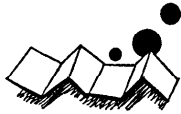


解説

FA 用情報処理技術



ロボット言語†

勝田 昌宏††

1. ロボット制御ソフトウェア

生産環境の変化に適応して、ロボットシステムの物理的構造を大きく変えずに、フレキシブルにロボット機能を活用するには、制御ソフトウェアの言語を使い易くする必要がある。

- (1) コンピュータの専門家でなくてもプログラムし易いこと。
- (2) 作業すべき動作を細かく指示できること。
- (3) 他の設備機械や、他のコンピュータとデータ情報の交換ができること。

既存のロボット言語は30種以上あり、自社用に設計されたロボット言語を考慮すると100種を超えている。ロボットの導入初期は1960年代であるが、手作業教示によるプログラミング、いわゆる Teaching Method であり、これが現在最も普及しているプログラミング方法で、スポット溶接や塗装作業にもっぱら利用されている。この Teaching Method プログラミングでは、サブルーチンがなく拡張が困難であり、したがってセンサの使用も限界がある。しかし一方では、ベルトコンベア、自動搬送機、ローダ/アンローダなどの大小の“搬送機”と“マテハン”(material handling)と“自動試験機”があれば、ロボットなしで無人工場を設備できる業種のあることも事実である。

「果たしてロボット適用をフレキシブルにするため複雑なソフトウェアプログラミングが必要であるのか？」工場設備計画者の中には疑問視するものが多い。工場にとってはプログラミングが高級でも、複雑であったらプログラミングのための人員と、その技術者の教育が問題になり、工場管理面からみると、ロボ

ット無用論も出てくる。

現在 Teaching が最も簡単なプログラミング方法であるが、これでも細かい指示のための Teaching に熟練を要する。生産品のモデル変更、多様化した新製品生産となると Teaching も複雑で手数がかかり、高度の技術者を多数要することになり、生産効率が低下する。欧州のある電子機器製造企業の生産部門の責任者が、単純作業ロボット(自由度 6軸)は生産効率の障害になるとさえ主張している。スポット溶接や塗装、マテハンなどの特定業務は比較的 Teaching ロボットを採用し易い分野であるが、機械部品の組立てや検査となると、センサ情報のみならず、データ検索、計算処理などの支援がさらに重要になってきて、汎用コンピュータのプログラミング言語のような幅広い記述能力が必要となってくる。

コンピュータ制御ロボットシステムはプログラミング言語のコマンドにより、センサ情報を呼び出して、ロボットの動作を指示する。プログラミングが Teaching (手動によるガイド) から Textual (作業や動作記述方法) に替って来た。さらに、ロボットの物理的機構部分の動作・不動作を人間が判断するためのモニタの要望がでてきて、Text の入力作業に会話型 Graphics 機能をつけるようになった。米国のロボットシステムメーカーの中にはロボットを人間に近づける努力、手動指示→文字表示/言語変換→画像表示/自動認識を主張しているものもある。

Text/Graphics でもプログラミングでは熟練技術者の生産ノウハウが重要なファクタであることは変わらない (Robot level programming)。さらに環境モデルを導入して熟練技術者を知識ベースにしたロボットの研究開発がなされている (Task level programming)。

シミュレーション推論機構を導入することも研究されている。米国 MCAUTO 社の PLACE, 英国 SERC の Summy System, イタリア Politecnico di

† Robot Programming Language by Masahiro KATSUTA (Vice President, CAM-I, Inc, Arlington Texas, USA, Vice President, Ricoh System Development Co., Ltd.)

†† CAM-I 本部副理事長, リコーシステム開発(株)副社長

Milan の Robot Vision System. ドイツ Karlsruhe の Advanced Multitasking Control System などが挙げられる。

2. 開発の傾向

単体のロボットのハードウェア・ソフトウェアの開発がすすんで動作も細かくプログラムも容易になってきて、不良品や未完成品の発生を処理したり、部品ならびの不揃い、アライメントの誤りや、工程計画に書かれないちょっとした応用動作が処理できない。これは生産性に大きなファクタとなっている。

検査品質保証を含めたロボットシステムが必要とってきている。感覚機能、思考機能、人間との対話を統合するトータルシステムが必要で、このソフトウェアの体系と高水準ロボット言語が研究されている。

中央のコンピュータから負荷をうつし、現場サイドに適応したプログラムをのせてロボットを駆動する sub-system や分散コンピュータシステム（ロボットシステム）が開発されている。これはロボットや他のプログラマブル機器を統合する FMS に不可欠な機能である。組立て用ロボットはこの中のひとつである。

IBM, Automatrix, General Electric, Westinghouse の知能ロボットは組立て用に適用しうる。MIT の Draper 研究所では、ロボット言語をさらに拡張して、センサ情報フィードバック、衝突防止 (Collision avoidance) や CAD との統合を可能にしている。人間とロボットの対話は業務の作業各レベルで種々の形態で行う必要があり、ロボットの管理運転には "interactive command module" が必要で、インタラクティブタイプのグラフィックスを利用した "application friendly" なロボットシステムを開発している。

ロボット制御プログラミングの言語として要望される機能は次のような事項であろう。

- (1) サブルーチンにアーギュメントが通る言語体系
 - (2) 既存の言語に共通な特徴
 - (3) 拡張性の大きい言語
 - (4) 業種内容の異なるユーザに適用しうる汎用性
 - (5) 単純作業も複雑高度の作業もカバーしうる言語体系
 - (6) 自然言語に近く、現場サイドの管理者の教育問題の少ない容易な形体をつくれる言語
- 米国の MCAUTO が昨年発表した "PLACE" は工場の単位 Cell 設計用ソフトウェアであり、市販ロボ

ットのライブラリをメモリにインプットして、R-100 work station により2つ以上のロボットの組合せ動作あるいは、単体ロボットの作業適応テストが可能としている。Graphics の上であるので精密な動作測定まではできないが、Cell の計画に充分役立つものである。

英国の Loughborough University が発表した GRASP (Graphical Robot Applications Simulation Package) はロボットの物理的構造をライブラリにもちロボットの作業プランニングと動作評価および path control のアニメーションを行う。

PLACE はこの GRASP のもとになっている Summy system から分離したと言われているが、いずれにしても Geometry をデータにもち、ロボットの動作を Graphics に表示してシミュレーション評価、Robot の設置計画ができる。プログラムには一週間程度の日数を要し、バックアップのコンピュータシステムも大きいので商用には未だしの感がある。

GRASP はロボット設置計画用であり、PLACE は work Cell 設計用でいずれもロボット制御のオフラインプログラミングを可能としている。GRASP に Fortran 4 を用いており、PLACE の Animate system は MCL 言語を使用している。

Purdue 大学 Electrical Engineering School では UNIX-C にロボット manipulator 言語 VAL を使ってロボットの manipulator を制御するシステム開発を行っており、UNIX の汎用性に着目している。

Michigan 大学のロボットセンタではロボットシステムプログラミング言語 ADA (米国防省開発) をインプリメントして専用機械や NC 装置を駆動し、CAD-system と Cell のインタフェース用サブルーチンを開発していると報告されている。知能ロボットシステムには、このように sub-system が多岐に亘り、多くの人の協力開発が必要であるが、制御ソフトウェアプログラミング言語の国際標準化開発には各国各業種の技術者、多くの人々の協力が必要である。

3. 既存のロボット言語

各種プログラミング言語の評価分類が行われているが、米国 ANSI では次のように分類している。

Micro computer level (level 1)

特に言語はなく、信号的なコマンドで動作するもの Point-to-point (level 2)

ロボット機構を手動機器により、継手モータを駆動

し、位置データを蓄積させる方式で、一般的に teaching. あるいは guiding と称する。ロボット自体を動かして位置情報を連続的に蓄積するものもある。またプログラム編集ボタンを動かして外部から信号を与えて guiding する高級なものもある。

(例) T3 (Cincinnati Milacron)
FUNKY (IBM)

Basic motion level (level 3)

Primitive motion level あるいは Robot level language とも言われているが簡単な subroutine をもつ。

(例)
MHI (MIT) WAVE (Stanford)
MINI (MIT) AML (IBM)
VAL (Unimation) SIGLA (Olivetti)
EMILY (IBM) RPL (Stanford)
RCL (RPI) ANORAD (Anorad)

Structured programming level (level 4)

Operation level とも称される言語で座標変換したり、フレームを動かして構造を変化させることができるが、工場で使用するには複雑で、プログラマ教育上問題がある。

(例)
AL (Stanford) MCL (McDonnell Douglas)
MAPLE (IBM) PAL (Purdue)
HELP (GE) TEACH (Bendix)
MAL (Milan Politechnic)
LAMA-S (IRIA)
LM (IMAG) RAIL (Automatix)

Task-oriented level (level 5)

作業 (Task) をさせるロボットの行動を記述することができる。ロボットのモーションを順序に述べるかわりに "Insert stick in hole" のように作業を記述する。ロボットの初期の環境状況から最終点の環境状況まで動作をコードに変換する。これには (1) World modeling (2) Geometric description (3) Object physical description (4) Kinematic description (5) Robot characteristic description などが必要である。

(例)
AL (Stanford) LAMA (MIT)
Hand-Eye (Stanford) AUTOPASS (IBM)
RAPT (IBM) LM-GEO (IMAG)
ROBEX (Aachen)

4. ロボット言語の標準化

工場設備計画では NC, Machining Center, 搬送機, 検査装置など各種機械の他, これらの制御機コンピュータがあり, これらとのインタフェースロボット自体の各種インタフェースの他, 新旧ロボット異種ロボットとのインタフェース(データ交換)が不可欠であり, 言語の標準化が望ましい。さらに最近, 開発設計, 製造, 生産管理, 検査, 出荷を一貫したトータル時間の短縮を考える LAN (Local Area Network) が開発され, 研究所の実験解析, 特性評価, 計測データの収集などの一連の研究作業を自動化する LA (Laboratory Automation) が開発され計測器中心の各種プロセッサネットワーク化が計られている。

このような環境から, コンピュータ間プロトコルを含めた交換または言語の標準化は不可欠であり, 欧州ではドイツ (VDMA), フランス (AFNOR), 英国 (SERC), スコットランド (NELI), ノルウェー, スウェーデンがそれぞれ国内の標準委員会を組織して活動を行っている。フランス AFNOR は, また欧州内先進工業国に呼びかけ, 欧州全土 (EC) 標準化活動を開始した。

米国では CEMA がコンベア (搬送) の標準化のソフトウェア言語開発活動を行い, AWS が自動化とロボット委員会を組織し, ASTM 自動化標準委員会をもち, EIA が NC のオペレーションコマンドとフォーマットの標準 RS-447 の改訂委員会が活動し, ULSME, IEEE がそれぞれ技術委員会活動でソフトウェア言語の標準化をとりあげ, またロボット協会 (RIA) が委員会を組織して, それぞれ標準化委員会活動を行ってきたが, 昨年 ANSI が上記各協会, 学会, 工業会の他大手企業有志を集めて米国標準化委員会 IAPP を発足させ, この IAPP (25) が全米ロボット言語の標準化を検討することになった。欧州標準化委員会 AFNOR は ANSI IAPP の提案をうけて, 国連の標準機構 ISO (本部ジュネーブ) の分科会 TC 97 の SC 7/8 を分離した TC-184 を作り, プログラミング言語の国際標準委員会を発足させた。

昨年 ('83 年 12 月), TC-184 の初回会合がフランスの PARIS で開催された。

日本ではロボット工業会 (JIRA) にロボット言語標準化研究専門委員会があり, プログラミング言語を 1985 年までに標準化する活動を行っており, ISO にも参加している (JIRA 代表 東大 新井助教授)。

5. CAM-I のロボット言語標準化活動

CAM-I は、世界の企業 (Industrial) と大学教育機関 (Educational) による会員制組織でプロジェクトグループを構成して CAD/CAM 分野7種のソフトウェア体系 (Geometric modeling, Process planning, Factory management など) の協力開発を行っている。

'82年9月 CAM-I 日本地区会員 (企業7社大学3) がロボット言語の国際標準化、オフラインプログラミングの協力開発を提言。各国企業会員 (企業120社、大学50) に呼びかけ協力可能性を打診しインタレストグループ会合をもった。米国で3回、日本で6回の会合により協同開発計画案を作成して、'83年7月にプロジェクトとして発足し、'83年8月有志企業国際会議の初回を東京で開催した (議長 北大 沖野教授)、第2回 St. Louis (米国 Missouri 州)、第3回は Gothenburg (欧州 Sweden) で開催された。

ソフトウェアの国際規模による協力開発が核となって最適なロボット言語を選び出し、あるいは開発補間の道を見い出すことができると確信する。米国の RIA (ロボット協会) は昨年11月 CAM-I に表明文を送って、CAM-I との協力活動を約し、1984年に米国企業会員の参加協力が大幅に増加すると予測している。

'83年10月の St. Louis 会議ではロボットソフトウェアに対するニーズのアンケートを行った結果、開発の対象はソフトウェア、インタフェースの標準化とロボット言語の標準化とすることが確認された。

- (1) CAD システムとのインタフェース
- (2) オフラインプログラミング
- (3) 言語の標準化

いかにして標準化をすすめるか、ベースに何を置くかに論議が集中したが、ベースとなるソフトウェア構造について、米国代表 Dr. R. Nagel (Lehigh 大) が札幌 (北大) に来訪 ('84年1月)、内容のにつめを行った。'84年2月に第5回 CAM-I ロボットソフトウェア開発会議が Ft. Lauderdale (米国, Florida 州) で開催される。開発の対象となるソフトウェア体系の基本構想に関する Nagel 報告 (札幌報告) と Martin Marietta 社が請負った委託契約、既存ロボット言語調査の報告がこの会議に提出される。

本年4月 ('84年) 第6回会合が東京又は大阪に予定されている。この第6回会合で Work statement を決定し、ソフトウェアの開発を外部に委託発注す

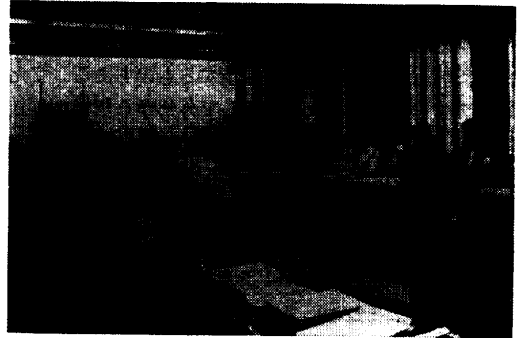


図-1

る。第7回を6月、Dearborn (米国, Michigan 州) で、第8回を7月東京で、第9回を Gothenburg (欧州 Sweden) 第10回を東京で開催することが予定されている。会合により開発仕様決定、ソフトウェア委託開発、言語調査、言語標準化案作成、同時に ANSI (米国)、AFNOR (欧州統一)、JIRA (日本) に報告、ISO 国際標準に提案して1986年に最初の phase を終了する。

6. 標準化に対する欧米企業の考え方

ロボット言語の標準化を目的としたソフトウェア協力開発プロジェクトには現在日本15社、米国8社、欧州3社 (ASEA, Siemens, Volvo) の企業会員と日・米・欧の8大学が協力参加しているが、RIA (米国ロボット協会) の予測では米国会員が1984年に急増して、日米合同開発体制になろうと述べている。

第5回会合で米国代表 Robert Thornhill (Martin Marietta) は米国のロボットメーカの状況を概括して、ロボットプログラミングは on-line から off-line に移ってきている事情を説明しプログラミングが Robot Motion に重点をおいて開発されていたが、近年 FMS レベルでロボットの作業指示をプログラムする傾向が強まり、Task level programming になってきたこと、これによりロボットレベルの言語の標準化のニーズが大きいことを指摘している。

欧州代表 Maurice Bonney (Loughborough University) は GRASP system が84年1月市販できる規模に縮小していることを述べ、言語標準化のためのソフトウェア公開にはライセンス問題があることを指摘している。第3回 Gothenburg 会議ではこのライセンス問題はロボットソフトウェアに Black Box をサブルーチンとするか High level language を使って標準化するかいずれかによって避けることが提案され

ている。

ロボット言語はメーカーそれぞれ開発した言語を使っているが、これら既存市販との互換性をもたせることが不可欠であり、このためバリエーションのいくつかある標準化を行って、互換性をもたせる交換システムを協同開発することが望ましいと考える。標準化のつもりの活動が既存30種の言語にさらに第31番目、第32番目の言語を作ることにならないような配慮をしなければならない。CAM-Iのプロジェクト会議ではCADのGeometric modeler, Databaseなどの既存のいかなるものとも接続することが条件になり、このためHigh level languageには“C”あるいは“ADA”などがあげられている。

参 考 文 献

- 1) Industrial Automation Meeting Report, June 27, 1983: ANSI Headquarters
- 2) Robotics Software Project, Gothenburg, Sweden, Oct. 20, RSP 10/83 E-1, CAM-I.
- 3) Summary Foreign Trip Report (ISO Standards Frankfurt, May 8-11, 1983), Bradford M. Smith Center of Manufacturing Engineering, NBS.
- 4) Industrial Robots, Definition e Classification, May 1983, ISO/TC-97/SC-8/WG-2 N 28 (AF-NOR).
- 5) IGES A Key Interface Specification for CAD/CAM Systems Integration, Jan. 1983, Bradford M. Smith (NBS).
- 6) A Comparative Study of Robot Languages Susan Bonner, Rensselaer Polytechnic Institute (Computer Dec. 1982).
- 7) Application Software for Robotics Current Applications and Future Needs in the Aerospace Industry, Robert B. Thornhill Martine Marietta Data Systems.
- 8) Robotics Software Project Report Tokyo, M-83-RSP-01, Aug. 83, CAM-I.
- 9) Robotics Software Project Report, Gothenburg, M-83-RSP-62, Oct., CAM-I.
- 10) Robotics Software Project St. Louis, M-83-RSP-63, Oct. 83, CAM-I.
- 11) Robotics Software Project Report, Tokyo, M-83-RSP-04, Dec. 83, CAM-I.
- 12) CAM-I Robotics Software Project Briefing to RIA, Detroit, Nov. 22, 1983.
- 13) Programming Language for Intelligent Robots, Gregory Carayannis (Computer Vision and Robotics Laboratory).
- 14) Evaluation of Commercially Available Robot Programming Languages, William A. Gruver (General Electric), Barry I. Soroka (University of Southern California), John J. Craig (Stanford University), Timothy L. Turner (Research Triangle Institute), Robot 7.
- 15) Robot Programming Languages and Program Complexity, Oct. 1983 (R.N. Nagel, Lehigh University).
- 16) Robot Software, Aug. 1983 (R.N. Nagel, Lehigh University).
- 17) 井上博允: 知能ロボットの言語システム, 東京大学 (1983).
- 18) Robot Not Yet Smart Enough, Roger N. Nagel (Lehigh University), IEEE Spectrum (May 1983).
- 19) 新井民夫: ロボット言語標準化への指針, 東京大学 (Nov. 1983).
- 20) 毛利俊二: Assembly Robot Language and Control Software, 日立製作所 (CAM-I Oct. '83).
- 21) Design Manufacturing, Daul wallich, IEEE Spectrum (Jan. 1983).
- 22) Robot Programming, Tomás Lozano-pérez Proceedings of IEEE, Vol. 71, No. 7 (July 1983).
- 23) Material-handling Systems, L. Jack Bradt, IEEE (May 1983).
- 24) Conference Proceedings, 13th ISIR Robot 7, (Apr. 1983).

(昭和59年2月7日受付)

