

視覚付き双腕ロボット

Dual Arm Robots with Vision

自動化が進むVTRメカニズム組立工程の中で、人手の残された姿勢の不安定な部品の組付け自動化を図るため、部品の姿勢を視覚認識し、2台のロボットにより他の部品と同時に組み付ける視覚付き双腕ロボットを開発した。背景とのコントラストが不十分な部品の姿勢を認識するため、ウインドウを設けて個別に抽出した部分パターンの位置関係から、部品全体の姿勢を認識する方式を開発した。また、ロボットの動作中の交信と経路選択により、むだ時間を生じない双腕ロボットの動作同期化方式を開発した。これらの技術を用いたロボットシステムを、ラインタクト3.9秒の高速なVTRメカニズム組立てラインでリンク構造部品の組付けに適用し、実用性を確認した。

河野通長* *Michinaga Kôno*宮川 晃* *Akira Miyakawa*西田良枝* *Yoshie Nishida*網谷 茂** *Shigeru Amiya*

1 緒 言

家庭用VTR(ビデオテープレコーダ)などの大量生産エレクトロメカニズム製品は、従来から生産性を考慮した製品設計が行なわれ、また、生産自動化の投資効果が大きいため、組立工程を中心に生産ラインの自動化が進んでいる。特に近年、顧客の好みの多様化に伴う製品の短サイクル化に対応して、産業用ロボットを用いたフレキシブルな組立てラインが次々と開発されている。更にこれらのラインでは、ロボットの性能向上やさまざまな組立自動化ノウハウの蓄積によって、工程自動化率が向上するとともに、動作サイクル時間の短縮が進んでいる¹⁾。

しかし、リンク構造の部分組立部品のような姿勢の不安定な部品や、これらと組み合わされる部品の組付けは自動化が困難なため人手に頼っていた。組立てラインのサイクル時間の短縮に伴い作業への負担も増加するため、これらの作業を自動化して、組立てラインを完全自動化する要請が強まってきた。

そこで、これらの姿勢の不安定な部品の組付け自動化を目的とした視覚付き双腕ロボットを開発し、VTR機構部組立てラインで複雑な組立作業の自動化を実現した。

2 技術課題とシステム構成

従来、人手で組み付けられていた部品の例を図1に示す。ロードリンクは、カセットからテープを引き出してシリンダに巻き付けるガイドローラをシャシ上の溝に沿って動かす機能をもっている。この部品は2箇所のヒンジで3個の部材を結合したリンク構造品であり、各リンクが自由に動くため部品全体の姿勢が不安定である。ロードリンクは、駆動節となる本体部の孔をシャシの駆動軸に挿入し、各リンクに設けたピンや孔をシャシ上の溝に合わせ、更にリンク先端の孔にガイドローラの突起を組み合わせるため、同図に示すような姿勢を維持してシャシに組み付ける必要がある。しかし、部品の姿勢が不安定なため、組立てステーションに部品を供給する際にマガジンの中で姿勢が変化して、ロボットによって取り出すことができなくなったり、いったんシャシ上に組み付けられた後に、シャシの移動中の振動のために先端リンクの位置が変化し、ガイドローラの組付けができなくなる。

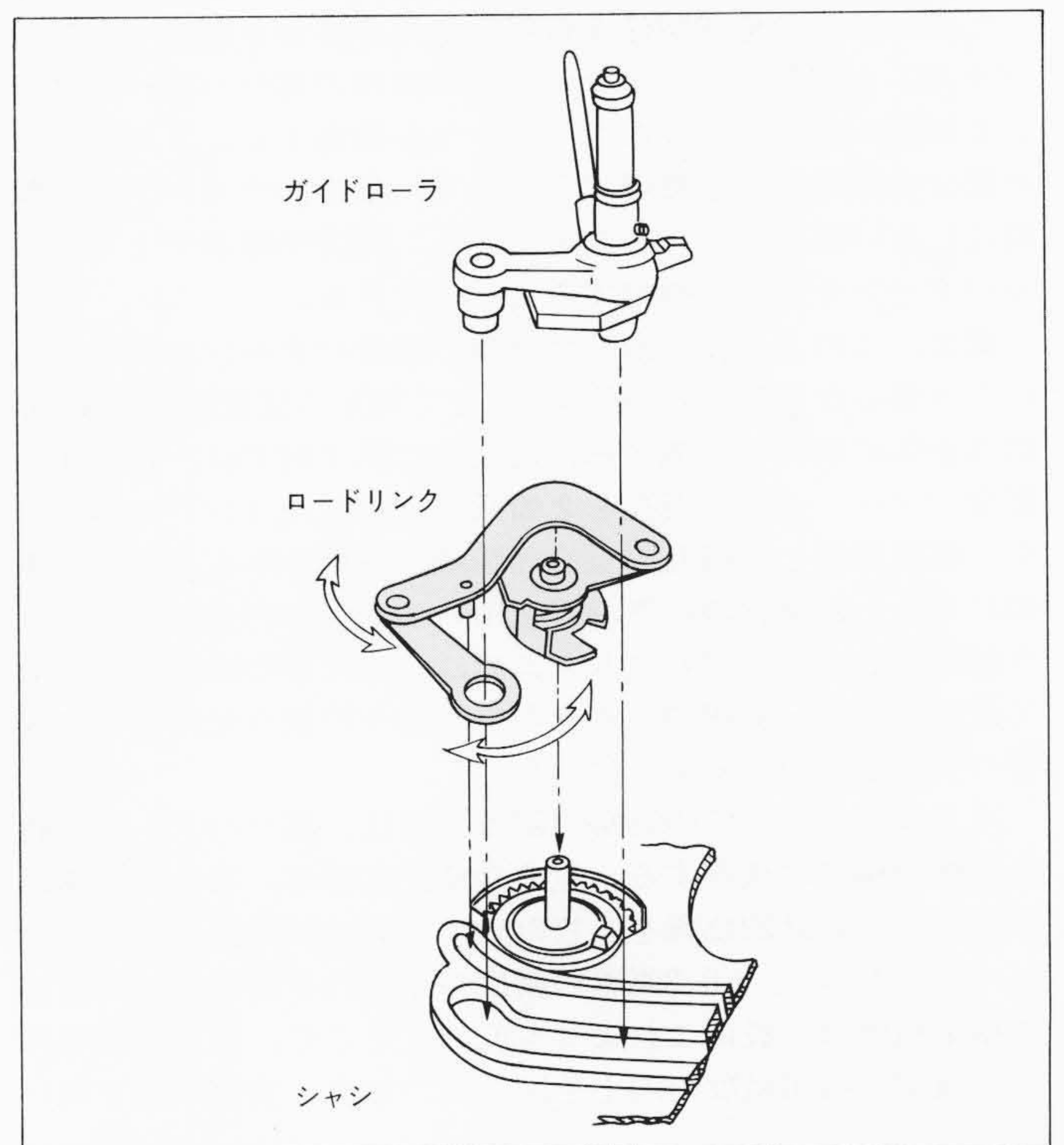


図1 組付け自動化の困難な部品例 VTRメカニズムに用いられるロードリンクは、リンク構造のため姿勢が不安定で、これと組み合わされるガイドローラとともに従来人手で組み付けられていた。

そこで、視覚装置と2台の組立てロボットから成る組立てステーションを構成し、マガジンで供給されたロードリンクの姿勢を視覚で認識し、1台のロボットでこれを把持し、他のロボットに把持されたガイドローラと同時にシャシに組み付けて姿勢を固定する、視覚付き双腕ロボットシステムを開発した。ここでの技術課題は、視覚認識処理と双腕ロボットの動作制御に関し、各々以下の点が挙げられる。

視覚装置の認識対象のロードリンクを収容したマガジンは、部品の姿勢を保持するための凹凸を備えており、それらの陰

* 日立製作所生産技術研究所 ** 日立製作所東海工場

影のため部品全体の輪郭の抽出が困難である。そこで、このような背景とのコントラストが不十分な部品の姿勢を認識する画像処理技術を開発する必要がある。また、VTRのような量産家庭電気製品の組立てラインの高速化に対応するため、組立てロボットの動作時間を最短にする努力が進められてきており、本システムでも2台のロボットを他のステーションと同様に高速に動作させて、同期をとる制御方式の開発が必要である。

3 視覚による部品姿勢の認識

従来、部品姿勢の認識に広く用いられてきた2値画像処理アルゴリズムは、安定に2値化できることと、部品全体の輪郭が抽出できることが制約条件である。しかし、今回認識の対象とするロードリンクは、図2(a)に示すようにマガジンの凹凸のため背景とのコントラストが全体に均等でなく、従来の方法と同様に全体を一つのしきい値で2値化すると同図(b)に示すように輪郭が抽出できなくなる。そこで部品に含まれる円や直線などの単純な形状に着目し、これらを個別に安定して抽出しその位置関係から部品全体の姿勢を認識するアルゴリズムを開発した。すなわち、画面内の部分パターンに対して同図(b)に示すようなウィンドウを設定する。これは、この部分の画像だけを処理するもので、各々のウィンドウに個別にしきい値を設定することにより、同図(c)に示すように部分パターンを安定に抽出することができる。

更に、このように抽出した複数の部分パターンを用い、それらの重心などの特徴を組み合わせて相互の位置関係を求め、部品全体の姿勢を認識する。同図(d)に示す例では、抽出する部分パターンとして円孔を2箇所と直線状のリンクのエッジを1箇所選択し、円孔の重心間距離、各重心からエッジの直線に下ろした垂線の長さなどを用いて姿勢を判定している。今回開発した認識アルゴリズムでは、これらのほか特徴として慣性主軸や2直線の交点を用い、種々の組合せによって姿勢の判定を行なえるようにした。

本アルゴリズムでの姿勢の認識精度は、部分パターンの特徴の検出精度に依存する。重心や慣性主軸は、これらを求める演算中に統計的処理を含むため、256×256画素の画像に対して±0.2ないし±0.3画素の精度が得られるのに対し、直線の抽出精度は一般にこれよりも低い。そこで、以下の処理により直線の抽出精度の向上を図った。まず、多値画像を用い

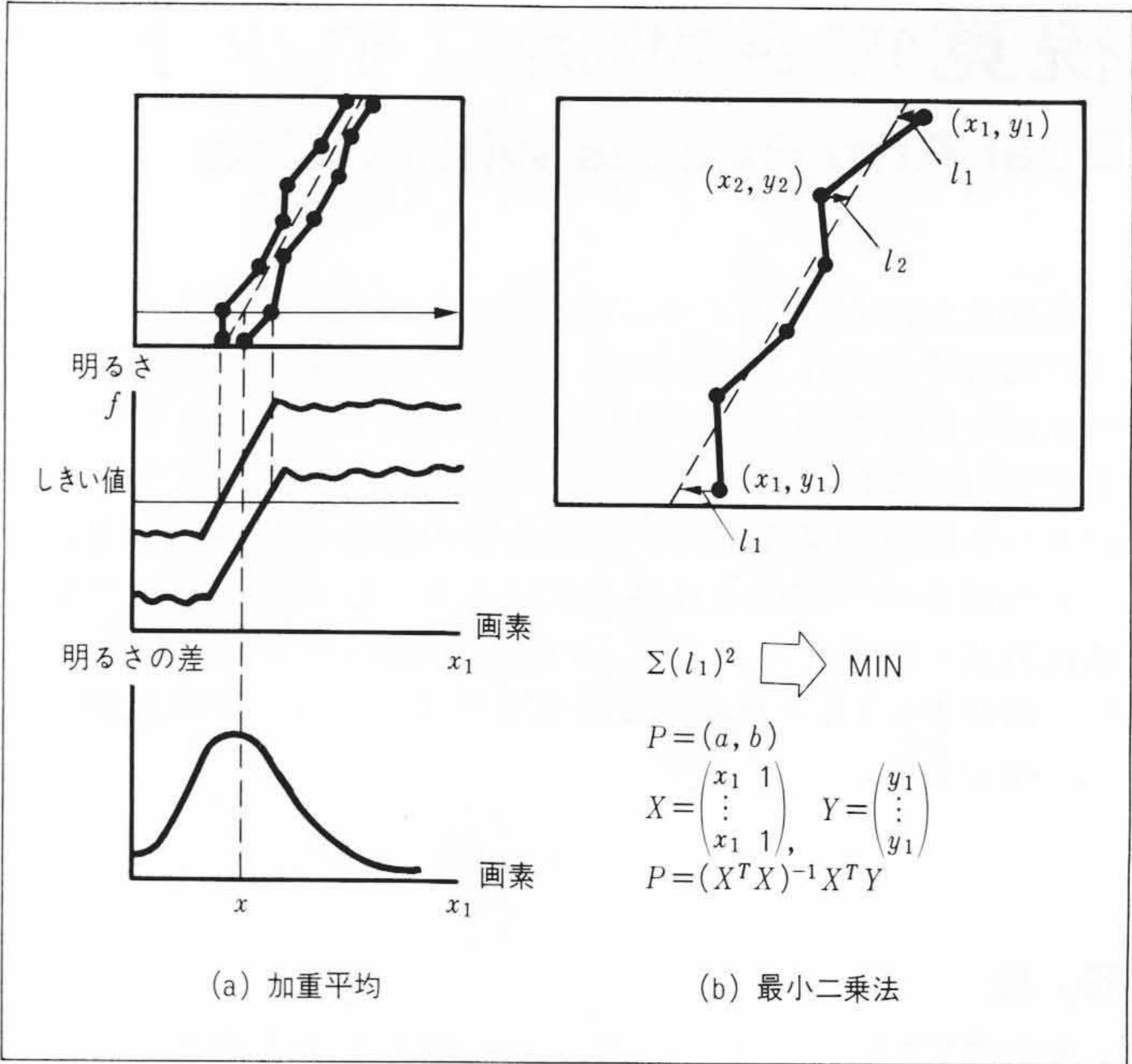


図3 直線抽出精度の向上 直線抽出処理に統計的手法を導入することにより、重心の演算と同等の精度が得られる。

て図3(a)に示すように走査線上の明るさの変化を検出し、変化が最大になる箇所を次式に示す加重平均によって求める。

$$X = \frac{\sum X_i (f_i - f_{i-1})}{\sum (f_i - f_{i-1})}$$

- ここに X : エッジの候補点のX座標値
- X_i : i 列目の画素のX座標値
- f_i : i 列目の画素の明るさ

これにより、全体の明るさが変化しても抽出されるエッジの位置が安定する。このようにしてエッジの候補点を定めた後、図3(b)に示すように最小二乗法により各点からの誤差が最小となる直線を求める。以上のように直線抽出に統計的処理を導入することによって、重心と同程度の精度が得られた。

今回開発したロボットシステムでは、以上の認識アルゴリズムをパッケージ化して日立製作所のロボット視覚用小形画像処理装置HV/R-1に搭載した^{2),3)}。パッケージは、教示、認識テスト、自動認識、ユーティリティの各モードから構成さ

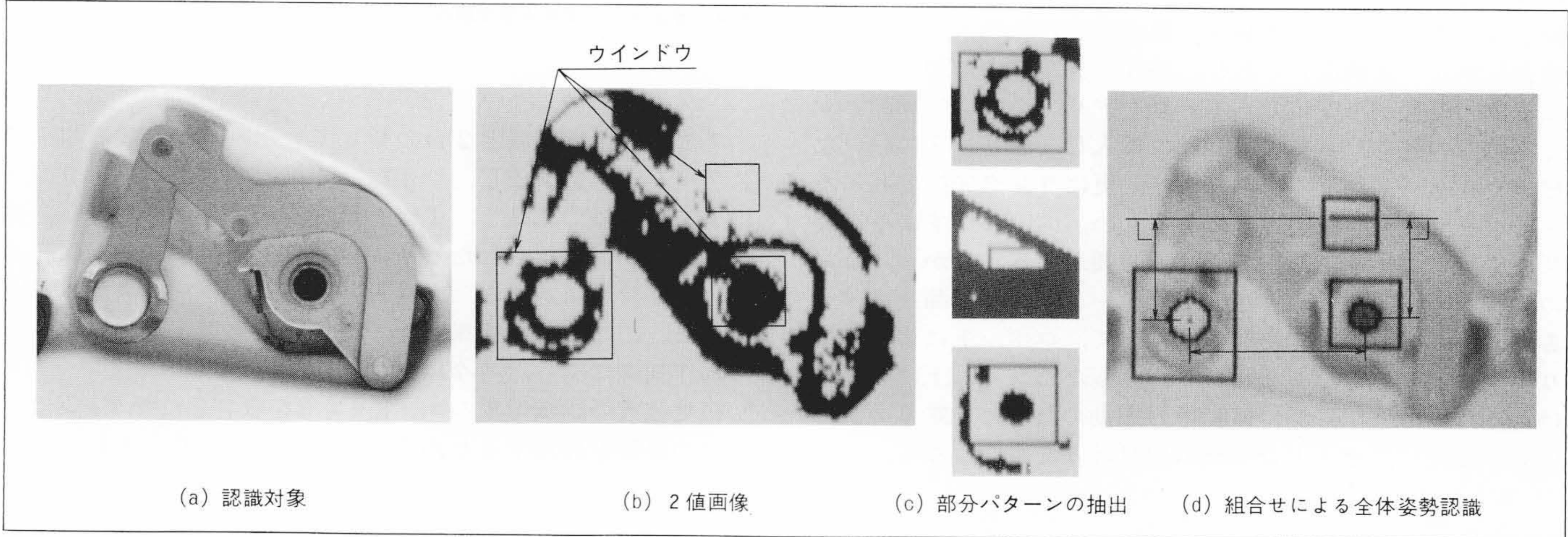


図2 視覚認識アルゴリズム 部品全体の輪郭抽出が困難なため、ウィンドウを設けて個別に抽出した部分パターンの位置関係から全体の姿勢を認識する。

れ、ウインドウの設定などの操作はモニタ画面上に表示されるメニューに従って行なえる。

4 双腕ロボットの動作同期化

従来、2台のロボットを同期して用いる場合には、コンベヤなどとの同期に用いるはん(汎)用入出力ポートを介してロボット同士を結合し、相互にインタロックをかける方式が広く用いられていた。この方式では、ロボットは同期をとる点でいったん停止して同期信号を交信した後、再び起動するため、動作の中断、加減速によるむだ時間を生じ、またはん(汎)用入出力は一般にリレー出力を用いるため信号の伝送遅れ時間が発生し、高速の組立てラインでの双腕ロボットの同期制御には適していない。

一方、ロボット制御装置を密結合して相手ロボットの位置を実時間で把握しながらロボットを制御する協調制御方式の研究例など⁴⁾が紹介されているが、高機能な制御装置を要する研究レベルのもので実用システムへの適用は困難である。そこで本システムでは、市販のロボット制御装置を応用し、以下に述べる同期化方式を開発して実用化した。

開発した同期化方式の概要を図4に示す。本方式の第一の特徴は、ロボット制御装置に通信制御プロセッサを設け、ロボットの動作制御と通信制御とを分担し、ロボットの移動中の交信を可能にした点にある。第二の特徴は、上記の交信に基づく経路選択である。すなわち、ロボットの動作命令を先行して処理し、二つの動作を順次実行する折線状の経路と、二つの動作を円滑に結んだ経路の両方のデータをあらかじめ演算し、動作中の交信により相手側のロボットの状態を判定して、どちらかの経路を選択する。図4で2台のロボットがA3、B3の点で同期を取り下降する動作を例にとると、従来方式では各ロボットはこれらの点でいったん停止をする。本方式では、例えばロボットBが遅れている場合、ロボットAは分岐点に達したとき相手側がB1を通過した信号を受けていないので、直進経路を選択してA3に至って待機する。一方、ロボットBは分岐点B2で相手側がA1を通過した信号を受けており、円滑経路を選択してB4に向かう。このとき、ロボットA

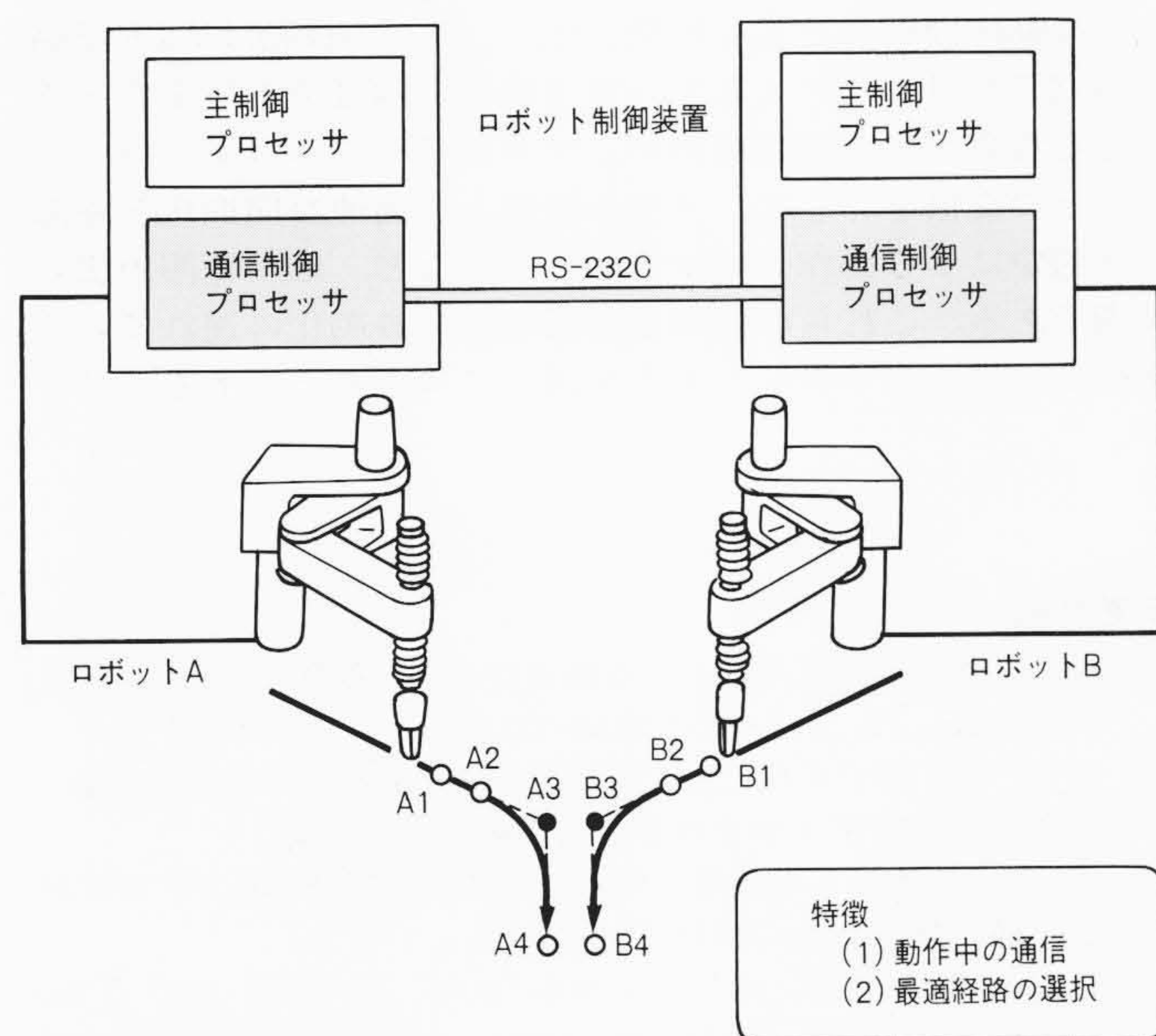
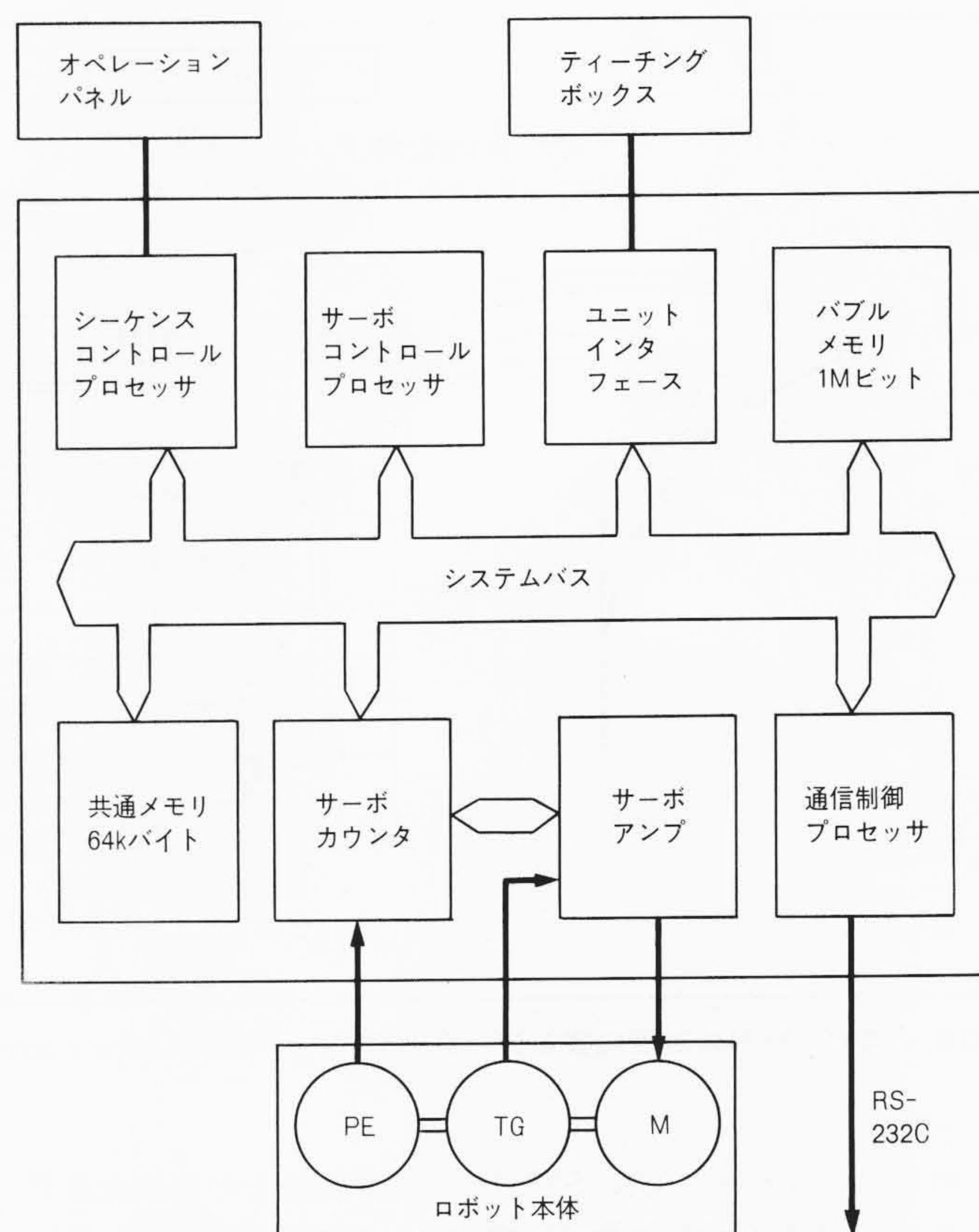


図4 開発した同期化方式 動作中の交信と経路選択により、ロボットを停止させずに同期をとることが可能となった。



注：略語説明 PE(パルスエンコーダ), TG(タコジェネレータ), M(電動機)

図5 ロボット制御装置の構成 従来の制御装置のシーケンスコントロールプロセッサとサーボコントロールプロセッサに通信制御プロセッサを加え、3プロセッサ構成とした。

はロボットBがB1を通過した信号によってA3からA4に向けて起動し、ロボットBを停止することなく動作のずれを補正し、同期した動作を実現することができる。

以上の制御方式を実行するための制御装置の構成を図5に示す。日立製作所の組立てロボット制御装置に通信制御プロセッサを加えた3プロセッサ構成となっており、通信は直列インタフェースRS-232Cを介している。

図6に上記の同期化制御を実行するための具体的処理内容とデータ構造を示す。サーボバッファにはサンプリングサイクルごとにサーボプロセッサによって処理されるロボットの動作経路上の目標位置データ(各軸のエンコーダカウンタ値)が収納されている。今回、サーボバッファのフラグ部にステータス(ロボットの動作状態を示すデータ)送信フラグ、ステータス監視フラグ、経路フラグ及びステータスコードを新たに付加した。ロボットが移動してステータス送信フラグの立てられた目標位置に達すると、サーボプロセッサは通常のサーボ処理に続いてステータスコードを共通メモリの所定アドレスに書き込む処理を実行して次のサンプリングに移る。また、監視フラグの立てられた箇所では、サーボデータのステータスコードと共通メモリの所定アドレスのデータの比較を行なって、次の動作を決定する。一方、通信制御プロセッサは、サーボプロセッサとは独立のサンプリング周期で共通メモリの内容を相手側のロボットへ送信する処理を繰り返し、これによりロボットの動作制御と交信とを並列処理できる。

また、経路分岐点(A2)以降のサーボバッファには折線経路

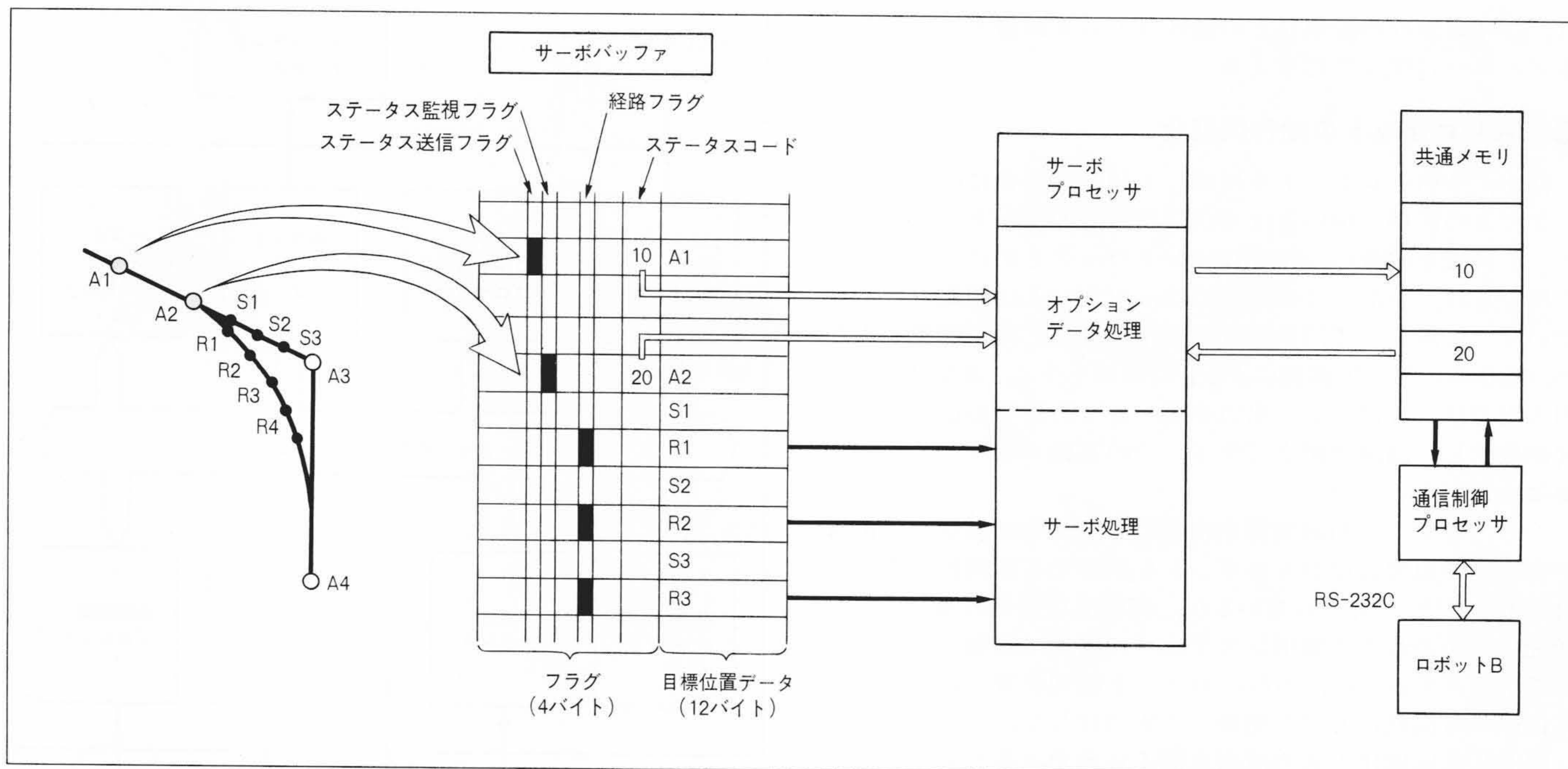


図6 同期化制御の処理内容とデータ構造 サーボ処理のサイクルの中で、ステータス送信と経路選択が実行される。

上の目標位置データ(S1, S2など)と円滑経路上の目標位置データ(R1, R2など)が交互に格納され、円滑経路上のデータには経路フラグが付されている。いま分岐点で上記のステータス送信に基づき相手ロボットの状態を判定した結果、円径経路を選択する場合にはサーボプロセッサは経路フラグの付いた目標位置データだけを選択的に処理し、これによりロボットを停止することなく経路の分岐が行なえる。

5 VTRメカニズム組立てラインへの適用

上記の視覚認識技術と双腕ロボットの動作同期化制御技術を用いた視覚付き双腕ロボットシステムを開発し、日立製作所の工場で行ったラインタクト3.9秒の高速なVTRメカニズム自動組立てラインに適用して効果を確認した。このような高速の組立てラインでは、ロボットのハンドリングエラーなどによる

不稼働時間の影響が大きい。部品姿勢をあらかじめ視覚で認識し不良姿勢の部品を避けることにより、システムの信頼性を向上している。また、開発したロボット制御方式により、同期化のための無駄な加減速・停止時間が生じないため、単体ロボットのステーションと同様な短サイクルタイムで二つの部品の組付けを実現している。

図7に双腕ロボットステーションの外観を示す。ロボットは、日立製作所製の水平関節形組立ロボットA4020(右腕形)と同左腕形とを左右対称に配置している。

6 結 言

姿勢の不安定なVTRメカニズム部品の組立自動化を目的として、部分パターンの組合せによる部品姿勢の視覚認識技術と、ロボット動作中の送信と経路選択による双腕ロボットの高速度動作同期化方式を開発した。これらの技術はVTR部品の組立てだけにとどまらず、電子機器の内部や基板上などの複雑な背景下での視覚認識や、プログラマブルコントローラなどとの送信を介して、多様な機器との高速度同期化と外部条件判定による動作分岐が可能になるなど、応用範囲の広い技術である。これらの技術を駆使して、自動化の遅れている総組立工程へのロボット導入を図ってゆく考えである。

参考文献

- 1) 松永, 外: 量産工場における組立ロボット応用システム, 日立評論, 65, 12, 847~852(昭58-12)
- 2) 西田, 外: 部分画像による高精度位置決めパッケージの開発, 昭和61年度精密工学会春季大会学術講演論文集
- 3) 秦, 外: ロボット視覚用小形画像処理装置“HV/R-1”, 日立評論, 66, 10, 735~740(昭59-10)
- 4) P. Dauchez, et al.: Co-ordinated Control of Two Cooperative Manipulators, Proc. of 15th International Symposium on Industrial Robots(15th ISIR), 641~648 (Sept. 1985)

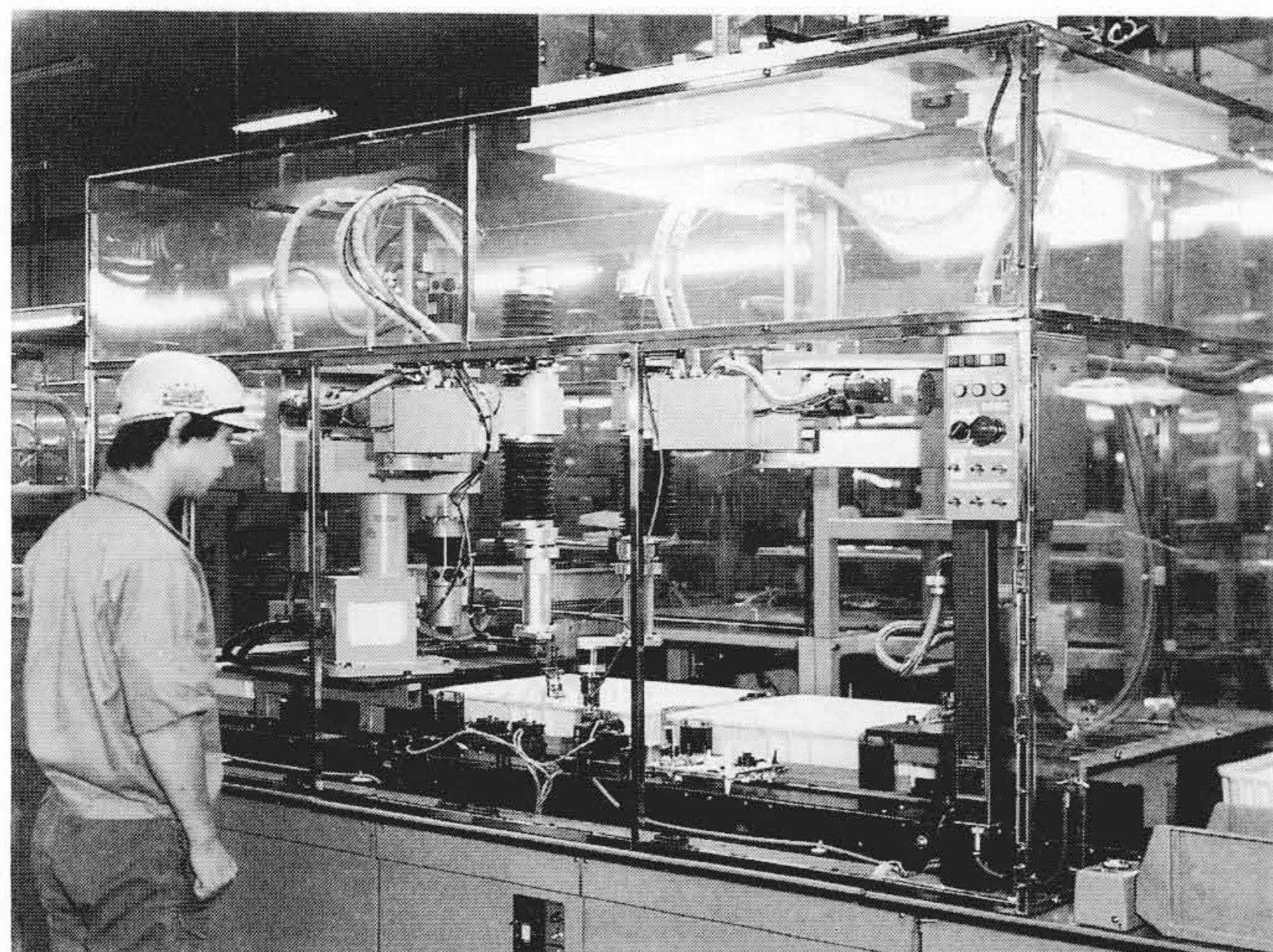


図7 ロボットステーションの外観 左右対称の水平関節形組立てロボットA4020を使用している様子。部品の姿勢を認識する視覚装置は、向かって右側のロボットの上方に設けられている。