

解説

—形状認識技術への応用(2)—

パターン計測・選別システム†



前田 暉†† 伊藤 修 孝†††

1. ま え が き

各産業分野の生産工程において視覚的判断を伴う検査・選別などの工程は、人間の勤と経験を伴う優れたパターン認識の能力に頼っており、ほかの工程に比べて自動化の遅れているものが多い。近年 LSI 等デバイスの進歩、実用的な処理方式の開発により各方面への適用も現実的なものとなってくるにつれ、視覚による検査・選別等の作業を自動化しようという要望は著しく高まりつつある。

実用システムの開発も 図-1 に示すような流れを示し¹⁾、各種産業分野で自社の生産設備への技術の応用がさかんになるとともに、特定目的用の専用装置としてまとめられたものや、計測器に近い形態をした汎用装置^{2),3)}、選別プラントとしてトータルシステムとして取扱ったもの等、種々の形態のものが広い分野に現れ始めている。

ところでこの分野の技術は従来の計測技術等に情報処理分野でのパターン認識技術が結びついたもので、多種多様な形態をとり応用の範囲もきわめて広いものであるが、目的、技術面より分類を試みると下記のよ

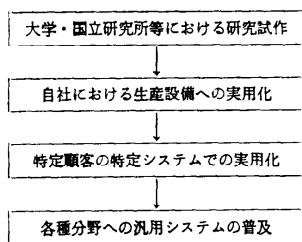


図-1 開発・実用化の流れ

† The Pattern Sensing and Sorting System by Akira MAEDA (Communication Research and Development Department, Headquarters-Research and Development, Mitsubishi Electric Corp.) and Shuji ITO (Retail System and Image Processor Department, Communication Equipment Works, Mitsubishi Electric Corp.).

†† 三菱電機(株)開発本部通信研究部
 ††† 三菱電機(株)通信機製作所情報機器部

うになる。

- (1) 対象の形状解析による計測・検査・選別
- (2) 特殊なセンサによる欠陥・傷等の検査
- (3) マテハン・組立における視覚センサ

ここでは(1)および(2)の分類に属するものうち、2次元のパターン処理により計測・検査を行うものにつき、技術的問題点および実用例を紹介する。

2. パターン計測における技術とその問題点

一般的にパターン計測システムは 図-2 のような構成のものが多いが、各部の形態は対象や検査内容によりかなり異なっている。技術的に重要なポイントをあげると以下のようなになる。

(1) 画像入力技術

画像センサとしてはビジコンを用いた工業用テレビカメラ、半導体ラインセンサが広く用いられているが、特殊な用途にはランダム走査のイメージディセクタが用いられたり⁴⁾、レーザを走査したセンサによる微細な欠陥の検査の応用も広まってきている。さらにモアレグラフィを用いた3次元物体の形状計測等も開発実用化が進められると思われる。

一般的に入力されデジタル化された画像データを人間が見て目的の判定を容易に行えるような品質のものが得られない場合は、後の処理が困難なことが多く、このような画像を得るために、照明や背景の光学特性や照射の角度に工夫を加えることが多い^{5),6)}。

(2) 処理の方式

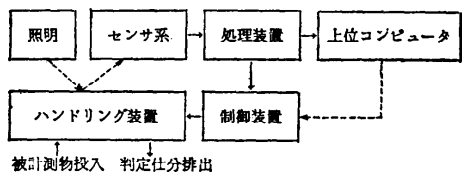


図-2 パターン計測システムの一般的構成

処理の内容としては前処理、対象の検出、形状解析を主とする特徴抽出、判別・分類が主たるものであるが、処理時間と価格の制限より、ハードウェアでの実現の容易で単純なアルゴリズムを組み合わせて用いているものが多い。

前処理としてはデジタル画像への変換、雑音除去等であるが、パターン計測への応用では現状では2値画像の処理が多く、濃淡画像を処理する例⁷⁾では50×50程度の大きさの画像を対象とするのが実用的ようである。このためアナログ処理によるセンサ系のキャリブレーションや3×3のマスク処理による孤立ノイズの除去等が多く用いられる。対象の検出としてはテンプレートマッチングによる位置決めや連結性の解析による対象の分離等が用いられるが、今後さらに複雑な条件での対象を取扱う研究が進むと思われる。

判別・分類としては、対象の形状解析等により抽出された特徴を用いるものとパターンそのものをマッチングする方法があるが、前者としては統計解析により求めた判別式によったり、ツリー状の決定論理を対象ごとに作成する等種々の方法が用いられる。

プロセッサとしては2次元の画像データを高速に処理するため各種の専用回路を含むものが用いられている。今後画像処理用プロセッサのアーキテクチャ、LSI化の研究開発が進むと思われる⁸⁾。

(3) 検査仕様の決定と評価

実際のラインの中で行われている人手による検査はかなり人間の感覚的判断に頼っている面が多く、自動化により検査の客観性が得られる。反面人間は機械に比較し、環境条件の変化等にもかかわらず総合的に判断する能力にすぐれているので、人手により行われている検査方法そのままを自動化していくのは困難なことが多い。生産ライン全体を見渡し、どういう項目の検査をするかの仕様を決めていくシステムエンジニアリング的作業が重要となってくる。また生産の各工程でどのような不良が発生しそれが最終製品にどのような影響をもつかが定量的に明確になっている場合はまれで、現状では自動化のシステム導入後の長期間の評価テスト、改良により完成していくことが多い。今後自動化が広く普及していくには、パターン認識技術として、その性能を定量的に表現できるような手法の開発が必要でないかと思われる。

3. 応用例

3.1 汎用化システムの開発と農水産物選別への応用^{9),10)}

対象の形状解析による検査、計測へ応用するために汎用化を考慮したシステムの開発が報告されている。

これはセンサ、各種の照明、搬送系、ソフトウェアライブラリをもつプロセッサを標準として備えており、これにより入力画像の評価、アルゴリズムの開発を行い、実用システムへ適用していくことができる。

プロセッサとしては図-3の構成のものが用いられる。2値のパターンメモリをもちマイクロプロセッサよりの制御で任意の領域の水平または垂直の走査読出しが制御回路により行われる。計測回路は2値パターンデータのデータ列より“1”または“0”の点のランレングスやヒストグラム、データの変換点の座標等のパラメータ等を求める。複数ラインについて求められたパラメータがデータメモリに入力されマイクロプロセッサにより処理される。

これを応用したシステムとして図-4の胡瓜自動選別システムがある¹¹⁾。選別コンベア上のバケットの上に人手で投入された胡瓜の画像をラインカメラにより入力し形状により3等級、長さにより5階級に選別するもので、処理内容としては図-5に示すように、胡瓜に垂直方向に走査して得られた境界の座標 (x_1, x_2) より中心線が求められ、中心線に垂直方向の幅として太さ (W) が求められ、太さがある値より小さくなる点として端点 (P_1, P_2) 、 P_1, P_2 間の線分の長さとして長さ (L) が計算される。さらに中心線より線分 $\overline{P_1P_2}$ への垂線の長さの最大値が曲り (C) として用いられる。

センサとしては256ビットのCCDを用い、分解能は約1.2mm、処理速度は胡瓜1本当たり70msec以下である。

ライブラリ化されたソフトウェアはほかのシステム

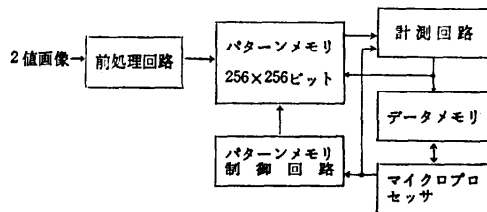


図-3 パターン処理プロセッサ

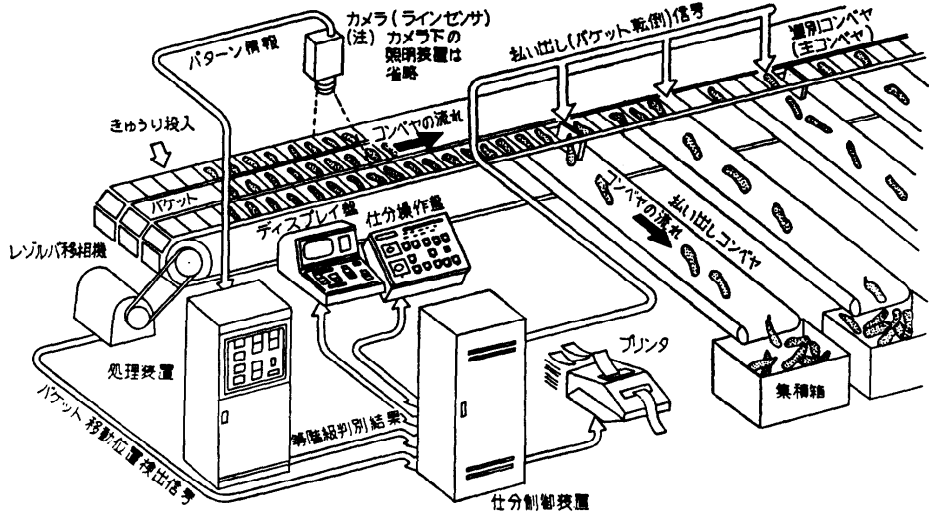


図-4 胡瓜自動選別システム構成図

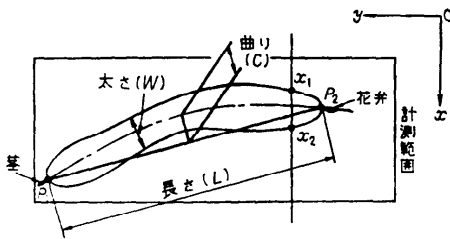


図-5 胡瓜の計測パラメータ

へも適用可能で 図-6 に示すのは魚種魚体選別システムへ応用した例である⁹⁾。

魚体の大きさの判別のほかに混獲されることの多いアジ、サバ、イワシ等の判別も自動化するシステムの実用化を旨として評価試験が進められている。

人間による判定は色、模様等も含めた総合判断で行われているが、ここでは求めやすい外形形状によるパラメータで選別を行うため、数千匹のデータを収集分析し尾柄高の大きさ、体長比などのパラメータを含む魚種判別式を求め、この判別式により選別を行っている。

魚の場合は1匹ずつ分離し選別コンベアのポケット上へ自動的に投入しており、2ラインで14,400/時間の選別が可能である。

3.2 錠剤自動外観検査装置

図-7 に示すのは、錠剤自動外観検査装置として実用されているもので¹²⁾、錠剤搬送の機構部も含めて1つの装置としてまとめられている。

ドラムの上に整列され、転送される錠剤の表と裏より各々テレビカメラで検査している。

処理の方式としては¹³⁾、2値化した錠剤およびその内部の傷の輪郭長と面積を求め、図-8 に示すように良品の場合錠剤の面積Aから求めた輪郭の長さとして直接求めた輪郭の長さは等しいが、傷のある不良品では、面積が傷の分だけ小さくなり、輪郭長は傷の分だけ長くなるので、面積より求めた輪郭長が直接求めた輪郭長より短くなることで不良品の検出を行っている。

輪郭長の算出は図-9 のように一方向に境界をなす点(○印)と2方向に境界をなす点(▲印)を数えB,Cとし $L = \sqrt{B^2 + C^2}$ として求めている。

0.1 mm の分解能でテレビ1画面(320×240 画素)に錠剤2個を入力し、処理速度は16個/秒である。

3.3 金属表面の傷検査

金属の圧延工程における表面検査は磁気探傷等で自動化できるものを除けば、ほとんどが人間の目視で行われてきたが、近年レーザそのほかのセンサを用いた表面検査機の実用化が進みつつある。

圧延金属板の微細構造の検査の実用例として 図-10 に示す金属表面検査装置がある¹⁴⁾。図-11 に示すように反射面での光波振幅分布 $U(x, y)$ と観測面での光波振幅分布 $\Psi(u, v)$ はフーリエ変換の関係にあり回折像は光の強度分布 $I(u, v)$ で $I(u, v) = |\Psi(u, v)|^2$ で与えられ $U(x, y)$ のパワースペクトルにあたる。また $U(x, y)$ は表面の構造 $Z(x, y)$ とは次式の関係にある。

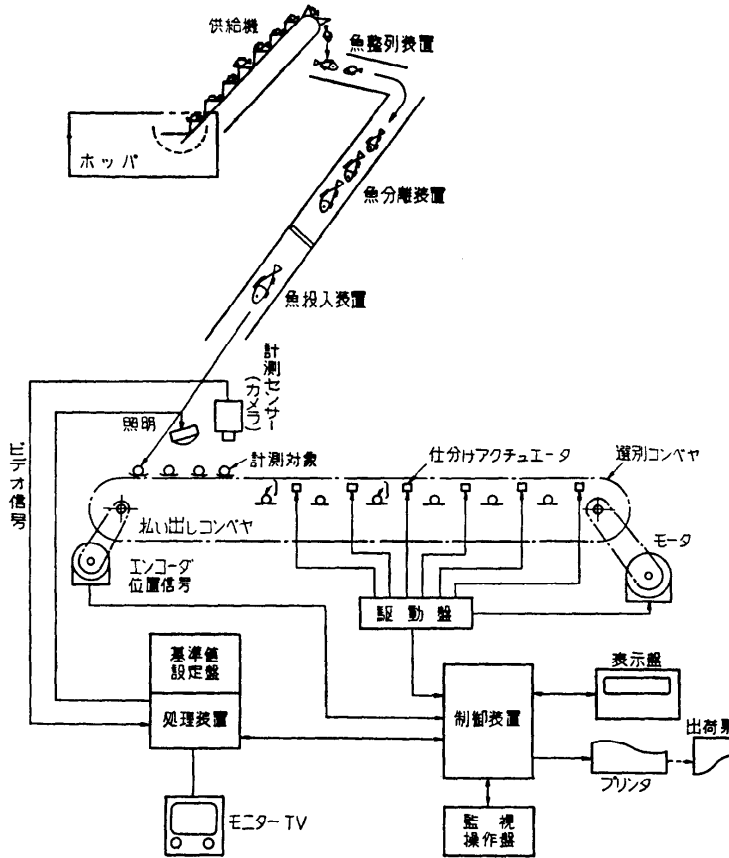


図-6 魚種魚体選別システム

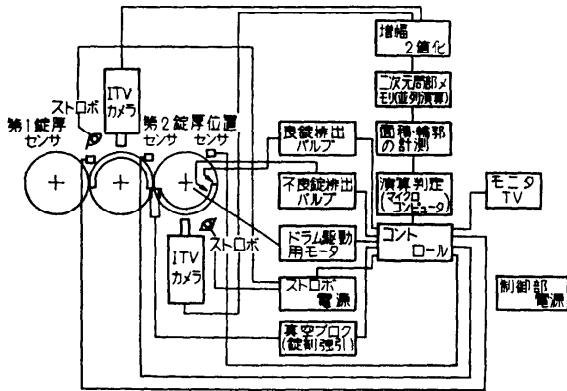


図-7 錠削自動外観検査装置

$$U(x, y) = f(x, y) \exp\{2ikZ(x, y)\} \quad (1)$$

ただし $f(x, y)$ は表面の反射率分布, k は波数である。

このため $I(u, v)$ は $Z(x, y)$ の特徴を反映し、図のように異なる周期の周期構造を多数重畳したような表面よりは帯状の回折像が観測され傷がある場合はこの周期構造が乱されて回折像の乱れが生じる。

回折像と等しい幅の細長い開口をもつオプティカルファイバで受光すれば、表面に傷があり、その回折像に乱れが生じたとき、出力信号の減少として観測される。この信号のレベルおよび検出位置より、傷の大小、試料表面での分布が求められている。レーザーの利用により分解能が高く、250 mm 幅に対し 30 μmφ の黒点と 30 μm 幅の傷の検出が可能である。傷の検査においても傷の種類や傷の定量的計測のため、得られた信号をパターン処理する技術の比重が高まってきており、今後はレーザーの回折、干渉等の性質を利用して1つの前処理機能として用い、パター

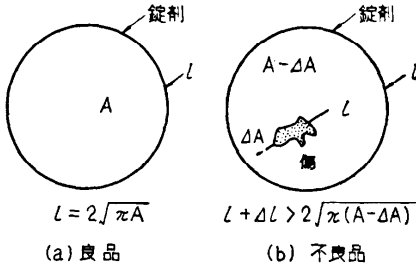


図-8 傷検査の方式

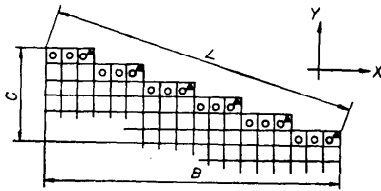


図-9 2値化パターンの一部

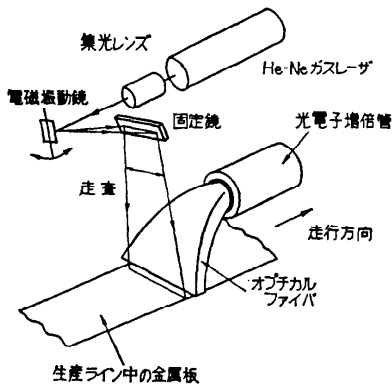


図-10 レーザ金属表面検査装置

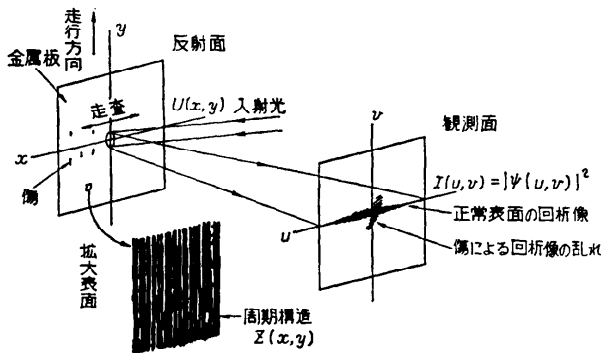


図-11 圧延板による回折像

	スケール	ヘゲ	根つきヘゲ	割れ
断面図				
ビデオ信号				

図-12 欠陥のビデオ信号

ン処理と組合せたハイブリッド方式の開発が進むものと思われる¹⁵⁾。

表面の各種の欠陥を区別して検査する例として鉄鋼生産における分塊スラブの熱間表面探傷の実用化が報告されている¹⁶⁾。

熱間スラブの表面には 図-12 のように、酸化し剝離して斑点状に黒く見えるスケール(欠陥ではない)と同様に黒いがスケールより面積の大きいヘゲ疵、明るく見える割れ、信号の変化の少ない根つきヘゲ疵等がありこれらを区別して検出するため、2,048画素の CCD センサの信号を8ビットに A/D 変換して処理する 図-13 に示すような大規模な処理装置を用いている。

ヘゲ疵の検出では、温度むらによるレベルの変動を補正するため2次的に一定領域でピークホールドし背景のレベルを求め、この移動平均をとった基準信号を用いて浮動2値化を行い、2値データにおいて領域の面積でスケールと区別している。根つきヘゲでは信号の幅と高さが一定の範囲に入るもののみを検出するという浮動2値化を用い、さらに 図-14 のように4×4の領域で論理和をとりさらにその領域が線状につながっていることで検出している。割れでは浮動2値化の後根つきヘゲと同様のつながり判定で検出している。

分解能は幅方向 1mm、長手方向 1.4mm で 2m 幅のスラブを約 30m/分 で移動させ実時間で検査をしている。

3.4 電子部品の生産への応用

電子部品関連の生産においては各社自社の生産用設備として各方面で自動化装置を開発、実用化している。特に進んでいるのは半導体関連で IC のボンディング^{17),18)}、ハイブリッド IC のチップ搭載¹⁹⁾等自動化が進んでいる。

プリント基板および基板用マスクの欠陥の検査も各社で実用化されている。これには設計データを用いて回路を追跡していき、回路幅を検査していく方式²⁰⁾、欠陥が微小である

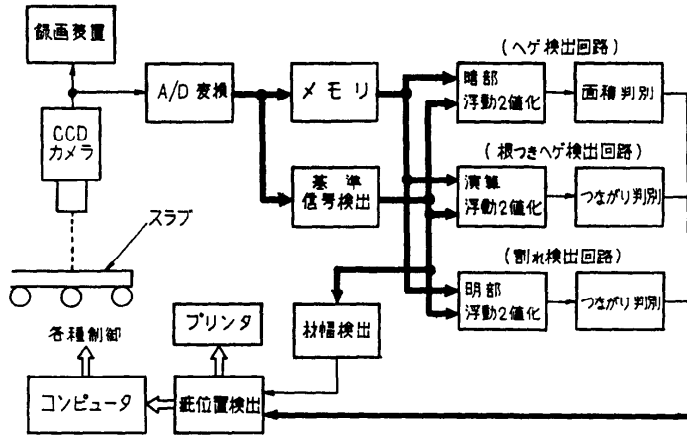


図-13 熱鋼片表面疵検出装置

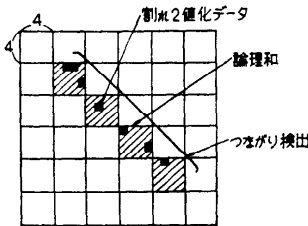


図-14 つなぎり判別のマスク処理

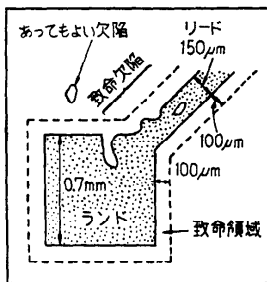


図-15 配線パターンと致命領域

致命欠陥とは 図-15 に示すように配線パターン内部とパターンより一定距離範囲内にある欠陥で、形によりまた位置により判定の大きさが異なる。検出方法は線幅を測長し基準値と比較する方法と 図-16 に示すようにパターンのエッジを起点としパターンの内側と外側に a, b, b', c の4つのウィンドウで検査していく方法を併用している。ウィンドウの役割は a でエッジを検出し、 b, b' でパターンの曲り角を判定し、曲り角以外の所の c 出力を欠陥と判定している。センサにレーザを用い短絡、断線で $10 \mu\text{m}$ 、ピンホール、黒点で $20 \mu\text{m}$ 程度が検出される。検査時間は 200 mm 角マスクで6分である。

4. あとがき

以上、パターン計測の技術的問題点および実用例に

ことを利用し一度原パターンを拡大さらに縮小し、原パターンと比較して欠陥を検出する方式²¹⁾、パターンの幾何学的特徴を仮定し、 3×3 の画素での部分特徴およびその水平、垂直方向への組合せにより検出する方式²²⁾等各種の欠陥検出の方式が用いられている。これらは一般に欠陥の候補となるものは疑わしいものも含めて検出し、後に人の手で再チェックが行われるものが多いが、プリント基板用のフォトマスクの検査として、あってもよい欠陥は検出せず「致命欠陥」のみを検出するものも報告されている²³⁾。

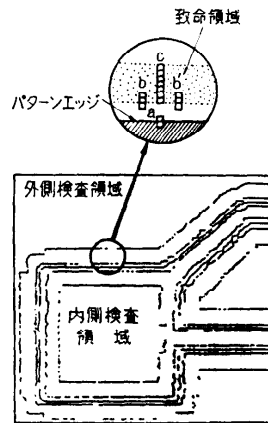


図-16 欠陥の検出方式

ついでにきてきたが、近年これらの技術に対する関心は各方面において急速に高まってきており、ますます実用化が進んでいくものと思われる。また技術的にもLSI等デバイスの進歩、実用面での問題点をフィードバックした実用的なアルゴリズムの研究にささえられて、さらに高度な認識を行う装置が開発されるであろう。

参 考 文 献

- 1) Agin, G. J.: Computer Vision Systems for Industrial Inspection and Assembly, Computer, Vol. 13, No. 5, pp. 11-20 (1980).
- 2) 築山: ビデオインスペクタとその応用, オートメーション, Vol. 24, No. 11, pp. 31-38(1979).
- 3) 西川他: 非接触型寸法計測器“パナオプスケール”, National Technical Report, Vol. 26, No. 1, pp. 114-122 (1980).
- 4) ランダムアクセスカメラ, 浜松テレビ社, 技術資料.
- 5) Jarvis, J. F.: Automatic Visual Inspection of Glass-Metal Seals, Proc. 4th IJCP, pp. 961-965 (1978).
- 6) Kuni, A. et al.: Study on Automatic Inspection of Defects on Contact Parts, IFAC, Symp. on Information-Control Problems in Manufacturing Technology, pp. 95-101 (1977).
- 7) Baird, M. I.: SIGHT-I, A Computer Vision System for Automated IC Chip Manufacture, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, SMC-8-2, pp. 133-139 (1978).
- 8) 木戸出: 画像処理用ハードウェア, 情報処理, Vol. 21, No. 6, pp. 620-625 (1980).
- 9) 野村他: 三菱パターン計測選別システム MEL-SORT の製品化とその応用, 三電技報, Vol. 53, No. 12, pp. 899-903 (1979).
- 10) 前田他: 汎用パターン計測選別システム, 昭 55 信学全大, S 13-21.
- 11) Nakahara, S. et al.: Automatic Cucumber Classification using Pattern Recognition Technique, Denshi Tokyo, No. 18, pp. 46-48 (1979).
- 12) 入江: 医薬品錠剤用自動外観検査ロボット「錠剤チェッカー」ロボット, No. 25, pp. 32-38(1979).
- 13) Nakamura, et al.: Automated Pattern Inspection based on “Boundary Length Comparison Method”, Proc. 4th IJCP, pp. 955-957(1978).
- 14) 稻荷他: レーザによる金属板表面自動検査装置, 三電技報, Vol. 51, No. 5, pp. 334-337 (1979).
- 15) 稻荷: レーザによる生産自動計測と検査, 日本機械学会関西支部第 84 回講習会資料, pp. 33-48, (1979).
- 16) 岩崎他: 熱鋼片表面疵の光学的自動検出装置, 日本非破壊検査協会第 3 分科会, 熱間スラブ表面傷検出に関するシンポジウム予稿, pp. 95-113 (1979).
- 17) Inoue, T. et al.: Automatic Die-Bonding System for Semiconductors with TV Cameras, SME Technical Paper, AD 77-719 (1977).
- 18) Kawato, S. et al.: Automatic IC Wire Bonding System with TV Cameras, SME Technical Paper, AD 79-880 (1979).
- 19) 竹中他: ハイブリッドIC用チップ部品自動搭載装置の開発, SICE 学術講演会資料, 2705(1980).
- 20) 成瀬他: 印刷回路パターン自動検査システム I~IV, 昭 52 信学全大.
- 21) 目瀬他: 複雑パターンを対象とした傷抽出装置方式, 電気学会論文誌, 63-D-4, pp. 349-356 (1980).
- 22) 後藤他: マスクパターンの自動検査装置, 東芝レビュー, Vol. 33, No. 6, pp. 615-618 (1978).
- 23) 中島他: パターン幅測長によるプリント板用ホトマスクの致命欠陥検査, 第 11 回画像工学コンファレンス論文集, pp. 33-36 (1980).

(昭和 55 年 12 月 1 日受付)