、染色浸透液では高感度と普通感度の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。なお、染色浸透液と蛍光浸透液の感度レベルの表記には相関はない。一般には、表面粗さの粗い試験体や素材検査には感度レベルを低く、滑らかな面で微細なきずの検出には感度レベルの高い浸透液を選定する。

◇ 浸透探傷試験の現状

1. 浸透探傷試験方法の選定

浸透探傷試験は、浸透探傷が可能なすべての製品 (素材として使用する材料を含む) に対し、製造時及び保守時のいずれの検査にも適用できる。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見て総合的に評価して方法を決める必要がある。表1に極めて一般的な浸透探傷試験の選択の例を示す。

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

表 1 浸透探傷試験の選択の例

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	浅い微細な割れ、幅が広く浅い割れ		○			○	
	疲労割れ、研磨割れ等幅が非常に狭い割れ	(○)	○	○		○	
大きさ	一般の割れ、ブローホール、砂かみ等の空洞状きず	○	○	○	○	○	○
試験体	小型部品	多数	○	○		○	○
		少数	○	○	○	○	○
	ねじやキー溝など鋭角な隅部		○			○	
	試験体の表面粗さ	鑄肌、極めて粗い面	○			○	
		粗い面	○			○	○
		滑らかな面	○	○	○	○	○
	大型部品や構造物	部分的な試験			○		○
全面又は広い範囲の試験		○			○		
環境条件	試験場所を暗くする事が困難な場合				○	○	
	水道及び電気設備が無い場合			○		○	

*後乳化性染色浸透探傷試験については、現在国内ではほとんど使用されていない。染色浸透探傷試験の中で最も微細なきずの検出に優れた探傷方法である。

ある。主な関連規格には、社内規格、及び下記に示すJIS規格、ASTM規格、ASME規格等がある。

JIS Z2343-1～6、JIS Z2323、ASTM E165、ASTM E1417、ASME B&PV Code Section V

3. 主な浸透探傷試験方法の操作手順について

浸透探傷試験の現状として、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、下記の3種類の試験方法の実際の操作手順と主な処理について示す。

・観察条件：

○染色浸透液：白色光下、明るい場所、明るさ500lx以上

○蛍光浸透液：暗所、紫外線照射灯下、明るさ20lx以下、紫外線放射照度：10W/m²以上

・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。|きずの大きさ（長さ、深さ）、きずの特定（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

この試験方法は、特別な装置が必要なく、エアゾール製品等にて適用されることが多く、携帯性が良く、素材、製品の検査に広く使用されている方法である。特に、過除去と現像塗膜形成に注意が必要。大形試験体や大形構造物の部分探傷に適す。



・試験体（形状、材質、大きさ）：丸棒（ステンレス）、φ40～φ300など

（2）水洗性蛍光浸透探傷試験-無現像法/速乾式現像法

この試験方法は、長尺物素材の探傷で多用されており、各処理の一連の装置構成となっている。検査室までの自動装置化も可能である。比較的大きな試験体や複雑形状の全面探傷にも適用できる。過洗浄に注意が必要である。一般に、無現像法は、他の現像法に比べ検出性能が劣るため、保守検査には使用されていなく、素材、製品の比較的大きなきずの検出に使用される。

洗浄時の廃水の放出には、廃水処理が必要である。

①水洗性蛍光浸透探傷試験・無現像法



- ・試験体（形状・材質・大きさ）：丸棒鋼（ステンレス）、φ40～φ200など
- ・洗浄条件：スプレー洗浄にて水温10℃～40℃、水圧275kPa（2.8kgf/cm²）以下、
- ・乾燥温度：温風70℃以下、

②水洗性蛍光浸透探傷試験・速乾式現像法

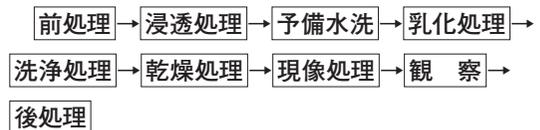
前述の①の工程に現像処理が追加され、よりきず検出性が高くなっている。蛍光浸透探傷試験の速乾式現像法の適用は、試験面に薄く適用する必要がある。航空機関連にも使用されている方法である（水洗性染色浸透探傷試験においても同一工程）。



（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

この試験方法は、浸透探傷試験方法の中で最も検出性能が優れた探傷方法であり、主に航空機関連の素材、加工製品に使用されている。探傷試験の手順においては、前記の（2）②に予備水洗、乳化処理が追加されている。装置は、各処理の一連の装置配置となっている。検査室までの自動装置化も可能である。



・試験体（形状）：航空機部品素材

参考として探傷試験 |水洗性蛍光浸透探傷試験と後乳化性蛍光浸透探傷試験（水ベース乳化剤）|、現像法（乾式現像法と無現像法）が可能な手動式万能型蛍光浸透探傷装置の一例を示す（図2 万能型浸透探傷装置のライン構成の例）。

4. 品質管理

信頼性の高い浸透探傷試験を行うためには、下記の各項目について、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

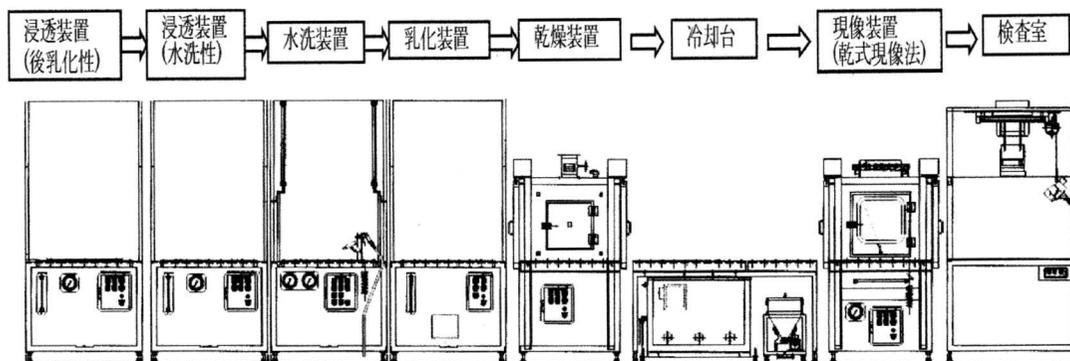


図 2 万能型浸透探傷装置のライン構成の例

5. 安全管理

探傷剤を使用するときは、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。これらの情報はラベルの表示や注意事項、安全データシート（SDS）等にて事前に確認しておく必要がある。

◇ 今後の課題

1. 環境等に対応した探傷剤と装置の開発

（1）国内外においては、ますます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っている。今後は、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）及び装置の開発が進むと考えられる。

2. 検査の効率化（自動化）

（1）装置の自動化

鍛造品など量産品では、自動化も一部行われている。しかし、試験体の形状、大きさの影響が大きく浸透探傷試験の自動化を困難としている部分がある。今後は、探傷剤、装置を含めた自動化の開発が要求されると考えられる。

（2）画像処理

観察工程の自動化として、画像処理による判定がある。単純形状の試験体においては、一部行われているが、形状、検出部位、バックグラウンドの影響等により、難しいのが現状である。今後、ロボットやAIの技術の開発が進み、人間に代って観察・評価（精度）、コストも含めた開発の要求があると考えられる。

(5) 画像処理による表面欠陥検査技術

ア メ テ ッ ク (株) オダ キ 聡
サーフェスビジョン事業部 事業部長 鈴木 聡

まえがき

特殊鋼を含む鋼板の表面検査は、近年、カメラおよび画像処理技術の発展により、その検査精度は向上してきた。アメテック社サーフェスビジョン事業部は、1990年に鋼板向けのCCDカメラによる表面検査システムを開発して以来、独自の画像処理技術により、画像判定により疵種分類ができる表面欠陥検査システムの開発をつづけてきた。本稿では、当社の製品「SmartView」の解説を交えながら、鋼板の表面欠陥の検査技術を紹介する。

◇ 表面欠陥検出のための光学技術（カメラ／照明）

1. ライン・カメラ

一般的に産業用カメラは、「エリア・カメラ」と「ライン・カメラ」の2種類のタイプに分けられる。「エリア・カメラ」は一般用のカメラや携帯カメラと同様の2次元画像センサで、静止したものに対して1回のスナップショットで画像を撮ることができる。

それに対して、一般的に鋼板用の表面検査では「ライン・カメラ」を使用しており、1次元の画像センサにより高速で流れている鋼板を連続でスキャンし、連続画像を撮像する（図1）。現在、当

社の表面欠陥検査システムでは、ライン・カメラにCCDまたはCMOSセンサが採用されている。CCDセンサは産業用に広く使用されている高感度のセンサであり、CMOSセンサは近年、高速・高解像度のカメラとして広く展開されている。どのタイプのセンサを採用するかについては、鋼板の流れる速度や表面疵（きず）の大きさなどの条件により選定される。

2. LED照明

表面欠陥を検出するためには、照明のノウハウは重要な要素である。例えば、疵のついた鋼板を眺めたときに、一見したところ疵は見えない場合でも、斜めからその鋼板を覗き込んだり、ある角度で強い光を与えたりしたときに、疵が見えることがある。これは、カメラを使う表面欠陥検査システムも同様で、照明方法やカメラの選定や配置によって疵の見えやすい条件があり、その条件は事前のサンプルテストで決定される。

当社はライン・カメラを採用しているため、照明は鋼板に対して幅方向に一直線のライン型LEDを採用することが多い。近年、LED照明の技術開発が進み、現在導入される検査システム用の照明のほとんどにLEDが採用される。一般的に鋼板の表面キズを検査する場合には、当社では幅方向に一直線がかつ光の直進性があるLED照明を採用す

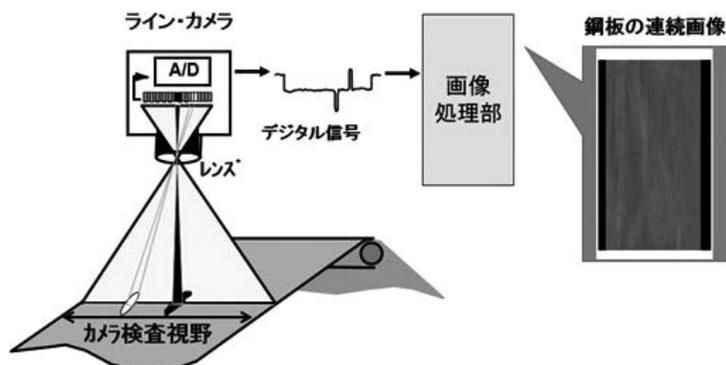


図 1 ライン・カメラにより鋼板の連続画像を撮像

る。このタイプの照明とライン・カメラの組み合わせにより、表面欠陥はより鮮明な画像で撮像され、また疵種により異なる見え方をする。

3. 光学配置

検査システムの検査能力において、画像処理ソフトウェアと同じくらい重要な要素の1つは、上記で説明したカメラや照明の選定を含めた「光学配置」の決定である。鋼板のさまざまな表面欠陥を見つけるために、カメラを幅方向に何台並べてどこまで小さな欠陥を見るのか、またどのような反射角度で照明／カメラを配置して、どんな種類の欠陥を検出するのか、例えば、正反射なのか乱反射なのかを決めなければならない。

当社のシステム「SmartView」では、正反射と乱反射の2つの異なるカメラを配置し、それぞれのカメラによる欠陥画像の情報を統合して、欠陥を判定するソフトウェア機能もある（図2）。

◇ 表面検査システムの仕組み

表面検査システムは、主に①光学系（カメラと照明）、②画像処理用コンピュータ、③システム・サーバによって構成される。カメラからの鋼板の連続画像を、画像処理用コンピュータに取り込み、リアルタイム処理でその濃淡の情報から欠陥の検出と疵種判定を行う。その結果は、システム・サーバに送られ、1つのコイルの検査結果としてまとめられ、端末にて欠陥情報や欠陥画像を提供する。

欠陥情報は、ハードディスクなどの媒体にコピーが可能な形式の検査ファイルに保存されたり、上位からアクセスがしやすいデータベースに格納されたりと、さまざまな形式で保存することができる。また、標準の帳票機能もあり、ユーザーが活用しやすい形式で欠陥情報をまとめることができる（図3）。

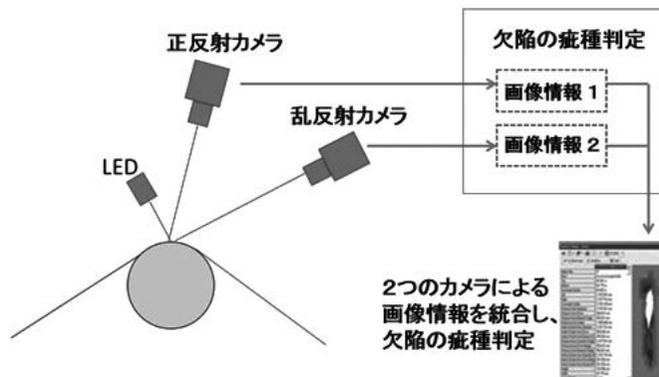


図 2 ライン・カメラによる鋼板の連続画像を撮像

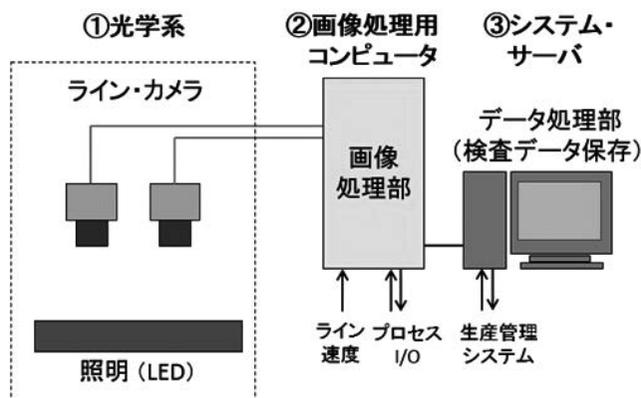


図 3 表面欠陥検査システムの基本構成

◇ 画像処理による表面欠陥の判定

ここでは、表面欠陥がどのように疵種判定されるかについて、もう少し詳しく解説する。表面検査システムの画像処理用コンピュータにより、銅板の連続画像から欠陥らしきもの、すなわち欠陥の候補が抽出される。それぞれの欠陥画像は、その画像の特徴を表すパラメータを持っており、そのパラメータによって、欠陥が疵種ごとに振り分けられていく。

その画像の特徴を表すパラメータは、①サイズ、②形状、③濃淡、④位置情報-に関係するもので、例えば①サイズに関係するものとしては「長さ」「幅」「面積」「周囲長」などがある。②形状は「縦横比」「円形度」、③濃淡は欠陥画像の明暗の「ピーク値」「平均値」など。④位置情報「エッジから近い距離」「周期長」なども疵種を判定するためのパラメータとして使用することができる。例えば、「縦横比」や「円形度」などのパラメータを使って細長いスクラッチ（ひっかききず）や丸い形状のボタ落ち（しみ）などを判断することができる。これらの画像の特徴パラメータは、当社のシステムでは、1つの欠陥画像から100種類以上のパラメータを抽出することができ、その中から疵種判定に最適なパラメータを使用して、欠陥を精度よく分類（疵種判定）することができる。

さらに、当社のSmartViewでは、「正反射のカメラ」と「乱反射のカメラ」からの2つの画像から抽出されたパラメータで統合的に疵種判定を行

うことができ、さらに精度の高い疵種判定を行うことができる。

1. 疵種判定の学習機能

疵種判定の条件設定は、以前はユーザーがどの画像の特徴パラメータを使うのがよいかを考え、そのパラメータを入力していた。現在では、疵種判定のための学習機能が備わっている。「学習機能」とは、検査結果が蓄積されればどんどん疵種判定の精度が向上するソフトウェア機能である。

まずは、検出した欠陥の画像を見て分類したい欠陥ごとに人間が振り分けていく。その振り分けた欠陥画像データの蓄積（「ディフェクト・ライブラリー」と呼ぶ）から、コンピュータが判断し、どのパラメータを使ったら最適に分類できるかを計算する。

すなわち、人間がパラメータを意識せずに、疵種判定の設定を行うことができ、人間は数値による設定に頭を悩ませることなく、欠陥画像を疵種ごとに整理することに注力すればよくなっている（図4）。

むすび

表面欠陥検査の関連技術としては、近年ではCMOSカメラやLEDの技術発展、高速画像処理に必要なコンピュータの高速化が図られ、検査システムのソフトウェア、機能が大きく向上してきた。市場の表面品質に対する厳格化とともに、検査システムの役割もますます大きくなってきており、我々もユーザーのニーズにあった検査システムの開発を続けていきたいと考えている。

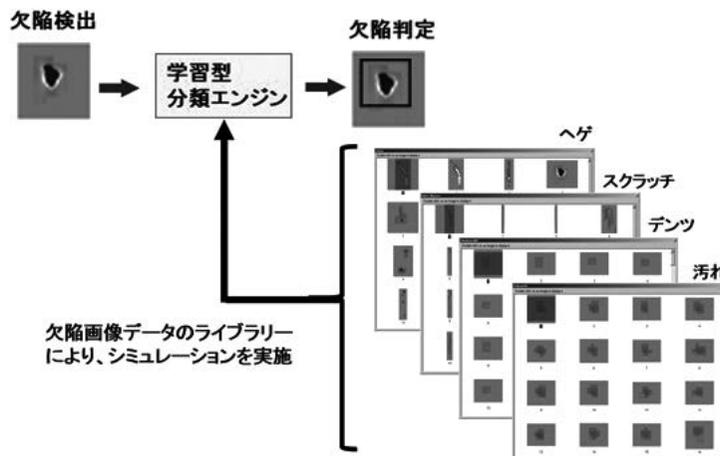


図 4 疵種判定の学習機能（欠陥画像の蓄積で精度向上）

(6) 赤外線サーモグラフィによる

溶接・接着・欠陥の非破壊検査

（株）ケン・オートメーション や お い た な つ や
代 表 取 締 役 矢 尾 板 達 也

まえがき

自動車をはじめ多くの構造物は溶接、接着、ボルト締結および機械的な接合が行われており、溶接、接着部の高信頼性、簡易的な非破壊検査が求められている。自動車の軽量化や低価格化に伴い、鋼材だけでなくアルミニウム、プラスチック、複合材等の様々な材料が用いられている。このため溶接、接着および機械的な接合が多様化されており、特に異材間同士の溶接、接着、接合の信頼性と耐久性が問題となっている。

多くの自動車部品等のクラック検査では化学薬品を塗布した非破壊検査法が行われており、検査後には塗布された化学薬品を排除する必要もあり、作業環境や作業者を保護する立場から脱化学薬品による非破壊検査手法が求められている。

ここでは、検査対象物に外的な励起（光、熱、超音波、渦電流、電流、等）を印加させて温度変化を発生させ、赤外線サーモグラフィを使用して検査対象物内部にある欠陥、き裂、溶接、接着、嵌合、内部剥離、密度バラツキ、塗装膜厚等を非破壊検査する手法を述べる。

◇ 赤外線サーモグラフィ

非破壊検査で使用される赤外線サーモグラフィは健全部と欠陥部で瞬間的な過渡現象で生じる極僅かな温度差を検知する必要があり、高い感度特性と高速フレーム・レートを有する高い時間分解能が必要とされる。一画素あたりの空間分解能は、赤外線サーモグラフィの画素数と使用するレンズによって決まる空間分解能視野角によって規定されるので、大きな検査対象物では一画素あたりの視野が大きくなる。微細領域を検査する際には拡大レンズを使って一画素あたりの空間分解能を小

さくすることもできる。これらのようなアプリケーションでは640×512画素から1,240×1,024画素といった高画素の赤外線サーモグラフィが使用される。

◇ 光励起による非破壊検査

光励起非破壊検査としてパルス・サーモグラフィ非破壊検査法では、検査対象物に瞬間的なランプ等の光励起により温度上昇をさせて、温度が下がっていく過程で健全部と欠陥箇所が発生する温度変化量および時間的な位相遅れを画像可する手法である。この手法は熱伝導係数の高い金属等、溶接・接着部の非破壊検査、表面近傍の欠陥の瞬間的な過渡現象を捉える検査に向いている。

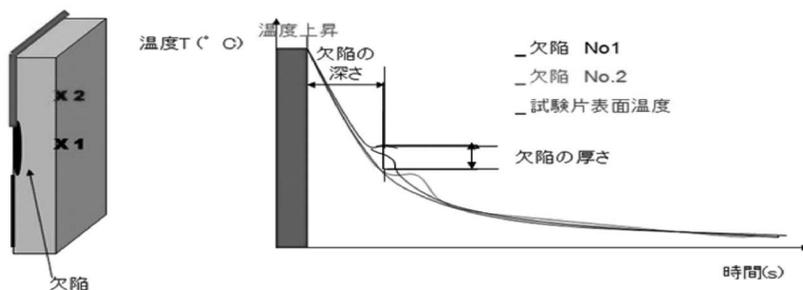
図1にパルス・サーモグラフィによる携帯電話用リチウムイオン電池の時系列画像を示す。左側の画像は光励起から短い時間で検査対象物表面の温度が高い状態であり表面に近い内部画像を、右側にいくに従って経過時間が長くなって検査対象物表面の温度が低い状態で深いところの内部画像を示しており、熱伝導の違いによる時間差から内部構造を断層画像化することができる。

◇ 超音波励起による非破壊検査

超音波励起非破壊検査では検査対象物に接触させた超音波振動子により検査対象物が超音波励起され、検査対象物内部にあるき裂やクラックによる内部摩擦およびヒステリシスの発熱が検査対象物表面に伝播してくる状態を赤外線サーモグラフィで画像化している。

図2に超音波励起により検査されたりベット留めの画像を示す。リベットが一体化して溶け込んだ状態の左側の良品では超音波励起しても欠陥箇所が無いので内部発熱しないが、リベット留めに

パルス・サーモグラフィ



携帯電話リチウムイオン電池パック

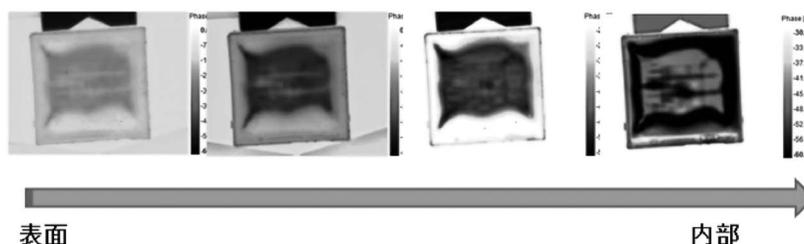


図 1 パルス・サーモグラフィ励起非破壊検査画像

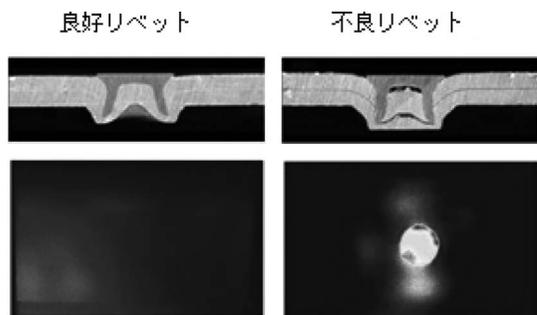


図 2 超音波励起非破壊検査画像

隙間が生じている右側の状態では内部摩擦による発熱現象が検査対象物表面まで熱が伝播して検出される。この検査手法は検査対象物の内部の気泡では発熱しないが、クラック先端では大きく発熱するのでクラックの検出や嵌合状態の検査に向いている。

◇ 誘導コイル励起による非破壊検査

誘導コイル励起では導電体である金属に誘導コイルで非接触加熱を行い、温度が下がっていく過程で健全部と欠陥箇所が発生する温度変化量および時間的な位相遅れを画像化する手法である。

図3にレーザー溶接された2枚の鋼材平板の溶接部の非破壊検査画像を示す。誘導コイルを赤外線サーモグラフィ側からみて検査対象物の裏面に置いて検査対象物内部の熱伝播を利用する透過法と、検査対象物に対して赤外線サーモグラフィと誘導コイルを同一面側に置いた反射法がある。誘導コイルによる渦電流は検査対象物を励起して温度上昇を行うとともに検査対象物表面近傍において渦電流として同心円状に均等な磁界を発生させる。もし検査対象物表面近傍にクラックがあると同心円状に発生している磁界はクラックを迂回するので磁界が乱れた粗密差から温度分布が発生し、クラックや欠陥の検出にも有効である。

図4に自動車マフラー溶接部の誘導コイル励起による非破壊検査画像を示す。左側の赤外線サーモグラフィの温度画像では検査対象物の表面の溶接の材料の違いや放射率の違いにより、溶接部の内部欠陥の有無を評価することはできない。右側の検査対象物表面の熱の伝播時間による位相画像では検査対象物の表面状態の放射率等の違いによる影響を受けにくく、マフラー内部の溶接状態の検査が可能になっている。このように、実際の自動車部品等のインライン検査では、放射率を均一

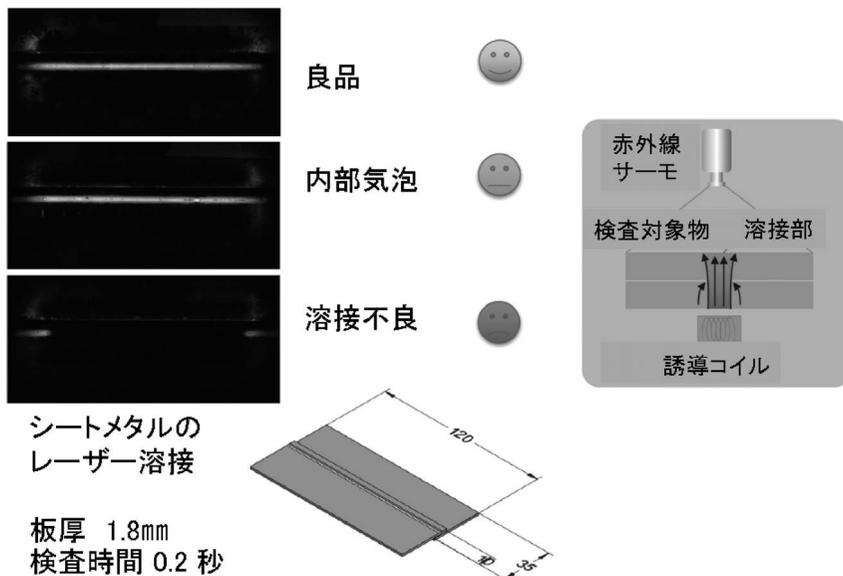


図 3 誘導コイル励起非破壊検査画像（シートメタル）

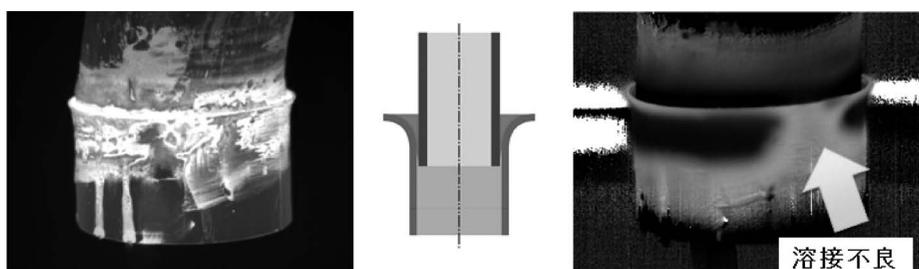


図 4 誘導コイル励起非破壊検査画像（マフラー）

化させるための黒色塗装を検査対象物表面に施すことができないので、表面の放射率や形状の影響を受けにくい位相画像による検査が行われる。

むすび

赤外線サーモグラフィ非破壊検査は検査対象物に各種の熱励起を印加することで検査対象物内部の欠陥や剥離状態を画像的に評価できる。幾つかある熱励起手法が、どのようなアプリケーションに向いているかは、検査対象物の材料、熱物性値、要求される欠陥の大きさや欠陥深さによって異なる。高感度、高速な赤外線サーモグラフィは極僅かな温度変化を捉えることができ、画像処理ソフトウェアと相まってS/Nの改善が図られている。赤外線サーモグラフィを使用した非破壊検査は検

査対象物の内部の熱伝播に基づく画像データであり、欠陥検出能力、最小欠陥寸法、欠陥深さ、欠陥検出可能な検査対象物の厚さは、励起する熱量、検査対象物の持つ熱伝導係数、赤外線サーモグラフィの空間分解能に依存する。赤外線サーモグラフィを使用した非破壊検査は画像データから、面積、位置、色合い、マスキング等による画像処理にしきい値を設定することで、インライン検査に対応した良否判定による半自動、全自動検査も可能である。熱伝導の違いは溶接や接着の強度に依存する要素であり、破壊試験との対比を行うことで、熱伝導の違いにしきい値を設定することも可能である。赤外線サーモグラフィ非破壊検査は、検査対象物に対して超音波励起を除いては非接触であり、環境問題となっている化学薬品を使わない

非破壊検査手法である。また、赤外線サーモグラフィ非破壊検査は超音波検査のようなスポット検査ではなく画像データとして広い検査対象面を一度に評価でき、励起させてから判別結果までの時間も短く、ロボット等の自動搬送装置と組み合わせれば連続的な検査も可能である。

参考文献

- 1) C. Srajbr, K. Dilger: Non-destructive evaluation of Car body structure by induction-excited thermography; Infra R&D -7th International Infrared Conference (2012)
- 2) 矢尾板達也、高尾邦彦、Alexander Dillenz: 赤外線サーモグラフィによる、溶接・接着・嵌合状態の検査事例；新素材に関する非破壊試験部門赤外線サーモグラフィ部門合同ミニシンポジウム、日本非破壊検査協会、p. 23-28 (2013)
- 3) 高尾邦彦、矢尾板達也、Alexander Dillenz: 赤外線サーモグラフィによる、溶接・接着・嵌合状態の検査；2013年自動車技術会春季大会、日本自動車技術会、学術講演会論文集 No. 39-13. p. 17-20 (2013)
- 4) 矢尾板達也: 赤外線サーモグラフィによる接着・溶接接合部の非破壊検査；溶接技術、第61巻／第10号、産報出版 (2013)
- 5) 矢尾板達也: ハイエンド冷却型赤外線カメラの適応事例；赤外線アレイセンサフォーラム2016、講演会資料、日本赤外線学会、p. 63-103 (2016)
- 6) 矢尾板達也、高尾邦彦: 赤外線サーモグラフィによる溶接・接着・嵌合部の非破壊検査；第116回軽構造接合加工研究委員会、溶接学会 (2017.1.18)
- 7) Alexander Dillenz: AUTOMATED CRACK DETECTION WITH ACTIVE THERMOGRAPHY；第14回赤外線カメラによる技術交流会、ケン・オートメーション (2018.1.19)



2. 内部欠陥

(1) 超音波探傷

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

まえがき

近年、持続可能な社会（Sustainable Society）というコンセプトのもと、CO₂削減のための軽量化や製造工程効率化、長寿命化などが構造材料全般に求められている。また、アジア各国の鉄鋼生産量増、高品質化など国際的な競争関係の急激な変化への対応のため、鉄鋼・特殊鋼に要求される特性・品質も以前に増して厳しくなっている。非破壊検査においても、10年前までは見逃されていたようなサイズのきずをかつ高速で検出する要求などが、波及的事象として現れていると考える。

本稿では、超音波探傷について、近年の品質要求に対応するためのトレンド技術や具体的なデータ処理方法などについて述べる。

◇ 超音波探傷試験

1. 概要

工業向け超音波検査技術は1940年代にアメリカで発明され、当時のソ連で実用化が始まった¹⁾。

今日、実用的な超音波周波数帯は、0.1～500 MHzと幅広い。

空中を進む光とは異なり、縦波、横波など固体内部や表面では多くの振動モードがあり、それぞれの特徴を利用してさまざまなアプリケーションに応用されている。

2. 近年の動向

鉄鋼、特殊鋼や溶接への品質要求が日々高度化しているなか、超音波探傷に対しても、精密化、高速化、上流化が求められてきている。また、ときに過酷環境下での作業を要求される。

これらの要求に対し、従来の一振動板によるパルスエコー法のほか、次の各手法が注目されている。

2-1. TOFD (Time Of Flight Diffraction)

微弱なきず端部回折波を高感度で検出し伝搬時間を計算する手法である。通常の超音波探傷では欠陥位置精度は1mm単位であるが、TOFD法では溶接部欠陥の深さを0.1mmの精度で測定できる。

2-2. 開口合成

多数のアレイ素子の送受信を制御し、多数の走査線を形成する。それらを一定のルール下で加算処理することにより、欠陥などのエコーS/N比が改善する²⁾。

アレイ素子の送受信パターンはさまざまで、特に同時送受信の場合は、高速走査が可能なフェーズドアレイと呼ばれる。

フェーズドアレイ法適用の端緒は、放射線影響下で作業時間が制限される原子力発電所の圧力容器シラウドや配管溶接部応力腐食割れ（IGSCC）検出などであった。

また、ビームステアリングが可能な特長により、タービンルートや橋梁溶接部など形状的に探触子アクセスが制限される部材の探傷に利用されるなどしている。

2-3. EMAT (Electro Magnetic Acoustic Testing)

磁石とコイルからなる探触子から交流磁場を発生し、材料中に渦電流を発生させ、ローレンツ力により超音波を発生させる手法である。

磁場は金属以外を透過するため、塗膜上からの探傷も可能である。また、超音波探傷に従来必要な接触媒質（水など）が原理的に不要な特長により、熱間加工後の高温部材探傷に利用されるなどしている³⁾。

2-4. その他

- レーザー超音波

固体表面にレーザー光線が照射されると表面薄層がプラズマ化され熱膨張（アブレーション）が

発生する。パルスレーザー光を照射すれば、固体表面に振動を発生させることができる。この原理によるのがレーザー超音波法である。

レーザー光は遠くまで届くため、従来は足場を組まないとアクセスできない、または近づけない部位の探傷が可能な手法として注目されている。

金属以外の探傷も可能で、道路橋梁などのインフラや航空機CFRP維持管理への応用が期待されている。

- 非線形超音波

従来の超音波探傷では送受信周波数は同じ（線形）であるが、送信周波数の高次高調波（非線形）を受信、画像化することにより、従来の超音波探傷では検出できない0.1mm程度以下の微小な反射源を検出しようとするものである。

高調波は粒界散乱の影響を受けず、初期クラック発生以前の塑性ひずみの検出までさかのぼることができる⁴⁾。

- 位相共役波

従来の超音波探傷は、送受信探触子は一つまたは一対である。また、探傷面は整った平面でなければ正確なエコーは得られない。一方、“鏡”と呼ばれる受送信素子により被検体の面形状などによる伝搬時間差が補正された音波を返す。このような音波はあたかも時間反転（Time Reversal Mirror）したかのようにふるまい、正確なエコーが得られるというものである。

表面が整った平面でなくてもよい場合、圧延前や表面未処理部材探傷への応用も考えられる。

3. インライン超音波探傷システム

鋼片半製品や、ベアリング、シャフトなどの素材丸棒鋼は、圧延後の表面検査として漏洩磁束、磁粉探傷、内質検査として超音波探傷が行われている。1ライン当たり日に数百～数千本を探傷するため、自動または半自動化されたシステムによっている。

棒鋼類の超音波探傷は、基本的に縦波垂直探傷である。しかし垂直探傷では底面エコーによる表面近傍の不感帯がある。そこで、表面近傍は横波または縦波斜角探傷によりカバーし、断面積90～100%の検査を実現している。

トランスデューサの受信信号は、通常φ1～2mm横穴により校正される。インライン探傷で受信され

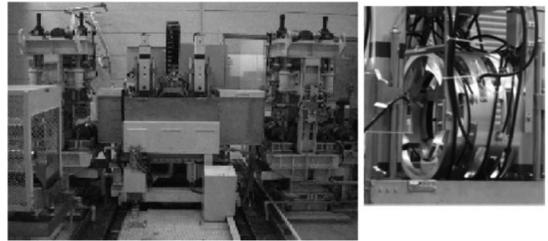


図 1 丸棒鋼インラインフェーズドアレイ超音波探傷装置（菱電湘南エレクトロニクス株製）

たエコー信号はA/D変換されたのち、探傷部位を規定するゲート処理過程を通過する。ゲート処理には、ピーク値保持と路程値保持がある。通常の場合ピーク値保持だが、パイプの肉厚測定では路程値保持も用いられる。ゲート処理により1走査線あたり数MBにのぼるデータ量が数Bに圧縮され、システム内部のデータ伝送高速化を実現している。

ゲート処理されたエコー高さデータは、さらに軸方向、周方向の一定間隔（5～10mm）毎に集約処理され、製品合否判定に用いられる。合否判定はエコー高さと連続性の二点についておこなわれる。エコー高さは、H線（校正きずレベル）、M線（H線の1/2）、L線（H線の1/4）により、軸・周方向には連続点数により判定される。最終的な製品合否は、これらの組み合わせによりおこなわれる。不合格判定された場合は、該当品にペインティングをおこない、判別しやすくする。

製品径にもよるが、数メートルの丸棒鋼製品1本の検査装置通過時間は最短で3秒足らずであり、個体間の空き時間も含め、4秒足らずの間にデータ保存を含めてすべての処理を完了している。

従来の棒鋼類のインライン超音波探傷システムは、探傷ヘッドが製品の周囲を回転する回転型であった。2000年以降、フェーズドアレイなどの手法が導入されてきている⁵⁾。機械式回転に比較して10倍以上の回転数により緻密な探傷が可能である。また、円弧型アレイ探触子の採用により一般に3倍程度のきず検出感度が得られるといわれている（図1）。

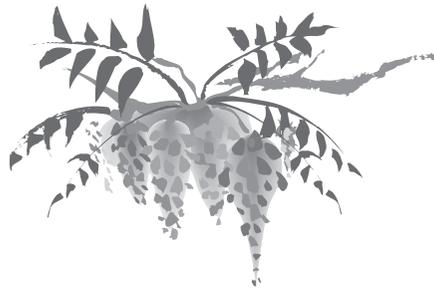
むすび

今日、非破壊検査の最先端はnm（ナノメートル）の原子オーダーにまで到っている。比較して超音波探傷は最小でもμmオーダーであり、今や

ex-situと評する向きもある。しかし、数十～数百mmの厚みをもつ材料の内部を高速かつ精密に調べることができるin-situな手法としては現在でも唯一のものである。今後も工業検査分野で重要な位置を占めながら産業界ならびに社会の安全に貢献し続けていくものと確信する。

参 考 文 献

- 1) 平澤英幸：「最新の超音波探傷技術」溶接学会誌 vol. 70 No. 4 (2001) P 23～26
- 2) 古村一朗、古川敬：「開口合成3次元超音波探傷法によるNi基合金溶接部SCCの探傷特性」溶接・非破壊検査技術センター 技術レビュー vol. 6 (2010) P 13～19
- 3) 城所保彦：「最近の非破壊検査技術と検査機器の動向」特殊鋼 vol. 54 No. 5 (2016. 9) P 12～14
- 4) 川嶋絃一郎：「非線形超音波（高調波）法を用いた非破壊材料評価・検査」千葉県非破壊検査研究会資料 (2014. 7)
- 5) 田中洋次、市川宏ほか：「丸棒鋼用フェーズドアレイ自動探傷装置の開発」第19回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集 (2012. 1)



(2) 電磁超音波探傷 (EMAT)

ULTRASONIC (株) かわむらこうじ
技 術 部 長 河 村 皓 二

まえがき

電磁超音波探傷 (EMAT) 技術について、日本では1970年代、鉄鋼のNDI研究者の間では省エネルギー技術ということで、材料を冷やさずに非接触で検査できる電磁超音波探傷の実用化の研究が盛んに行われていたが¹⁾、その後鉄鋼製造ラインで実用化されている装置は少ない。

一方、ソ連及びその後のロシアでは、水が凍結して超音波探傷を行うことが困難という理由のため、水を使わないUSTであるEMATの研究開発が継続的に行われている。

本稿では最近のEMAT技術について、ロシアのメーカーであるウルトラクラフト社 (UK社) におけるEMAT技術を紹介する。

◇ 電磁超音波法の原理

EMATで送受信される超音波は圧電振動子型と比べて特殊な特性はない。EMATによる超音波探傷の最大の特徴は、振動源あるいは受信源が被検査材表面にあるため、接触媒質が不要であるという点にある。このため、常温から高温までの広い温度領域において、超音波探傷が可能である。また図1の原理図に示すように、磁束の方向と電流の方向を変えることによって、種々のモードの超

音波の送受信ができる。

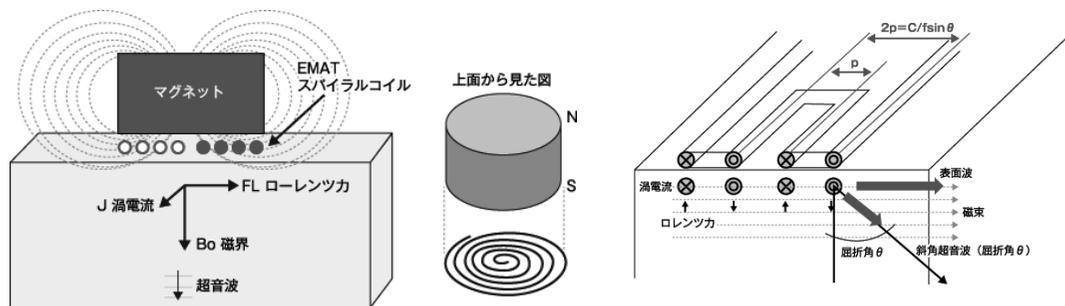
1. EMATによる垂直法

厚鋼板やスラブなどの鋼材の内部欠陥の検出は常温～キュリー点 (鋼790℃) の範囲では、通例垂直磁場と高周波パルス電流により発生する垂直横波を使用する。それ以上の温度では非磁性となり、垂直磁場が作り難く、水平磁場を使用する縦波を利用する。

EMATによる垂直法 (垂直横波) の原理を図1 (a) に示す。垂直磁場中の磁場 B_0 とEMATコイルに高周波パルス電流を流すことにより、試験体表面に発生する渦電流 J との相互作用 (フレミング左手の法則) で、水平方向にロレンツ力 FL が発生する。このロレンツ力が水平方向の横波超音波となり、垂直方向に伝播する。受信はこの逆のメカニズムすなわちマグネットによる磁場と材料表面に戻ってきた超音波振動とによる相互作用で渦電流が発生し、その渦電流の磁束をEMATコイルでピックアップすることにより行われる。

2. EMATによる斜角法、表面波法及び板波法

図1 (b) に示す楕形のEMATコイルを磁場中で (図では水平磁場を想定している) 使用する。コイルピッチ p と斜角屈折角 θ 、周波数 f と音速 C との関係は $2p = C / f \sin \theta$ で与えられる。 $\theta = 90$ 度及び音速を表面波音速に設定する条件では表面波と



(a) 垂直法²⁾

(b) 斜角法、表面波法及び板波法

図 1 EMAT原理図

なる。板波は板厚、周波数及び角度条件によって発生し、いろいろなモードの板波を送受信できる。超音波の伝搬方向については、図では片側に超音波が伝搬しているが、実際は反対方向にも同時に超音波が伝搬する。

◇ 実用化装置例

実用化されているEMAT装置の代表例として、最近日本でも導入されているUK社の厚鋼板のEMAT装置及び薄板の板波EMAT装置について紹介する。

1. 厚鋼板EMAT装置³⁾

厚鋼板へはオンライン及びオフラインで適用されている。図2にオンライン用厚鋼板EMAT装置および探触子ブロックの外観を示す。

一個の探触子ブロックの中には、マグネットと4から16の独立したセンサーコイル（探触子チャンネル）が内蔵されており、この円形の探触子ブロックが、厚鋼板の片側表面上、幅方向に隙間なく置かれ、その間を材料が通過することにより板全体の探傷が可能となる。エアークッションで探触子ギャップを一定に保ち、かつそのエアによる冷却効果で、最大720℃の温度の厚鋼板の探傷を可能とする。

厚鋼板EMAT装置は、データ処理ソフトウェアを有し、探傷データを自動的に処理して、厚鋼板USTのJISや国際的な規格に従った評価を行う。またリアルタイムに各探触子チャンネルにおける被試験材位置に対応するA、B及びCスキャンデータを表示する機能を有する。

また表面欠陥を検出するための表面波EMAT探触子を装備した厚鋼板EMAT装置の製作も可能である。

厚鋼板EMAT装置の主仕様例を以下に示す。

- 1) 探傷方法：電磁超音波法
- 2) エッジ形状：切断および圧延まま
- 3) 板幅：1,000 - 55,000mm
- 4) 板厚：5 - 100mm
- 5) 板温度：720℃以下
- 6) 板搬送速度：0 - 2.0m/s
- 7) 板厚測定精度：±0.05mm
- 8) ラミネーション状欠陥検出感度：FBH2以上
- 9) データ処理ソフトウェア：JIS等の規格に対応して検査結果を評価また試験結果のリアルタイムの表示（A、B、Cスキャン）

2. 薄板用板波（ラム波）EMAT装置

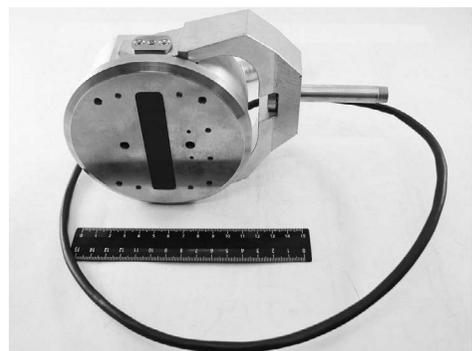
熱延鋼板及び冷延鋼板の内部及び表面欠陥検出には従来、タイヤ探触子を使用した板波USTが使用されている。板波EMAT装置は接触媒質が不要でカップリングが安定しているため、検査のため速度を抑える必要がなく、高速ラインに適用できる。以下、板波EMAT装置について、検出性能と装置仕様を述べる。

検出性能例について図3に示す。使用した動的試験装置を図3(a)に示す。この試験装置はホイール式回転体になっており、その回転体に熱延鋼板を取り付け、速度432m/minの速度で試験を行った。その結果、図3(b)に示すように、3個の直径1mm貫通孔を検出することができた。

薄板EMAT装置の主仕様例を以下に示す。

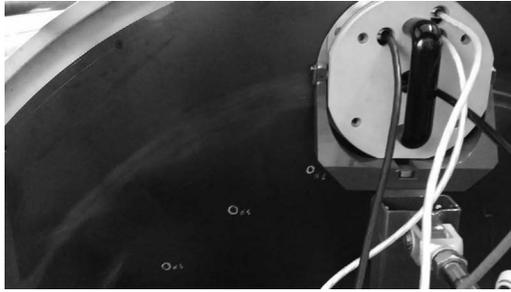


(a) 装置の外観

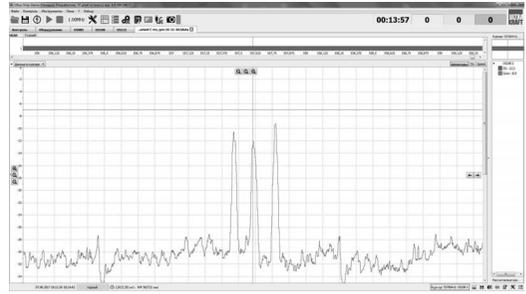


(b) 探触子ブロック

図 2 オンライン厚鋼板EMAT装置



(a) 動的試験装置の外観



(b) 3個の直径1mm貫通孔の検出データ

図 3 検出性能例

- 1) 検査可能な材質：磁性金属材料及び非磁性金属材料
- 2) 板厚：0.4mm～5mm
- 3) 検査速度：熱延酸洗コイル 0～440m/min
冷延コイル 0～1,500m/min
- 4) 探触子ギャップ：エアークッション方式
- 5) 検出力：酸洗コイル ϕ 1.0mm 貫通孔
冷延コイル ϕ 0.05mm 貫通孔
- 6) 高速ラインへの対応：幅方向に複数チャンネルのEMAT探触子を並べて対応

◇ EMATの検出性能の向上対策について

従来のEMATの開発の考え方は、EMATのパワーは（磁場強さの二乗）×（渦電流の大きさ）に比例するため、磁場Bを強くし、かつEMATコイルに流す電流Iを大きくする。すなわち主としてパワーを大きくすることにより、S/Nを上げることを行ってきた。その結果、装置が大掛かりとなり、探触子も寸法が大きかつ重くなり、自動装置化、実用化を困難にした。また、実機化しても、故障が多く、メンテナンス性が極めて悪い装置となっていた。

UK社の装置開発の考え方は、磁場Bもコイルに流す電流Iもなるべく弱くし、実用性、メンテナンス性を重視する。すなわち、電磁石を使わずに永久磁石を使用し、高圧パルサーは使わず、従来のUSTと同じような低圧パルサーを使っている。

そして検出力を上げるために、下記のような対策を開発実施している。

- 1) 低ノイズ高感度アンプの採用
- 2) デジタルフィルタ及びウェーブレット変換などの革新的なアルゴリズムを適用した信号処理技術を採用。

このような対策により、検出力が優れかつ、装置及び探触子の寸法が小さく軽くなり、自動装置化が容易となった。またメンテナンス性の良い装置を提供できるようになった。

むすび

以上EMAT技術について、UK社のEMAT装置の実用化例やEMATの検出性能の向上対策を紹介した。UK社のEMAT装置は実用性やメンテナンス性を重視した考え方で、開発された装置であり、日本の鉄鋼製造ラインでも使用されてきている。今後、高速探傷、高温部材への適用などEMATの特徴を生かした各種の適用例が更に拡大していくものと思われる。

参考文献

- 1) 電磁超音波による鋼材の高温探傷について 宮川一男 他 鉄と鋼 65 (4)、S246 (1979)
- 2) ASTM Designation: E 1816-96 Standard Practice for Ultrasonic Examinations Using Electromagnetic Acoustic Transducer (EMAT) Techniques
- 3) 電磁超音波探傷装置の最新実用化例 厚鋼板の電磁超音波探傷装置 城所保彦 他 検査技術 19 (7)、15-19 (2014)

3. 寸 法

ま え が き

従来から線材、棒鋼などの圧延材料の寸法管理は、圧延後の材料をサンプリングし、冷間状態でマイクロメータにより、人が製品寸法を測定していたが、近年では圧延技術の高度化、製品寸法の品質厳格化に伴い、圧延中に連続して外径を測定する寸法測定装置が広く使用されている。

この寸法測定装置の多くは1980年代に(株)島津製作所が開発した回転式寸法測定装置が使用されており、開発から30年以上が経過した現在においても、国内鉄鋼メーカーの製品寸法の保証計器として稼働を続けている。

しかし、2010年頃から装置の使用部品の製造中止が相次いだことで後継機の開発投資時期を迎えた際に当時の製造販売元である島津メクテム(株)より、2012年に当社(旧ニッテツ北海道制御システム)が寸法計事業を継承し、現在に至る。

本稿では回転式寸法測定装置の後継機種と最新の寸法測定装置について紹介する。

◇ 回転式寸法測定装置の特徴

1. 測定原理

図1に示すように光源から出た光が、投光レンズにより平行光にされ、被測定物に当たる。

光源と反対側にある受光レンズにより、CCD (Charge Coupled Device) に被測定物の影を作り出し、CCDは光の明暗に応じた電気信号に変換、0.4msecという短時間で一斉に記録し、この出力信号から影の画素数をカウントし、(1)式にて被測定物の直径を演算する。



図 1 測定原理

$$(1) \text{ 式 } D=N \times P \times Z \times (S+B)$$

D : 直径 N : CCDの影の画素数

P : CCDの画素間隔

Z : レンズ倍率

S : スパン B : バイアス

このスパン及びバイアスは、既知の校正ゲージを複数サイズ測定し、その影の画素数により求められる。例えばサイズが異なる2個の校正ゲージを測定した場合、直径 D_1 の時の画素数が N_1 、直径 D_2 の時の画素数が N_2 とすると、

$$D_1=N_1 \times P \times Z \times (S+B)$$

$$D_2=N_2 \times P \times Z \times (S+B) \text{ となり、}$$

$$S=(D_2-D_1) / ((N_2-N_1) \times P \times Z)$$

で演算できる。

尚、画素数 N は粒子化誤差を少なくするために多数回測定した平均値として計測する。

本装置は回転しながら測定するため、上記で演算された直径データと角度センサーからの信号により、被測定物の角度に対応する直径を取得し、被測定物の全周測定を可能としている。

2. 本装置の特徴

前項では光投影法による一般的な測定原理を紹介したが、被測定物の直径を高精度に且つ安定した測定を実現するためには、使用する光学部品と現場環境による外乱影響を抑制することが重要である。そこで、長年に渡り、なぜ本装置が国内鉄鋼メーカーの製品寸法の保証計器として信頼され、稼働し続けているかを紹介する。

1) テレセントリック光学系の採用

テレセントリックとは、図2に示すように、物体側、或いは像側、または両側の主光線が無限遠まで光軸と交わらないことをテレセントリック光学系と言う。

物体側テレセントリックになっている光学系は、物体とレンズの距離が変化しても像のサイズが変化しない特徴があるため、寸法測定用に多く使用されている。

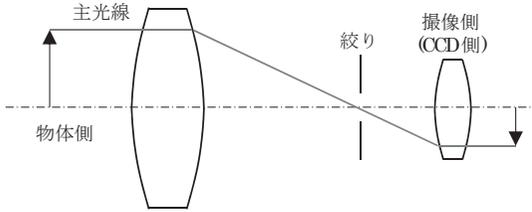


図 2 両側テレセントリックレンズ

単レンズは、その断面形状の違いによって大きく2種類に分けられ、中心厚が周辺より厚い凸レンズ、逆に中心厚が周辺より薄い凹レンズがある。

更に細かく分類すると両凸(凹)、平凸(凹)、凸(凹)メニスカスの6種類になる。

本装置で使用しているテレセントリック光学系は、被測定物のサイズ範囲、被測定物の振れ量を考慮した測定視野に見合うレンズ径を選定し、CCDに受光されるまでの近軸光線を求め、理論上、収差が生じないように単レンズを数枚組合せて設計されている。

しかし、精密な光学設計をしても物理的にレンズの収差を無くすことはできない。

2) レンズの収差補正

被測定物の位置とその被測定物によりCCDに写る像の大きさは一定であることが理想であるが、実際には上項で述べたレンズの収差やCCDの画素ピッチ、及び出力特性のバラツキなどにより、測定誤差が生じる。

これを補正するためにCCDの出力をあるアドレス毎に分割し、セクション毎に補正係数 α_n を決め、(2)式により、演算し補正する。

$$(2) \text{ 式 } D'n = \alpha_n \times D_n$$

D'_n : 補正後の値

D_n : 補正前の値

直径Dの被測定物をレンズ視野のa点で測定した時の値がDa、b点で測定した値がDbであった場合、補正係数は(3)式で与えられる。

$$(3) \text{ 式 } \alpha a = D/Da$$

$$\alpha b = D/Db$$

理論上は各画素単位で補正をすれば誤差が最小となるが、実際には光の回折現象、処理速度の問題により、数百画素単位で補正している。

3) 外乱影響の抑制

圧延ラインで自動測定する場合、スケールや冷

却水、ミスト、輻射熱などの外乱により測定誤差やエラーが生じる。

このような圧延ラインの現場環境でも安定した測定を実現するための外乱信号キャンセル機能やドリフト補正、更に光学面に付着するスケール、汚れを除去するオートクリーナー装置も搭載し、連続圧延という環境下においても高精度、且つ安定した測定を実現している。

◇ 新型回転式寸法測定装置の紹介

当社が寸法計事業を継承したのは、2012年であるが、既に国内棒線メーカーの圧延ラインに60台の回転式寸法測定装置が導入されていた。

1980年代に開発された装置のため、当時から使用していたCCD等の電子部品の多くは製造中止を迎えていたため、後継機の開発に取り組んだ。

開発コンセプトは「従来機の測定精度を維持した上で更に操作性、保守性の向上を図り、島津ブランド名を汚さない後継機の開発」である。

以下に後継機で開発した主な項目を紹介する。

1. 光源の長寿命化

従来は光源にハロゲンランプを使用していたが、熱間(赤色)材の波長との分離性を考慮し、青色LEDの採用により、長寿命化を図った。

2. 新型CCDの採用に伴うデジタル化

後継機で採用したCCDは高分解能、高感度の素子を選定したが、デュアル出力仕様となっており、アナログでは回路構成が複雑になるため、FPGAを搭載したデジタル回路に変更した。

3. デジタル化による付加価値

アナログからデジタルへの単純更新では付加価値がない。そこで角度信号の取得に必要であった円周上6度毎に配置されていた近接センサー60個を回転同期用のセンサー1個とし、角度演算による割付処理により、機器の削減を図った。

また従来、測定信号はスリップリングを介し、データ処理装置へ伝達していたが、後継機では無線LANでの通信も確立し、省配線化、及び保守性の向上も図った。

4. 測定データの履歴管理機能

本測定データは品質管理上、重要なデータであり、従来は記録チャートを証拠データとし保管していたが、後継機ではチャートレス機能も搭載し

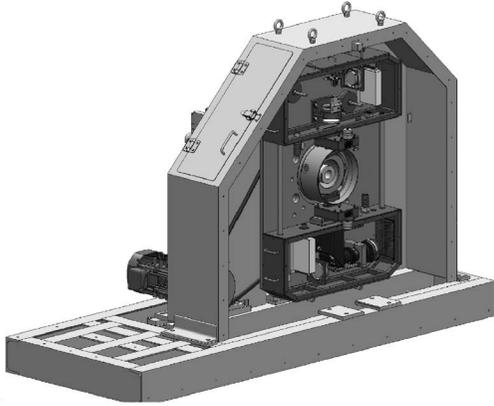


図 3 新型回転式寸法測定装置の外観

測定データの再生、履歴管理機能も付加している。

現在は従来機10台を後継機（図3）へ更新し、安定して稼働している。今後も本装置が国内棒線の品質保証計器として信頼され、稼働し続けるだろう。

◇ 最新の寸法測定装置の紹介

製造に対する寸法要求精度の高度化により、現在は2ロール圧延機から3ロール圧延機が主流となっている。

回転式寸法測定装置は2ロール圧延材に対しては高精度に測定できるが、鋼材の凹みや3ロール圧延特有の形状においては、測定誤差が生じる。

そこで現在は図4に示す通り、光切断法を適用した寸法形状測定装置が開発されている。

光切断法はスリットレーザーを被測定物の全周に照射し、その反射光を受光素子で検出、三角測



図 4 光切断方式 寸法形状測定装置

距することでスリット光の1ライン分の2次元距離値から被測定物の寸法形状が測定できる。

本装置は既に海外・当社を含めた国内の寸法測定メーカーが商品化しており、棒線・鋼管のみならず、形鋼や異形材まで適用拡大が期待される。

また大きな形状変化、すなわち表面欠陥の検出機能も有した高機能版の開発も進んでいる。

しかし、検出したい自然欠陥の大きさや形状に対し、光切断法では、そのニーズにまだ十分に对应できないのが現在の装置実力であるが、実用化されるのは、程遠くないのではないだろうか。

むすび

当社は国産の寸法測定メーカーとして回転式寸法測定装置とスウェーデンにあるパートナー社（LIMAB）の寸法形状計の2機種を提案することにより、今後も棒線の製造品質の向上に貢献していく所存である。

Ⅲ. 最新の材料解析技術

リバース 4D材料エンジニアリング： その構想と最近の展開

Reverse 4D Materials Engineering: Its framework and recent evolution

九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 **戸田裕之**

豊橋技術科学大学 工学部 機械工学系 **ラファエルバトレス**

福井大学 工学研究科 原子力・エネルギー工学安全工学専攻 **桑水流理**

豊橋技術科学大学 工学部 機械工学系 **小林正和**

九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 **細川明秀**

Keywords: synchrotron radiation computed tomography; image-based finite element analysis; metamodel

まえがき

材料工学は、主として表面・断面や薄膜等の二次元（2D）観察により発展してきた。一般に、2D情報は幾何学的に不完全であり、現実の3D（三次元）構造を見誤りかねない。また、往々にして観察対象のごく一部のみをサンプリングするため、統計学的にも不完全な情報となる。サンプリングにより得られたサイズなどの特徴量のデータは、平均化されてマクロ特性と関係付けられる。しかし、物体内の単一、ないしはごく少数の特徴点がマクロ特性を規定する疲労破壊のような場合、サンプリングも平均化も全く用をなさない。また、得られた知見を普遍化したり、特性の予測を行うような場合、複雑な組織を主に2Dで抽象化・単純化するのが学術研究の常套であった。

近年、中性子やX線、電子線などを用いた3D/4D（4Dは、3Dに時間軸を加えたもの）イメージングの活用が始まっている^{1)~4)}。これにより、手法毎に観察視野のサイズは大きく異なるものの、複雑な形態を有する膨大な数のマイクロ組織を観察

視野内で全て観察、計測できるようになった。その上、関心のある特性に直接大きく影響する、時として極めて限定された種類、性状、領域のマイクロ組織を特定し、マクロ特性との関係を解析・評価することが可能となった。また、材料のナノ～マクロ組織を3Dイメージングし、それをそのまま忠実に再現した3Dイメージベースモデルを用いた計算機実験も試みられている。つまり、サンプリング、平均化、抽象化、単純化といった従来研究の傾向を極力排除し、材料の全体積、全時間にわたる観察により、局所的な事象を確実に把握することができる。また、複雑で不均一な組織がもたらす、一見確率的に見える挙動と整合するイメージベース解析により、確度の高い実証性を担保できる。

上記の各種3D/4Dイメージング手法の中で、シンクロトロン放射光を用いたX線マイクロトモグラフィー（以下、XMT）は、バルクと呼べるほどの比較的大きな試験片サイズとマイクロ組織が可視化できる程度の高分解を兼ね備え、4Dもカバーできる唯一の研究技法である^{1)~4)}。また、高

輝度単色X線の吸収、位相、回折などの性質から、弾性および塑性歪み、き裂進展駆動力、化学成分、結晶組織と結晶方位などの情報を材料内部で3D/4Dマッピングできる^{1)、3)、4)}。このように、単なる「見る道具」のレベルを越えた「わかる道具」としての側面も、近年、精力的に開拓されつつある。本報では、XMTを用いた例を紹介する。図1に示す様に、XMTでは、ナノ構造はサブミクロンから1μm前後の大きさのvoxel（3D画素）内部で均質化し、他方マクロ側では、構造物と歪分布を介して対応させることができる⁵⁾。つまり、疑似的にナノからマクロに至る8桁以上のサイズ範囲をカバーすることになる。そして、その中間4桁（サブミクロン～数mm）のメゾ構造がマクロ特性を概ね規定するような現象を対象に、ミクロ組織を最適化することができる。

それら技術の昨今の発展と内容とを鑑みると、これを学術研究だけではなく、産業的にも有効に活用することが期待される。ここでは、「見る道具」としての活用はさておき、産業に役立つ新しい技術体系の可能性を紹介する。

◇ リバース4D材料エンジニアリング

機械工学には、リバースエンジニアリングという概念がある。これは、図2に示す様に、クレイモデルや、既にある機械や機械部品の形状を計測

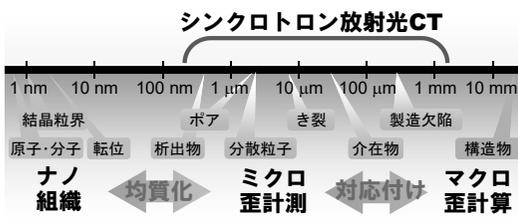


図 1 ナノからマクロに至るサイズレンジとシンクロトロン放射光がカバーするサイズ範囲

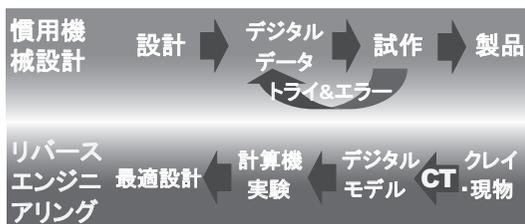


図 2 機械工学におけるリバースエンジニアリング

し、作成したCADデータをCAE解析することで製品の設計・開発の飛躍的効率化、高精度化を図るものである⁶⁾。現物から設計という、従来とは逆方向の流れのプロセスが「リバース」と称する所以である。

材料の開発過程では、図3の上側に示す様に、トライ&エラーを繰り返すことが常である。上記のリバースエンジニアリングでは、限られた数の形状急変部、流体の隘路等を考慮すればよい。一方、実用材料では、ミクロンオーダーに限っても数～数十万個/mm³の粒子や欠陥、10³～10⁹個/mm³の結晶粒など、膨大な数のミクロ構造が存在する⁷⁾。従来の表面・断面観察（2D）では、それらの把握さえ不可能である。そこで、極々少数のミクロ組織のサンプリングと特徴量の平均化でマクロ特性（例えば、強度などの力学的性質）との関連が議論され、ミクロ組織の制御が試みられてきた。加えて、工業材料では膨大な材種、用途、対象特性が存在し、それらに個別の新技术・新材料開発で対応している。しかしこれでは、研究費や時間、研究者数を考えても、諸外国に対し産業的に明確な優位性を得ることは、今後益々困難になると思われる。

我々は、3D/4Dイメージングと「わかる道具」を構成する各種4D画像解析技術にイメージベースシミュレーションを高い次元で組み合わせ、新しい概念の材料開発手法：リバース4D材料エンジニアリング（図2下側：以下、R4ME）を構想した⁸⁾。R4MEでは、まず既存材料のナノ～マクロ組織を3D/4Dイメージングする。そして、その複雑さ故、現在の科学技術では理論的取り扱いはおろか、そのパターン化さえ困難な現実の材料のマルチスケール3D構造を忠実に取り込む高精度イメージベースシミュレーションを実施す

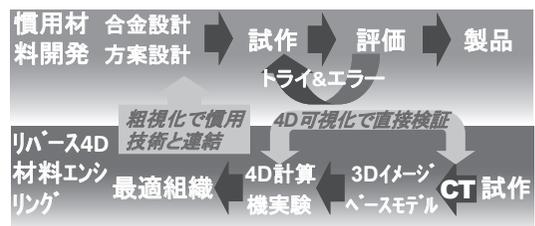


図 3 慣用の材料開発プロセスとリバース4D材料エンジニアリング

る^{9), 10)}。3D/4D画像を用いたイメージベースシミュレーションでは、同一のテストピースをその場観察により実験的に評価するとともに、シミュレーションのモデル作成にも用いる^{9), 10)}。そのため、両者の比較によりイメージベースシミュレーションの検証はほぼ完全となり、マイクロ組織の不均一性、不規則性などに起因する確率的な因子を排除できる。これは、従来の単純化を目指すモデリングや数値解析とは隔絶したものである。次に、計算機実験により仮想的にマイクロ構造を最適化する。その後、提示される最適マイクロ組織に含まれる膨大な数のマイクロ組織特徴点のうち、所望する特性に直接大きく影響する、極めて限定された種類、性状、領域のマイクロ組織（疲労破壊等、極端な場合には1～数個）を特定する。最後に、超大量情報となる3D/4Dマイクロ組織情報を「粗視化」により徹底して取捨選択する。これにより、複雑な3D/4D最適組織形態を限られた数の簡単なパラメータで表現でき、産業界で用いられる慣用の材料製造パラメータと結び付けることができる。我々は、3D/4D画像で必要な情報のみを特定、限定して単純なパラメータで表現することを「粗視化」と呼称している。実材料から組織設計への遡りが、機械工学のリバースエンジニアリング同様、リバースを標榜する所以である。

R4MEの活用により、2D観察を基礎として発展してきたこれまでの産業技術から飛躍し、迅速、高精度な高性能材料の開発が実現できる。これは、実在する物質の複雑な形態、局所的な時間発展挙

動をこれまでの評価やものづくり技術に取り込むインターフェース作りとも言え、材料開発のパラダイムチェンジが期待される。特に、我が国が得意な先進計測・解析法を発展・活用することで、他国の模倣・追従を許さず、我が国の産業に幅広く、強力、かつ継続的に貢献できると期待する。R4MEは、図4に示すように、各種構造・機能材料に共通の基盤的な組織制御技術となり得る。これは、材料開発の新概念としてセラミックスやポリマー、複合材等の幅広い材料に、また素材だけではなく、電子分野のハンダ接合部の様なマイクロ・ナノ構造体やインフラの劣化挙動など、材料以外の分野にも幅広く活用できると期待される。

◇ リバース4D材料エンジニアリングを構成する要素技術

1. 3D/4Dイメージング

XMTの空間分解能は、投影型XMTでは1 μ m弱、結像型XMTでは使用するデバイスによるものの、最高で数十nmレベルが可能である^{11)~13)}。現在利用できる可視光検出器の画素数（水平、垂直方向、それぞれ2,000~4,000画素）を考慮すると、撮影可能な試料サイズは前者で直径最大2mm程度、後者では直径100~数百 μ m程度となる¹¹⁾。したがって、構造材料の力学特性を最適化の対象とし、強度試験や疲労試験、破壊靱性試験などをその場観察する場合、投影型XMTの利用が一般的と言える。近年では、鉄鋼材料のような比較的X線吸収の大きな材料に対しても、理論空間分解能に近い高分解能が得られると報告されている^{14), 15)}。

一方、撮像速度は、2003年頃の2.5時間/枚程度から、10年間程で5分/枚程度まで高速化されている¹⁶⁾。また、さらに高速撮像を志向する場合には、50~500ms/枚程度までの高速化が可能である¹⁷⁾。この高速化は、白色光など、X線の単色性を犠牲にした高輝度X線の利用¹⁷⁾、科学計測用CMOSイメージセンサーを用いた検出器の登場¹⁸⁾、撮像シーケンスの工夫¹⁶⁾ などによってもたらされている。この他の3D/4Dイメージング技術の動向については、既報を参照されたい^{2)~4), 11)}。

2. 4D画像解析技術

連続撮像された複数の3D画像で粒子やポアなどのマイクロ組織特徴点に対応させるマイクロ組織追

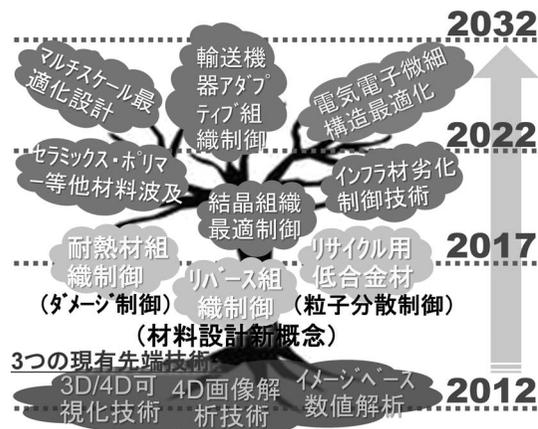


図 4 リバース4D材料エンジニアリングの発展と展開

跡技術が開発され、数千～数万個以上のマイクロ組織特徴点の物理的な変位を計測することができるようになった^{1)、3)、4)、19)}。さらに、追跡したマイクロ組織特徴点を頂点とする四面体で3D空間を分割するDelaunay分割²⁰⁾を適用すれば、四面体各頂点の変位から、材料内部の任意の位置における塑性歪みを計算できる^{1)、3)、4)、19)}。また、き裂材のき裂先端特異場におけるマイクロ組織特徴点の変位から、き裂進展駆動力の分布をき裂前縁に添って高密度に3D/4Dマッピングする技術も報告されている^{21)、22)}。これらは、金属材料などの不透明な材料の内部で、歪みやき裂進展駆動力などの力学量を高密度に、4Dで、そして直接計測できる唯一の実験手法と言える。現在までに、マッチングパラメーター法の提案¹⁹⁾、ばねモデル法の適用¹⁹⁾、軌道予測法の援用²³⁾などにより、高い確度の追跡による高密度3D/4Dマッピングが可能となっている。

我々は、マイクロ組織追跡法の応用として、結晶粒界追跡法 (Grain Boundary Tracking法：以下GBT) を提案している²⁴⁾。これは、GBT法に低融点元素を粒界拡散させて粒界を3D観察する手法²⁵⁾を援用し、多結晶材の結晶組織を4D観察するものである。最近では、試料を回転させながら細束X線を走査することで試料各位置のX線回折パターンをあらゆる方向から計測し、これをGBT法で得られた粒界像と重ね合わせることで、多結晶材料内部の結晶方位分布を計測している^{26)、27)}。これは、X線回折援用結晶粒界追跡法 (Diffraction-Amalgamated Grain boundary Tracking法：DAGT法) と呼称している。

この他、特定元素の吸収端の直上と直下で得た3D画像を画素差分する元素濃度3D/4Dマッピングも行われている²⁸⁾。また、二相組織可視化に有効な位相コントラストイメージングを用い、合金元素や不純物元素の偏析など、元素濃度の空間的な不均一性評価も可能である²⁹⁾。

以上の4D画像解析技術の詳細については、ここでは割愛する。我々の既報を参照されたい^{1)、3)、4)}。

3. ミクロ組織最適化

1 最適化手法

従来の数値解析は、代表的シナリオの抽象化した標本によるものがほとんどである。一方、イメージベースシミュレーションでは、可視化された形態を忠実に取り込み、現実の不規則で複雑な現象をそのまま記述する。しかし、モデル規模が非常に大きいため、モデルを逐次更新しながら数理計画法等によりマイクロ組織を最適化するの、現在の計算機環境では不可能である。そこで、設計変数を変化させた解析を限られた回数だけ実施して応答局面を作成し、その近似関数により最適化を行うのが現実的である³⁰⁾。

まず、材料設計変数として、粒子、結晶粒界、材料欠陥、損傷等の空間的分布を含む形態、結晶方位、元素濃度分布など、XMTおよびその応用技法で可視化できるマイクロ構造を対象とする。次に、目的関数のクラス化を行う。ここでは、単一の目的関数を対象とする単目的最適化と強度-疲労特性等、複数の目的関数を一度に扱う多目的最適化にクラス分けする³¹⁾。多目的最適化は、R4MEでは今後活用が進むペタフロップスコンピューティ

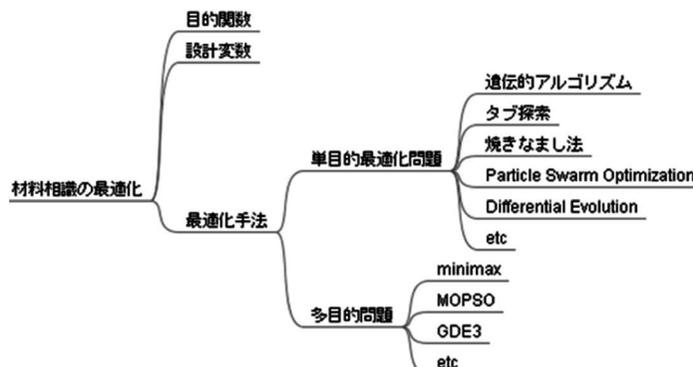


図 5 最適化のマインドマップ

ングの発展などを待つ必要があると思われる。そこで、以下では単目的最適化を想定する。一般に、単目的最適化の場合、図5の手法選択のマップに示す様に、候補となるヒューリスティックな手法には、焼きなまし法³²⁾、遺伝的アルゴリズム等³³⁾がある。

イメージベースシミュレーションはモデル規模が非常に大きいため、粒子群最適化の様な高精度化という近年の最適化のトレンドに逆行する、「寡

試行最適化」(数回の試行で求解したい)という特異なニーズがある。応答曲面法の近似関数の精度は、多くのサンプリング点数を用いることで改善できるが、それはR4MEでは非現実的である。図6には、我々が現在試行している寡試行最適化のアルゴリズムを示す。骨子は、代理モデル(メタモデル)^{34)~37)}を作成し、最適化を実行することにある。また、図7に示すように³⁸⁾、インフィル・サンプリング基準(図6のISC)^{37)、39)}により、デー

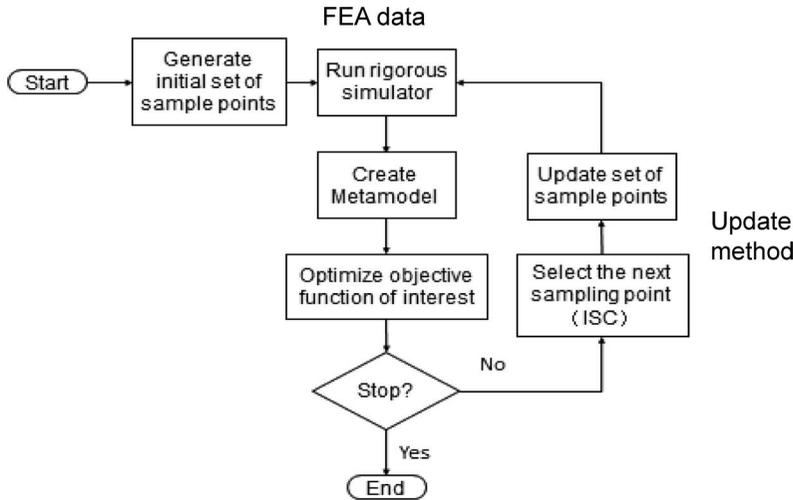


図 6 R4MEの最適化プロセス

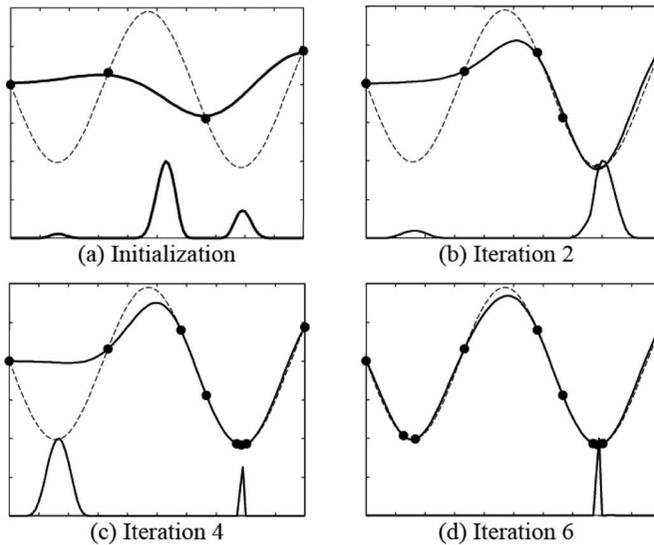


図 7 インフィル・サンプリング基準の模式図。破線は、データ。黒丸付き実線は、代理モデル。下の実線は不確からしさ、ないしは局所的な改善箇所を与える関数

タに新たに追加する点の選定を行い、代理モデルを逐次更新する。現在の所、この最適化手法には人工ニューラルネットワーク (ANN)⁴⁰⁾ を用いている。今後は、地球統計学で用いられるクリギング (Kriging)⁴¹⁾ やサポートベクターマシン (SVM)⁴¹⁾ を活用し、より少ないサンプリング点で、高精度な応答曲面を生成できる手法を研究する。このうち、クリギング法は内挿法の一つで、関心のあるデータ点の周囲にある計測データの重み付き平均を取り、未知のデータを推定するものである⁴⁰⁾。一方、SVMは、ロバストな2クラス分類識別器として知られている⁴¹⁾。SVMでは、ラグランジュの未定乗数を用いることにより、その学習の過程が2次関数の目的関数および線形の制約条件からなる2次計画問題となる。そして、ANNとは異なり、局所解に陥らず、かつ必要とされる学習パターン数が特徴量の増加とともに指数関数的に増加するという欠点もない⁴¹⁾。そのため、SVMは、学習データが少ない場合に特に有効と期待される。

2 最適化適用例

上記の最適化手法をナノインデンテーションの解析に用い、限られた数の実験点から高精度に物性値を求める成果を既に挙げている。本特集でもその論文が収録されており⁴⁸⁾、ここでは文献を例示するに留める^{35)~37)}。

4. 粗視化

1 粗視化手法

R4MEで提示する最適化した組織は、非常に多くの複雑な形態を呈するマイクロ構造特徴点からなる。各特徴点は、サイズ、形状、空間分布などの幾何学的特徴において、全く同じものは恐らく存在しない。現実の材料の不均一性、不規則性、確率的挙動をそのまま有する最適組織の情報から、従来のサンプリング、平均化、抽象化、単純化などのプロセスを経ることなく粗視化情報と製造現場のプロセス変数の関係を求めれば、R4MEを工業的手法として慣用のものづくり技術に展開できる。

そもそも、3D/4Dイメージング自体、非常に情報量が豊富な反面、膨大な情報からの射た知見を得るのが困難という問題点がある。特に近年では、上述のように高分解能画像が高速で得られ

るようになり、得られる情報量、データ量は、年々加速度的に増加している。3D/4Dイメージングで得られる画像には、材料内部のマイクロ組織の変化や損傷破壊などの挙動が試験片の隅々に至るまで克明に記録されている。反面、膨大なデータに埋もれた現象の本質の理解が益々困難になっている。かといって、平均化、サンプリングなど従来のやり方に頼れば、3D/4Dイメージングの意義は大きく損なわれる。一般に、超大容量となる3D/4Dデータや複雑なシミュレーション結果を評価する場合、往々にして相関のありそうなパラメーターを恣意的に抽出して何らかの解釈が加えられる(図8上側)。これは、人間が容易に理解できるのは、2パラメーター程度の単純な相関に限られるためである。図8下側に模式的に示す様に、粗視化により徹底的に情報を取捨選択し、組織と特性の強い相関のみ、漏れなく、かつ人が理解できる程度の簡単な表現で提示することで、現象の確実な理解へと繋げることが肝要である。

粗視化の第一のステップとして、材料設計変数のクラス化を検討する。設計変数は、物理構造を表すもの (CONSTITUENTSと呼ぶ) とその時間

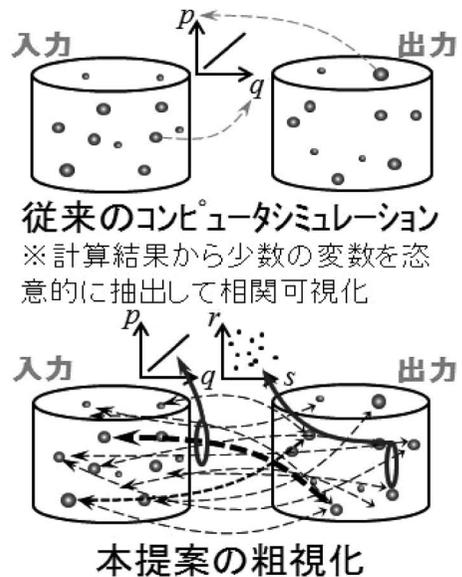


図 8 従来の特性-性質の関係理解 (上段)、および粗視化による網羅的な評価 (下段) を表す模式図

発展挙動を表すもの（STEPPERと表現する）にクラス化することができる。STEPPERは、より高次の粗視化情報であり、ここではCONSTITUENTSについて記述する。CONSTITUENTSは、空間的分布を含む第二相などの内部マイクロ構造の形態、結晶学的情報、化学成分情報等からなる。まず、これら全てを網羅的にパラメーター化する。次に、材料のマクロ特性との関係を評価し、統計学的解析により低次元化（ごく少数のパラメーターで記述）する。この具体的な手法は、データマイニングと呼ばれるものである。粗視化のマップを図9に示す。そのモデル化には、統計解析、パターン認識、人工知能等の技法を網羅的に適用する。その具体的な手法としては、RBFネットワークモデル⁴³、ANNモデル⁴⁰、主成分分析⁴⁴、重回帰分析⁴⁵などが考えられる。

2 粗視化の例

一例として、アルミニウム合金ダイカスト材の3D/4D疲労破壊挙動に粗視化を適用した例を紹介する⁴⁶。

この研究は、3D/4Dイメージングにより、これまで知られていなかった表面直下の高密度なポア凝集体が可視化され、さらにこれが疲労き裂を発生させるという発見に基づいて構想された。我々は、疲労き裂発生過程を繰り返し4D観察し、4Dデータの粗視化により、疲労き裂の発生をもたらすポアの配列パターンを簡単な6つの幾何学パラメーターで明示した。ここでは、図10に示す様に、まず多重共線性の影響を避けるため、正規化したパラメータの独立性を確認した。次に、重回帰分析、およびCART（Classification And Regression Trees）に基づく樹木モデル⁴⁷による疲労き裂発生との判定を行った。図11に示す単一のパラメーターを用いた評価では、疲労き裂発生との関係は認められない。一方、図12に示す数個の幾何学パラメーターの組み合わせにより、疲労き裂発生をうまく記述できることが明らかになった。CARTによる解析では、隣接する複数ポアおよび3変数の考慮により、マイクロ組織と疲労

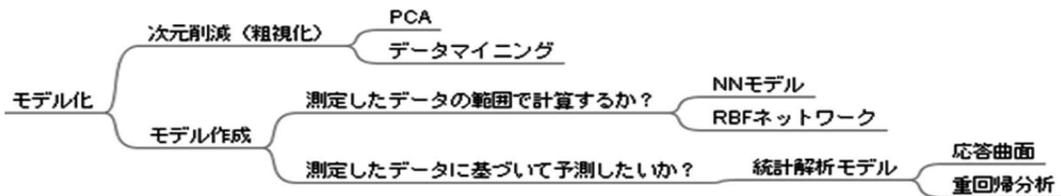


図 9 粗視化のマップ

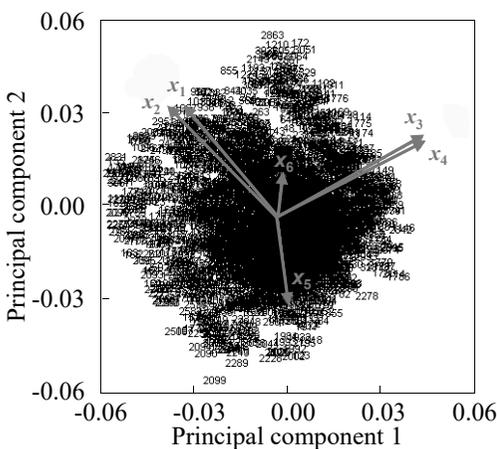


図 10 ダイカスト用アルミニウム合金における疲労き裂発生とマイクロポアの幾何学パラメーター ($x_1 \sim x_6$) の関係の主成分分析

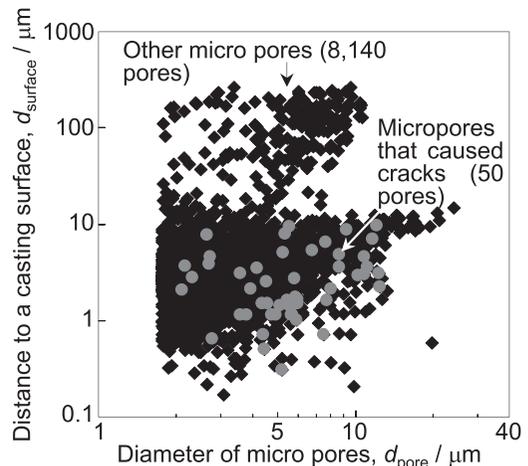


図 11 ダイカスト用アルミニウム合金におけるマイクロポアの直径および表面からの距離と疲労き裂発生との関係

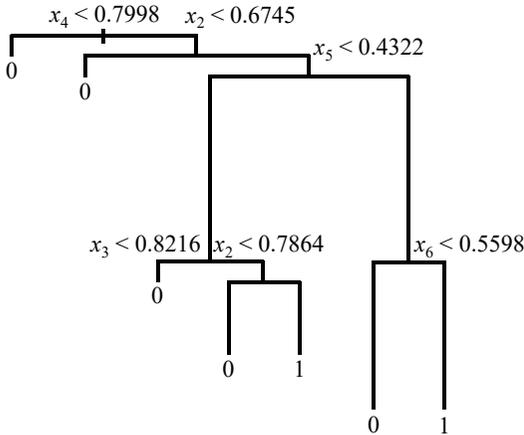


図 12 図11のデータにCARTを用いた樹木モデルの解析を適用した結果を表す模式図

き裂発生を確率99.7%で相関付けることができた。用いたダイカスト材は、水素濃度が低い高品位なものであった。また、液相-固相間の大きな水素溶解度差という物理的な原因に基づいて発生するポアは、いかなる工夫をしても完全には取り除けない。しかし、ここで得られた知見を利用すれば、製造条件の調整などにより、製品の疲労特性や信頼性を向上できるものと期待される。

◇ 応用研究の現状と将来

概念的なR4MEに具体性を与えるため、実用材料の材料組織最適化のデモンストレーター研究により、概念の核心を検討している。また、各要素技術の問題点をフィードバックし、要素技術を現実的な方向に誘導することも重要である。その上で、R4MEの効果を目に見えやすい材料特性改善効果の形で明示すれば、技術の普及へとつなげることができる。そこで、R4MEの要素技術の研究と平行し、水素マイクロポアの分散状態の制御による強度の向上⁴⁸⁾、多結晶組織の制御による変形特性の改善⁴⁹⁾、鋳巣からの疲労き裂発生⁵⁰⁾の3課題のデモンストレーター研究を展開している。その一部の成果は、この特集号の他の研究論文、解説論文に掲載されている^{48)~50)}。

水素マイクロポアの分散状態制御では、図13に模式的に示す様に、慣用の分散粒子の制御は、真の最適組織とは逆方向に位置するローカル・マキシマに過ぎないことが報告されている⁵¹⁾。つまり、

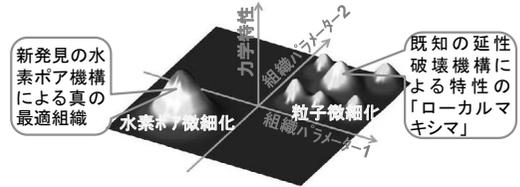


図 13 リバース4D材料エンジニアリングに期待する、真の最適組織の発見：水素マイクロポア制御の例

分散粒子の微細化を考慮して高温で長時間の熱処理を施すと、水素ポアが成長して逆に変形・破壊を助長する。3D/4Dイメージングによる真の破壊機構の発見と相まって、これまで意識されなかった別象限にある、より高い力学特性を有する最適組織を見出し、これを産業的に利用できることが期待される。

むすび

近年、3D/4Dイメージング法の発展により、複雑かつ動的な現象にダイナミックにアプローチできる様になってきた。本報では、材料工学、X線光学、計算力学、情報工学の知見を結集した新しい技術体系：リバース4D材料エンジニアリング(R4ME)を紹介した。現在の材料開発は、「材料設計→解析・評価→実材料創出」という時系列で進められている。R4MEでは、これと逆方向のアプローチにより、迅速かつ高精度に高性能材料を開発するパラダイムチェンジを期待する。現実の材料のマルチスケール3D構造は、その複雑さ故、現在の科学では理論的取り扱いはおろか、そのパターン化さえ困難である。R4MEでは、微視形態を忠実に取り込む高精度4Dイメージベースシミュレーションにより、仮想的にマイクロ構造を最適化する。さらに、複雑な3D/4D微視形態を従来の材料設計技術に反映できる程度に粗視化表現することで、ものづくりに展開可能な実用組織制御技術を確立する。

R4MEの各要素技術には、いくつかの問題点もある。例えば、現実の不均一、不規則な3D/4D構造を厳密に反映させるには、モデル規模が大きく計算量過多になると懸念される。この根本的な解決は、ペタフロップスコンピューティングなどの計算工学の発展を待たねばならない。現状では、

階層化を利用し関心領域を高精細で、そしてそれ以外を粗く解析したり、または高精細部だけを最適化の対象にすることが現実的である。また、現在のR4MEは、大型放射光施設の威力を享受した実験を基礎とし、特殊で汎用性がないように思われる。つまり、大型放射光施設は特殊である、放射光施設ではなかなか実験課題が採択されず実験できない、産業技術の開発がタイムリーに行えないなどの懸念である。しかし、ラボスケールのXMT装置は、近年高分解能化が進行している⁵²⁾。したがって、現在の放射光実験の多くは、近い将来、一般の研究室レベルでも実施でき、R4MEの各要素技術の汎用化が進むものと期待される。

本報では、R4MEのアルミニウムへの応用例を紹介した。二相組織、大量の脆性相をもつチタン合金や鉄鋼材料などの材料では、変形・損傷破壊がアルミニウムより時として複雑となる。R4MEの適用により、3D加工条件に合わせた加工性の向上や強度-延性バランスを向上させる効率的な材料組織設計技術の創成など、特殊で高価なプロセスや素材に頼ることなく、大幅な特性向上を実現できる研究開発がそれら分野でも期待できる。

謝辞 リバース4D材料エンジニアリングの研究は、文部科学省・科学研究費補助金・基盤研究(S) (課題番号24226015) の助成による。また、その実験は、全てSpring-8での放射光実験 (課題番号: 2013B1027、2013A1181、2012B1013、2012A1205) による。これらに著者一同、心より感謝する。

参考文献

- 1) 戸田裕之、小林正和、鈴木芳生、竹内晃久、上杉健太郎、3D・4Dマテリアルサイエンス: その現状と展望、非破壊検査、58 (2009)、433-438
- 2) J. Banhart: Advanced tomographic methods in materials research and engineering, Oxford Univ. Press, Oxford, 2008
- 3) 戸田裕之、佐藤真直、奥田浩司、小林正和: 軽金属、61 (2011)、38-48
- 4) 戸田裕之、鈴木芳生、竹内晃久、上杉健太郎、小林正和: シンクロトロン放射光を用いた3D/4Dイメージングとその鉄鋼材料への展開、ふえらむ、16 (2012)、212-219
- 5) H. Toda, E. Maire, Y. Aoki, and M. Kobayashi: J. Strain Anal. Eng., 46 (2011)、549-561
- 6) 藤井正司: 非破壊検査、50 (2001)、698-703
- 7) 増田翔太郎、戸田裕之、青山俊三、折井晋、植田将志、小林正和: 鑄造工学、81 (2009)、475-481
- 8) http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/12_kiban/ichiran_24/j-data/h24_j3404_toda.pdf
- 9) L. Qian, H. Toda, K. Uesugi, M. Kobayashi and T. Kobayashi: Phys. Rev. Lett., 100 (2008)、115505.
- 10) H. Toda, M. Takata, T. Ohgaki, M. Kobayashi, T. Kobayashi, K. Uesugi, K. Makii and Y. Aruga: Adv. Eng. Mater., 8 (2006)、459-467
- 11) 戸田裕之、小林正和、鈴木芳生、竹内晃久、上杉健太郎: X線マイクロトモグラフィー、顕微鏡、44、(2009)、199-205
- 12) H. Toda, K. Uesugi, A. Takeuchi, K. Minami, M. Kobayashi, and T. Kobayashi: Appl. Phys. Lett., 89 (2006)、143112
- 13) Y. Suzuki, H. Toda and C. Schroer: Adv. Tomographic Methods. Mater. Res. Eng., (2008)、181-210
- 14) H. Toda, F. Tomizato, F. Zeismann, Y. Motoyashiki-Besel, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, M. Kobayashi, A. Brueckner-Foit: ISIJ Int., 52 (2012)、517-522
- 15) D. Seo, F. Tomizato, H. Toda, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, and M. Kobayashi: Appl. Phys. Lett., 101 (2012)、261901
- 16) H. Toda, E. Maire, S. Yamauchi, H. Tsuruta, T. Hiramatsu and M. Kobayashi: Acta Mater., 59 (2011)、1995-2008
- 17) R. Mokso, F. Marone and M. Stampanonia: AIP Conf. Proc. 1234, 87 (2010)
- 18) K. Uesugi, M. Hoshino, A. Takeuchi, Y. Suzuki, N. Yagi: Proc. SPIE 8506, Developments in X-Ray Tomography VIII, 85060I (17 October 2012); doi: 10.1117/12.929575
- 19) M. Kobayashi, H. Toda, Y. Kawai, T. Ohgaki, K. Uesugi, D. S. Wilkinson, T. Kobayashi, Y. Aoki, M. Nakazawa: Acta Mater., 56 (2008)、2167-2181
- 20) S. W. Sloan: Adv. Eng. Software, 9 (1987)、34-55
- 21) H. Toda, I. Sinclair, J. Y. Buffiere, E. Maire, K. H. Khor, P. Gregson and T. Kobayashi: Acta Mater., 52 (2004)、1305-1317
- 22) H. Toda, S. Yamamoto, M. Kobayashi, K. Uesugi and H. Zhang: Acta Mater., 56 (2008)、6027-6039
- 23) H. Toda, A. Miyawaki, K. Uesugi, Y. Suzuki and M. Kobayashi: Procedia Engineering, 10 (2011)、2598-2603
- 24) H. Toda, Y. Ohkawa, T. Kamiko, T. Naganuma, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, M. Kobayashi: Acta Mater., 61 (2013)、5535-5548
- 25) M. Kobayashi, H. Toda, K. Uesugi, T. Ohgaki, T. Kobayashi, Y. Takayama, B.-G. Ahn: Phil. Mag., 86 (2006)、4351-4366
- 26) H. Toda, Y. Ohkawa, T. Kamiko, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, M. Kobayashi: Acta Mater., 62 (2014)、to be submitted
- 27) D. J. LeClere, T. Kamiko, Y. Mizuseki, Y. Suzuki, A. Takeuchi, K. Uesugi, M. Kobayashi and H. Toda: Proceedings of ICAA13 (2012)、9-14

- 28) H. Toda, T. Nishimura, K. Uesugi, Y. Suzuki, M. Kobayashi: *Acta Mater.*, 58 (2010)、2014–2025
- 29) S. C. Mayo, T. J. Davis, T. E. Gureyev, P. R. Miller, D. Paganin, A. Pogany, A. W. Stevenson, and S. W. Wilkins: *Optics Express*, 11 (2003)、2289–2302
- 30) 北山哲士、荒川雅生、山崎光悦：日本機械学会論文集C編、76 (2010)、3476–3485
- 31) K. Deb, *Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms*, Chichester, UK, Wiley, 2001
- 32) 竹沢恵、長谷山美紀：映像情報メディア学会誌、58 (2004)、937–943
- 33) C. Runwei：日本ファジィ学会誌、10 (1998)、485
- 34) Y. Yun：システム制御情報学会誌、55 (2011)、367–373
- 35) L. Gutierrez, H. Li, H. Toda, M. Kobayashi, O. Kuwazuru, and R. Batres: *IJCTE 2014 Vol. 6 (3)*: 234–239 ISSN: 1793–8201, DOI: 10.7763/IJCTE.2014.V6.868
- 36) H. Li, L. Gutierrez, M. Kobayashi, O. Kuwazuru, H. Toda, and R. Batres: *IJCTE, 2014 Vol. 6 (3)*: 272–277 ISSN: 1793–8201, DOI: 10.7763/IJCTE.2014.V6.874
- 37) H. Li, L. Gutierrez, H. Toda, O. Kuwazuru, M. Kobayashi, and R. Batres: *Mater. Trans.*, to be submitted
- 38) M. Sasena, M. B. Parkinson, P. Goovaerts, P. Y. Papalambros, and M. P. Reed: *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conferences (2002)*, DETC2002/DAC-34091
- 39) A. G. Watson and R. J. Barnes: *Mathematical Geology*, 27 (1995)、589–608
- 40) 餘語佐斗志、小橋昌司、近藤克哉、畑豊：MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY、23 (2005)、333
- 41) 正路徹也、小池克明：日本地熱学会誌 29 (2007)、183–194
- 42) 津田宏治：電子情報通信学会誌、83 (2000)、460–466
- 43) 北山哲士、安田恵一郎、山崎光悦：電気学会論文誌. C、電子・情報・システム部門誌、128 (2008)、636–645
- 44) 田中喜代次、松浦義行、中塘二三生、中村栄太郎：体育学研究 35 (1990)、121–131
- 45) 君山由良：重回帰分析の利用法、データ分析研究所、2004
- 46) H. Toda, S. Masuda, R. Batres, M. Kobayashi, S. Aoyama, M. Onodera, R. Furusawa, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki: *Acta Mater.*, 59 (2011)、4990–4998
- 47) W. Y. Loh, *Classification and regression trees*, 2011, Wiley Interdisciplinary
- 48) 細川明秀、戸田裕之、松山智彦、栗野貴輝、上杉健太郎、竹内晃久、鈴木芳生：軽金属、執筆中
- 49) 河野亜耶、小林正和、戸田裕之、三浦博己：軽金属
- 50) 桑水流理、松村圭悟、アギアルデソウザヴィニシウス、小林正和、戸田裕之：軽金属、投稿中
- 51) H. Toda, H. Oogo, K. Horikawa, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, M. Nakazawa, Y. Aoki, M. Kobayashi: *Metall. Mater. Trans. A*, 45 (2014)、765–776
- 52) 戸田裕之、小林正和、久保貴司、茂泉健、杉山大吾、山本裕介、原田俊宏、林憲司、半谷禎彦、村上雄一郎：軽金属、63 (2013)、343–349

出典：本稿は、一般社団法人軽金属学会発行「軽金属」誌2014年第64巻11号、518頁～524頁に掲載された内容を同学会の許可を得て全文を転載しました。

IV. 会員メーカーの信頼性評価技術

山陽特殊製鋼(株)

転がり疲れに対する非金属
介在物評価技術について

◇ 背景

最近、自動車の電動化等を背景として機械部品の小型化や高効率化が強く求められており、特殊鋼の高品質化が具体的に寄与できることが望まれる。本題の転がり疲れは、機械の動力伝達を担うベアリングの特性であり、素材である軸受鋼には転がり疲れに対する長寿命化が求められている。このことから軸受鋼では破壊起点として作用する非金属介在物が重要な品質項目として評価されてきた。直近の軸受鋼に対するニーズは、単なる長寿命化に止まらず、ベアリングのサイズダウンや型式変更(ころ→玉軸受)等、設計的に寄与できる高い信頼性である¹⁾。この背景の下、取組まれてきた当社の研究開発の概要について紹介する。

◇ 非金属介在物評価方法の高度化

転がり疲れは、ギヤの歯元曲げやシャフトの捻じり等の一般的な疲労とは異なるものとしてみられがちである。主な理由は、転がり疲れが接触荷重による局所的な現象であって「はく離」と称される面型の特徴的な破壊を呈することによる。しかしながら、疲労強度はそもそも材料値であり、破壊モードや試験方式に左右されるものではなく、原則としてき裂の生成-伝ば-破壊という過程を基軸に説明される²⁾。この原則に基づき金属分野では、 $\sqrt{\text{Area}}$ パラメータモデルが強度予測の基盤として知られており、主に母材硬さと欠陥サイズにより疲労強度が算出される³⁾。「はく離」にもこの原則は適用され、大きな欠陥からのき裂伝ばは速く、短寿命となるものとみられる。当社ではこの考え方にに基づき、非金属介在物を転がり疲れにおける欠陥とみなし、所定体積中の最大径を予測

転動体移動方向 →

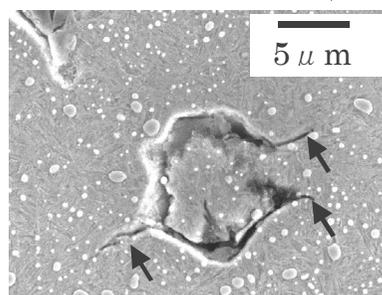


図 1 SEMによる人工空洞起点のき裂生成
(矢印はき裂を表す)⁵⁾

する検鏡極値統計法を、さらに検鏡法に対し大体積での評価が可能であり比較的大型の非金属介在物の検出に適する超音波探傷法を検査法や開発指標として採用してきた⁴⁾。一方、これらの評価方法においても経験上、同じ評価値に対しワンオーダーの寿命差が生じることもあることが知られており、直近のニーズに鑑み、非金属介在物と寿命との関係は、より明確に把握される必要がある。筆者らは通常の観察が困難である「はく離」に対し、種々の人工欠陥を導入した試験片を考案し、実験と応力シミュレーションによる解明に取り組んでいる。図1は粉末冶金法により非金属介在物に見立てた空洞欠陥を導入した試験片における、き裂の観察事例⁵⁾である。これらの取組により「はく離」をき裂挙動の観点で明確化し、より正確に寿命を反映する非金属介在物評価方法の高度化を目指している。

参考文献

- 1) 平岡和彦：特殊鋼、No. 11 (2017)、P 39
- 2) 平岡和彦：ふえらむ、Vol. 15、No. 5 (2010)、P 264
- 3) 村上敬宜：金属疲労「微小欠陥と介在物の影響」、養賢堂、(1992)
- 4) Sanyo Technical Report 製品紹介、Vol. 20 (2013)、P 70
- 5) 藤松威史、平岡和彦、山本厚之：鉄と鋼、Vol. 94、No. 1 (2008)、P 13

〔山陽特殊製鋼(株) ひらおか かずひこ〕
研究・開発センター センター長 平岡 和彦

特殊鋼を支える大同特殊鋼の 評価技術

特殊鋼をはじめとする素材メーカーとして、ラインナップの製品（素材）の物売りをするだけでなく、顧客の多様化する要望に応え、エンドユーザの満足度を得るために、より高品質で、より信頼性のある製品（サービス）を提供することが求められている。そして、これらの要求に応えるためには、特殊鋼の高度な製造技術と合わせて、信頼性の高い評価技術が欠かせない存在となってきた。そこで、本稿では、実生産で利用されている評価技術を紹介する。

特殊鋼の製造工程は、原材料を溶解し、精錬、凝固させて、鋼塊と呼ばれる形ある素材にしてから、さまざまな加工工程を経て、鋼管・棒鋼・線材・板材などの各種特殊鋼製品を造り出している。

特殊鋼は、最終製品での寸法や形状が要求仕様どおりであればよいのではなく、特殊鋼ならではの各種機能（硬さ、しなやかさ、加工のし易さ、など）を付与する製造技術が重要であり、その製造技術を保証する評価技術も重要である。

評価技術としては、大別すると、表面状態を評価するもの（以下、表面検査）と、内部状態を評価するもの（以下、内部検査）がある。

表面検査の一つとして、渦電流探傷技術を紹介する。渦電流探傷とは、コイル（プローブ）を用いて対象物に時間的に変化する磁場を与え、対象物に生じた渦電流が製品の表面状態（例えば、表

面疵の有無）によって変化することを利用した検査方法である。特徴として、対象物は渦電流が発生する導体に限られるが、対象物と完全非接触で検査できること、渦電流変化を高速で検出可能であることから実生産における高速探傷（インライン検査）に適用されている¹⁾。

次に、内部検査の一つとして、超音波探傷技術を紹介する。超音波探傷は、対象物の内部に超音波を入射し、内部から反射してくる超音波を検出して、対象物内のきずの有無やその大きさ、又は、内質を調べる方法である。近年では、従来の内部欠陥の検出のみの評価から、欠陥の高精度なサイジング方法、さらには探傷結果の画像化が可能なフェーズドアレイ超音波法の実用が拡大している¹⁾。フェーズドアレイ超音波法は、超音波を送受信する素子を複数個並べたアレイ探触子を用いて、適切な時間遅れで各素子を励振することで超音波を集束させたり、任意の角度に入射したりすることが可能である。さらに、アレイ探触子で受信した超音波信号をデジタル処理することで画像化することも可能である。身近なところでは、医療分野における人体の超音波エコー診断が正にそれである。

最後に、今回紹介した特殊鋼製品の評価技術は、各種原理に基づいた評価方法に画像化技術、さらには画像処理技術が加わることで、より信頼性の高い評価技術に変革していくと考える。

参考文献

- 1) 杉 浩司：特殊鋼、60巻3号（2011）2-5

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 計測制御研究室 室長 片岡 克仁〕

業界のうごき

佐久間特殊鋼が健康経営優良法人に 商社以外の特殊鋼流通で初

佐久間特殊鋼は経済産業省の健康経営優良法人認定制度の大規模法人部門で優良法人に認定された。総合商社以外の特殊鋼流通業界、愛鉄連健康保険組合では初めて。同制度は日本再興戦略に基づき、経営的視点で社員の健康管理を考え、戦略的かつ優良な取り組みを実践する企業を顕彰する制度。

佐久間特殊鋼は健康経営の推進を会社方針に掲げ、社員が健康、幸せであり心身ともに活力に満ちた働きやすい職場環境づくりに注力する。取り組みを通じた労働生産性の向上や幸福度の向上も目標に掲げる。これまで会社負担による健康診断の充実のほか、病気の防止から一歩踏み込み、不健康な状態からの脱却を狙った「二次予防から一次予防へ」の意識改革を推進してきた。

ラジオ体操や健康増進イベント、プチ健康増進コーナーの社内設置などの取り組みが評価され、優良企業に認定されたようだ。(2月23日)

三悦がテレワーク勤務制度を導入 人材確保、仕事と家庭両立

三悦は人材確保、業務円滑化に向けた勤務形態の見直しを図る。職場以外で業務を行うテレワーク勤務制度の導入を決め、今年から運用を開始した。オフィス以外でも担当職務を遂行できる多様で働きやすい制度作りを通じて仕事と家庭の両立を支援し、労働生産性の向上にもつなげていく。

子育てなどを理由にフルタイムでの勤務が困難な社員もいたため、昨年から在宅勤務制度導入の検討を開始した。働き方改革の推進も狙いに昨年システム整備に着手し、社内のテストを経て1月中旬から運用を開

始した。今回は家族の介護が必要なベテラン社員1人が対象となる。

勤務者に必要な機器を支給し、外部からデジタル化した受注情報にアクセスできるようシステムを構築。データを使った出荷指示書の出力といった通常業務に加え、電話転送も行うことで出勤時と同様の働き方が可能となった。(2月15日)

鉄鋼社、SC厚板切断を一部内製化 北関東に大型縦型帯鋸盤を新設

鉄鋼社は、北関東営業所(栃木県佐野市)にS55CN厚板の切断工場を完成し、今月初から大型縦型帯鋸盤1台を稼働開始した。同社はSC平角鋼店売りで東日本トップ級。高炉材は厚板を委託加工で平鋼サイズに切断しており、この工程を一部内製化する。顧客ニーズに即した板幅・板厚での即納強化を図るとともに、在庫体制を効率化する。建屋や付帯設備を含めた投資額は約4億円。

同社はSC平角鋼店売り大手で仲間売りに特化し、黒皮切断品が販売の大半を占める。厚板切断と平鋼切断やプレート加工と組み合わせた一貫加工体制も生かし、より弾力的な在庫運営を行い、材料販売力を強化する。

北関東営業所に専用工場を建設しアマダ製「VM3800」を導入。付帯設備として天井クレーン2基を設置した。今夏にはリフティングマグネットも導入する。(3月15日)

豊田通商の国内鋼材加工3子会社 豊通鉄鋼販売に移管

豊田通商は100%子会社であるオリエンタル鋼業、豊通鋼管、関東コイルセンターを株式交換により4月1日付で豊通鉄鋼販売の100%子会社にする。商圏拡大へ向けた機能を明確化するとともに、ガバナンスを強化する。豊田鉄鋼販売は21年度の年商を18年度比12%増の1,000億円強

とする計画。

豊通鉄鋼販売は、豊通グループの国内鉄鋼製品販売事業の中核を担う鉄鋼専門商社。16年に豊通本体の鉄鋼部、東日本鋼材部、西日本鋼材部で手掛ける商圏の一部を豊通鉄鋼販売へ移管。事業規模が大きく拡大し、顧客の拡大と満足度向上、プロ人材の育成によるサービス向上を進めてきた。

今回、豊通本体の鋼材加工子会社3社を豊通鉄鋼販売の完全子会社とすることで、商圏の拡大を図るとともにグループとしての加工・販売機能を明確化する。リスクマネジメントや人材育成によるガバナンス強化も図る。(3月29日)

ノボル鋼鉄静岡支店・熱処理センター 大型リフレッシュ計画が始動

ノボル鋼鉄は、今期(18年6月期)から5年がかりで静岡支店・熱処理センター(静岡市駿河区)の大型リフレッシュ投資を推進する計画で、第一弾となる新事務所棟が2月末に完成した。20年初までに新熱処理センターを稼働開始し、21年末に新しい鋼材倉庫への移転を完了する予定で、総投資額は約14億円を見込む。

静岡支店・熱処理センターは業容の拡大から建屋が手狭となり、将来にわたり品質安定化を図るには設備の老朽更新も必要になっている。現在地で段階的に建て替えや新規設備導入を進めるため、順次既存建屋を取り壊して新工場・倉庫を建設する。

新熱処理センターでは現有設備のうち3割を移設し、真空浸炭窒化炉、真空熱処理炉、真空焼戻炉、窒素ガス雰囲気炉などの新鋭機を増設する。効率的なレイアウトでライン化を進め、労働環境も改善する。(3月26日)

阪和興業が一部権益取得へ 南ア白金族プロ、JOGMECと交渉

阪和興業は石油天然ガス・金属鉱

業界のうごき

物資源機構（JOGMEC）との間で、JOGMECが保有する南アフリカ・ブッシュフェルド地域のウォーターバーグ白金族金属プロジェクトの一部権益の譲渡に向け、交渉に入ることによって合意した。JOGMECの権益21.95%のうち9.755%を日本企業に譲渡する入札を2月23日に実施し、阪和興業が落札した。阪和興業は自動車用排ガス浄化触媒と燃料電池に使用される白金族、二次電池に使用されるニッケルなどの金属資源を確保し、日本への鉱物資源の安定供給につなげる。

同プロジェクトはプラチナやパラジウムなどの白金族、金のほか、ニッケルや銅も副産物として回収でき、同地域の白金族金属鉱山の中で最もコスト競争力が高いと評価される。今回の取引が成立した場合、阪和興業は同プロジェクトでインパラ・プラチナ社が生産する地金全量の購入権も取得できる。生産規模は現在実施中の最終FS後に決定する。

（3月12日）

三井物産スチールが4商品部門制へ 4月から、取扱量は370万トン

三井物産スチールは4月1日に約400万トンの商売を日鉄住金物産に移管することを受け、新たな組織体制を決めた。4月1日時点の社員数は約350人（三井物産からの出向者約140人を含む）となる見込み。商品・品種を再編成し、営業部門を4つの商品部門とする。国内拠点は東京、大阪、名古屋の3拠点とし、国内の他地域は三井物産の「スチールコーディネーター」がグループ会社をつなぎ、連携を取る形とする。

4月以降は売上高3,500億円規模、取扱数量370万トン程度の鉄鋼専門商社となる。国内・輸出比率は4割対6割で輸出が上回る。移管後も新日鉄住金材の取扱数量が最も多く、

次いでJFEスチール、神戸製鋼所、普通鋼・特殊鋼メーカーなどの製品を幅広く取り扱う。営業部門は自動車・電磁鋼板、プロジェクト資材、機能商品、インフラ商品の4つ。

（2月21日）

メタルワン、西日本の系列3販社統合 7月に新「メタルワン西日本」発足

メタルワンは国内市場における販売体制強化の一環で、7月1日付で100%子会社のメタルワン西日本、メタルワン四国、メタルワン九州を統合し、新生「メタルワン西日本」を発足させる。西日本地域においてグループ内の連携を強化したプラットフォームを構築することが狙い。新会社の社長にはメタルワンの本田武弘副社長が兼務で就任する。

新会社は広島に本社を置き、本社内にコーポレート機能とプロジェクト開発などの事業開発機能を持つ。統合対象3社は地域的近接性に加え、造船やプラント向けなど需要業界に類似性が高い。メタルワンが15年度に導入した事業部制による各事業部との連携も強化することに加え、メタルワン鉄鋼製品販売やメタルワン特殊鋼などグループ各社との連携も強化。グループとしての総合力を最大化しながら地域密着で販売強化を図る。

（3月12日）

神戸製鋼所が品質不正の再発防止策 ガバナンス強化を徹底、会長職廃止

神戸製鋼所は、品質データ偽装問題に関する外部調査委員会の結果報告がまとまったことを受け、再発防止策などを公表した。問題発生の原因の一つとされたガバナンスに関しては4月1日付で会長職を廃止するとともに、任意の「指名・報酬委員会」を設置するなどの改善策を決めた。

また全事業部門長を取締役とする体制を見直し、素材系、機械系、電

力系で各1人の取締役を置くとともに、コンプライアンス総括、品質総括の取締役を配置する。独立社外取締役の構成比を3分の1以上として、取締役会議長は独立社外取締役から選出する。リスク管理体制の見直しや組織閉鎖性の改善なども徹底し、再発防止につなげる。

再発防止策ではこのほか、コンプライアンス違反への反省をもち続けるため、毎年10月を「KOBELCOの約束月間」とする。新たに品質ガイドラインを策定することも決めた。

（3月7日）

山陽特殊製鋼、印合弁を子会社化 25億円で株式追加取得、出資51%に

山陽特殊製鋼はインド合弁の特殊鋼メーカーで持分法適用会社のマヒンドラ・サンヨー・スペシャル・スチール（MSSSPL）を連結子会社化する。51%を持つマヒンドラ&マヒンドラから株式譲渡を受け、現在の29%出資から51%出資の筆頭株主になる。社長と生産、財務などの役員を送り込み、生産・販売など経営全般を主導する。取得額は約25億円。三井物産の出資比率は20%で変わらない。

マヒンドラ&マヒンドラから6月までに株式を買い取る。MSSSPLは製鋼・圧延一貫の特殊鋼メーカーで、50トン電気炉を持ち特殊鋼全般を年12万8,000トン（16年度）生産し、国内自動車、軸受メーカーなどに販売している。年産能力は約24万トン。インドの特殊鋼需要が増加していく中、山特・インド工場と位置付けてインド市場でシェア拡大を図るなどグローバル展開を拡大し、素形材事業の拠点としても活用する。

（2月13日）

新日鉄住金、山陽特殊製鋼を子会社化 買収予定の欧オパコ社と3社連携へ

新日鉄住金は19年3月をめどに山

業界のうごき

陽特殊製鋼を子会社化するとともに、新日鉄住金が18年度上期中に買収する予定の欧特殊鋼大手のオバコ（スウェーデン）との3社連携を視野に特殊鋼事業をグローバル規模で強化する検討を開始した。新日鉄住金は山特に対する出資比率を現行14.5%から51%以上に高める。山特は子会社化後も上場を維持する予定。

新日鉄住金は特殊鋼棒線の世界トップ級。山特は軸受鋼の国内生産シェアで38%（16年度）を握る。06年に新日鉄（当時）が山特を持ち分法適用会社化し、生産受委託などの提携関係を構築してきた。新日鉄住金と軸受鋼などの高纯净度鋼技術で世界トップ級の山特、オバコの3社連携により、新日鉄住金グループの特殊鋼事業は国内外で存在感を増す。

新日鉄住金と山特は8月をめどに子会社化などの正式契約を締結する予定。株式取得方法は今後詰める。

（3月16日）

新日鉄住金ステンレスの省合金二相鋼 国土省NETIS評価、最高ランクに

新日鉄住金ステンレスの省合金二相ステンレスが国土交通省の新技術情報提供システム「NETIS」における最高ランクのVE評価を受けるとともに登録機関が5年間延長されることになった。NETIS登録から5年後の更新時にVE評価されるのは全体の1割程度。公共工事における省合金二相鋼の使用実績や高強度、高加工性などの性能が高く評価された。

同社は12年11月、二相鋼の中でも省合金型でSUS304代替材のNSSC2120とSUS316代替材のASTM A240MS32304の2鋼種でステンレス鋼材として初のNETIS登録を受けた。

その後5年にわたり水門、陸閘門など公共工事で使用実績を重ねてきた。VEランクの評価を受けることで、工事成績評定における加点点数

が増加するなど採用メリットが拡大するため、公共工事への適用検討が拡大する見込み。加点点数は地方整備局によって増え方に差はあるが、Aランクより2倍程度に増える。

（2月7日）

大同特殊鋼、鋼材熱処理能力を増強 星崎工場に新型STC炉

大同特殊鋼は、高機能鋼の生産拠点である星崎工場の鋼材熱処理能力増強を目的に、焼鈍炉であるSTC炉1基を導入、今月から稼働を開始した。投資額は約5億円。国内最大級の炉能力を持ち、処理能力は月間700トン拡大する。次世代省エネ燃焼システムの導入などで環境負荷低減も図っている。

星崎工場は同社の戦略商品を多く扱い、自動車の省燃費、軽量化などで耐食、耐熱材料ニーズへの対応力強化が求められている。ステンレスや高機能材料の拡販に伴い能力増強投資が課題となっている。

今回導入したSTC炉は国内最大級の最大32トンのバッチ処理ができる。燃料原単位の改善、CO₂排出量の大幅削減が可能な省エネ燃焼システムを搭載。炉内温度分布を今まで以上に均一化することが可能で、熱処理品の品質向上につながる。設備の耐久力も高く、メンテナンス性にも優れる。

（2月2日）

東北特殊鋼と東北大学が共同開発 振動発電機能持つクラッド鋼板

東北特殊鋼は東北大学大学院工学研究科の成田史生教授と共同で、加力により材料内部の磁化の強さが変化し振動発電機能を有するクラッド鋼板を開発した。冷延鋼板（SPCC相当）と鉄-コバルト系磁歪材料の冷間圧延板を熱拡散接合させることで、鉄-コバルト系磁歪材料単独よりも数倍から20倍以上の振動発電出

力が得られる。

生活振動や工場設備などの微小な振動を利用するIoTセンサー用電源や、強靱で衝撃に強い材質を生かし、鉄道車両・自動車などの走行振動や風力・水力などを利用する大型のエネルギーハーベスティングへの応用が可能となる。省電力が課題の電気自動車での利用も期待される。

IoTなどの無線センサー用電源として十分な電力が得られ、破損しにくい点も特徴。冷延鋼板をニッケル板に置き換えると発電性能が大きくなる可能性もあり、調査を進める。

（2月19日）

日新製鋼が新中期経営計画を策定 品種別グループ戦略推進

日新製鋼は20年度を最終年度とする中期経営計画を策定した。新日鉄住金グループ化に伴う「シナジー最大化と事業構造改革」、高付加価値の「コア製品」、素材から加工まで一貫した品種別戦略による「CS（顧客満足度）追求」の3戦略を基軸に据える。

主要施策は「販売力・開発力強化による『稼ぐ力』の具備」「ものづくり基盤再構築とコスト競争力強化」「日新グループ総合力の発揮」「企業存立基盤の確立」。3年間の設備投資額は1,070億円（単独850億円、グループ220億円）。

普通鋼・特殊鋼・ステンレスの品種別戦略を強化するため、ユニット制を導入する。製造・開発・販売部門やグループ会社が品種ごとに連携を深める。一方で全体最適を保つためコーポレート部門を強化する。

販売部門は4月1日付で再編する。需要部門別、品種別が並存する体制を見直し、普通鋼・特殊鋼・ステンレスの品種別組織に再編する。

（3月5日）

文責：（株）鉄鋼新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
	工具鋼	機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'16 暦年	242,925	4,713,936	3,593,009	8,306,945	411,650	939,192	2,784,129	590,795	5,485,686	676,186	10,887,638	19,437,508
'17 暦年	262,744	r 5,014,549	3,947,953	r 8,962,502	438,097	1,011,176	2,850,849	629,459	5,562,736	609,458	11,101,775	r 20,327,021
'15 年度	241,082	4,638,379	3,487,357	8,125,736	421,420	962,553	2,725,384	593,245	5,048,694	694,055	10,445,351	18,812,169
'16 年度	246,763	4,786,841	3,677,564	8,464,405	424,465	951,774	2,803,875	602,844	5,496,896	657,374	10,937,228	19,648,396
17. 1-3月	64,955	1,241,534	954,019	2,195,553	110,678	239,733	717,603	151,421	1,356,086	164,989	2,740,510	5,001,018
4-6月	65,757	1,260,671	1,002,442	2,263,113	106,454	256,504	681,063	162,754	1,424,419	156,719	2,787,913	5,116,783
7-9月	61,691	1,248,678	987,307	2,235,985	108,176	260,345	709,255	157,807	1,364,954	145,998	2,746,535	5,044,211
10-12月	70,341	r 1,263,666	1,004,185	r 2,267,851	112,789	254,594	742,928	157,477	1,417,277	141,752	2,826,817	r 5,165,009
'17年 1月	19,468	408,964	301,672	710,636	34,927	74,618	239,578	47,258	458,011	58,149	912,541	1,642,645
2月	21,372	397,944	310,858	708,802	35,718	79,301	232,919	50,822	417,401	47,934	864,095	1,594,269
3月	24,115	434,626	341,489	776,115	40,033	85,814	245,106	53,341	480,674	58,906	963,874	1,764,104
4月	20,766	413,194	320,583	733,777	34,000	82,220	245,262	50,063	505,150	60,497	977,192	1,731,735
5月	21,780	424,232	339,881	764,113	36,829	86,446	227,236	54,178	465,489	48,755	918,933	1,704,826
6月	23,211	423,245	341,978	765,223	35,625	87,838	208,565	58,513	453,780	47,467	891,788	1,680,222
7月	21,697	410,991	331,437	742,428	36,116	83,830	215,600	53,597	469,109	50,197	908,449	1,672,574
8月	19,070	412,465	316,988	729,453	35,234	84,957	246,038	50,577	437,021	48,209	902,036	1,650,559
9月	20,924	425,222	338,882	764,104	36,826	91,558	247,617	53,633	458,824	47,592	936,050	1,721,078
10月	22,974	427,686	343,071	770,757	37,201	86,089	260,625	54,070	465,179	45,738	948,902	1,742,633
11月	23,484	414,568	339,914	754,482	35,577	82,482	230,464	54,755	505,672	45,594	954,544	1,732,510
12月	23,883	r 421,412	321,200	r 742,612	40,011	86,023	251,839	48,652	446,426	50,420	923,371	r 1,689,866
'18年 1月	25,405	416,166	330,912	747,078	32,645	80,134	254,983	48,909	490,017	41,920	948,608	1,721,091
2月	22,269	413,700	329,122	742,822	34,205	84,183	246,564	52,284	466,132	42,438	925,806	1,690,897
前月比	87.7	99.4	99.5	99.4	104.8	105.1	96.7	106.9	95.1	101.2	97.6	98.2
前年同月比	104.2	104.0	105.9	104.8	95.8	106.2	105.9	102.9	111.7	88.5	107.1	106.1

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
'16 暦年	309,707	5,756,252	989,696	4,173,511	2,001,827	6,218,161	19,449,154
'17 暦年	345,018	6,272,447	1,112,835	4,249,655	1,716,215	6,648,155	20,344,325
'15 年度	269,744	5,701,404	1,009,207	4,171,024	1,580,711	6,091,727	18,823,817
'16 年度	313,559	5,917,546	984,067	4,202,470	1,954,496	6,287,894	19,660,032
17. 1-3月	85,865	1,533,680	247,107	1,090,747	410,529	1,636,003	5,003,931
4-6月	77,687	1,596,581	276,680	1,053,309	434,289	1,681,050	5,119,596
7-9月	90,841	1,532,307	301,849	1,069,880	381,691	1,675,956	5,052,524
10-12月	90,625	1,609,879	287,199	1,035,719	489,706	1,655,146	5,168,274
'17年 1月	30,982	480,915	83,690	357,774	137,122	553,133	1,643,616
2月	35,274	495,365	79,459	348,387	116,286	520,469	1,595,240
3月	19,609	557,400	83,958	384,586	157,121	562,401	1,765,075
4月	22,545	509,877	98,030	347,221	182,910	572,123	1,732,706
5月	24,514	539,243	84,823	360,133	122,987	573,997	1,705,697
6月	30,628	547,461	93,827	345,955	128,392	534,930	1,681,193
7月	28,042	507,452	104,789	353,466	119,777	560,019	1,673,545
8月	37,454	486,587	101,611	354,234	124,294	547,350	1,651,530
9月	25,345	538,268	95,449	362,180	137,620	568,587	1,727,449
10月	25,413	546,707	103,549	348,344	157,441	562,150	1,743,604
11月	26,488	543,097	92,161	340,262	173,474	557,999	1,733,481
12月	38,724	520,075	91,489	347,113	158,791	534,997	1,691,189
'18年 1月	24,783	503,655	106,730	336,364	161,704	588,826	1,722,062
2月	38,239	522,438	93,448	334,540	148,568	554,635	1,691,868
前月比	154.3	103.7	87.6	99.5	91.9	94.2	98.2
前年同月比	108.4	105.5	117.6	96.0	127.8	106.6	106.1

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			
'16 暦年	318,284	3,793,728	4,159,973	7,953,701	249,025	502,736	3,043,035	167,359	100,734	40,543	4,103,432	12,375,417	
'17 暦年	328,624	3,662,276	3,174,867	6,837,143	209,980	558,894	2,401,141	182,809	98,145	56,347	3,507,316	10,673,083	
'15 年度	319,413	3,811,785	4,049,269	7,861,054	265,198	443,260	3,005,738	169,510	114,666	35,504	4,033,876	12,214,343	
'16 年度	317,816	3,843,693	4,224,447	8,068,140	255,982	531,825	3,063,505	170,660	95,118	43,717	4,160,807	12,546,763	
'17年 6月	28,280	330,291	368,972	699,263	12,455	45,460	254,224	16,145	6,873	4,267	339,424	1,066,967	
7月	28,238	261,696	164,986	426,682	11,318	45,446	141,070	15,759	7,710	3,199	224,502	679,422	
8月	25,461	265,973	153,540	419,423	10,327	43,102	137,728	13,543	7,294	3,626	215,620	660,504	
9月	26,498	268,720	165,598	434,318	10,911	45,406	145,671	15,090	7,180	4,426	228,684	689,500	
10月	28,979	277,714	170,883	448,597	11,705	47,226	140,848	14,961	8,920	2,897	226,557	704,133	
11月	28,398	278,848	168,765	447,613	10,738	47,920	151,762	15,783	8,463	3,158	237,824	713,835	
12月	29,260	265,263	160,609	425,872	8,597	45,725	133,012	14,952	9,080	9,077	220,443	675,575	
'18年 1月	24,955	257,390	155,052	412,442	7,734	44,319	136,791	13,074	7,047	3,729	212,694	650,091	
2月	26,994	267,234	163,721	430,955	10,781	45,594	140,333	14,933	8,668	3,957	224,266	682,215	
前月比	108.2	103.8	105.6	104.5	139.4	102.9	102.6	114.2	123.0	106.1	105.4	104.9	
前年同月比	100.1	81.3	45.8	62.8	50.6	98.5	54.1	101.1	126.6	101.5	63.6	64.0	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'16 暦年	6,840	239,158	136,648	375,806	23,596	36,680	122,241	27,149	191,633	26,245	427,544	810,190	
'17 暦年	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812	
'15 年度	6,741	212,593	129,143	341,736	25,337	35,403	107,219	24,867	151,569	34,374	378,769	727,246	
'16 年度	7,525	214,217	129,129	343,346	27,751	31,790	109,641	27,312	185,309	31,761	413,564	764,435	
'17年 6月	6,664	224,542	128,025	352,567	25,856	33,044	104,430	29,104	161,646	30,227	384,307	743,538	
7月	6,973	225,298	125,215	350,513	28,407	31,923	106,229	28,503	195,713	27,593	418,368	775,854	
8月	6,712	239,177	129,707	368,884	29,349	34,877	127,059	31,715	196,721	27,616	447,337	822,933	
9月	5,208	236,500	127,532	364,032	31,952	36,045	129,858	30,550	184,771	25,474	438,650	807,890	
10月	6,472	251,052	136,053	387,105	34,643	32,781	126,329	29,851	191,332	28,986	443,922	837,499	
11月	6,784	236,134	131,208	367,342	31,628	32,570	117,677	30,301	213,023	20,701	445,900	820,026	
12月	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812	
'18年 1月	8,868	245,602	134,453	380,055	33,832	33,324	132,474	29,620	211,156	23,253	463,659	852,582	
2月	7,139	245,057	127,713	372,770	30,674	32,725	130,560	32,094	189,622	24,145	439,820	819,729	
前月比	80.5	99.8	95.0	98.1	90.7	98.2	98.6	108.4	89.8	103.8	94.9	96.1	
前年同月比	100.1	104.1	89.4	98.6	107.9	103.2	115.9	103.5	101.0	69.6	103.2	101.0	

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			
'16 暦年	58,237	187,464	141,858	329,322	14,527	58,916	129,697	11,828	10,737	1,619	227,324	614,883	
'17 暦年	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442	
'15 年度	61,699	200,931	139,603	340,534	13,258	53,426	135,679	14,121	11,473	1,763	229,720	631,953	
'16 年度	57,869	190,684	145,813	336,497	20,955	59,768	141,859	11,460	10,537	2,252	246,831	641,197	
'17年 6月	59,313	194,686	148,930	343,616	12,995	62,288	138,390	11,609	9,799	2,278	237,359	640,288	
7月	59,499	184,788	146,865	331,653	13,012	61,657	134,304	11,506	11,543	2,099	234,121	625,273	
8月	57,262	188,066	147,969	336,035	14,704	59,022	147,117	13,063	10,442	2,012	246,360	639,657	
9月	57,986	189,964	148,129	338,093	14,923	57,613	145,212	11,852	10,257	2,111	241,968	638,047	
10月	55,392	176,640	138,536	315,176	12,403	54,606	138,789	12,755	10,264	1,805	230,622	601,190	
11月	55,049	172,475	139,703	312,178	12,582	53,471	142,015	11,851	9,859	2,086	231,864	599,091	
12月	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442	
'18年 1月	56,918	180,738	144,204	324,942	8,003	50,290	149,549	9,889	10,137	2,340	230,208	612,068	
2月	56,928	177,864	141,600	319,464	12,238	49,473	148,964	9,417	10,135	2,263	232,490	608,882	
前月比	100.0	98.4	98.2	98.3	152.9	98.4	99.6	95.2	100.0	96.7	101.0	99.5	
前年同月比	97.3	96.4	96.2	96.3	90.1	84.9	114.8	76.6	94.9	105.6	102.5	98.7	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸出

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼				その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'16 暦年	43,539	412,511	530,319	942,830	182,238	1,015,301	146,993	1,344,532	10,111	6,088,581	6,098,693	8,429,594
'17 暦年	42,292	r 453,298	604,953	r 1,058,252	187,297	r 991,116	120,960	r 1,299,372	5,337	r 5,872,203	r 5,877,539	r 8,277,455
'15 年度	39,898	415,754	516,291	932,045	186,774	1,009,763	141,761	1,338,299	10,648	5,375,453	5,386,101	7,696,343
'16 年度	44,566	r 429,850	558,646	r 988,496	188,175	1,022,853	137,846	1,348,875	9,298	r 6,153,697	r 6,162,994	r 8,544,931
'17年 5月	3,580	34,604	53,757	88,361	14,730	85,441	13,707	113,878	276	502,351	502,627	708,445
6月	3,682	39,859	55,059	94,918	14,359	79,677	10,110	104,146	476	r 522,858	523,334	726,080
7月	3,740	42,073	48,296	90,369	14,664	r 78,513	8,710	101,887	475	480,293	480,768	676,764
8月	3,098	34,285	39,408	73,693	14,841	75,110	10,383	100,334	325	445,584	445,909	623,034
9月	3,284	38,942	54,791	93,733	15,548	77,006	9,533	102,087	234	r 460,892	r 461,126	r 660,230
10月	3,320	39,359	49,058	88,417	16,709	r 85,142	8,080	r 109,931	522	r 434,201	r 434,723	r 636,391
11月	3,238	34,163	48,578	82,740	14,735	84,359	6,860	105,953	514	534,479	534,992	726,924
12月	3,427	42,403	56,409	98,812	18,181	90,161	8,187	116,528	533	486,991	487,524	706,291
'18年 1月	2,974	32,313	44,636	76,949	13,978	79,911	6,384	100,274	334	482,357	482,691	662,887
2月	3,631	39,324	49,787	89,110	16,575	75,054	9,264	100,893	360	458,181	458,542	652,176
前月比	122.1	121.7	111.5	115.8	118.6	93.9	145.1	100.6	107.9	95.0	95.0	98.4
前年同月比	87.8	101.2	102.0	101.7	107.6	85.5	79.5	87.9	104.8	97.0	97.1	96.0

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	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		
'16 暦年	3,441	3,369	666	10,616	11,054	172,316	14,549	209,200	70	16,478	857,976	874,454	1,090,534
'17 暦年	3,597	3,665	779	12,136	12,315	206,740	16,077	248,047	127	10,199	r 599,044	r 609,243	r 864,679
'15 年度	3,663	5,131	566	12,821	10,742	149,710	13,631	187,471	70	17,640	826,552	844,192	1,040,527
'16 年度	3,179	3,551	643	11,306	11,294	173,146	14,752	211,141	64	15,748	767,618	783,366	1,001,302
'17年 5月	244	316	35	1,026	924	23,937	1,867	27,789	17	1,226	63,390	64,616	92,982
6月	462	414	119	807	1,086	21,815	1,276	25,103	-	1,330	78,103	79,433	105,413
7月	289	261	126	908	792	20,849	1,365	24,040	42	339	75,705	76,045	100,677
8月	307	228	19	1,080	807	14,420	1,171	17,497	18	1,109	r 61,444	r 62,553	r 80,603
9月	359	357	43	1,266	1,169	15,436	1,181	19,096	16	215	25,274	25,489	45,317
10月	304	196	79	850	1,242	16,084	1,428	19,683	-	744	37,394	38,138	58,322
11月	338	331	46	1,175	1,261	18,168	1,095	21,745	13	490	36,220	36,710	59,137
12月	182	392	120	847	1,191	14,490	1,419	18,066	9	1,016	26,738	27,754	46,402
'18年 1月	310	288	121	803	757	14,786	1,250	17,716	-	272	26,425	26,696	45,011
p 2月	254	303	103	953	622	24,261	1,222	27,160	2	695	28,653	29,348	57,066
前月比	82.0	105.1	85.2	118.6	82.1	164.1	97.8	153.3	-	255.8	108.4	109.9	126.8
前年同月比	77.9	133.1	487.5	87.7	49.0	146.4	148.3	137.4	61.3	141.6	80.4	81.2	101.1

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			
'16 暦年	9,204,702	1,201,073	4,634,033	383,959	4,970,258	808,302	-	154,214	109,243	10,437	102,600	56,089	12,500
'17 暦年	r 9,690,674	r 1,219,741	4,705,848	368,407	r 5,234,165	832,195	-	179,004	113,932	11,460	101,431	50,328	16,456
'15 年度	9,187,599	1,279,403	4,582,525	447,339	4,937,734	808,174	-	158,900	114,320	11,124	101,838	54,576	13,990
'16 年度	9,357,382	1,192,689	4,636,390	373,097	5,077,903	818,858	-	159,765	109,887	10,553	102,314	50,944	12,893
'17年 5月	693,142	90,082	320,255	25,457	372,576	59,338	-	13,365	8,530	1,001	r 8,196	2,694	1,299
6月	859,749	108,079	425,462	32,520	477,469	79,780	-	16,380	10,599	1,206	r 8,045	5,044	1,430
7月	818,412	103,946	410,676	32,804	427,547	68,760	-	15,480	9,619	1,124	r 8,409	3,463	1,337
8月	695,912	89,950	359,536	26,690	355,307	62,707	-	14,709	8,435	1,017	r 8,679	4,147	1,335
9月	855,277	105,703	423,721	37,014	495,188	76,217	-	14,764	9,946	982	r 8,201	5,816	1,491
10月	831,078	103,260	411,277	30,469	372,469	60,732	-	15,609	10,561	1,018	r 8,419	3,001	1,407
11月	847,882	107,673	438,377	33,389	406,860	73,241	-	15,827	10,195	907	r 8,886	4,500	1,585
12月	r 797,843	r 99,899	433,390	29,700	r 394,253	63,022	-	16,015	9,569	851	r 8,060	4,383	1,659
'18年 1月	738,501	90,824	334,167	23,923	399,540	59,132	-	14,172	9,063	743	8,723	3,185	1,544
2月	850,142	100,223	416,546	29,133	473,878	70,962	-	14,795	9,641	813	8,910	3,972	1,552
前月比	115.1	110.3	124.7	121.8	118.6	120.0	-	104.4	106.4	109.4	102.1	124.7	100.5
前年同月比	99.9	94.5	110.9	93.5	97.8	101.4	-	105.1	107.4	103.0	104.7	123.3	139.5

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

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

軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、

建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、

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

工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r:訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2018年2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			22,269	87.7	104.2	108.0		
	鋼材輸入実績			254	82.0	77.9	82.5		
	販売業者	受入計			27,004	104.1	103.5	100.0	
		販売計			26,994	108.2	100.1	102.8	
		うち消費者向			19,805	112.0	100.6	104.7	
		在庫計			56,928	100.0	97.3	96.4	
	鋼材輸出船積実績			3,631	122.1	87.8	76.2		
	生産者工場在庫			7,139	80.5	100.1	86.1		
	総在庫			64,067	97.4	97.6	95.1		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産			742,822	99.4	104.8	108.6	
鋼材輸入実績				14,476	68.9	59.3	41.7		
販売業者		受入計			425,477	104.5	62.5	65.1	
		販売計			430,955	104.5	62.8	65.9	
		うち消費者向			307,082	104.9	69.7	69.9	
		在庫計			319,464	98.3	96.3	90.8	
鋼材輸出船積実績				89,110	115.8	101.7	108.4		
生産者工場在庫				372,770	98.1	98.6	106.6		
総在庫				692,234	98.2	97.5	98.6		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産			34,205	104.8	95.8	95.1	
	鋼材輸入実績			303	105.1	133.1	74.3		
	販売業者	受入計			15,016	532.5	71.9	70.8	
		販売計			10,781	139.4	50.6	51.4	
		うち消費者向			4,666	114.1	108.9	100.3	
		在庫計			12,238	152.9	90.1	100.3	
	鋼材輸出船積実績			16,575	118.6	107.6	105.4		
	生産者工場在庫			30,674	90.7	107.9	118.8		
	総在庫			42,912	102.6	102.1	112.8		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産			246,564	96.7	105.9	107.4	
鋼材輸入実績				27,160	153.3	137.4	187.7		
販売業者		受入計			139,748	98.2	54.1	55.7	
		販売計			140,333	102.6	54.1	55.8	
		うち消費者向			64,061	101.2	105.9	114.6	
		在庫計			148,964	99.6	114.8	109.0	
鋼材輸出船積実績				75,054	93.9	85.5	85.6		
生産者工場在庫				130,560	98.6	115.9	113.3		
総在庫				279,524	99.1	115.3	111.0		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産			52,284	106.9	102.9	101.9	
	販売業者	受入計			14,461	111.3	102.5	102.3	
		販売計			14,933	114.2	101.1	103.8	
		うち消費者向			14,368	112.3	104.9	103.2	
		在庫計			9,417	95.2	76.6	69.6	
	生産者工場在庫			32,094	108.4	103.5	115.6		
	総在庫			41,511	105.1	95.9	100.5		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産			466,132	95.1	111.7	112.9	
		販売業者	受入計			8,666	66.7	134.1	84.3
			販売計			8,668	123.0	126.6	85.2
うち消費者向					6,563	122.6	128.6	97.9	
在庫計					10,135	100.0	94.9	92.4	
生産者工場在庫				189,622	89.8	101.0	100.0		
総在庫				199,757	90.3	100.7	99.6		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産			126,621	103.7	99.5	91.5	
		販売業者	受入計			48,657	109.4	95.9	120.1
			販売計			49,551	103.1	98.8	122.2
	うち消費者向				36,858	108.4	107.3	100.3	
	在庫計				51,736	98.3	85.6	97.4	
	生産者工場在庫			56,870	100.5	85.6	82.2		
	総在庫			108,606	99.4	85.6	88.8		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計			1,690,897	98.2	106.1	107.5	
		鋼材輸入実績計			57,066	126.8	101.1	70.2	
		販売業者	受入計			679,029	105.6	64.2	66.7
販売計					682,215	104.9	64.0	67.1	
うち消費者向					453,403	105.5	78.4	78.7	
在庫計					608,882	99.5	98.7	95.5	
鋼材輸出船積実績計				652,176	98.4	96.0	101.4		
生産者工場在庫				819,729	96.1	101.0	104.3		
総在庫				1,428,611	97.5	100.0	100.4		

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) 1. 鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。
2. 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(平成30年2月1日～3月31日)

理事会 (3月30日、書面)

- ①平成29年度事業報告について
- ②平成29年度決算見込みについて
- ③平成30年度事業計画について
- ④平成30年度予算について
- ⑤新規入会(正会員)承認について
- ⑥平成30年度入会金及び会費・賦課金徴収方法について
- ⑦平成29年度貿易一般保険包括保険特約の締結について
- ⑧各種委員会委員長及び委員変更について
- ⑨「特殊鋼鋼材需給月報」(特殊鋼流通における鋼種別の受入・販売・在庫統計)の政府統計廃止及び業界自主統計化について
- ⑩会長・専務理事の業務執行状況報告

運営委員会

幹事会 (2月27日)

総務分科会 (3月14日)

- ①平成29年度事業報告案について
- ②平成30年度事業計画案について
- ③新規入会(正会員)承認について
- ④各種委員会委員長及び委員変更について
- ⑤「特殊鋼鋼材需給月報」(特殊鋼流通における鋼種別の受入・販売・在庫統計)の政府統計廃止及び業界自主統計化について

財務分科会 (3月14日)

- ①平成29年度決算見込みについて
- ②平成30年度予算案について
- ③平成30年度入会金及び会費・賦課金徴収方法について

本委員会 (3月16日)

- ①平成29年度事業報告案について
- ②平成29年度決算見込みについて
- ③平成30年度事業計画案について
- ④平成30年度予算案について
- ⑤新規入会(正会員)承認について
- ⑥平成30年度入会金及び会費・賦課金徴収方法について
- ⑦各種委員会委員長及び委員変更について

- ⑧「特殊鋼鋼材需給月報」(特殊鋼流通における鋼種別の受入・販売・在庫統計)の政府統計廃止及び業界自主統計化について

海外委員会

専門部会

(2月21日)

「インドの特殊鋼需給動向」調査の最終報告書(案)について

(3月5日)

- ①平成29年度事業報告(案)及び決算報告(案)
- ②平成30年度事業計画(案)及び予算計画(案)
- ③平成30年度賦課金徴収方法(案)
- ④新規入会について

商社分科会 (3月6日)

- ①最近の貿易保険を巡る情勢等について
- ②平成30年度貿易一般保険包括保険特約の締結について
- ③貿易保険に関する当倶楽部事務局実施体制変更について
- ④貿易一般保険包括保険(鋼材)の特殊鋼倶楽部会員向け説明会開催について

本委員会 (3月14日)

- ①平成29年度事業報告及び決算(見込)報告
- ②平成30年度事業計画(案)及び予算(案)
- ③平成30年度賦課金徴収方法(案)
- ④貿易一般保険包括保険特約の締結
- ⑤新規入会について

市場開拓調査委員会

調査WG (3月6日)

「自動車のマルチマテリアル化」調査の報告書案検討

編集委員会

小委員会 (2月26日)

7月号特集「表面改質(仮題)」の編集内容の検討及び執筆分担について

本委員会（3月19日）

7月号特集「表面改質（仮題）」の編集方針、内容の確認について

人材確保育成委員会

「平成29年度ビジネスパーソン研修講座」（2月19日、20日、2団体共催）

テーマ：「～お客様から納得度高く評価いただける営業～営業提案スキル強化研修」

講師：日鉄住金総研(株) 野田 一臣 氏

参加者：40名

工場見学会（3月8日、9日）

見学先：住友金属鉱山(株)ニッケル工場、東予工場、及び別子銅山記念館（愛媛県新居浜市、西条市）

参加者：16名

流通委員会

流通委員会&運営委員会メーカー委員合同会議「特殊鋼鋼材需給月報」の政府統計廃止について（2月6日）

- ①経済産業省金属課からの検討依頼内容及び経緯について（「特殊鋼鋼材需給月報」の政府統計廃止について）
- ②特殊鋼鋼材受払統計（「特殊鋼鋼材需給月報」）の各社での利用状況確認
- ③政府統計廃止による致命的な問題点の有無
- ④本統計への対応（政府統計継続希望、業界統計として継続、廃止等）
- ⑤経済産業省金属課長から説明頂く機会（2月9日（金）11：00～12：00）の要否

流通委員会&運営委員会メーカー委員合同会議「特殊鋼鋼材需給月報」の政府統計廃止について（2月9日）

- ①前回会合の議事概要
- ②経済産業省金属課からの説明
- ③質疑応答・意見交換
- ④今後の対応

「特殊鋼の紐付き取引・内示問題」製・販8社打合せ（2月20日）

- ①『特殊鋼の紐付き取引・内示問題』製・販

打合せ」議事録の確認について

- ②内示方式の問題状況の製・販共有について（実態の把握）
- ③特殊鋼倶楽部からユーザーへの要望について（案）
- ④経営者向けセミナー「価格交渉に強い会社の作り方」について

[大阪支部]

運営委員会（2月27日）

- ①平成29年度事業実績
- ②平成30年度事業計画・予算他

二団体共催工場見学会（2月23日）

見学先：新日鐵住金(株)名古屋製鉄所
参加者：66名

[名古屋支部]

部会

- 工具鋼部会（2月6日）
- 構造用鋼部会（2月9日）
- ステンレス鋼部会（2月15日）

二団体共催中堅社員研修（フォローアップ研修）（2月21日）

テーマ：問題解決力向上講座
講師：(株)南経営コンサルティング
山田 亮太 氏
参加者：29名

人材確保育成委員会（2月22日）

- ①来年度の社員研修の進め方
- ②委員改選の検討

三団体共催技術講演会（2月23日）

テーマ：日本冶金の高機能材の特徴と適用例
講師：日本冶金工業(株)ソリューション営業部
部長 大森 勉 氏
参加者：95名

二団体共催若手及び女子社員研修（2月27日）

テーマ：テーブルマナー・和食編
講師：河文 若女将 香川 絢子 氏
参加者：53名

特殊鋼倶楽部の動き

「平成29年度第4回一般社団法人特殊鋼倶楽部工場見学会」開催

去る3月8日（木）、9日（金）の両日に平成29年度第4回工場見学会を開催しました。

見学先は、愛媛県新居浜市及び西条市にある住友金属鉱山㈱ニッケル工場、東予工場及び別子銅山記念館で8日、14時30分に新居浜駅前を中型バスにて出発し各所を訪問、会員企業等から16名が参加しました。

1日目、8日午後訪問先の住友金属鉱山㈱ニッケル工場に到着後、会議室にて同社金属事業本部 ニッケル工場 事務課 谷田課長より、ご挨拶及びDVD等を使用した工場概況説明を受けた後、見学に入りました。原料ヤード、ニッケル電解工程等見学後、会議室に戻り質疑応答を行い同社工場の見学を終了しました。生憎の雨模様ということもあり予定より少し早目の終了となりました。

見学終了後、リーガロイヤルホテル新居浜に移り18時より懇親会を開催しました。

参加者は、住友金属鉱山㈱ニッケル工場 事務課 谷田課長、同社金属事業本部 東予工場 事務課 三宅課長、同社金属事業本部 ニッケル営業・原料部 ニッケル地金 原料課 根本課長にご出席頂き約1時間半見学会参加者（一部の方を除く）の方々と懇談し盛会の内に終了しました。

2日目、9日午前、訪問先の住友金属鉱山㈱東予工場（銅製錬工場）に到着後、会議室にて同社金属事業本部 東予工場 竹林工場長より、ご挨拶及びDVD等を使用した工場概況説明を受けた後、見学に入りました。

初めにプライベートバス、原料ヤード、転炉、鑄造機、電解工程等見学後、会議室に戻り質疑応答を行い同社工場の見学を終了しました。

午後は、別子銅山記念館を訪問、別子銅山の開発、採掘、そこで暮らした人々の生活、歴史等について説明を受け見学を終了、この後バスで新居浜駅に戻り無事2日間の見学日程を全て終え解散、帰途につきました。

見学後参加者の感想では、ほぼ全員が工場見学の成果に満足し、次回の工場見学会にも参加したいとの回答を頂きました。

見学先別の感想で住友金属鉱山㈱ニッケル工場については、「電解工程で種板がどんどん成長していくことが興味深かった」「電気ニッケルを作るまでの製造プロセスが今日の工場見学でイメージできるようになった。また、生産性をあげる為に塩素のリサイクルをしている事等も非常に興味深かった」「電解採取の種板を入れる槽では、臭いがかもつするかと思っていたが、ほぼ悪臭もなく、ずらっと並んだ槽を見られたのはとても印象に残った」「同社のニッケル生産はHPAL法とMCLE法の組み合わせだからこそ生産効率、競争率を引き出させているとの事でした。その仕組みには、非常に感動しました」等の感想を頂きました。

一方、住友金属鉱山㈱東予工場については、「電解までの製造プロセス。アノードという言葉も全く知らなかったので勉強になった」「99%以上の銅品位のモノを作る大変さが伝わりました」「銅の製錬を初めてみました。私どもはステンレス鋼を販売するに当たり、製品を共有して販売出来る様、営業活動に活かしていきます」「Cu電解法が2つあり、東予工場殿の種板法がパーマネントカーソード法と引けを取らない生産性があるとの事は非常に印象的でした。また、電解槽のニカワのにおいは記憶に残りました」等の感想を頂きました。

最後に、特殊鋼倶楽部会員企業のために貴重な機会を与えていただいた住友金属鉱山㈱ニッケル工場、東予工場及び別子銅山記念館の関係者の方々に感謝を申し上げて、工場見学会の報告といたします。

以下に、写真を掲載します。



【工場見学会の様子 住友金属鉱山(株)ニッケル工場殿】



【工場見学会の様子 住友金属鉱山(株)東予工場殿】





【工場見学会の様子 懇親会会場風景】



政府統計

平成30年工業統計調査を実施します

工業統計調査は我が国の工業の実態を明らかにすることを目的とした統計法に基づく報告義務がある重要な統計調査です。

調査結果は中小企業施策や地域振興などの基礎資料として利活用されます。
調査時点は平成30年6月1日です。
調査票へのご回答をお願いいたします。



工業統計キャラクター・コワちゃん

経済産業省・都道府県・市区町村

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 26社</p> <p>販売業者 103社</p> <p>合 計 129社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株) カ ム ス</p> <p>(株) カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鉄 (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 鉄 (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 鉄 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p>	<p>住友商事グローバルメタルズ(株)</p> <p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 DM ソ リ ュ ー シ ョ ン (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) 竹 内 ハ ガ ネ 商 行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>田 島 ス チ ー ル (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>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>(株) ト ー キ ン</p> <p>東京貿易マテリアル(株)</p> <p>(株) 東 信 鋼 鉄</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株) 長 谷 川 ハ ガ ネ 店</p> <p>(株) ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p>	<p>日 立 金 属 商 事 (株)</p> <p>(株) 日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ズ</p> <p>(株) 平 井</p> <p>(株) フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株) プ ル ー タ ス</p> <p>(株) 堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株) マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン</p> <p>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 プ 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

昨今、特殊鋼需要が益々旺盛な環境において、部品の生産性向上やトラブル回避のためにも、特殊鋼素材には更に高い信頼性が求められています。特殊鋼の品質を評価するうえで、大きく分類すると、外観品質（寸法や表面きず）や内部品質（内部欠陥や非金属介在物、硬さなど）に分けられ、様々な方法の非破壊および破壊検査が実施されています。

今回は、『特殊鋼の信頼性評価』という観点で、非破壊検査の動向に加え、材料解析技術に焦点をあて特集を組みました。非破壊検査技術に特化したものでは、2011年5月号で紹介されていますが、本紙では、評価すべき特殊鋼素材の品質項目からみた検査技術について、一般的なものから最新の非破壊検査方法まで多岐にわたり解説頂きました。あわせて信頼性評価の観点からみた最新の材料解析技術についても詳しく紹介頂いております。

部品の小型軽量化などにより、特殊鋼素材には更なる高強度化・高精度化が要求される中で、特殊鋼メーカーでは造りこみによる表面欠陥、内部欠陥の低減に加え、最終的には精度の高い検査によりお客様の要求する品質を保証しております。流通をはじめとする特殊鋼誌読者の皆様にも特殊鋼素材がどのように検査・評価されているかをあらためて確認頂くことで、より特殊鋼素材、特殊鋼部品を身近に感じて頂ければと思います。また、特殊鋼素材の表面、内部欠陥に関する大半の非破壊検査技術について紹介されておりますので、解説書としてご利用頂ければ、編集委員として喜ばしく思います。

最後になりましたが、本特集号にご寄稿頂きました執筆者の皆様、また編集委員の皆様および事務局各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

〔山陽特殊製鋼(株) にしもり ひろし〕
自動車・産機営業部 西森 博〕

特 集 / 表面改質技術とその応用

- I. 総論
- II. 主要分野での表面改質の適用例
- III. 最新の表面改質および周辺技術の進歩
- IV. 会員メーカーの表面改質技術および周辺技術

9月号特集予定…マルチマテリアル

特 殊 鋼

第 67 卷 第 3 号
© 2 0 1 8 年 5 月
平成30年4月25日 印刷
平成30年5月1日 発行

定 価 1,230円 送 料 100円
1年 国内7,300円 (送料共)

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

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

編集発行人 小 澤 純 夫
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。