

画像解析による鋼中非金属介在物の測定

稲田 健次*

1. 緒言

「画像解析」は、カメラや顕微鏡のレンズを通して撮像された対象物の画像を、形状の特徴把握や映像の鮮明化を目的としてコンピュータ処理し、確実な情報や新しい知見を効率よく得る方法であり、最近では各種産業界、医療、軍事、気象および地学観測など広い分野で応用されている。

当社では、特定の金属組織の面積率や球状炭化物の粒度測定などの研究設備として、1985年に汎用型画像解析装置を導入したのを始めとして、材料試験設備としてプリネル硬さ試験時の圧痕直径の読み取り装置を1989年に導入し、続いて本稿で紹介する鋼中非金属介在物の専用画像解析装置を1992年に導入し、測定条件と試料調製条件の検討の後実用に供している。

この技術紹介では、画像解析法の原理と鉄鋼業での応用を簡単に解説し、「鋼中非金属介在物測定」における設備機能、技術的課題および現状を報告する。

2. 画像解析技術と鉄鋼業における応用

2.1 画像解析技術の原理と仕組み

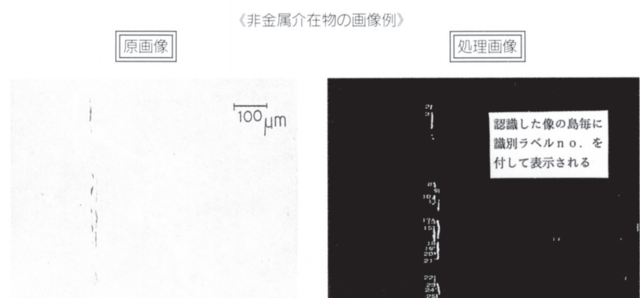
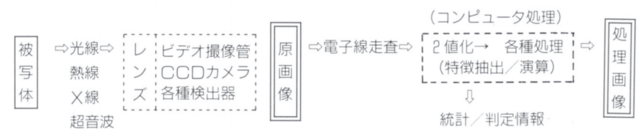
画像解析方法は、始めに被写体を光学レンズにより、または被写体にX線または超音波などを照射透過することにより、カメラや検出器で撮影した原画像を2次元（縦、横方向）配列の画素毎にその位置と濃度を検出してコンピュータのメモリーに記憶させる。

（例）画素数；縦512×横480=245,760、濃度；256階調
続いて、この記憶された画素毎の濃度情報に対して任意のしきい値（カットレベル）により画素の全てを白黒（0、1）に2値化することから画像解析が始まる。

次に、これらの2値化された画素のマップ配列から画像の特徴（パターン、空間位置、数、大きさ）を抽出し、算出するために像の強調・平滑化・濃度変換・分離結合・画素間演算・像のラベル化などの処理が施される。この結果をモニターテレビに処理画像として出力すれば、目的に応じた鮮明な画像が得られる。

この画像情報に論理（ロジック）処理を施し、像の形状の特徴、分布および面積率などの再現性の高い統計情報や判定情報を得る。図1に以上の様子を示す。

図1 画像解析の仕組み



このように多数の画素に対して複雑な処理を行うので、コンピュータによる高速処理と大容量の記憶装置が必須であり、最近では実用に耐えるコンピュータのハードウェアが開発されている。

一方、カメラには従来のビデオ撮像管（真空管方式）から、CCD (charged coupled device) 型の固体撮像素子カメラ（家庭用ビデオカメラも同じ）が一般的に採用されており、今後も性能（小型、軽量、安定性、保守）の面で主流を占めると考えられる。現状のCCDの分解能は、×100倍で1.5μmが限度であり、微細な金属組織解析など特定の目的には1μm以下の分解能を有するCCD撮像素子が望ましくその開発が待たれる。

2.2 鉄鋼業における画像解析技術の応用

生産現場では生産性、品質、労働環境および安全の向上を目的に省力化設備の機能要素として、そして検査・試験部門では品質保証の信頼性の向上、目視検査での疲労軽減および技能伝承の確実化を目的として画像解析技術の実用化が図られてきている。

他方、研究開発用には使用目的が多様なので汎用の画像解析装置が一般的に設置されており、今後さらに操作性と汎用性の優れた装置の開発が期待される。

鉄鋼業における応用例を以下に示す。

①生産現場における応用例

- 位置制御

* 技術本部技術管理部

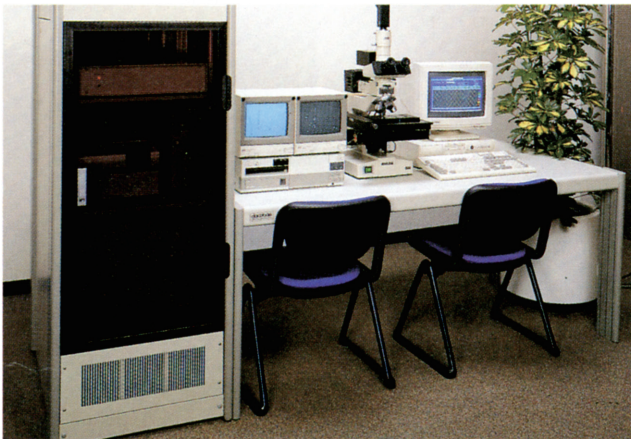
- 監視作業
 - 現品識別管理¹⁾
- ②検査／試験部門における応用例
- 自動磁粉探傷装置における鋼材表面疵の判定²⁾³⁾
 - 超音波探傷による連铸片内の介在物および気泡の検出⁴⁾
 - 材料試験—ブリネル硬さの圧痕直径の自動読み取り、JIS/ASTM、その他特定規格による介在物の測定⁵⁾、オーステナイト結晶粒度測定
- ③研究開発部門における応用例⁶⁾⁷⁾
- 破断面の観察⁸⁾、特定組織の面積率の測定⁹⁾、特定介在物の形状分布^{10)~12)}

3. 鋼中非金属介在物測定への応用

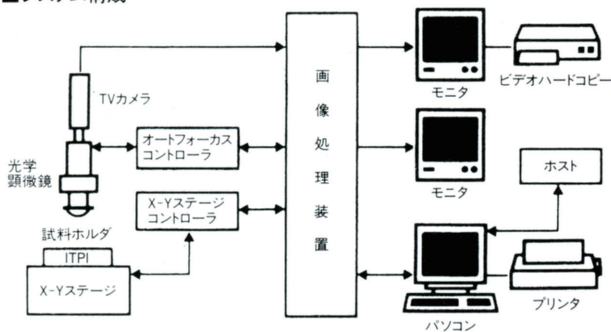
鋼中非金属介在物測定への画像解析技術の応用例を以下に述べる。

3.1 当社導入設備の構成と処理能力

図2 設備構成（メーカー：東芝エンジニアリング社製、形式：METALSPECTER FX20）



■システム構成



《処理機能》

- ①適用方法・規格—JIS法、ASTM-A/D法、極値統計法¹³⁾
- ②基本性能
- 光学顕微鏡 : 100、200倍（光源：ハロゲンランプ、光量設定機能つき）
 - カメラ：CCD固体撮像素子
 - 有効画素数 : 512×480

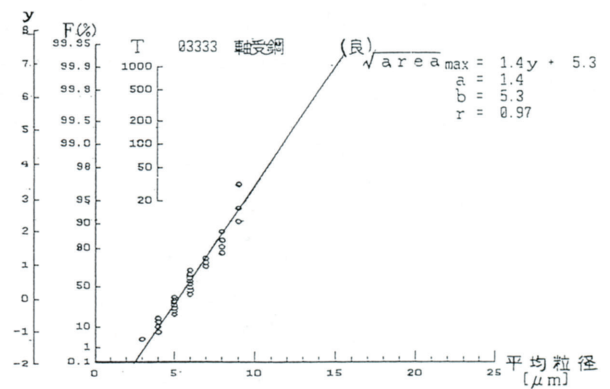
- 分解能(×100) : 横1.6μm、縦1.3μm
- 処理速度 : 約1.3秒/視野
- 焦点調整 : レーザオートフォーカス追従（再現性 ± 3 μm）
- 試料積載台 : X-Yオートステージ駆動（最小 1 μmピッチ）

③表1 測定方法・規格別の測定時間と測定条件（測定時間；1試料あたりの測定開始指示から測定完了まで。）

測定方法規格	測定時間	倍率	被検面積 mm ²	視野数
● JIS法	2分	200	20×8	60
● ASTM-A法	7分	100	20×8	325
● ASTM-D法	7分	100	20×8	325
● 極値統計法	30分	200	20×8	1300

④特別機能：極値統計法において最大寸法の介在物が存在する視野を確認する機能。

図3 極値統計法の出力画面例



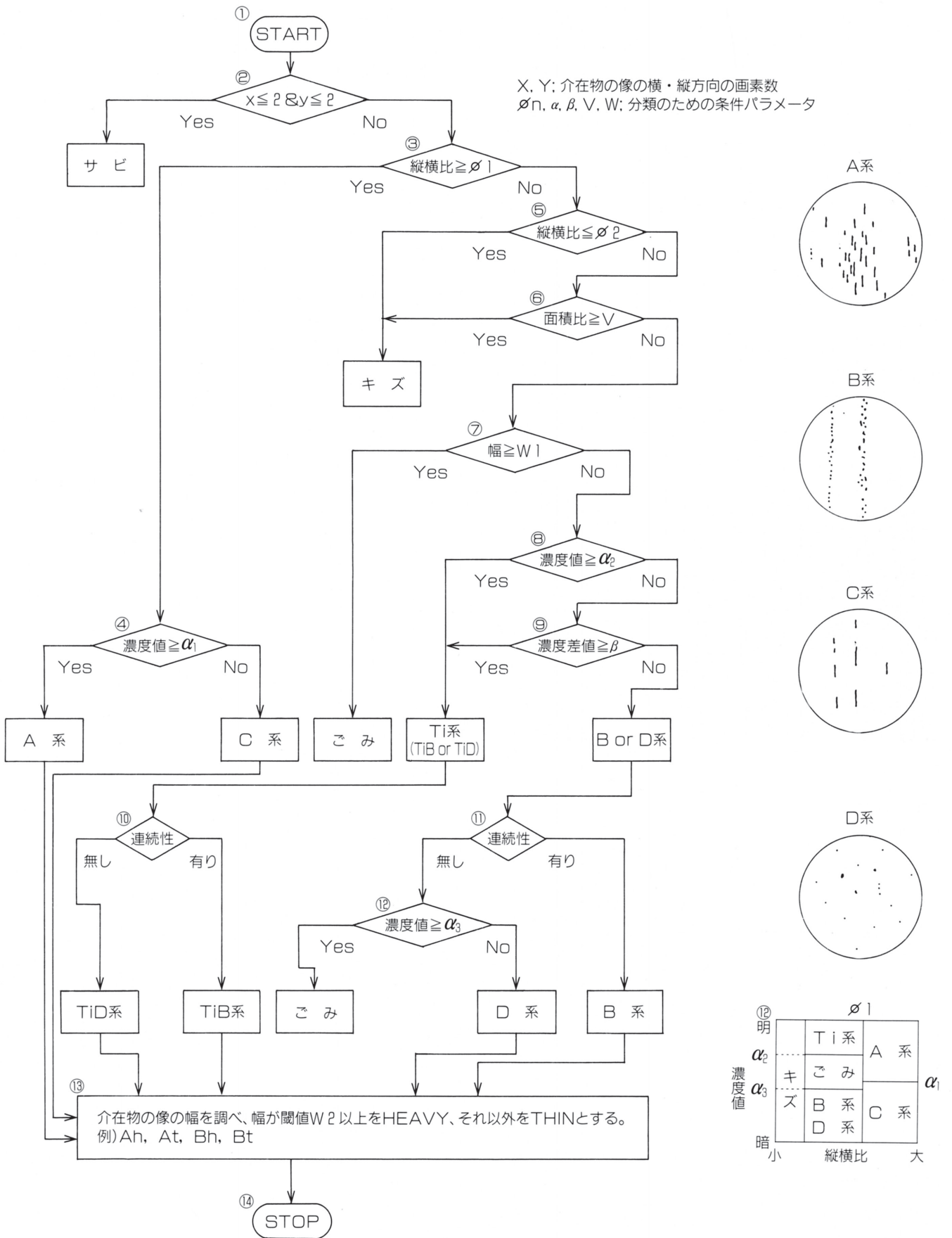
3.2 非金属介在物を形態(系)別に分類するためのアルゴリズムと測定パラメータ

実際の試験作業では、指定した測定方法に従って画像解析装置が測定すべき介在物と外来性の異物（錆、疵、ごみ、シミ）とを分類し、さらに、例えばASTM法では介在物の形状、濃淡および大きさ（厚さ、長さ）などの特徴によってその系の分類とその分類毎に総長さや個数カウントを行う。これらの一連の処理のアルゴリズムを図4に示す。図中の個々の分岐ポイントにおける判断条件値を測定パラメータと称する。

測定方法のアルゴリズムは規格毎にソフトウェアの開発時点で組み込まれて固定されるので、導入に当たって、技術的に十分な予測と検討実験に基づいて装置メーカー側に確実な仕様を提示する必要がある。

他方、測定パラメータは顕微鏡による目視測定結果と一致するように2値化レベル、縦横比、濃度比など、異物と介在物との分類や介在物の種類を識別するための条件値である。測定者はこのパラメータを任意に設定することが可

図4 ASTM-A法の測定アルゴリズムと介在物の形状



3・3 測定用試料の調製方法

画像解析装置はデジタル化された画素情報に対してコンピュータ処理を行うので極めて再現性の高い結果を与えてくれるが、一旦、画素として認識すれば全て処理対象とするので、外来性の異物に関しては極めて慎重な配慮が必要である。画像解析が上手く適用できるかどうかは最終的にはこの試料調製における外来性異物の処理に左右されるので作業者の技量の向上が必要である。他方、外来性異物に対する影響をソフトウェアにより軽減する補助ロジックも備えているが、適用効果に限度がある。表2に試料調製作業における外来性異物に関する問題点と対策を示す。

表2 試料調製作業における外来性異物の発生原因およびその影響と対策

系	異物発生原因	測定値への影響(ASTM法)	対 策
疵	①研磨条痕の残存 研磨剤粒度、時間、荷重	A系測定値の過大評価	①仕上げ研磨に至る研磨条件の標準化と技能の向上
	②研磨盤不良 平滑度、前工程砥粒付着		②メンテナンスの確実化
	③研磨中に脱落した介在物		③荷重、研磨時間の適正化(冗長不可)
ゴミ	①環境大気中の浮遊物付着	B、D系測定値の過大評価	①空気清浄器付き専用測定室の設置
	②測定者の着衣		②入室者制限、防塵マット、保管箱
シミ	①乾燥拭き取り不足、ムラによる汚染物質の残存	B、D系測定値の過大評価	①洗浄、乾燥、拭き取り技能の向上
	②洗浄液汚染の蒸発残渣		
錆	①保管環境(湿度/暴露)	D系測定値の過大評価	①最終仕上げ後の測定迅速化
	②取り扱い(吐息、汗)		②取り扱い時の測定面の方向

3・4 鉄鋼各社における鋼中非金属介在物測定への画像解析装置の適用状況

国内の鉄鋼各社において金属組織試験を目的として導入されている画像解析装置は1992年時点で20事業所延べ30台である。このうち介在物測定機能を備えているのは14事業所である。さらに、出荷品質保証に利用しているのは3事業所のみであり、この他は社内工程検査または研究用に供されている。

このように、画像解析装置が多数普及されているが現場における実用化が極めて遅れているのは以下の理由による。①汎用設備を利用している事業所が75%程度を占めており、現場で使うには処理速度が遅すぎるため複雑なプログラムを構築する限度があり、正確性を欠く機種が多く存在する。②国内では測定方法・規格としての制定が遅延している。前述のように、機種によって性能がばらついているため、方法・規格として制定するのに必須である業界全体での共同実験が進展していない。他方、欧米では専用装置の普及および標準化が日本より進んでおり、例えば、ASTM法ではE768「鋼の自動介在物測定の前処理とその評価」、E1122「自動画像解析法によるJK介在物判定方法」およびE1245「自動画像解析法による鋼および他の金属の介在物の測定」

が制定されている。

このような理由のため、日本国内の需要家先に対して、画像解析法による鋼中非金属介在物測定法を標準方法として認知を求めることに現時点では躊躇がある。

当社における実用化の検討結果では、同一視野の繰り返し測定でASTM-A法で0.5ランク程度のばらつきであり実用上十分であったが、A系については目視顕微鏡方法と比較して若干高め傾向を示すことがあった。一方、ASTM-D法のランク別の視野数のばらつきは同一の視野の繰り返し精度で2%程度であり良好であるが、D系の薄型については6%程度のばらつきが発生する。

(例えば、D_T0.5ランクが平均100視野の場合、1σで±6) 視野程度の変動を生じる。

共同実験の結果でも未だ十分な精度を得ておらず検討の余地を残している。

今後更に適用率を向上させるためには、「現場」で使える性能を持った機種を普及と、鉄鋼業界、需要家業界および学術団体などによる共同実験等により[画像解析法]を公的な測定方法規格としての制定を促進することが重要である。

4. 結言

鋼中非金属介在物測定における画像解析技術を解説した。また「現場」で活用する場合の試料調製上の問題も概説した。今後、測定の信頼性と適用率の向上のために各社とのクロスチェックやJIS制定に向けての共同実験などに積極的に参加する必要がある。

画像解析は益々、現場で活用されるようになると考えられ、本稿が皆様方の参考になれば幸いである。

文 献

- 1) 三上 博季, 池田 仁, 原川 哲美, 中村 英都: 材料とプロセス, 5 (1992) 2, p.553
- 2) 福井 貴弘, 森永泰彦: Toyota Technical Review, 42 (1992) 1, p.65
- 3) 市岡 雄二: 電気製鋼, 63 (1992) 4, p.327
- 4) 松崎 健, 田中 久, 中村 博巳, 内野 薫, 小林日登志: 材料とプロセス, 5 (1992) 1, p.290
- 5) 杉本 隆夫, 川口 忠雄: 計測自動制御学会論文集, 28 (1992) 10, p.1145
- 6) 宮島 明: 金属, 91/8 臨時増刊号, p.1
- 7) George F.Vander Voort: Materials Characterization, 27 (1991) 4, p.241
- 8) 箕島 弘二, 駒井謙治郎: 軽金属, 42 (1992) 9, p.537
- 9) 今村 淳: 金属, 91/8 臨時増刊号, p.56
- 10) 奈良井 弘, 阿部 力, 古村泰三郎, 西森 博, 小林 博, 坪田 一一: 材料とプロセス, 5 (1992) 6, p.1960
- 11) 皿井 孝明, 本田 和男, 東 義晴: 非破壊検査, 41 (1992) 4, p.219
- 12) Stig A.Johansson: Microstructural Science, 18 (1990), p.101
- 13) 村上 敬宜, 鳥山 寿之: 日本機械学会材料力学部門講演会講演論文集 NO.920-72, (1992), p.479