Metal Quality Analyzer™ 鉄鋼の光学顕微鏡解析との比較

Timothy J. Drake, Ph.D., Application Specialist ASPEX Corporation, Delmont, PA USA

イントロダクション:

顕微鏡解析について言及する場合、特に日 常的な産業型プロセスという背景において、 明確な対象として聞き慣れた光学式顕微鏡 を想像することが自然な反応です。電子ビ ーム装置(Personal SEM® のような)の優 れた画像化性能や機能を認識したとしても、 それら装置は実用的でなく、ハイエンド過 ぎるため日常の検査業務には適しておりま せん。今日のマーケットにおいて、電子顕 微鏡に対するこのような捉え方は殆どの SEM によって当然の事とされております。 しかし、ASPEX Corporation の PSEM®につ いて言えば、電子顕微鏡をどのように捉え るかについての明確な変化がそのデザイン に込められております。

今日、製鋼メーカーは経費削減と効率化を より注視するようになっております。実際 に、プロセスを改善し無駄を削減すために は、介在物をより深く理解しコントロール する事が必要です。長い間、鉄鋼業界では 光学顕微鏡を用いた介在物解析がなされて きました。今日、介在物の清浄度を測るた め最終製品を特性化する幾つかの手法が光 学顕微鏡を用いて確立されております。 ASTM、JIS、DIN、及び ISO で規定された 手法を用いて試料をマニュアルで評価する 方法から、自動走査するものまであります。 ASPEX が提供する最新の電子ビーム解析 装置は、製鋼所内(より厳しい環境におい ても)で設置可能な頑丈なツールです。本 装置のオペレーターは SEM のエキスパー トではなく、製鋼工場において日々の問題 に対する解決作業を行なう熟練した冶金家 です。加えて、PSEM 解析装置はダウンタ イムを最小にし、考えうる様々な運用状況 に対応するよう設計されていると共に、完 全自動の、統合された微量分析ツールです。 これらを一体化したものが ASPEX の哲学 の核となります – ユーザーからのニーズ は SEM の設計で解決すべきである。Metal Quality Analyzer[™] (MQA) はこの哲学を製 品化した一例です。

本書では、ASPEX Corporation 社製 Metal Quality Analyzer[™] (MQA) と光学顕微鏡の 違いと、製鋼会社にとっての利点(表1ご 参照)について説明致します。

基礎

光学介在物解析手法とASPEX 社製 MQA の 違いに対する全体の評価を、双方の運用に おける基本的原理からから始めます。

光学顕微鏡法

図1は介在物自動解析の為に構成された光 学顕微鏡の概略原理を略図化したものです。 介在物試料が電動ステージに載せられ、拡 散光源により光が当てられております。試 料のわずか一部(視野)の画像がレンズシ ステムを通し、色の値(色の三原色の強度 値)として各画素が同時に記録されるよう センサーアレイに投影されます。各視野で 観察される試料の空間領域はレンズシステ ムの強度(~100 x)とセンサーアレイのサ イズによって決まります。



図1:光学顕微鏡の概略図

介在物の境界を認識し、サイズと形状のパ 較的高真 ラメーターを抽出するためのソフトウェア み生み出 によって画像処理されるコンピュータメモ リー(図では表示されておりません)内で センサーアレイが読み取られます。介在物 の1視野の解析が完了した時点で、電動ス 電子光学コラム テージは次の視野へと移動します。その色 の値に基づいてストリンガーが識別されま す。例えば、A系介在物はB系介在物より 明るく見える等。光学解析において、試料 から直接的に組成情報は得られません。こ の手法は間接的であり、光度を基に推測さ れた識別となります。

Personal SEM®

図 2 では Personal Scanning Electron Microscope (PSEM)の原理が概略図とし て示されております。電子光学"コラム" で鉄鋼試料の一点に衝突する光度に収束さ れた電子ビームが作られます。ビームと試 料が相互作用することによりディテクター で検出されるシグナルが発生されます。介 在物解析の場合、コントラスト機構として 原子番号を用います。ビームは試料の連続 したポイントを連続的に走査する事から、 検出された反応の強度が変化します。重元 素のグレー・スケール値は軽元素のそれよ り高くなります。試料上において隣り合う ビームの間隔に基づき、取得される視野の 空間領域 (mm²) が決まります。ビームの 電子変位により、ステージを移動させるこ となく複数の介在物視野を解析することが 可能となります。ステージの移動は大きな 視野の移動の際に行なわれます。この処理 により一定の時間が節約されます。収束さ れたビームは、ビーム、試料、検出器が比 較的高真空でバキュームされた状況下での み生み出されます。



図2:電子ビーム解析装置の概略図

テーブル1: MQA と典型的な光学顕微鏡のパラメーター

パラメーター	MQA	光学顕微鏡
介在物解析手法	ダイナミックな電子ビームコント ロール	静止画像解析
可能検出範囲	>0.1 <i>µ</i> **	>1 µ **
計測の再現性(%RSD)	$ \begin{array}{rcl} <10\mu & : & \sim 4\% \\ \geqq 10\mu & : & \sim 7\% \end{array} $	20~50%
化学解析	X線マクロ解析	無し
倍率	50,000 X まで	200 X まで
介在物識別手法	直接的なX線マクロ解析	間接的な光屈折
焦点深度	100,000 nm	400 nm
「化学–試料」の解析能力	標準	不可能
介在物サイジングの為の拡張視野解析	標準	不可能
介在物組成	標準	不可能
三元組成ソフトウェア	標準	不可能
試料の表面処理	3μダイヤモンド	<1 µ ダイヤモンド 傷なし
スクラッチのフィルタリング機能	標準	不可能·不効率
気孔のフィルタリング機能	標準	不可能
オペレーターの技量	不要	不要
オペレーターのエラーからの影響	低い	高い

* 本テーブル上のパラメーターや値は標準的な介在物解析のセッティングを基にしております。

PSEM を利用した自動解析

光学顕微鏡と比べ、ASPEX 社の MQA は鉄鋼 試料をダイナミックに走査します。視野の高解 像度画像を取得するのではなく、ずらりと並ん だ極めて粗いステップで(~ 1-2 µm サイズ、 図3-1参照)視野に対しビームを動かします。 それぞれのポイントで、シグナルの光度が記録 されます。シグナルがその位置で介在物の存在 を示すのに十分な暗さである場合、ソフトウェ アが介在物のサイジング作業を開始します(図 3-2参照)。

一度、粗い走査(ドットで表示)で介在物を認
識(緑のドット)すると、介在物の中心位置が
検出され、その後、粒子のサイズと形状(3-2)を定義するための"コード"がビームで介
在物に描かれます。速度向上の一番の理由は、
介在物が存在しない膨大な数の空白画素まで
解析して時間を費やすのではなく、粒子の存在
が認められる箇所に対してのみ詳細データを
取得するところにあります。多くの試料の場合、

介在物が占める面積に比べかなり多くの空白 エリアが存在します。結果として、走査する上 で大きな速度の利点を生み出します。



図 3: MQA での自動解析

相違点

コントラスト・メカニズム

画像の中の情報は、反射シグナル中で変化をも たらす照明光源と介在物の相互作用による 様々なコントラスト・メカニズムから生み出さ れます。

光学顕微鏡のコントラスト・メカニズムは ASPEX 社 MQA と大きく異なります。光学式 顕微鏡の場合、光と介在物の相互作用は、光と 研磨された鉄のものとは異なり、介在物は鉄よ り暗く現れます。同様に、表面上の疵は容易に 介在物として検出されます。完全ではありませ んが、この誤検知を緩和するアルゴリズムも開 発されております。電子ビームの相互作用メカ ニズムはよりシンプルで役立つ介在物識別手 法を提供する傾向にあります。SEM 画像の作 成のために最も利用されるシグナルは、表面の 細部に対し非常に敏感な二次電子で、写実的な 影付けにより、魅力的な3次元の外観を作り出 します。しかし、それ程認知されていない後方 散乱電子の現象が、介在物自動解析において特 に有用なコントラスト・メカニズムを提供しま す。(図4)

ディテクター



図4:後方散乱電子コントラスト・メカニズム

後方散乱のコントラスト・メカニズムは試料中 の原子との間で生じる入射電子の弾性散乱を 含みます。最軽量原子でさえ電子より桁違いに 大きいことから、ボーリングのボール上を跳ね るピンポン玉のような効果となります – 当 初のエネルギーを殆ど全て残したままの電子 反跳。入射ビームの周囲に対照的に配置された 環状のディテクター・エレメントがこれら後方 散乱電子を捉えます。イラストの図は実際の縮 尺とは程遠いものですが、この図は、後方散乱 発生の確率は試料に存在する原子の平均サイ ズと比例することを正確に示唆しております - その為、原子番号は対照となっております。

一般的な介在物解析作業では、200 x ~ 450 x の倍率が使用されます。図5は、鉄の介在物の 自動解析における、後方散乱電子コントラス ト・メカニズムの利点を最大限に表しておりま す。a は解析装置の後方散乱電子ディテクター 像を示し、bはaの後方散乱シグナルの誤った 色付けを示しております。これら双方の画像か ら2つの重要な特徴が見て取れます。(1) a に おいて、介在物がより暗い色の領域で示されて いる。(2) 画像のほぼ中心にスクラッチ(~100 µ幅)が確認出来る。bの画像では、スクラッ チ上に更に小さな特徴の存在が確認出来ます。 しかし、電子ビームは、「化学コントラスト」 の項目にある図8で示されるような、追加の識 別情報を提供することから、介在物解析結果に とってこれらの点を懸念する必要はありませ ん。後方散乱コントラストはMQAに対し、介 在物を発見し位置を認識するためのユニーク な手法を与えます。加えて、化学を基に介在物 を分類する為のメカニズムを提供します。例え ば、Sulfides は Oxides より重い平均原子番号 を有します。その為、装置は容易にそれらを区 別することが出来ます。



図5:コントラスト・メカニズム及び介在物検出

試料の準備

光学顕微鏡の場合、試料表面にあるスクラッチ の検出を避ける為、ピカピカの研磨が必要とな ります。特に、<1μダイアモンド仕上げを必 要とします。これに比べ、ASPEX MQA の場 合、3µのダイアモンド仕上げで研磨した鉄試 料で解析が行なえます。これにより、試料準備 作業における貴重な時間を節約することが可 能となります。加えて、図6や図7にあるよ うな試料を解析することも可能です。表面上に 無数のスクラッチを有する試料に対する ASPEX MQA の解析能力を検証するため、試 料を1μ仕上げで研磨した後、意図的にスクラ ッチをして疵を付けております。光学顕微鏡で これら試料を解析することは出来ません。この 試料の解析結果と、同一ヒートで作られた製品 のほぼ同一箇所から取り出した試料の解析結 果を比較したところ、ASTM E2142 の格付は 双方でほぼ同一の結果となりました。唯一の違 いは、スクラッチのない試料において Type B ストリンガーが 0.5 で各付けされたところ、ス クラッチされた試料では 1.0 と各付けされた 点です。これは双方の試料が完全に同一のもの ではないことに起因していると考えられます。 加えて、光学顕微鏡と ASPEX MQA を比較し た場合、MQA にとって表面の状態は全く問題 ではないことが明白となります。これらスクラ ッチは殆ど検出されることがありません。表面 にはスクラッチによる溝がありますが、スクラ

ッチの溝に関わらず材質(例えば鉄)にはその ままの原子番号が存在します。結果として、装 置はスクラッチを介在物として検出すること なく(光学顕微鏡が検出してしまうように)、 多かれ少なかれ、完全にそれを無視します。



図6:鉄鋼試料上のスクラッチに対する光学画像。



図 7: 光学カメラ(a. ~10X)を用いた表面状態と、MQA(b.) を用いた表面状態の比較。原子番号コントラストを利用す ることで表面不良からの影響を最小限にする。

化学コントラスト

電子ビームを利用する介在物解析装置の組成 解析能力と光学解析装置のその能力を比較す ることは容易なことです – 光学式は行な えません。光学顕微鏡の場合、色の合図を利用 するようプログラムが組まれます。しかし、こ れは組成を特性化する上で不正確で信頼性が 低い手法です。化学情報を提供する光学分光法 もありますが、日常的な介在物識別用途として の使用に耐えうるだけの性能が証明されてお りません。その為、光学解析装置は介在物の分 類において、介在物の形状にのみ信頼を置きま す – 化学情報ではありません。一方、電子 ビーム装置の場合、過去 50 年間、日常的に、 正確な組成情報を得るため鉄の試料とビーム の相互作用により発生する X 線放射を解析し てきました。

基材は分子間相互作用を含む可視光を生み出 します。

対照的に、X線の発生は原子の影響に起因しま す。X線は、温度、圧力、化学結合等の要因か らの影響を受けない原子の深いところで発生 することから、発生した X線は単純かつ極端 に一貫した放射パターンで特性化されます - X線のエネルギーは介在物の元素と直接 一致します。

リチウムより上の元素は全て、エネルギー電子 により励起されると特有の X 線を生み出すこ とから、その放射を検出することは介在物中の 元素 - 及びそれぞれの相対存在量を特定す る上で、容易で明白な手段となります。従って、 MQA の自動解析において、介在物からの X 線 スペクトルを取得することが介在物分類にお ける最終工程となります。それがスピネルなの かアルミン酸カルシウムなのかといったよう に、介在物の特性が正確に認識され、適切なカ テゴリーに分類されます。その為、介在物物質 の元組成を識別する上で、最も確実な手段とな ります - 光学系装置では行なえません。 検出した介在物に対するX線解析のみならず、 MQA はまた、追加の識別作業を行ないます。 介在物と鉄との識別は原子番号の違いだけで なく、化学的特徴によっても行なわれます。例 えば、ビームが鉄を横断的に走査する中で、鋼 マトリクスの背景より暗い(または明るい)特 徴との相互作用によりビデオレベルが落ちた 場合、 装置はそれはユーザーが意図するもの であり、4 つ (表面の疵 (スクラッチ)、デブ リ、気孔、もしくは介在物)のうちのいずれか

を確認するため追加的なスクリーニングが必 要であると認識します。その対象物が、表面の 瑕、デブリ、もしくは気孔のいずれかの場合、 MQA で取得されたスペクトルには介在物に関 わる化学情報が存在しません - 主に、AI, Si, Mg, Mn, S, Ti, Zr 等。図8においてこの点が正 確に示されております。左上の画像では表面に スクラッチの存在が確認できます;また、不良 表面の端部にはこの不良を作るために使用さ れたツールからの残留汚染が見られます(右 図)。図5で示されるように MQA がこの表面 を走査した場合、この汚染箇所が解析を開始す るトリガーとなります。化学組成からこのデブ リが Carbon (C) (Iron(F)ピークは鋼マトリク スに由来する)であることが確認出来ます。介 在物を示す元素が確認されないことから、装置 はこの対象物を解析対象外と判断します。逆に、 後のレポート作成の為に、これらの対象物を追 跡記録することも可能です。

非金属介在物を迅速かつ正確に識別するため、 サブミクロンサイズの空間次元に及ぶ介在物 を迅速にX線解析する能力は、電子ビーム解析 を、介在物の分類手法における第1の地位とし て確立させます。



図8: 試料表面から検出された異物の画像とスペクトル

焦点深度

全ての写真家は、近い対象物と遠い対象物の間 を移動する時、鮮明な画像を撮るためにフォー カスの調整が必要であることを認識しており ます。視野内に近い対象物と遠い対象物がある 場合、いずれか一方、もしくは双方が焦点から 外れます。厳密に言えば、対象物には唯一一点 の距離でのみ完全な焦点を合わせる事が可能 です。これを焦点深度と呼びます(または同等) に、被写界深度)。一般論として、対象との距 離がレンズの限界開口の直径より大きくなる ほど、焦点深度は大きくなります。光学顕微鏡 において、近距離で高倍率の画像を得る場合、 より大きなレンズが必要となることから、本質 的に小さな焦点深度となります(数百ナノメー ター 図 9)。このような実情から、光学顕微鏡 の介在物解析においては、単純に介在物が焦点 から外れたり、試料が平行でないといった事か ら、しばしば偽陰性の結果がもたらされます。 SEM の場合、限界開口をとても小さく製造す る必要があることから、大きな焦点深度となり ます - 普通の状態において、光学顕微鏡より 数千倍大きい。



図9:光学(a)とMQA(b)の焦点深度比較

ASPEX MQA のこのような利点から、優れた カウントや計測結果を得ることが可能となり ます。例えば、光学顕微鏡において1つの介在 物が部分的に焦点から外れている場合、実際の サイズより小さく不正確に計測されるか、場合 によっては、そこに存在しないかのように完全 に無視されます。概して、図9の画像がそれを 物語っています。対象物は凡そ 1/4 インチ長の 小さなスクリューです。左のように光学顕微鏡 で観察した場合、深度のごく浅い部分のみが満 足する焦点となっております。それと比較して、 右側の PSEM 画像では、スクリュー全長(更 にその先まで)に渡り鮮明なフォーカスとなっ ております。スクリューの頭と底面に付着した 小さなデブリでさえ容易に解像し、画像から特 性化することが出来ます。

サイジングと検出に対する精度と精密さ

プロセス評価にとって極めて重要な計測シス テムは、一般的に、対象物に対する計測精度や 精密さに対するそれらの機器特有の能力が精 査されます。介在物解析において、この点はし ばしば見過ごされております。技術者は光学顕 微鏡による試料の解析に慣れ、試料は正確に解 析されているとの致命的な推測がなされてお ります。10年以上前から、科学者や技術者は 品質をより意識するようになり、日常の評価プ ロセスを測定することに注視するようになり ました。この主な目的は、プロセスの合理化と、 バラつきの低減方法を解明することにありま す。一つの例がプロセス改善を目的とするシッ クス・シグマのアプローチ方法で、光学顕微鏡、 及びそれを用いた μ サイズの対象物に対する 解析能力について批判的な評価結果となって おります。

解析装置を評価する為の一般的な手法として、 複数の試料を複数回解析し、計測の効果的な標 準偏差を求める手法があります。これはユーザ ーがどの程度上手に装置をセッティングした かを示すものではありませんが、解析の「ゲー ジ」に関して示唆を与えます。ゲージは、対象 物を繰り返し再現可能な方法で計測する為の

手法の能力を示す用語です。光学顕微鏡の場合、 最高解像力は一般的に1µ程度です。本質的に、 光学顕微鏡の解像度は取得可能な最小のサイ ズによって決まります。光学顕微鏡の場合、そ れはセンサーアレイ上の 1 画素のサイズとな ります。100 x の場合、光学顕微鏡にとって1 μは究極の性能を意味します。これは主に光の 回折限界の問題に拠ります。介在物解析にとっ て、殆どの場合 2μ以下が切り捨てられます。 その為、せいぜい1つの介在物を示す2画素 があります。プロセスに関わる情報を取得する 上で、通常、この大きさのサイズは最も重要な 介在物となります。その為、本質的に、光学装 置の解像能力は最も重要な領域に制限されて おります - 5µ以下。続いて、この検証では、 光学装置の再現性は 20-25%の相対標準偏差 (%相対標準偏差 = 標準偏差/平均)であるこ とが示されております。この様な乏しい精度と なる理由は、(1) 1 画素あたり 1 μ の分解能で あるため精度(対象物の実際の寸法)が乏しく、 1 µ サイズの特徴を正確に計測する機会は 50%しかない、(2) 1 µ = 1 画素の分解能である ことから、偽陰性の結果が劇的に増す、(3) 焦 点深度が乏しいため、計測の信頼性が乏しい。 ASPEX MQA の場合、試料に映し出される集 東スポットのサイズにより SEM でのみ可能と なる有用な倍率が決まります。これはまた集束 される電子ビームの回折により最終的に制限 されます。画像化における最高解像度は 7nm で、自動解析中は~0.030nm 程度まで低くな ります。この純然たる事実は、計測に対する信 頼性が桁違い高いことを意味します。端的に言 うと、最小の対象に対しより多くの画素が存在 し、結果として、SEM が、凡そ 200 ナノメー ターの介在物を画像化することが限界となる 一方、光学顕微鏡においては5µサイズ以下の 介在物の画像化さえ困難です。

解像メカニズムとその能力の大きな違いから、

MQA は計測に対する非常に優れた再現性と信 頼性を有します - MQA のゲージがより優れ ている。図 10 には、3 つの試料を3人のオペ レーターがそれぞれ 3 回走査してサイジング した結果がプロットで示されております。10 µ以下の介在物の計測において相対標準偏差 がわずか~4%であることを示しております - これは公開されている光学顕微鏡の値と比 べ桁違いのものとなります。MQA が登場する まで、介在物解析産業においてこの計測精度に ついては認知されておりませんでした。





国際的な介在物各付け規格を用いた試料の格 付け

Aspex MQA 電子顕微鏡は光学系装置に比べ本 質的に複雑で、壊れやすく、高価なものである との当然の推測がなされるようです。これは、 基本的な光学顕微鏡が数世紀に渡り進化を遂 げた根本的に単純な機構の装置である一方、 SEM は最近になるまで研究室のルーツから大 きく進化することの無い比較的近年の電子の 開発であるという捉われ方が影響しておりま す。

基本的な光学式検査顕微鏡を例え基本的な SEM と比較しても、本質的に小型、単純、且 つ安価であることに疑問はありません。しかし、 その様な装置に対し MQA の様な多様性を持た せて自動化を試みるとします。

純然たる事実は、光学顕微鏡は根本的に機械装 置であり、倍率、照明、及び焦点のような基本 属性をコンピュータで管理する為には、複雑で 高機能なアクチュエータを追加する必要があ ります。簡単にいうと、SEM はよりコンピュ ータで管理される為に作られた画像装置です。 構造やアルゴリズムの詳細については光学顕 微鏡と ASPEX MQA で殆ど同一ですが、これ ら 2 つの装置にはいくつかの根本的大きな違 いがあります - 特に、ストリンガーや非常に 長い介在物を効率よく計測する点において。



図 11:ストリンガーの長さ

光学顕微鏡の場合、設計上、一般的に 0.5mm2 サイズの視野画像を取得する必要があります。 その後、画像中に存在する介在物のサイズを測 定する為に「静止」画像が解析されます。図 11 では、どのようにストリンガーの長さが計 測されるかを示しております。

Stringer Length (SL) =
$$L_2 + L_1 + d$$

 $d \le 40$ microns
 $s \le 15$ microns

この計測を基にすると、光学顕微鏡に対する静 止画像の要求は本質的に 1 視野内の介在物に 対する解析に制限せざるをえません。どのよう な自動介在物解析においても、60 以上の視野 を有し、各視野はその清浄度の度合い、もしく は介在物の内容を基に格付けされます。例えば (図 12)、1 つの介在物が 2 つの視野を跨ぐ場 合(F1 及び F2)、光学装置はこれら 2 つの視 野の静止画像を別々の独立した画像として用 います。結果として、介在物が 2 回カウントさ れる、もしくは全くカウントされないという事 が生じます – 視野 F1 でカウントされた後、 F2 で再びカウントされる。カウントの毎に、 介在物は実際のサイズより小さく不正確に計 測されます。他の例として、ストリンガーが複 数の視野(F2 及び F3)を跨いで存在する場合、 光学顕微鏡はそのストリンガーを 2 つに分割 して別々にカウントします – F2 において 2 つの構成、F1 において 1 つの介在物。

電子ビーム画像装置の最も大きな長所は、その 速度とそれらの調整を可能とするダイナミッ クな範囲です。高機能の光学「ズーム」レンズ の倍率を10倍にしてアプローチしようと努力 する一方、SEM の場合、少なくとも4回の倍 率変更で連続的にズームすることが可能です - 事実上即座に、いかなる機械調整も伴わな い。結果として、ASPEXにより開発された装 置のように真に最適化された電子ビーム介在 物画像装置は光学装置では成し遂げられない 手法で画像要求に対しダイナミックに適応す ることが可能です。

この様な特性から、MQA では図 11 で指摘され るような差異が排除されます。 MQA は静止画 像を取得するのではなく、むしろ介在物を走査 する為にダイナミックにビームをコントロー ルします。 ASPEX が使用する格付けソフトウ ェアーは検出された介在物の全 x, y 位置に視 野を重ね合わせます – MQA は介在物のサイ ズを計測するため全配列を利用します。結果と して、図 12 中の介在物 1 と 2 を正確に解析す ることが可能となります。

図 12 の場合、介在物1について、MQA は介 在物が複数の視野を跨いでいるかいないかに 関わらず、介在物全体の長さを解析するため視 野の境界を超えて電子ビームを利用します -本来の精密さを有し、解析装置はどの視野によ り多くの介在物が含まれるのかさえ認識する。



図 12:介在物解析視野

図13は2つの視野を跨ぐ1つのストリンガー の解析結果を示しております。赤で示される介 在物は介在物の全長を示します。MQA は最端 の介在物(白で表示)に関する特有の化学相さ え識別することが可能です。AI 系介在物(赤) の一部である以上に、この固有相は Si 系介在 物と識別されております。これが MQA の総合 的な優位点です。光学装置の場合、この介在物 はストリンガーの一部として見なされ、より長 い介在物となります。化学組成を基にすると、 これは正確ではありません。



図 13:長いストリンガー 左図:SEM BSED 画像

右図: MQA 各付けソフトウェア

プロセスに関連した解析

最後に、MQA の最も強力な利点はダイナミッ クな使用用途に関連します。自動光学顕微鏡装 置の場合、もっぱら介在物の格付けを行なうこ とのみに追いやられております。

介在物の各付けは、鉄鋼製品の日常の品質及び 客先との信頼構築において非常に重要です。こ れまで見落とされてきましたが、より上流のプ ロセスが品質に対し直接的にどのような影響 を及ぼすかという点に最近大きな注目が集め られております。図14には鉄鋼プロセスの基 本概要が示されております。自動光学顕微鏡が もっぱら圧延/仕上プロセルからの試料を解 析する一方、MQA は「化学ー試料」の解析を も可能とする柔軟性を有します。プロセス解析 において光学顕微鏡が使用されない最も大き な理由は、そこに含まれる介在物の>90%がく 5µのサイズであることに因ります。「化学-試 料」(図 15)から明らかになる情報は、取鍋、 タンディッシュ、溶鉱炉、鋳造といった製鋼工 程に対し計り知れない洞察を与えます。



図 14: 製鋼プロセスの概要



図 15:2 次精錬からの「化学---試料」

具体的に、アルミニウム脱酸を行なうことによ りどのような介在物が精製されるか、

目詰まりを防止するためにどれ程のカルシウ ムを添加すべきかという事を想像したことは ありますか? 鉄の指紋が取れることを想像し てください。MQA はこれらとらえ所のない質 問に対する窓を開放する唯一の手段です。自動 レポート作成ソフトウェアでは、いかなる介在 物のパラメーターをも報告するようカスタマ イズすることが可能です。図 16 では「化学 -試料」の解析から得られたレポートが示されて おります。鉄鋼業界のニーズに対応するよう努 力してきた結果、MQA はそれらニーズに合致 した製品となりました - 介在物解析におけ る用途を増やした。

考察

光学顕微鏡と Aspex Metal Quality Analyzer の 根本的な違いは幾多に渡ります。介在物解析装 置による計測の全体の精度と精密さにとって 重要な幾つかのキーとなるパラメーターを示 します。テーブル1では、本書で議論されたパ ラメーターに基づくこれらの違いを要約して おります。概して、MQA は介在物を定量化す る上で非常に優れた手法であることが証明さ れており、結果として、その様なタスクに対す る No.1 の手法として業界の多くの人々により 認知されております。





図 16:>1µ介在物に対する「化学—試料」解析