産業用ロボットにおけるテレビ技術の利用

荻原 誠†

産業用ロボットにおけるテレビ技術の利用の現状と将来につき、ロボットの視覚との関わりに重点をおいて解説した。まず視覚の役割について述べた後、実用例のいくつかを紹介し、そこに横たわる技術的問題点を挙げ、ついでこの解決すなわち技術開発の動向を概観した。そして、まだ問題は山積しているが、技術は大きな伏流として着実に知能ロボットへと歩んでおり、その先端に視覚関連技術が位置していることを述べた。

1. ま え が き

この2、3年来、良くも悪くも産業用ロボットに対する一般の認識が深まり、産業界におけるロボット導入の歩調もようやく着実なものとなってきたように思える。しかし一方では、ロボットに対する期待と、それが現実になし得ることとの落差に関し、一部に不満感が存在することも否めない。

その大きな要因のひとつは、ロボットのロボットたるゆえんである知能および感覚が充分実用に堪え得るほどには育っておらず、いまだに幼稚なレベルにあることであろう。とはいうものの、それぞれ着実な進歩を遂げつつあることも事実であり、その最たるものが視覚関連の技術に見られる。

端的な例をあげると、本年4月にシカゴで開催されたROBOTS 7と称する展示会では、前年に比し視覚関連の展示が質量共に急増した。

産業用ロボットにおけるテレビ技術の利用は、ほとんどすべてロボットの“眼”に関わるものであり、そこでは在来の個有技術がそのまま活用されているといっても差し支えない。今後はこれに加え、進歩した視覚関連技術としての広義のテレビ技術が大きく脚光を浴びるようになって考えられる。

この意味において、本稿ではテレビ技術をロボットの視覚に基本的に関わる技術として捉え、まず産業用ロボットにおける視覚の役割・機能について触れたのち、視覚の実用例の幾つかを紹介し、次いで、そこに

存在する問題点を述べたうえで、この解決、したがって技術開発の動向について概観することとしたい。

2. 産業用ロボットの視覚

2.1 産業用ロボットにおける視覚の必要性

視覚に限らず、ロボットが感覚を必要とする本来的な理由は、対象および周囲環境についての認識・理解を行い、ロボット内部に環境モデルを持って自律的、知的な動作を行い得るようにすることにある。

静的のみならず動的な環境モデルをロボットの内部に持つためには、感覚センサーのほかに、3次元物体認識、ロボット言語による環境記述、学習の積み重ねとしての知識の利用など、高度な技術の体系的な統合が必要である。

当面、このようなレベルに到る過程として、2次元形状および限定された3次元形状の物体認識が可能で低価格な視覚センサー系が得られれば、産業用ロボットとして次の例のような実用的な便益をもたらす応用が可能となる。すなわち、

- ① 人間を単純かつ単調な目視作業から解放する
- ② めんどくさい教示作業の手間を大幅に軽減する
- ③ ロボットの腕および手の位置精度を補正し、低コストで高精度を実現する
- ④ 部品供給部など周辺機構部の精度要求を軽減する
- ⑤ 複数品種を同一ライン上に流す混流生産を可能とする
- ⑥ 品種切替に関する設備の段取りを柔軟にする
- ⑦ 形状、色彩等による識別検査を容易にする

等である。

† 日本電気株式会社 ロボティクス事業部

"Application of Television Technologies in Industrial Robots: Present and Future" by Makoto Ogiwara (Robotics Division, NEC Corporation, Kawasaki)

2.2 産業用ロボットの視覚に要求される機能

産業用ロボットの視覚が具備すべき機能は次の4つに大別される。

- ① 形状識別機能（2次元および3次元）
- ② 位置・姿勢検出機能（ハンドリング対象物、およびその相手との相対的關係）
- ③ 検査機能（形状、寸法、色彩、濃度、表面状態）
- ④ 移動物体検出機能

形状識別機能は、たとえば生産ラインでワーク、治具などを識別し、それぞれに応じた動作をロボットに行わせることを可能とする。識別のためには、いわゆるパターンマッチングの手法をとることが多い。

位置・姿勢検出機能は、対象物の整列配置、取出し、また組立、着脱時には相手との相対關係を検出する際に有効であり、通常は幾何的配置状況、幾何的中心位置、重心位置、慣性主軸等を基準として検出する。簡単な場合には特徴的な外形輪郭線もしくはその一部を用いることもある。

検査機能は、在来他の手段で行っていた検査をロボットの視覚により行おうとするものである。

移動物体検出機能は、生産ラインではフリーフローライン上での製造場面のほか、今後の知能ロボットのしかも製造以外の応用の際にも有用となる。

このように、ロボットへの視覚の導入は、今後多くの便益をもたらすものとして必要性が極めて高いが、反面、要求仕様は欲をいえばきりが無い面があり、これに応えるためにはまだ多大の解決すべき技術的課題が残されている。当面は現実的な対応として可能など

ころから実用化が進められており、徐々に本格的な視覚の導入がはかられているという状況にある。

2.3 産業用ロボットの視覚におけるテレビ技術

後述の実例からもわかるように、現在までの実用化例においては、画像の入力手段として、ビジコン、カルニコン、イメージディセクター、1次元/2次元固体センサー等のイメージセンサーが多用され¹⁾、また必要に応じて設けられる監視手段も、ほとんどがモニターテレビを用いている。したがって、現在の産業用ロボットはその視覚サブシステムの大きな部分を、画像の走査を基本とし、画像情報の収集・伝送、再生・記録という従来の範疇のテレビ技術に負っているといって差支えない。おそらく、今後画期的な技術の出現でもない限り、この状況は当分変わらないであろう。

ただ、走査方式や映像信号処理方式などの面から考えると、テレビ技術のロボット視覚への応用は、このような在来技術の領域を超えて、画像計測、画像処理、物体認識、さらに進んで画像理解等々の技術との関わりの下に考えなければならなくなってきたことも事実である。むしろテレビ技術そのものが、種々の局面でその領域を拡大しつつあるといった方がよいであろう。

3. 産業における視覚の応用例

産業用ロボットないし専用自動機械に対し、テレビ技術に基づいた視覚を導入し実用化した幾つかの例を簡単に紹介する。

なお、表1は我が国における視覚の実用化例の主な

表1 わが国における視覚の実用化例¹⁾¹⁴⁾

仕 事	応 用 例	イメージセンサー	画像処理技法	製造企業の例
			処理方式	
検 体	複雑パターン プリント板 IC マスクパターン	リニアセンサー ビジコン カルニコン レーザー イメージディセクター	局所特徴抽出 モデル利用特徴抽出 レーザー光回折色	富士通 日立 三菱電機 日本電気 東芝
	個体 薬品のカプセル錠剤	ビジコン	属性測定	富士電機
	等級 食品（サカナ、キュウリなど）	リニアセンサー	属性測定	三菱電機
位 置 決 め	ボンディング トランジスタ、ICの ダイボンディング ワイヤボンディング	ビジコン リニアセンサー	テンプレート照合 投影法	日立 松下 三菱電機 日本電気
	組立 ボルト締め ホース取り付け	ビジコン エリアセンサー	テンプレート照合 ハンドにカメラを取り付け	日立
	溶接 アーク溶接の位置決め	ビジコン エリアセンサー	属性測定 エッジ検出	三井造船 日立造船
マテハン	鋼板コイルの運搬	ビジコン	エッジ検出	住友重機

ものをまとめたものである¹¹⁾⁴⁾。

3.1 1次元 CCD イメージセンサーの応用例

すでに OCR やファクシミリのイメージ入力デバイスとして実用化が定着している 1 次元 CCD センサーが、産業用ロボットの眼としても多く使われている。

視覚用としては次に示すように多様な使い方があ²⁾。

- ① 寸法の測定 (木材、金属部品、各種容器、電線、糸などの直径、幅、高さ、厚さなど)
- ② 面積の測定 (平板状物品、部品の穴、地図上の湖など)
- ③ 位置の測定 (液面、ラベル貼布位置など)
- ④ よごれ、きず、欠陥などの検出 (布地、フィルム、鋼板などのきずやピンホール、糸のケバ、ラミネートチューブの液洩れ、バンドソーの歯こぼれ、など)
- ⑤ エッジの検出 (合板、鋼板、布など)
- ⑥ 形状の検査 (各種部品、びん、ボール、その他)
- ⑦ 画像データの読取り (マーク、文字、その他)

具体的な例として、鋼板の形状測定の場合の概念図を図 1 に示す²⁾。

3.2 トランジスタ・IC 用自動ボンダーへの応用例

テレビカメラの固体化を主目的に開発されてきた 2 次元 CCD センサー²⁾⁴⁾の応用も急速に普及しつつある。ここでは、産業用ロボットを含む自動化システムにおいて、その先駆的役割を果たしたトランジスタ・IC の自動ボンディングシステム^{6)~10)}への応用例を述べる。

トランジスタ、IC、LSI の自動組立工程においては、ペレット上の電極位置を自動検出し、ペレットを搭載するリードフレームと前記電極との間を細い金線で自動配線するが、この自動検出にテレビ技術および

図 1 製造ライン中の鋼板の形状測定²⁾

図 2 電極位置認識フロー⁸⁾

画像の処理・認識手法が使われている。図 2 に画像処理の一例⁸⁾を示す。

本例では、顕微鏡にとりつけられた 2 次元固体化カメラから入力された電極近傍のビデオ画像を 2 値化し、平滑化、背景雑音除去などの前処理を施し、あらかじめ登録してある電極の形状・寸法などに関する情報などを基にしてマスク走査や大ノイズ除去を行い、残った各パターンの座標値とそれらの相互関係を標準電極パターンのそれと比較し、電極を検出する。

このようにして電極が高速 (70 ms 以内) かつ高精度 ($\pm 10 \mu\text{m}$ 以下) で自動検出できるため、異種ペレットがライン上に流されても柔軟に対応でき、自動配線系ともども大幅な省力化、高速化を実現している。

3.3 自動組立用ロボットへの応用例

視覚付組立ロボットも最近に至り実用例が急増しつつある。ここではその典型例として、家庭用井戸ポンプの吸吐水孔のフランジにそれぞれホースを自動接続して吸水加圧試験を行う例¹¹⁾¹³⁾を紹介する。

本システムは、木製組立用台座に載せたまま孔位置検出精度を確保する、製品に傷をつけないよう非接触測定を行う、機種毎に変わる孔位置に対し計測を柔軟かつ高精度で行う、などの理由から、小形固体化カメラをロボットの腕の先端に取り付け、また実用性の観点から画像パターンを分割して処理していることが特徴である。図 3 に本システムの視覚装置の構成を示す。

フランジ孔の原画像は 24×30 画素から成るが、そのままでは大規模となり、処理装置の構成と処理時間の面で不利となるので、画像を 4 分割して 12×15 画素のパターンを単位として処理する。したがって、パターン比較のための辞書も 4 分割されている。

図3 ポンプ組立ロボットの視覚装置の全体構成¹¹⁾¹³⁾

テレビカメラから入力された画像は、4分割の1つが選択され、2値化されたうえ部分画像メモリーを介して、まず補助辞書との間で粗比較が行われる。補助辞書の処理対象画素数は原パターンを4分割した辞書のさらに $\frac{1}{4}$ となっているので、4つの補助辞書パターンとの同時比較をマクロ処理時間の前半で短時間に行い得る。その結果、辞書パターン $P(1) \sim P(4)$ のいずれか1つが選択され、これと入力画像との比較がマクロ処理時間の後半で行われ、円の中心位置、形状が概略的に求められる。

次いで、孔の想定円周上にまたがる長方形領域を上下左右の4ヵ所に設定し、周内部分を黒の領域として、その画素数を計数し、前段階の数倍の精度で円すなわち孔のパラメーターが求まる。この結果を動作制御部にフィードバックし、ホースの組立を行わせる。

本例では図3のすべての電子回路を専用回路で構成しているため、1つのフランジ形状の認識および寸法測定に要する正味時間は最大でも20ms、ホースの接続に要する時間はせいぜい6.6秒ですむとのことである。

3.4 汎用指向の視覚装置

最近、米国を中心に2次元の汎用指向の視覚装置がしきりに商品化され始め、日本でも同様の方向の努力がなされている¹⁵⁾。米国の場合は、現在のところ参入企業数は約20で、約40機種の商品が発表されている。代表的なものは、Automatics社のAutovision II, Cybervision III-V, Machine Intelligence社の

VS-100, VS-110, さらにGE, Unimationなどロボットメーカーの製品などである¹⁶⁾。

これらの装置の仕様は各種各様であって、ひとくくりにすることは困難であるが、概略的な平均像をまとめてみると表2のようになる。なお1次元の装置ではシステム価格が数千ドルのものもある。

典型的な例として、前記VS-100について簡単に説明する。これはSRIが1979年に発表したVision Module¹⁷⁾とほぼ同じ構成をとっており、図4にVS-100の構成図を示す。

このシステムは、カメラからの画像データを2値化した後にデータ圧縮を行い、このデータをスタンフォードアルゴリズム^{17)~19)}によって種々の特徴抽出と識別を行う。基本的な特徴量は面積、周囲長、重心など19種で、さらにこれらを基に種々のパラメーターが約40種類計算され、対象物の特徴が特徴量として数

表2 商用視覚装置の平均像（米国製品）

分解能 (画素数)	階調数	処理速度 (部品/分)	カメラの 形式	コンピューター の語長(ビット)	システム価格 (千ドル)
128×128	近辺	2(白黒)	100~200	8 16	~20
256×256	近辺	2 16 64 256	30~1,000	8 16 32/16	15~80
512×512	近辺	64 256	60~2,000	32/16	30~100

図 4 Machine Intelligence 社 VS-100 の構成図⁵⁾

図 5 最近傍法¹⁹⁾

図 6 2元決定木法¹⁹⁾

図 7 視覚を有する知能組立ロボット²⁰⁾²²⁾

値化される。認識・識別の標準となるパターンは、トレーニングモードにおいてカメラを介して数回学習させることにより記憶させる。

スタンフォードアルゴリズムに代表される形状識別方式では、パターン認識の分野でよく用いられる、最近傍法 (Nearest Neighbor 法) と 2 元決定木法 (Binary Decision Tree 法) の 2 つが多用される。両方式の概要を、図 5 および図 6 に示すようなレンチ、ドライバー、ナットの分類を行う例を用いて説明する¹⁹⁾。

図 5 に例示する最近傍法は、対象物を全標準パターンとの間の特徴量の距離のうち最小のものに分類する方法である。同図において、白抜き形状はトレーニングモードにて計測した部品の特徴量を、黒塗り形状は

各部品の標準パターンの平均特徴量をそれぞれ示す。×印で示した未知の被類別部品は、平均特徴量までの距離の最も小さいもの (ここでは l_w) に相当する部品 (レンチ) として類別される。ここでは特徴量が 2 個の場合を例示したが、通常は形状、寸法など、方向や姿勢に関係しない特徴量を 10 個以上用いる。

図 6 に示す 2 元決定木法は、特徴量の大小判別を 2 元的にくり返してゆく方法で、不正確な類別の確率を極小にするために、誤差分布に関してある仮定を置いて決定手順 (決定木) を定めるのが普通である。本方式は事前に決定木を作成する必要があるが、最近傍法に比して計算時間や計算リソースが少なくてすむ。

3.5 視覚を有する組立ロボットの例

具体的なロボットシステムの典型例を図 7 に示

す²⁰⁾²²⁾。本システムでは、複数台のロボットによる協調組立作業を実行するため、各々のロボットの相互関係をも視覚装置で監視させている。もちろん作業そのもののための視覚も具備しており、これらの視覚は、すでに述べた半導体製造装置用視覚装置のような、実績のある視覚認識技術を用いている。

4. 産業ロボットにおける 視覚能力向上面の問題点

前節において、多種多様な応用の中から極めて僅かではあるが、いくつかの例を示した。さきに述べたように産業用ロボットにおけるテレビ技術利用は、つまるところ、入力も含めて視覚情報処理をどのように実用的なレベルに持ち込むかという問題に帰着する。

視覚情報には、それぞれ濃淡、色彩、距離に関する情報があるが、現在の産業用ロボットは色彩情報に関する処理能力をまだ十分に保有していない。距離情報はさておき、濃淡情報のみからそれが表している元の実際の情景を認識し処理することすら現状ではかなり困難なことである。その主な理由を包括的にあげてみると次の4点になろう。

- ① 入力装置の能力が不足している：人間の眼のように高分解能で適応性のある入力装置がない。また、さほど高性能でなくても小形・軽量・高信頼度・低廉な入力装置の入手が難しい。
- ② 入力情報量が充分でない：入力される濃淡情報は、対象物体の表面状態（表面の粗さ、つや、色など）、面の位置と方向、照明条件など、種々の条件の複雑な関連の下に定まる。したがって、異なった条件/状況であっても入力情報は、あたかも同一の濃淡で表現されることがあり得るので、画面から元の情景の状態を充分に知ることは極めて困難である。
- ③ 演算・処理に時間がかかる：2次元情報は本質的に非常に大きなデータ量を有し、演算・処理量が膨大なものとなり、現状のハードウェアでは処理に非常な長時間を要する。特にロボットのような実時間性を要する機械システムの制御に結びついた応用に対しては、まだまだ実用的な速さのレベルに達しているとはいえない。

なお、このような視覚能力向上の困難さに関連して、生産自動化上の現実的な問題のひとつに触れておきたい。

製造工程において最も自動化が遅れているもののひとつに目視検査工程がある。これは、主としてピンホール、しみ、汚れ、割れ、きず、色むら、異物混入な

どに対する欠陥検査で、欠陥が多様なうえに検査範囲に比して少数かつ微細であること、SN比が非常に低く検出困難な微妙な欠陥が多く、定量的な検査基準を設定しにくい官能検査的な要素があること、などが技術的障壁となっている。これを乗り越えるためには、超高分解能な視覚センサー、高速画像処理技術、多階調識別技術などの実用化が必要である。

5. 産業用ロボットの視覚に関する 技術開発の方向

5.1 視覚センサーのための材料およびデバイス³⁾⁴⁾

ロボットの知能化に伴い、ロボットは今までよりもはるかに柔軟、精緻、適応的に外部環境との相互作用を行い得るようになる。それには、ロボットが外界のみならず自分自身の内部の状態をもよく把握しなければならぬ。そのためのセンサー、すなわち外界センサーおよび内界センサーともに、小形、軽量、高分解能、高速、高信頼性、廉価であることが必要である。

センサー材料は、半導体、セラミック、有機、金属の各材料に大別される³⁾。半導体材料によるセンサーは、今後シリコンを用いたものが主流となろうが、それは高温、高圧下での使用やアルカリ金属による汚染に対して弱いという欠点にもかかわらず、マイクロプロセッサを初めとするエレクトロニクスとのインターフェースの面で大きな利点があるためである。

セラミック材料は、安定性、耐負荷性、耐環境性、堅牢性などの面ですぐれているので、今後一般産業界における苛酷な環境下での使用のみならず、原子力、宇宙、海洋等で使用されるロボットのセンサーとしても有用であろう。

有機材料によるセンサーは、材料の種類が多く応用範囲も広いが、特に生物・化学センサーやその補助材料としての期待が大きい。金属材料は以前からセンサーとして用いられているが、最近では電磁トランスデューサーとしての利用がふえつつある。

デバイスの観点からは、前述のような材料を種々組み合わせて、まさに千差万別、多種多様なセンシングデバイスが実用化されつつある⁴⁾。視覚センサーとしての大きな動向は、やはり固体化であり、固体撮像素子は商用テレビと同程度の解像度がようやく実用の域に入ったところである。

前述のような高度な画像処理を行うためには、2000×2000画素もしくはそれ以上の、望むらくは1チップ構成のデバイスが必要である。ともあれ、今後固体撮像デバイス技術の発達²⁷⁾が知能ロボットの視覚能力の向上に寄与することは疑いない。

一方、生体センサーに関する研究も盛んになってきており、この成果がロボット用センサーの面で結実することが大いに期待されている²³⁾。

ロボット用に限らず、今後のセンサーは情報の処理機能と不可分な形で統合されてゆく傾向にある。すなわち、エレクトロニクスとの接続性を向上せしめるだけでなく、1チップ上にセンサーとプロセッサとを結合した形でセンサーシステムを構成する傾向が強まるであろう。むしろ今後は、このようなシステムの視点がセンサーにとっても重要性を帯びてくるものと思われる。

5.2 高速イメージプロセッサ

商用テレビの解像度でも、ロボットの制御に必要な実時間性を持たせるとすれば、画像情報の処理は165 ns/画素の速度で行わなければならない。したがって高度なロボット用視覚の実現には、GaAsやジョセフソン素子等の高速素子と共に、高速画像プロセッサの実用化が必須条件である⁴⁾。

TIP (Template-controlled Image Processor)²⁴⁾は、そのひとつの可能性を示すもので、データ駆動、パイプライン処理という非フォンノイマン形のアーキテクチャーを有し、画像処理に関しては大形汎用計算機なみの処理速度をコンパクトかつ低廉なプロセッサで実現できる。

このような高速プロセッサは各所で開発中で、たとえば、フローティングゲートを用いた非巡回形CCDフィルターを用い、マイクロコンピュータでバックアップされたSobel演算ユニットは、4ビットの精度が汎用計算機の100~300倍の演算速度で得られるという⁴⁾。

5.3 処理アルゴリズム/処理ソフトウェアの開発

ロボットの視覚は画像の処理・認識と密接に関連するが、とくにパターン認識の領域についていえば、2次元では、たとえば重なり合った部分の局所的特徴抽出の実用化が残された課題のひとつである。

米国ではすでに、山積みの中から1つの部品をつかみとるシステムが発表されているが、まだ十分に成熟したものとはいえない。

3次元物体や動体検出のための効率的な処理ソフトの開発は、後述するように人工知能関連の研究開発と密接な関係がある。したがって、視覚の高度化をはじめとする知能ロボットの研究開発は、第5世代コンピュータ²⁵⁾などの国家プロジェクトとも極めて近い関係にあるといえよう。

5.4 生体視覚ロボット

今後の産業用ロボットは、知能化をはじめとす

る高度化が進み、その応用領域も急速に拡大するため、やがては“産業用”という言葉を取り外してもよいようになると思われる。すでに多くの研究者が、たとえば高度な知能システムを有するロボットや多足歩行ロボット、さらには動物に類似した形態のロボットなどを試作している。これらは直ちに実用に供し得るものばかりではないが、今後の動向を示唆するに十分な内容を持っている。

ここでは、そのような動きの中から、高度な視覚に重点を置いたロボットの試作について紹介する。

これは生体の脳における視覚反応および処理、記憶に関するモデルを工学的、電子的にシミュレートしたもので、“生体視覚ロボット”と呼ばれている²⁶⁾。

このロボットで使用されているモデルは、動体と非動体とを区別したり、図形のエッジを強調する効果を有している。すなわち、生体の脳における学習機構を工学的に実現するために、このロボットは、パーセプトロンの考え方に基づいて画像の局所的な観測を並行して行い、その結果を統合してパターンの属性を自己組織的に知覚する試みを行っている。

このような機能の基となる視覚モデルの概念を図8に示す。一般に生体においては、動的および静的対象の像が網膜に投影されると、脳の中では局所的な処理が行われ、動体に対しては速応性の高い短期記憶が、非動体に対しては持続性の大きな長期記憶が、それぞれ対応して視覚処理がなされるという。これに対し図8に示すモデルでは、網膜、短期記憶、長期記憶に対してそれぞれ $P(K, J)$ 、 $SF(K, J)$ 、 $SS(K, J)$ なるイメージメモリーを対応させ、画像処理の手法を用いて動体(自動車)、非動体(樹木)の識別を行う。その結果、カメラが捉えた映像の中から移動(運動)物体を抽出識別できる。

このロボットは写真1に示すような外観を有し、ロボットの眼として2台のテレビカメラ、方位基準センサー、超音波衝突防止センサー、背後にあるミニコンピュータとの通信のための無線送受信機、足としての3輪式車輪、局部制御回路、バッテリーなども備えた自走式ロボットである。したがって、前記視覚処理

図8 視覚系モデル²⁶⁾

写真 1 生体視覚ロボットの構造外観²⁶⁾

部ともども移動物体の追跡を行ったり、パターン認識機能を利用して逐次中間目標を識別しつつ最終目標へ移動したり、そのためにある種の簡単な経路計画を作成したりすることができる。これらのうち複雑な処理はミニコンで行い、無線により情報のやりとりが行われる。

本来生体のシステムをそのまま人工的に具体化するのは至難である。このロボットでも生体の視覚を十分にシミュレートできたとはいえないが、今後のロボットの方向を示唆するもののひとつといえるであろう。

5.5 知能ロボットへの方向

前項の生体視覚ロボットもその範疇に入るが、今後のロボットは人工知能もしくは知識情報処理関連の研究開発成果を採り入れながら、知能ロボット、さらに知識ロボットへと着実に歩みを進めることは明らかである。

このような進歩の状況を概括的に示したのが図9²⁸⁾

図 9 産業ロボットの進化予測²⁸⁾

である。ロボットの世代分けには諸説があるが、同図において第3世代の学習ロボットが知能ロボットに、第4世代が知識ロボットに、それぞれほぼ相当すると考えてよい。

この流れの中で重要なポイントとなる技術がロボットの3要素、つまり頭脳機能、感覚機能、動作機能のそれぞれにある中で、とりわけ視覚に係わる前2者の技術の比重が大きいは容易に推測されよう。

もちろん、ロボット技術は総合技術でありシステム技術であるから、それぞれの要素技術がバランスを保って成長し発展してゆくことが必要不可欠ではあるが、知能化の端緒としての重要性は、まず視覚関連技術に存するといっても過言ではない。

高度な視覚を有する知能ロボットが生産工程に数多く導入されるには、今のところ経済的、技術的な理由から多少の時日を要すると思われるが、それでもその普及はもはや時間の問題であろう。ある予測によれば、1990年までに、ロボットの25%が視覚を、20%が触覚を持ち、また1995年には50%がセンサー制御可能になるとのことである²⁹⁾。

6. む す び

産業用ロボットへのテレビ技術の応用を、主として視覚の観点から捉え、現在における応用の状況と今後の動向について概観した。

筆者の浅学菲才なるが故に、充分意をつくせず、理解していただき難い部分があったとすればお許しを願いたく、また御叱正御批判を賜りたい。

なお、紙数の関係で本稿にて詳細に触れ得なかったもの、たとえば画像処理、画像認識、画像計測、知能ロボット全般などについては文献30)～39)を、特にその産業応用に関しては文献30)を参照していただければ幸甚である。

終りに、本稿に引用させていただいた文献の著者各位に深く感謝する次第である。(昭和58年4月12日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 長谷川：“ロボットとエレクトロニクス”，電子技術，**24**，1，pp. 24-28 (Jan., 1982)
- 2) “CCDカメラ応用例集”，日本電気(株)応用エレクトロニクス開発本部 (June, 1976)
- 3) 白木：“産業用ロボットのセンサ：2. ロボット用センサ材料”，機械設計，**26**，12，pp. 34-37 (Oct., 1982)
- 4) 谷川：“産業用ロボットのセンサ：3. ロボット用センサデバイス”，機械設計，**26**，12，pp. 38-44 (Oct., 1982)
- 5) 五十嵐：“産業用ロボットのセンサ：5. センサの応用”，機械設計，**26**，12，pp. 50-61 (Oct., 1982)
- 6) S. Kashioka, et al.：“A Transistor Wire Bonding System Utilizing Multiple Local Pattern Matching Technique”，IEEE Trans., SMC-6, 8, pp. 562-570 (Aug., 1976)

- 7) T. Inoue, et al.: "Automatic Transistor Die Bonding System with TV Cameras", Proc. 7th ISIR (Internat'l Symp. Industrial Robots), pp. 515-522 (Oct., 1977)
- 8) 成瀬, ほか.: "トランジスタ全自動ボンディングシステム", 第17回 SICE 学術講演会, pp. 285-286 (Aug., 1978)
- 9) K. Igarashi, et al.: "Fully Automated Integrated Circuit Wire Bonding System", Proc. 9th ISIR, pp. 87-97 (Mar., 1979)
- 10) 成瀬, 河田: "IC のボンディング技術", 応用物理, **49**, 2, pp. 168-174 (Feb., 1980)
- 11) T. Uno, et al.: "An Industrial Eye that Recognizes Hole Positions in a Water Pump Testing Process", Computer Vision and Sensor-Based Robots, pp. 101-116, Plenum Pub. Corp. (1979)
- 12) 辻: "知能情報処理とロボット特集: 4.1. ロボティックスの最近の進歩", 信学誌, **65**, 4, pp. 413-419 (Apr., 1982)
- 13) 鳥野: "知能情報処理とロボット特集: 4.2. 視覚と触角", 信学誌, **65**, 4, pp. 419-425 (Apr., 1982)
- 14) 辻: "産業用ロボットの視覚とその応用", 電学誌, **100**, 6, pp. 10-15 (June, 1980)
- 15) "センサ特集", 日経メカニカル, **117**, pp. 50-80 (June 21, 1982)
- 16) P. Kinnucan: "Machine that See", High Technology, **3**, 4, pp. 30-36 (Apr., 1983)
- 17) G. J. Gleason: "A Modular Vision System for Sensor-Controlled Manipulator and Inspection", Proc. 9th ISIR, pp. 57-70 (Mar., 1979)
- 18) G. J. Agin and R. O. Duda: "SRI Vision Research for Advanced Industrial Automation", Proc. 2nd US-Japan Computer Conf., pp. 113-121 (Aug., 1975)
- 19) G. J. Agin: "Computer Vision Systems for Industrial Inspection and Assembly", Computer (IEEE), **13**, 5, pp. 11-20 (May, 1980)
- 20) M. Takahashi, et al.: "An Assembly Robot System with Twin Arms and Vision", Proc. 12th ISIR, pp. 111-120 (Mar., 1982)
- 21) 辻: "知能ロボット", ロボット学会誌, **1**, 1, pp. 25-30 (Apr., 1983)
- 22) 後藤, 杉山: "ロボットの産業応用", ロボット学会誌, **1**, 1, pp. 31-37 (Apr., 1983)
- 23) 内田: "生体センサーと固体電子センサー", 応用物理, **51**, 12, pp. 1357-1365 (Dec., 1982)
- 24) 天満, ほか: "画像処理プロセッサ TIP の構成とシミュレーション評価", 信学技報, **IE81**, 6, pp. 41-48 (1981)
- 25) 元岡: "第5世代コンピュータ", 信学誌, **66**, 2, pp. 151-156 (Feb., 1983)
- 26) 宮沢: "生体視覚ロボットの情報処理", 映像情報, **14**, 9, pp. 57-63 (May/June, 1982)
- 27) "論文特集: 固体撮像デバイス", テレビ誌, **33**, 7, pp. 516-547 (July, 1979)
- 28) 中野: "産業用ロボットの将来", 機学誌, **85**, 766, pp. 1078-1082 (Sept., 1982)
- 29) 川名: "通信機組立と産業用ロボット", 信学誌, **66**, 3, pp. 271-273 (Mar., 1983)
- 30) "特集: 産業における画像の処理と認識", テレビ誌, **35**, 11, pp. 881-975 (Nov., 1981)
- 31) 花房: "ロボット技術の展望", 計測と制御, **21**, 12, pp. 1089-1094 (Dec., 1982)
- 32) 白井: "ロボットの物体認識技術", 計測と制御, **21**, 12, pp. 1115-1121 (Dec., 1982)
- 33) 館, 小森谷: "第3世代ロボット", 計測と制御, **21**, 12, pp. 1140-1146 (Dec., 1982)
- 34) R. C. Gonzalez and R. Safabakhsh: "Computer Vision Techniques for Industrial Applications and Robot Control", Computer (IEEE), **15**, 2, pp. 17-32 (Dec., 1982)
- 35) King-sun Fu: "Pattern Recognition for Automatic Visual Inspection", Computer (IEEE), **15**, 2, pp. 34-40 (Dec., 1982)
- 36) J. F. Jarvis: "Research Directions in Industrial Machine Vision: A Workshop Summary", Computer (IEEE), **15**, 2, pp. 55-61 (Dec., 1982)
- 37) 白井: "特徴抽出と記述方式が進歩しシーン解析が可能になった画像理解", 日経エレクトロニクス, **313**, pp. 137-164 (Mar. 28, 1983)
- 38) 倉沢: "最近の画像計測技術", 計測と制御, **22**, 3, pp. 291-299 (Mar., 1983)
- 39) 小林: "光応用産業計測", 計測と制御, **20**, 9, pp. 849-854 (Sept., 1981)