

実践報告・資料

# 自動化のための非接触計測・画像処理教材

富山職業訓練短期大学校 国谷 滋・川口 民之

Instruments of Non-contact Measuring  
& Image Processing for The Automization

Shigeru Kunitani , Tamiyuki Kawaguchi

要 約 多品種少量生産やコストダウンを実現するため、加工・搬送・組立さらに検査工程の自動化が急進している。自動化技術は機械の制御と計測そしてそれらのシステム化技術によって構築され、無人化・高能率化に加え多機能化・高精度化を目指し、FAやFMSへと発展している。

近年、非接触計測・画像処理分野の普及には目を見張るものがあり、位置決め技術と画像処理技術を自動化ラインに応用するための訓練は機械系技術者にとって不可欠なものとなっている。

本報告は物体の存在・変位そして位置決めにとって有力な情報である画像を観測・処理し、機械制御や非接触計測に活かした自動化のための教材報告である。内容は任意の場所に置いた測定物を画像処理で有無の判別と概形輪郭測定を行い、光学式変位計で精密輪郭測定する「非接触輪郭測定システム」であり、実務段階で活用可能な実践的教材である。

## I はじめに

最近のメモリ素子の大容量化とパソコン処理速度の高速化によってパソコン画像処理システムが身近になってきている。このため、パソコン画像処理を実用的に行いたいという要望は多い。FAで用いられる画像処理は大きく分けて次の3段階の処理内容が主である。第1段は前処理といわれ、濃淡画像情報の演算処理であり、2値化・反転などの画像強調や画像間演算による画像の違いを抽出するものである。第2段は前処理結果から面積・周長・重心などの特徴量を抽出するものである。第3段は最終判断および外部装置とのインタフェースである。たとえば、ロボット・位置決め装置・計測装置などのコントローラへ抽出した特徴量を基に情報を引き渡す処理である。<sup>(1)</sup>

このような画像処理はFAの目として加工・組立・検査といった分野で導入のニーズが高く、無人化・高速度化・高能率化を目指し、使用目的に合致した機械計測制御システムが構築されている。このため、機械系技術者に対し画像処理を中心にモータ制御や非接触計測のシステム化技術の訓練需要は増大すると認識し、写真1に示論文受付け日 1989.12.20

すように、自動化のための教材「非接触輪郭測定システム」を開発した。

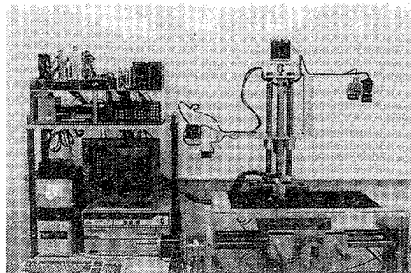


写真1 非接触輪郭測定システム

## II システムの概略

### 1. システムの概要と仕様

本システムは図1に示すように、メインコントローラ・モータ制御部・計測部・画像入力部および本体で構成する。

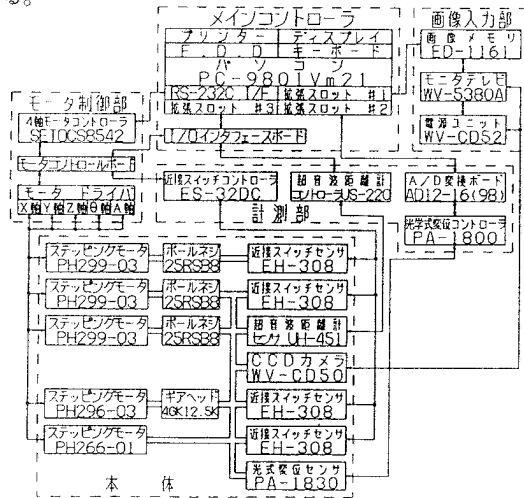


図1 システムの構成

メインコントローラは16ビットパソコンPC-9801Vm21 (以下PC98と略す) とし、拡張スロットに I/Oインタフェースボードを装着する。

モータ制御部は4軸モータコントローラSETOCS8542 (以下SE85と略す) ・モータコントロールボードおよびモータドライバからなる。SE85はJIS NC言語準拠のNCコントローラで外部コントロール機能・シーケンサ機能・EP-ROM機能などがあり、PC98と RS-232Cインタフェースおよびモータコントロールボード経由で I/Oインタフェースボードと接続している。SE85はPC98が生成するNCプログラムを受信し、モータ駆動信号を出力する。モータコントロールボードはSE85の入出力信号や各センサの出力信号を I/Oインタフェースボードと接続したり、各軸をマニュアル操作するためのボードである。

画像入力部は画像メモリ・PC98用インタフェースボード・白黒 CCDカメラ・電源ユニットおよびモニタテレビからなる。PC98から数種類の I/Oコマンドとメモリアクセスを行うことにより画像メモリをコントロールする。

計測部は接近時ON動作する近接スイッチコントロー

ラ、Z方向距離を測定しZ軸の位置決めをするための超音波距離計コントローラおよび測定物の輪郭を精密測定する光学式変位計コントローラと測定アナログ量をPC-98が取込むための A/D変換ボードからなり、すべて非接触計測である。

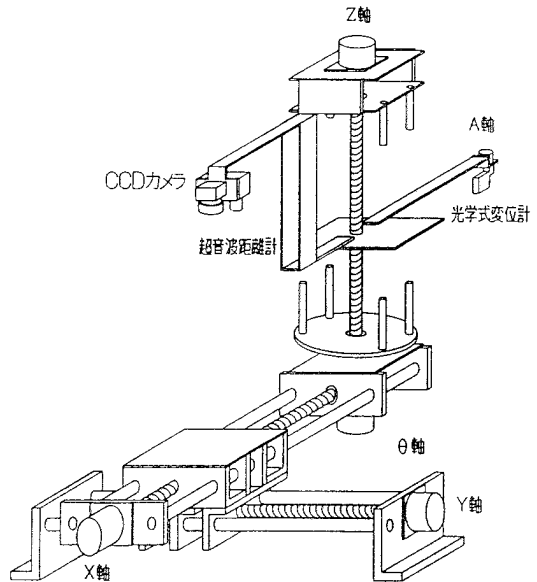


図2 システムの本体概略

本体は図2に示すように、X・Y・Z・θおよびA軸の5軸とし、カメラ・超音波距離計センサ・光学式変位センサを取付けている。各軸の駆動源は開ループ制御で簡単に位置制御ができる4相ステッピングモータを使用している。X軸・Y軸およびZ軸はボールネジにモータを直結し、2本または4本のスライダで支えられるリニアボールベアリング摺動で直線運動を行う。X軸はY軸テーブル上に固定し、θ軸はX軸端部に固定する。θ軸はモータに速度比1/12.5歯車減速機ギアヘッドを直結してあり、円錐コロ軸受で支えられるZ軸を回転させる。A軸はモータの軸芯と光学式変位センサの測定基準距離が一致するよう取付けている。X・Y・θ・A軸の制御はPC98が送信するNCプログラムと制御命令でSE85が行う。これら4軸の機械原点設定用に近接スイッチセンサを取付けている。また、Z軸の制御は超音波距離計の測定距離信号に基づき、Z軸の駆動・停止・方向の制御はPC98が行う。本システムの主な仕様を表1に示す。

表1 システムの仕様

項目	仕様
メインコントローラ PC-9801 Vm21 I/Oインタフェース	CPU 16ビット μPD70116-10 (V30) RAM 640Kバイト 8バンク画像メモリ割当 PP18255A×2 48ポート
モータ制御部 4軸モータ コントローラ	2軸同時制御 直進・回転・停進 制御方式 オープンループ制御 自動加速 直進型自動加速 プログラム作成 キー入力・タイミング・EPROM読み込み RS-232C伝送 Cコード機能 Mコード出力 JIS NC言語準拠 パルス出力 CW/CCW 2ゲート又はパルス・方向切換 シーケンサ機能 入出力各16点 同期リレー84点 タイマ16点
モータコントロール ボード モータドライバ	外部コントロール 全I/Oフォトカプラ付 CPU/マニュアル 切換スイッチ マニュアル5種 起動・停止・回転方向スイッチ マニュアル用・Z軸用 パルス発信器(可変) X・Y・Z・θ軸 ユニポーラ定電流駆動1.2A/10A 4軸 図4参照
画像入力部 画像メモリおよび インタフェースボード	人力番号 日本テレビジョン操作方式 画像メモリ 256×256×0ビット 2画面 画像6ビット シンボル2ビット 画素比 1:1 A/Dコンバータ 84階調 読込取り込み時間 1/80秒 アクセス方式 メモリマッピング パネルスイッチ カメラ表示・メモリ表示・フリーズスイッチ
計測部 近接スイッチ	型式 磁気誘導型 最大動作距離 5mm 繰返し精度0.006mm 制御出力 オープンコレクタ出力 40V200mA 検出方式 反射式 測定距離 0~2000mm 周波数 40kHz 測定周期 50Hz 制御出力 4桁BCD出力(TTLレベル) コンパレータ3入力-2.50V3A
超音波距離計	検出方式 赤色LED 反射式 基準距離 40mm±1mm 出力電圧 ±5V (1mV/1μm) 測定範囲 ±5mm 分解能 10μm 制御出力 コンパレータ オープンコレクタ40V100mA コンパレータ リレー 250V2A最大
光学式変位計	入力電圧 -10~+10V, -5~+5V, 0~10V 入力点検 単相入力 16CH 差動入力8CH 分解能 12ビット
A/D変換ボード	
本体 移動範囲 最小移動量 駆動方式 使用モータ 駆動電圧/電流	X軸 350mm Y軸 350mm Z軸 350mm θ軸 380° Δ軸 380° 0.02mm 0.02mm 0.04mm 0.072° 0.9° ボールネジ 径25mm リード8mm 歯車減速機 直結 4相ステップモータ 2.2kgcm 2.2kgcm 2.2kgcm 1.2.5kgcm 8kgcm 24V/1A 24V/1A 24V/1A 14V/0.7A 6V/1A
RS232C 通信条件	ポート 4800ボー バリテイ無し データビット 8ビット ストップビット 2ビット Xパラメータ 有効 Sパラメータ 有効 送受信 EOL <CR> <LF>

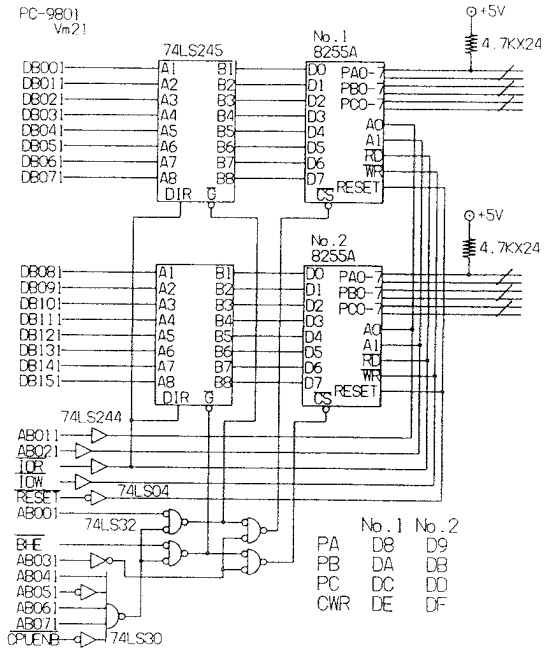


図3 I/Oインタフェースボード

## 2. システムの制御回路

### (1) I/Oインタフェースボード

PC98とSE85・A軸ステッピングモータドライバ・超音波距離計および近接スイッチの制御信号や測定信号の入出力のため I/Oインタフェースボードは図3に示すように、2個のPP18255Aを使用している。I/Oアドレスは画像メモリおよび A/D変換ボードのアドレスを考慮し、下位8ビットをD8~DFH にデコードしている。

### (2) モータコントロールボード

本ボードは図4に示すように、SE85のドライブ信号をモータドライバに接続するための回路、Z軸モータ用パルス発信回路、A軸モータドライバおよびPC98やSE85を使うことなくマニュアル操作で本体を動作させるた

めのパルス発振回路と操作スイッチで構成している。SE85のパルス信号幅は  $6.5\mu s$  と短いため、フリップフロップJK-FFで1/2分周してパルス幅を改良し、回転方向信号と合せてスリーステートバッファ・フォトカプラを介しモータドライバと接続している。スリーステートバッファはSE85で運転・操作するときとマニュアル操作するときの制御に用いている。Z軸モータ用とマニュアル操作用パルス発信回路はタイマIC NE555を用い、ボリュームで周波数可変、デューティ50% としている。前者の発振周波数は300~4000Hz 後者は7~90Hzと70~900Hz切換可である。A軸モータドライバはステッピングモータコントロールIC PMM8713を1-2相励磁1パルス入力方式で用い、スイッチングトランジスタ・中間コンデンサ・L/4R用外付抵抗によるユニポーラタイプの簡単なものである。なお、X・Y・Z・θ軸モータドライバはユニポーラ定電流ドライバを購入し、1-2相励磁・カレントダウンで使用している。操作スイッチは軸選択のロータリースイッチ、方向切換スイッチ、パルス接続スイッチなどを取付けている。

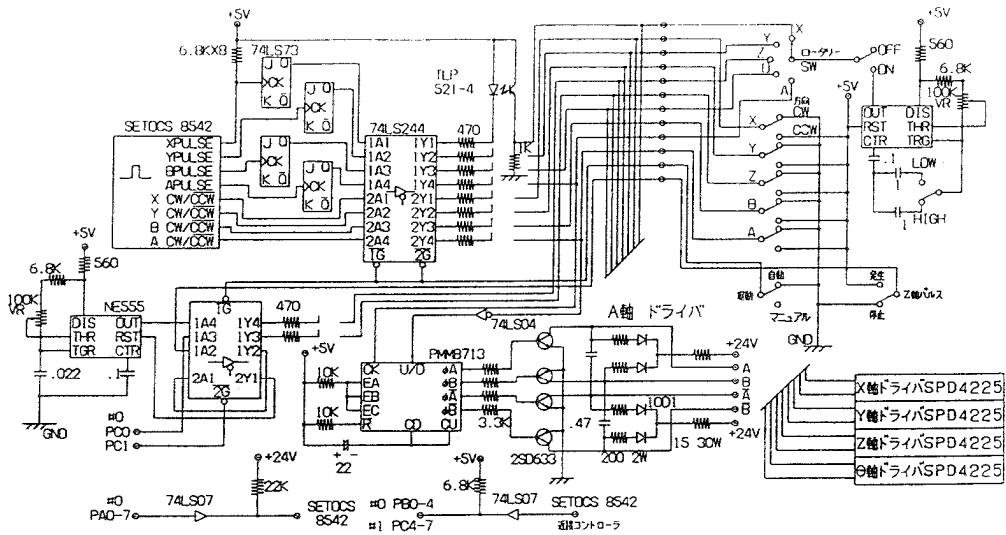


図4 モータコントロールボード

### Ⅲ. 制御ソフトウェア

画像メモリED-1161は256×256の6ビット画素2画面を持つので、画像データ用メモリにPC98の8・9バンク目を、画像データの格納用メモリとして6・7バンク目を割当、PC98の標準実装RAM640KBのうち64KB×4を確保している。OSはMS-DOS、プログラム言語はN88BASIC(86)と8086アセンブリ言語を使用している。本システムのプログラムは予備プログラムと自動計測プログラムがある。

予備プログラムは2値画像のしきい値や画像サイズの換算値を求めるためのプログラムと4軸モータコントローラSE85の動作確認やパラメータ設定のためのプログラムである。画像の濃淡は照度・測定物の光感度・カメラレンズの絞り・焦点距離などの影響を受ける。本システムでは画像処理で概略の輪郭測定を行うといえど最適な値で測定しなければならないことは言うまでもない。SE85の通信モードには外部CPUからの受信モード・キーコード実行モードおよび内部情報の送信モードがある。したがって、SE85はPC98が作成するNCプログラムを受信モードで受信し、続いてキーコード実行モードでプログラムスタート命令を受信するときプログラムの実行を開始する。プログラムの実行にともない各軸モータ駆動用パルス信号や回転方向信号さらにMコードや制御信

号をモータコントロールボードへ出力する。このとき、SE85を内部情報の送信モードに切替え、PC98は起動・制御状態や各軸座標値を受信し、SE85をコントロールする。

自動計測プログラムの概略フローチャートを図5に示す。プログラムは初期設定・機械原点設定・測定物検出・輪郭概略測定・輪郭精密測定および画像処理ルーチンで構成している。初期設定では計測のための定数(しきい値・画像スケール・カメラ高・基準測定距離・輪郭測定ドット間隔など)の設定とI/Oインタフェースボードのイニシャライズなどを行う。機械原点設定ルーチンではSE85をキーコード実行モードとし、X軸・Y軸・θ軸・A軸の順にジョグ送りで座標負方向に近接スイッチONとなるまで移動し、機械原点を設定する。測定物検出ルーチンではSE85を受信モードとし、NCプログラムでX軸・Y軸を駆動させ、カメラと超音波センサを測定用テーブルの中心位置まで移動する。この間、超音波距離計が所定の位置(400±1mm)になるようPC98がZ軸を制御する。この位置は測定用テーブルの全範囲をカメラで撮影できる高さである。所定の位置に達するとき、画像を入力し、PC98の画像メモリに転送する。測定用テーブルを黒色系、測定物を白色系としているので、画像データを明暗に2値化するとき、しきい値以上の画素データを3FH、未満のデータを0Hとする。続いて、測定物を示す画素

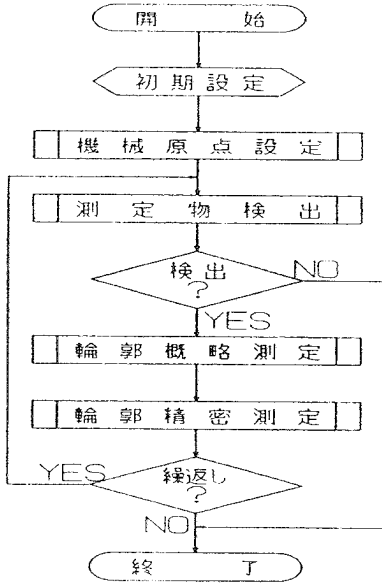


図5 自動計測フローチャート

データ3FHのドットを計数(面積計算)する。所定の数を超えるとき測定物検出と判断し、図心位置計算を行い、カメラ中心が図心位置となるようX軸・Y軸を駆動する。この間、超音波距離計が $270 \pm 1\text{mm}$ になるようPC98がZ軸を制御する。なお、このカメラ高さのとき画像スケールは1画素長さ $\approx 0.5\text{mm}$ となる。輪郭概略測定ルーチンでは図心位置にあるカメラからの画像を入力し、PC98の画像メモリに転送する。続いて、2値化し測定物の輪郭を求める。輪郭追跡処理は図6に示すように、図心画素からY方向に走査し、画像データが3FHから0H

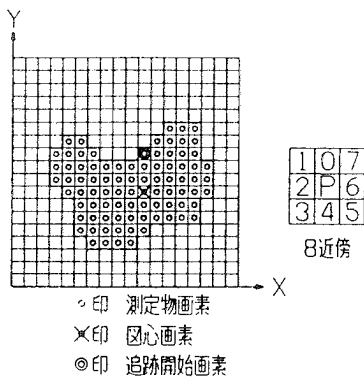


図6 輪郭追跡処理

に変化する3FHの画素を追跡開始画素とし、その画素に開始点マーク10Hを付けX座標・Y座標を記憶する。追跡方法は輪郭点Pの8近傍に0,1,...,7の方向コードを付け、反時計回りに画素の画像データを調べる。値が10Hのとき追跡を完了する。値が0Hのとき続けて調べる。値が3FHのとき次の測定輪郭点とする。8近傍の反時計回りに調べる画素の開始点は、直前の輪郭点の次順の反時計回りの点とする。故に、輪郭点の座標から測定物の概略輪郭が求まる。測定精度は $1\text{mm}$ 程度である。輪郭概略測定で得た輪郭点は続いて行う精密測定の光学式変位センサ位置を定める基準点になる。輪郭精密測定ルーチンでは $\theta$ 軸を $180^\circ$ 回転させた後、X軸・Y軸・A軸を駆動させ写真2に示すように光学式変位センサを測定物の端面に垂直に向け、 $10\mu\text{m}$ の精度で測定する。光学式変位センサの位置は図7に示すように、点OがA軸中心(光学式変位センサの測定基準点)、矢印OPが測定方向となるよう各軸を移動させ測定し、変位計コントローラのアナログ出力をA/D変換ボードでデジタル変換

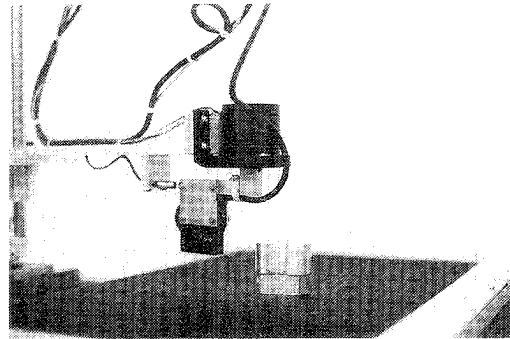


写真2 光学式変位センサの測定

し、PC98に入力する<sup>(2)</sup>。ただし、点M、Nは輪郭概略測定で得た輪郭点で指示する画素数だけ離れている。点Oは点Mと点Nから等距離 $40\text{mm}$ (光学式変位センサの測定基準距離)にあり、測定方向OPは $\angle MON$ を二等分する。故に、点Oの座標、OPとX軸とのなす角および変位計の測定値から測定物の精密輪郭が求まる。なお、X軸・Y軸の最小移動量はステッピング・モータのステップ角 $0.9^\circ$ とボールネジのリード $8\text{mm}$ から $1/50\text{mm}$ である。測定が完了するとX軸・Y軸は測定用テーブルの中心へ、 $\theta$ 軸・A軸は機械原点へ移動する。繰返し指示があるとき測定物検出ルーチンへ戻り、終了指示があるとき終了する。図8に自動計測時のCRT画面を示す。

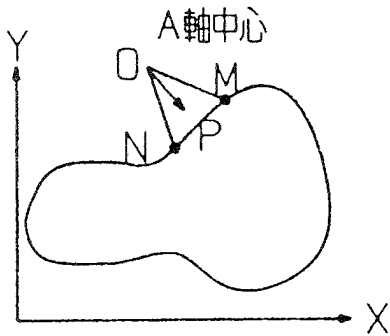


図7 光学式変位センサの位置

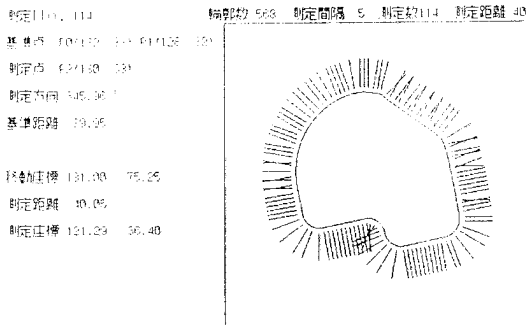


図8 CRT画面表示

#### IV おわりに

本システムは事前に測定物の位置・形状を指示することなく測定物の輪郭を二次元ではあるが精密に自動計測することができ、寸法検査や形状認識をフレキシブルに行うことができると評価する。教材として(1)画像処理の基本的な処理(2)非接触計測機器とモータコントローラの利用(3)パソコンをホストとするシステム化などの訓練に活用できる。今後の検討項目として、実用的な利用を目指し材質や測定物表面状態(曲率・面精度・色・光沢など)が光学式変位センサに及ぼす影響を把握し、測定精度を明らかにすることがある。また、応用例として、MCT作機と組合せ、加工前ワークの形状測定・工具長補正の自動設定・CAD/CAMとのリンクによるNCデータの生成・加工後ワーク寸法測定という加工計測セルの構築を考える。

CAD/CAMや計測制御分野において高技術化によるブラックボックス部の拡大は職訓短大機械系の教育訓練に大きな影響を与えつつある。職業技術教育は理論と実践の釣合が肝要であり、教育訓練目標に合致した教材と訓練手法の開発・研究は我々の大きなテーマである。

(注)

- (1) 小西敏夫他：混流生産ライン向け高速画像処理システム, 自動化技術, 工業調査会, 1988年8月, P36-P40
- (2) 国谷滋：非接触形状測定ロボット製作と自動計測, 技能と技術, Vol.23 5/1988 P28-P36