

自動化システムと視覚機能—その一応用例

久良修郭 田中雅人 佐藤 忍
(株) 安川電機製作所・研究所)

1. まえがき

各種の工業分野において、少品種多量生産ラインを対象とした自動化は、従来から広く行われ、それぞれの対象ラインに特有のシステム構成とすることにより、かなりの効果をあげることができてきたようである。しかし、対象が量産ラインである場合には、量産効果の故に、種々の問題点が、あまり表面にでてきていなかった。これらの問題点は、自動化の対象がこのような少品種多量生産ラインから、中品種中量あるいは多品種少量生産ラインへと移ってくると、次第に明確になってくる。従来のような「自動化」の方式ではシステムの構成に非常なコストを要したり、人間の介在が大巾に増え「自動化の効果」が減殺されてしまうことのみならず、その作業者にとっては、しばしば苦痛な労働となる。

上述のような事態は、種々変化するワークの作業場所への設定、ワークの変化に対するラインの段取り替え等の複雑さに起因するものが多いようである。筆者らは、これらの問題点に着目し、より柔軟性をもった、自動化されたシステムの構成を目的として、視覚機能をシステムの中へ導入することを試みた。本報告では、仮付けされたフランジとパイプの本溶接を行うラインへ、視覚機能を適用した例につき、その導入の理由、システムにおける動作等を以下において述べる。

2. システムの構成と問題点

ここで構成したラインは、パイプ加

工作業をモデル化したものである。パイプにフランジを仮付されたものが対象ワークである。システムは、ノピッチごとの正送り可能なパイプストック用のコンベヤ（パイプストッカ・④）2台、このコンベヤよりワークを受取り、作業領域であるロボットの前の所定位置へこれを運ぶ台車（パイプサポータ・⑤）、ワークの設定、溶接トーチの設定等に用いられる視覚処理装置③、5自由度のロボット④、溶接機⑥、およびシステム全体を制御するマスタコントローラ⑧より構成されている。その概観を図1に示す（図中、②はロボット制御部のCPUおよびインターフェイス、⑦は5軸のデジタルサーボ部である）。

ここで、システムの動きについて述べるとともに、その構成上の問題点に言及する。

フランジを仮付されたパイプはパイプストッカⅠ（またはⅡ）上に置かれている。パイプサポータが所定のワーク受取り位置に達すると、これの上へワークが1本供給される。パイプサポ

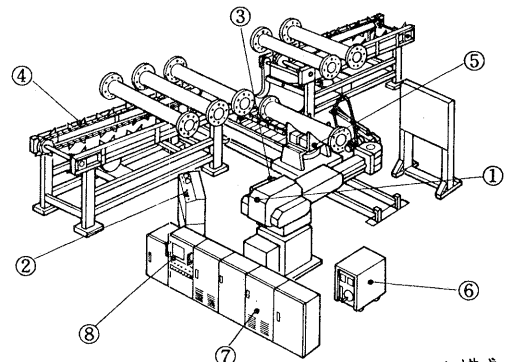


図1 システム構成

ータはこのワークを作業領域の適当な位置へ移動させる。ここでワークに対しては、次作業のための条件が満たされているか否かのチェックが行われる。条件が満たされていると、溶接トーチが設定されロボットの3軸同時パルス分配制御により本溶接が行なわれる。溶接が終了すると、パイプサポータは次工程の準備のためにパイプを旋回した後、パイプストッカ側へ移動しワークがストッカⅡ(Ⅰ)上へ格納される。パイプサポータは再度旋回し、次ワーク受取りの準備を完了する。以下、上述の工程がくり返されることとなる。

このようなシステムにおいては、先ず、ワークを所定の作業領域にセットするために非常にやっかいな問題が起ってくる。すなわち、ワークはロボットに対して精度良く位置決めされなければならないため、パイプストッカからのワークの供給装置および、ワークを保持したパイプサポータの位置決め装置等に対し、特に配慮をしなければならなくなる。また、ワークの大きさ(パイプ径)が変る場合(本ラインでは2種を対象)に、それに応じて溶接トーチを溶接条件を満たすようにセットすることは、従来のような自動化の方式では、容易なことではない。さらに、ワークが作業条件を満たしているか否かのチェックを行うことは、ラインを安全に運転する上からも重要なことである。

3. ロボット

本システムにおいて用いたロボットを、図2に示している。本ロボットは直流電動機により構成されたデジタル位置サーボ系によって各軸が駆動されている。動作軸は5軸である。それらの概略仕様を図3に示す。

ロボットの論理・演算制御は、制御部に内蔵されたマイクロ・コンピュータ

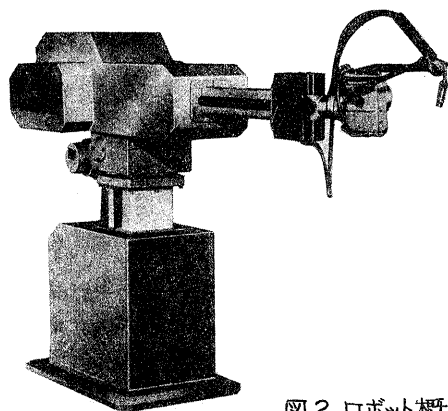


図2 ロボット概観

タによって行なわれている。基本機能として、ティーシング・プレイバック動作および、動作軌跡演算プログラムによるパルス分配制御動作の2種を行なうことができるようになっている。ここでの使用では、独立した一連の動きに対する準備のための位置、あるいは待期している位置(例えば、パイプサポータの到着を待つ位置)が、あらかじめティーシングにより教え込まれている。

溶接動作は、腕の上下、前後、手首ひねりの3軸に対する同時パルス分配制御による垂直平面内での円軌道の追跡によって行なわれている。手首ひねりは、トーチの姿勢制御のために用いられている。

ジョイント	軸	作動領域	速度
腕	上下	400 mm	21 m/min
	前後	500 mm	20 m/min
	旋回	± 90°	60°/sec
手首	ひねりφ ₁	± 180°	120°/sec
	ふりφ ₂	± 90°	120°/sec
指	開 閉	仕様による	仕様による

図3 ロボット仕様

4. 視覚機能

第2節で述べたようなシステム構成上の問題点を解決するために、ここでは、視覚情報の利用を試みた。先ず、

工業用テレビカメラと小型電子計算機により構成されている視覚処理装置について、その概要を記し、次項でその処理内容について述べる。

4.1 視覚処理装置

処理装置の内部構成を図4に示す。走査画面の時間的な仕様、画像入力に関する種々のパルスの時間関係を示したものが図5(a), (b), (c)である。(b)図中、※が付された信号はモード切換により変更できるようになっている。くり返し画像入力時の、画像のずれを防止するためにウインドパルスを用いている。また入力データの異常チェックのため、1画面データの終了を示すエコーパルスを計算機へ入れるようにしている。装置としての全体的な仕様は、次のとおりである。

- (1) 1画像の入力時間は約16.4 mSec である。
- (2) 入力モードとして、標準、縦精度アップ、横精度アップの画像データを取りこむことができる3つのモード(M-I, -II, -IIIと称す)をもっている。
- (3) 閾値設定は、256レベルまで可能である。

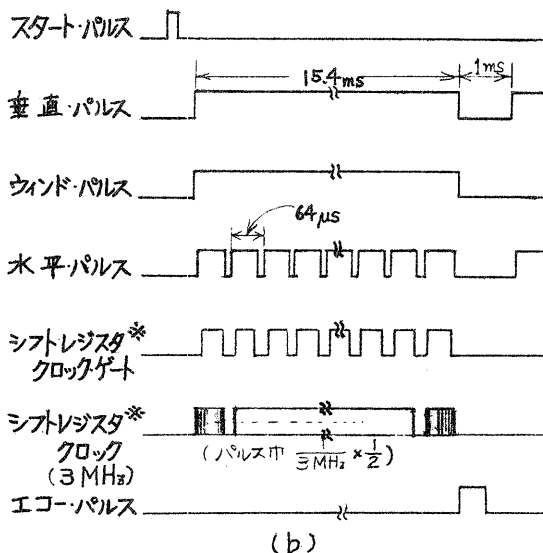
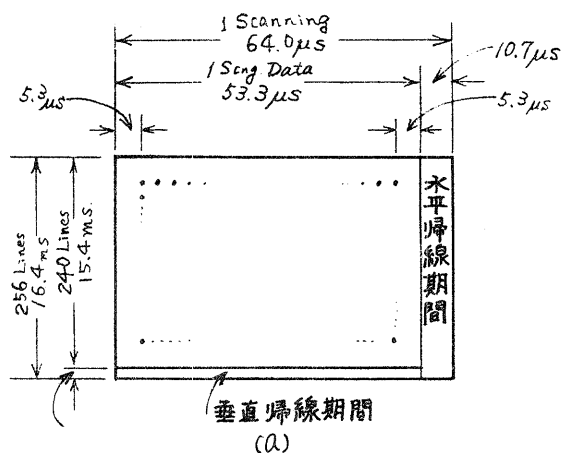


図5 (上図) 走査画面仕様
最上図: (a)
画面仕様
直上図: (b)
パルス仕様

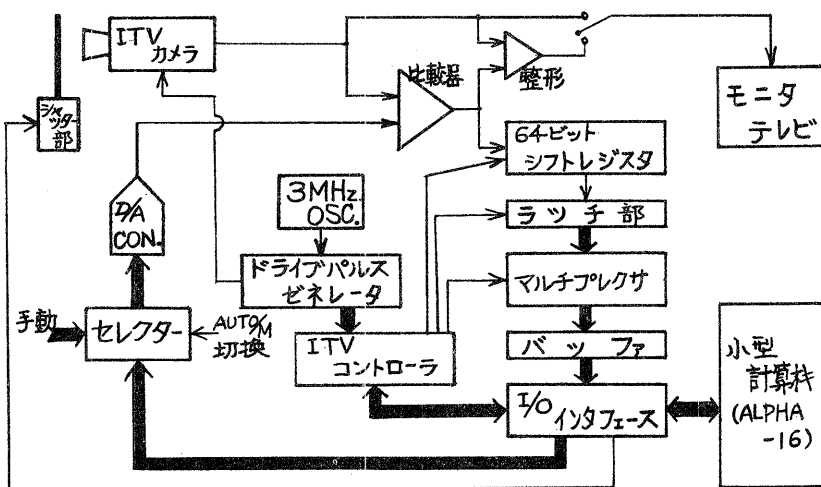


図4 視覚処理装置ブロック図

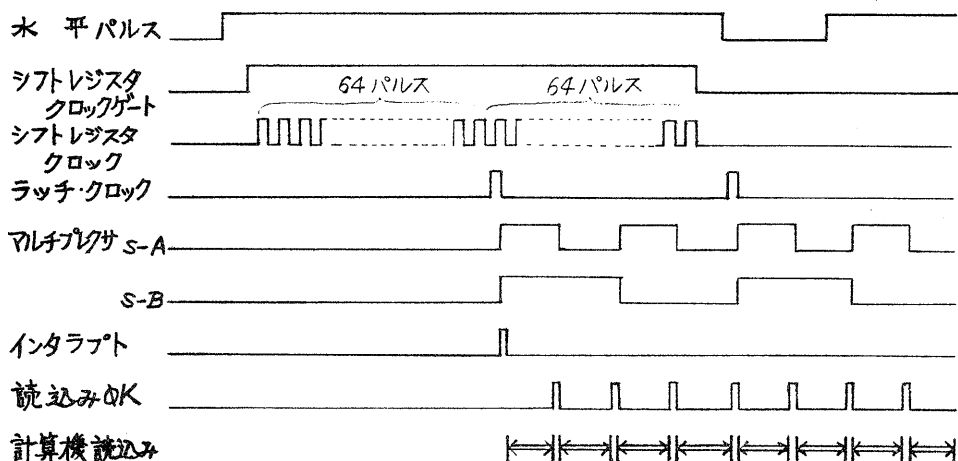
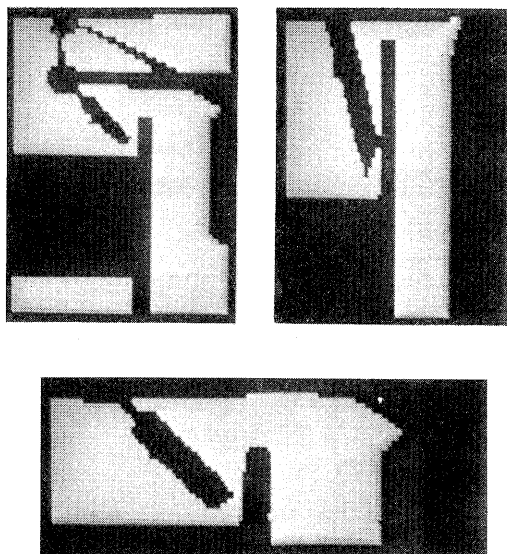


図 5 (C) / 水平画像信号の仕様

入力される画像は、2値パターンデータである。また、M-I のデータは、絵素数タテ $60 \times$ ヨコ 64 の全画面を表わしている。M-II, -III では、入力時に任意の画像領域を指定できるようになっている。M-II のデータは、縦方向が I の4倍、M-III のデータは、横方向が I の2倍の精度として得られる。図6に、それぞれのモードにより入力した画像データを、ディスプレイに表示したものを示している。



4.2 処理内容

システムにおける視覚処理装置の作業内容は、大きく次の4つに分けられる。

- (1) 動作準備
- (2) ワークの粗位置決め
- (3) 作業条件の確認
- (4) 溶接トーチの設定

これら4つの項目に対するそれぞれのプログラムの処理内容、ラインにおけるそれらの作業の位置づけについて述べる。各々の処理プログラムに共通していえることは、処理時間をできるだけ短かくする、一方、判断には確実性をもたせる、の2点に留意して、その作成を行なっていることである。

(1) 動作準備

ロボットが原点位置に復帰し、パイプサポータが走行可能な状態になるとマスタコントローラより、視覚処理装置に対し動作準備の指令が出される。この指令により、ITVカメラのシャッターが開かれる(初期状態、および所定の作業中以外はシャッターを閉じている)。シャッターが完全に開かれるまでソフト上のタイマによって適当な時限をとった後、M-Iによる画像入力か

行なわれる。この時、テレビカメラを含む入力系が正常であれば、視野には、背影となるボード（図1参照）上に描かれた小さなキャリブレーション用のパターン（正方形の図形）が入力されるようになっていいる。得られた入力データから、このパターンの面積を計算し、あらかじめ与えられている基準値と比較する。この基準が満足されていれば、次にパターンの重心位置を計算する。基準が満足されていない場合は異常通知が出される。計算された重心の水平および垂直位置とあらかじめ定められた基準位置との差が許容範囲内であれば、カメラおよび入力系は正常であると判断し、動作準備完了とみなす。このことは視覚処理装置よりマスタコントローラへ伝達される（図7参照）。この信号によりパイプサポータも走行を開始し、ワークを保持した台車がロボットの正面へ移動して行く。

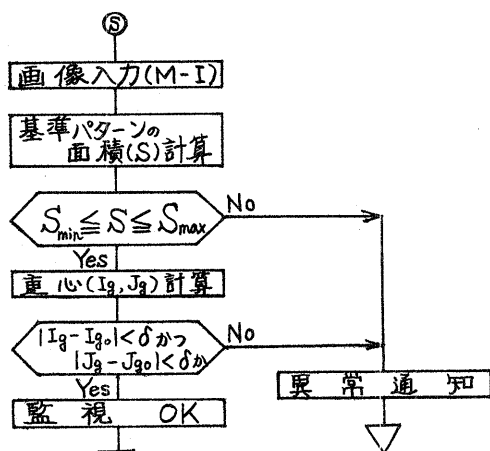


図7 動作準備フロー

(2) ワークの粗位置決め

パイプサポータの走行開始とともに、カメラ視野の監視が行われる。パイプサポータの走行速度が20m/minであるので、停止位置の精度を向上させるため、一旦低速に落した後に停止させるようにしている。

入力される画像データの左端部を垂直方向にスキャンし、フランジ端面が視野内に入ってきたかどうかを判別する。数画素の幅でデータを上下方向にスキャンし、この領域内に含まれるフランジの面積を計算する。この面積が所定の値に達していなければ、再度画像入力を行ない監視を続ける。所定の値に達している場合には減速指令が出され、走行速度が1/4に落される。次に、画像データ内のスキャン位置を、最終的に停止すべき位置に移動させ、減速指令の場合と同じ条件で停止指令が出される（図8）。

1画面のデータを計算機内にとりこみ、上記の判定を下すために要する時間は約20mSである。したがって、低速走行時でも処理時間中の走行距離は、約

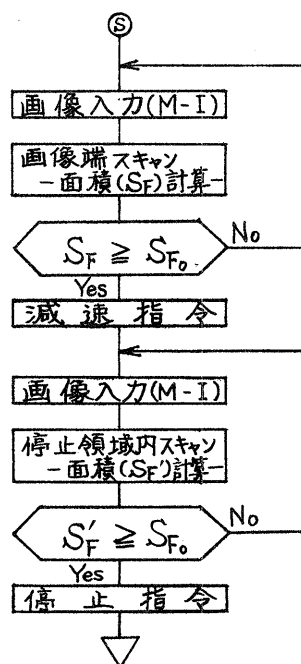


図8 粗位置決めフロー

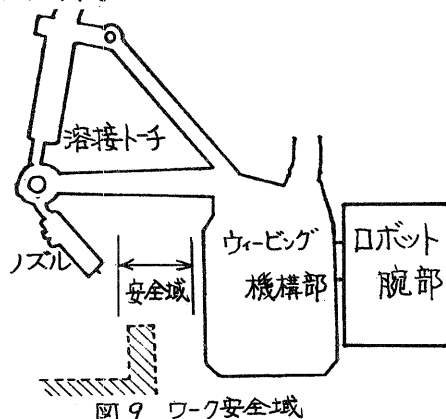


図9 ワーク安全域

1.7 mmとなる。画像データの入力の待ち時間を考慮すると、この値はさらに若干大きくなる。ところが、ワークの搬入位置としては、さほどの精度は要求されない(次の操作により微調される。(4)の項)。望ましい搬入位置は、図9に示されている安全域内の任意の位置でよい。その範囲は、ここでは約70 mmである。

(3) 作業条件の確認

まず、運び込まれたワークの位置が次の作業(溶接トーチの設定)が安全に行える領域(図9参照)に入っているか否かのチェックが行われる。停止指令が出された後、パイプサポータが完全に停止するまでの時限をとって、画像をとりこむ。この入力データを水平方向にスキャンし、フランジ端面の位置が所定の領域(図10)の距離Dにより判定—に入っているか否かをチェックする。入っていないれば直ちにライン異常とみなす。所定領域に入っていると、次に、ワークの形状がチェックされるが、これは、フランジがパイプに対し正しい位置に仮付けされているか否かが検査される。図10のフランジ端点aをサーチし、図中斜線で示された領域Rに、フランジ端面、およびパイプ稜線が入っていることにより確認される。そのフローを図11に示している。

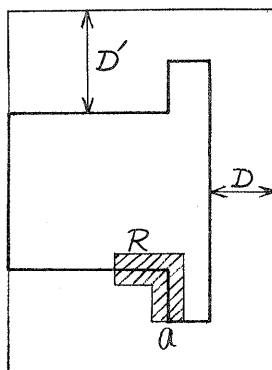


図10 画面内ワークの位置

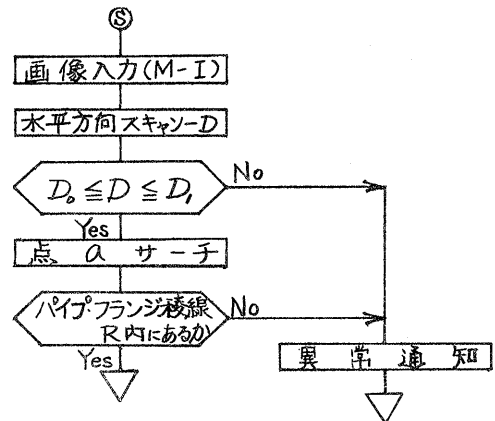


図11 形状検査フロー

最後に、ワークの姿勢が検査される。溶接は垂直平面内での円軌道によって行われるため、溶接部が、この平面内に存在しなければならない。この検査は、ロボットの腕の上下、旋回と視覚処理装置の連けい動作によって行われる。パイプサポータのワークのせ台はV字形をしており、ワークがこの上にのせられた時の下端点は2種のワークに対する共通点a(図12参照)があらかじめa点としてロボットに教えられている。姿勢検査開始の指令によ

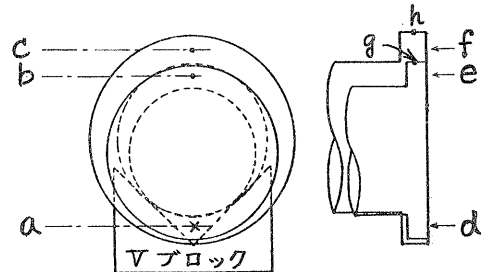


図12 姿勢検査点

り、腕の旋回が1パルス送りによって行われ、手首(ふり軸先端)に付けられたセンサがオンするまで旋回させられ、その角度(θ_1)が求められる。次に、ロボットの腕は、視覚処理装置の監視のもとに(図13参照)、e点あるいはf点までワークに応じて上昇させられる。ここで、E-TVカメラは、図1に示しているようにロボットの胴

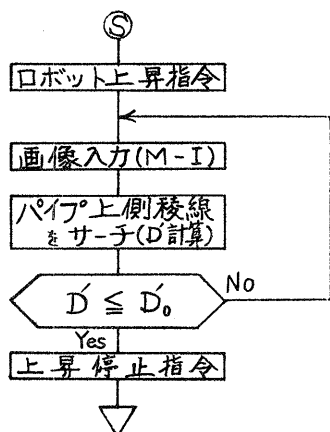


図13 姿勢検査フロー

体部に固定されているため、この監視動作中の画像は、形状が一定のまま下方へ移動するのみである。したがって、最初に形状の把握を行えば、次の画像入力からのパイプ上側稜線のサーチは非常に容易になる。ワークに対する点 e , f はパラメータとして与えることができるので、ロボットに上昇停止の指令を出すために必要な処理時間は数mSec程度である。またロボットの腕の上昇は、ロボットにより管理されたパルス送りによって行なわれているため、姿勢検査の精度は、視覚処理装置による停止精度には影響を受けない。停止指令がフランジ端 g あるいは h (図12)を越えた点にならなければよい。

ロボットはその上昇距離をパルスのカウント数により算出(ΔZ)し、その値を正確に求めることができる。ここで、再度腕の旋回を行い、その旋回角度(θ_2)が求められる。フランジの垂直度は、

$$\eta = (\theta_1 - \theta_2) / \Delta Z$$

により評価される。 η が許容範囲内であれば次作業へ移る。もし許容範囲に入っていない場合は異常通知が出され、次作業は中止される。

(4) 溶接トーチの設定

作業条件の確認が終了すると、トーチの設定が行われる。トーチ設定開始時には、マスタコントローラからの指令により、ロボットの腕は、あらかじめ教えられた準備位置に待期している。先に示した図9に見られるような状態となっている。溶接点に対するトーチの位置は、溶接対象あるいは溶接電流、溶接電圧、溶接速度といった溶接条件からも異なってくる。本システムで用いた溶接機、およびワークに対するトーチの設定条件は、図14に示している d_1 , d_2 につき

$$d_1 = d_2 = 5 \pm 0.5 \text{ mm}$$

である。

すでにワークは、安全領域に入っていることは確認されているので、まずパイプ稜線側へのトーチの設定が行われる。この時、画像入力はM-IIとし、縦精度をアップしたデータとして得ている。設定方法の概略フローを図15に示している。ロボットに対し下降指令を出し、画像データのとりこみを開始する。得られたデータから、まず、トーチの先端 a (図14)をサーチする。これは、ITVカメラがロボット上に固定されているので、トーチとカメラの関係はほぼ一定であるため、比較的容易に発見できる。つぎに、点 a を始点として垂直方向にデータをスキ

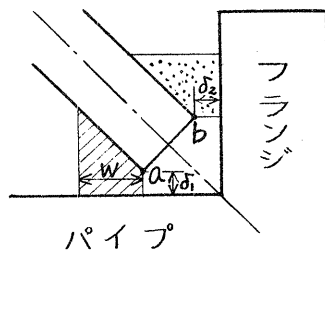


図14 ワークとトーチのズル

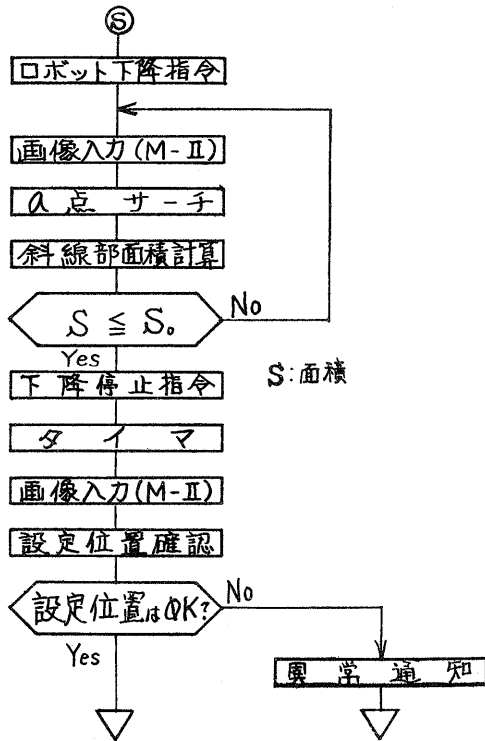


図15 トーチ設定フロー

ヤンレ、パイプの上稜線とトーチとによって囲まれる部分—図14中に斜線で示した部分—の面積を求める。スキャンの幅はあらかじめ設定しておく。ロボットの腕が下降するにつれ、斜線で示された部分の面積は小さくなっていく。この値と所定の値とを比較し、下降停止指令が出される。この設定動作中の腕の下降速度は、設定精度に影響を与えることになるが、ここでは、約30mm/Secで行っている。停止指令を出した後、適当な時限をとって画像をよみとり、設定位置を確認している。

パイプ稜線へのトーチの設定が終了すると、次に、フランジ端面側への設定が行われる。M-IIIにより、横方向の精度をアップした画像データの入力を行ない、パイプ稜線への設定と同一の方法でフランジ端面への設定がなされる。パイプサポータに微速走行(

約30mm/Sec)指令を出す。画像データをとりにみb点(図14)をサーチし、斑点部分の面積を求める。その値より判定して、パイプサポータに走行停止指令が出される。完全停止後に設定位置の確認が行われる。

以上二つの動作により溶接トーチがワークに対して設定される。これらの動作は、対象ワークの大きさが変化した場合でも何ら変わるところはない。

また、このトーチのパイプ稜線への設定時のデータから、溶接軌跡に必要なワークの直径が容易に得られる。すなわち、パイプサポータ上のVブロック(図12参照)の高さは既知である。一方腕の下降は、(3)の姿勢検査時と同様に、ロボットの管理によって行われている。したがって、その移動距離は、位置パルスのカウント値により知られる。これら二つの値の単純な演算から求められる。

5. 結 果

本モデルラインの写真を図16に示している。パイプストック上のワークの配列状況を示しているのが図17である。ワークは径に関してまったくランダムに置かれており、また、パイプストックとフランジ端面の相対的な位置もランダムにみかれている。

ワークの変更に対する指示、あるいは

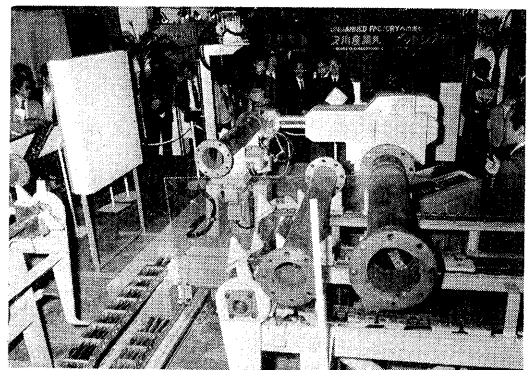


図16 実験モデルライン

は、段取替え作業等を一切人手によって行うことなく運転し、自動溶接した結果のワークを図18に示している。

ワークの粗位置決め—パイプサポータ停止時のフランジ端面の位置—は、バラツキ幅が10mm程度、トーチの設定に関しても、先に示した値内に設定することができた。これは、ITVカメラをロボットの胴体に固定したことにより、視野の対象は、ロボットとの相対位置関係のデータとしてとらえられていること、対象像の水平、垂直のエッジが本来明確なものであること、入力データが正確に得られていること、等により実現できたと思われる。

既述したような、視覚情報の処理装置、およびその機能により、当初意図した自動化の目的は略達成できたといえる。

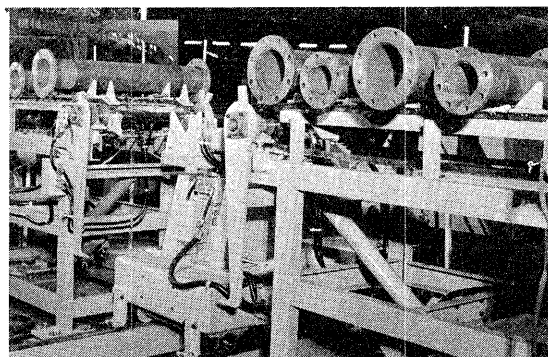


図17 パイプストツカエのワーク

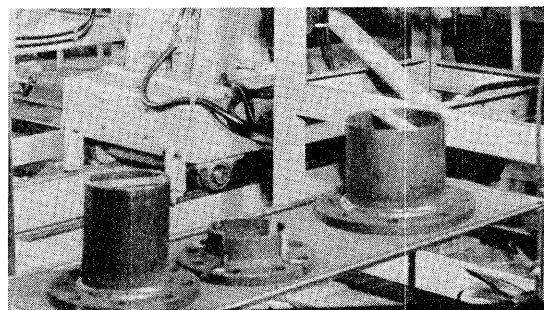


図18 完成ワークの外観

6. むすび

パイプ加工システムに例をとったモデルラインではあるが、従来困難であると考えられていた多品種少量生産ラインの自動化に対する、一つの解決方法を示すことができたと考える。

しかし、本システムにおいては、その構成上いくつかの仮定を置いている。例えば、ワークの姿勢検査を2次元的にしか行っていないのもその一つである。現実の工場のラインに適用する場合には、これらのことをさらに具体的に検討しなければならないであろう。また、対象ワークの形状がさらに複雑になった場合、あるいはより複雑な背景においてしか画像データが得られない場合の画像処理の方法の検討は、今後に残された課題である。

参考文献

- 1). 和久井孝太郎: "ITVカメラ" 1973 日本放送出版協会 P1~P40
- 2). 香月健一郎他: "自動シャフト加工ライン" 安川電機 No.3, 1974 P459~P472
- 3). 久良, 白井: "3次元領域法による物体の認識" 電線研索 No.37 1973, P996~P1012
- 4). 壺井他: "手先に視覚をもったロボットにおける精位置決め" 昭48, 電学全国大会 No.1359
- 5). 依田他: "視覚による物体形状選別装置の試作" 昭48, 信学全国大会 P.1164