

7.3 材料組織解析システムの開発

藤川 貴朗

1. はじめに

コンピュータ技術の発達とともに、その周辺の技術も追随して発達している。画像処理の分野では、画像処理装置そのものも、高速度の処理が可能になり、またコストパフォーマンスの向上から実用化できる分野が広がっている。処理の内容も高度な数値計算処理が必要なものから、単純でコストを抑えた専用システムなどに幅が広がっている。また、CCDカメラの普及により、画像入力は簡便になり、ハイビジョンなどの高解像度のシステムも比較的に利用しやすくなっている。

当試験場では、材料組織解析システムとして、金属組織の形態的特徴の研究や金属組織の経験的判断の数量化のために画像処理装置を導入し、そのソフトウェアの開発から取り組みを始めた¹⁾。

当場のような研究開発現場での画像処理装置に求められるものは、利用目的が多様多様であることから、汎用画像処理装置が適当である。当面の開発目標は、材料組織解析システム中の、複合材料の強化繊維配向測定システムにおき、その他の機能をトータル化する。ここでは、ソフトウェアの内容や、画像処理装置のハード面などについて、研究報告書になかった部分を補う。

2. 画像解析装置の必要条件

試験場で要求される汎用画像処理システムに求められる機能を列挙すると、

- 1) 広範な画像入力手段（テレビ、ビデオ信号（NTSC、HI-VISION）、スキャナからの画像、計測装置などからの入力、数値データなど）
- 2) 早い処理速度とより大きな処理エリア
- 3) 多種類の画像処理法選択
- 4) 効率的で易しいメニュープログラムからの起動（重要な条件である。）
- 5) 逐次的、試行錯誤的実行機能
- 6) 確立した処理手順を実行するマクロ機能
- 7) 将来への拡張性
- 8) 記録、管理機能（ファイリング機能や検索機能）
- 9) 高解像度の表示、記録出力機能（濃淡、色調の正確な再現）などが挙げられる。

3. パソコン環境下での画像解析

ここでは、画像処理システムや画像処理手法について、検討を行った結果について簡単に述べる。簡易なパソコンを用いた画像処理システムがすでに市販されているが、これに類するシステムを構築して基礎的な技術を修得する事が目的である。

3.1 検討に使った装置の構成

画像入力には市販のパソコン画像入力ボード（画素数128*128、512*512）とCCDカメラを使用した。画像処理には、この入力画像と、簡易的に作成した数値データによるテストパターンを用いる。

言語は、BASIC、BASICコンパイラ、C、テストした画像処理ルーチンは、入力、表示、2値化、膨張、収縮、細線化、ラベリング、差分等のフィルタとし、簡単なメニュープログラムから実行する。

処理を行ったパソコンはPC9801 VM, VXである。

3.2 検討結果

- 1) Basicによりラスタ走査プログラムを実行すると、実行速度が遅い（画素数180*180で、球形粒子の2値化、ラベリングに30分を要する）。同ルーチンをBASICコンパイラにかけると実行時間は半分程度になるが

非実用的である。

- 2) BASICによる配列制限数の枠を超えるプログラム開発は複雑になる。大きな配列をファイルに展開し、逐次読みだす方式があるが、画像処理ルーチンをすべてその方式に対応させて改変しなければならない。
- 3) 入力、表示プログラムは実行速度の点で、機械語ルーチンを必要とする。
- 4) TURBO-Cではかなり高速化されるが（上記テストプログラムで7分）、8086系のセグメントの境界を超えるプログラミングが複雑である。
- 5) RS-232Cを使った画像ファイルの転送にKERMITで、512*512データの転送に45分を要する。

3.3 結論

パソコン環境下での検討を行った結果と、金属組織解析システムを開発する目的から以下のように結論した。

8086系のプロセッサを使い、機械語ルーチンを考えるのは不適當である。プログラミングに払う労力を節約するため、高級言語レベルで開発を行い、SPIDERのような開発済み資源を利用

する。開発の基盤として、UNIXワークステーションレベルの環境と計算速度が必要である。

4. 画像解析装置とソフトウェア

4.1 画像解析装置の詳細

2章で示した必要条件を考慮し、パソコン画像処理システムで検討した結果を踏まえて、画像解析装置を導入した。図1に画像解析システムの全景を示し、図2のシステムブロック構成を簡単に図示する。

システムは、大きく分けると、画像解析装置とワークステーションの2部分から構成される。

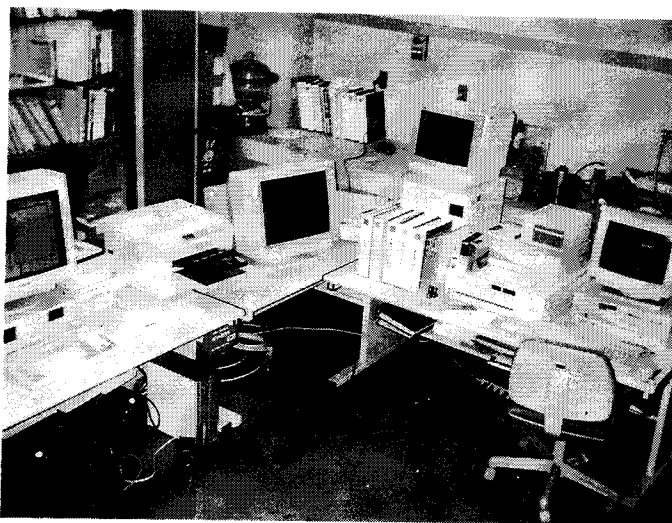


図1 画像解析システムの全景

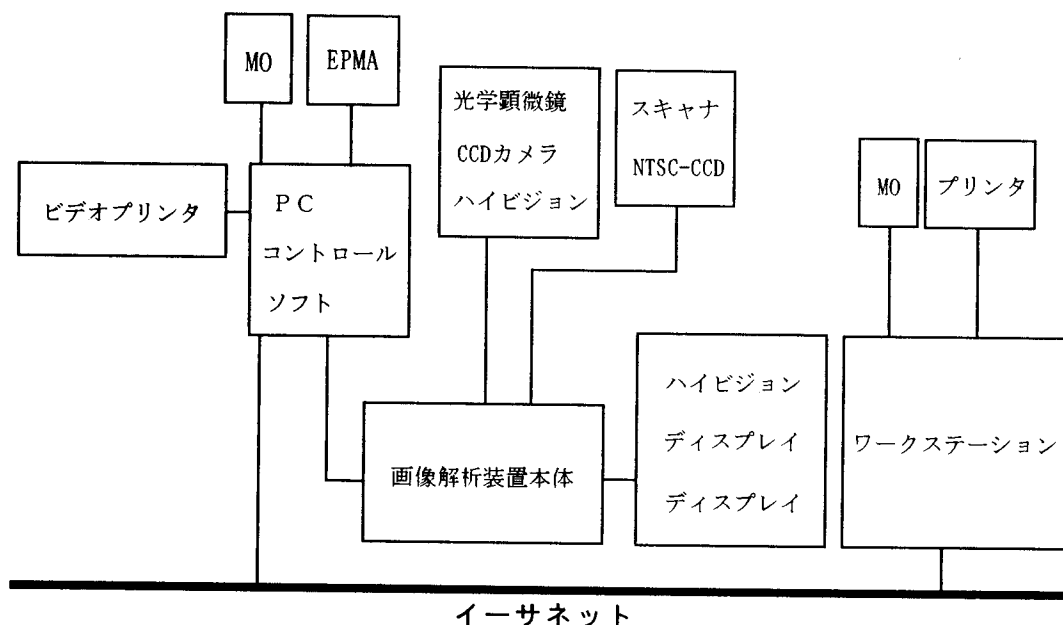


図2 画像解析装置のブロック図

4.1.1 画像解析装置

画像解析装置は、市販の汎用画像解析装置であり、ハイビジョンカラー、NTSC両方に対応する。装置の主な使用を表1にまとめて示し、図3に画像処理のメニュープログラムの画面を示す。2) このメニューからマウス操作によって画像処理を逐次確認しながら実行する。

4.1.2 ワークステーション

画像処理は、イーサネット(10base5)を介してワークステーションと接続してある。表2に接続したワークステーションの仕様を要約して示す。

この構成にしたのは、画像処理装置側で提供されない機能の実行、数値計算、データ処理、結果の表示などのソフト開発がワークステーション側の方が容易であることによる。加えて、ワークステーションの処理速度は今後急速に向上することからみて、より高度な処理はワーク

表1 画像処理装置の仕様

項目	内容
対応画像	ハイビジョン (有効画素数1920*1035) NTSC (有効画素数 512*512)
入力	高精細CCDカメラ NTSCカメラ スキャナ (GBIB) EMPA
輝度レベル	RGB 各8ビット 256階調
フレームメモリ	RGB 各3面
制御コンピュータ	パソコン (PCH98) VME接続
制御ソフト	メニュー選択(逐次)マウス操作 コマンド記述 (マクロ)
画像処理	EPROM 新規組み込み不可
記録	MO光磁気ディスク1G
画像管理・検索	ファイリングソフト
印刷	ビデオプリンタ A4
画像転送	イーサネットTCP/IP n/s

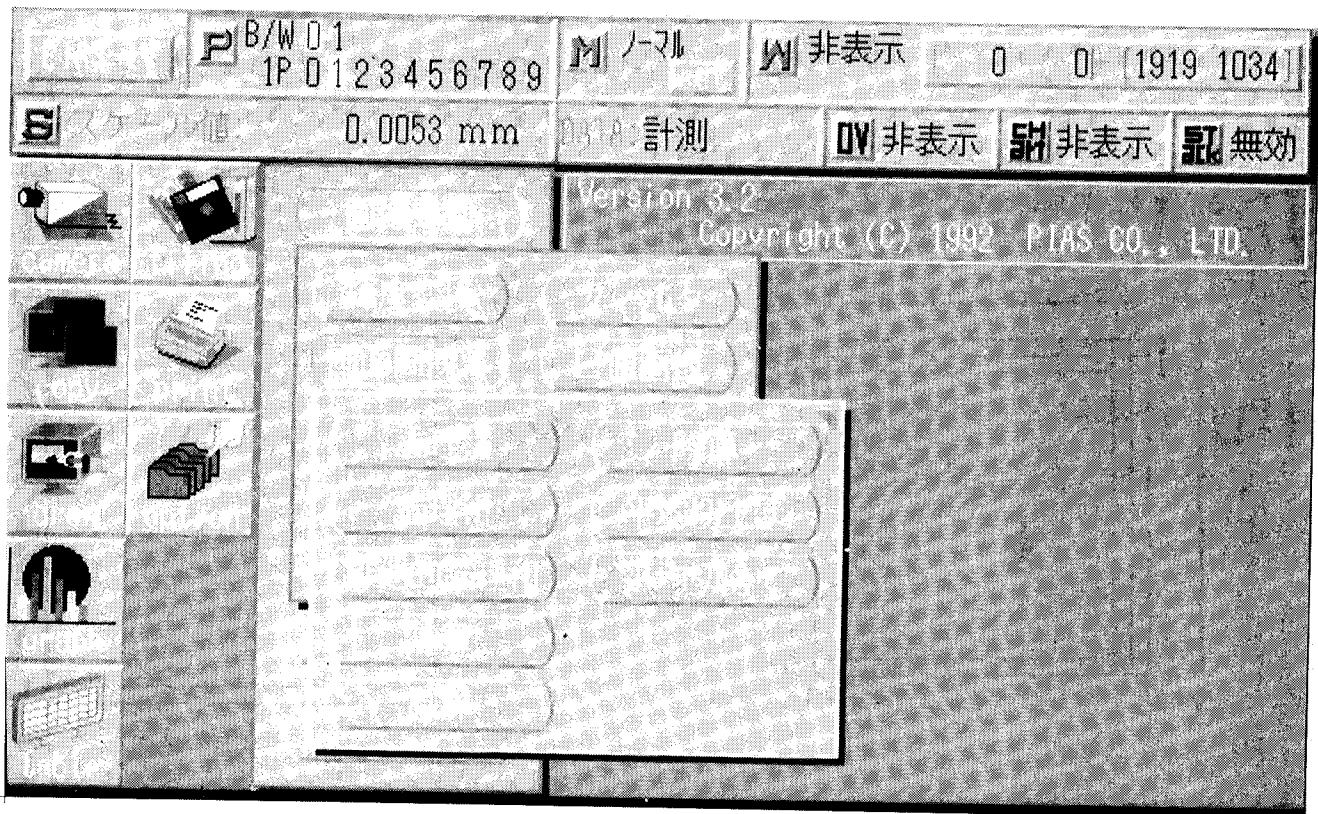


図3 メニュープログラムの表示

表2 ワークステーションの仕様

CUP	68030	R3000
処理速度	5MIPS	25MIPS
メモリ	8M	64M
OS	UNIX	UNIX
画像転送方法	RS-232C KERMIT フロッピーディスク	イーサネット nfs
画像サイズ	512*512	1024*1024
開発言語	C, FORTRAN	C, FORTRAN
ウィンドウ	X-window	X-window motif
結果処理	PC-98	S.Mathematica
開発ソフト	結晶粒界検出 球状化率判定 フーリエ変換	フーリエ変換 3次元表示の検討 EPMA画像の処理

ステーション上で行った方がよいと判断したことによる。

4.2 画像処理の手法

画像処理装置の側で提供される処理は、図4³⁾のように、基本的にはラスタ走査による逐次的な画像処理である。画像装置側のEPROMに書かれた処理ルーチンを、メニュープログラムからコマンドを送り込むことによって処理する。また、処理に時間のかかる、高度なフィル

タをかけるときには、アクセラレータにより、画像を分割して処理することもできる。画像処理の手法としては一般的なものといえる。

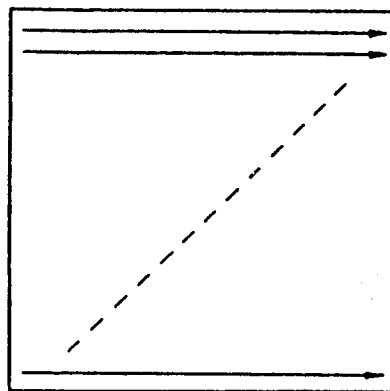
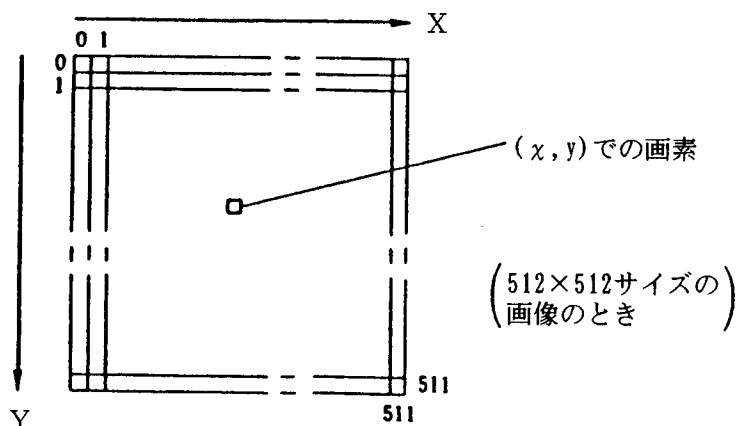
画像処理のサブルーチンパッケージとして、工業技術院、電子技術総合研究所によって開発されたSPIDER^{4) 5)}がある。これはFORTRAN言語で書かれたサブルーチンで、画像入出力、表示などは提供されずユーザ側で用意するものである。このパッケージを用いて、ワークステーション側で処理プログラムを書けば、画像処理装置と同様な処理が可能になるばかりでなく新たなルーチンを試すことも簡単になる。

そこでシステム全体の機能は、画像処理装置側では画像の入出力と簡単な処理ルーチンの実行を行い、ワークステーション側において高度な画像処理プログラムの開発を行って実現される。

5. UNIX環境下での画像解析ソフトウェア開発

ここでは、ワークステーション側で行ったソフトウェア開発の内容について述べる。

開発言語はCおよびFORTRANで、基本的には



ラスタ方向の走査

図4 基本的なラスタ走査の手法

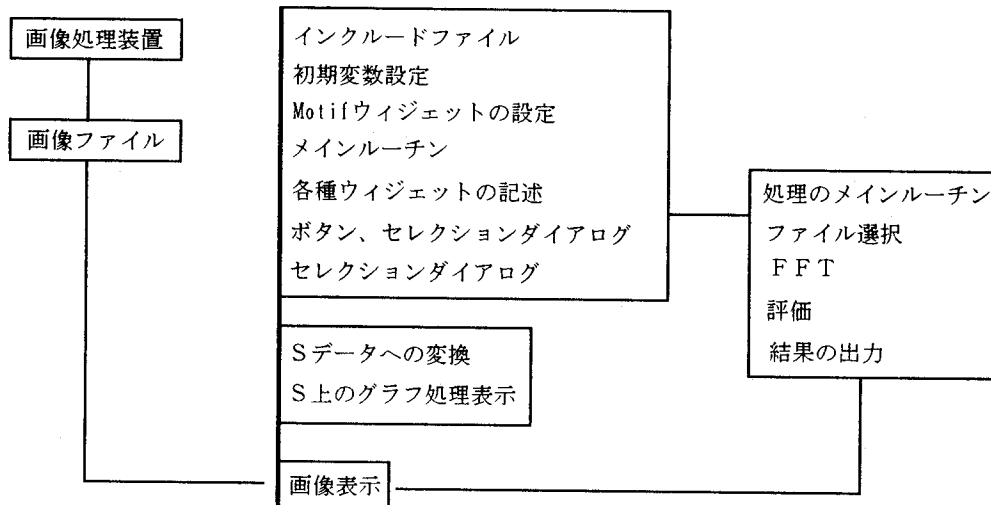


図5 開発したソフトの概要

SPIDERルーチンをC言語から呼び出して実行する形式をとった。

UNIXワークステーション上では、データ変換ツール、X-windowを使った画像表示ルーチン等の基礎的ツールを併せて開発する。^{6) 7) 8)} CPUがR3000のシステムではmotif⁹⁾を使ったユーザインタフェイスを作成した。

開発したプログラムは、(1) 金属の結晶粒界検出、粒度測定、(2) 鋳鉄の黒鉛形状係数測定、(3) フーリエ画像変換と特徴量抽出、(4) 3次元表示である。

6. フーリエ変換ソフトウェアの内容

ここでは、上記開発プログラムの内、リスクCPU R3000を用いたマシン上でのフーリエ変換を使った複合材料繊維配向測定のソフトウェアについて述べる。

6.1 ソフトウェアの概略

図5にソフトウェアの概略を、図6¹⁰⁾にフーリエ変換のメインルーチンのフローを示す。処理の順序にそって説明すると、

- 1) 画像処理装置側で複合材料の組織を入力し、そのままデータファイルに落とす。
- 2) 画像データファイルはPIASのバイナリデータファイル形式のままイーサネット

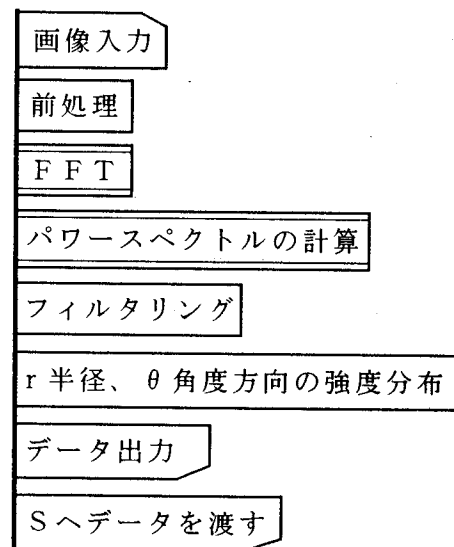


図6 開発したプログラムのPAD図

を介して、ワークステーション側へnfs転送される。

- 3) ワークステーション側でプログラムを起動。

このとき画像サイズは1920*1035なので、1024*1024にデータを切り出して読み込む。motifによるユーザインタフェイスをもつプログラムに配列の形でデータが渡され、図6のフーリエ変換のメインルーチンにより処理される。

- 4) 最終的な処理結果は、パワースペクトルの半径、動径方向の積分値と、パワースペクトルの画像データの形となる。
- 5) これらをセーブし、終了する。

フーリエ変換の詳細については前報¹¹⁾を参照されたい。

6.2 ビジュアライズツールの利用

パワースペクトルの積分値データは、量子化レベル100または180個の浮動小数点値であり、その値の桁幅が4桁にも変動する。そこでこのデータの表示に数値解析言語S^{11), 12)}を用いた。

Sはデータ解析とその結果のグラフィックス表示のための言語である。フーリエ変換ソフトから出力されたデータを読み込み、対数表示のグラフとしてウィンドウに表示させた。図7にその例を示す。

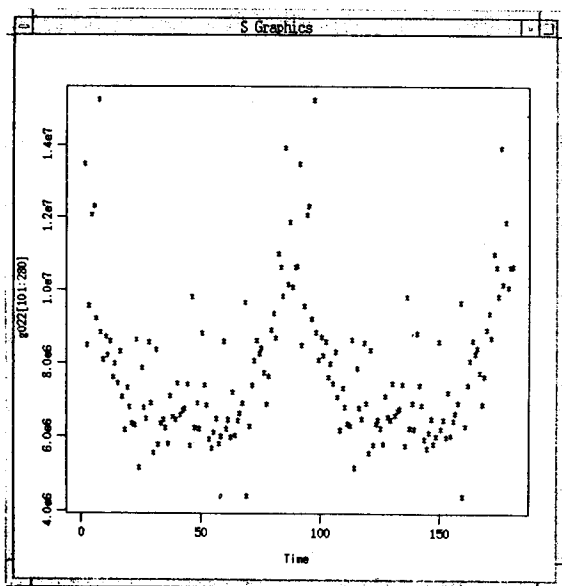


図7 Sによる結果の表示

また、複合材料について、3次元の方向からその組織を処理し、3次元的な繊維配向分布を表示する。ここでは単に3つの方向のグラフの表示法と、3つの方向のデータをそれぞれ位置座標に置き換え、3次元的にその分布を示す方法を提案した。¹³⁾ S上でデータの整理や検討が行えるとともに、その手順を易しくプログラミ

ング出来る。

6.3 繊維配向分布への変換

次に、ここではフーリエ変換のパワースペクトルの密度分布を繊維配向分布関数に換算する試みについて述べる。¹⁴⁾

フーリエ変換のパワースペクトルの密度分布を $\pi/2$ 回転させ1/2乗の重みをつけたものが、繊維配向分布に等しいと考え、その総和を1とおき各個のデータを繊維配向分布関数 $\phi(\theta)$ とおけば、繊維配向係数の定義より、¹⁵⁾

$$f_p = 2 \langle \cos^2 \theta \rangle - 1$$

$$\langle \cos^2 \theta \rangle = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \phi(\theta) \cos^2 \theta d\theta$$

であるから配向係数に換算できる。Mathematica^{16), 17)}ではこの手順を非常に簡単に記述できる。

7. ユーザインタフェイスの改良

7.1 motifによるインタフェイス

画像処理のみならずソフトウェアの使用感とその効率性はインタフェイスによって大きく異なる。

UNIXウィンド環境としては、X-windowが標準的である。このウィンドウ環境でプログラミングするには、Xlibを用いる方法がある。

これではあまりにプリミティブすぎ、数百の命令を低水準で組み合わせねばならない。XにはXt intrinsicとWidgetの高レベルライブラリが用意されている。画像表示ルーチンにはこれを用いた。

しかし、画像処理プログラム全体をこのレベルで開発するにはまだ膨大な労力がかかる。そこで、現在標準になりつつあるmotifによるインタフェイスを用いた。図8にmotifの

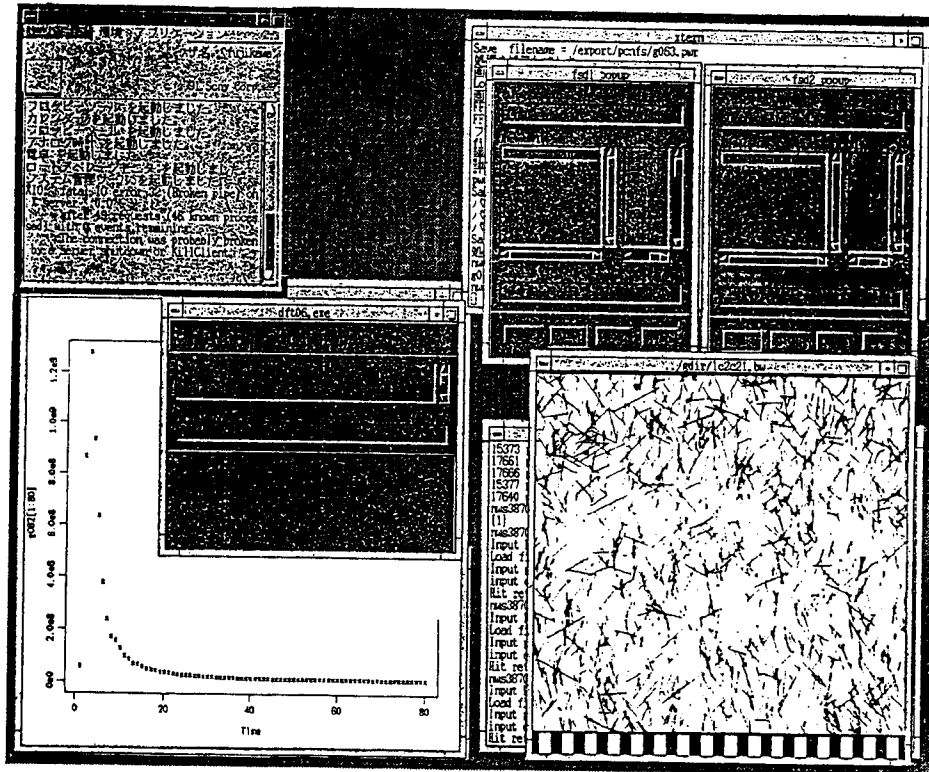


図 8 解析プログラムの実行例

ダイアログウィジェットを使い、ファイル選択にファイルセレクションボックス等を使った改良後の実行画面を示す。(ここではUILを使わずに記述した。) 現段階では画像表示、条件選択等にまで拡張されていないので、これをさらに進めたい。

7.2 アプリケーション開発用GUIツール

GUIツールとして、アプリケーション開発用のツールがある。これはユーザインタフェイスのための記述と、アプリケーション本来のルーチンの記述を分離してプログラミング出来るものであり、またインタフェイス部分是对話式に定義していくことが出来るものである。次の段階では、これらツールを使って材料組織解析のソフトに統合させたい。GUIビルダX-UIMSによる開発の例を図9に示す。

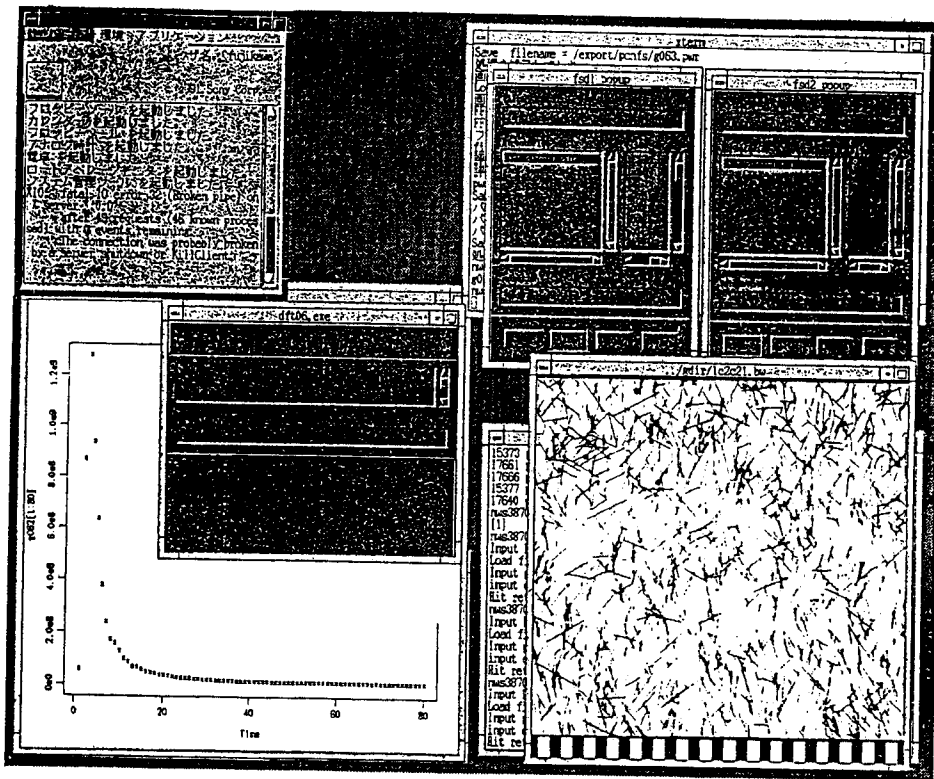


図8 解析プログラムの実行例

ダイアログウィジェットを使い、ファイル選択にファイルセレクションボックス等を使った改良後の実行画面を示す。(ここではUILを使わずに記述した。) 現段階では画像表示、条件選択等にまで拡張されていないので、これをさらに進めたい。

7.2 アプリケーション開発用GUIツール

GUIツールとして、アプリケーション開発用のツールがある。これはユーザインタフェースのための記述と、アプリケーション本来のルーチンの記述を分離してプログラミング出来るものであり、またインタフェース部分是对話式に定義していくことが出来るものである。次の段階では、これらツールを使って材料組織解析のソフトに統合させたい。GUIビルダX-UIMSによる開発の例を図9に示す。