

Backdata

3Dセンサ

メーカー	PULSTEC	コニカミルタ	コニカミルタ	Solutionix(株)	Gom(独)	Z(米)	MESA(スイス)	Panasonic	Sharp
型式	TDS	VIVID9i	Range7	Rexscan	ATOS	Zscanner700	スライズレーザ	未定	未定
発光方式	スポットレーザ	スリットレーザ	スリットレーザ	パターン照射	パターン照射	パターン照射	LED	LED	LED
走査方式	カルパミラー	カルパミラー	カルパミラー?	-	-	-	-	-	-
受光方式	ラインCCD	CCD	CMOSセンサ	2CCDカメラ	2CCDカメラ	2CCDカメラ	CMOS/CCD	独自デバイス	CMOSセンサ
測距方式	三角測量	三角測量	三角測量	三角測量	三角測量	三角測量	TOF	TOF?	TOF
精度(mm)	0.05	0.05	0.04		0.02	0.05	距離×1%		10
距離(mm)	160-230	600-1000	450-800			100-10000	5000	1000-5000	
計測時間/スキャン	2.4秒	2.5秒	2秒	3秒程度	0.8秒		1/30(30fps)	1/20(20fps)	1/30(30fps)
画素数	25万	34万	131万	80万-500万	80万		2.5万		
価格(万円)	300	530	980	800-2500	980	600	100	研究段階	研究段階

2009/4販売

現状は存在検知/エリアセンシング用途
→ロボット用途としてはまず移動用などがターゲット

バス規格

	USB1.0	USB2.0	USB3.0	IEEE1394a	IEEE1394b	IEEE1394b	Camera Link	GigE Vision
ケーブル長(m)		5	3	4.5	4.5-max72	4.5-max100	10	100
伝送レート(Gbps)	0.012	0.48	4.8	0.4	0.8	3.2	2.2	1
制定年	1996	2000	2010(予定)	2000	2002	2008	2005	2006

用語解説

SIFT(Scale Invariant Feature Transform)
Lowelによって提案された画像から特徴点抽出する技術。SIFTはスケール変化、画像の回転、照明変化に対しても頑強なSIFT記述子で特徴量を記述するため、画像マッチング、物体認識、特徴点追跡等で、高精度での処理が期待できる。急速に普及しており、FA等への適用・実用化例はまだほとんど見られないが、近い将来多く適用されると推測される。FA以外(アミューズメント等)用途で既に実用計画が進んでいる。

アクティブビジョン

カメラを積極的に動かし、覚情報より3次元空間での物体の大きさ、物体までの距離等を復元する技術。各画像について必ずしも正確で詳細な記述を作らなくても、ロボットが次に何をするか、どの視点を取れば良い情報が得られるかが決められれば次々と新しいより目的に合った画像を処理することで、結果的により易しく、早く、信頼性高く、環境が認識できるという考え方。特に3Dの世界では見る方向により見え方が異なる。一般的に、物体認識するには3Dモデルが認識システム中にあり、入力画像から3D形状を再構築してそのモデルと対比するか、入力画像と合う3Dモデルの投影があるかを探索する。しかし、コンピュータ容量が増すにつれ、むしろ物体の画像(見え方)を多数覚え、入力画像と直接マッチングする方がよいという考え方が生まれてきた。3Dモデルビジョンに対して見え方に基づくビジョンと呼ばれる(電子情報通信学会誌Vol.83 No.1 pp.32-37引用)。

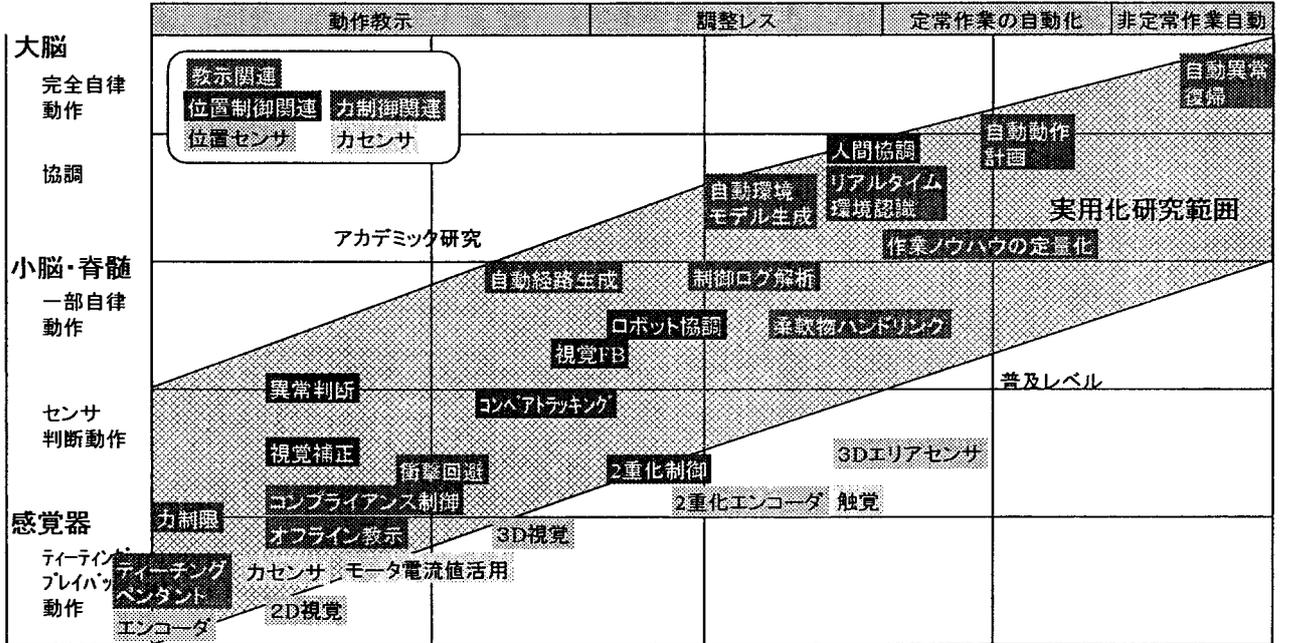
マシンビジョンの産業利用はまず検査ニーズ等から派生しており、そこで開発された技術・製品が、ロボット制御に利用されているという構図。このためセンサ等は検査ニーズへの対応(例:金型検査など)が中心で高精度化・対象拡大が中心に行われてきた。更なる高精度化/対象拡大のニーズは高いが、今後はロボット用などの高速化・低価格化にも対応が進むと思われる。LRFでは走査機構のコストダウン=機構シス(実用に近いレベルでMEMSミラー、液晶シャッタ、デジタルマイクロミラーデバイスDMD、研究段階ではアレイ型受光素子、フェイズドアレイレーザなどがあるとのこと)が低価格化のキーと考えられる。一方でセキュリティニーズから主に人間クラスの存在検知等を目的とした距離画像センサの開発・実用化が進んでいる。これらのセンサは低精度であるが、低価格化を主体に開発・実用化が進められている。ロボット向けには移動ロボット・AGV等の障害物センサへの利用が当面にあるが、物体認識センサとしての利用は十分考えられる(メーカHPにもそれらしき記載はある)。スライズレーザ供給先の話では、セキュリティセンサ等で成功し、数万-数十万台/年が見込めれば、数万円/台の価格帯になる見通しがあるとのこと。こちらはむしろ高精度化が問題でTOF方式での高精度化、もしくは組み合わせる認識処理側での高精度化がキーとなると考えられる。

知能化、情報化ロードマップ

社会技術ニーズ

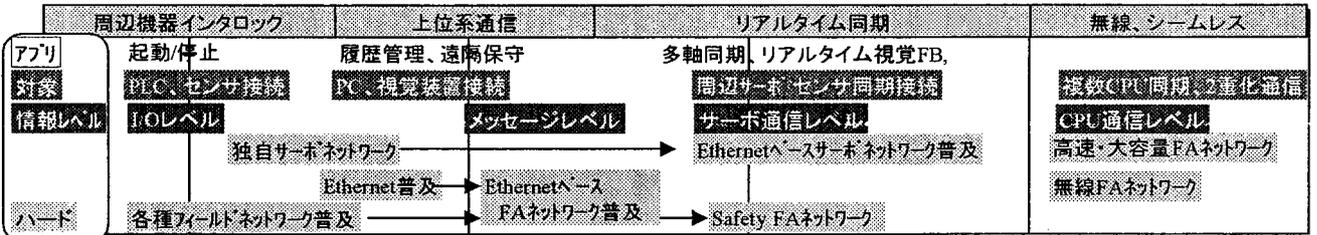
必要精度確保可能で容易な操作 工場外産業 生活支援ロボットとの融合 労働人口減少への対応	センサー利用範囲の拡大 適用範囲拡大(左欄より)	少子高齢化への対応 (熟練技能のロボット化)	絶対精度の必要な分野 適用範囲拡大(左欄より) セル生産(多様化) 空洞化回避手段 安全重視	位置繰り返し精度向上要求 製品品質重視 生産効率化(溶接、ハンドリング、検査、塗装、組立、実装など)	製品品質の安定化 3不作業からの開放 工場の自動化推進
---	-----------------------------	---------------------------	--	--	-----------------------------------

知能化レベル



1980 1990 2000 2010 2020 2030

情報化



技術的ブレークスルー

オフライン教示、ロボットと人間と情報交換を効率的に行うインタフェース技術の発展などによる知能化	材料技術の進歩による軽量化(高剛性化)、更なるサーボモータドライブの進歩による平均パワーレート密度の向上	ロボットとワークの相対位置決め制御の発達による精度向上	サイボモータの小型化高出力化(ACサーボの普及) 減速機の小型化、高剛性化(ハーモニックドライブの普及)	マイクロプロセッサの発展による高機能化(補間演算等)の進歩 油圧から電気式へ
脳による論理的な推論機構が解明 町工場ロボット普及	ロボット技術を適用した低侵襲外科技術が外科手術の大半を占める 対話型ロボット(操作容易化) 知能化レベルの高いロボット市場拡大	セル生産による多品種対応 安全規格改定 3D-CAD利用普及(製品図面)	通信利用(ロボットと他の危機感) Windows PCの普及	自動車産業への本格導入 産業用ロボット普及期 ロボットを受け入れる社会的素地

社会・市場の変化

4章 知能化・情報化

- 自律化
- オフライン教示
- ネットワーク化

この章では、組立セルのアプリケーションを想定する。従って、小型組立ロボットの知能化、情報化の技術ロードマップである。溶接等の大型ロボットが得意とするアプリケーションは除かれている。

知能化:

ロボットの知能化において、①制御、②センサ、③教示の3つが大きく実用化に絡んでいる。学術的にすばらしい制御方法が提案されても、その情報入力となるセンサの精度が出ない、実用化には高額である場合、その制御方法は全く普及しない。また、センサ、制御が実験室で効果が確認できても、その教示に高度な専門知識が必要であったり、調整の手間がかかったり、教示の基準がわからない場合は実工程での適用はできない。現在のロボットは、位置制御を基本に発展し、精度についても空間精度（繰り返し精度、絶対精度等）が中心に論じられている。力制御については、既に80年代にその有効性が確認されているが、実際の組立工程で作業の力が図面上で指示されている例は少なく（トルクレンチ等）、作業者の感覚で行われていることが多い。そのため、教示者がどのような力が加えられると作業が成功する、もしくは次にどのような動きをすればいいかを示すことは難しい。実際の力加減は作業者の感覚的な対応で行われていることがほとんどである。

①制御 —— 作業:

上記の実情を考えると、作業・動作を人が逐一教示する必要があるレベルでは、力センサ、接触センサを利用した力制御の大幅な発展は期待しにくく、位置制御を主体とした知能化が進むことが考えられる。（実際に、力制御は力制限程度しか現場では使われていない。）しかし、自動作業計画が実現できれば、教示の問題が解決され、力制御等は大きく発展する可能性がある。

位置のロバスト性向上、すなわち、組立におけるワークの位置ズレを吸収するために、コンプライアンス制御、視覚制御等が発達したが、その一方で制御による方法では作業速度が遅いため、ツール、クリアランス等の製品設計、現場の工夫により対応しているケースが多い。センサー帯域、アクチュエータ帯域が大幅に向上すれば作業速度アップも可能かもしれない。経済性というもうひとつの壁が大きく立ちはだかることになる。

ビンピッキングについては、3D視覚装置、処理速度の向上により一部普及しつつあるが、ハンド設計がもうひとつのボトルネックとなっている。電動ハンドが普及し、リーズナブルな範囲の多自由度ハンドの実用化が鍵となる。

今後、発展が期待される分野は周辺機器・人間と協調である。その1例としてコンベアトラッキングは既に広く普及している。高速ネットワークを介した複数台ロボットによる協調作業、リアルタイム周辺環境認識デバイスの発展による人との協調等、ロボットが他の機器と積極的に連携して新たな作業分野を実現していくことが予想される。

②センサ：位置制御が中心に発展しているため、センサも位置を計測中心に発展している。特に視覚装置については、カメラ、CPU価格の低下により、ますます普及が進むとかんがえられる。まだ、視覚装置を使いこなすのに専門知識が必要なケースもあるが、これについても発展していくと推測される。また、オフライン教示における環境モデルを自動的に生成するために、視覚やレーザセンサを組み合わせたハイブリッドなセンサー開発されると推測する。一方、力センサ、触覚センサについてはロボットの制御というより、安全機能を実現するためのデバイスとして発展すると推測する。

③現状の教示は作業計画、プログラミング、位置教示、微調整の4つに分類できる。

- 1) 作業計画 —— 工程設計、サイクルタイム検証、レイアウト確認。
 - 2) プログラミング —— ロボットの作業手順の記述、周辺機器とのインタロック記述、付帯設備制御の記述等が含まれる。エラー発生時のリカバリ手順も通常ここで記述される。
 - 3) 位置教示 —— 作業点教示以外に、障害物回避を含む経路教示、視覚キャリブレーション等が含まれる。
 - 4) 微修正 —— 現場での流動確認、作業確認、サイクルタイム確認、作業点の微修正、作業速度調整、周辺機器とのやりとりの微修正等がある。
- 教示のロードマップについては事項で述べる。

教示：

教示作業の分類は先に述べたとおりである。教示の簡易化については大きく3つに分けられる。

- A) 動作シーケンス (プログラミング) の簡易化 上記1)、2) の簡易化
 - B) PC上で行うオフライン教示とシミュレーション 1)、3) の簡易化
 - C) 現場で行う動作の微調整の削減 4) の簡易化
- A) 動作シーケンス (プログラミング) の簡易化では、定常作業のプログラミングと非定常作業のプログラミングの2つに層別される。定常作業については、作業のライブラリ化、データベース化、アプリケーションの特定によるパッケージ化等により、現実的に進められる。一方、異常復帰等の非定常作業のプログラミングは、その事例が少なく、モデルの設定が困難であるため、実用化の可能性については議論の余地がある。実際、実工程では、非定常 (異常時) の想定がしにくく、プログラムの検証もしにくい等のため、非定常作業のプログラムは一部の上級ユーザによってのみ行われ

ているのが現状である。ロボットを停止させない、人と同じレベルで自動化するという、ロバスト知能の意味では、定常作業の繰返しの実行ではなくは、異常復帰等の非定常作業は、その状況把握、次の作業計画、動作プランといった、高度な知能を持った動作が必要であり、自律ロボット実現に極めて近いレベルの動作実現といえる。

- B) オフラインでは、構想設計時 1) の工程設計、レイアウト構想、サイクルタイム検証と 3) の作業点・動作教示を行う。動作がアニメーションで表示されるシミュレーション機能は、プレゼンテーション資料としても活用される。レイアウト構想、サイクルタイム検討時はその動作の概略のシミュレーションを行うため、動作教示はレイアウト構想と密接に関わる。そのオフラインプログラミングにおける最も大きな技術課題は、3次元環境のPC上への取り込みである。パソコン上に十分な環境を構築できれば、自動経路生成、自動レイアウト検証は技術的には十分可能と推測する。しかし、現状ではオフライン上でロボットの教示を行うためには、設備全体の周辺環境をPC上に個々に入力する必要があり、現段階では、その入力工数が大きいため、オフラインプログラミング、自動経路生成等の実用化が進まない。(ロボットを中心とした大体の環境入力行える、ロボットの配置、サイクルタイム検証までしか行われぬ。)近年、量産製品設計では、3DCADの使用が普及しているが、設備設計では3DCADの普及は進んでいない。また、仮に、3DCADによる設備設計が普及したとしても、設備設計では現合で設備製作を行うことが多く、3DCADによる環境をそのまま信用して経路を作成していかという疑問が残る。従って、視覚、レーザ等により周辺環境がパソコン上に簡単に取り込める技術が必要となる。それが可能となれば、パソコン上で、オフラインによる最適配置、最適経路生成、障害物回避が、普及すると考える。A)で述べた定常作業の自動化(作業計画)はパソコン上で先に実現されると予想される。

- C) 作業の微修正は、ロボットの位置のロバスト性が向上することにより解決される
と考える。現在は、ロボットは位置制御をベースとしており、そのため、その微修正の方法として、視覚装置による位置補正が用いられている。現在は、一部3次元認識の視覚装置が実用化されているが、ほとんどが2次元ベースである(3次元認識でも奥行き方向の精度が低い)。今後、カメラ等のコストダウン、機能アップにより、3次元認識の普及が進むと期待される。

一方、嵌め合い作業、柔軟物組付け、組付け品質向上では、位置制御だけでは困難な作業の自動化が期待されている。その方法として、力覚、触覚等が昔から議論されているが、普及に至っていない。その理由のひとつが、それぞれの作業に対して、その目標値が不明確な点である。たとえば、人間は嵌め合い作業の時、その力を感じながら、手の動き、力加減を調整して行っている。ところが、その力がどのようになるどのような動きをすればいいか、定量的に示せない。作業のノウハウ(勘・コツ)が全く定量化されていない点である。今後、ロボットによりその作業データを収集し、そ

の成否結果とリンクさせることにより、作業ノウハウの定量化が進むことが期待される。それにより、より高度な知能を持った（ロバストな）ロボット作業及びその教示方法の実現可能と推測する。

情報化:

ロボットは周辺機器とのやり取り、ロボットの知能化のためのデータ蓄積・活用のため、情報化の発展が要素技術となる。その情報内容とそれを実現するハードで分類される。

- 1) I/Oレベル: 周辺機器とのインタロックを行うもの。即時性、安定性が要求される。パラレル I/O から、近年各種フィールドネットワーク (CC-link, DeviceNet, CompoNet 等) が広く普及している。
- 2) メッセージレベル: 上位システム (PLC, PC) もしくは、視覚装置等の高機能デバイスとのデータ・ファイルをやり取りする。PC とのやりとりは Ethernet が用いられることもあるが、近年は、FA 用でも物理層を Ethernet を利用した各種ネットワーク (Ethernet/IP, ProfiNet 等) が近年普及しつつある。
- 3) サーボ通信レベル: コントローラードライバ間のデータのやり取りに使われる。1ms 以下のリアルタイム性が要求される。近年では、FA 用でも物理層を Ethernet を利用し、リアルタイム拡張したネットワークが (EtherCAT, Mechatrolink3 等) が近年普及しつつある。リアルタイム性、同期信号のやり取り等今後使用範囲は拡大されることが推測される。
- 4) CPU 通信レベル: 今後ロボットが高機能、多軸化するに従って、複数の CPU が同期を取って処理することが考えられる (一部人間型ロボットではその試みが進んでいる。) その場合、CPU クロックレベルで同期通信が行われる。

ロボットモデルを規定したネットワークデータフォーマット (プロファイル) の制定は進んでおらず、JARA が主導で提唱している ORiN, RT ミドルウェアがあるが一部で普及しているに留まっている。ただ、今後ロボットの情報化、たとえば遠隔保守、ロボットの制御データを活用した作業ノウハウの定量化等を実現、普及していくためにはネットワークデータフォーマットを規定していくことが重要である。