U.D.C. 681.532′273.4:159.937.52/.54:681.323-181.48

高速高機能ロボットの基礎技術
―高速のパターン認識及び油圧サーボ機構―

Fundamental Technology of High-speed and Intelligent Robot
—High-speed Pattern Recognition & Oil Hydraulic Servo Mechanism—

宇野元雄* *Uno Motoo*
安江利一* *Yasue Toshikazu*
(故)泉　久** *Izumi Hisashi*

産業用ロボットは現在既に多方面に応用されているが，更に機能の高度化，高速化を図ることにより新たな分野への応用が期待できる。
本稿では，高速高機能ロボットの基礎技術として開発した高速パターン認識技術，高速油圧サーボ技術及びこれらの技術を応用したキャッチボールロボットについて述べる。キャッチボールロボットは，視覚装置，油圧サーボ機構及び制御用マイクロコンピュータから構成され，不規則に動くボールを視覚で追跡しハンドリングする機能と，従来の約5倍の速さで動く手により転がってくるボールを無衝撃で受け止める機能を持っている。これらの基礎技術は物流，荷役，及び生産工程の高度な自動化，省力化に広く応用することができる。

1 緒　言

産業用ロボットは今日多くの分野で活躍しているが，更に高機能化することにより，新たな応用が展開されるものと考えられる。機能的にみると，現在実用化されている産業用ロボットはまだ単機能の物が多く，その性能を十分発揮するには周囲の状況をロボットに適合するように変更する必要があり，しかも作業速度に対する不満が多いようである。したがって，将来期待される高度なロボットは，ある程度の状況変化に適応できるとともに，動作の速さが要求されるものと思われる。これらの機能を持つロボットを実現するためには，高精度化，高速化などのハードウェアの基礎技術の開発と制御ソフトウェアの充実とを積極的に押し進める必要がある。

以上述べたような観点から，特にロボットと対象物との相互関係で重要な働きをする感覚器及び操作器，すなわち目と手の高速性に着目し，高速パターン認識技術と高速油圧サーボ技術を開発した。また，これらをマイクロコンピュータ(以下，マイコンと略す)を介して結合することにより，目でボールを追跡し素早く受け取る機能を備えたキャッチボールロボットに応用した。日立製作所では従来より数多くの知能ロボットを開発してきたが[1]，パターン認識速度及び手の動作速度に着目して，これらを整理すると**図1**に示すようになる。今回開発したキャッチボールロボットは，ロボットの動作速度を大幅に向上するばかりでなく，従来のロボットが主として静的な対象物を扱っていたのに対し，動くボールという動的な対象物を扱う点に特徴がある。したがって，このロボットは外界の状況に応じ反射動作を行なうという，より人間に近い機能を持ち，将来の高機能ロボットの基礎技術の一つとして今後広い応用が期待できる。

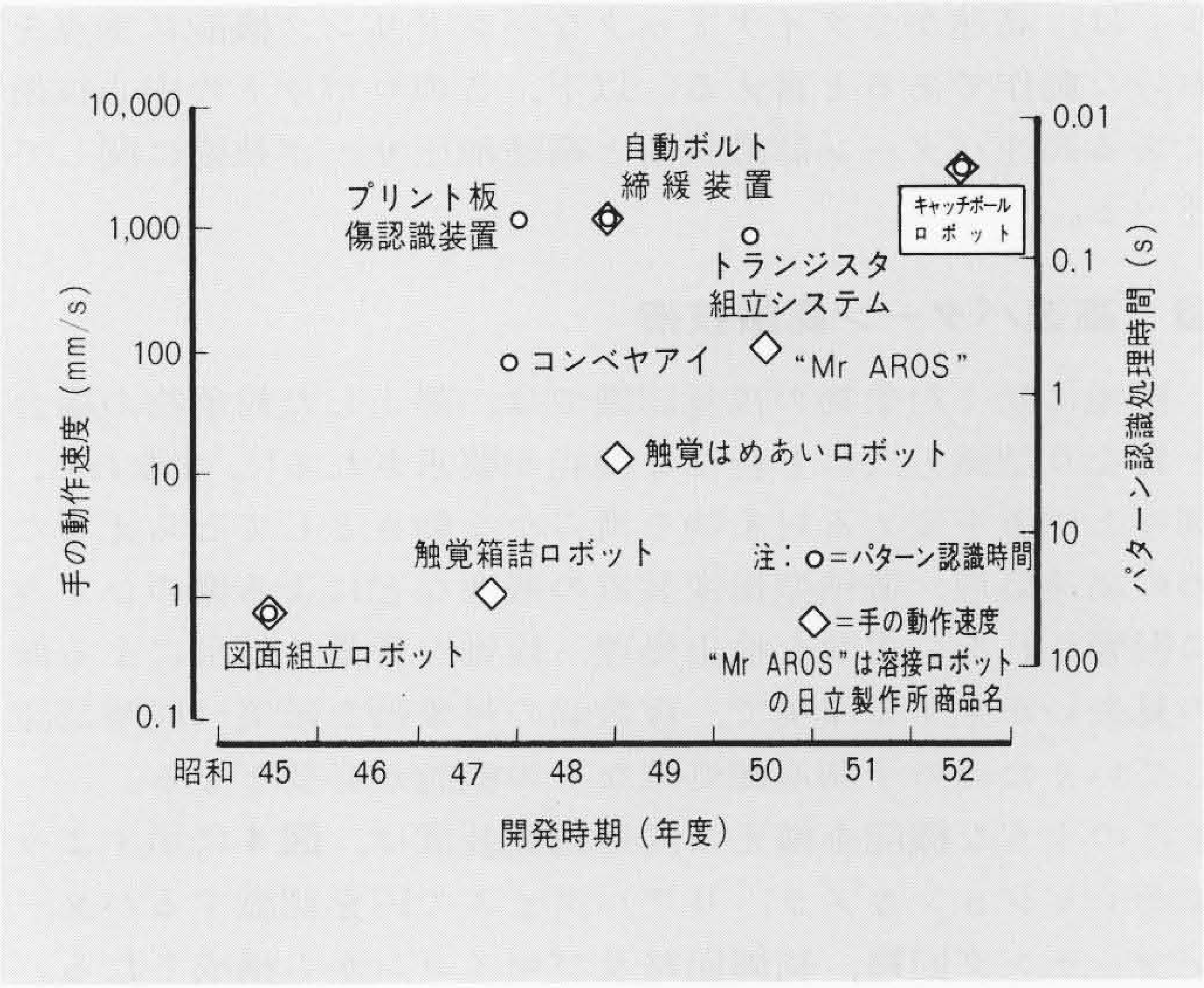

図1　ロボットの速度からみた技術開発の流れ　キャッチボールロボットは目と手の速度を向上すると同時に，動的な対象物を扱うことができるという特徴を持つ。

2 キャッチボールロボット

キャッチボールロボットは**図2**，**3**に示すような構成で，「クイックキャッチボール」と「ソフトキャッチボール」と呼ぶ2種類の動作を行なうことができる。「クイックキャッチボール」は，釘を打った斜面の上を転がり落ちる幾つかのボールの中から視覚装置が白いボールを識別して追跡を行ない，ハンドリング装置が落下地点で素早く受け取る動作である。従来は静止した対象物を認識しハンドリングしていたのに対し，複雑に動く物体を高速の目と手が協調してハンドリングする点に特徴がある。「ソフトキャッチボール」は，レールの上を勢いよく転がってくるボールを光センサで検出し，ハンドリング装置がボールの種類に関係なく無衝撃で受け止める動作である。従来のショックアブソーバで同様な動作を行なうには，衝突する物体の速度，重量などに応じ反力を調節しなければならないのに対し，この装置ではボールの速度に合わせ自動的に運動が制御されるため，ボールの種類，速度が異なっても，場合に応じ適切な緩衝能力を発揮する[2]。すなわち，「クイックキャッチボール」は，視覚とハンドリングの複合機能に重点をおいた動作であり，「ソフトキャッチボー

* 日立製作所中央研究所　** 日立製作所機械研究所

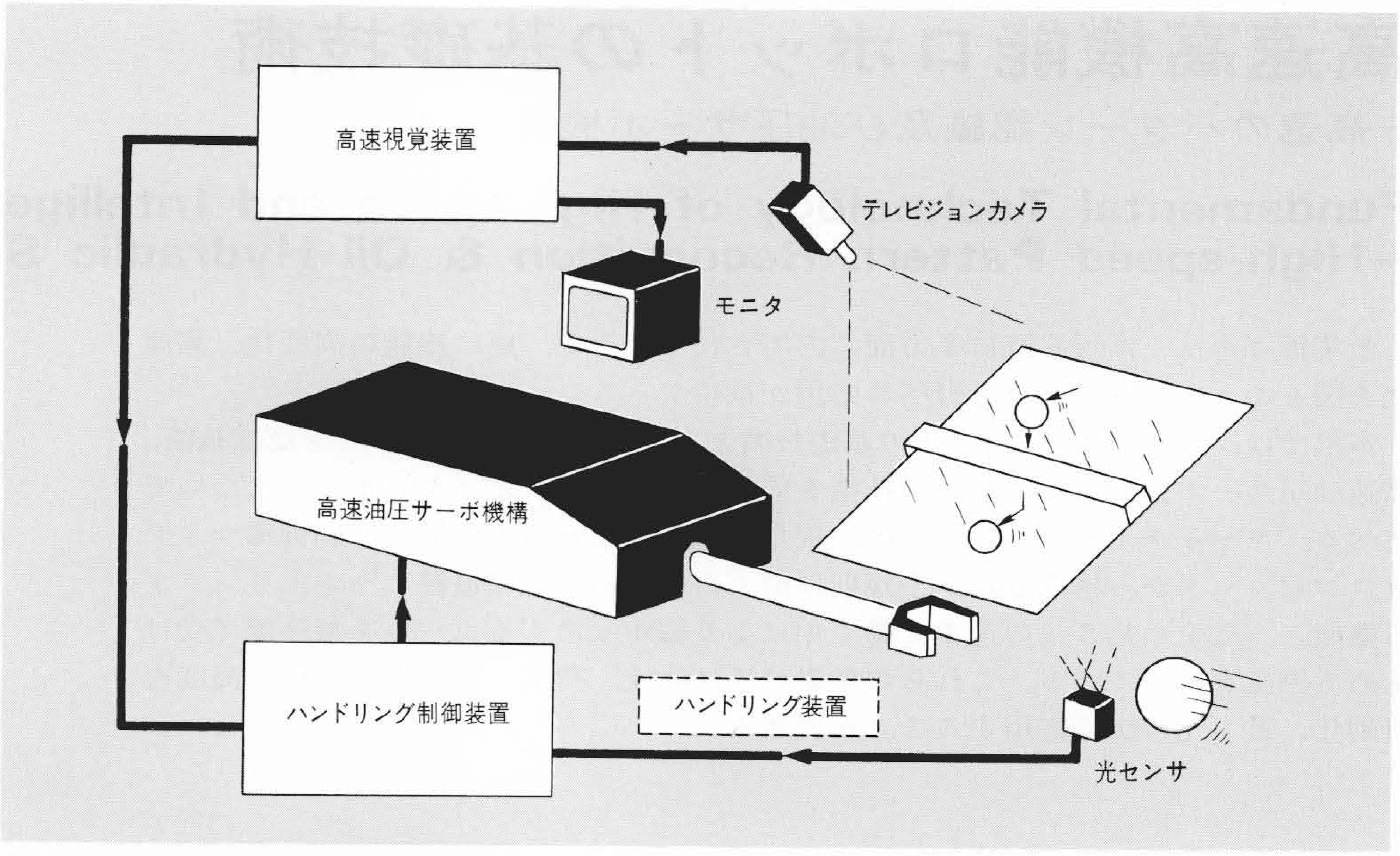

図2 キャッチボールロボットの構成 キャッチボールロボットは，高速視覚装置とハンドリング装置から構成され，それぞれのマイコン同士で結合されている。

ル」は，高速かつダイナミックなハンドリング機能に重点をおいた動作であると言える。以下，このロボットの中心技術である高速パターン認識技術と高速油圧サーボ技術に関して述べる。

3 高速パターン認識技術

複雑に動く対象物の視覚認識では，静止した対象物の場合と異なり認識方式にも新たな機能が要求される[3]。すなわち，刻々と位置を変える対象物を滑らかな動きとしてとらえるための高速処理，蓄積型撮像装置の残像などによる像のひずみに影響されない柔軟な検出処理，複雑な背景や外乱による像の見失いが生ずる環境で，複数個の対象物を確実に同時認識していくための予測追跡処理などの機能が必要となる。

このような機能を備えた高速視覚装置は，**図4**に示すようにテレビジョンカメラ，リアルタイムで円を認識するパターンマッチング回路，制御回路及びマイコンから構成される。テレビジョンカメラには比較的残像の少ないシリコンターゲットビジコン管を使用し，パターンマッチング回路は，このカメラから次々と送られる映像を二次元的な部分映像にいったん変換し，円パターンマッチング処理をリアルタイムで行なうことにより白いボールの認識を行なう。これによりテレビジョンカメラで一画面の走査を終える$\frac{1}{60}$秒後には視野内に存在するすべての白いボールの中心位置を求めることができる。一方，マイコンは以前の情報から次に動くと予測される位置を計算し，パターンマッチング回路で求められた位置情報との比較照合により確実な追跡を行なう。このとき，ソフトウェアでは**図5**に示すような「待ちモード」，「追跡モード」，「捜査モード」の3種類のモードを持ち，複数個のボールをそれぞれ独立に追跡する。例えば，視野中にボールがないときは「待ちモード」となりボールの進入方向に広範な領域を広げて進入を待ち，ボールが認識されると「追跡モード」となりボールの移動方向に小領域を設定して追跡を始める。更に，ボ

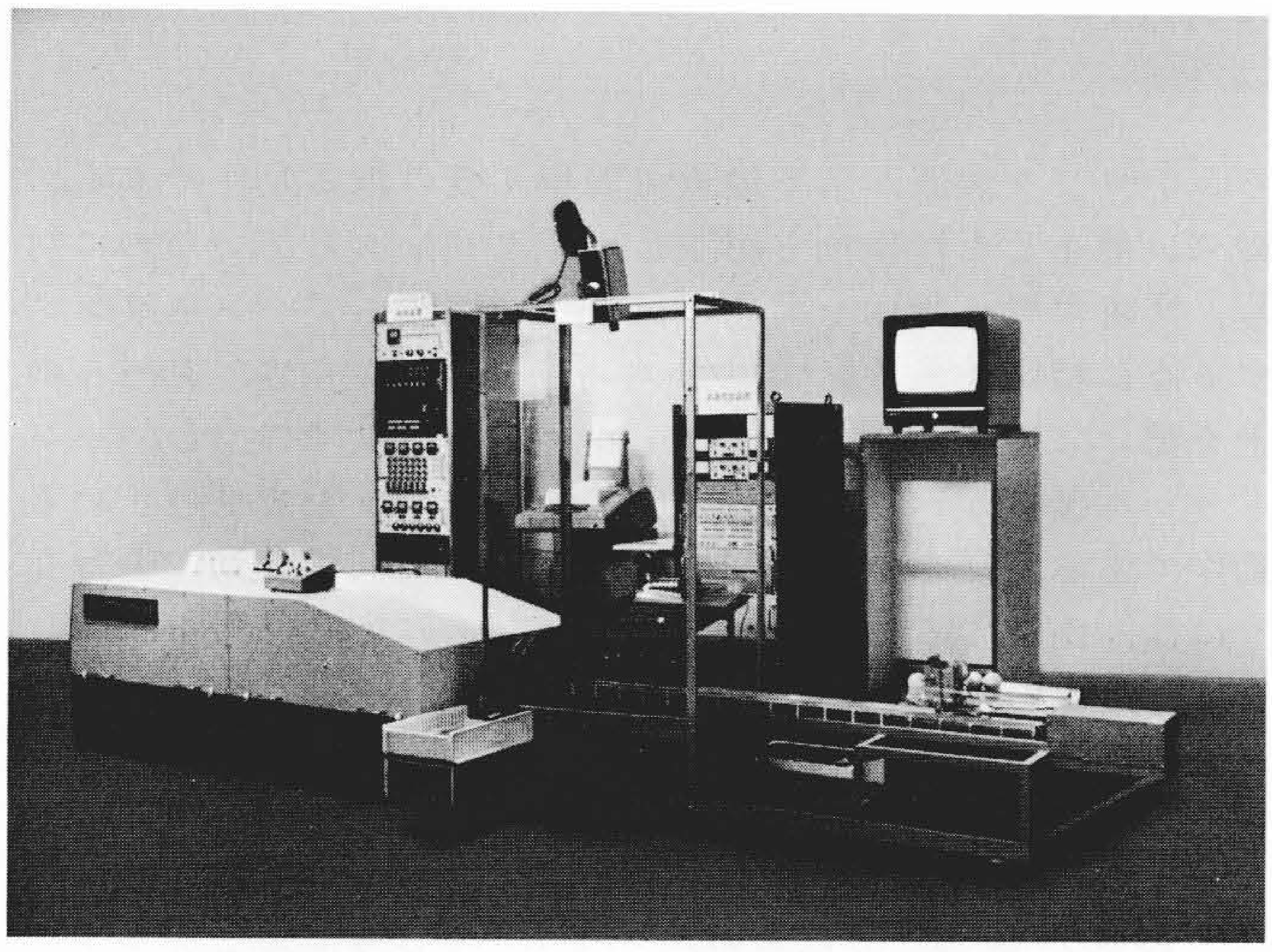

図3 キャッチボールロボットの全景 キャッチボールロボットは，釘を打った斜面から転がり落ちるボールを素早く受け取る「クイックキャッチボール」と，レールの上を勢いよく転がってくるボールを無衝撃で受け止める「ソフトキャッチボール」を行なうことができる。

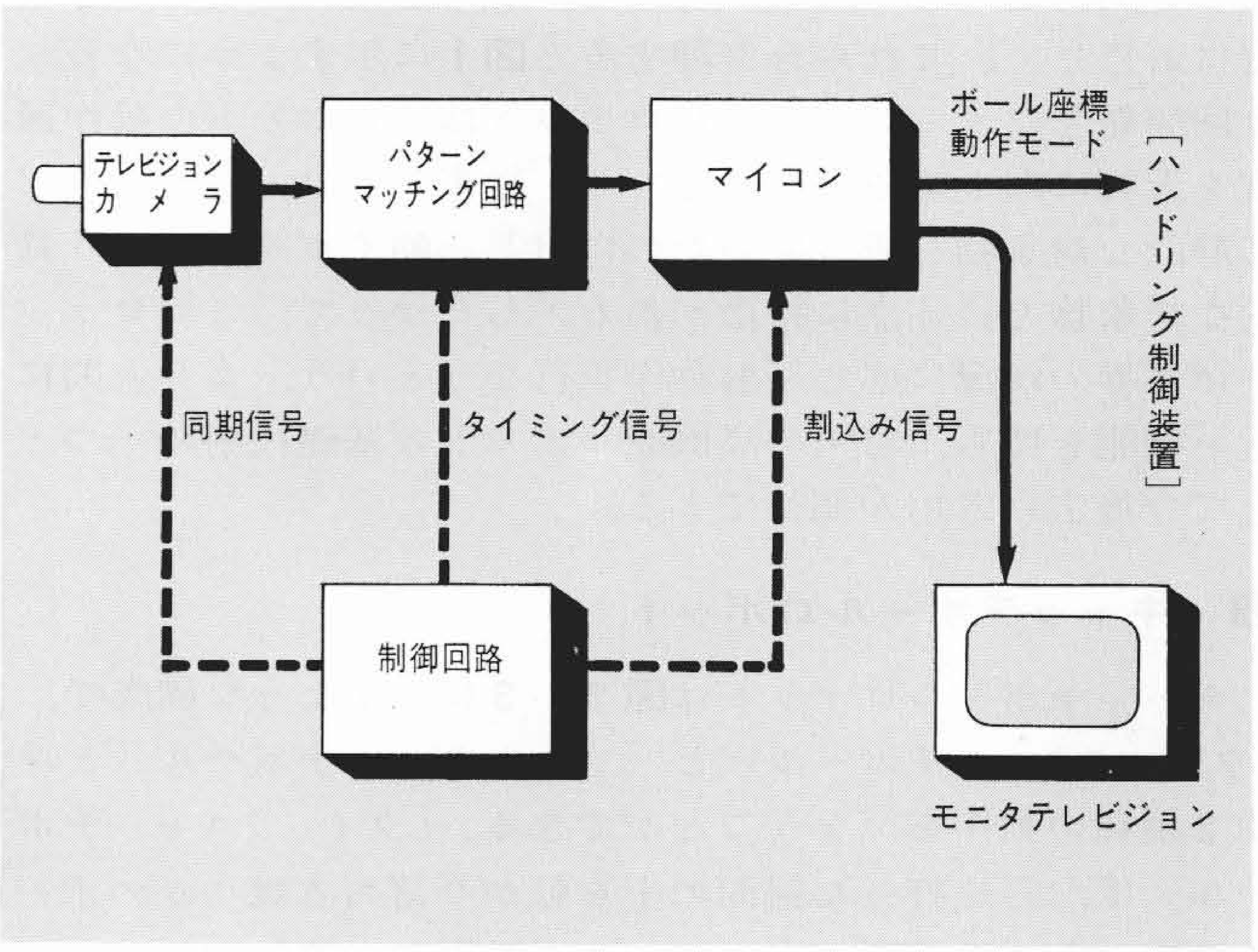

図4 高速視覚装置の構成 テレビジョンカメラより送られる映像信号は，パターンマッチング回路とマイコンによりリアルタイムで処理される。

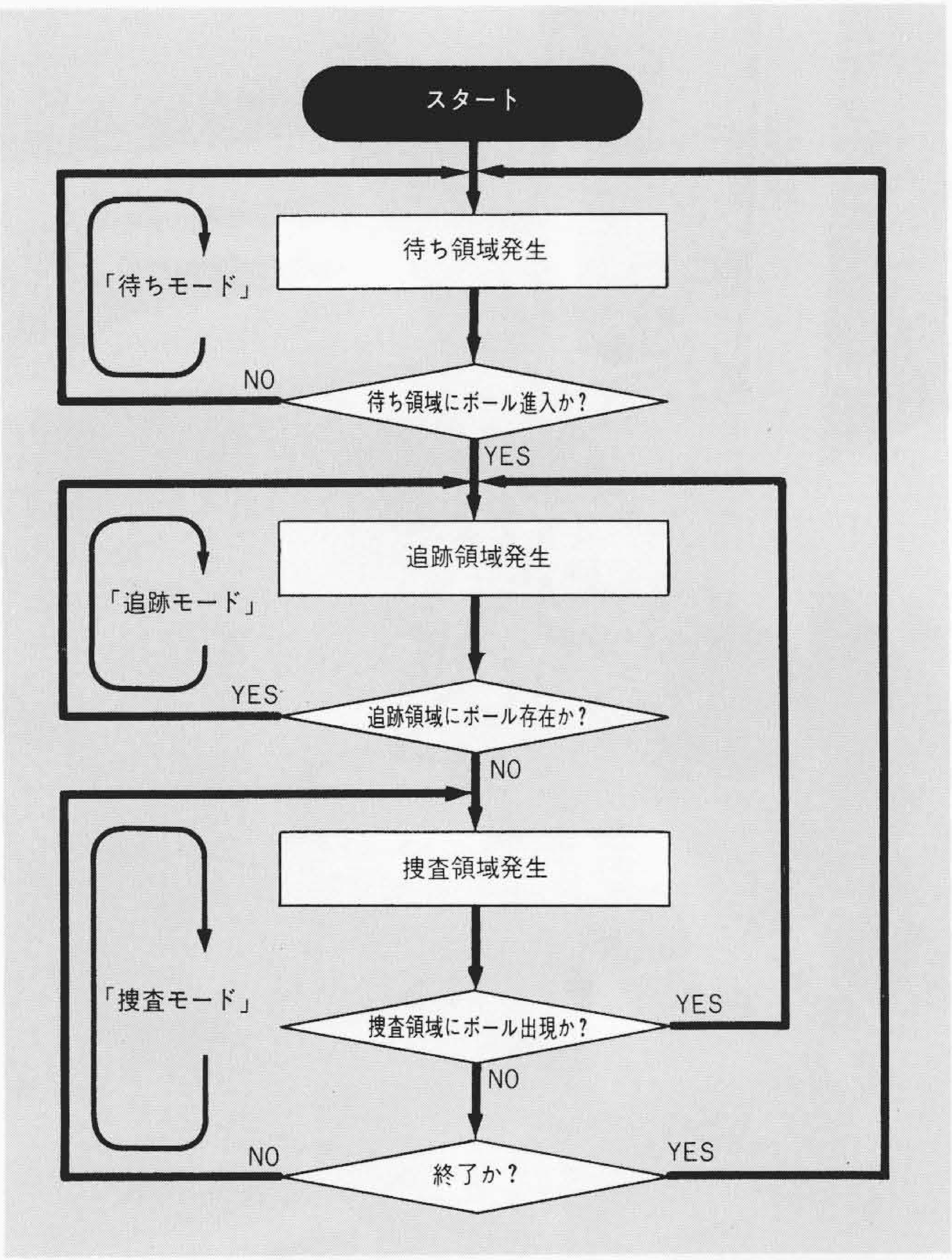

図5　追跡動作のフローチャート　視覚装置は，「待ちモード」「追跡モード」及び「捜査モード」の3種類のモードにより高速で確実な追跡を行なう。

ールが見失われると「捜査モード」に移り見失った位置から徐徐に領域を拡大してボールの出現を待つ。

以上のように高速なリアルタイム専用映像処理ハードウェア，マイコンのソフトウェア及びその協調技術により高速で確実な視覚処理が可能となった。

4　高速油圧サーボ技術

従来，油圧サーボ機構は比較的小形で大出力が容易に得られ位置決め精度も良いため，産業用ロボットの駆動機構として多く用いられてきた。しかし，その動作速度を大幅に向上させるには，機構及び制御の両面で幾つかの問題を解決しなければならない。すなわち，機構では高速化に対する潤滑及びシール機構，並びにセンサなどの耐久性及び信頼性の向上を行ない，要求性能に適合する機構要素の開発及び選択が必要となる。また，制御に関しては機構への負担が小さくなるような滑らかな運動制御を可能とするサーボ系の開発が必要となる。

高速油圧サーボ機構は，**図6**に示すように静圧軸受方式の油圧サーボシリンダを中心とする油圧系と，マイコンを中心とする制御系から構成される。油圧サーボシリンダは，日立製作所の精密加工技術により開発した静圧軸受方式を採用しており，可動部は50μm程度の油膜により支持されているため，摩擦摩耗は極めて少ない。また，この油圧シリンダは高速速度制御用の大流量サーボ弁と，精密位置決め用小流量サーボ弁の2台のサーボ弁により駆動される。一方，マイコンは視覚装置からの情報，センサ信号などを判断し，動作内容，移動速度，移動距離に応じて2台のサーボ弁をその目的に合わせ別個に制御する。例えば，「クイックキャッチボール」の場合は**図7**(a)に示すように，ボールが斜面の上を転がり落ちるに従い，視覚装置から$\frac{1}{60}$秒ごとに送られるボールの位置情報をもとにボールの軌跡の追跡あるいは落下点予測を行ない，速やかに手の位置決めをして，**図8**に示すようにボールを受け取る。「ソフトキャッチボール」の場合は，**図7**(b)に示す動作シーケンスに従い，手の前面約30cmの箇所に設けられたレール上の光センサによりボールの通過を検出し，その速度を計算することにより**図9**に示すようにタイミングよく手を加速し，ボールと接触した後，衝撃なく減速し，ストローク50cm以内で所定の位置に停止させる。

このようにマイコンを用い，機構及び制御のバランスのとれたサーボ系を構成することにより，最高速度5 m/s(従来の

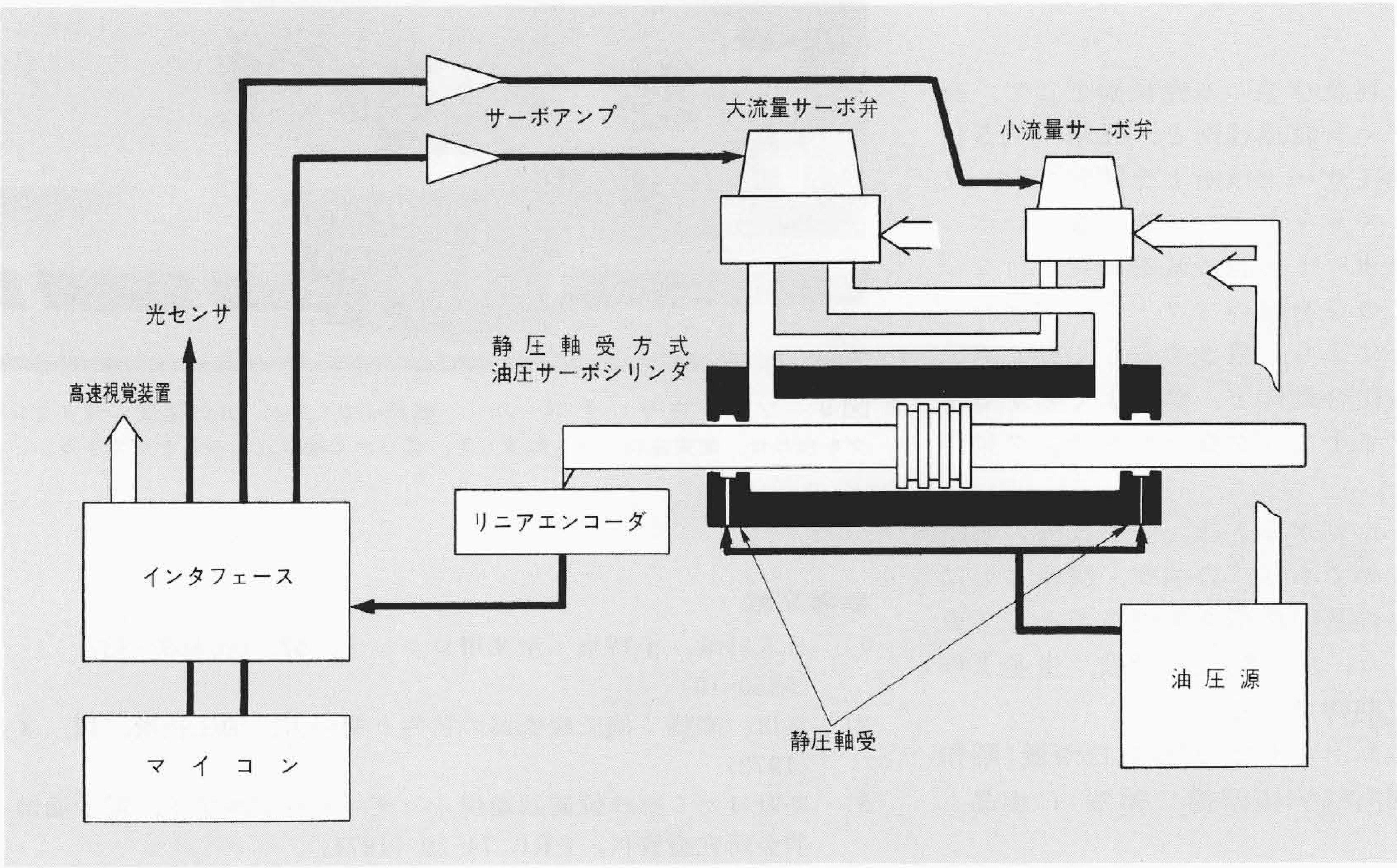

図6　高速油圧サーボ機構の構成　静圧軸受方式油圧サーボシリンダとマイコン制御により，従来の約5倍の速さの速くて滑らかな動作が可能となった。

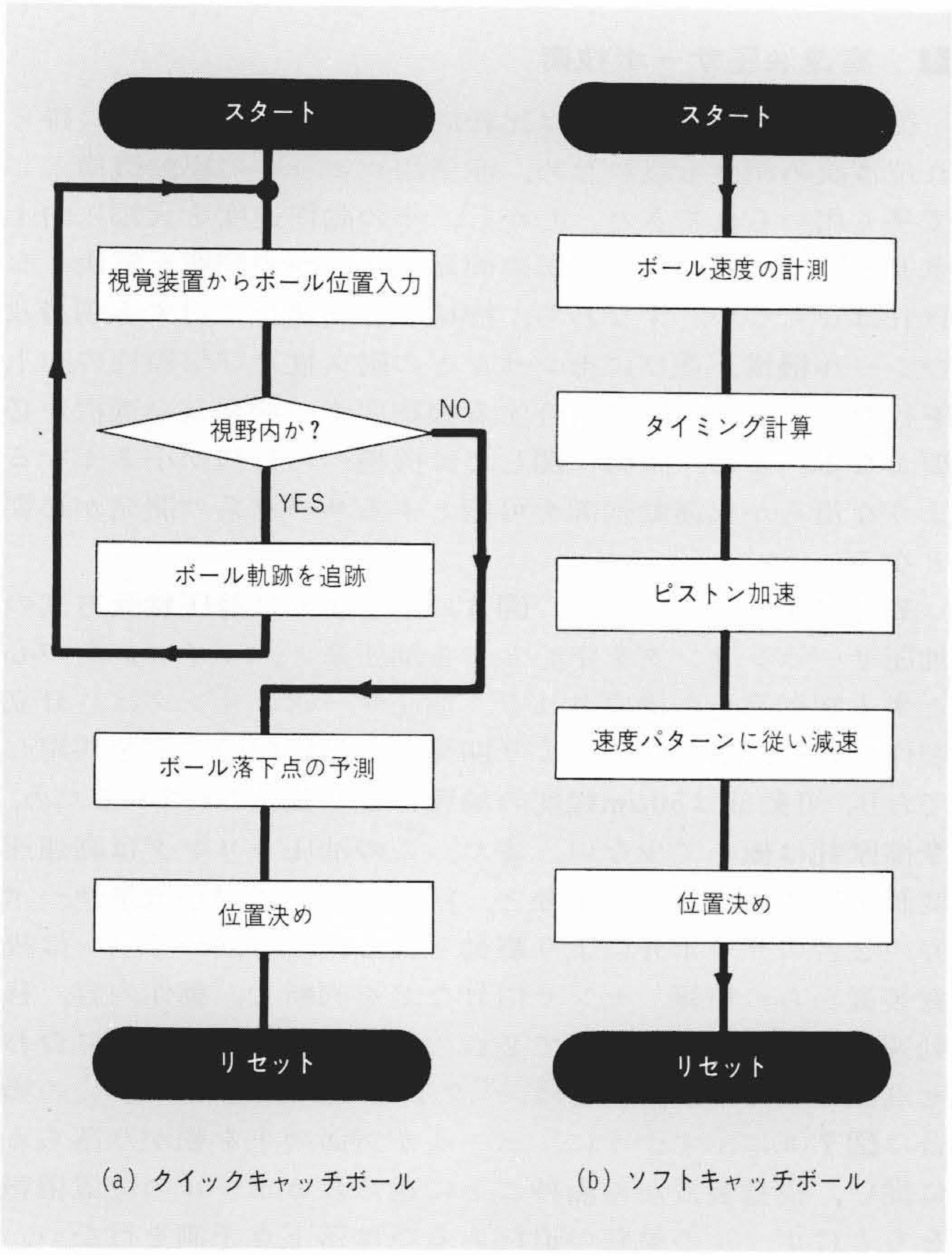

図7 キャッチボール動作のフローチャート (a)クイックキャッチボール：視覚装置から$\frac{1}{60}$秒ごとに送られてくるボールの位置情報をもとに，手はボール軌跡を追跡し，落下点の予測を行ない位置決めする。(b)ソフトキャッチボール：ボールの速度に合わせてタイミングよく手を加速し，ボールに衝撃が加わらないように滑らかに減速した後，所定の位置に位置決めする。

約5倍)，位置決め精度0.5mmの性能を得るとともに，最短時間で目標位置へ移動する動作，勢いよく転がってくるボールに衝撃を与えず短距離で止める動作などの最適な運動制御が可能となった。

5 結　言

高機能ロボットに不可欠な目及び手の基礎技術として，動く対象物を追跡する高速パターン認識技術と，従来の約5倍の速さの動作が可能な高速油圧サーボ技術とを開発した。また，これらの技術を結合し，キャッチボールを行なうロボットに応用することにより，ロボット機能の基礎研究を行なった。その結果，制御系にマイコンを用いソフトウェアとハードウェアの協調を行なうことにより，目まぐるしく動くボールを目で追跡し手で受け取る複合動作と，勢いよく転がるボールを無衝撃で受け止めるダイナミックなハンドリング動作が可能であることを確認した。

ここで述べたキャッチボールロボットは，基礎技術の確認実験を目的として開発したものであり，自由度，構造ともに最少限のものとしたが，個々の基礎技術を実用技術として更に蓄積，発展させることにより，広く物流，荷役，生産工程の自動化，省力化への応用が期待できる。

なお，このキャッチボールロボットは'77日立技術展(昭和52年5月，東京・北の丸公園内科学技術館で開催)に出品したものである。

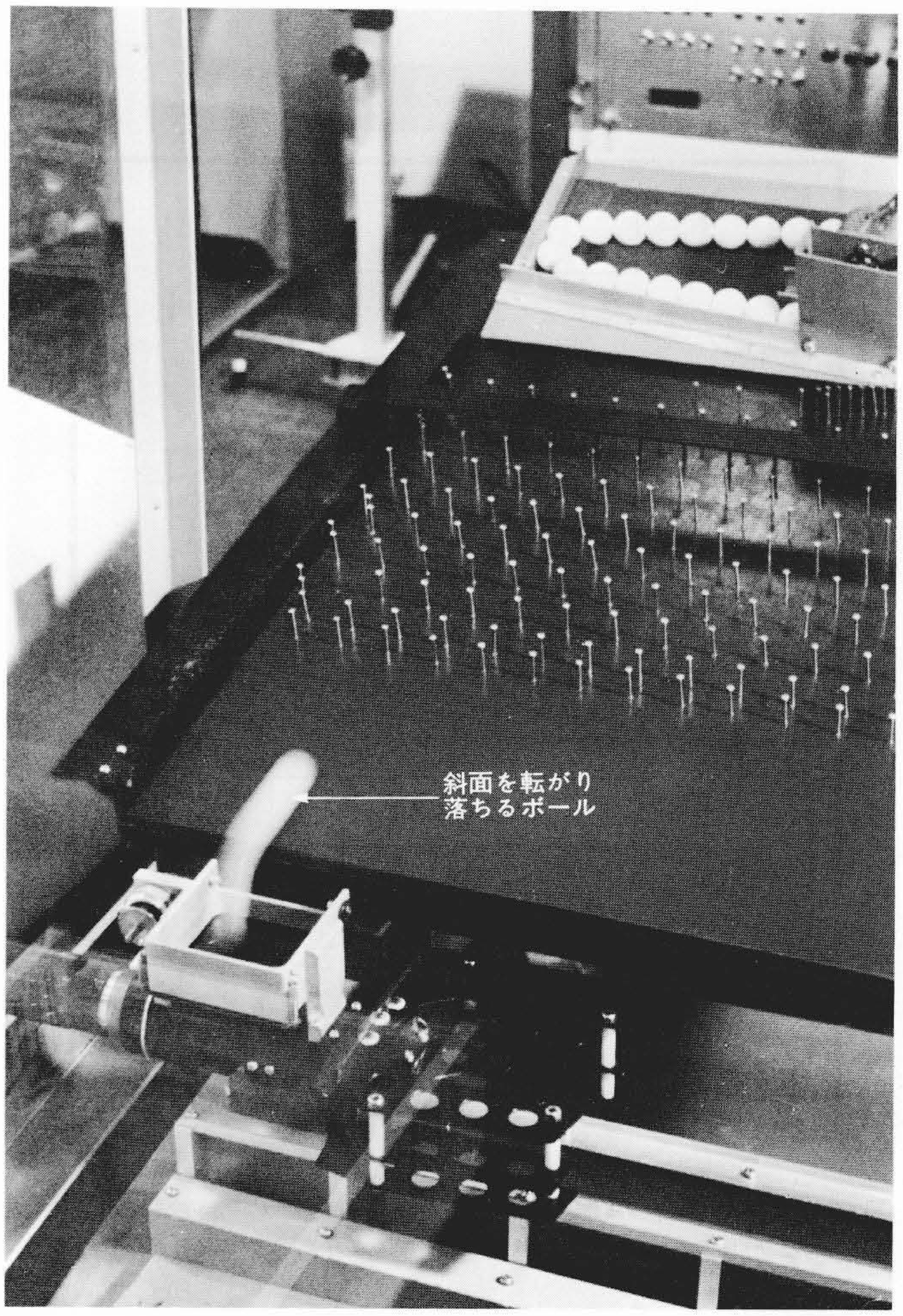

図8 クイックキャッチボール 斜面の下端でボールは視野の外へ出るが，落下点を予測し素早く手を動かすことにより，ボールを受け取ることができる。

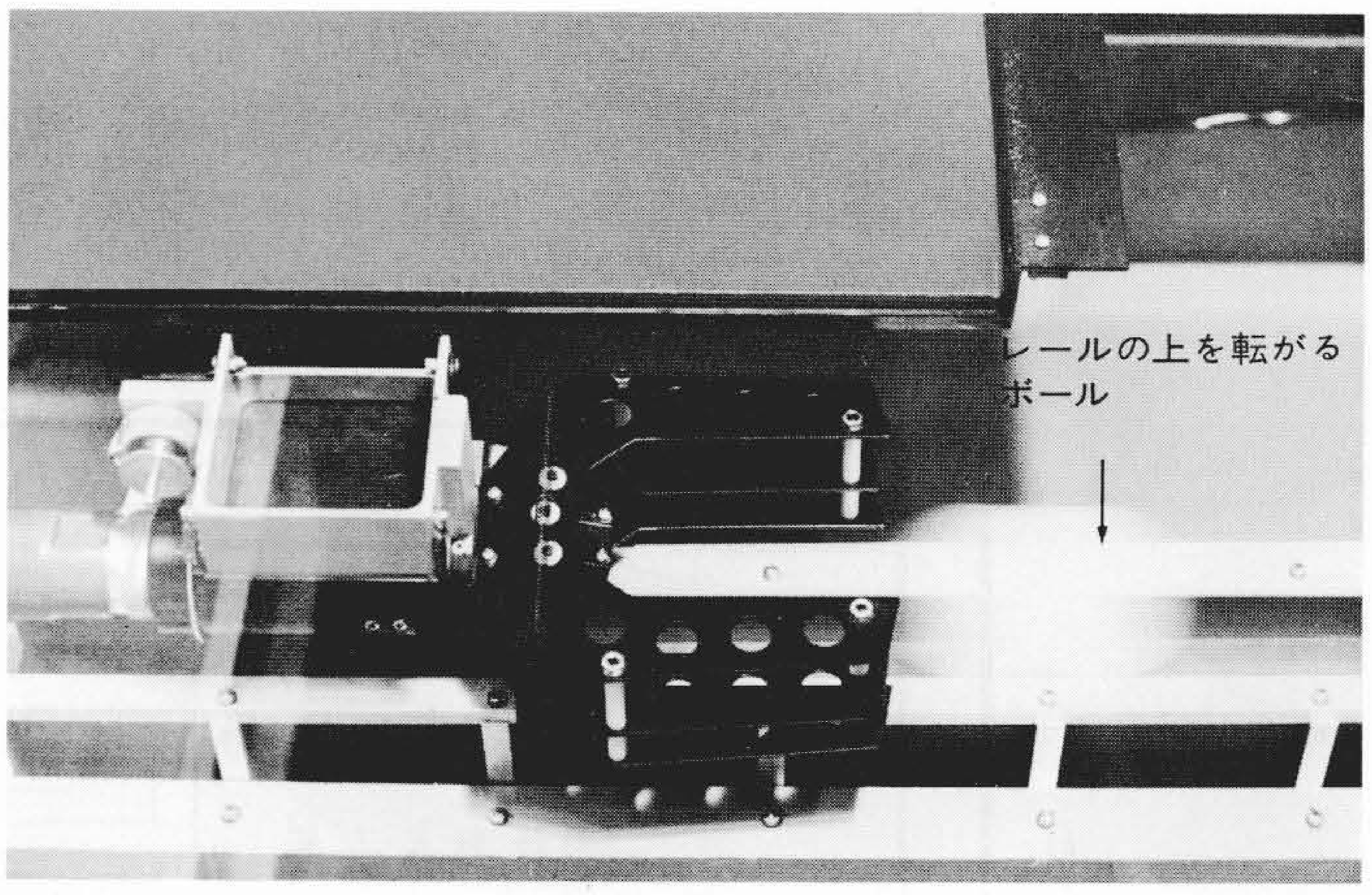

図9 ソフトキャッチボール 転がってくるボールの速度にタイミングを合わせ，衝突直前に手を加速して，柔らかく受け止めることができる。

参考文献

1) 日立評論，小特集・産業用ロボット，57，pp. 809～837 (昭50-10)
2) 常川，高橋：油圧緩衝器の特性と使い方，油圧技術，12，3 (1973)
3) 鳥野ほか：形状位置認識用インダストリアルアイ，電子通信学会研究会資料，PRL. 74-29 (1974)