

自動組立のためのインテリジェント部品自動供給システム

著者	神谷 好承
雑誌名	平成9(1997)年度科学研究費補助金 基盤研究(C) 研究成果報告書
巻	1996-1997
ページ	48p.
発行年	1998-03-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/48266

自動組立のための

インテリジェント部品自動供給システム

(研究課題番号：08650313)

平成8年度～平成9年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2))

研究成果報告書

平成10年3月

研究代表者 神谷好承

(金沢大学工学部教授)

自動組立のための インテリジェント部品自動供給システム

(研究課題番号 08650313)

平成8年度～平成9年度科学研究費補助金 (基盤研究 (c)(2))
研究成果報告書

平成10年3月

研究代表者 神谷 好承
(金沢大学工学部教授)



8000-60041-5

金沢大学附属図書館

は し が き

総合的部品管理・供給システム開発研究の一環として多品種少量生産システムに弾力的に対応できるような高集積度とフレキシビリティを有するパーツフィーダやマガジン群に関する開発を行うとともに、これらのシステムから必要な部品をキットとして、あるいはオンラインで、プログラマブルに取り出すことができる部品供給システム（いわゆるパーツフィーディングセンタ）の開発とその最適運用に関する研究開発を行ってきた。この結果

1. 部品給送ロボットにおける汎用グリッパの設計、試作を行った。

各種の形状、寸法を有する部品に柔軟に対応できるハンド（グリッパ）部分の開発が必要であり、3本爪をリンク機構によって駆動し、簡単な構造でしかも柔軟部品等にも適応できる汎用性のあるグリッパを開発・試作した。また、必要に応じて圧電による力フィードバックを行い、給送時における異常検出等の機能を付加させることを試みた。

2. 画像処理装置による部品の形状・姿勢の判別装置の開発を試みた。

部品供給装置では通常のパターン認識と異なり、いくつかの制約条件を考慮して処理することが可能であり、画像処理装置を用いた高速化と高精度化に主眼を置いた認識システムの開発を行った。

3. 部品給送ロボットを用いたパーツフィーディングセンタ構想の総合的評価を行った。

開発した部品給送ロボットおよびフィーダを用いて実際に供給実験を行い、その信頼性向上および高速化への改善を行うとともに、トラブルが起きた場合の自動復帰など、実用化への問題点について検討した。

研究組織

研究代表者 神谷 好承（金沢大学工学部教授）
研究分担者 岡部 佐規一（金沢大学工学部教授）
研究分担者 疋津 正利（金沢大学工学部助手）
研究分担者 関 啓明（金沢大学大学院・自然科学研究科助手）

研究経費

平成8年度	1,600千円
平成9年度	700千円

計	2,300千円
---	---------

研究発表

1. 学会誌等

- (1) 岡部佐規一, 横山恭男, 谷口紀男: Symbols for Assembly System, Annals of the CIRP, 35(2) (1988)
- (2) 岡部佐規一: 部品供給装置の設計支援システムの開発, 不二越技報, 1 (44), 1988
- (3) 岡部佐規一, 横山恭男, 神谷好承: Parts Recognition Using Visual Sensors and its Application for Parts Feeding Systems, Proceedings of CHINA-JAPAN International Symposium on Mechatronics, (1988)
- (4) 李沢群, 神谷好承, 岡部佐規一, 神谷好承: Development of Parts Supplying Robot, Proceedings of the 10th International Conference on Assembly Automation (1989)
- (5) 小泉邦雄, 小林隆昭, 佐々木基文, 岩城敏博, 岡部佐規一, 横山恭男: モータ駆動平衡型振動リニアフィードの開発, 日本機械学会論文集 (C編), 59 562 (1993)
- (6) 笹木亮, 荒木一彦, 佐々木基文, 小泉邦雄, 岡部佐規一, 横山恭男: 帯状波動面を用いたソース・シンク変位ニアマイクロフィード, 精密工学会誌, 62 5 (1996)
- (7) 岡部佐規一, 横山恭男: 部品自動供給技術の現状, 精密工学会誌, 57 2 (1991)
- (8) 岡部佐規一: 部品供給のための優しい振動工学, 自動化技術, 25 2 (1993)
- (9) 岡部佐規一: アンケートによる難供給部品と供給技術, 自動化技術, 26 2 (1994)

研究成果報告

第1章 序論

この章では、部品給送ロボットの設計をするにあたって、キット方式の自動組立方法を詳しく説明するとともに、部品給送ロボットとは何かという問題をなげかけ、その言葉の定義を行う。そしてそのロボットはどのような形をしているのか、どのようなシステムの中でどのような働きをするか等を述べる。

1. 1 キット方式自動組立システム

キット方式自動組立システムとは必要な部品を一つのパレットに配列して、組付ステーションに供給する配列供給方式の1種である。これはプラモデルの部品が一つの枠に収められていて、後は組み立てるだけであるのに類似していることによりその名前が由来している。

現在の工場は主に「加工」、「組立」の二つの作業に分けることができる。¹⁾ この組立工程をさらに分類すると「組付け (Assembly)」、「移送 (Transfer)」、「供給 (Feeding)」の三つに分けられる。これを自動組立の3要素と言う。

- 「組付 (Assembly)」 2個以上の部品を挿入、結合によって一体にする機能
- 「移送 (Transfer)」 ジグやワークを組立ライン上で移動、停留させる機能
- 「供給 (Feeding)」 部品または材料を貯蔵容器から整列、分離などを行って挿入位置まで送り込む機能

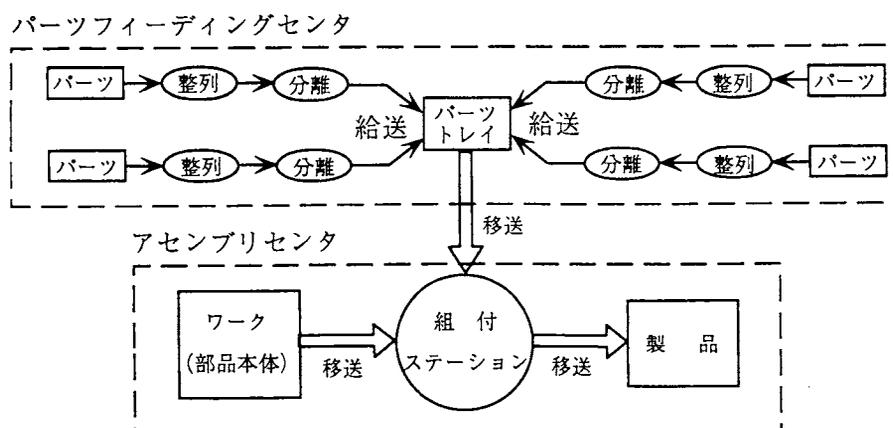


図1. 1 キット方式自動組立システム

キット方式自動組立システムでは図1. 1に示すように、部品本体が移送され、組付けられるメインラインであるアセンブリセンタの他に、オフラインであるパーツフィーディングセンタにおいて多品多種の部品を、部品を貯蔵するための機能を持つ装置、例えばパートトレイ上に平面配列し、そのパートトレイをアセンブリセンタに移送して組み立てを行う自動組立システムである。

1. 2 部品給送ロボットとは

最近では産業用ロボットだけでも数々のロボットが市販され、また工場稼働している。そういったロボットブームの中で、ロボットはプログラマブルであり、どのような仕事にも対応できると思われる。しかし現在稼働中のロボット（いわゆるマニピュレータ）は、どんな所でも、どのような仕事でもこなす万能ロボットにまでは発展しておらず、プログラムされた単純作業をこなしているだけである。これは現在のロボットはまだ知的判断力をはじめ、視覚、聴覚等の感覚器を持っていないからである。また、たとえそれらの能力を持っているとしても、その処理速度はまだ人間よりも遅く、時間的な要求の大きい工場ではとても使えない。またそれらの能力をロボットに持たせると少なからずロボットのコスト上昇を招いてしまうからでもある。これらの理由により、まだ完全なロボットは存在していない。

しかし産業界はその様な万能ロボットの出現をただ持つわけにはいかない。そこで上に述べたような現在のロボットの持つ問題を改善しようとする動きがある。本来、万能機械的に存在すべきロボットをその作業別に分類し、必要な動作だけをこなすようにロボットを設計、開発するアプローチの仕方がある。

この「供給」において部品の供給、給送を行うのが部品給送ロボットである。つまり部品給送ロボットは他の機能を省略して、部品を給送するという目的のもとに設計される部品供給専用のロボットである。また、言い換えれば部品給送ロボットは他の作業を行うことは前提としてはいないが、部品給送に関しては効率よく作業を推し進めることができるロボットである。

現在工場で行われている部品給送方法には製造供給方式、配列供給方式、ばら積み方式がある。部品給送ロボットは配列方式のうちでも特にパートトレイ方式に適したロボットを目指す。それは、パートトレイ方式は多種少量生産向けのキット方式自動組立が実現できるからであり、プログラマブルなロボットの開発によりさらに生産が向上すると思われるからである。

ここで実際に部品給送ロボットを設計するにあたって特に以下のことに注意して設計する。

(1) 部品的高速供給が行えること

部品のパートトレイ方式は多種少量生産向きであるが、その反面パートトレイに部品を並べるために、もし普通のマニピュレータ型ロボットを用いた場合、部品の数だけハンドは部品取り出し口

からパレットレイまでを往復しなければならず、この往復動作に時間がかかってしまう。よって部品給送ロボットには部品の高速供給が望まれる。

(2) 多種の部品の供給が行えること

キット方式自動組立では、一つの工程で組付られる複数の部品をパレットレイに並べるので、また場合によっては製品の構成部品数が少ない時には、一つの製品の部品を一枚のパレットに全部載せてしまうことも考えられる。つまりパレットレイ方式は他の部品供給方式よりも扱う部品の種類は多いと言える。よって部品給送ロボットがこの方式で使われる以上、当然多種の部品の供給が行えることが望まれる。

(3) 従来の部品供給装置、パレットレイに対応できること

現在工場の組立工程において部品の供給にはいろいろな部品供給装置が使われている。その例としてボウルフイーダ等の振動ホツパフィーダ、またはマガジン等があり、これらは主に部品を整理するための装置である。よって部品給送ロボットは部品供給装置において最低限整理された部品をパレットレイに並べるといった橋渡し役をするよう設計する必要がある。

(4) 省スペース型であること

部品給送システムにおいては供給する部品の数が多くなるにつれて、それだけ部品供給のための装置（ボウルフイーダ等）の数が多くなる。それゆえ、空間的なスペースでの制約が問題となる。部品給送ロボットはそうしたスペースをあまり取らないように設計、開発しなければならない。

1. 3 パーツフィーディングシステムの中の部品給送ロボットの役割

自動組立用のロボットを開発する際に考えなければならないのは、ロボットを使用する環境である。それは、ロボットがいくらフレキシビリティに富んでいると言えども、それ単体だけで存在することは現在の自動組立、自動部品供給においては考えられず、必ず他の装置との関係を持って作業を行わなければならないからである。

ここでキット方式について考えれば、キット方式の特徴として、部品の供給ステーションと部品の組付ステーションは分離すべきであると考えなければならない。また部品給送ロボットはキット方式の自動組立を効率よく行うために、パレットレイに必要な部品を並べることを前提としている。そこでこの二つの概念を両立させるために以下のようなシステムを考える。

部品供給装置、部品給送ロボット、パレットレイの3者を組合わせ、これを部品給送システム (Parts Feeding System) と名付ける。この構成を図1・2に示す。

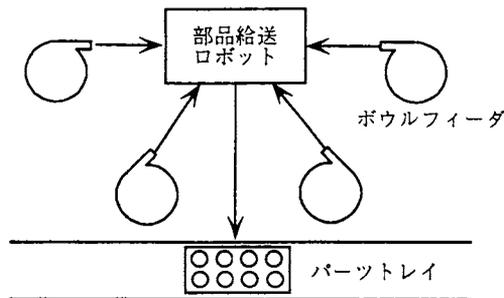


図1. 2 部品給送ロボットを利用した部品給送システム

この部品給送システムにおいては、自動組立システムにおける部品の整列、分離、給送の作業を受け持たせる。具体的には図1. 2の様にロボット、さらにその周囲にボウルフィーダ等の部品供給装置を置くことによって、部品給送システムでは基本的に（部品の把握）→（同転）→（パレタイジング）→（パレットの移送）・・・という様な一連の作業をする。この様なシステムを整えて、初めて部品給送ロボットはその力を発揮するのである。

1. 4 部品給送ロボットの骨格および運動の自由度

1. 2でも示したように、部品給送ロボットは部品供給装置において整列された部品を扱うロボットであり、その部品供給装置は部品給送ロボットの周囲に配置される。このシステムに適応できるように、以下の事に注意して部品給送ロボットの骨格を決める。

(1) 部品供給装置はロボットの周囲に配置され、これより部品をつまみ、パレットに部品を並べるためには、部品給送ロボットは少なくとも旋回動作が行えなければならない。

(2) パーツフィーディングセンターでは、当然複数の種類の部品を扱うのであるから、部品給送ロボットにもそれらの種類の部品に対応できる能力（汎用性）が必要となる。

(3) 部品給送ロボットの部品を掴む装置であるフィンガを、少なくとも部品供給装置の部品取り出し口とパレットの部品挿入位置に移動させなければならない。よってこの動作を行う軸が必要である。

(4) 部品をパレットの部品挿入位置に入れる時に、部品を鉛直方向に出し入れしなければならない。よって部品給送ロボットには鉛直方向に移動できる軸（垂直軸）が必要である。この(3)と(4)の動作は、いわゆるピックアンドプレース (Pick and Place) である。

以上(1)～(4)を満たすために、図1. 3の様なロボットを考えた。これは、形としてはインデックステーブルの上にピックアンドプレースユニットを複数個配置したものになっている。

回転軸を θ 軸、水平軸を $Z1$ 軸（4個あるので $Z11$ から $Z14$ ）、同じく垂直軸を $Z2$ 軸（4個あるので $Z21$ から $Z24$ ）と呼ぶ。そしてこの $Z2$ 軸の先端にエンドエフェクタとしてのフィンガが取り付けられる。またこの水平軸、垂直軸、フィンガを一組としてハンドと呼ぶ。ハンドは4本あるのでそれぞれハンド1からハンド4と呼ぶ。 θ 軸は、上記(1)の部品給送ロボットの周囲に配置された部品供給装置に対応するために、 $Z1$ 軸は(3)のフィンガを部品取り出し口と、パレットの部品挿入位置に移動させるために、また $Z2$ 軸は(4)の部品を鉛直方向に取り出し、挿入させるためにある。また、ハンドが4本あるのは(2)の複数の種類の部品に対応できるためにある。

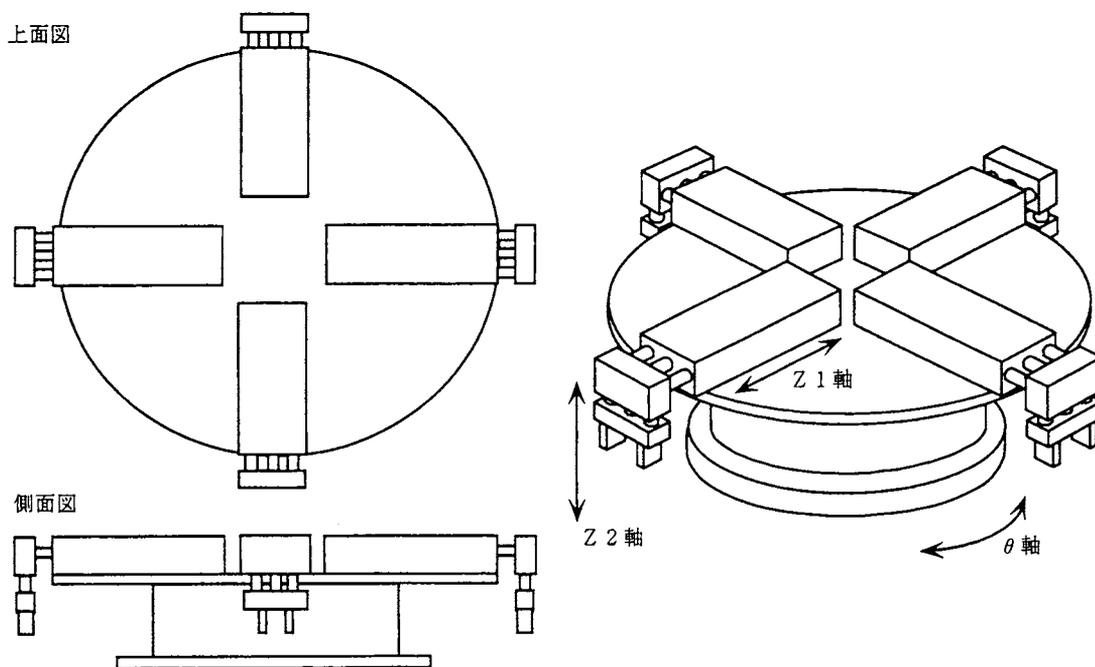


図1. 3 給送ロボット概念図

以上は部品給送ロボットに対する特別の要求であるが、さらに産業用ロボット一般を製作する時にその形の上で注意しなければならないことを以下に記しておく。

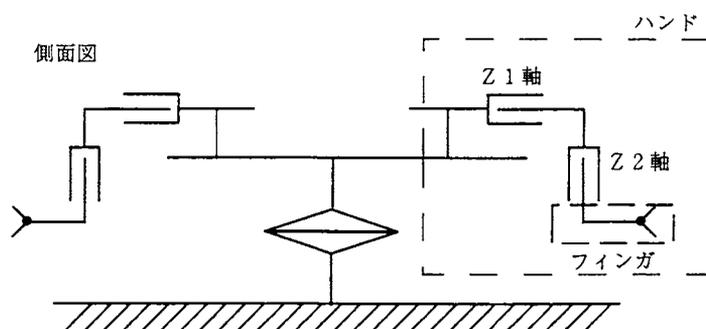
(1) 可動部の慣性量（慣性モーメント）が小さいこと。

これは部品給送ロボットの作動時にその応答性と、過渡特性を良好にするために必要である。

(2) 不平衡慣性量が小さいこと。

これはウェイトバランスの問題である。支持の安定、および高速運動時の反動を防止するためである。部品給送ロボットは特に回転型ロボットであるのでこれに注意しなければならない。

ここでこのロボットの本手の一本だけに注目するとこのロボットの骨格は、図1. 4となる。これより、このロボットの型としては円筒座標型ロボットに属することが分かる。この型のロボットの特徴としては、動作領域が比較的広く、水平面で円形、垂直面内では直交型であるので、その方向の剛性が高い等の特長を持っている。さらに部品給送ロボットの自由度は、1本の手に注目すれば旋回軸、水平軸、垂直軸の3軸（フィンガは除く）であり、手は4本あるので結局、9軸（1旋回軸、8直交軸）を有するロボットである。つまり部品給送ロボットを、現在存在する産業用ロボットの骨格のもつ分類法に乗っ取って分類すれば、4個の水平軸と4個の垂直軸が1個の旋回軸を共有する円筒座標型ロボットであると言える。



1. 4 部品給送ロボットの基本骨格

1. 5 部品給送ロボットの運動学方程式²⁾

部品給送ロボットのハンド手先が、空間内の一点へ移動するためには各軸がどれだけ移動すれば良いかをここで紹介する。

まず部品給送ロボットは円筒座標型ロボットであるので、同次変換技法を用いて円筒座標系から、直交座標系への変換を求め、さらに3次元空間内の一点へ移動するために各軸がどれだけ移動すれば良いのかを調べる。

産業用ロボットは回転（旋回）、伸縮の二つの動作から成り立っている。回転（旋回）をベクトル変換で表すと、X軸、Y軸、Z軸まわりの回転は次のように表される。

$$Rot(x, \theta) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1.1)$$

$$Rot(y, \theta) = \begin{vmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1.2)$$

$$Rot(z, \theta) = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1.3)$$

また同様に伸縮は、その並進に対応する変換として次のように表される。

$$Trans(a, b, c) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 0 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1.4)$$

円筒座標系は図1.5に示すように、X軸に沿って平行移動 r 、次いで z 軸まわりに回転 α 、最後に z 軸に沿って並進 z を行うことに対応する。なわち次の式で表される。

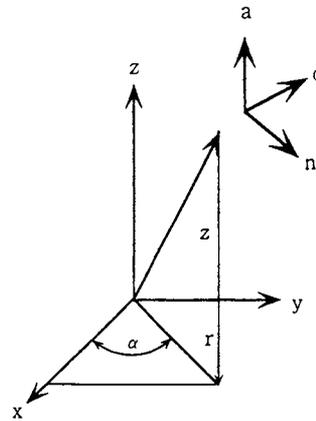


図1.5 円筒座標系

$$Cyl(z, \alpha, r) = Trans(0, 0, z)Rot(z, \alpha)Trans(r, 0, 0)$$

$$= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & r \cos \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & r \sin \alpha \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1.5)$$

ここでハンド手先（フィンガ）の初期座標を $(d, 0, 0, 0)$ とすると、次式となる。

$$\begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (d+r) \cos \alpha \\ (d+r) \sin \alpha \\ z \end{vmatrix} \quad (1.6)$$

空間内の一点へ移動するために各軸がどれだけ移動すれば良いかは、上式より z 、 α 、 r について求めたものであるのをこれを次式に示す。

$$\begin{matrix} r \\ \alpha \\ z \end{matrix} = \begin{matrix} \sqrt{x^2 + y^2} \\ \text{Arc tan} \left(\frac{y}{x} \right) \\ z \end{matrix} \quad (1.7)$$

これにより、3次元内の一点（例えばパーツフィーダの部品取り出し口）の座標が分かれば、各軸の移動量が求められる。

第2章 部品給送ロボットと他のロボットとの比較

2.1 産業用ロボットを評価する内的、外的要因

ロボットを用いて自動化を押し進める時にロボットだけに気を配って、どんなに素晴らしいロボットを導入しても、ロボットは単体では存在できないので、絶えず外界（システム）からの影響を受けながら仕事をしなければならないことについては第1章でも述べた。この章ではさらにそれについて深く掘り下げる事にする。については先ず、ロボット自身の性能、例えばアーム速度や可搬重量等の基本的な性能について比較し、次にそのロボットに部品供給作業を行わせるために部品供給システムに導入した場合、どの様な利点、または障害が出て来るのかを各ロボットについて行う。

この比較を行う前に先ず、ロボットとロボットを取り巻く環境において何について評価をすれば良いかを明確に記したのでこれを図2.1に示す。

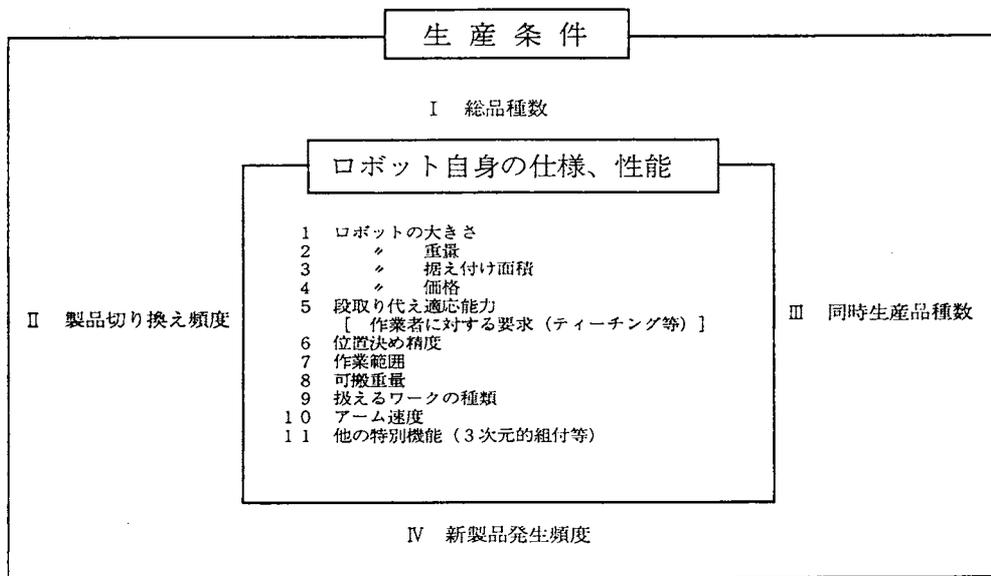


図2.1 産業用ロボットを評価する内的、外的要因

2.1.1 ロボット自身の仕様、性能

産業用ロボットの分類において使われた6項目を以下に記す。

- (1) 人力情報、教示による分類
- (2) 動作形態による分類

- (3) 自由度からの分類
- (4) 可搬重量と作動領域からの分類
- (5) 順序情報からの分類
- (6) 動力源からの分類

この章においてロボット自身の仕様、性能を比較する時には上記6項目を参考にして、さらに細分化したものを評価項目とする。この評価項目とその定義を以下に記す。

☆ ロボット自身の仕様、性能の各用語の定義

(1) ロボットの大きさ

これはロボットのアームの長さ等の寸法である。

(2) ロボットの自重

これはロボット自身の自重であり、コントローラー等の機器の自重は含まない。

(3) ロボット据え付け面積

工場の、特に部品組み立て工程では数々の装置が据え付けられるのでその据え付け面積も評価項目の1つとなる。その時の設置に要する面積、また床置き型か、天井据え付け型か等の評価する。

(4) ロボット価格

ロボットを導入するには多額の金がかかる。特に中小企業ではその値段の高さゆえに導入をためらう場合も多い。ここでいうロボット価格とはロボットとそのコントローラーを含めた値段である。

(5) 段取り替え適応能力

プログラムの作製、また作業のティーチングにおいて作業者が扱いやすいかというソフトウェア的要素から、部品が替った時にその部品がつかめるか等のハードウェア的要素を含む能力。

(6) 位置決め精度

これは位置決め精度といっても繰り返し位置決め精度をさす。部品給送（パレタイジング）を行うのが発揮できる精度。

(7) 可搬重量

ロボットの基本性能を損なわない範囲で扱えるワークの重量。

(8) 扱えるワークの種類

(5) の段取り換え適応能力に関連してここでは把握できるワークの種類数。

(9) アーム速度

通常、フィンガが付けられているアーム先端速度を記す。最近では DD ロボットの出現によりかなり速いマニピュレータも存在している。

(10) その他の特別機能

三次元的組付等の有無、など

以上の項目についてロボット自身の仕様、性能の比較を行う。

2. 1. 2 多品種少量生産の生産条件

工場において製品を製造する時に、その生産条件の内容によってそこに導入すべき生産用機器の姿はいろいろ変って来る。自動組立工程においても同じ事はあてはまり、この工程にロボット、あるいはそれに類する機器の導入を考えるにあたっては、先ずそれらの機器を使ってどの様な生産（部品給送）が行えるのか、どの程度の生産まではカバーできるのかを考えること、つまりその工程（部品給送システム）の生産条件を明確にする必要がある。

一般に多品種少量生産の生産条件として考えなければならないのは図2. 1にも示した通り次の4要素である。³⁾

(1) 総品種数

現在から将来にわたって生産する対象ワークの品種の総数である。多品種少量生産であるから、最小で2種類、最大で1000種類以上無限大まで考えられるので2～5種類、6～10種類、11～50種類、51～100種類、101種類以上の5段階で評価する。

(2) 同時生産品種数（同時取扱部品品種数）

全品種のうち何種類の部品を同時に1つのパレットに載せられるかを問う。多品種少量生産であるから、最小で2種類、最大で1000種類以上無限大まで考えられるので2～5種類、6～10種類、11～50種類、51～100種類、101種類以上の5段階で評価する。

(3) 製品切り換え頻度

製品を切り換える場合、パレットに並べる部品も当然変わる。この時切替わる部品の種類は1種類から総入れ替えまでである。製品の切換えは1回/年、1回/月、1回/日、1回/時、毎回の5段階で評価する。

(4) 新製品発生頻度

製品を切り換わる点からみると3の製品切り換え頻度に似通っているのだが3の場合は既にどの様な製品であるかが分かっている、その部品を把握するにはどうすれば良いかが分かっているのに対して、4は新製品であるのでどの様な部品を扱うのか分っていない、または予測がつかないという違いがある。新製品発生頻度は1回/年、1回/月、1回/日、1回/時、毎回の5段階で評価する。

以上の様な項目について部品給送システムの比較を行う。

2.2 3種類のロボットの、ロボット自身の性能比較

現在、工場では様々なロボットが働いているがそれらのすべてのロボットについて性能比較を行うことは出来ない。よってここでは特に自動組立工程において使用されることが多いロボットと、今回開発された部品給送ロボットについて比較を行う事にする。自動組立工程において使用される頻度が高いロボットとはまず、スカラ型ロボットである。このスカラ型ロボットは多くのロボットメーカーにおいて市販されているが、アーム速度が世界一（1987年5月現在）といわれているヤマハ発動機のスカラ型ロボット YK8050/YK8080 を代表させる。

次に使用頻度が高いのは垂直多関節型ロボットであり、これは川崎ユニメート社の 550 PUMA ロボットを代表させる。

これらのロボットには部品の把握において汎用性を持たせるためにそのエンドエフェクタであるフィンガに工夫がされている。スカラ型ロボットはロータリータレットでフィンガを交換させて汎用性を増し、PUMA ロボットは回転ドラム等にフィンガを並べておき、随時交換させる AHC（自動ハンド交換時装置）を用いるのが有効な方法である。よって、ロータリータレット付きスカラ型ロボット、AHC を利用した垂直多関節型ロボット、そして部品給送ロボットについてその内的評価要因である使用、性能の比較を行う。

(イ) 部品給送ロボットの仕様、性能

(1) ロボットの大きさ 図2.2に示す

(2) ロボットの自重 約60Kg

(3) ロボット据え付け面積 図2.3に示す

(4) ロボット価格 ロボット本体 約80万円 コントローラー 約50万円

(5) 段取り替え適応能力

1. プログラム作製

ロボット言語 BASIC を使用しており、そのファイルは MS-DOS で管理されている

2. ティーチング方法

JOG モード（マニュアルモード）で位置確認の後、プログラムにそのデータを記入する

(6) 位置決め精度

理論上、ハンド先端で $0.262 \mu\text{m}$ の分解能を出せるはずであるが、減速機のバックラッシの影響により、そこまでの精度に到達していない。

(7) 作業範囲 図2.4に示す

(8) 可搬重量 0.75Kg のものを一度に4個まで運べる。

(9) 扱えるワークの種類

一度に4種類までの部品を取り扱うことができる。それ以上は人手でフィンガを交換することによりフィンガが用意されている数だけの部品の取扱いが可能である

(10) アーム速度 最高でハンド先端速度 2.81m/secである

(11) 他の特別機能

フィンガを駆動させるための電源を供給するハーネス、または空気をおくるチューブを上手に処理することにより無限に回転できる

(ロ) ロータリータレットハンド付きスカラ型ロボットの仕様、性能⁴⁾

(使用ロボットはヤマハ発動機YK8050/YK8080)

(1) ロボットの大きさ 図2.5に示す

(2) ロボットの重量 ロボット本体 83Kg ロータリータレット1.5Kg (6個のフィンガ付き)

(3) ロボット据え付け面積 図2.3に示す

(4) ロボット価格 ロボット本体+コントローラーで約300万円

(5) 段取り替え適応能力

1. プログラム作製

独自のBASIC風の言語を開発しており操作性は良好である。

2. ティーチング方法

プレイバック方式により座標を記憶させる。または直接、座標をプログラムに書込む方法がある。

(6) 位置決め精度 繰り返し位置決め精度は0.03mm

(7) 作業範囲 図2.6に示す

(8) 可搬重量 10Kg

(9) 扱えるワークの種類

6個のフィンガを取り付けることのできるロータリータレットを用いているので取り扱える部品の種類は6個である。それ以上を望むのならロータリータレットを人手で交換すること。

(10) アーム速度 X、Y軸合成で5.6m/sec

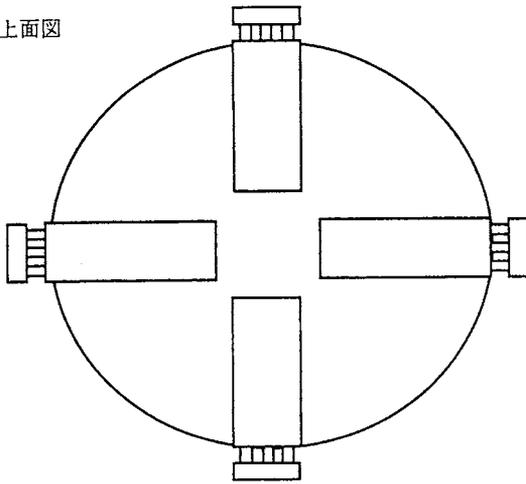
(11) 他の特別機能 CP動作 (Continuous Path)、3次元直線補間

(ハ) AHCを利用した垂直多関節ロボット⁵⁾

(川崎ユニメート 550PUMA)

- (1) ロボットの大きさ 図2. 7に示す
- (2) ロボット重量 本体55Kg
- (3) ロボット据え付け面積 図2. 3に示す
- (4) ロボット価格 本体+コントローラー 600万円
- (5) 段取り替え適応能力
 - 1. プログラム作製
独自のVAL言語を使用しており操作性は良好である。
 - 2. ティーチング方法
プレイバック方式により座標を記憶させる。または間接的に座標をプログラムに書込む
- (6) 位置決め精度 繰り返し位置決め精度は 0. 1mm
- (7) 作業範囲 図2. 8に示す
- (8) 可搬重量 2. 5Kg
- (9) 扱えるワークの種類
チェーンまたはドラムに収納されたフィンガをそのつと交換する事により、フィンガの種類だけ部品も扱えることになる。ただ、フィンガを交換するのに時間がかかる。
- (10) アーム速度 500mm/sec
- (11) 他の特別機能
WORLD、TOOL座標系を持ち、作業内容によって好きな座標系によってプログラムを作製できる

上面図



側面図

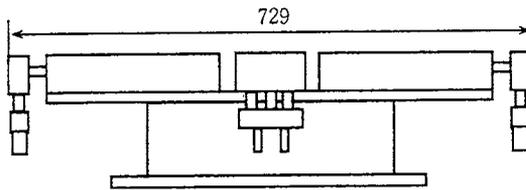


図 2.2 部品給送ロボットの寸法

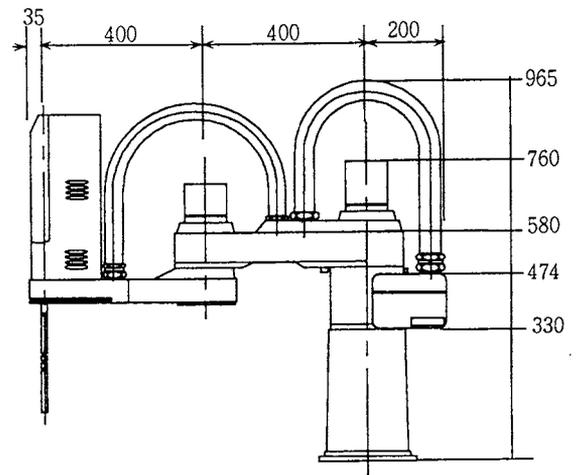


図 2.5 スカラ型ロボットの寸法

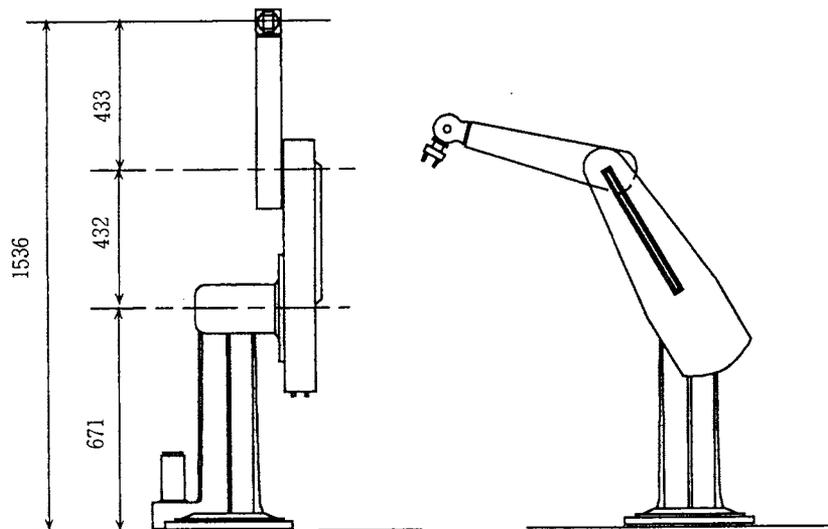


図 2.7 PUMAロボットの寸法

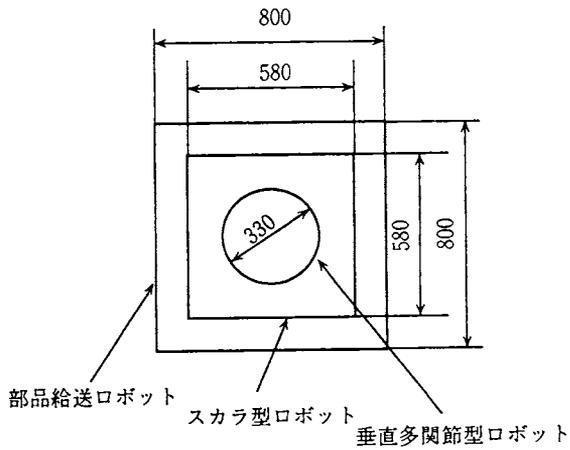


図 2.3 各ロボットの据え付け面積

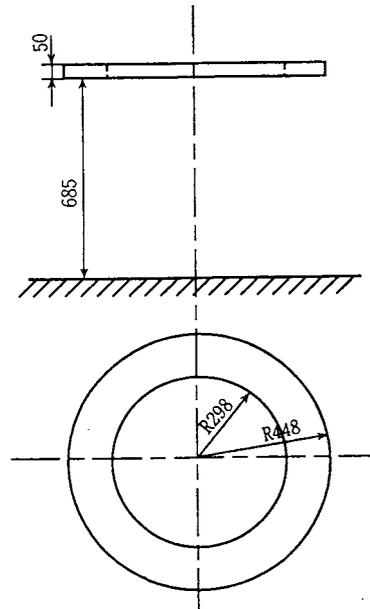


図 2.4 部品給送ロボットの動作範囲

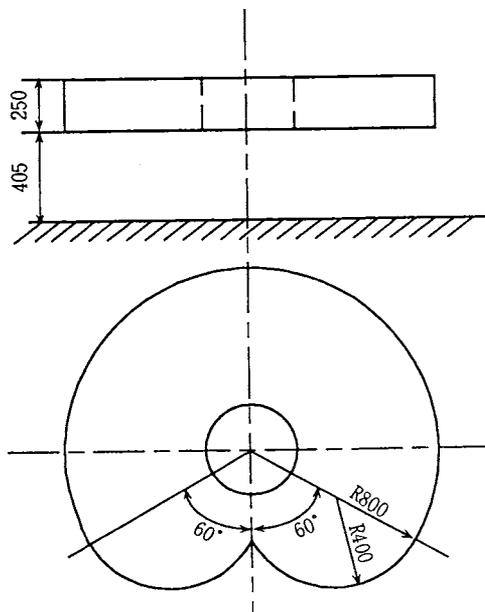


図 2.6 水平多関節型ロボットの動作範囲

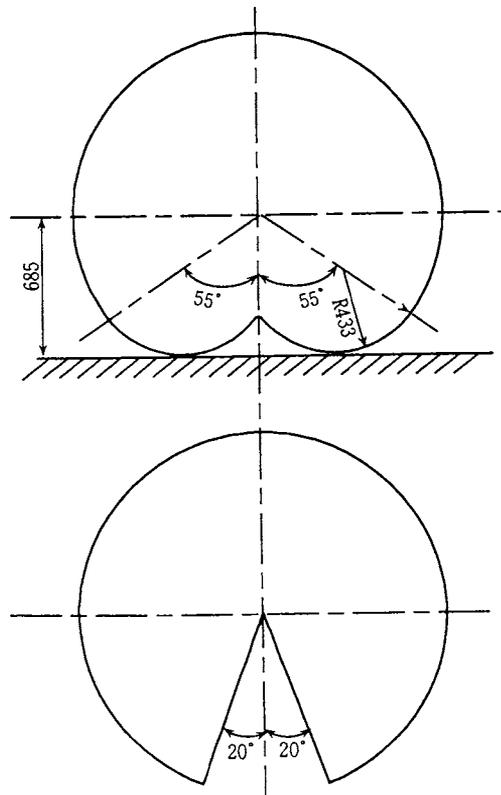


図 2.8 垂直多関節型ロボットの動作範囲

2. 3 3種類のロボットを用いた部品給送システムの比較

2. 2章で比較した3種類のロボットを部品給送システムに導入した場合にその生産条件がどの様になるのかを比較する。ロボットを用いた部品給送システムを図2. 9に示す。

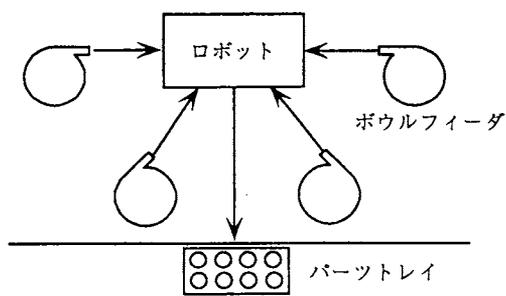


図2. 9 ロボットを用いた部品給送システム

また、おのおのの外的要因について評価点の基準を表2. 1に記す。

表2. 1 生産条件パターンの評価点の基準

	1	2	3	4	5
総品種数	2～5個	2～10個	11～50個	50～100個	101以上
同時生産品種数	2～5個	2～10個	11～50個	50～100個	101以上
製品切換え頻度	1回/年	1回/月	1回/日	1回/時	毎 回
新製品発生頻度	1回/年	1回/月	1回/日	1回/時	毎 回

(イ) 部品給送ロボットを用いた部品給送システムの生産条件

部品給送ロボットを使い、パーツフィーダ、部品給送ロボットとパーツトレイの3者を組合わせてパーツフィーディングセンターを構成しパレタイジングを行う。この時の生産条件を調べた。この結果を図2. 10に記す。

	1	2	3	4	5
総品種数	■				
同時生産品種数	■				
製品切り換え頻度					
新製品発生頻度	■	■			

図 2.10a 部品給送ロボットの生産条件
パターン（フィンガ交換なし）

	1	2	3	4	5
総品種数	■	■	■	■	■
同時生産品種数	■				
製品切り換え頻度	■	■	■	■	
新製品発生頻度	■	■			

図 2.10b 部品給送ロボットの生産条件
パターン（フィンガ交換あり）

(1-1) 総品種数（フィンガの交換なし）

部品給送ロボットは現在4本のハンドを持つので、扱えるワークの種類は4種類である。

(1-2) 総品種数（フィンガの交換あり）

フィンガを人手、または機械等によって着脱可能であるとすれば、扱えるワークの種類は2種類以上無限大となる。

(2) 同時生産品種数（同時取扱部品品種数）

4本のハンドをフルに使えば、4個となる。

(3-1) 製品切り換え頻度（フィンガ交換なし）

フィンガが交換できないので、その製品が4種類以上の部品から構成されている場合は、1種類の製品しか取り扱えない。よって製品を切替える事はできない。

(3-2) 製品切り換え頻度（フィンガ交換あり）

フィンガの着脱に時間がかかるとして、製品切り換え頻度は2～3時間に1回が可能である。

(4) 新製品発生頻度

その製品によっては新しいフィンガの製作、購入も考えられるので、数か月、に1回が可能である。

(ロ) ロータリータレット付きスカラ型ロボットの生産条件

ロータリータレットを付けたスカラ型ロボットで、パレタイジングを行う。部品給送ロボットと同様に、パーツフィーダ、パートトレイを使用する。この結果を図2. 11に記す。

(1-1) 総品種数（フィンガの交換なし）

ロータリータレットは6個のフィンガを持つので、扱えるワークの種類は6種類である。

(1-2) 総品種数 (フィンガの交換あり)

ロータリータレットを着脱可能とした場合、その様なタレットを何枚も用意すれば扱えるワークは2種類以上無限大となる。

(2) 同時生産品種数 (同時取扱部品品種数)

ロータリータレットには6個のフィンガがあるので6個である。

	1	2	3	4	5
総品種数	■	■			
同時生産品種数	■	■			
製品切り換え頻度					
新製品発生頻度	■	■			

	1	2	3	4	5
総品種数	■	■	■	■	■
同時生産品種数	■	■			
製品切り換え頻度	■	■	■	■	
新製品発生頻度	■	■			

図 2.11a ロータリータレットを用いた水平多関節型ロボットの生産条件パターン (フィンガ交換なし)

図 2.11b ロータリータレットを用いた水平多関節型ロボットの生産条件パターン (フィンガ交換あり)

(3-1) 製品切り換え頻度 (フィンガ交換なし)

フィンガが交換できないので、その製品が6種類以上の部品から構成されている場合は、1種類の製品しか取り扱えない。よって製品を切替える事はできない。

(3-2) 製品切り換え頻度 (フィンガ交換あり)

ロータリータレットの着脱に時間がかかるとして、製品切り換え頻度は2~3時間に1回が可能である。

(4) 新製品発生頻度

その製品によっては新しいフィンガの製作、購入も考えられるので、数か月に1回が可能である。

(ハ) AHCを利用した垂直多関節型ロボットの生産条件

AHCを利用し垂直多関節型ロボットで、パレタイジングを行う。部品給送ロボットと同様に、パーツフィーダ、パートトレイを使用する。この結果を図2.12に記す。

	1	2	3	4	5
総品種数	■	■	■	■	■
同時生産品種数	■	■	■	□	□
製品切換え頻度	■	■	■	■	■
新製品発生頻度	■	□	□	□	□

図2.12 AHCを用いた垂直多関節ロボットの
生産条件パターン

(1) 総品種数

フィンガを交換しさえすれば、ほとんどあらゆる部品をつかめるので扱えるワークの種類は無量大である。

(2) 同時生産品種数 (同時取扱品種数)

理論的には同時に取り扱える部品の品種数は無量大であるが、フィンガを収納するドラムを置くスペースを考えると、またロボットアームの動作範囲を考えると50種類ぐらいである。

(3) 製品切り換え頻度

フィンガを交換するために開発されたのがAHCであるので、製品切り換え頻度は毎回でも可能である。

(4) 新製品発生頻度

その製品によっては新しいフィンガの製作、購入も考えられるので、数か月に1回である。

2.4 3種類のロボットの考察

2.1でロボット自身の仕様、性能を、2.3でロボットを用いた部品給送システムの比較を行った。ここではロボットを部品給送システムに用いる時の条件である。

- (1) 部品的高速供給が行えること
- (2) 多種の部品の供給が行えること
- (3) パーツフィーダ、パーツトレイ対応型であること
- (4) 省スペース型であること

を3種類のロボットがどの程度満たしているかを考察する。

2. 4. 1 部品的高速供給に関する考察

マニピュレータ型ロボットを用いて部品を供給する際に、高速で供給するにはボウルフィーダ取り出し口からパートトレイまでのアームの往復回数を減らせば良い。それ故に、スカラ型ロボット等ではロータリータレットを用いているのだが、それを用いてさえも一度の往復で供給できる部品数は6個である。またAHCを利用し垂直多関節型ロボットは、フィンガの交換に時間がかかるので、高速供給向きではない。しかしその点、部品給送ロボットはその構造を生かして θ 軸の回転を利用して、必要な部品を摘まみ、そして供給するようにすれば、多種の部品を高速で供給できる。

2. 4. 2 多種の部品の供給に関する考察

これはAHCを利用した垂直多関節型ロボットが一番良い。AHCはもともと、部品を高速で供給することを無視しても、多種の部品の取扱い、つまり部品把握の汎用性を大きくする目的で作られた機構だからである。またロータリータレット付きスカラ型ロボットでは6種類の、部品給送ロボットでは4種類の部品取り扱いが可能であり、それ以上を望むのならフィンガを交換しなければならない。

この3種類のロボットと部品的高速供給、汎用性の関係を図2. 13に示す。これによると多種の部品を供給する部品給送システムにおいて、高速供給にウェイトを置く時には部品給送ロボットを、汎用性にウェイトをおく時にはAHCを利用し垂直多関節型ロボットを使用すれば良いこと

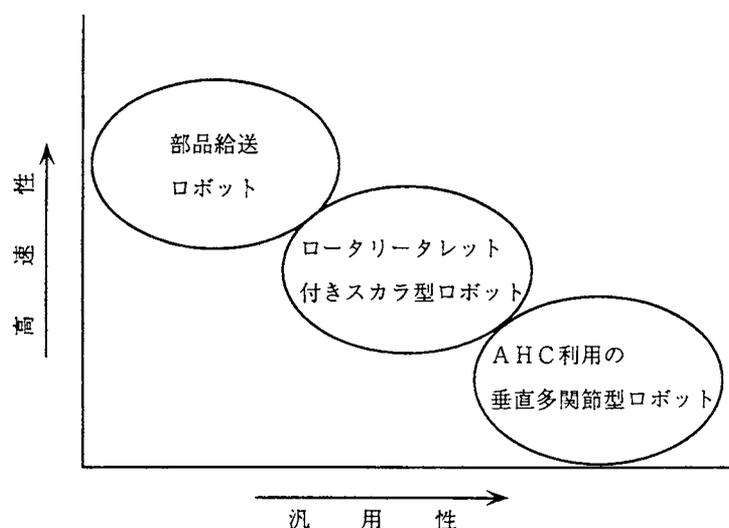


図2. 13 3種類のロボットと部品供給における高速性、汎用性の関係

が分かる。

2. 4. 3 パーツフィーダ、パートトレイ対応型に関する考察

部品給送ロボットは円筒座標型、スカラ型ロボットは水平多関節型であるので水平面内の移動は得意であるが、垂直多関節型ロボットは、常にフィンガを鉛直下向きにするための手首部の座標変換が必要である。

2. 4. 4 省スペース型に関する考察

ロボットの大きさ、据え付け面積に対する作業範囲の広さは、垂直多関節型ロボットが一番であるが、このロボットの場合、フィンガ収納のためのドラム等のスペースも考えなければならず、一概に良いとはいえない。3種類のロボットの内では、スカラ型ロボットが作業範囲の広さと、据え付け面積の小ささより、スペースを上手に使っているといえる。

第3章 部品給送ロボットの制御方法

3.1 各軸の制御方法

部品給送ロボットは、第2章で述べた様な旋回と直線運動を行う。この節では、使用するアクチュエータに対して、どのような制御方法を用いるのかを述べる。

3.1.1 旋回軸 (θ 軸) の制御方法

この軸は減速機付き (減速比 1/50) DC サーボモータを使用しているが、このアクチュエータの制御方法を選定しなければならない。まず以下に DC サーボモータの一般的制御方法を紹介しながらこの軸の最適制御方法を選定する。

①DC サーボモータの一般的制御方法 (パルス列指令デジタルサーボ)

DC モータの位置を指令値どおりに制御するためには位置のフィードバックをかける必要がある。また速度のフィードバックは系の安定化のためにかけられる。これらの従来から存在するサーボ技術に加え、最近では入力指令値をパルス列で送り、制御量をパルス量で扱うデジタルサーボが主流となっている。この構成を図3.1に示す⁶⁾。このデジタルサーボの特徴は次のとおりである。

(イ) パルス数=ステップ数 (機械の歩進量) の考え方でモータの制御が出来、DC サーボモータを最も手軽なサーボであるパルスモータの感覚で扱うことができる。つまり、コントロー

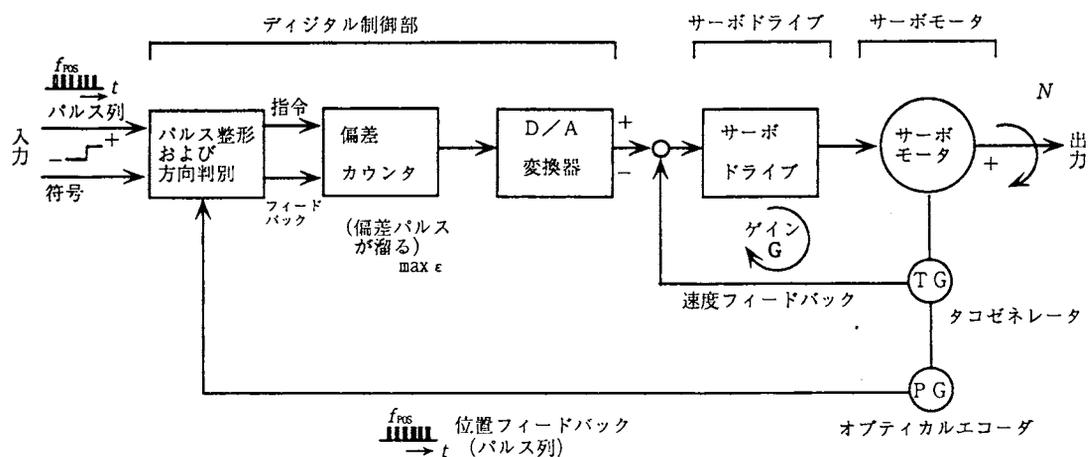


図3.1 パルス列指令デジタルサーボ

ラーがパソコンレベルのものであっても簡単に制御が行える。

(ロ) アナログ信号をパルス別に変換する技術、例えばV/F変換器（電圧信号に比例した周波数を発生させる）がある。つまりアナログ検出器でパルスモータ等のデジタル機器を動かす下地が既にある。

(ハ) パルスモータは大出力のものが作りにくい、大出力で、しかもパルスモータと同じ手軽さ、考え方で制御できる。

(ニ) 高速演算は、電子回路（IC）のカウンタで行わないと間に合わない。これはカウンタはパルス列で加減算する様になっている。だからフィードバックはパルス列の方がやりやすい。

以上の理由により、最近ではDCサーボモータはデジタルサーボで制御するようになっている。

③PLL (PHASELOCKEDLOOP) 制御による位置決め

一般的なデジタルサーボシステムは方向判別、偏差カウンタ、D/A変換器、増幅器等のモジュールを各々揃える必要があり、もしこれらを別々に揃えた場合、各モジュール間の信号のやり取りが複雑になってしまう。また機種によっては接続できない場合も出て来るかもしれない。そこで現在、図3. 2内において点線で囲んだ部分をカバーするモジュールが市販されている。この方法はタコジェネレータを使用せず、速度制御はパルスジェネレータからの信号をF/V変換し、全体をPLL制御させて位置決めを行うものである。

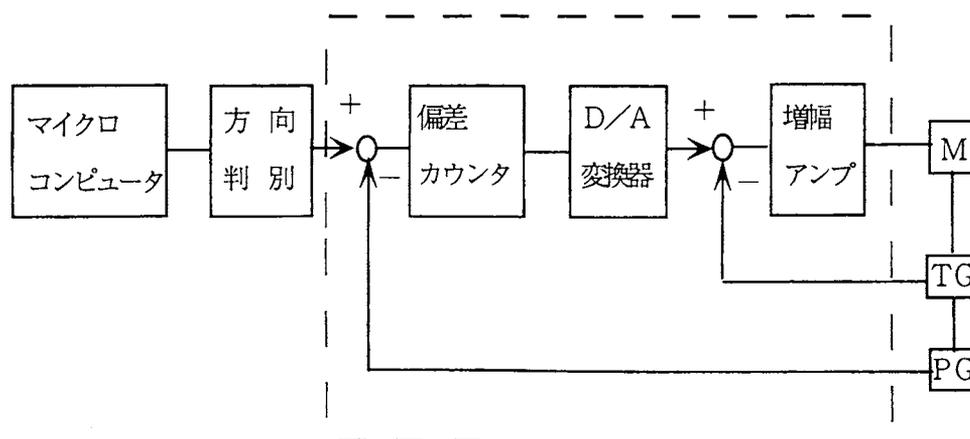


図3. 2 デジタルサーボシステムの構成

ここでPLL制御について説明する⁷⁾。PLL制御とは非同期モータ（DCモータ）に同期モータ（例え

はステッピングモータ) に存在するような同期化力をモータ外部で与えることによりモータを制御する。このブロック線図を図3. 3に示す⁸⁾。

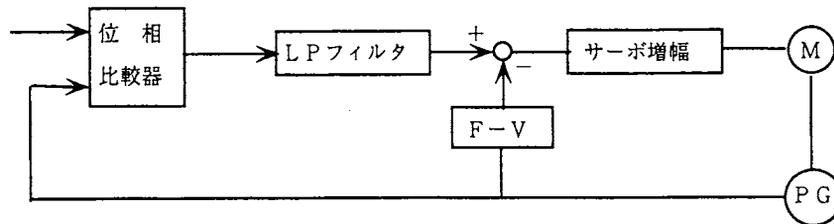


図3. 3 PLL制御のブロック線図

なおLPフィルタ (Low Path Filter) はノイズ、高周波成分を取り除くために、またF/V変換は次のために用いる。

- (a) 始動トルクを高める
- (b) 自動的に同期化速度近傍へモータ速度を近づける
- (c) 同期化状態での安定度を高める

またこの位置決め方式が、従来の溜まり位置決め方式とどの様に違うか、どの点で良いのかについて、以下に説明をする。⁹⁾

指令パルスが台形時間—速度曲線を描く時、溜まり位置決め方式では、指令パルスが何個か送られたのち偏差量に応じた速度曲線を描きながら移動するので常に一定の遅れを持っている。よって図3. 4の点線の様なグラフとなる。一方、PLL位置決め方式では指令パルスが一個でも入るとモータは動き出し、指令パルスの終了とともに位置決めも完了する。これはステッピングモータと同じである。欠点としては、加減速トルクに限度があるので脱調をおこさないように使用することである。

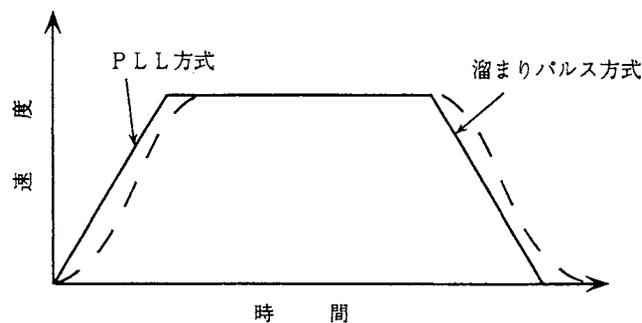


図3. 4 時間—速度曲線の比較

この方法の利点はパーソナルコンピュータとの接続が容易であり、これを使っての制御が簡単に行えることである。実際にはパーソナルコンピュータの負担を軽くするために、パーソナルコンピュータ自身がパルスが発生するのではなく、パーソナルコンピュータの指令により、決められた時間-速度曲線を描くことのできるパルス発生器を用いればシステムは簡単になる。このシステムを図3.5に示す。このパルスジェネレータに(株)サーボランドのサーボフィクサ SF2-I/O、DCサーボモータドライバに同社のサーボモジュール SMCMP-6 を使用する。

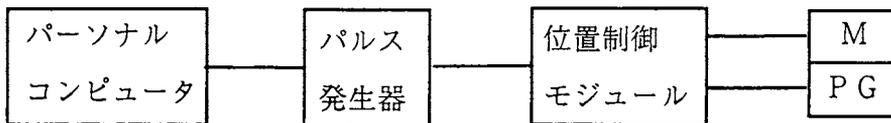


図3.5 PLL制御とパルス発生器を用いた位置制御システム

3.1.2 ハンド水平軸 (Z11~Z14 軸)、垂直軸 (Z21~Z24 軸) の制御

これらの軸は空気圧シリンダで構成することにする。空気圧シリンダで位置決めを行う場合、任意な点での位置決めを望むのならサーボ弁等を使ってフィードバックループを構成する必要がある。しかしこの場合、ハンド水平軸、ハンド垂直軸に要求されるのはとりあえずフィーダからの部品取り出し口とパレットの部品挿入位置の2箇所での位置決めであるので、電磁弁を利用したON-OFF制御でこれらの軸を制御する。

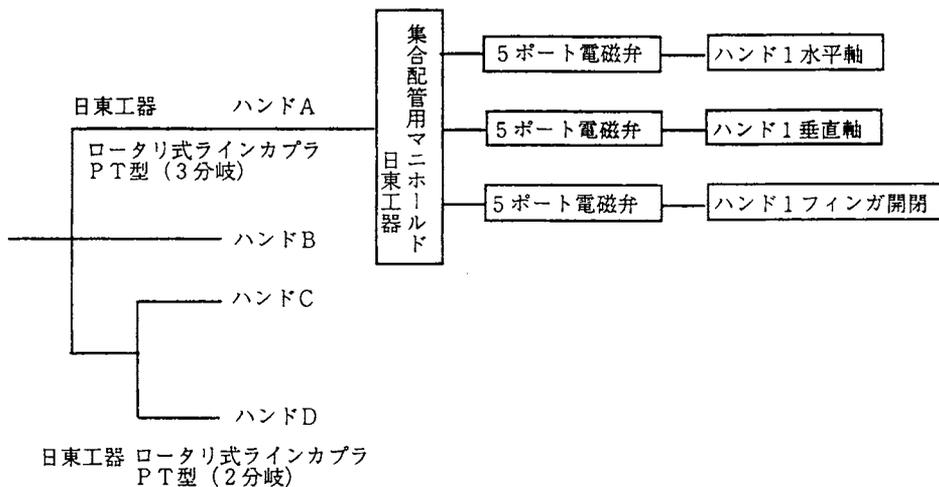


図3.6 部品給送ロボットの空気圧制御構成

電磁弁で空気圧シリンダの制御を行う場合の構成を図3.6に示す。

電磁弁の制御は、パーソナルコンピュータの I/O ポートよりの ON-OFF 信号で制御を行う。ハンド水平、垂直軸、さらにフィンガも加えれば1本のハンドにつき空気圧シリンダは3本あることになる。これらの空気圧シリンダを5ポートの電磁弁（1カ所の空気取入れ口より送りこまれる圧縮空気をON-OFF信号によって2カ所ある空気送り出し口のどちらかだけを通す）で制御すれば1本のハンドにつき3個の電磁弁があれば良い。この電磁弁にコガネイ社の5ポート電磁弁 050-4LE1を使用する。

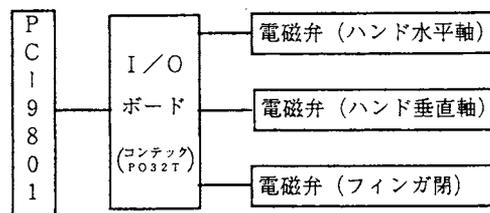


図3. 7 コンピュータと電磁弁の接続

また電磁弁とパーソナルコンピュータとの接続方法を図3. 7に示す。電磁弁はDC24ボルトの電圧で、ONのときは空気取り出し口1から、OFFのときは空気取り出し口2から空気を取り出せる仕組みになっている。このスイッチング動作をパーソナルコンピュータの slots に直接差込める I/O ポートのトランジスタでスイッチング動作を行わせる。つまり、パーソナルコンピュータの内部論理”1”をこのインターフェースボードに出力（出力命令を実行）することにより、最終段の出力トランジスタが”ON”の状態となる。これらの接続をハンド水平軸、垂直軸、フィンガに対して行うことにより各々の軸は制御される。¹⁰⁾

全体の制御系の構成を図3. 8に示す（ β 軸、Z11~Z14軸、Z21~Z22軸、フィンガ4個）。

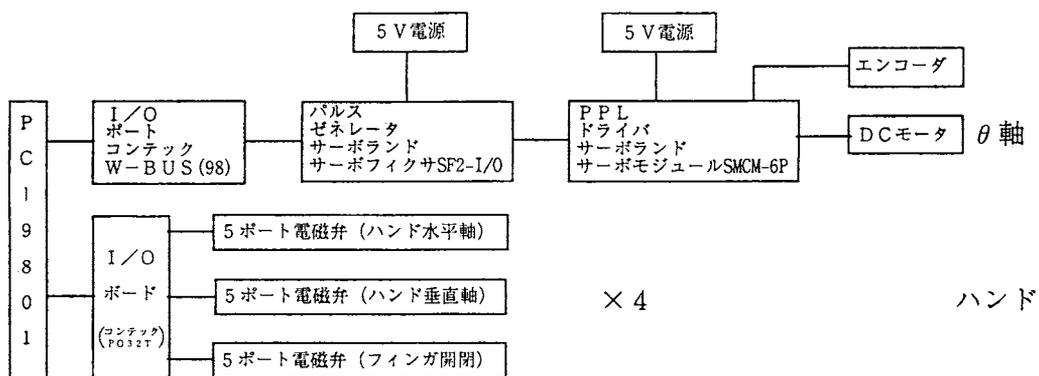


図3. 8 部品給送ロボットの全体の制御系の構成

3. 2 部品給送ロボットのソフトウェア

今までは部品給送ロボットのハードウェアについて述べてきたが、パーソナルコンピュータを用いてロボットの制御を行う以上そのソフトウェアにおいても体系作りをしなければならない。

3. 2. 1 ソフトウェアシステムの体系

部品給送ロボットを稼働させるために、ソフトウェアのシステムを構成する必要がある。そのシステム構成は、自ら使用した結果、使いやすいと思われるヤマハロボットコントローラ YK7000 を参考にする。それによって構成した部品給送ロボットのソフトウェアシステムを図 3. 9 に示す。部品給送ロボットは、パーソナルコンピュータ (NECPC-9801F) をロボットコントローラとして使用するので、そのシステムはフロッピーディスクに記憶され、MS-DOS で管理される

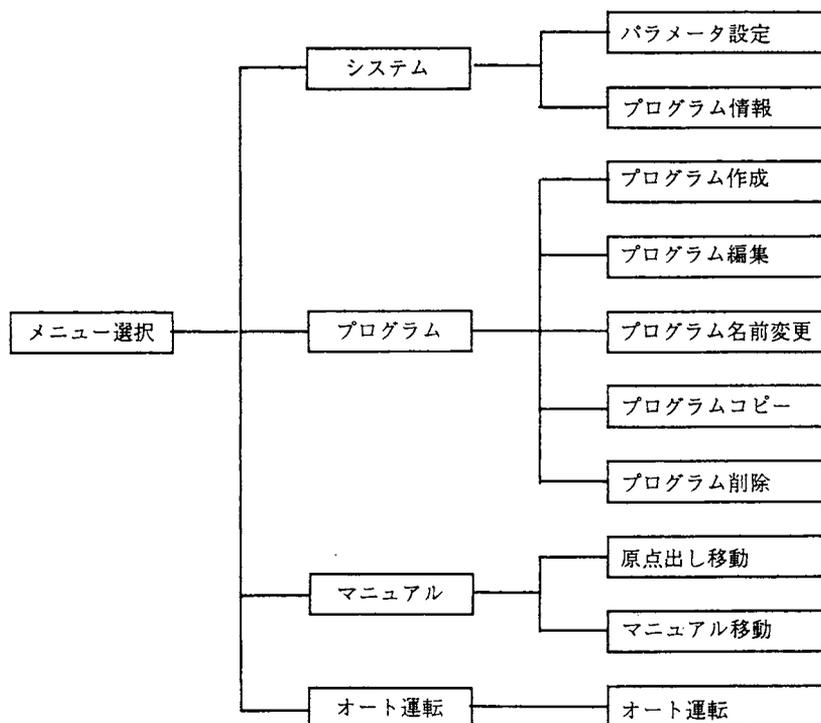


図 3. 9 部品給送ロボットのソフトウェアシステム

以下に各モードの説明をする。

(1) パラメータ設定

軸のマニュアル速度、PTP 速度、ソフトウェアリミット等の設定を行う

(2) プログラム情報

どのような既存のプログラムがあるのかを知るために、一覧表を表示する。

(3) プログラム作製

後で述べるロボット言語によるプログラムを作製する。

(4) プログラム編集

既存のプログラムに手を加え、別のプログラムとして登録する

(5) プログラム名前変更

既存のプログラムの名前を変えるのに使用する

(6) プログラムコピー

既存のプログラムの複製を作るのに使用する

(7) プログラム削除

既存のプログラムの削除をする

(8) 原点出し移動

各軸を原点復帰させる。普通はシステム立上げ後、パラメータ設定を行った後、直ちに行う

(9) マニュアル移動

部品給送ロボットで、プレイバック方式でティーチングを行う時、各軸をマニュアルで移動させ、ポイントデータを知る

(10) オート運転

プログラムモードで作製、編集したプログラムを実際に自動運転する

3. 2. 2 ロボット言語

ヤマハロボットコントローラー VK7000 では、BASIC に似たロボット言語を用いている。¹¹⁾ 部品給送ロボットではこれを参考にした結果、部品給送ロボットに採用した命令を表 3. 2 に記す。これらのうち、軸の移動、フィンガの把握、タイマー、 θ 軸の最高速度等を規定する命令は N88BASIC に存在しないので、それらをメインルーチンに表記しておき、実際はサブルーチン内において実行するようにする。またメインルーチンとサブルーチンとは BASIC の MERGE 命令によつて結合させるようにすれば、プログラムを作るたびに、サブルーチンを付け加える必要がないので、プログラム作製者は表面上存在するロボット言語だけを使ってプログラムを作製すれば良く、その時はメインルーチンだけに気を配れば良く、またプログラムが複雑にならなくてすむので扱いやすくなってくる。

表3. 2 部品給送ロボットの命令文一覧

文の種類	形 式	例	
ジャンプ	GOTO	GOTO 30	
判 断	IF <式> THEN nn	IF A=1 THEN 20	
サブルーチン	GOSUB nn RETURN	GOSUB *SHOK 1 RETURN	
繰り返し	FOR <変数> = <式> TO <式2> [STEP <式3>] NEXT	FOR A=10 TO 4 STEP -2 NEXT A	
移 動	θ 軸	X = <式> : GOSUB *MOVEX <式>はdeg	X = 90 : GOSUB *MOVEX
	Z11軸	Y1 = <式> : GOSUB *MOVEY 1 <式>=1で伸びる、0で縮む	Y1 = 1 : GOSUB *MOVEY 1
	Z12軸	Y2 = <式> : GOSUB *MOVEY 2	Y2 = 1 : GOSUB *MOVEY 2
	Z13軸	Y3 = <式> : GOSUB *MOVEY 3	Y3 = 1 : GOSUB *MOVEY 3
	Z14軸	Y4 = <式> : GOSUB *MOVEY 4	Y4 = 1 : GOSUB *MOVEY 4
	Z21軸	Z1 = <式> : GOSUB *MOVEZ 1 <式>=1で伸びる、0で縮む	Z1 = 1 : GOSUB *MOVEZ 1
	Z22軸	Z2 = <式> : GOSUB *MOVEZ 2	Z2 = 1 : GOSUB *MOVEZ 2
	Z23軸	Z3 = <式> : GOSUB *MOVEZ 3	Z3 = 1 : GOSUB *MOVEZ 3
	Z24軸	Z4 = <式> : GOSUB *MOVEZ 4	Z4 = 1 : GOSUB *MOVEZ 4
把 握	フィンガ1	F1 = <式> : GOSUB *GRIP 1 <式>=1で開、0で閉	F1 = 1 : GOSUB *GRIP 1
	フィンガ2	F2 = <式> : GOSUB *GRIP 2	F2 = 1 : GOSUB *GRIP 2
	フィン3	F3 = <式> : GOSUB *GRIP 3	F3 = 1 : GOSUB *GRIP 3
	フィンガ4	F4 = <式> : GOSUB *GRIP 4	F4 = 1 : GOSUB *GRIP 4
動作終了	END	END	
コメント文	' <コメント>	' 部品給送ロボット	
代入文	<変数>=<式>	A = 10、B = C * D	
タイマー文	TIMER = <式> <式>の単位は sec	TIMER = 1 : GOSUB *TIMER	
最高速度 θ 軸	VELX = <式> : GOSUB *VELX 0 < <式> ≤ の単位は rps	VELX = 0.5 : GOSUB *VELX	

第4章 部品給送ロボット基本特性実験

試作した部品給送ロボットは、旋回軸 (θ 軸) は DC モータの PLL 制御、またハンド部分は電磁弁の ON-OFF で制御されている。このうち、ハンド部分は空気圧シリンダを機械的ストッパによって位置決めしているなのでその動作は指令通りであるが、 θ 軸は DC モータを PLL 制御によるフィードバックループで制御しているのでこの軸について、基本的特性を調べておかなければならない。よって θ 軸については位置決め精度と動特性の2つについて測定する必要がある。

4. 1 θ 軸の位置決め精度 (繰り返し位置決め精度の判定)

一般に、ロボットを含む組立機械では、それが持っている精度によって組立作業を達成していることが特徴の一つである。最近では人間という視覚、触覚といったセンサーを持つロボットが作られるようになったが、人間の目と比較するとその画素数、処理速度、アルゴリズム (ソフトウェア) 等、いずれをとってもまだまだ及ぶところではない。さらに決定的なことには、何れのセンサーを使用するにしろ、少なからぬ価格の上昇を招くし、タイムタクトは長くなりがちである。この様なわけで、産業用ロボットの基礎機能として、精度が高いということが必須である。

4. 1. 1 繰り返し位置決め精度とは

一般に、ロボットについて定義されている精度には次の3つがある。

- (1) 位置繰り返し精度
- (2) 位置再確精度
- (3) 位置決め精度

これらのうち位置と繰り返し精度は、通常、組立用ロボットの精度としてカタログ等に記載されているものであり、「同一条件での位置決めのはらつき」と定義されている。

また位置再確精度は、「教示位置と、種々条件での再確位置との誤差」と定義されている。位置繰り返し精度とほぼ同様の性質の精度であるが「種々の条件での」という部分があるために、より実用的な精度である。

そして3つめの精度である位置決め精度は、一般的には絶対精度と言われているものであり、「指令位置と種々条件での位置決め位置との誤差」と定義されている。この位置決め精度の測定方法については、現在のところ確定的なものはないといって良い。それは立体空間内の任意の点の座標値

を精度よく測定することは、予想外に困難だからである。

以上の説明により、部品給送ロボット旋回軸 (θ 軸) は位置繰り返し精度を測定する。以下に JIS B8432 に記載されている位置に関する精度 (位置繰り返し精度) を参考までに紹介する。

(1) 測定手順

- (a) ロボットの各軸の動作と測定位置を、指定された方法によって教示する。
- (b) (a) の動作の再生を充分反復して行わせ、ロボットの動作条件が安定した状態で7回の再生位置を測定する。
- (c) (b) の測定から、最大値と最小値との誤差を求め、その値を位置繰り返し精度とする。

(2) 測定器具

ダイヤルゲージ、差動トランス、磁気スケール、光学式非接触変位測定装置、マイクロメータ等。

これに基づき、 θ 軸の繰り返し位置決め精度を、次のようにして測定した。

最高速度 (2.81 m/s つまり 1 rps) と、その半分の速度 (1.41 m/s つまり 0.5 rps) の二つの速度について測定し、測定回数はそれぞれ正方向回転7回、負方向回転7回とした。その時の動作パターンは次の①～⑥とした。

- ① 原点より正方向に 45° 回転させる
- ② 正方向に 180° 回転させ、その時の位置を正回転の位置データとして測定
- ③ 正方向に 180° 回転させる
- ④ 負方向に 180° 回転させ、その時の位置を負回転の位置データとして測定
- ⑤ 負方向に 180° 回転させる
- ⑥ ②に戻る

4. 1. 2 繰り返し位置決め精度測定の実験装置

繰り返し位置決め精度に使う測定器具としてマイクロメータを使った。そしてハンドの水平軸をいっぱい伸ばした状態でハンドにつけられた基準点を測定する。この実験装置の構成を図4.

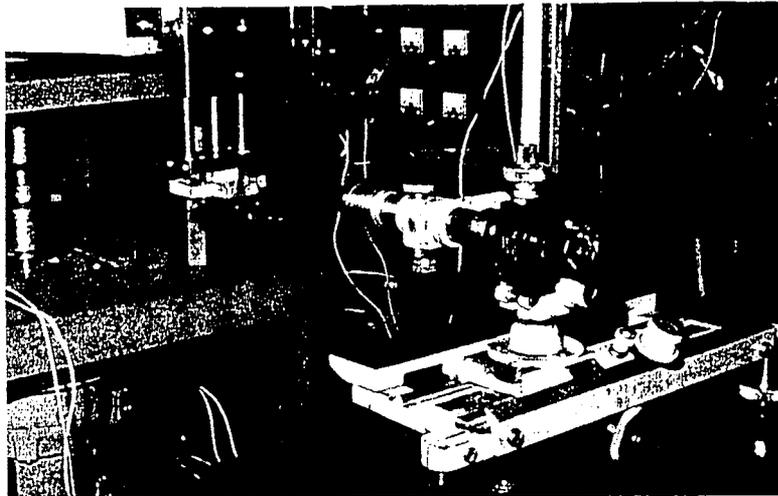


図4. 1 繰り返し位置決め精度測定の実験装置

1に示す。

4. 1. 3 結果および考察

各々の速度で測定を行った結果を以下に示す。図4. 2は0.5rpsで①～⑥の測定を行った結果をグラフにしたものである。この時の繰り返し位置決め精度は4. 29mmとなり、産業用ロボット

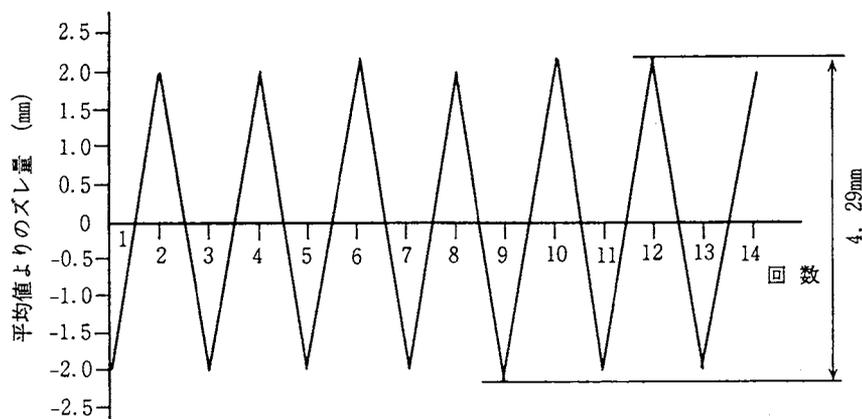


図4. 2 θ 軸の速度0.5 (rps)で正回転と負回転を交互に行かせたときの平均値よりのズレ量

としては良い精度とは言えない。この原因としては、まず、モータの減速機に、歯車減速機を用いたことが挙げられる。一般にロボットの旋回、回転軸に精度を求める場合、減速機にはハーモニックドライブ等の減速機を用いるのだが、今回これを使用しなかったため、歯車のバックラッシが直接、位置決め精度に影響を及ぼしてしまった。またこの部品給送ロボットは回転型（無限回転型）ロボットであるので、一つの点を目指すのにも正方向と負方向の2方向から位置決めがおこなえるので、こういう動作の場合バックラッシの影響は非常に大きくなってしまふ。

さらに図4. 3の1 rps で測定を行った結果を見て分かるように、速度が大きくなるとバックラッ

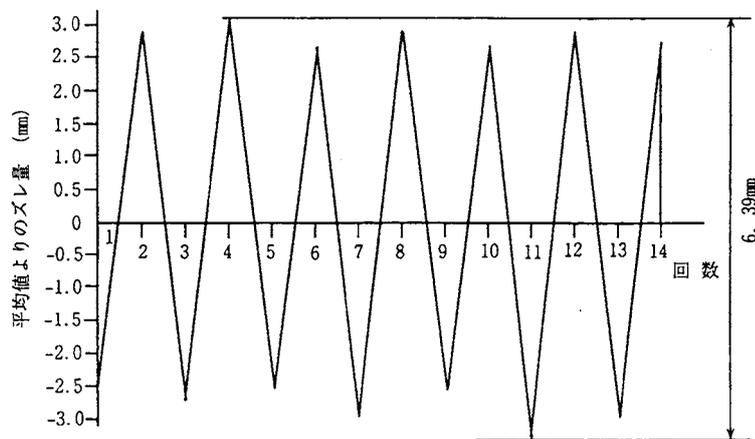


図4. 3 θ 軸の速度1 (rps) で正回転と負回転を交互に行わせたときの
平均値よりのズレ量

シの影響はさらに大きくなり、繰り返し位置決め精度は6. 39 mmまで大きくなってしまった。その他の影響としてはPLL 制御を用いたサーボモジュールが正常な働きをしていないと言う見方も出来るが、サーボモジュールの偏差カウンタには残りパルスがないことを確認できたので制御の仕方には問題が無いといえる。

なお参考までに目標点までの位置決めを、正方向と負方向からの2方向を交互に行わず、正方向だけ、負方向からだけと分けて行った時の結果を図4. 4、図4. 5、図4. 6、図4. 7に示す。これらを見て分かるように、繰り返し位置決め精度はかなり小さくなっており、図4. 3の1 rpsの時の正方向、負方向を交互に行った時に比べると、繰り返し位置決め精度の値は約1/10になっている。また0.5rpsの時では約1/50に

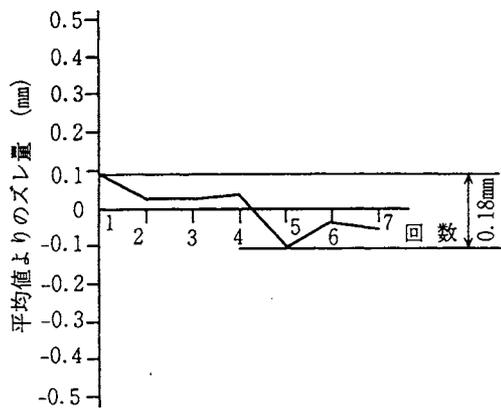


図4.4 θ 軸の速度0.5 (rps) で正回転させたときの平均値よりのズレ量

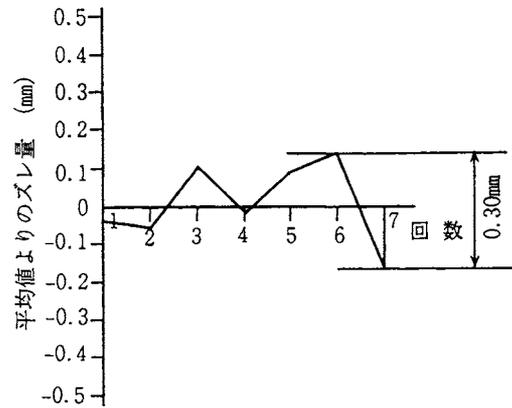


図4.5 θ 軸の速度0.5 (rps) で負回転させたときの平均値よりのズレ量

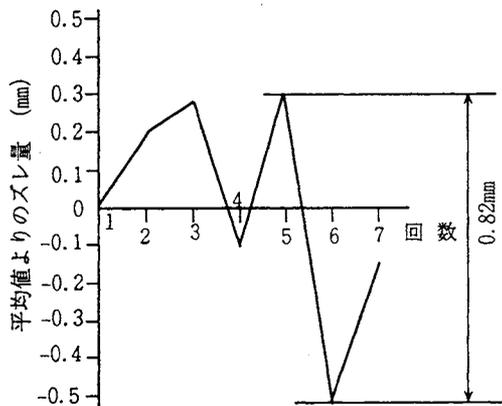


図4.6 θ 軸の速度1 (rps) で正回転させたときの平均値よりのズレ量

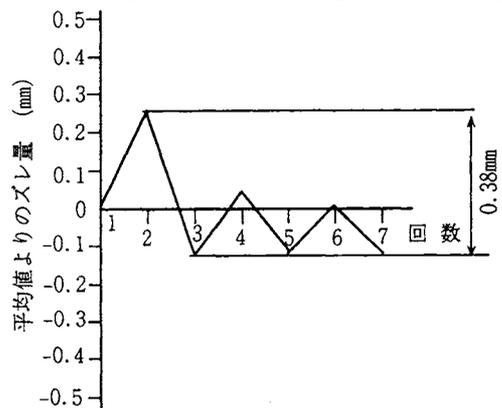


図4.7 θ 軸の速度1 (rps) で負回転させたときの平均値よりのズレ量

もなっている。これより、 θ 軸の繰り返し位置決め精度は、歯車減速機の影響が大きい事がわかる。

4.2 θ 軸の動特性測定

試作されたロボットの位置決め精度を問うことも大事だが、そのロボットが実際に指定された通りの動きをしているのか、作動中はどういう動きをしているのかを確かめるために実験を行う。

4. 2. 1 速度、加速度パターン

θ 軸の速度制御は、パーソナルコンピュータでソフトウェアで指定された値を、実際にはパルス発生器が速度パターンをパルス周波数に変換して送り出している。今回の速度、加速度測定実験でも速度が 1 rps と 0.5 rps の 2 種類について行う。その速度パターンを図 4. 8 と図 4. 9 に記す。

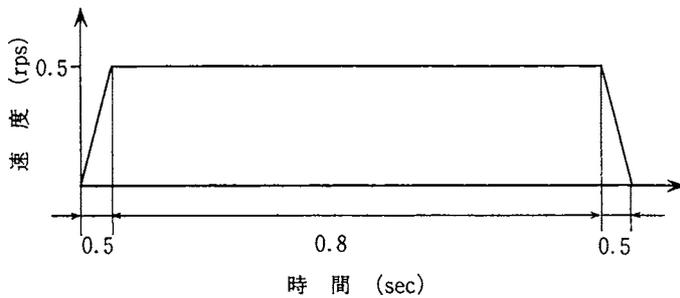


図 4. 8 速度 0.5 (rps) の時の速度パターン

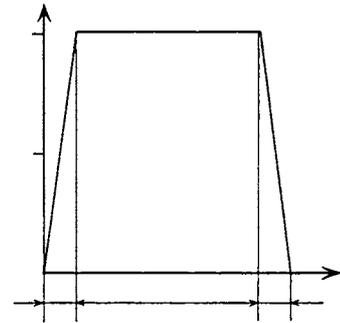


図 4. 9 速度 1 (rps) の時の速度パターン

4. 2. 2 速度、加速度測定の実験装置

速度の測定はモータ軸（歯車減速機による減速をする以前）に取り付けたタコジェネレータ (V/Krpm) からの出力電圧に変換される。また加速度の測定はハンド先端（回転中心からの半径 48cm）に取り付けた加速度計（株）日本航空電子工業製、感度 1 V/G）からの出力電圧に変換される。これらの出力電圧は FFT アナライザ（小野測器製）に取込まれ、それらの値を読み取る。この実験装置の構成を図 4. 10 に記す。

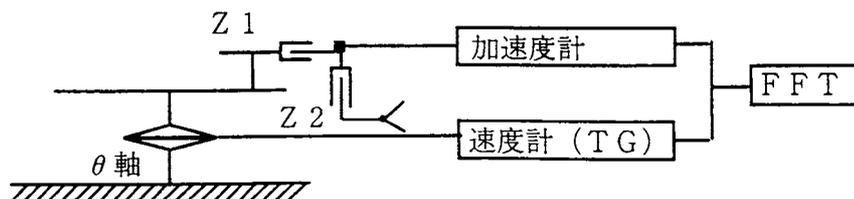


図 4. 10 θ 軸回転制御特性実験構成図

4. 2. 3 結果および考察

(1) 速度0.5rps, 加減速時間0.5secの台形速度パターン

図4. 1 1に速度0.5rps、加減速時間0.5secの台形速度パターンを描かせた時の速度曲線、加速度曲線のグラフを示す。速度曲線はきれいな台形パターンを描いている。そして加減速時間も0.5secとなっており、ソフトウェアで設定した通りの動きをしている。加速度曲線については、加速、減速時に正しく山を作っているが、かなりのきざみを作っている。

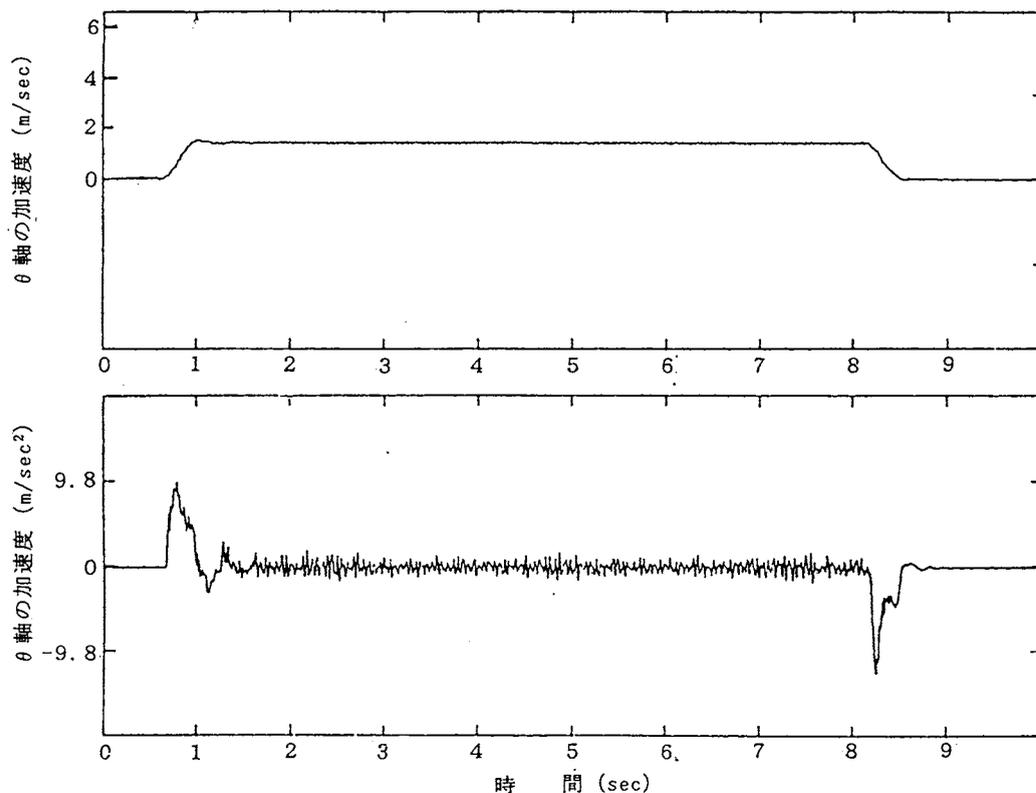


図4. 1 1 θ軸の速度0.5 (rps) (1.41m/sec) で回転させたときの速度曲線 (上) と加速度曲線 (下)

以上の原因として考えられるのは、先ず加速度検出器の取り付け方法である。速度検出器はタコジェネレータを使っており、それをモータ軸に直接取り付けられているので、ロボットのハンド先端速度を測定していると言うよりはむしろモータの回転速度を測定していると言っても良く、歯車減速機等の影響はもちろん無い。これに比べ、加速度計はハンド先端に取り付けられており、その測定値はモーターテーブル間に存在する歯車減速機の影響を直接受けており、さらに回転半径に比例して拡大されたものを測定している。よって加速、減速時の加減速曲線はかなりのきざみが現れてしまっている。また定速度移動時にもこのきざみが現れている。これは θ 軸は定速運動をしながらも、歯車減速機のバックラッシの影響でミクロの目で見れば、行きつ、戻りつの運動をしていると言える。

また他の原因としては、 θ 軸の回転軸に取り付けられたボールベアリング等のがた、きず等が考えられる。

今後は歯車減速機の代わりに、ハーモニックドライブ等の高精度減速機を用いるべきである。

(2) 速度 1 rps、加減速時間 0.5sec の台形速度パターン

図4. 12に速度 1 rps、加減速時間 0.5sec の台形速度パターンを描かせた時の速度曲線、加速度曲線のグラフを示す。速度曲線はきれいな台形パターンを描いている。また加減速時間もソフトウェアで指定した通りになっている。

加速度曲線は、速度 0.5rps の時と同様、あまりきれいな曲線を得ることができなかった。これもさきほどの原因と同様、歯車減速機の影響を受けていることに加え、速度が大きくなったためその影響がさらに拡大されたものと思われる。

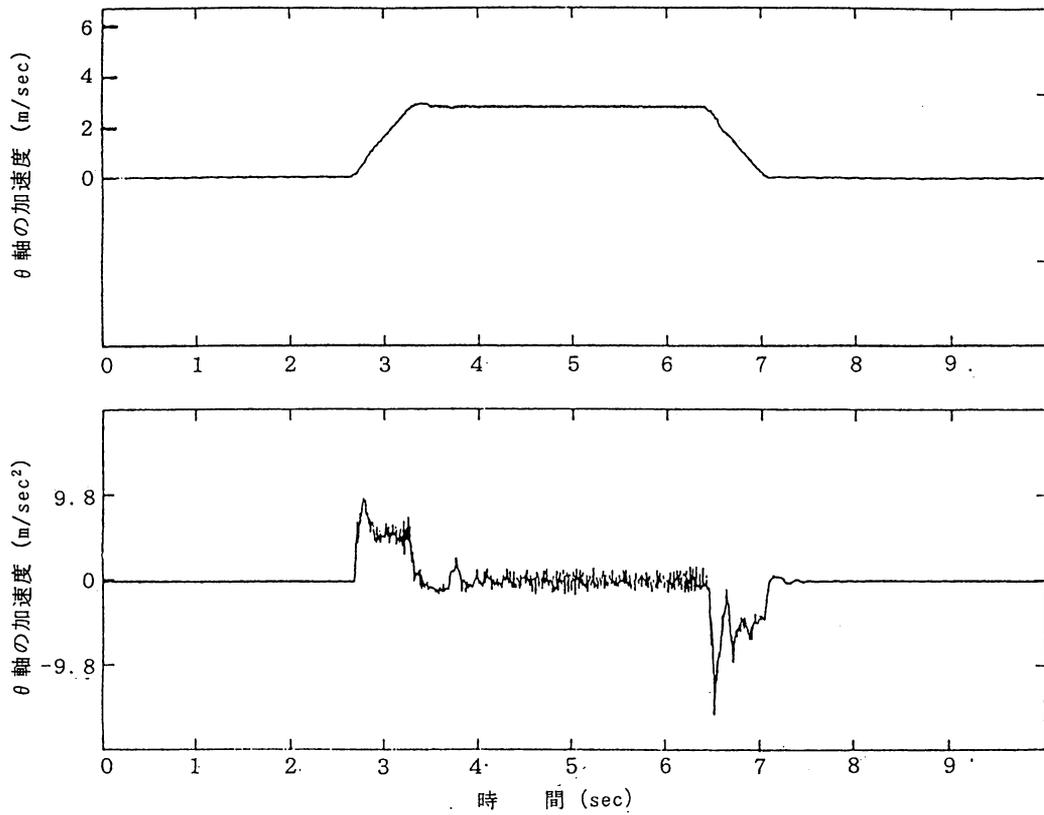


図4. 12 θ軸の速度1 (rps) (2.8lm/sec) で回転させたときの
速度曲線 (上) と加速度曲線 (下)

第5章 結 論

5.1 まとめ

自動組立工程において、現在では組付ステーションにおいては、パーツフィーダ等の部品供給装置から送られる部品を直接、組付ロボットによって組付を行うのが主流である。しかし、最近の多品種少量生産への要求により、これを効率良く行うために、部品をオフラインである部品給送システムにおいてパートトレイに並べて組付ステーションに移送するキット方式の部品供給方法がある。

この部品給送システムにおいて、パレタイジングを行うためのロボットである部品給送ロボットの開発を行ったので以下にまとめを記す。

(1) 部品給送ロボットの設計について

部品給送ロボットは、(1) 部品的高速供給、(2) 部品取り扱いの汎用性、(3) パーツフィーダやマガジン等の部品供給装置、パートトレイ対応型、(4) 省スペース化、の4点に留意して設計されている。そのため、4本のハンドを持った円筒座標型ロボット（一本のハンドに注目した場合）になった。

(2) 部品給送ロボットの基本特性について

PLL方式で制御されたDCモータをアクチュエータとして使用している θ 軸について、その位置決め精度と動特性である速度、加速度の測定を行った。その結果、繰り返し位置決め精度は4.29mm (0.5 rps)であり、産業用ロボットとしては、あまり精度の良いものではなかった。また速度、加速度については、得られた速度、加速度グラフは指示通りであった。ただ、減速機の影響により、その曲線にきざみを作ってしまう。

(3) 部品給送ロボットの動作例について

試作された部品給送ロボットを用いて、模擬的な部品給送システムを作り、M6のねじのパレタイジングを行った。これにより、キット方式による部品供給方法には部品給送ロボットをもちいた部品給送システムが有効な手段であることが分かった。

5.2 今後の課題

現在部品給送ロボットが持っている問題点を以下に記す。

(1) θ 軸のバックラッシ低減

θ 軸の繰り返し精度が良くなかったのはこの軸に用いた減速機の影響があるためである。よってこの減速機に、例えばハーモニックドライブ等の低バックラッシ減速機を用いるべきである。また最近注目されている DD (Direct Drive) 方式を用いるのも有効な手段である。

(2) Z11~Z14、Z21~Z24 軸の駆動方法

これらの軸は現在、空気圧シリンダをそのアクチュエータとしているが、特に Z11~Z14 軸は任意な点での位置決めが要求されるのでこれらの軸の改善を行うべきである。

(3) ハーネス、空気配管チューブの処理

部品給送ロボットは θ 軸が無限に回転できてこそ、その力を発揮するので、これらの線がねじれないための工夫が必要である。

参考文献

- (1) 精機学会自動組立専門委員会編 : 自動組立の基礎と応用, 精機学会
(1984) 7
- (2) Richard, P.Paul : ロボットマニピュレータ, コロナ社 (1985)
- (3) 熊谷 卓 : 生産パターンに適する簡易ロボットによる多品種少量生産の合理化, オートメーション, 日刊工業新聞社, 29, 3 (1984)
26
- (4) ヤマハ発動機 : CAME水平多関節型ロボット YK8000SERIES カタログ
- (5) 川崎重工株式会社 : 川崎ユニメート PUMA550 ロボット操作説明書
- (6) 安川電機製作所編 : メカトロニクスのためのサーボ技術入門, 日刊工業新聞社,
(1987)
- (7) 柳沢 健編 : PPL (位相同期ループ) 応用回路, 総合電子出版社,
(1979)
- (8) 見城 尚志 : DCモータの種類・機構・制御, 機械設計, 27, 13,
(1983) 46
- (9) (株) サーボランド : PLLドライバーSMCMシリーズカタログ
- (10) (株) コンテック : 絶縁型パラレル出力モジュールPO-32カタログ
- (11) ヤマハ発動機 : ヤマハロボット YK7000SERIES コントローラーカタログ