

## 画像メニューを用いた画像処理エキスパートシステム†

稲田 清崇<sup>††</sup> 松本 修二<sup>††</sup>

本論文では、汎用画像解析システムにおける画像処理エキスパートシステムについて述べる。画像処理エキスパートシステムは、画像処理専門家の知識を知識ベース化して、与えられた画像解析の問題解決を支援するシステムである。汎用画像解析システムでは画像処理の初心者でも容易に使え、汎用的な処理目的が扱える問題解決能力の高い画像処理エキスパートシステムが要求される。しかし、対象が画像であるため記号処理として扱う知識の形式化が難しいことと、得られる結果としての画像処理手順、処理結果に対する普遍的な評価ができていないという困難さがある。我々は、画像処理の初心者を利用者とした画像メニュー方式の対象領域を限定したシステムと汎用的な処理目的に対応できる支援システムとからなる画像処理エキスパートシステムを試作した。システムの特徴は、画像処理の初心者にも容易にシステムと対話できるように、画像の性質、処理方法を言葉で表現するかわりに画像処理前後の画像を提示する画像メニュー方式を採用したこと、処理前後の画像とともに画像処理手順を蓄積することにより対象領域の専門家の知識を容易に獲得できることである。これにより、画像の性質、処理手法に関して知識を形式化せず、専門家の知識を蓄積できる利点がある。

### 1. はじめに

画像処理の適用範囲は、研究開発部門における解析から、ファクトリオートメーションのための検査・計測・自動化センサ等の実用装置にまで広がっている。特に、新しい素材の研究開発、それに伴う製造プロセスの解析・評価には、画像解析が不可欠となってきている。これに対応して画像処理分野以外の研究者・専門家（画像処理の初心者）が、研究開発向けの汎用画像解析システムを利用する機会が増えてきている。デジタル画像処理の基本手法はかなり蓄積整備されているが<sup>1),2)</sup>、実際に基本手法を組合せ効果的な処理を実施するのに必要な画像処理専門家の知識は十分に整理されていない。このため、専門家の持つノウハウを知識ベース化し、与えられた画像解析の問題解決を支援する画像処理エキスパートシステムの開発がさかんに行われている<sup>3)-8)</sup>。

画像処理エキスパートシステムの特徴は、対象が画像であり情報量が膨大であり、記号処理としてあつかう知識の形式化が難しいことと、得られる結果としての画像処理手順、処理結果に対する普遍的な評価ができていない困難さがある。

画像処理エキスパートシステムの問題設定は、与えられた入力画像と画像処理の目的から、目標の特徴パターンや特徴量を得るための画像処理手順、パラメータを決定することである。末田らの EXPLAIN<sup>4)</sup> や

鳥生らの IPEX<sup>5)</sup> は、ユーザとの対話を通して処理手順を選び、処理の中間結果の画像を提示しユーザに評価させながら、半自動的に処理手順を設計するシステムである。これらのシステムは、汎用的な目的に使用できる特徴がある。しかし、前向き推論のため、最終結果を予測しながらシステムと言葉だけの対話式で処理を正確に進めることは、画像処理の初心者にとり容易ではない。

特定の問題領域において問題解決能力の高いエキスパートシステムとしては、粒子画像解析を対象とした田村らの DIA-Expert<sup>7)</sup> と胸部 X 線像の解析を対象とした長谷川らの IMPRESS<sup>8)</sup> がある。このようなシステムでは、新しい対象分野への拡張時には、新たな知識の獲得から、知識の表現、知識の変換、知識ベースの管理などを行う必要がある。しかし、画像解析の領域に普遍的なモデル化は難しく、知識獲得支援技術も確立されていないのが現状である<sup>9)-11)</sup>。

我々は、研究開発用の汎用画像解析システムの利用ユーザを対象とした画像処理エキスパートシステム (SEXIP: Sumitomo Metal Expert system for Image Processing) を試作した。SEXIP は、画像処理の初心者を利用者とした画像メニュー方式のシステム (SEXIP-II) と汎用的な問題領域を対象とした支援システム (SEXIP-I) の 2 つから構成されている。ここでは、画像の性質、処理方法を言葉で表現するかわりに画像処理前後の画像を提示する画像メニュー方式により、画像処理の初心者にも容易にシステムと対話できるのを特長とする SEXIP-II について述べる。

† Image Processing Expert System Showing Sample Images by KIYOTAKA INADA and SHUJI MATSUMOTO (System Engineering Division, Sumitomo Metal Industries, Ltd.).

†† 住友金属工業(株)システムエンジニアリング本部

## 2. システム開発の方針

### 2.1 汎用画像解析システムにおける特殊性

近年画像処理以外の分野において、画像処理によるデータ解析を行うために汎用画像解析システムを利用する機会が増えている。この利用法では、画像処理のアルゴリズムや処理手順にはあまり関心がなく、データ解析結果の正当性と使いやすさが要求される。画像処理の経験者や画像処理専門家は、画像処理の研究・開発や、画像処理を応用した実用装置の開発ツールとして汎用画像解析システムを利用している。

研究開発部門の汎用画像解析システムは、幅広いユーザの利用方法に対応するため、多様な入出力装置と、各種の画像処理ライブラリを備えている。

### 2.2 開発の方針

汎用画像解析システムの画像処理エキスパートシステムに要求される機能として以下があげられる。

- (1) 複雑な構成の汎用画像解析システム特有の知識(ハードウェア)を意識しないで利用できる。汎用画像解析システムの例を図1に示すが、高速処理のため画像処理専用プロセッサやアレープロセッサ、入力画像の多様化に対応して各種の入力デバイスが備えられたものが多く、これらを使い分けるのは画像処理専門家でも煩わしい。
- (2) 画像処理実行上の知識を意識させない。パラメータの管理、画像データのフォーマット、配列の割付など正確に扱う必要がある。
- (3) 処理手順のガイダンス

処理手順の構築には、画像処理独得の経験的ノウハウが必要とされる。

- (4) 対象領域の専門家の知識の獲得により、幅広い対象領域において、高い問題解決能力を持つことが望ましい。
- (5) 画像処理の初心者が容易に使用できる。
- (6) 知識の獲得、拡張が容易にできる。
- (7) 開発した画像処理手法を容易に再利用できる。

すべての対象領域で高い問題解決能力を持つ画像処理エキスパートシステムの構築は、画像の性質、手法の評価に関する普遍的なモデルが開発される必要があり、これからの研究課題である。汎用的な画像処理目的を扱うシステムは、十分な問題解決能力を持たず、問題解決能力を持つものは限られた領域しか扱えないのが現状である。そこで、我々は2つのサブシステムを組み合わせることにより実用的な画像処理エキスパートシステムのプロトタイプシステム(SEXIP)を開発した。このシステムは、画像処理の初心者をユーザとした画像メニュー方式のシステムと汎用的な問題領域を対象とした支援システムとから構成される。

特に、画像処理の初心者が容易に使用できること、開発した画像処理手法が容易に再利用できることに留意した。

## 3. SEXIP 概要

### 3.1 システム概要

図2にSEXIPの概略構成を示す。サブシステムSEXIP-Iは、平易な言葉で対象画像と処理目的に関

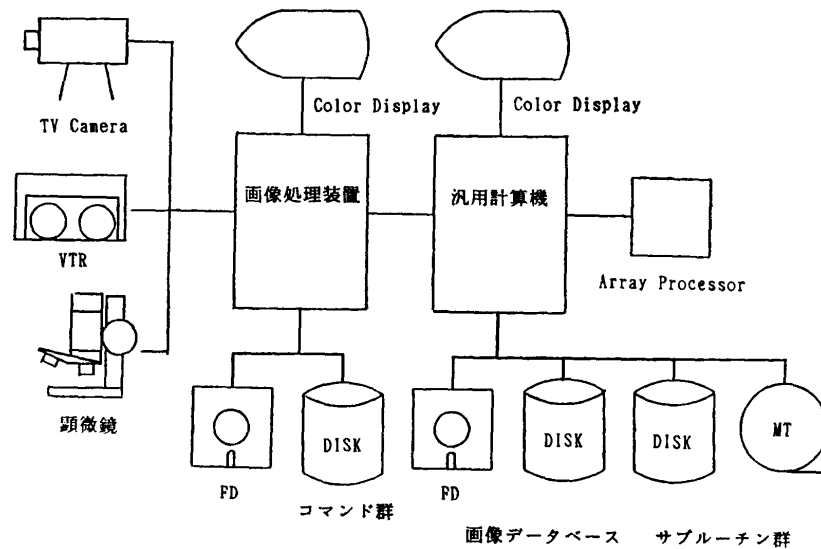


図1 汎用画像解析システム

Fig. 1 Block diagram of general purpose image analysis system.

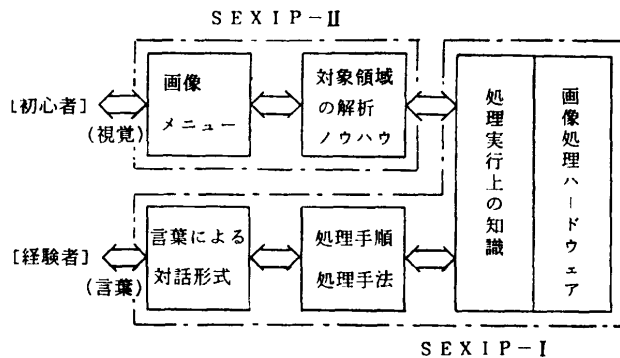


図 2 SEXIP 概念図  
Fig. 2 System configuration of SEXIP.

する質問を行い、画像処理手法の系列を生成するもので、EXPLAIN と良く似た構造を持つ。SEXIP-II は、画像メニューにより対象領域での解析ノウハウを用いて、画像処理手順を選択するサブシステムである。SEXIP-II は、SEXIP-I の初心者用のユーザインタフェースになっている。

SEXIP-I の構成を図 3 に示す。SEXIP-I は、言葉による質問・助言をするユーザインタフェース部と、推論部、知識ベース、画像処理実行部とから構成される。画像処理手順知識ベースにより概略手順を推論した後、画像処理アルゴリズムの知識を用いて詳細手順を推論する。処理実行部は、推論部で構成された画像処理手順を実際に実行する部分であり、画像メモリ、画像ファイル、パラメータの管理を行い、さらに処理実行のハードウェアの選択を行う。専用画像処理装置の画像処理プロセッサと汎用計算機のソフトウェア処理とを最適に使い分けて、処理を高速化している。推論部、知識ベースは VAX 11 上の OPS5 で記述されている。詳細手順を構成する画像処理技法は、

Fortran サブルーチンと専用画像処理装置のコマンドとに対応している。

SEXIP-II は、画像メニュー方式のユーザインタフェース部と、処理手順推論部、処理変更推論部、処理手順経験知識ベースと処理モジュール知識ベースとから構成される。限定された問題領域において高度な問題解決能力を持たせるため、対象領域の専門家が画像解析の実行時に使う処理手順を画像処理実行コマンド列の形で知識化している。また、処理前後の画像を示す画像メニュー方式により処理手順を構成させ、画像の性質、処理方法などの言葉の表現をできるだけ排除して、画像処理の初心者(対象領域の専門家)にとり使いやすくしている。実際の画像処理は、SEXIP-I の画像処理実行部で行われる。

このように、SEXIP は 2 種類のユーザインタフェースを持つ。

3.2 システム構成

画像メニューにより画像処理を進める SEXIP-II のシステム構成を図 4 に示す。

ユーザインタフェース部は、画像表示モニタと文字用端末とから構成され、推論の段階に応じて画像メニューと言葉の質問を発生する。処理手順推論部は、処理目的インデックスファイルと処理手順画像メニューデータと処理手順知識を用いて、画像処理手順を提示する。処理目的インデックスファイルは、処理手順画像メニューと処理手順とを概略処理目的により分類し、処理手順画像メニューと処理手順知識との対応付けを行っている。処理目的インデックスファイルの例を図 5 に、処理手順画像メニューの例を図 6 に示す。処理手順画像メニューデータは、処理手順画像メニューの

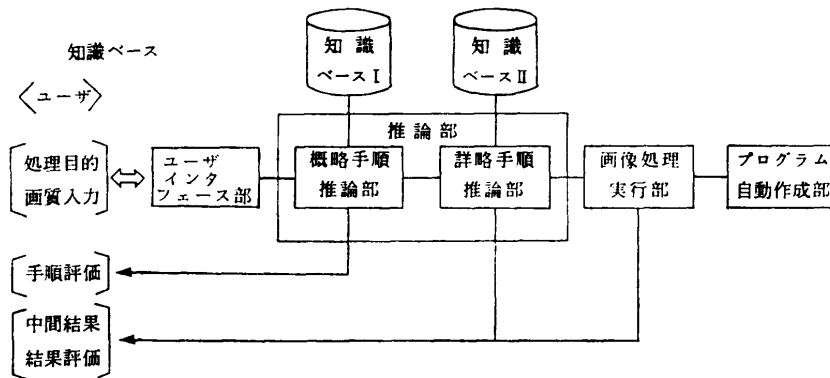


図 3 SEXIP-I システム構成  
Fig. 3 Block diagram of SEXIP-I.

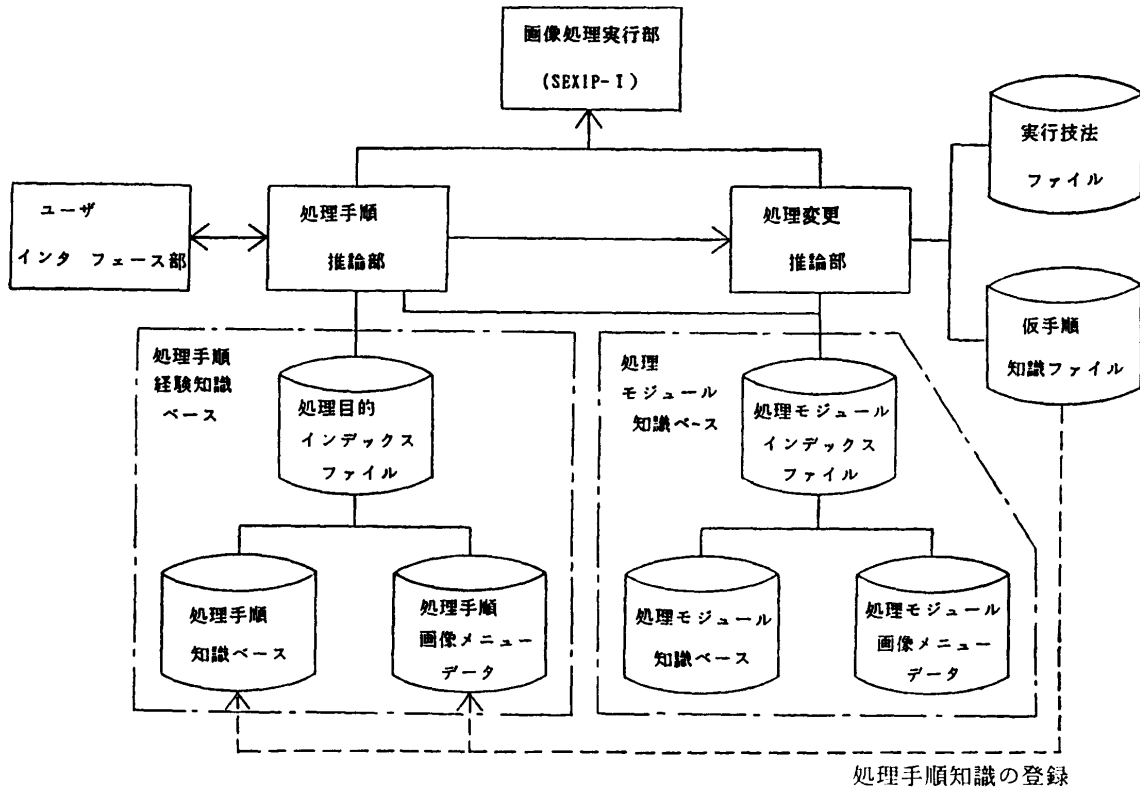


図 4 SEXIP-II 構成図  
Fig. 4 Block diagram of SEXIP-II.

(処理目的インデックスファイル)

1	組織解析	mainorgan. dat
2	マッピング	mainmapping. dat
3	流体解析	mainflow. dat
4	表面検査	maininspect. dat
5	寸法計測	mainmeas. dat
6	パターン計測	mainpattern. dat
7	画質調査	mainexamin. dat

MAINORGAN. DAT

組織解析	8 (メニューファイル数)
imorgn 1. dat	kborgn 1. dat
imorgn 2. dat	kborgn 2. dat
⋮	⋮
(画像メニューファイル名)(処理手順ファイル名)	
⋮	⋮
imorgn 8. dat	kborgn 8. dat

図 5 処理目的インデックスファイル  
Fig. 5 Example of index file description.

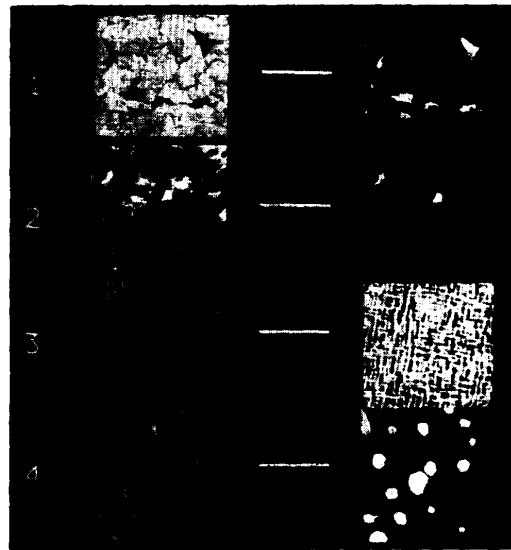


図 6 画像メニュー例  
Fig. 6 Example of image menu.

集合である。一枚の処理手順画像メニューは、512×512画素サイズの濃淡画像データであり、4対の128×128画素の処理前後の画像から構成されている。

処理手順知識は、具体的な処理モジュール列として

記述されている。画像処理の実行時には、処理モジュール列は処理モジュール知識ベースにより具体的な技法列に展開される。

処理手順推論部より提示された処理手順が不満足な場合に、処理変更推論部は、処理モジュールインデックスファイルと処理モジュール画像メニューとにより、処理モジュール列を変更したり、追加する機能を持つ。処理モジュールインデックスファイルは、処理の対象画像の種類（例えば、二値画像、ラベル画像等）と処理モジュール画像処理効果により分類され、処理モジュール画像メニューと処理モジュール知識との対応付けをしている。

処理モジュールは、処理の効果により、モジュール群に分類されている。例えば二値画像を入力対象とした微小ノイズ除去の処理モジュール群の例を図7に示す。このモジュール群には、孤立点除去、縮小・拡大処理、測定面積での除去、最大外接径での除去、周囲長での除去などの処理モジュールが含まれている。測定面積で微小ノイズ除去処理モジュールは、ラベリング、ヒストグラム、比較判定、データ変換の処理技法列から構成されている。

処理モジュール画像メニューも、処理手順画像メニューデータと同様に、512×512画素のサイズの濃淡画像データであり、4対の128×128画素の処理前後の画像から構成されている。

実行技法ファイルは、処理手順が決定した後に、処理技法列を保存する。実行技法ファイルは、繰り返し同じ処理手順で画像解析が必要な場合に使用される。

処理手順が決定したときには、仮手順知識ファイルも作成される。仮手順知識ファイルには、概略処理目的と、処理の前後の画像データと、処理モジュール列が対になり記録される。

処理モジュール群名: 微小ノイズ除去			
入力画像	2値画像	出力画像	2値画像
対象部性質	濃度=白, サイズ=小		
処理モジュール	処 理 技 法		
1. 孤立点除去	孤立点除去フィルタ		
2. 縮小・拡大	縮小→拡大		
3. 面積での除去	ラベリング→ヒストグラム →比較判定→データ変換		
4. 最大外接径での除去	ラベリング→最大外接径測定 →比較判定→データ変換		
5. 周囲長での除去	ラベリング→周囲長測定 →比較判定→データ変換		

図7 処理モジュール群例  
微小ノイズ除去を例としたもの

Fig. 7 Example of image processing module.  
(Exclusion of small area noise.)

処理手順画像メニュー数	32
処理モジュール群の数	18
処理モジュール数	80
処理技法数	150

図8 知識の登録数

Fig. 8 Summary of knowledge base.

画像処理推論部は、VAX上のOPS5により記述されており、画像処理の実行はSEXIP-Iの処理実行部を介して画像解析用の計算機上でのFortranサブルーチンと専用画像処理装置のコマンド処理で実行される。

登録されている知識数を図8に示す。画像メニューデータの容量は、約18MBである。

### 3.3 処理手順

以下処理手順を説明する。SEXIP-IIの処理概念を図9に示す。選ばれた概略処理目的により、システムは処理目的に適合した処理前後の画像メニューを順次提示する。画像メニューをめくりながら、ユーザは入力画像の画質（処理前の画像から判断）と画像処理目的（処理結果画像から判断）が一番共通点の多いものを選ぶ。システムは選ばれた処理前後の画像に対応した画像処理手順モジュール列をCRTに表示する。ユーザはこの段階で処理手順の妥当性を検討することができる。

不満であれば実行前に処理変更推論部を用いて、処理モジュールの差替えができる。妥当であれば、ユーザは処理しようとしている入力画像の画像処理の実行を連続的またはモジュール単位でステップ実行を行う。

連続実行を行い最終結果が不満足な場合には、ステップ実行を行いどのステップの処理で不都合が生じているかを確認することができる。

ステップ処理の対話で重要な機能は、パラメータの調整と、途中の処理結果に対する評価を吸い上げることである。パラメータ変更の場合には、現在のステップの前に戻り再入力ができる。対話は、以下の順序で行われる。

- (1) パラメータ設定の満足度の評価。
- (2) 処理モジュール実行に伴い予想される副作用の確認。
- (3) 同じ処理モジュール群に属する処理モジュールとの差し替え。
- (4) 現ステップでの処理可能な処理モジュール群の提示。

途中結果の評価はできるだけ平易な言葉で質問し

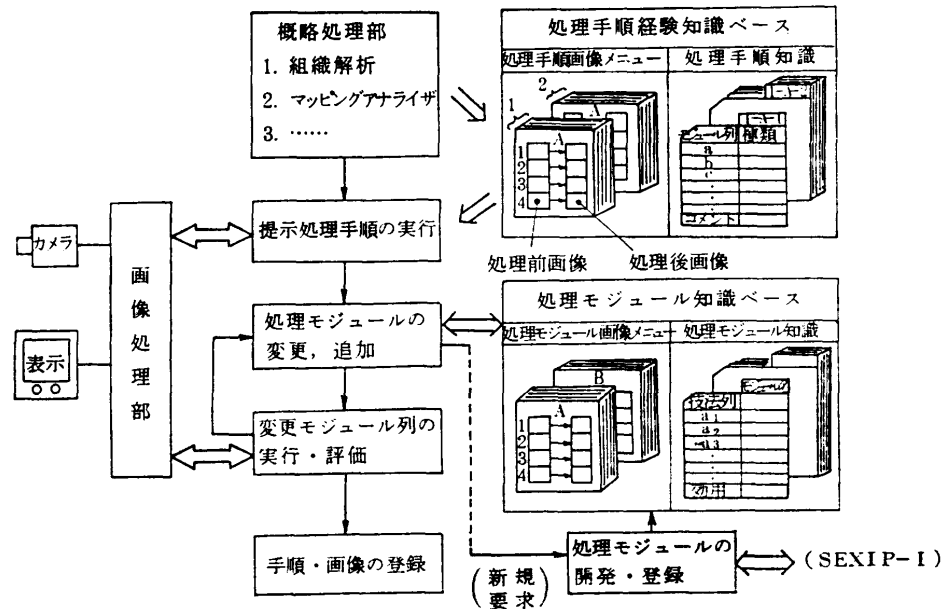


図 9 SEXIP-II 処理概念図

Fig. 9 Flow of SEXIP-II.

て、画像処理の初心者でも的確に答えられるようにしている。

処理モジュールの処理結果に対しユーザが不満な場合は、システムは同一処理効果を持つ処理モジュール群から異なった処理モジュールと差し替え処理を提案する。処理モジュールの差し替えを要求すると、処理モジュール知識ベースに登録された同一効果を持つ処理モジュール画像メニューが表示される。処理モジュール実行前後の画像データから処理の効果を知ることができ、最適な処理モジュールを選ぶことができる。

同一処理効果を持つ処理モジュール群の中では、満足する処理モジュールが得られないときには、処理モジュール群を選択し直す。処理モジュール群のメニューを要求すると、現ステップの処理途中の画像の種類に適合する処理モジュール群を選んで言葉のメニューで提示する。

このように、段階的に処理モジュールの修正が可能となっている。

こうして得られた新しい処理手順は、処理技法に展開され実行技法ファイルに登録され、同様の画像解析を容易に繰り返し実行することができる。

### 3.4 知識の登録

処理手順が決定した時に、仮手順知識ファイルには、概略処理目的と、処理前後の画像データと、処理モジュール列が記録されている。処理手順モジュール

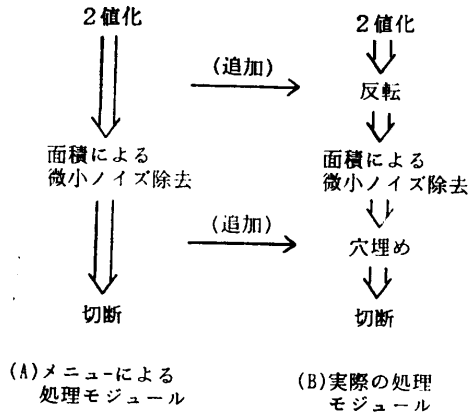
列の記録形成は、そのまま処理手順知識として登録できる形式となっている。この知識を用いて、処理手順知識を拡充することができる。

仮手順知識ファイルの内容を登録するかどうかは、SEXIP の管理者が、登録済みの知識との冗長性、応用性、処理前後の画像の表現などを検討して決定する。しかし、知識登録の評価基準は、定量化されてなく管理者の判断に依存している。

登録作業は、SEXIP 管理者がスクリーンエディタを用いて処理手順モジュール列を処理手順知識ベースに追加し、画像処理前後の画像データは 128×128 画素のサイズに縮小または切り取り画像メニュー画面にはめ込む。この時、処理手順に反映される画質が失われないよう画像の加工を行っている。

### 3.5 実行例

鉄鋼業に関連する画像処理・解析の中でも特に利用度の高い特定項目についての知識が既に登録されている。図6の画像メニューは、組織解析の一例を示している。画像メニューの1（最上段）は、光学顕微鏡下のフェライト組織から第2相（黒い部分）を抽出している例であり、画像メニューの4は走査電子顕微鏡による特殊鋼の球状化組織の解析例である。図10(A)に球状化組織の解析に用いる処理モジュール列を示す。SEXIP-II の適用例として、光学顕微鏡下のNi-Al 系合金組織の面積分布解析を示す。入力画像

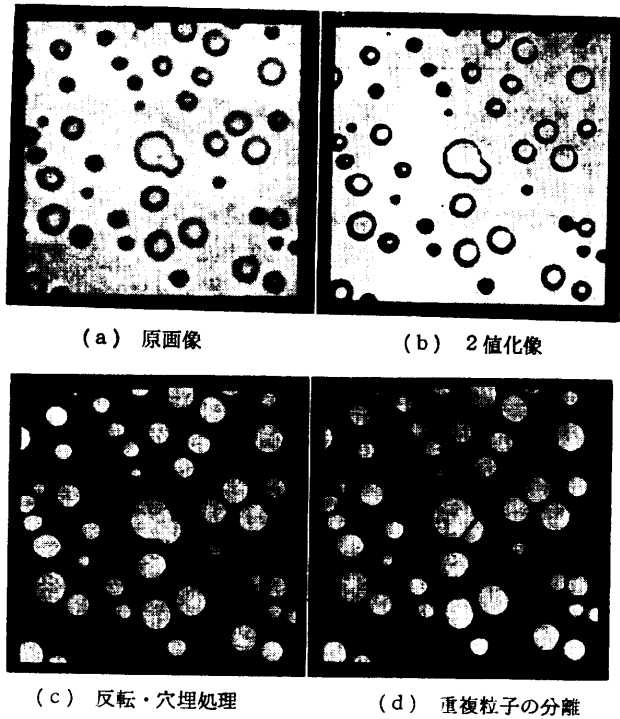


(A)メニューによる  
処理モジュール

(B)実際の処理  
モジュール

図 10 適用モジュールの修正例

Fig. 10 Example modification of image processing module.



(a) 原画像

(b) 2値化像

(c) 反転・穴埋処理

(d) 重複粒子の分離

図 11 適用例

Fig. 11 Example image processing by SEXIP-II.

(図 11 (a))には重複粒子があるので、ユーザは画像メニューの4を選択した。画像メニュー4のステップ実行時において、二値化処理後のユーザへの処理の副作用の質問「抽出対象物が白になっているか？」に対して、否定することにより濃度の反転処理が自動的に追加される。さらに切断処理後の画像への不満に対して、副作用もなく、適当な差し替え処理モジュールも無いことが確認された後、微小ノイズ除去処理後の画像に対して実行可能な処理モジュール群のリストが

提示される。この中から、整形処理を選択、整形処理モジュール群の画像メニューより穴埋め処理を選択追加している。

最終的な処理手順モジュール列を図 10 (B)に示す。この手順での処理結果を図 11 に示す。

#### 4. 画像メニュー方式の効果と問題点

画像メニューには以下の効果があげられる。

- (1) 初心者でも容易に処理手順を選択できる。
- (2) 曖昧な知識を登録できる。

処理手順・処理モジュールの効果を画像によって示すため、画像処理の専門用語の理解を余り必要とせず、初心者にも容易に使える。特に、処理手順画像メニューの処理結果画像により目標を画像として確認できる効果は大きい。言葉だけで対話する前向き推論では、最終目標の画像を想定しながら、処理途中の画像を評価する必要がある、初心者には難しい。

処理手順の前後の画像の性質を抽象化せず、画像のまま知識表現に用いるため、言葉に正確に記述できない要素も画像に含めて知識として使用できる。

反対に、画像メニューの問題点として以下がある。

- (1) 画像による知識表現のため、個人により着眼点が異なり、誤った選択が発生する。曖昧な知識表現の欠点である。
- (2) 画像による知識が抽象化されていないので、手順の登録が増え、知識が冗長となる。
- (3) 画像データの容量が大きくなる。

#### 5. ま と め

画像処理の初心者をユーザとした画像メニュー方式のサブシステムと、汎用的な処理目的に対応できる支援サブシステムとからなる画像処理エキスパートシステムを提案した。画像の性質、処理方法を言葉で表現する代わりに画像処理前後の画像を提示する画像メニュー方式を採用したため、画像処理の初心者にも容易にシステムと対話できる利点を確認された。さらに処理前後の画像を処理手順とともに蓄積するため、画像の性質、処理手法に関する知識を形式化せず、対象領域の専門家の知識を蓄積できる利点がある。

画像の性質、手法の評価に関する普遍的なモデルが

開発され高い問題解決能力を持つ画像処理エキスパートシステムが出現するまで、画像メニュー方式は実用的なシステムに対して有効な手段と考えられる。

今後、知識の拡充を図るとともに、処理手順変更時の自動化手法の確立が必要である。さらに、蓄積された知識の抽象化、自動評価法と、知識データベースへの自動登録の検討等の問題が残されている。

### 参 考 文 献

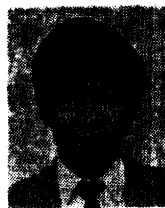
- 1) 画像処理 サブルーチンパッケージ SPIDER USER'S MANUAL, 電子技術総合研究所(1980).
- 2) 田村秀行ほか: ポータブル画像処理ソフトウェアパッケージ SPIDER の開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 321-328 (July 1982).
- 3) 田村秀行, 坂上勝彦: 画像解析エキスパートシステムの為の3種の知識, 電子通信学会, AL 83-49, PRL 83-49 (1983).
- 4) 星光, 末田直道, 三亀和夫: 画像処理エキスパートシステム, 第30回情報処理学会全国大会論文集, 6L-6, pp. 1491-1492 (1985).
- 5) 鳥生 隆, 岩瀬洋道, 小松 智: 画像処理エキスパートシステム「IPEX」, 第30回情報処理学会全国大会論文集, 6p-8 (1986).
- 6) 折田三弥彦, 金崎守男, 小沼知恵子, 高藤政雄: 画像処理エキスパートシステムの検討, 信学技報, Vol. 86, No. 157, PRU 86-49, 73-81 (1986).
- 7) 田村秀行, 坂上勝彦, 久保文雄, 佐藤宏明: Dia-Expert システム意味処理部の試作(1), 情報処理学会コンピュータビジョン研究会資料, 43-2 (1986. 7).
- 8) 長谷川純一, 久保田浩明, 鳥脇純一郎: サンプル図形の提示による画像処理手順の自動更正法と

その線図形抽出への適用, 信学会, PRL 85-38 (1985).

- 9) 諏訪 基, 小林重信, 岩下安男, 国藤 進: エキスパートシステムにおける知識獲得の諸相, 計測と制御, Vol. 25, No. 9, pp. 801-809 (1986).
- 10) 渡辺正信: エキスパートシステムにおける知識獲得, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 167-176 (Feb. 1987).
- 11) 国藤 進, 古川康一: 学習システム研究の現状と課題, 計測と制御, Vol. 25, No. 9, pp. 773-780 (1986).

(昭和62年6月1日受付)

(昭和62年12月9日採録)



稲田 清崇 (正会員)

1948年生。1973年東京大学工学部物理工学科卒業。1976年同工学系大学院修士課程修了。同年住友金属工業(株)中央技術研究所に入所。1985年マギール大学研究員。鉄鋼分野における計測法の研究開発に従事。画像処理技術の応用に興味を持つ。電子情報通信学会, テレビジョン学会各会員。



松本 修二

1947年生。1966年岡山県立玉野高校卒業。1969年住友金属工業(株)入社。1979年鉄鋼短期大学卒業。計測および信号処理装置の研究開発に従事。