

解説

産業用ロボットの教示方法の現状と展望

The Present and Future of Teaching Method in Industrial Robots

水川 真^{*1} 小山 俊彦^{*2}^{*1}日本電信電話(株) 情報流通基盤総合研究所サービスインテグレーション基盤研究所 ^{*2}(株)デンソーロボット技術部Makoto Mizukawa^{*1} and Toshihiko Koyama^{*2}^{*1}Nippon Telegraph and Telephone Corp, Strategy Planning Project, NTT service Integration Labs. ^{*2}Denso Corporation, Robot Eng. Dept.

1. はじめに

労働人口の減少, 3K 作業からの解放, 熟練技能者の減少に対応するため, 産業用ロボットの適用分野をこれからますます拡大することが期待されている. このためには, 従来の直接作業の合理化のみでなく, 導入から保守まで生産サイクル全体における合理化を実現する必要がある. その手段として, 誰でも使えるロボット, すなわち「使用者の意図, 目的をプログラムしやすい」ロボットの実現が望まれており, ロボットにおける教示系および教示方法の改善が重要なポイントとなってきている.

2. 産業用ロボットの応用分野

従来, 産業用ロボットは自動車分野が大きな市場であり, スポット, アーク溶接, 塗装, シート, ガラス等重量物の運搬, 設置などに適用されている. また, 電機業界では, 高速なスカラ型ロボットと工具タレットや部品供給システムと組み合わせて, 組立作業に多用されている. いずれも, 大量生産を前提として, 生産直接作業工数の合理化を目的としており, 生産立ち上げまでの教示コスト(時間, 労力)等の間接作業工数がかかっても, 製品あたりの教示コストは低減できるため, MDI (Manual Data Input) やダイレクト教示による位置や経路を教示・再生するティーチングプレイバック方式がほとんどである. また, 一部の作業にはセンサが導入されているが教示系はアドホックである. 一方, 建設・造船などは, 工事ごとに設計仕様が大きく変わり, かつ工場ほど環境整備が容易ではない. 現場組立作業においては, CAD およびシミュレータを活用したオフライン教示[1]が現場工期短縮に効果を発揮している. すなわち, 直接作業工数の削減のみでなく, ロボット導入における間接作業も含めトータルでの工数の低減を考慮し

た例といえる. 従来の右肩上がりの経済成長が望めない今, 中少量生産の合理化, ライン立ち上げ期間の短縮は日本の製造業の生産性を上げるための必須命題であり, このような間接工数の低減を含めたトータルでのロボットによる合理化を実現する必要がある.

3章では, 産業界での取り組み例として, 工場におけるロボット導入の流れとその問題点, およびデンソーの教示支援ツールを紹介する. 4章では近年のオープン化の流れとそれに伴った教示システムの開発状況を紹介し, 今後の教示システムの課題を議論する.

3. 位置制御ロボット教示の現状と課題

3.1 工場におけるロボット導入の流れ

現場でのロボット導入のステップを図1に示す. 大きな流れは, 構想設計, プログラミング, 位置教示, 調整, 流動後の改善のステップで進められる. しかし, 実際には各ステップにおいてはトラブルが発生するたびに前に戻る後戻り作業が発生し, 調整ステップでの工数を増大させてしまう. また, 流動確認のステップでは, ポイント修正, 確認に多くの時間が費やされる. 製品精度のバラツキに対して十分に高い組み付け成功率を実現するために, 流動確認をしながらバラツキの真ん中に教示点を調整する必要があるためである. さらに, 流動後にも生産性向上活動として, サイクルタイムアップ, 教示点修正等が長い間行われる.

3.2 ロボット教示支援システム

ロボットの教示を効率化するために以下の二つに注目し, 実用化を進めている.

- 後戻り作業の減少を狙い, 上流での設計精度を上げるツールの提供
- 現場での作業の定量化, 効率化

基本的にはソフト管理技術とネットワーク, データベース等の最新のパソコン技術をロボットに応用し, 現場での調整工数を低減しようという試みである. 以下に各教示ステップに合わせてデンソー製ロボットにおける具体的な事例を紹介する.(図1参照)

(1) レイアウト, サイクルタイムの事前検討

- 簡易シミュレータ: ロボット状態モニタ

原稿受付 1999年1月29日

キーワード: Teaching, Programming, Industrial Robot, PC (Personal Computer), Open, Network

^{*1}〒180-8585 武蔵野市緑町3-9-11

^{*2}〒446-8507 安城市高棚町新道1

^{*1}Musashino-shi, Tokyo

^{*2}Anjo-shi, Aichi

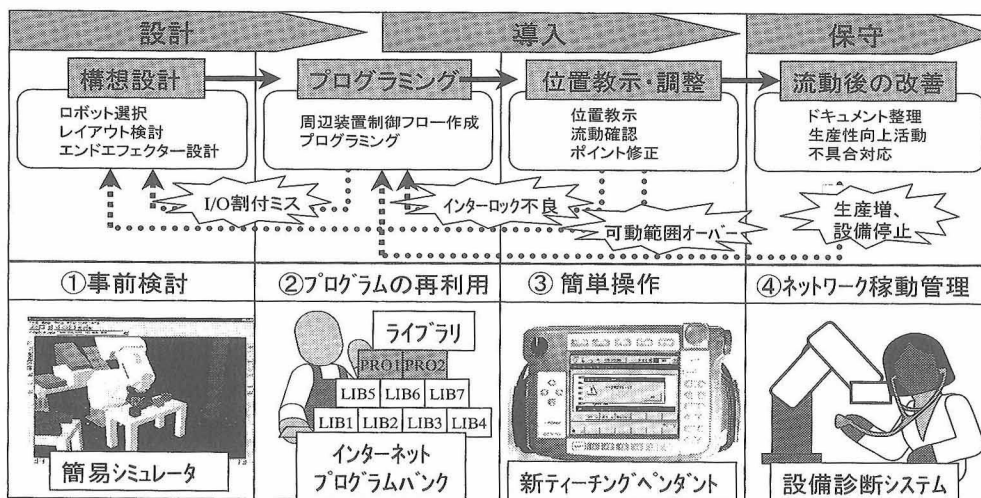


図1 ロボット導入ステップと支援ツール

コントローラ上でロボットプログラムを実行させ、パソコン (PC) との通信機能を活用して PC 上の仮想ロボットの動作を表示する。従来のオフラインシミュレータと比較してコストが低い、通常のロボットプログラムや操作環境と同一のため教育工数が小さい、実行処理が同一のため動作サイクルタイムが正確等の特徴を持っている。

(2) プログラムの再利用性向上

ユーザのプログラミング工数を低減するためには、先人の経験が詰まっている有用なプログラムの再利用性を上げることが重要である。

●ドキュメントの自動生成：プログラムの可読性アップ

本機能は、変数割付表、IO 割付表のコメント欄にそれぞれの意味を記入しておく、そのコメントをプログラムのコメントに自動展開し、さらに、コメント付きフローチャートまで自動的に生成する。この機能により他のユーザが作成したプログラムが理解しやすくなるだけでなく、ドキュメント作成工数を大幅に低減し、プログラム修正時のドキュメント不足によるトラブルを大きく削減できる。

●ライブラリ機能：標準プログラム

本ライブラリ機能は、技術者が作る作業パッケージでなく、現場のユーザが作り上げる作業パッケージの実現を目的としている。そのため種々の標準ライブラリは基本ロボット命令の組み合わせで構成される。それにより、ユーザがライブラリを組み合わせることで簡単にプログラムの作成が可能である一方、各工程に合わせて各ユーザがそのライブラリに修正を加えることもできる。そして、現場の知恵が盛り込まれたまったく新規のライブラリが、ユーザ自身の手で生まれてくることも期待できる。

●インターネットプログラムバンク：ライブラリ検索機能

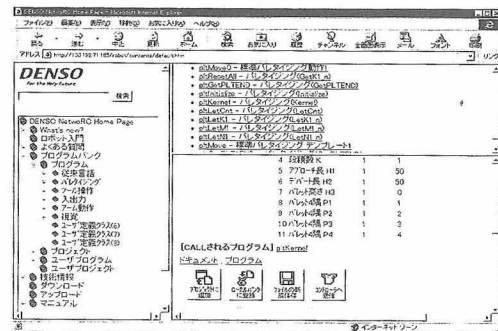


図2 インターネットプログラムバンク

数多くの過去に登録したライブラリのなかから、コメント文等をキーワードとして目的とするライブラリを検索する機能、そして指定のフォーマットで記述されたコメント文を解釈して、必要な入力項目、初期値等が入った入力画面を自動的に構成する機能がある。それにより、ユーザはライブラリを意識することなしに、ロボット専用命令と同様の画面インタフェースからライブラリに入力することが可能である。

さらにインターネットにより、より広く最新のライブラリを入手可能とする“インターネットプログラムバンク”機能を現在社内でテスト中である。例えば、プログラム作成時に自分の PC 上に適当なライブラリが見当たらないとき、デンソーのホームページ等に接続することにより、そこから最新の標準ライブラリを検索し、自分の PC に取り込むことが可能である。このシステムによりユーザの知恵を相互に活用できると考える。

(3) 簡単操作

表1 ロボットコントローラおよび教示環境 (1997 国際ロボット展ほかより)

分類	メーカー	User I/F	Servo	Net	Bus等	OS	特徴等	プログラミング	Off-Lineシステム, CAD I/F	URL等
コントローラ機能	Adept	Windows	Original	Ether, DeviceNet, Serial	VME	Windows-NT	画像OP	AIM(=Assembly Information Manager : GUI I/F), V+(Motion)	SILMA CimStation	http://www.silma.com/ (三井造船) http://www.adept.com/
	KUKA	Windows95	Original PC Board	Ether, Fieldbus, Serial	ISA, PCI	Windows95	KB付きVGAパネル, DLR 6Dマウス	N/A	オフラインシステムあり	N/A
	川崎重工	Windows NT	別筐体 Original	Ether, Serial	高速シリアル (MACRO 準拠)	Windows-NT	多機能パネル (コントローラ直結), NW監視機能	AS言語, データAPI, 制御API, サーボAPI, カスタマイズGUI	DXF サポート, 市販 APDLL, PC-ROSET	http://www.khi.co.jp/
	三菱重工	Windows, DOS	Original PC Board	Ether, Serial, ARCNET	PCI, ISA, VME	Windows95, DOS	4階層でI/F公開	MRC-World, WINDOWS VC/C++、VB	WORKSPACE	http://www.sdia.or.jp/mhkobe/products/mechatronic/
	ダイヘン	Original	Original	Serial	Original	Original	LRFBビジョンI/F	オフラインシステム (Deneb IGRIP OEM)	CAD IF IGES, DXF, VDA, STL, Pro-E	http://www.daihen.co.jp/
	神戸製鋼	Original	Original		Original	Original	N/A	溶接, 塗装システム環境提供	K-OTS32 (PC用)	http://www.kobelco.co.jp/showroom/seihin.htm
	安川電機	Windows NT	Original PC Board	Ether, Serial	Compact PCI	Windows NT	ビジョンI/F	MRC-World, MS-VC++、VB、INFORM II	ROTSY	http://www.yaskawa.co.jp/html_j/fset_products1.html
	EPSON	Windows95	別筐体 Original	Ether, Serial	ISA	Windows95	インラインモニター, ビジョンI/F	SPEL95, SPEL III, SPEL for Windows	N/A	http://www.epson.co.jp/epson/japanese/seihin/etc/etc.htm
	デンソー	Original	Original PC Board	Ether, Serial	ISA	VxWorks	大型VGAタッチパネル, ジョグダイヤル, NW, 設備診断	WINCAPSII+SLIM 準拠言語	N/A	http://www.denso.co.jp/FA/products/index.html
	不二越	Original	Original	Serial	Original	Original	ビジョンI/F	SLIM準拠言語	オフラインシステムあり	http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/
	松下電器	Original	Original	Serial	Original	Original	N/A	PARL-1ライク	N/A	http://www.panasonic.co.jp/panarobo/products/panarobo/panarobo.html
	FANUC	Original	Original	FANUC I/O Link	Original	Original	ビジョンI/F	N/A	オフラインシステムあり	http://www.fanuc.co.jp/
教示ツール	ヤマハ	ダイレクト教示	Original	—	Original	Original	コントローラ接続	姿勢, 位置分離 JOY-stick	仕上げCAM	http://www.yamaha-motor.co.jp/product/index.html
	安川電機	ダイレクト教示	Original	—	Original	Original	作業教示ハンド, コントローラ接続	MOTOMAN-ET, ET-PAD (ペンハンド)	N/A	http://www.yaskawa.co.jp/html_j/fset_products1.html
	豊田工機	ダイレクト教示	Original	—	Original	Original	コントローラ接続	ティーチングコンパス+PCデータ処理	N/A	http://www.toyoda-kouki.co.jp/_pub_html/sub_html/tmw/mechatro/robot/rmenu.htm
オフライン・CAPEシステム	安川電機	Windows95	—	—	—	Windows95	コントローラI/O信号モニタ機能	N/A	ROTSY for windows, DXF, 3DS	http://www.yaskawa.co.jp/html_j/fset_products1.html
	Cimetrix	UNIX, X-Windows, Windows	OMAC/ SERCOS	Ether, Serial	VME, ISA, PCI	LinuxOS, Windows NT	サーボ系までカバー	CODE 統合システム, C++、Tkl	N/A	http://www.cimetrix.com/Aries (米Cimetrix総代理店)
	Technomatics	UNIX, Windows	—	—	—	UNIX, Windows-NT	N/A	CAPE (Computer Aided Production Engineering) 統合システム	ROBOCAD他 (分野別APあり) CAD I/F I-DEAS, CATIA, UG, CADD5, Pro-E	http://www.tecnomatrix.com/
	DENEb	UNIX, Windows	—	—	—	UNIX, Windows-NT	N/A	IGRIP, Envision Family 等	IGRIP他 (分野別APあり) CAD I/F IGES, DXF, VDA, STL, Pro-E	http://www.deneb.com/
	Robot Simulation	Windows95	—	—	—	Windows95	N/A	オフラインシステム 言語: Karrel 基準 (他社対応多数)	WorkSpace4	http://www.rosi.com/ , http://www.marinet.or.jp/com/mhc/vendor/jr osi/index.html , ロボットメーション

多くのロボットユーザは年々高機能化するロボットの個々の機能について熟知しているわけではない。そのため、最も基本的な操作インタフェースであるティーチングペンダントはユーザにロボット情報、操作方法を分かりやすく伝えて、高機能を簡単に操作できる環境を提供する必要がある。デンソーでは以下を特徴とする新しいティーチングペンダントを開発した。

- わかりやすい：対話型操作環境
 - ・ 大型カラー液晶パネルを採用した見やすい画面
 - ・ 階層メニューとタッチパネルと対話型操作環境

- ・ ユーザが頻繁に用いる機能の専用キーと情報バー
- ストレスを与えない：軽快な操作
 - ・ ユーザの操作に対し、即、反応を返す高応答性
 - ・ ジョグダイヤル操作による簡単なメニューの選択や数値の増減操作の実現
 - ・ 小型、軽量、持ちやすさを考慮した外形設計
- 忘れにくい：ユーザの直感にあった操作
 - ・ 操作の学習時間を少なくするための一貫性の踏襲
- 安全への配慮
 - ・ 3 ポジション型デッドマンスイッチの採用

(4) ネットワークによる情報管理

●稼動状況表示機能：生産管理

ロボットを使用している生産工程では、生産性向上、品質向上のためのQC活動が日々行われている。従来QC活動を行うためのデータ収集は組み付けミス管理表等、紙と鉛筆により実施されていたが、今後ロボットで工程の稼働率・品番情報・部品の不良率・生産個数等の収集を行い、無線やネットワークを通じてユーザは設備稼動状況をオフィスに居ながらに確認することができる。そして、そのデータをPC用の市販の表計算ソフトを用いて分析して、効率的に工程を改善できる。

●設備診断機能：コントローラ内部データ解析

異常停止した場合、設備停止時間を短くすることが生産性に大きく影響する。異常発生前後の内部データ（位置・電流値等）を各軸ごとに記憶しており、そのデータをPC上で解析することにより、異常原因を素早く突き止めることができる。今後、この機能をインターネットと組み合わせた遠隔設備診断機能として実現を進めていく予定である。

また、設備診断以外に、作業ごとにモータにかかるトルク、位置等のデータとプログラムバンクの連携により、作業ノウハウの解析、蓄積を行っていくことが可能である。

3.3 流動テスト、調整の工数を削減のための課題

ロボットの教示効率化のもう一つの重要課題は、流動テスト、調整の工数を削減することである。すなわち、ロボット精度、製品精度のバラツキを吸収する技術である。従来の生産設備の考え方はおのおのの積み上げた誤差が製品の組み付け公差内に入るように各誤差を小さくし工程能力を管理することであった。しかし、これでは製品、設備のコストが異常に増大してしまう。

誤差を吸収する方法として従来から位置のキャリブレーション、センサFBが議論されている。それにもかかわらず現場ではほとんど普及していない。その課題をユーザの立場で考察する。

●位置のキャリブレーションツール

従来のティーチングプレイバックによる位置教示はロボット位置決め精度、ロボット設置誤差、ハンド設置誤差、ワーク位置決め精度等を吸収し、さらに流動確認によりワーク製品精度を現物合わせにて吸収していた。それに対し、従来実用化されているキャリブレーション手法はロボットの個体誤差のみであり、他のロボット設置誤差、ハンド設置誤差、ワーク位置決め精度、ワーク製品精度等が吸収されていないため、オフラインファインティーチングツールとしてはほとんど使用できなかった。

しかし、近年、多種少量生産に対応して教示ポイント数が増大するに伴い、一度入力した位置を再びティーチングする工数を削減したいというニーズが聞かれる。例えば、何らかのトラブルによってアームが周辺装置に接触し、位

置ずれが生じたときに、全ポイントを再びティーチングし、流動確認を行う保守工数を削減したいということである。この場合、誤差の発生はロボット本体のみであり、その前のティーチングデータにより、ハンド設置誤差、ワーク位置決め精度、ワーク製品精度等はすでに吸収されていることになる。このニーズに対応するためには、ロボットが設置されている現場で簡単に位置のキャリブレーションを行える必要がある。しかし、従来のツールでは、現場でのセッティングが困難、使い方が複雑、キャリブレーション範囲が極めて小さい、高価等の問題を抱えており、現場で使いにくいツールとなっていた。今後、現場で使えるキャリブレーションツールの実用化が期待される。

●センサフィードバック教示支援ツール

位置誤差を吸収する方法として、力制御等に代表される外部センサを用いたセンサフィードバックがあげられる。この方法は、外部センサ等によるコストアップの問題のほかに、新しい制御方法に対してユーザがどのように教示したらいいか解決されていないことが大きな問題である。位置教示の場合、ユーザは“どこにエンドエフェクタの位置をもってきたら組み付けができるか？”“ロボットをどのように動かせばその位置が教示できるか”が簡単に分かる。しかし、力教示の場合には、“どのようにすれば意図する最終状態になるか（組付けられるか）？”“その状態にするにはどのような力を加えればよいか？”自分が意図しない結果（動作をした）の場合、“どのように力の値を変更すればいいか？”以上の内容はほとんどのユーザが分かっていないことである。

力制御、視覚装置の普及を促すためには、その調整方法がユーザの直感に即し、どのような値を教えればきちっとした動作ができるかの調整指針が明確であることが必要である。センサフィードバック方式の普及のためには、先に紹介した設備診断機能によるデータの収集を進めるとともに、組付けとセンサ信号との因果関係を理論的に明確にする研究が進む必要がある。

4. コントローラのオープン化による教示システムの変革

4.1 コントローラのオープン化

前章のように、ロボットメーカーはそれぞれユーザ指向で高度なシステムを提供すべく技術開発を進めている。高度な生産技術を持つ業界では、ロボットメカごとの仕様の差異を独自に解決でき、または顧客仕様でシステムを調達できるため、ロボット導入に際して問題は表面化しなかったが、多種多様のユーザの要求に応え、適用分野と作業を拡大しようとしたとき、システム立ち上げ、教示、運用、保守等をロボットメカ、ユーザが個々に対応することが困難になってきている。

さらに、モーションコントローラや FA コントローラの PC 化は着実に普及しつつあり、経済的観点からだけでもロボットシステムだけが独自アーキテクチャのプラットフォームを持つことは困難になりつつある。産業用ロボットコントローラと教示インタフェースの PC 化に関しては、CRS ロボット [2] や KUKA KCP [3] が先駆けであり、1997 年の国際ロボット展でも、PC と Windows をベースとしたロボットコントローラが多く出展されていたことはこの流れを踏まえたものであろう [4]。

本会誌特集号 [5][6] でも取り上げられているが、事業的立場から PC 化は以下のメリットがある。

- 標準プラットフォーム、周辺機器の標準化、ソフトウェア開発環境の充実による機能拡張の容易化と低コスト化
- WS から PC への EWS 環境 (CAD, シミュレータ) のシフト (Windows NT, PC-UNIX) に伴うソフトウェア価格の低下
- GUI の普及と操作体系の一般認知化によるインタフェース理解の容易化

この結果、前章にも述べたように

- ソフトウェアモジュール開発が容易となり、カスタマイズ化コストの低下を反映して、ユーザ要望に応じたターンキーシステムを構築
- ユーザレベルでのソフトウェア開発
- 3D グラフィクスと対話型オペレーションによる、ユーザフレンドリインタフェースの実現
- ネットワークの利用

が進展している。各社ロボットシステムの上記関連仕様および教示系を表 1 に示す。

4.2 これからの教示システム

ロボット作業の計画レベルから実行までのマクロプロセスを図 3 に示す。通常、教示はトップダウンプロセスとして、ティーチングペンダントやオフラインシステムなどから、位置データおよび作業条件がコントローラに渡される。その後、現場において、対象物誤差や動作マージン等を考慮して修正教示され、これを用いて一連の実作業を試行し

たのち、運用に供される。ここで、ロボットとそれを用いて作業をさせる人間、ロボットが動作する環境について考察する。従来は、ロボットメーカーごとに異なったアーキテクチャに基づくコントローラベースで、教示系を構成していたため、人間は作業をロボットおよび環境の制約条件を考慮したうえで、運動レベルに翻訳して作業を記述せざるを得なかった。つまり、段取り、操作、手順などの作業を設計・計画するプロセスと、それを実現するための動作教示プロセスとが必ずしも分離されず、オペレータの個人差や、ロボットの種類に依存する部分が大きいといえる。

これに対して、様々な作業を特定の特徴を有する作業クラスとして分類・体系化し、従来の運動レベルプログラミングに加えて、このような構造化にのっとった作業レベルでのプログラミングインタフェースを用意することにより、ロボット機構に依存せずプログラムが可能となり、オフィスパッケージと同様に多様な作業に対応でき、ロボットビジネスがさまざまな場面で適用できる作業パッケージプログラムビジネスの展開が期待できる。

また、PC などで広く普及している標準ソフトウェア運用環境を活用して、教示インタフェースを標準化することにより、ハードウェア構成はベンダ独自であっても、作業レベル、操作レベルインタフェースを合わせることで、異なるハードウェアであっても同じ作業であれば同一のプログラミング環境が提供できるので、ユーザメリットは極めて大きい。このような考えにのっとったシステム (VIRTUE [7] や汎用作業設計システム [8]) が開発され始めている。汎用作業設計システムでは、いわゆる常識に従って、概念レベルで簡易に作業知識を記述できる環境を提供する。ロボット作業区間ごとに使用する工具とその操作をグラフィカルユーザインタフェース (GUI) と 3D 画面を用いて入力・編集するシステムであり、直感的操作で作業手順や条件を入力可能としている。また、作業に用いる工具と操作をオブジェクト記述することにより、クラスライブラリ化することで、操作知識の蓄積と再利用性を図っている。

今後の課題は、トップダウン系に加えて、実際の作業プロセス情報を運動レベル、作業レベルでモニタ・収集・蓄積・解析し、再利用可能とするボトムアップ系を構築することである。これにより、現場の実世界情報とオフライン系で扱うモデル情報の整合を取ることが可能となり、ロボットシステムとオペレータの情報共有 [9] とロボットのスキルを流通することが可能となることを期待できる。また、この情報発信のしくみを利用し、通信ネットワークを介してこれら作業にかかわる情報を専門家間で参照可能とすることにより、高度な専門性が必要とされるロボットやセンサの設置・調整・保守等に必要の情報や日常の稼動状況を多くの場所や人間の間で共有し、専門家の知識を交換

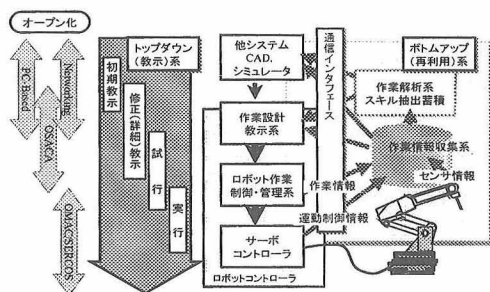


図 3 ロボット作業のプロセス

し、共同作業を行うことが可能となる [10] [11].

5. 結 言

日本の製造業の競争力を維持していくためには、産業用ロボットの適用分野をますます拡大することが期待される。そのために、導入から保守まで生産サイクル全体における合理化を実現する必要がある、誰でも簡単に使えるロボットの開発が望まれている。今後、各ロボットメーカ、研究者、そしてユーザの3者が協力してロボットの教示方法を改善していくとともに、その成果がすぐに普及していくようにコントローラおよびソフトウェア開発環境の標準化、ネットワークの活用を進めていく必要がある。それにより、従来のティーチングペンダントでは困難であった、センサ系をも含んだシームレスな教示環境が実現できるものと期待する。その結果、オペレーションコストの低減、保守、管理の容易化、が進展するとともに、熟練知識の蓄積と再利用のしやすさを構築することで、作業教示情報の資産化と、ロボットの適用分野が広がることを期待する。

参 考 文 献

- [1] 山本：“オフライン教示システムの展開”，システム/制御/情報，vol.42，no.4，pp.189-94，1998.
- [2] CRS ロボットマニュアル
- [3] KUKA カタログ WM-Nr.841/460/9604/1d
- [4] 松家，水川，小山ほか：“特集—ロボットシステムのオープン化”，ロボット，no.121，日本ロボット工業会，1998.
- [5] 特集「PC とロボティクス」：日本ロボット学会誌，vol.16，no.8，1998.
- [6] 水川：“次世代産業用ロボットの展望”，日本ロボット学会誌，vol.16，no.1，pp.41-44，1998.
- [7] T. Arai, O. Miki, H. Kawaguchi and T. Itoko: “A Visual Robot Teaching System,” Proc. 3rd Asian Conference on Robotics and Its Application (ACRA), 1997.
- [8] K. Kanayama, M. Mizukawa, S. Iwaki, S. Matsuo, T. Okada and Y. Nakamura: “Robot Task Design and Management System for Industrial Application,” Proc. 8th International Conference on Advanced Robotics (ICAR'97), pp.687-692, 1997.
- [9] 中村，荒川：本号小特集.
- [10] 水川，三ツ矢，南條，金丸：“コラボレーションとスキル共有を目指したロボットシステムの構築”，第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.1399-1400，1998.
- [11] 磯田，金丸，遠藤，三ツ矢：“ロボット作業におけるマルチメディアデータ収集・解析システムの実現”，第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.1415-1416，1998.



水川 真 (Makoto Mizukawa)

1949年12月2日生。1975年早稲田大学大学院機械工学専攻計測制御課程専修修士課程修了。同年日本電信電話公社（現NTT）入社。1981-1982年米国コロンビア大学機械工学科客員研究員，1985年日本機械学会論文賞，1987年工学博士。ヒューマンインタフェース

研究所知能ロボット研究部にてロボット作業システム，教示の研究に従事したのち，現在サービスインテグレーション基盤研究所主幹研究員。計測自動制御学会，日本機械学会，バイオメカニズム学会会員。（日本ロボット学会正会員）



小山俊彦 (Toshihiko Koyama)

1962年2月7日生。1986年京都大学大学院精密工学専攻修士課程修了。同年日本電装株式会社（現（株）デンソー）入社。1989-1991年米国マサチューセッツ工科大学機械工学科客員研究員，現在産業機器技術3部設計6課課長，ロボット教示支援システムの開発に従

事。

（日本ロボット学会正会員）