

情報処理の実例 (5)

EPMA のための高速マッピングと画像データ処理
システム

小原 清弘・銭谷 福男・梶川 鉄夫・副島 啓義

(株)島津製作所 〒604 京都市中京区西ノ京桑原町1

(1987年11月17日 受理)

High Speed Mapping and Image Processing System for EPMA

Kiyohiro KOHARA, Fukuo ZENITANI, Tetsuo KAJIKAWA
and Hiroyoshi SOEZIMA

Shimadzu Corporation

1, Nishinokyo-Kuwabaracho, Nakagyo-ku, Kyoto 604

(Received November 17, 1987)

We have recently developed a high speed mapping system (Hsystem) and a scanning image processing system (SIPS).

The Hsystem comprises a digital scan converter, a color controller, and a color CRT.

The digital scan converter collects various signals such as secondary electrons, backscattering electrons, X-ray, and others by means of either beam scanning or stage scanning at a very high speed. The image information is displayed on the color CRT after realtime processing by the color controller.

The SIPS is a computer system that dynamically controls EPMA by means of a 32-bit super mini-computer. The system has an automatic analytical software including collecting mapping data from the Hsystem or directly from the EPMA, and permits highly sophisticated image analysis of mapping data as the image and the own data of EPMA.

1. 緒 言

電子線マイクロアナライザ (以下 EPMA と略称する) は, 1951 年 Castaing の発明に端を発し以後急速な進歩を遂げ, 今や代表的なマイクロアナライザとなった。

1960 年代から 1970 年代にかけては EPMA の基本性能の向上を目的として, 主として X 線制御系と電子線制御系の改良が行われた。この時期に画像強調を目的として開発された次の三つの手法は, 当時としては画期的なものであった。

第一は, バックグラウンド消去装置と言うもので, X 線信号を数レベルにわけ各レベルに応じた輝度で CRT に表示するものである^{1,2)}。これ以前にも Kurt F.J. Heinrich は, 計数率計と XY レコーダとを組み合わせで濃度分布図を画かせているが, コントラストを表示す

る一つの方法として興味深いものである³⁾。

第二は, ステップエリアスキャンと言うもので, X 線強度の積分値を対応する画素の輝度として表示するものである⁴⁾。Fig. 1 にフェロクロムと Ni 基合金の通常の X 線像とステップエリアスキャン像 (64×64 画素) を示す。

第三は, エアロビュウと言うもので, Y 変調方式と輝度変調を組み合わすことによって X 線像を透視図的に 3 次元表示するものである⁵⁾。

1970 年代後半になるとコンピュータによる自動化への関心が高まり, マッピング可能な完全自動化システムが開発された⁶⁾。1980 年代になるとパーソナルコンピュータの普及に伴い, マッピング機能を標準的に備えたシステムが商品化された⁷⁾。また, 従来より不可能とされていた X 線像のリアルタイムの収集・表示と画像処理機能を併せ持った高速マッピング装置も開発され, マッ

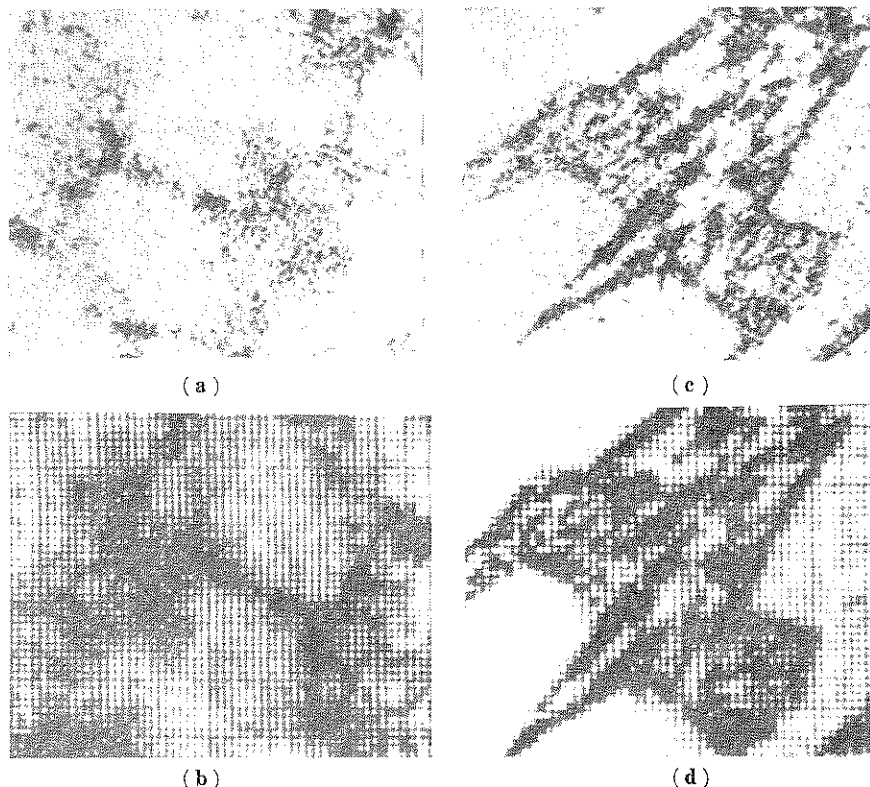


Fig. 1 Usual X-ray image and step area scan image.
(a), (c) : usual X-ray image; (b), (d) : step area scan image
sample: (a), (b) Ni base alloy; (c), (d) Ferrochrome

ピングと言う分析手法が日常的なものとなった⁹⁾。その後、画像処理専用のミニコンピュータを持つシステムも出現し、マッピング像の解析が行われるようになった⁹⁾。

筆者らも1台のスーパーミニコンピュータにより、EPMAの制御と画像処理・解析まで可能なトータルシステム“SIPS・EPMA”を開発した¹⁰⁾。本システムでは、定性・定量分析はもとより高速マッピングまでコンピュータ制御で行われ、同時に画像処理・解析まで実行可能でありコストパフォーマンスに優れている。本報告において筆者らの開発した高速マッピング装置とSIPS・EPMAの構成・機能及び応用について報告する。

2. リアルタイム高速マッピング装置の概要¹¹⁾

2.1 構成と原理

高速マッピング装置の構成をFig. 2に示す。高速マッピング装置は、デジタルスキャンコンバータ（以下DSCと略称する）、カラーコントローラ及びカラーCRTで構成されている。EPMAから得られる2次電子信号やX線信号は画像情報としてDSCに蓄積される。この情報はデータ収集と並行してカラーコントローラに

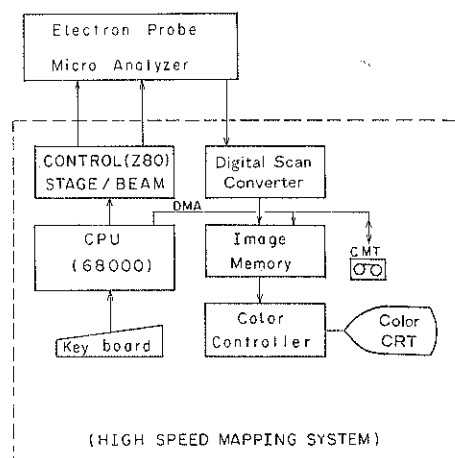


Fig. 2 Configuration of high speed mapping system.

よりリアルタイムに必要な処理がなされた後カラーCRTに表示される。

DSCは、 $512 \times 512 \times 16$ ビットの画像を7枚蓄積出来る。電子線走査によりデータ収集を行う場合は、EPMA

からの画像信号は電子線走査と同期して高速で A/D 変換されて画像メモリに書き込まれる。また、X線信号の場合には、各画素に対して 16 ビットを割り当てており、最大 1000 回までのフレーム積分が可能である。

試料ステージ駆動によって X 線信号を収集する場合には、試料ステージの位置に対応した画像メモリアドレスにデータが書き込まれる。画像メモリの内容は常時 TV レートで出力されており、カラー CRT へ表示される。

カラーコントローラは、カラーモニタ表示画像を任意の色相の疑似カラーとするためのものであり、16 ビットマイクロプロセッサと高速 RAM を利用した変換テーブルで構成される。変換テーブルでは、DSC のデジタル出力信号をもとに R. G. B それぞれ 16 階調の混

色で 4096 色に変換してモニタ CRT へ出力される。上記のような変換テーブルの採用により、表示用メモリの内容を書き換える方式に比べて大幅な時間短縮が図られている。

2.2 機 能

1) 超高速でデータ収集可能である。

データ収集の最短時間は、電子ビームスキャンの場合 10 秒/1 フレームで、試料ステージスキャンの場合 10 分/1 フレームである。

2) X 線の信号だけでなく電子線の信号もマッピングする。

3) X 線と電子線の 2 次元信号が同時に収集できる。

4) 同時収集元素数は 6 元素である。

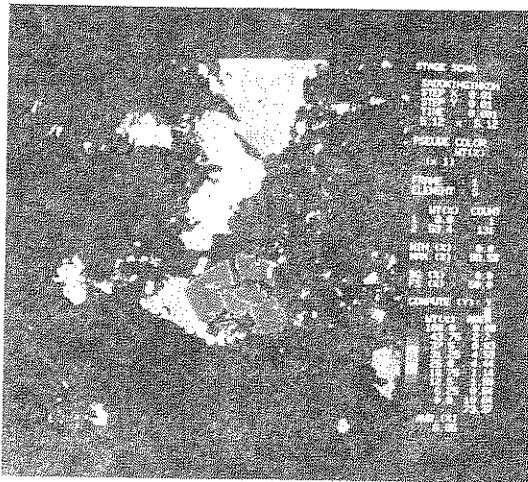


Fig. 3(a) S mapping of Sadonite by Hsystem.

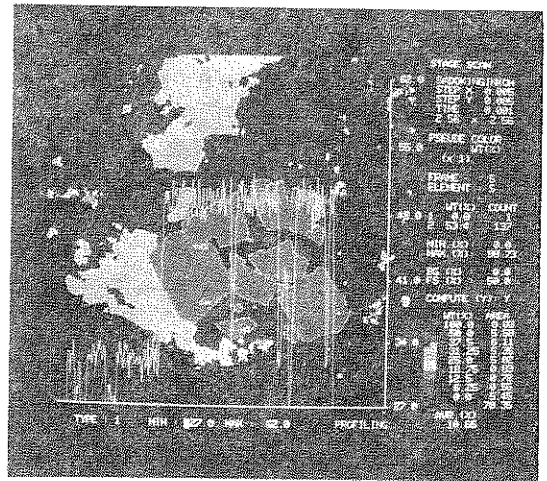


Fig. 3(b) S mapping and profile of Sadonite by Hsystem.

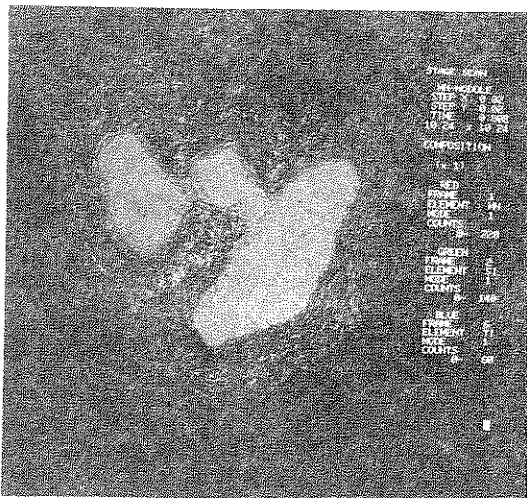


Fig. 3(c) Mn, Si, Ti mapping of Mn nodule by Hsystem. (See colour page 1.)

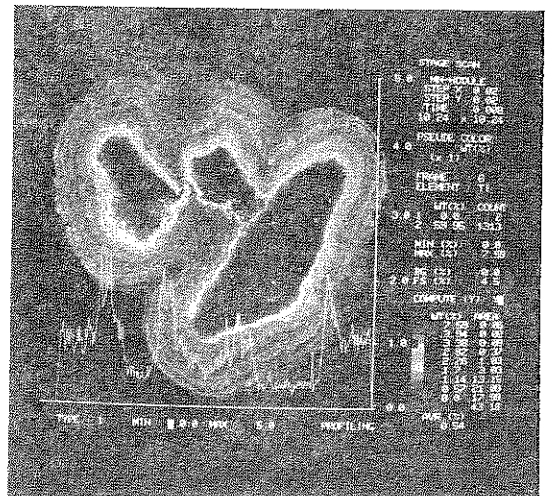


Fig. 3(d) Ti mapping and profile of Mn nodule by Hsystem. (See colour page 1.)

- 5) カラー表示色は 4096 色中の任意の 16 色表示ができる。
- 6) データを保存する外部記憶装置がついている。
- 7) データ収集と画像の処理・表示は機能ごとに分散したマイクロプロセッサにより並列動作可能である。以下の画像処理がデータ収集中にも瞬時に可能である。
 - a. 16 レベルカラー表示の色・レベルの変更
 - b. バックグラウンド処理とコントラスト強調
 - c. 3 信号同時表示による各像の比較
 - d. カラー表示とグレーレベル表示の切り換え
- 8) 以下の画像処理が、データ収集後に可能である。
 - a. 重量濃度画像の表示
 - b. ラインプロファイルの重ね書き
 - c. 部分拡大表示
 - d. 画面分割による複数画像の同時表示と合成

2.3 応用例

Fig. 3 に高速マッピング装置で収集したデータの出力例を示す。Fig. 3 (a), (b) は佐渡金銀鉱中のイオウの分布, Fig. 3 (c) はマンガン団塊中のマンガン, シリコン, チタンをそれぞれ R, G, B で重ね合わせて, Fig. 3 (d) はチタンのマッピングとプロファイルを重ね合わせて表示している。

2.4 効果

本装置により従来より不可能とされていた X 線像のリアルタイムの収集と表示の同時処理が可能となった。超高速でかつ容易にマッピング像の収集と解析が可能となり, カラーマッピング法が EPMA の他の分析手法と同様にルーチン分析として手軽なものとなり, EPMA の新しい分析法として, その応用範囲を広げることとなった。

3. SIPS* の概要¹¹⁾

3.1 特長

SIPS は, 1 台の 32 ビットスーパーミニコンピュータにより EPMA を総合的に制御し, データを収集しながら従来の元素分析だけでなく, 得られたマッピング像を即座に画像処理・解析し, 試料中の元素の定量や複数元素の分布状態を出力するシステムである。

マッピングデータは, スーパーミニコンピュータで EPMA 本体を制御しながら, 直接コンピュータの磁気ディスクにファイリングされる。2 項の高速マッピング装置 (以下 Hsystem と略称する) を接続することによりデータ収集時間が大幅に短縮される。収集が完了すると DMA (Direct Memory Access) により, 全てのマ

ッピングデータが数秒でコンピュータに取り込まれる。また, 収集されたデータは大容量のコンパクトな磁気テープにコピーして保存することもできる。

SIPS では, Fig. 4 に示すように分析用と画像処理用の 2 台の専用端末が用意されている。分析用端末からの指示により, EPMA の定性・定量・線分析と補正計算などだけでなく, 複数試料のマッピングデータをあらかじめ設定された分析条件のもとで EPMA を制御しながら Hsystem を介して高速で収集する (分析モード)。

画像処理用端末からは, 得られたマッピングデータ像の処理・解析を行う。画像処理・解析機能は独立したコマンドとして用意されており, 目的に応じて画像を逐次処理して結果を高分解能画像表示装置に出力して解析することができる。機能としては, 各種フィルタリングやヒストグラム解析などマッピングデータを扱う画像処理機能と二値化した後の粒子解析をするために 20 数項目の解析項目を有している。解析結果は順次磁気ディスクに蓄えられているいろいろな試料中の粒子の分布状態や形状について統計的な把握も可能である (データ処理モード)。

各画像処理コマンドは一連のコマンドとして登録できるルーチン的な画像処理アルゴリズムとして自動的に実行することができる (マクロコマンドモード)。

また, FORTRAN でプログラムを作成してシステムに登録することにより機能の拡張も可能である。従って, 電総研より公開されている画像処理サブルーチン "SPIDER" を利用して, 目的にそった画像処理の応用を展開することもできる (ユーザソフト開発モード)。Fig. 4 にオペレーションを中心としたダイアグラムを, Fig. 5 にソフトウェア構成を示す。

3.2 画像処理機能

- 1) フィルタリング機能: メディアンフィルタ, 平均値フィルタによる画像の平滑化が可能である。
- 2) コントラスト強調機能: 濃度範囲の小さな画像に対し, ヒストグラムをレンジ全体に広げることでコントラストの強調が可能である。
- 3) エッジ検出機能: ラプラス演算子によるエッジ検

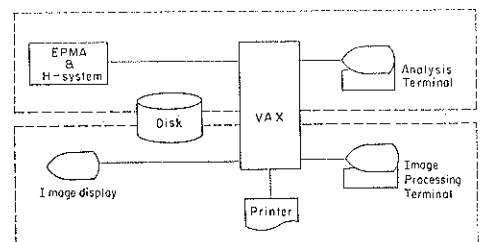


Fig. 4 Operation diagram of SIPS.

* Scanning Image Processing System

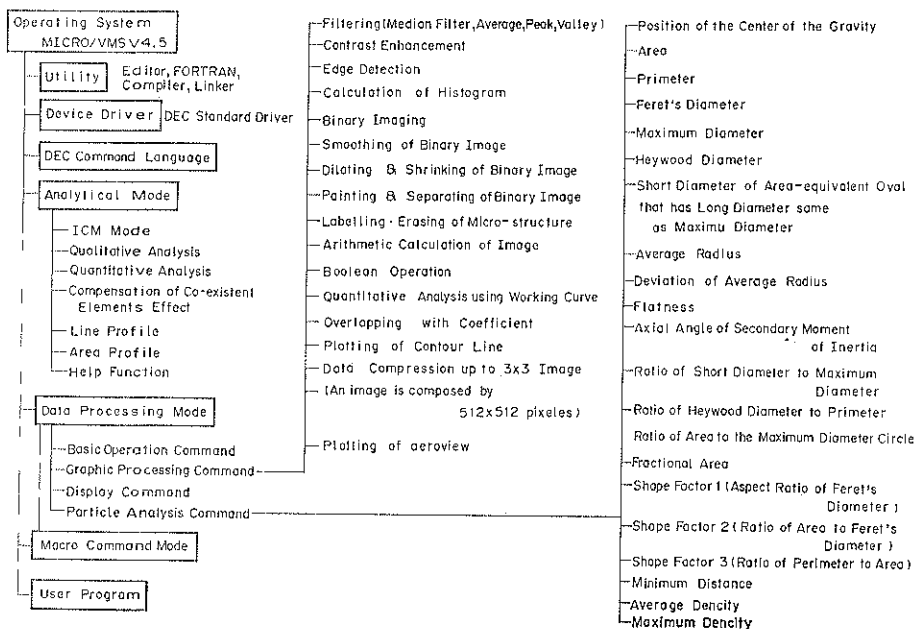


Fig. 5 Software configuration of SIPS.

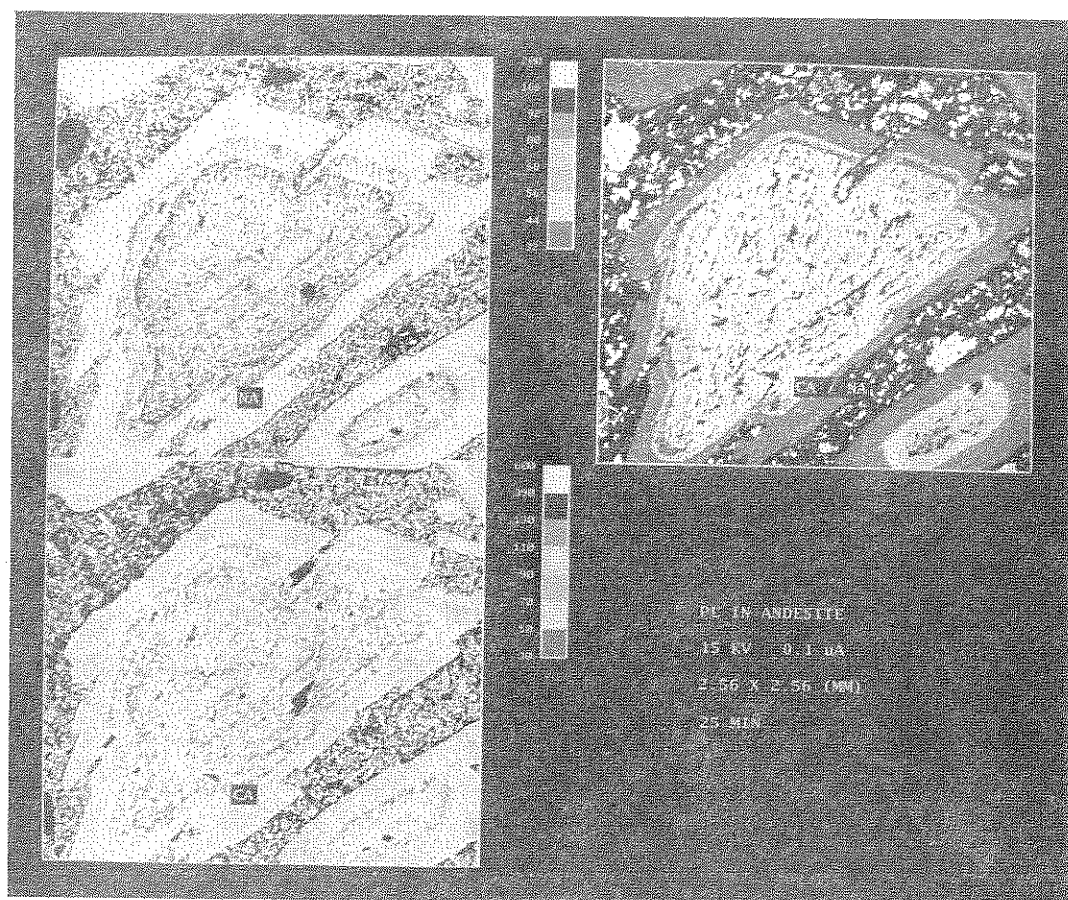


Fig. 6 Na, Ca mapping of Plagioclase in andesite and Ca/Na mapping image.

出が可能である。

- 4) ヒストグラム出力機能: 強度 (濃度) 別の面積率, 元素ごとの面積率の出力が可能である。
- 5) 外部係数による画像の重ね合わせ機能: 複数元素の画像に対して各元素ごとに係数を指定することにより元素間の相関を示す画像の出力が可能である。
- 6) 四則演算・論理演算機能: 画像と定数の四則演算, 画像と画像の四則演算・論理演算が可能である。
- 7) 広範囲画像管理機能: 512×512 の画像を持つ画像を最大9枚指定することができ, 全体の画像として管理することが可能である。
- 8) 等高線出力機能: CRT あるいは XY プロットに複数レベルの等高線の色分け表示が可能である。
- 9) プロファイル出力機能: マウスにより指定された2点間の平均値のプロファイルをXあるいはY方向に出力可能である。

- 10) ズーミング機能: マウスにより指定された点を中心として画像の拡大が可能である。
- 11) エアロビュー出力機能: X線や反射電子像の3次元表示が可能である。
- 12) 画像解析の前処理機能: 2値画像に対して画像解析を行う前処理として, 平滑化, 穴埋め, 切断, 微小領域の除去が可能である。

3.3 画像解析機能

マウスにより指定された領域あるいは粒子ごとに以下の項目についての解析が可能である。重心位置, 面積, 周囲長, 外接長方形の縦横長, 最大径, 円相当径, 等面積楕円の長径を最大径とする時の短径, 平均半径, 平均半径のばらつき, 偏平率, 2次慣性モーメント主軸角度, 短径/最大径, 円相当径/周囲長, 面積/最大径を直径とした円の面積, 面積率, 形状係数1 (外接長方形の縦・横長の比率), 形状係数2 (面積/(外接長方形の縦長×横長)), 形状係数3 (周囲長/面積), 最短距離, 平均濃度, 最大濃度, 統計計算, 複数視野 (1視野 512×512 画素) において解析された項目について指定された

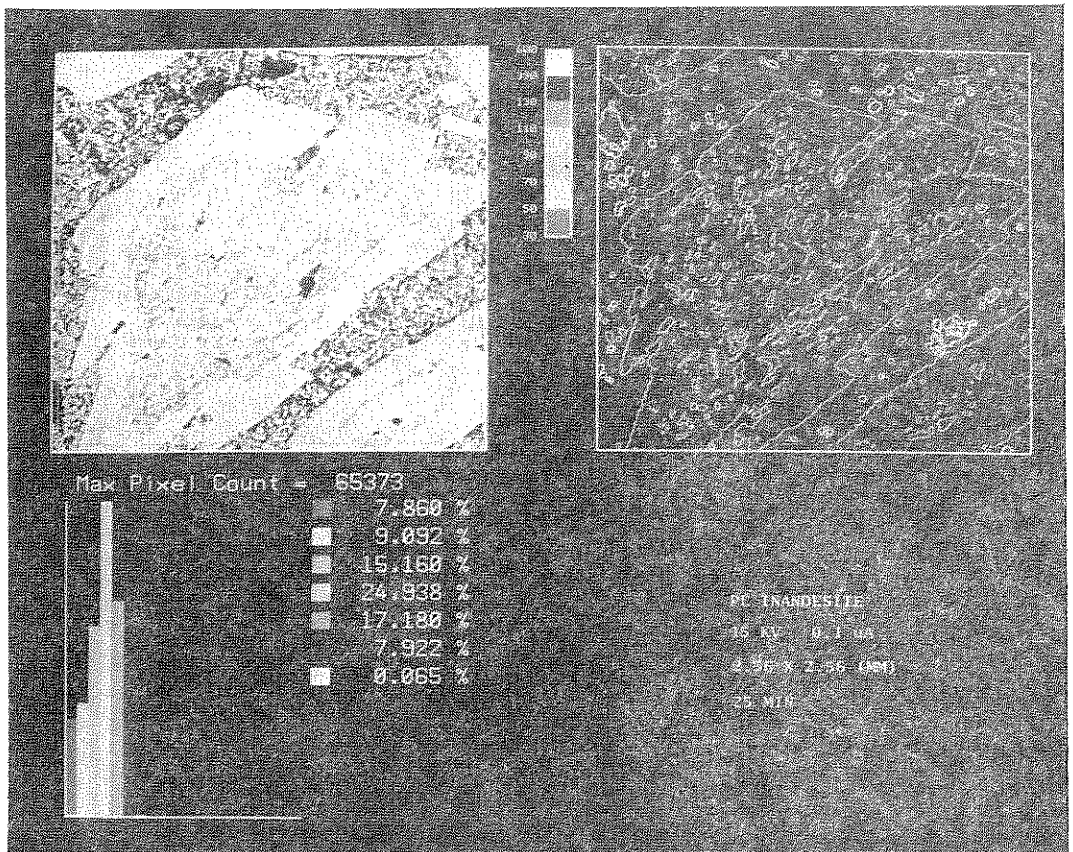


Fig. 7 Ca mapping of Plagioclase in andesite and profile, histogram, contour map.

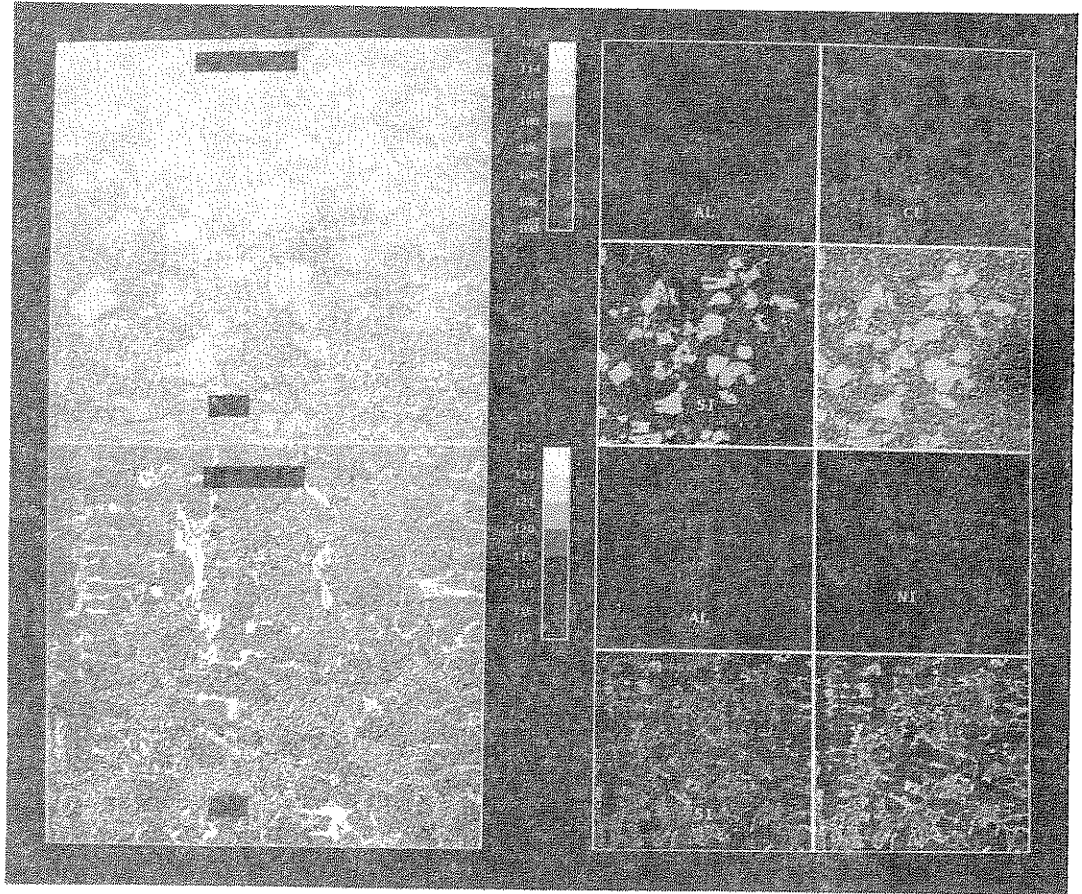


Fig. 8 Multi mapping display of Al alloy.

項目の標準偏差などの統計計算が可能である。

3.4 応用例

Fig. 6 は、安山岩中の斜長石のナトリウムとカルシウムのマッピング像の色わけ表示とモル濃度比の色わけ表示の例である。各元素の色わけ表示により元素分布の把握が、モル濃度比の色わけ表示により斜長石の生成環境などの推定が可能である。

Fig. 7 は、安山岩中の斜長石のカルシウムの色わけ表示とラインプロファイルの重ね書き、各強度レベルの面積率ヒストグラム、等高線表示の例である。このように1画面中に同時表示することにより多方面からの解析が可能である。

Fig. 8 は、2種類のアルミ合金の BSE 像、元素別の R (赤)・G (緑)・B (青)表示とその重ね書き表示の例である。複数試料の比較や BSE 像と元素分布の対比が可能である。

Fig. 9 は、アルミ合金中のシリコンの X線像の色わけ表示・シリコン粒子の二値画像・その平滑化画像の表

示を行い、画像解析機能により各粒子の面積を測定しヒストグラムの出力を行った例である。

4. SIPS・EPMA によるマッピングの自動化

4.1 概要

SIPS・EPMA の構成を Fig. 10 に示す。Hsystem 単体においても直接 EPMA 本体の制御を行い、電子線像や X線像のマッピング像を収集することが可能であるが、SIPS を使用することにより以下のようなマッピングの自動化が可能となる。

4.1.1 マルチ画面モード

本モードは、分析位置・ステップ幅・積分時間・測定元素などについてあらかじめ設定しておき、広い領域の分析を全自動で行うものである。元素ごとに収集された最大9枚のマッピング像を1画像に圧縮して解析することも可能である。以下に動作説明を示す。

1画面のサイズは 512×512 とする。

1) 分析開始時に 2×2 のモードか 3×3 のモードか

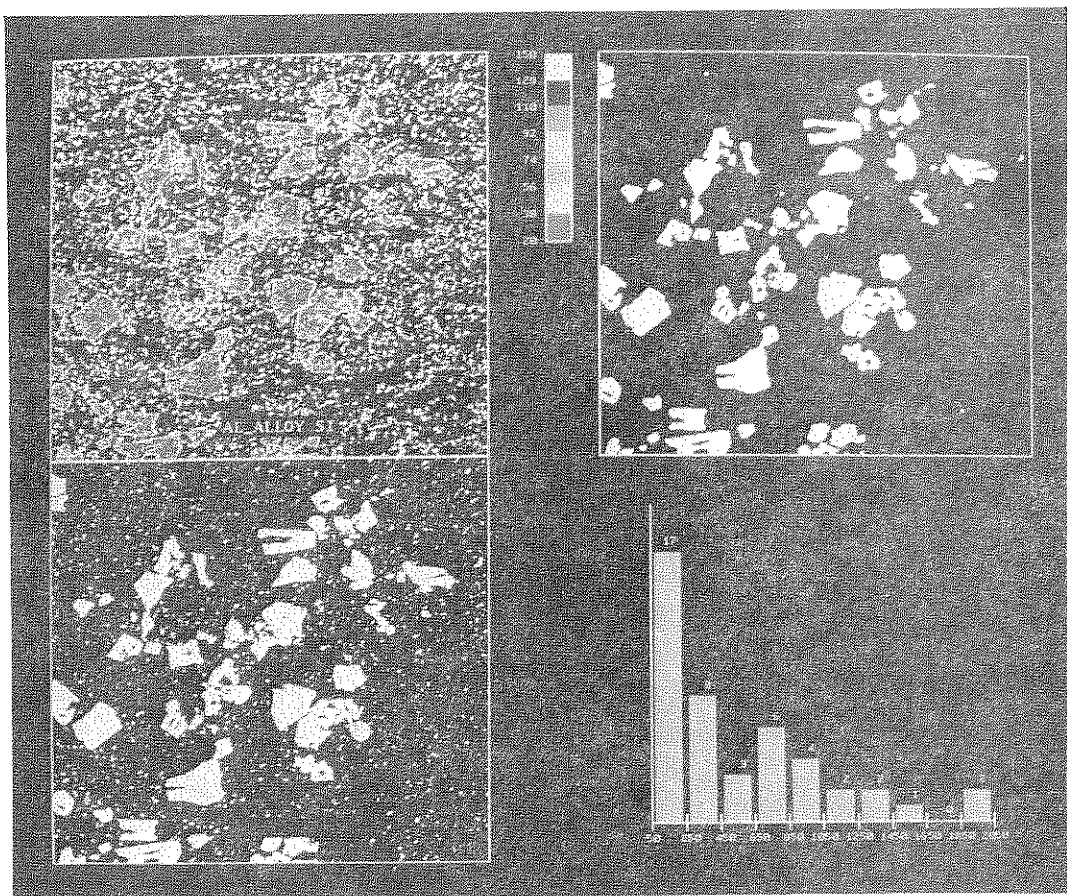


Fig. 9 Si mapping of Al alloy, binarized image, smoothing image and histogram of particle size.

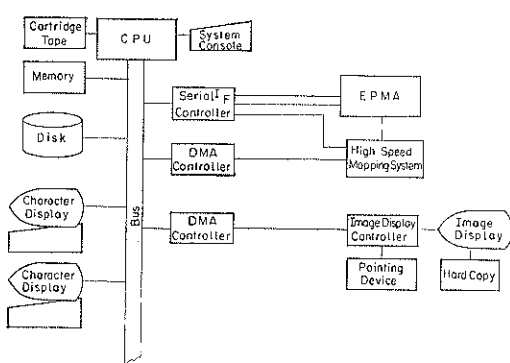


Fig. 10 System block diagram of SIPS-EPMA.

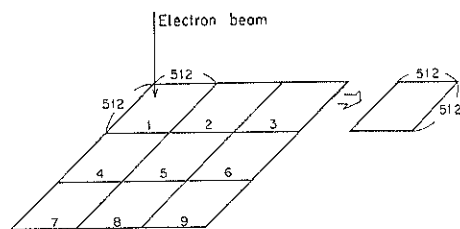


Fig. 11 Multi mapping mode.

4.1.2 順次分析モード

本モードは、異なる試料ホルダにセットされている複数試料について分析位置・ステップ幅・積分時間・測定元素などについてあらかじめ設定しておき、多試料の分析を全自動で行うものである。以下に動作説明を示す。

Fig. 12 のように、試料ホルダ No. 1, No. 2, No. 4, No. 6 に試料がセットされているとする。

1) 試料ステージの X, Y, Z の位置制御によりホルダ No. 1 の分析位置へセットする。

の指定を行う。

- 2) 2×2 のモードでは、Fig. 11 の 1, 2, 4, 5 の領域の分析を行う。
- 3) 3×3 のモードでは、Fig. 11 の 1 から 9 までの領域の分析を行う。

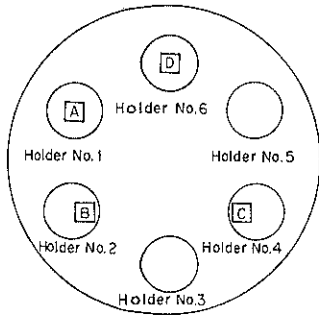


Fig. 12 Sequential mapping mode.

- 2) A領域についての設定されている元素の分析・データ収集を行う。
- 3) 試料ステージのZ位置を降ろし、ローテーションを行う。
- 4) 試料ステージのX, Y, Zの位置制御によりホルダ No. 2 の分析位置へセットする。
- 5) B領域について設定されている元素の分析・データ収集を行う。
- 6) 以後、同様の制御を行い、ホルダ No. 4, No. 6 の試料の分析データ収集を行う。

4.2 応 用 例

Fig. 13 に銀と銅のメッシュについてマルチ画面

モードにてマッピングした例を示す。この画像は 512×512 画素の画像を 3×3 枚収集し (1536×1536 画素), 1枚の画像に圧縮したものである。このように本モードにより広域なマッピングが可能となり, かつ任意の画像 (512×512) を抽出して処理・解析することもできる。

5. マッピングの画像処理の課題と今後の展望

これまでに筆者らの開発した“高速マッピング装置”及び“SIPS・EPMA”について報告してきたが, EPMA のマッピング画像という観点からみてある種の危険性があることも論じておきたい。

EPMA の基本的な信号である電子線像とX線像の画像処理の目的について述べると, 前者は画像自体を“イメージ”として取り扱い, 後者は画素の集合体として取り扱われる。即ち, X線像の各画素の持つ情報は“定量的”な意味を持つ。この相違点からも考慮する必要がある。

まず, 電子線像として2次電子と後方散乱電子があるが, 検出される信号は厳密には互いに混ざり合い, しかもそれぞれには表面形状の情報や原子番号情報とその他のさまざまな要因による信号量変化が含まれている。これらの情報はいろいろな工夫にもかかわらず完全分離はされていない。このような信号によるマッピングは十分

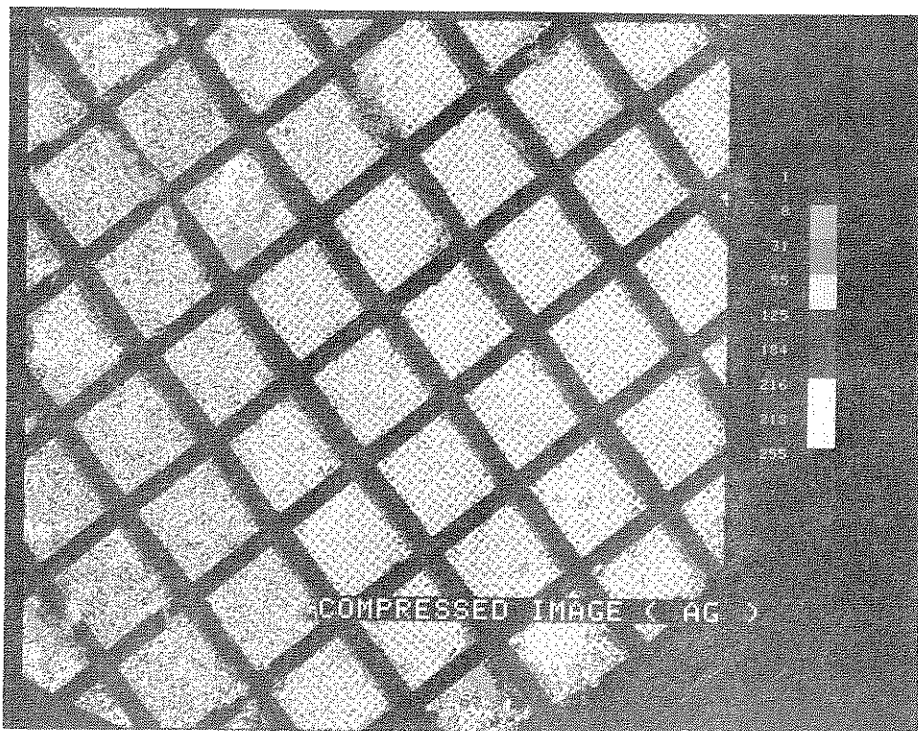


Fig. 13 Example data of multi map mode.

なデータ解釈がされないまま人為的に強調されてしまう恐れがある。

次に、X線像について論じると、その発生プロセスは電子線以上に複雑である。発生領域は深さ方向だけでなく横方向にも広がりを持ち、1次電子線径の大きさ・信号の発生領域・X線の取り出し角度により決定される空間分解能についての考慮は必要である。X線像の場合、各画素の持つ情報そのものが定量値となり、いわば点分析の集合体がマッピング像とも言える。いかに優れた画像処理手法を使おうとも、定量性からの面からいうと処理後の画像の評価は分析者自身によるところが多い。この点は電子線像と異なり、単に“きれい”な画像ではすまされない。

過去、コンピュータ画像処理はさまざまな分野において発達してきた。しかし、表面分析における画像処理についてはかなり遅れている感がある。今後は、EPMAの原理を考慮した画像処理技術の発達が望まれる。また、現在のEPMAでは、特性X線・2次電子のみならず、内部起電力やカソードルミネッセンスなど特殊な信号の画像に対する処理技術の研究も望まれるところである。

6. む す び

情報の画像化という観点から画像データ処理を中心に報告したが、分析装置というEPMA本来の目的からすれば、一般汎用画像データ処理装置のような画一的なデータ処理装置では、EPMA用画像解析の心臓部とはなり難い。画像処理だけではなく、基本となる生データを、目的に合致した手法によりいかに精度良く、必要な表面情報を間違いなく収集するかという事が重要である。他の手法に比べ、豊富な信号情報を持つEPMAにおいては、“始めに信号有りき”という原則を忘れたデ

ータ処理装置では真の解析結果をえることは難しく、マッピングをはじめとする画像処理のみならず、定性・定量など従来の解析処理においても、分析の原点に立った間違いのない解析をするEPMA用データ処理システムの開発が分析機器メーカーに在籍する筆者らの最大のテーマとなっている。

おわりに、データ収集・処理において協力していただいた幣社分析センター古味秀人氏、技術課大越 曉氏に謝意を表する。

文 献

- 1) 萱島敬一, 若林忠男, 伊達 玄: 第11回応用物理連合講演会, 74 (1964).
- 2) 萱島敬一, 伊達 玄: 島津評論 23, 2, 13 (45) (1966).
- 3) Kurt F. J. Heinrich: Advances in X-ray Analysis 7, 385 (1963).
- 4) 島津科学器械ニュース: “EMXの最近の開発付属品” (1968).
- 5) 副島啓義, 三宅俊行: 日本特許出願公告昭 49-19933 (1974) (出願 1970).
- 6) 安部忠広, 森本一三, 鈴木健一郎, 若林忠男, 小柳和夫, 川口博巳: 川崎製鉄技報 (1979).
- 7) 副島啓義, 服部秀雄, 平居暉士, 銭谷福男, 河合政夫, 小柳和夫, 森 俊治, 村山善美, 田中康信, 荒木 武, 正木俊行: 島津評論 40, 37 (1983).
- 8) 銭谷福男, 河合政夫, 服部秀雄, 副島啓義: 第19回応用スペクトロメトリー 3A13 (1983).
- 9) 田口 勇, 浜田広樹, 谷誠一郎: 製鉄研究第 313号, 93 (1984).
- 10) 小原清弘, 銭谷福男, 梶川鉄夫, 肥田行博, 宮崎武志: 第47回応用物理学会学術秋季講演会 29a-ZG-1 (1986).
- 11) K. Kohara, F. Zenitani, T. Kajikawa, H. Soezima: Microbeam Analysis (1987).