

汎用画像認識解析装置 “HIDIC-IP”

Hitachi Image Recognition and Analysis Processor “HIDIC-IP”

FA分野に視覚認識技術を広く適用するためには、濃淡画像処理などの高度な画像処理を小形・高速に実現するハードウェア技術、及び応用プログラム開発を支援するソフトウェア技術が重要となる。

日立製作所では、濃淡画像を高速処理できる画像処理LSI-ISPを開発し、これを搭載した汎用画像認識解析装置HIDIC-IPを開発した。また、応用支援ソフトウェアとして、会話形式で画像処理アルゴリズムを開発できる会話形画像評価ソフトウェア、及び認識対象の教示だけで認識アルゴリズムを自動生成する学習機能認識ソフトウェアを開発し、FA分野の多様なニーズにこたえられる汎用のシステムとしている。

小林 芳樹* *Yoshiki Kobayashi*
奥山 良幸* *Yoshiyuki Okuyama*
折田三弥彦* *Miyahiko Orita*
浅田 和佳** *Kazuyoshi Asada*
藤原 和紀** *Kazunori Fujiwara*

1 緒 言

画像処理・パターン認識技術の発展に伴い、一般産業分野でも、その応用への期待が高まってきている。なかでもFA (Factory Automation)での製品仕分けや検査工程での視覚認識への期待は大きい。このFA分野の多様な用途に適用するためには、高度な画像処理を小形・高速に実現するハードウェア技術、及び応用プログラムの開発を支援するソフトウェア技術が重要となる。

そこで日立製作所では、濃淡画像を高速処理できる画像処理LSI-ISP (Image Signal Processor)を開発し、これを搭載した汎用画像認識解析装置HIDIC-IPを開発した。また、応用支援ソフトウェアとして、会話形式で簡単に画像処理アルゴリズムを開発できる会話形画像評価ソフトウェア、及び認識対象を教示するだけで高速な認識アルゴリズムを実現できる学習機能認識ソフトウェアを開発した。これによりHIDIC-IPを、FA分野の多様なニーズにこたえられる汎用システムとした。本稿では、そのハードウェア、ソフトウェアの構成について述べる。なお応用については、本特集の論文「画像処理装置を使ったUO管タブ板自動切断システム」及び「画像処理技術を応用した目薬検査システム」に詳述したので参照されたい。

2 HIDIC-IPシリーズの特長

HIDIC-IP¹⁾には、オンラインリアルタイム認識を指向したHIDIC-IP/10と、画像処理及び認識アルゴリズムの開発機能を強化したHIDIC-IP/20(図1)、及びターゲットマシンのHIDIC-IP/5の3シリーズがあり、次の特長をもつ。

(1) 小形・多機能・高速ハードウェア

画像処理LSI-ISPの開発²⁾と画像処理機能のハードウェア化により、装置の小形化・多機能化を図るとともに、1画素当たり167nsの超高速濃淡画像処理を実現した。

また、最大512×512画素の画面まで処理することができ、テレビジョンカメラ、ラインセンサ、VTRなどの各種ビデオ機器を接続することができる。

(2) アルゴリズム開発支援ソフトウェアの充実

画像処理ハードウェアを駆動する基本画像処理サブルーチンライブラリに加え、アルゴリズム開発を支援する会話形画



図1 HIDIC-IP/20の外観 HIDIC-IPシリーズは、最上位機種 IP/20と、低価格小形のIP/10及びターゲットマシンのIP/5から構成される。

像評価ソフトウェア、及び学習機能認識ソフトウェアをサポートしている(HIDIC-IP/10, 20)。

3 ハードウェア構成

HIDIC-IPシリーズは図2に示すように、高速に画像演算を実行する画像処理プロセッサIMP (Image Processor)と、装置全体の統括管理を行なう16ビットマイクロコンピュータ68000システムから構成される。画像演算を実行するIMPは、

- (1) アドレス管理を行なうアドレスプロセッサ
- (2) 最大512×512画素の2値及び濃淡画像メモリ
- (3) ISPを搭載したコンボリューションプロセッサを中心とする3種の画像プロセッサユニット
- (4) 濃度頻度分布や特徴量の累積を行なうヒストグラムプロセッサユニット

から成る。特にコンボリューションプロセッサは、基本的な画像演算を高速処理するHIDIC-IPの中核プロセッサで、以下その概要を説明する。

* 日立製作所日立研究所 ** 日立製作所大みか工場

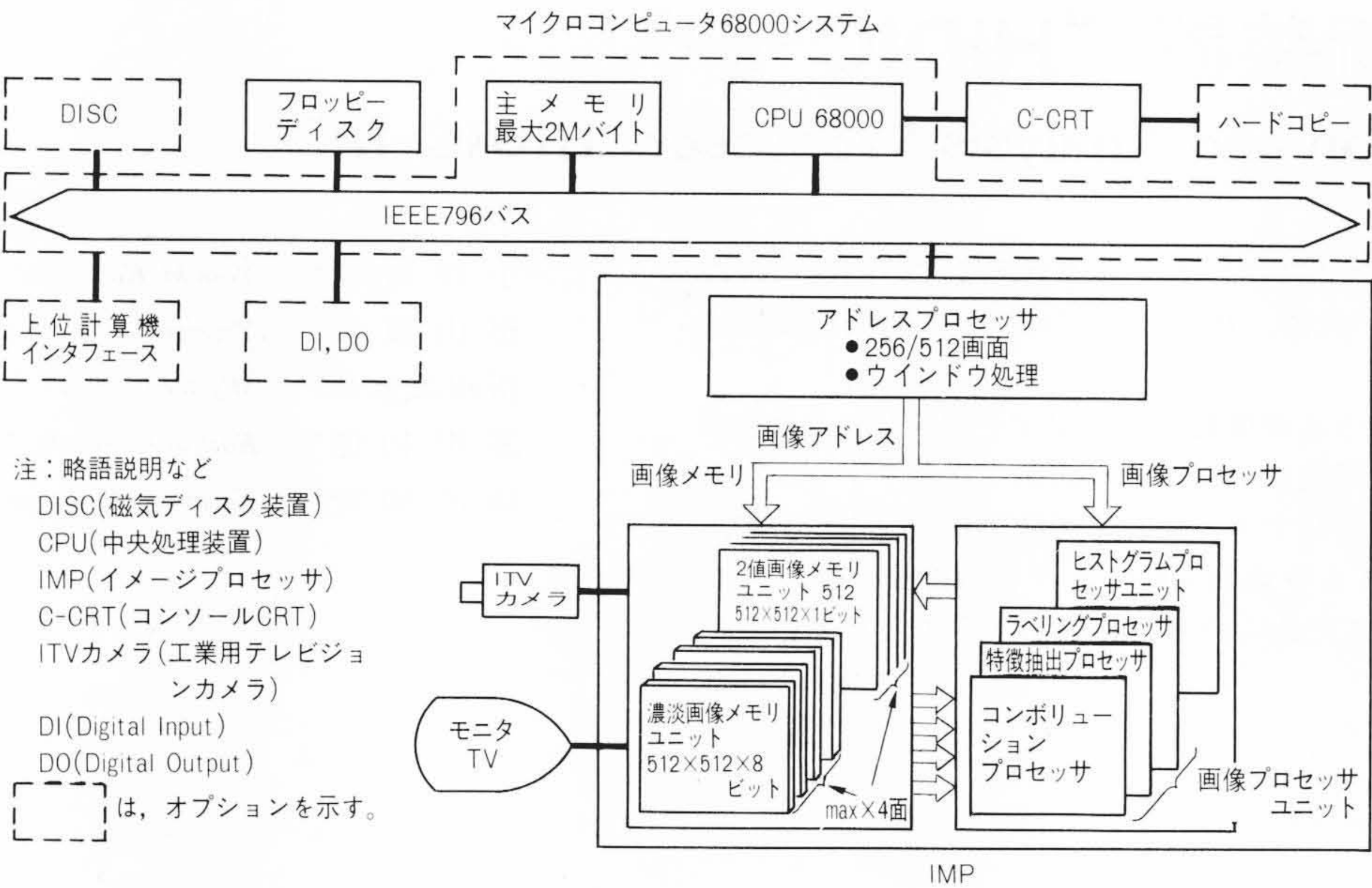


図2 HIDIC-IPシリーズのハードウェア構成 各種画像処理演算を画像処理LSI内蔵のコンボリレーション プロセッサと付加プロセッサで167ns/画素と高速に処理できる。更に、マイクロコンピュータ68000によって認識結果による制御も可能である。

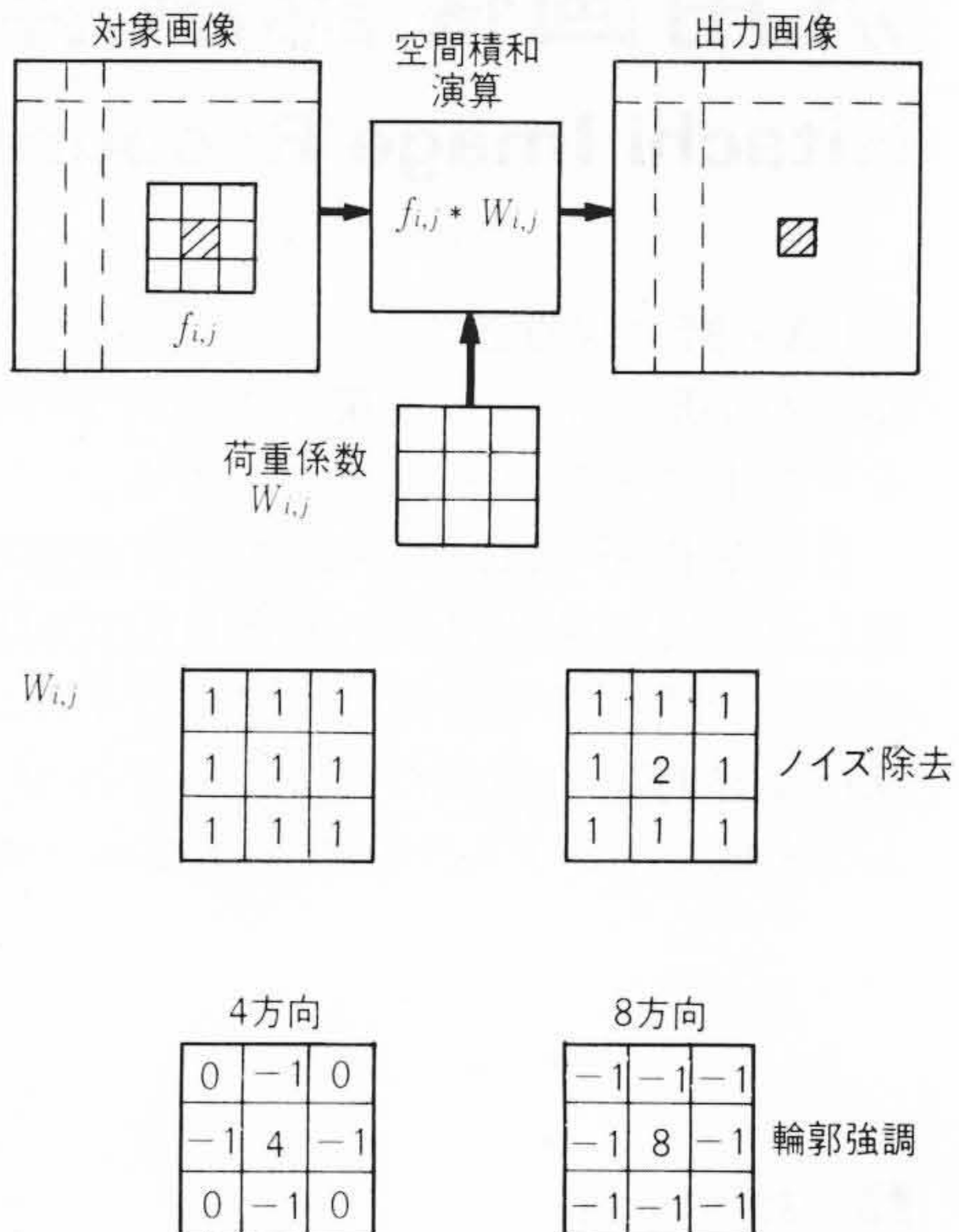


図3 空間積和演算とその機能 空間積和演算は、濃淡画像処理の基本機能の一つで、これにより、ノイズ除去や輪郭強調が行なえる。

3.1 画像処理LSI-ISP

濃淡画像の基本演算の一つに図3に示す空間積和演算があり、これにより濃淡画像のノイズ除去や輪郭強調を実現できる。ISPは、この空間積和演算を4個のPE(プロセッサエレメント)により並列・パイプライン処理するLSIで、次の特長をもつ。

(1) 多機能

構成制御レジスタを内蔵し、これをプログラムすることにより、2値・濃淡・色彩画像の各種演算を実行できる。

(2) 高速処理

空間積和演算も含め、すべての演算を6MHz、すなわちITV(工業用テレビジョン)画像の走査速度で高速処理できる。

3.2 コンボリレーション プロセッサ

コンボリレーション プロセッサは、各種演算の実行に必要なとなる画像データを切り出す画像データ分配回路、及び3個のLSIからなるISPプロセッサで構成される。これらの構成、演算機能をプログラムすることにより、表1の機能の多くを実現できる。例えば、空間積和演算を実行する場合、図4のようにプログラムされ、下記手順で処理される。

表1 IMPハードウェアの機能 2値、濃淡、色彩画像の各種処理をハードウェアで高速(11ms)に実現する。

画像	ハードウェアの機能
2値	ラベリング、膨脹、収縮、輪郭抽出、細細化、点ノイズ除去、方向コード、端点・交点コード、パターンマッチング(8×12テンプレート)、ヒストグラム(面積、周囲長、物体存在領域抽出)、画像間演算
濃淡	濃度変換(γ補正、強調)、固定・浮動2値化 3×3空間積和演算、3×3非線形近傍演算、画像間演算、ヒストグラム(濃度分布、最大・最小濃度抽出)
色彩	色彩距離分類、単色変換
制御	ウィンドウ、画面サイズ切換、マスク画像発生、カーソル発生

(1) 画像データ分配回路

濃淡画像を1ライン分遅延するライン遅延回路を2本カスケード接続した構成となり、これにより、縦方向に隣接する画素をISPプロセッサに出力する。

(2) ISPプロセッサ

ISPの下記ユニット間でパイプライン処理される。

(a) DU(データユニット)では、入力画素を1画素ずつ遅延

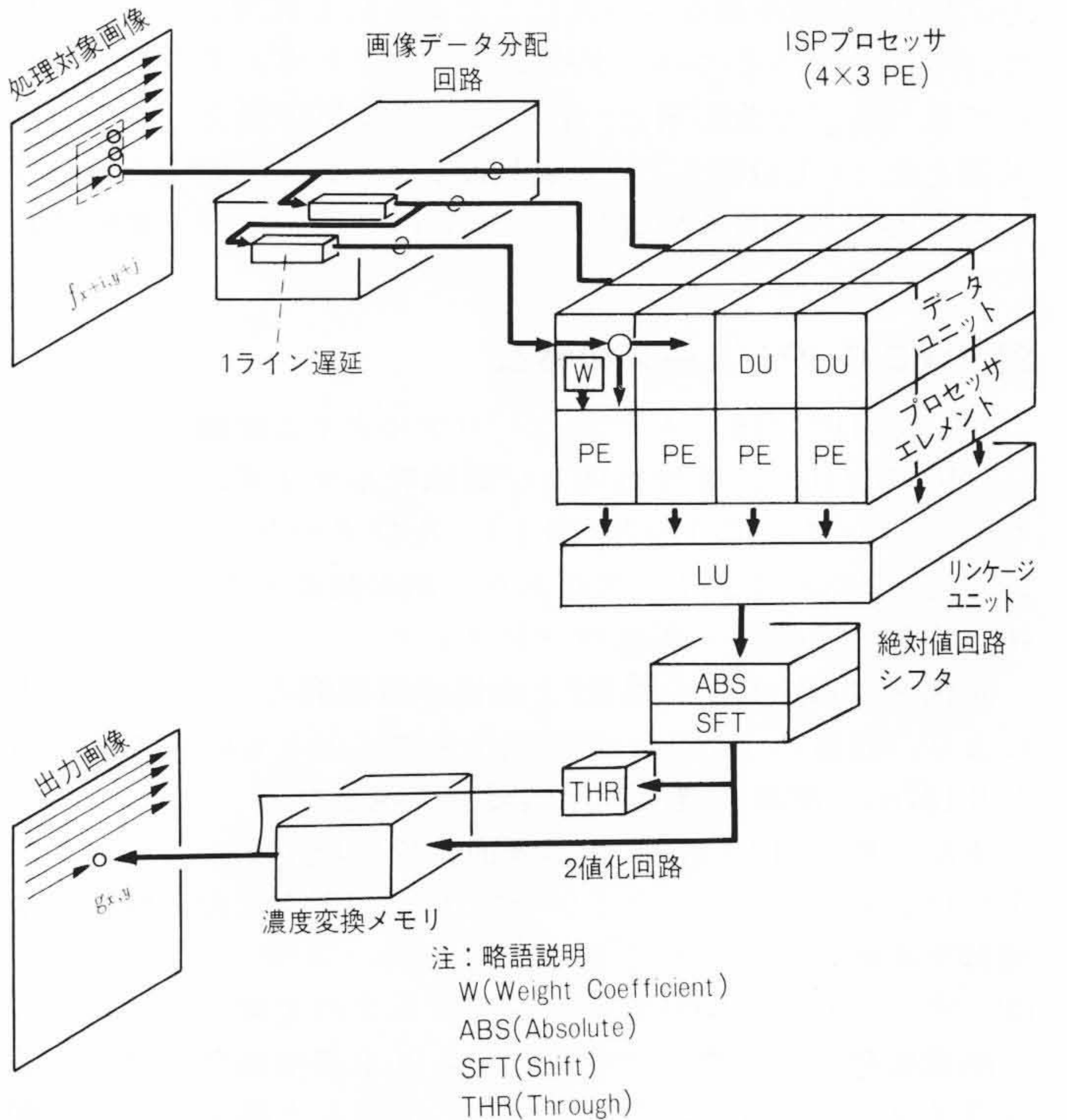


図4 コンボリレーション プロセッサの構成 コンボリレーション プロセッサは、3個のISPと画像データ分配回路から構成され、2値・濃淡・色彩画像の基本演算をプログラマブルに実行できる。

させてPE(プロセッサ エレメント)に与える。

(b) PEでは、この画素データ($f_{x+i,y+j} : i, j = -1, 0, +1$)と、DU内のメモリから読み出された荷重係数($\omega_{i,j}$)との乗算を実行する。3×3個のPEにより3×3個の乗算を並列処理する。

(c) LU(リンケージュユニット)では、PEの乗算結果の総和をとり、次の3×3空間積和演算の結果を出力する。

$$G_{x,y} = \sum_{i,j=-1,1}^{1,1} f_{x+i,y+j} \times \omega_{i,j}$$

(d) 更にこの結果に対し、(i)絶対値、(ii)けた合せ(スケールリング)、(iii)2値化、を実行できる。

(3) 濃度変換メモリ

ISPプロセッサの演算結果に対し、更に濃度変換を実行することができる。

3.3 機能、性能及び処理例

前述の各種プロセッサにより、表1に示す画像処理機能を実行できる。ここに示す演算は、ラベリングを除き1画素当たり6MHzの性能で、256×256画素の画像データを11msと高速処理できる。これは、16ビットマイクロコンピュータに比べて1,000倍以上高速であり、これにより図5に示すような2値画像ではとらえにくい製品のきずを高速に検査することができる。なお、処理例での非線形近傍演算は、3×3画素の濃淡画像データ

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix}$$

Max{|a-e|, |b-e|, |c-e|, ..., |i-e|}の演算を行なうもので、空間積和演算のエッジ強調より効果的であった。

4 ソフトウェア構成

HIDIC-IPシリーズでは、画像の入力から認識に至る一連の処理に対応して、図6に示す標準ソフトウェアを準備している。表1の画像処理機能や面積、周囲長、重心などを求める特徴量抽出機能は、基本画像サブルーチン(SHINE/CD)として準備した。ユーザーは高級言語CやFORTRANからSHINE/CD(Command)をコールし、応用ソフトウェアを開発することができる。しかし、視覚認識技術を一般産業分野に広く適用して

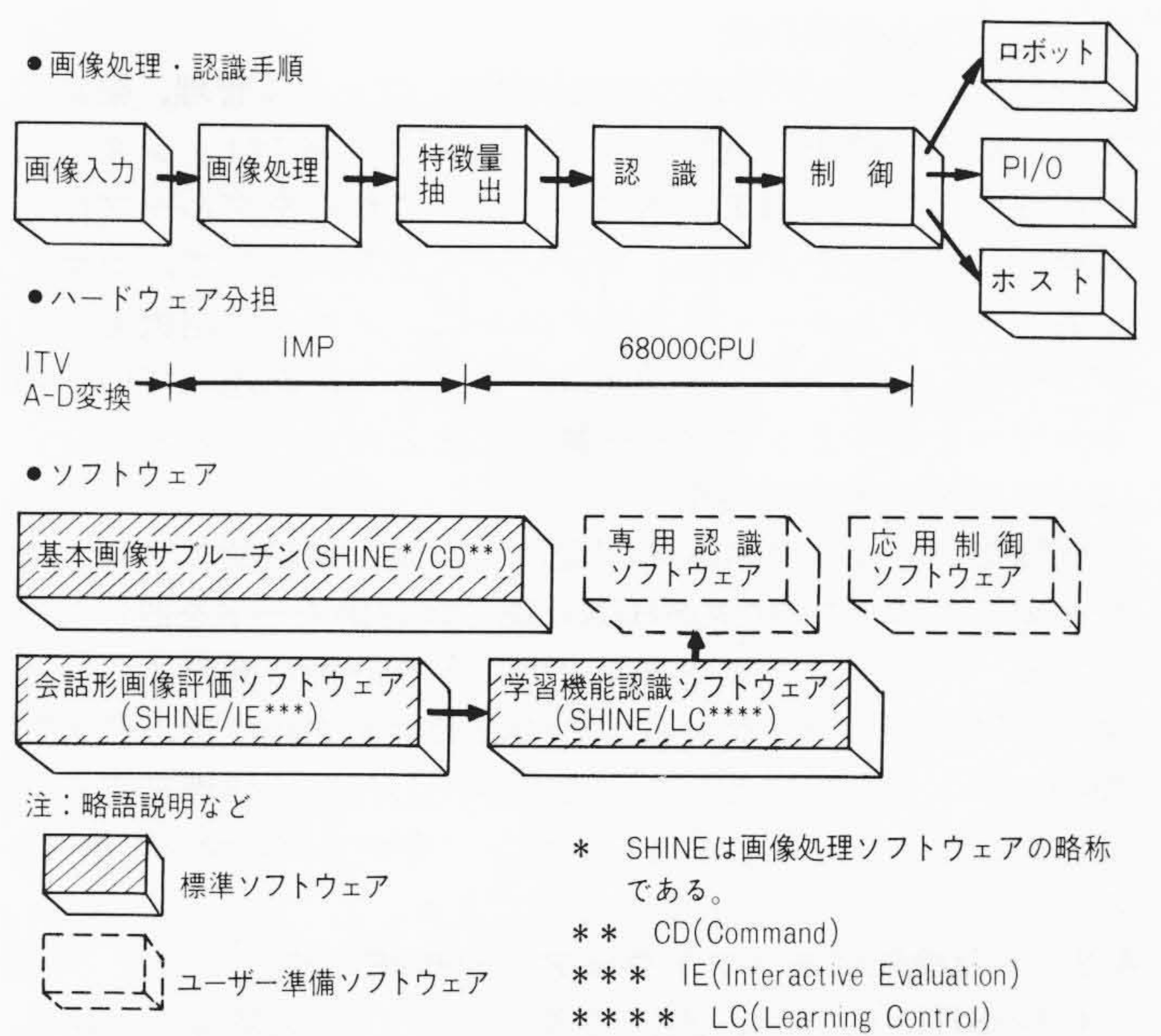


図6 HIDIC-IPシリーズのソフトウェア構成 HIDIC-IPシリーズでは、画像入力から認識までの一連の処理手順に対応して、標準ソフトウェアが準備されている。

ゆくためには、ユーザーが自らの応用に適したアルゴリズムを効率よく開発できることが重要となる。そこでHIDIC-IPでは、アルゴリズム開発を支援する二つのソフトウェアを開発した。

4.1 会話形画像評価ソフトウェア³⁾(SHINE/IE)

SHINE/IE(Interactive Evaluation)は、画像処理アルゴリズムの開発や検証を支援するソフトウェアである。ユーザーは画像処理コマンドを会話形式で実行でき、その処理画面を評価しながら画像処理コマンドの列(これをマクロコマンドと呼ぶ。)を作成できる。

SHINE/IEは、下記の操作性向上により、簡単かつ迅速にマクロコマンドを作成できることを特長とするソフトウェアシステムである。

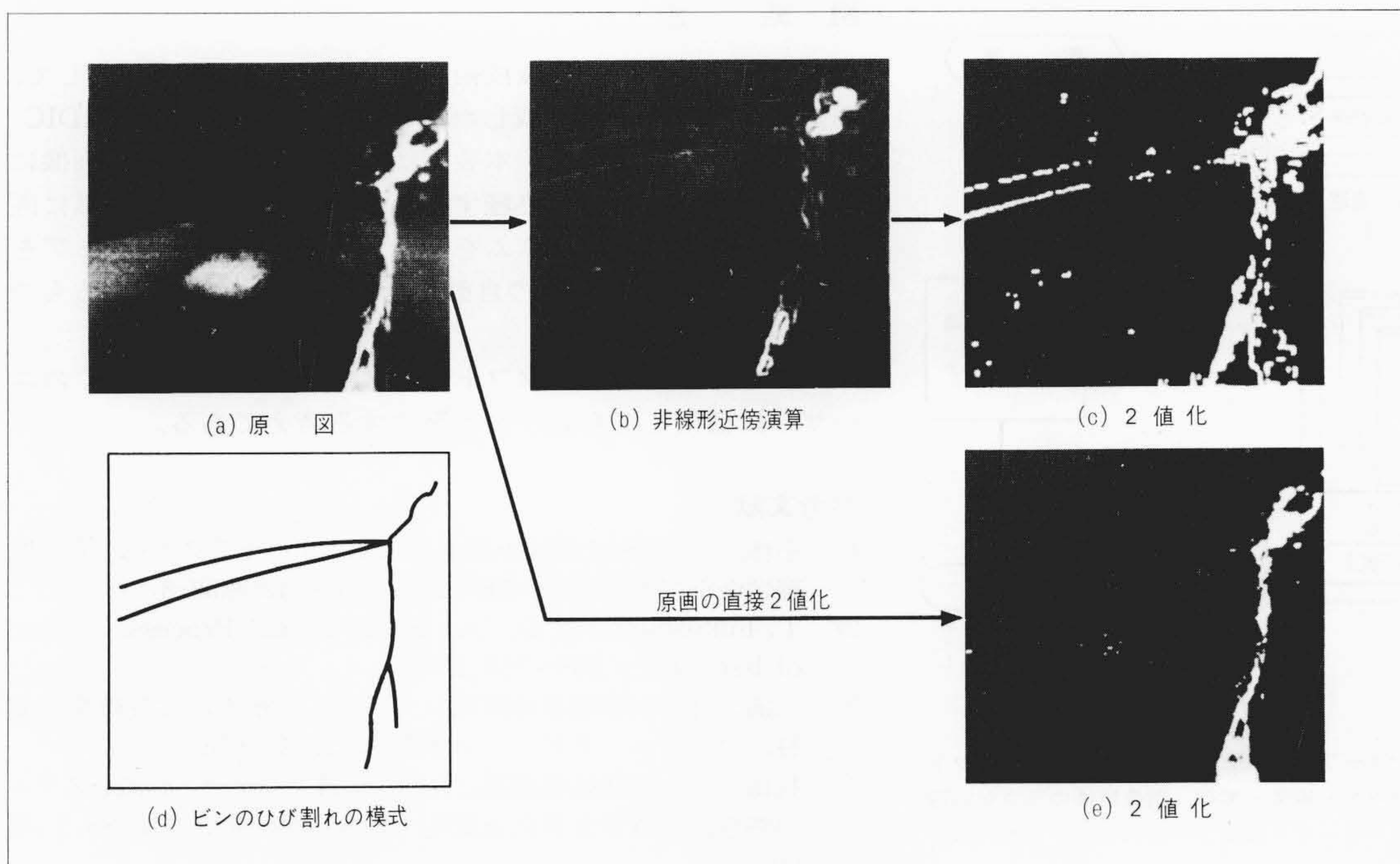


図5 濃淡画像処理例(瓶のひび割れ検出) 従来の2値画像ではとらえにくいひび割れが、濃淡画像処理により検出できる。

(1) システムの操作性

一般に会話形システムの運用状態は、ファイル管理、編集・実行、評価・修正に分類できる。SHINE/IEでは、システム操作性向上のため図7に示すように、これらをグループ化し階層的に結合した。また、コマンド入力方式として、コマンド名を入力するキーイン方式のほかに、メニュー選択方式をサポートした。メニュー画面は、システムに熟達していないユーザーを導くようにツリー構成にまとめられている。

(2) コマンド評価の操作性

画像処理アルゴリズムの開発には、試行錯誤的アプローチが必要であり、このためSHINI/IEでは評価モードを設けた。評価モードには、さまざまなコマンドを評価し登録するサイクル(評価サイクル)がある。この評価サイクルでは、最大16種のコマンドを候補として入力でき、これらの処理結果を高速に切り換えて評価し最適なコマンドをマクロコマンド(一連のコマンド列)に登録することができる。

4.2 学習機能認識ソフトウェア⁴⁾(SHINE/LC)

4.1のSHINE/IEは、画像処理アルゴリズムの開発を支援するものであったが、本節のSHINE/LC(Learning Control)は、画像処理後の認識アルゴリズムの開発を支援するものである。

SHINE/LCは、図8に示すように、オフラインの教示とオンラインの認識とに分かれる。まず教示では、認識させたい対象物を何回かカメラの視野に置き、その面積、周囲長、穴の数などの特徴量を計算し、これを繰り返し、最終的にすべての対象物を特徴量の分布として記憶する。教示が終了すれば、各対象物を識別する判別ツリー(決定木)をSHINE/LCが自動的に作成する。オンラインの認識時には、対象物をカメラの視野に置くだけで判別ツリーに基づいて認識し、その結果を出力する。

上述のようにSHINE/LCは、対象物の教示だけで認識アルゴリズムを自動的に生成するもので、特に高速性、アルゴリズムの視認性を重視したソフトウェアシステムである。

(1) 高速性

認識手法には、特徴空間法と判別ツリー法がある。SHINE/LCでは、特に高速処理の可能な新しい多分岐判別ツリー法を開発した。

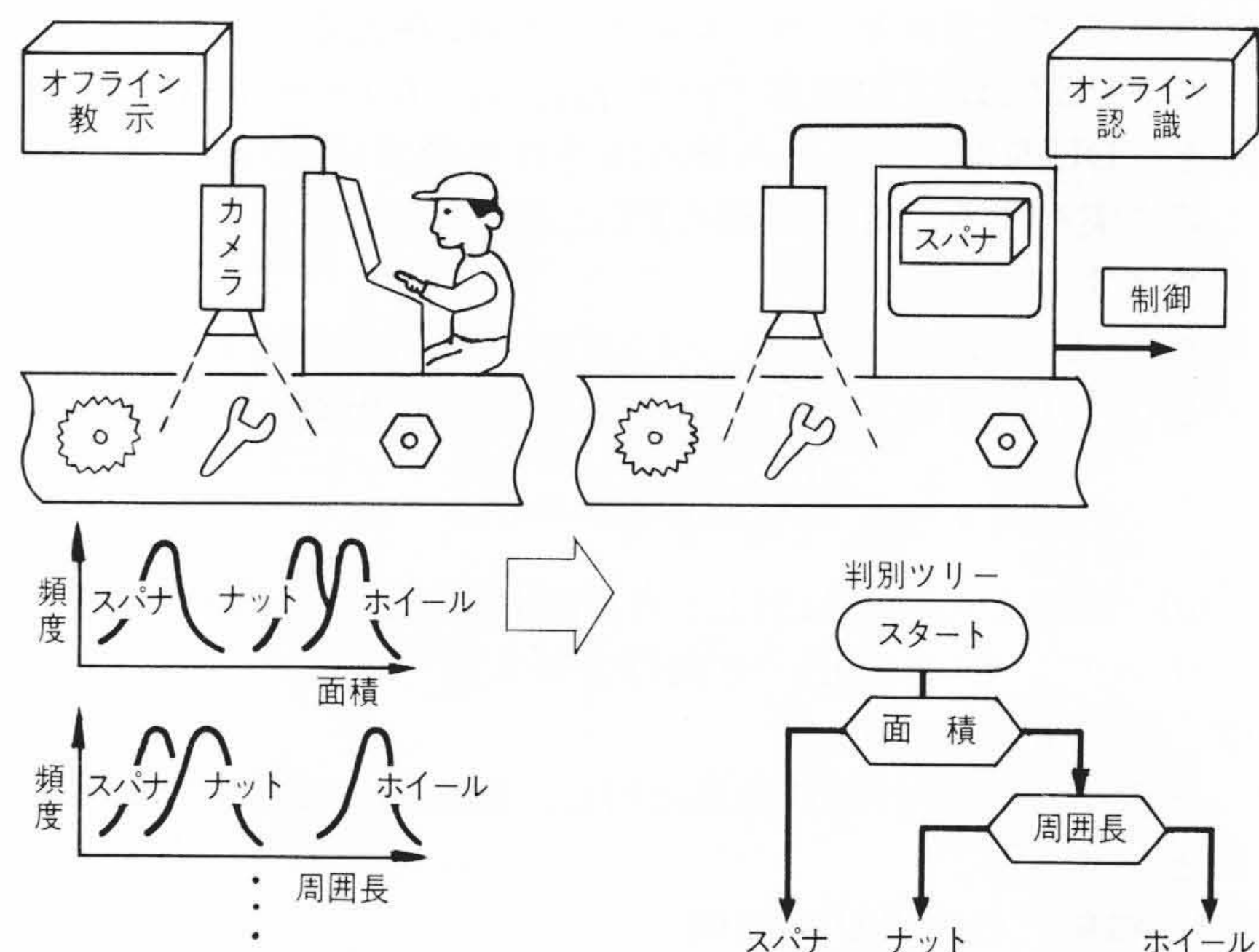


図8 学習機能認識ソフトウェアの概要 学習機能認識ソフトウェアは、認識したい対象を単にカメラで教示するだけで、認識アルゴリズムを自動生成する。

多分岐判別ツリー法は、一つの特徴量で認識対象物をできるだけ多く分類しようとするもので、したがって、特徴量の選択が性能を大きく左右する。SHINE/LCでは、

- ばら置きされた複数物体の認識
- ベルトコンベヤ上の物体のように一定時間内での処理が必要な認識

のいずれに対しても最適なアルゴリズムを自動生成するように特徴量を選択できる。(a)は平均認識時間、(b)は最大認識時間を最小にするように特徴量を選択するもので、これを従来の2分岐判別ツリー法と比較した結果、2倍以上の性能が得られている。

(2) アルゴリズムの視認性

SHINE/LCでは、その認識アルゴリズムを、ユーザーの理解しやすい形で簡単に見ることができるよう工夫した。例えば、特徴量分布や、判別ツリーがグラフ表示され、ユーザーはこれを見て、教示の方法、用いる特徴量の選択などをチューニングすることができる。

5 結 言

一般産業界に視覚認識技術を広く適用することを目指して、画像処理LSI-ISPを搭載した汎用画像認識解析装置HIDIC-IPシリーズを開発した。本装置は、2値・濃淡・色彩画像に対する基本機能を高速処理するハードウェア、及び簡単に画像処理、認識アルゴリズムを開発できる支援ソフトウェアを特徴とするもので、FAの自動化などに大いに貢献できるものと期待している。

今後も、各種の汎用ソフトウェアを開発し、更に多くのユーザーに活用してもらうよう努力する考えである。

参考文献

- 小林, 外: LSI化画像処理装置の基本アーキテクチャ, 情報処理学会全国大会前刷, 5B-3, p. 941~942(昭58-3)
- T. Fukushima, et al.: An Image Signal Processor, Proc. of Isscc '83, p.258~259(1983)
- 三浦, 外: 会話型画像評価システム, 情報処理学会研究会資料, コンピュータビジョン研究会, 33-1(昭59)
- 折田, 外: 画像処理装置における学習型パターン認識システムの開発, 電気学会研究会資料, 情報処理研究会, JP-85-5(昭60)

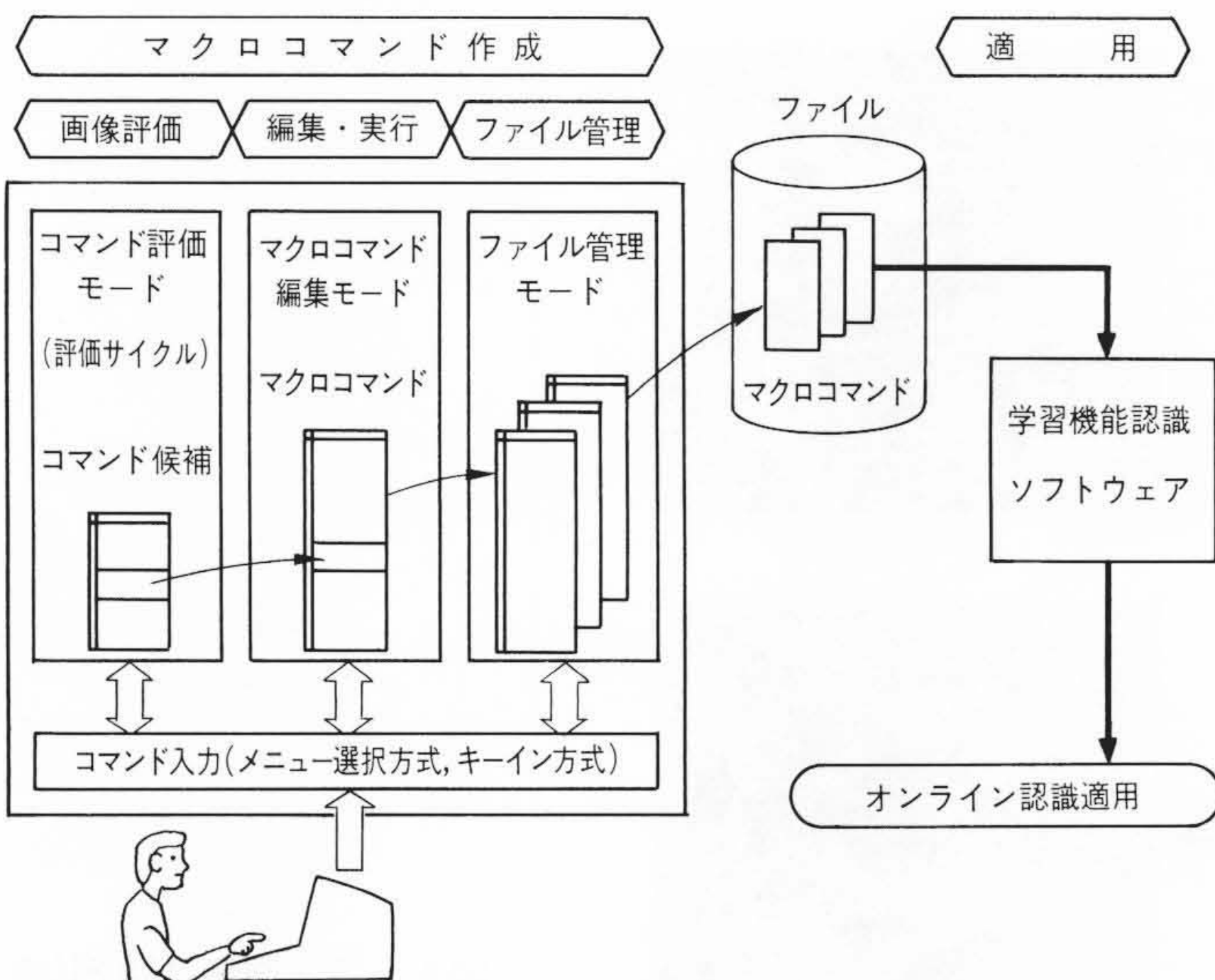


図7 会話形画像評価ソフトウェアの構成 会話形画像評価ソフトウェアは、ファイル管理、マクロコマンド編集・実行、画像評価の三つが階層的に結合されており、メニュー選択、キーインの二つの方式でコマンド入力ができる。