



部品給配ロボットの開発 (第1報)*

—その開発理念と基本的構造—

李 沢群** 神谷好承*** 岡部佐規一*** 横山恭男*** 戸上常司†

Development of Parts Supplying Robot (1st Report)
—Basic Concept of Design and Fundamental Structure—

Tsequn LEE, Yoshitugu KAMIYA, Sakiichi OKABE,
Yasuo YOKOYAMA and Tuneji TOGAMI

In a flexible automated assembly system, many kinds of parts must be assembled at one assembly workstation in a limited space. In order to meet such a requirement, following problems have to be solved. (1) Logistics of parts flow, (2) Space that parts feeding equipments take up, (3) The techniques of programmable parts supplying and feeding from three dimensionally stacked partsfeeding equipments, (4) Development of hands which can handle multiple types of parts. As one approach to solve those problems, a parts supplying robot “Lazy Monkey” has been developed. In this report, necessity of parts supplying robot is discussed and its design concept are showed. Fundamental structure is given and several characteristics are discussed.

Key words: assembly system, robot, parts supplying robot, assembly robot, parts feeding, parts handling, optimum path

1. 緒 言

フレキシブル化を指向した組立システムへの部品自動供給においては、空間的に制約のあるひとつのワークステーションに、多種多数の部品を供給することが必要になるために、いくつかの問題を生ずる。これらの問題に対応するために、体系的な対応を含めて各種の方向の解答が模索されているが^{1)~3)}、本研究においては、直接的に、部品の供給配送に適切な機能を備えた給配ロボットを設計試作した⁴⁾ので報告する。フレキシブルな組立システムにもっとも適当な部品の供給配送機能をもつほか、軽組付作業も可能な機能を備えており、これによって従来の組立ロボット、特にスカロボットの機能を補完し、立体的な部品供給装置からのプログラマブルな給送・組付けの問題やロボットおよび部品供給装置の配置や所要スペースの問題の改善に役立つものと考えられる。

2. 部品給配ロボットの必要性

2.1 組立工程におけるフレキシビリティの要求

組立システムの自動化において、ライン構成の場合には基本的な概念として、移送、部品の供給、組付けの3つを基本的な機能として考えることが普通である²⁾⁵⁾。

従来の組立システムは少種大量生産を前提にした組立ラインが多く、その作業工程のシーケンスはほとんど変更不可能であり、フレキシビリティに乏しいシステムであった。

しかし、需要の多様化と製品寿命の短縮化のために、段取替えが容易で、多品種生産に対応しうるフレキシブルな自動組立システムが要求されるようになり、折から急速に発展した組立ロボットを、多機能の組付工具として利用した、一つの組付けステーションにおいて複数の部品を組付けるようなアセンブリセル化したワークステーションを順次連結したような形態の自動組立ラインが多く見られるようになっていく³⁾⁶⁾。

2.2 フレキシブルな組立システムへの部品の補給配送供給

このようなフレキシブル化を指向したワークステー

* 原稿受付 平成2年2月8日。昭和63年度精密工学会春季大会学術講演会(昭和63年3月17日)にて発表

** 学生会員 金沢大学工学部(金沢市小立野2-40-20)

*** 正会員 金沢大学工学部

† ヤマハ発動機(株)(浜松市中条1280)

ションへの部品自動供給には、空間的に制約のあるひとつのワークステーションにおいて多種多数の部品の供給を行うための問題点²⁾として

- a. 部品の補給配送の計画戦略 (Logistics)
- b. 部品供給装置の占める空間的なスペース
- c. 立体的な部品供給装置からのプログラマブルな整列給送の技術
- d. 多品種部品のハンドリングに対応できるフィンガの開発

などの4点が主として挙げられる。

しかしながら、従来の多くの組立ロボット、たとえばもっとも実用性の高いスカラロボット⁷⁾は組立性には優れているが、b, cの問題点には本質的に適応しにくい構造をもっていた。このような従来の組立ロボットの機能を補完することを目的として、本研究における給配ロボットは特徴ある機能構造をもたせてある。

ここで給配というのは補給・配送・供給の意味をあわせ持たせた用語であって、部品を補給し、配送し、整列された姿勢で供給することを意味し、組立セルの周辺程度の中レベルの物流あるいは部品の流れを念頭におくとともに、必然的にその範囲における部品の補給配送の計画戦略 (Logistics) をも含んだ用語である。

すなわち、立体性のある部品供給装置 (たとえば多重フィーダや積層マガジン、多種多数の部品のための通い箱等)³⁾の広範囲の配置に対応し得るために、その骨格構造と基本的運動自由度の優先順位を検討し、一次的占有空間 (挙動空間) を極小 (特に平面図において) にしながら、さらに水平移動機構によって広い可動範囲を持たせてある。これは多品種大量生産に対応し得るように広範囲へ配置されたパートトレイあるいは通い箱へのアクセスが可能となることをも考慮したものである。

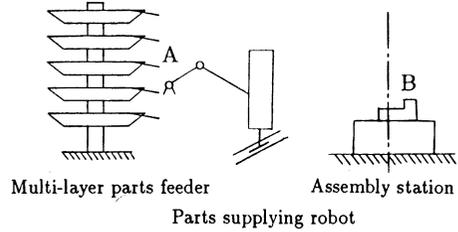
3. 部品給配ロボットの機能と構造

3.1 部品給配ロボットを含むシステムの構成例

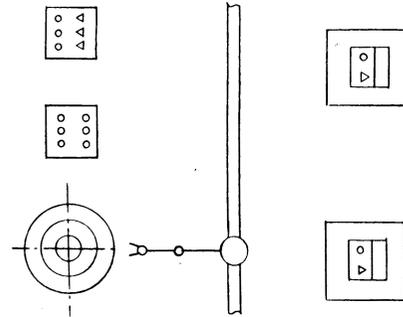
現実の三次元部品供給装置と組付けステーションの大きさを考えた上で、多段・多重式振動フィーダと部品給配ロボットから構成されたシステムの1ステーション例を図1 (a) に示す。また、組立ラインの一例が図1 (b) に示されている。

このような部品給配ロボットの目的とする作業を考察し、動作形態と必要な自由度を検討した上で、以下のように機構設計を行った。

3.2 立体的部品供給装置に対応するハンドリング機能を持たせる機構設計



(a) A workstation consisting of a parts supplying robot



(b) An assembly line with a parts supplying robot

Fig. 1

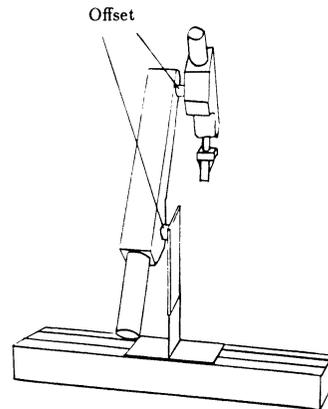


Fig. 2 Fundamental structure of parts supplying robot

1) 垂直多関節型の基本構造

多段・多重式振動フィーダや積層型マガジンフィーダのような立体的構造の部品供給装置に対応できるように、上下方向の運動に自由度の大きい構造を選ぶ必要がある。そこで、部品給配ロボットの基本的骨格として4自由度の垂直多関節型の構造 (図2) を採用し、立体的に積層された部品のハンドリングに適するような構造とした。基本的には主軸の回転は与えない構造とし (補助的には回転し得る)、作業挙動は垂直平面内のみで行われるため水平面への投影図において

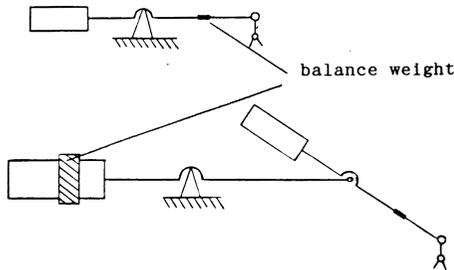


Fig. 3 Balanced robot arm structure

一次的に占有するスペースを最小にすることができる。

2) 水平直線移動機能を持つ構造

一次的作業空間は極小であっても、フレキシブルな生産に対応してワークステーションの間の移動や広範囲にわたって配置された多種多数の部品のハンドリングのために、広範囲にわたる作業空間を満足させるために2次的な移動機能として水平方向に直線的に移動させる構造とした。この自由度（第1関節）は垂直多関節構造部とは完全に独立な運動自由度をもっている。

必要に応じてこの移動方向はラインと平行あるいは垂直な方向に設定して多品種部品の供給に対応し得るように設計できる。いわゆるキット方式はもちろん配膳方式や部品拾集方式の組立システムにも対応し得る構造になっている。

3) 把持部品の姿勢保持機能

通常の垂直多関節型ロボットは構造的にそのハンドとアームの運動が独立していないから、その姿勢はアームの運動に依存して変化する。しかし、整列された組付部品の姿勢を保持するためにはアームがどのような姿勢をとってもハンドの向きは変化しないことが望ましい。いままでソフトウェアでこれに対応しているものもあるがコンピュータの負担が大きく、作業の速度に影響を与える。

本研究の給配ロボットではタイミングベルトによる平行リンク機構によって簡単にこの問題を解決し、ハンドの姿勢を一定に保持している。さらに、一つの自由度として（第4関節）ベルトを介してハンドの方向を制御できる。

4) アームの重量バランス設計

次章に述べる部品給配方式を実現し、部品給配ロボットの運動性能を改善するため、第2アームと第3アームはそれぞれ第2関節と第3関節の軸心に関して重量バランスをとる（図3）。この時、線形の関節運動方程式が得られる。モータは釣合重量の一部にな

るように設計したので、極めて能率のよい機構が得られた。

3.3 部品給配のための構造設計

本研究の部品給配方式（次章参照）では、ロボットの第2アームと第3アームは基本的に垂直平面内のみにおいて作動する。しかも、第2関節と第3関節はそれぞれ逆方向に回転することが多いので、両アームは重なって交差することがある。そのため、設計においては、次のような配慮が必要となる。すなわち、(a) 第2,3アームは相互に衝突しないように両アームを結ぶ第3関節にオフセットをとらなければならない（図2参照）。また(b) 図2のようにオフセットをとった場合、ロボットハンドが支柱と衝突しないようにアーム構造の設計に注意を要する。

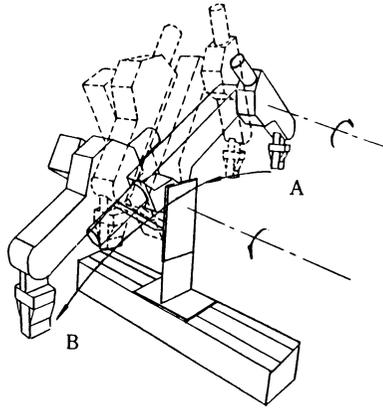
4. 最適部品給配方式に関する考察

4.1 部品給配方式の考え方

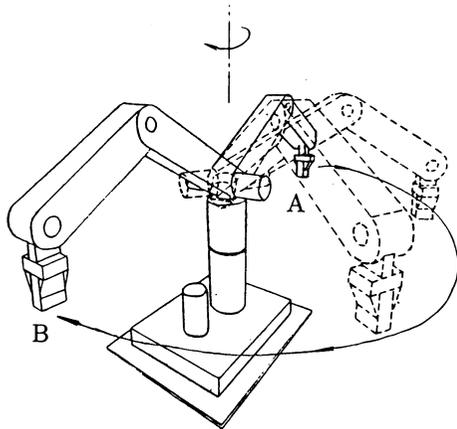
図1に示すような自動組立システムにおいて積層された部品供給装置のある層のA点から組付けステーションのB点までの部品給配作業を考察することにする。このような作業はロボットの制御から見るとPTP運動となっており、単にA点とB点の位置決めだけを制御することが必要であり、途中の経路は問題にされない。したがって、3次元空間内のA点とB点の間に無数の移動パスが存在していることがわかる。普通の垂直多関節型ロボットで部品給配作業を行うとすれば、ハンドがA点から出発して、主軸関節がほとんど水平面内において180°程度回転しなければならないが、本研究の部品給配ロボットでは、回転主軸関節を設けずに、肩関節および肘関節をそれぞれ時計方向あるいは反時計方向に最適な方向に回転させてハンドをA点からB点まで移動させるようになっている（図4；A, B点とロボットアームが同一の平面内でない場合に第1関節の直線移動関節で調節する）。このような挙動はロボットアーム系の特異点を通る運動形態であり、従来のロボットでは構造上運動の実現が不可能であるが、本研究ではPTP運動において最短時間パスをとるためにこの運動形態を採用した。このように水平投影面上の回転運動がほとんどなく、動きを惜しんで最も時間効率の良い運動パスをとるこのロボットの特徴的な挙動が、いかにも怠惰な猿を連想させることから、Lazy Monkeyと名付けた。

4.2 給配機能の効果

以上に述べた運動形態を採用することによって、次のような効果を得ることができた。



(a) The parts handling motion using a parts supplying robot



(b) The parts handling motion using a conventional multi-articulated robot

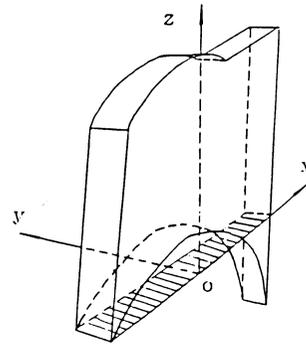
Fig. 4

(1) 作業のスペース効率の改善

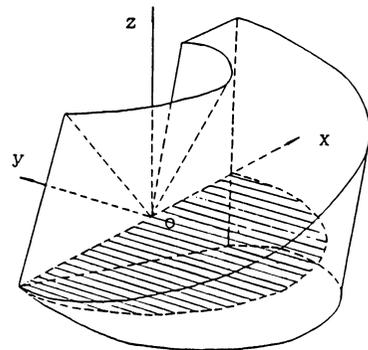
水平多関節型ロボットや普通の垂直多関節型ロボットでこのような部品給配作業を行うとすれば、主軸の胴関節をほとんど180°程度回転しなければならないので、水平面内における作業に必要なスペースが大きくならざるを得ない。一方、本研究の給配方式で作業するとアーム系はほとんど垂直面内において水平回転軸を中心に回転するので、必要な空間（特に水平面内のスペース）が極小になる（図5）。したがって、自動組立ラインの省スペースに有効である。また、作業の安全性に関しても大きな効果を与える。

(2) 部品給配パスの最適化による高能率性

前述のように部品供給装置のある層（A点）から組付けステーション（B点）までの間に存在する多くの移動パスの中から、以下に示すように最短時間パスを選び出すことができる。



(a) Required space when using a parts supplying robot



(b) Required space when using a conventional multi-articulated robot

Fig. 5

普通の垂直多関節型ロボットでは、胴関節をπ程度回転しなければならない、しかも他の2関節（肩関節と肘関節）の回転量はπよりはるかに小さいので、作業時間はほとんど胴関節の回転時間で決まる。

$$t_N = \frac{2\omega_{1\max}}{\epsilon_{1\max}} + \frac{\pi\xi_1}{\omega_{1\max}} \quad (1)$$

t_N : 作業時間

$\omega_{1\max}$: 胴関節駆動モータの最大角速度

$\epsilon_{1\max}$: 胴関節駆動モータの最大角加速度

ξ_1 : 胴関節減速機の減速比

(モータの入力曲線は台形曲線と仮定する)。

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= \tan^{-1} \frac{z}{x} - \cos^{-1} \frac{x^2 + z^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_2\sqrt{x^2 + z^2}} \\ \theta_1 &= \cos^{-1} \frac{x^2 + z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \phi_2 &= \tan^{-1} \frac{z}{x} + \cos^{-1} \frac{x^2 + z^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_2\sqrt{x^2 + z^2}} \\ \theta_2 &= -\cos^{-1} \frac{x^2 + z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3.2項4)に述べた機構でアーム系の運動方程式が

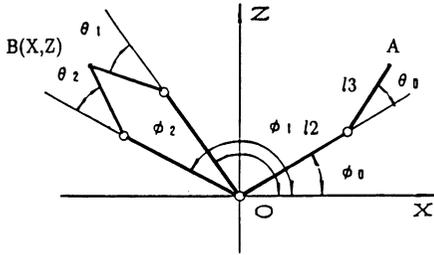


Fig. 6 Two configurations of the arms in an assembly station

線形になったので、LM 給配方式において、以下のよう
に最短時間パスをとることによって給配速度と効率
を向上することができる。図6に示すように、アーム
は作業始点 A における姿勢 (ϕ_0, θ_0) に対して、B 点
には二つの姿勢： (ϕ_1, θ_1) 、 (ϕ_2, θ_2) が存在する。

また、ロボットの関節は 2π 回転できると仮定すれば、
A から B までの PTP 運動には次のような 8 通りの
移動パスが存在していることがわかる。

- 姿勢 1 : (J2 : ccw, J3 : ccw),
(J2 : cw, J3 : cw),
(J2 : ccw, J3 : cw),
(J2 : cw, J3 : ccw)

- 姿勢 2 : (J2 : ccw, J3 : ccw),
(J2 : cw, J3 : cw),
(J2 : ccw, J3 : cw),
(J2 : cw, J3 : ccw)

ただし、姿勢 $i(i=1, 2)$: 終点 B におけるアームの
姿勢

J2, J3 : 第 2, 3 関節

cw, ccw : 関節の回転方向（時計方向, 反時計方
向）

それぞれの移動パスに対応する肩関節と肘関節の回
転量は次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} \Delta\phi_1 &= \phi_1 - \phi_0, \quad \Delta\theta_{11} = \theta_1 - \theta_0 \\ \Delta\phi_1 &= \phi_1 - \phi_0, \quad \Delta\theta_{12} = 2\pi - \Delta\theta_{11} \\ \Delta\phi_2 &= \phi_2 - \phi_0, \quad \Delta\theta_{21} = \theta_2 - \theta_0 \\ \Delta\phi_2 &= \phi_2 - \phi_0, \quad \Delta\theta_{22} = 2\pi - \Delta\theta_{21} \\ \Delta\phi_3 &= 2\pi - \Delta\phi_1, \quad \Delta\theta_{31} = \Delta\theta_{11} \\ \Delta\phi_3 &= 2\pi - \Delta\phi_1, \quad \Delta\theta_{32} = \Delta\theta_{12} \\ \Delta\phi_4 &= 2\pi - \Delta\phi_2, \quad \Delta\theta_{41} = \Delta\theta_{21} \\ \Delta\phi_4 &= 2\pi - \Delta\phi_2, \quad \Delta\theta_{42} = \Delta\theta_{22} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ただし、 $\Delta\phi_i$: 肩関節の回転量； $\Delta\theta_{ij}$: 肘関節の回転
量。

また、両関節の各移動パスに対応する回転時間は次
の通りである。

肩関節

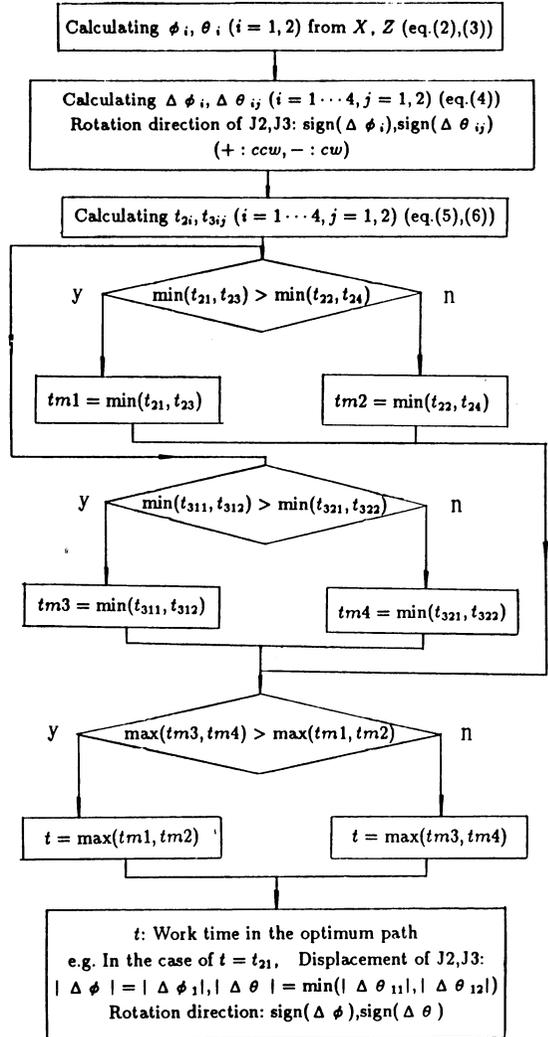


Fig. 7 Flow chart of calculating a minimum-time path

$$\left. \begin{aligned} t_{2i} &= \frac{|\Delta\phi_i| \xi_2 - \omega_{2\max}^2 / \epsilon_{2\max} + 2\omega_{2\max}}{\omega_{2\max} \epsilon_{2\max}} \\ &\quad (|\Delta\phi_i| \xi_2 > \omega_{2\max}^2 / \epsilon_{2\max}) \\ t_{2i} &= 2\sqrt{|\Delta\phi_i| \xi_2 \epsilon_{2\max}} \\ &\quad (|\Delta\phi_i| \xi_2 \leq \omega_{2\max}^2 / \epsilon_{2\max}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

肘関節

$$\left. \begin{aligned} t_{3ij} &= \frac{|\Delta\theta_{ij}| \xi_3 - \omega_{3\max}^2 / \epsilon_{3\max} + 2\omega_{3\max}}{\omega_{3\max} \epsilon_{3\max}} \\ &\quad (|\theta_{ij}| \xi_3 > \omega_{3\max}^2 / \epsilon_{3\max}) \\ t_{3ij} &= 2\sqrt{|\Delta\theta_{ij}| \xi_3 \epsilon_{3\max}} \\ &\quad (|\theta_{ij}| \xi_3 \leq \omega_{3\max}^2 / \epsilon_{3\max}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

それぞれの所用時間を計算し比較して（図7）、一
つの最短時間移動パスを選び出すことができる。実際

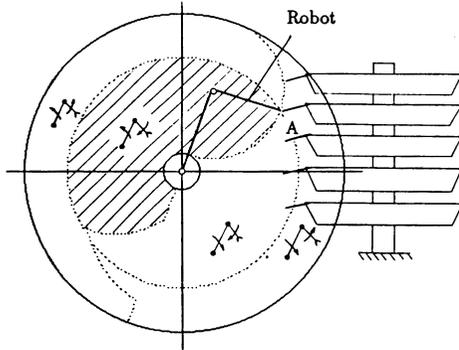


Fig. 8 The determination of system dimension using a minimum-time path

の作業システムに対して3次元的なLM機能も考えられる。第2,3関節の減速比が同じである場合、この最短時間パスは最小移動量パスになる。一つの例として図8のアームの姿勢(多段フィーダの第2段から部品を供給しようとする位置)に対するロボット作動領域内の各点までのLM最短時間パスにおける両関節の回転方向を示す(回転量を省略する)。その中で(J2: ccw, J3: cw)(斜線の領域)は垂直平面においても最もスペース効率の良い運動形態であるため、組付けステーションにおける部品給配の目標位置はこの領域の中で選ぶことが望ましい。

現在の組立ロボットの平均的なデータに準拠して、図4に示すような作業のシミュレーション実験を行った。その結果、従来の垂直多関節型ロボットと比べて部品給配において作業時間(サイクルタイム)を約15%減少し、より高速化を達成していることがわかった。

5. 結 論

- (1) フレキシブルな自動組立システムにおける部品の供給技術について考察し、部品給配ロボットの必要性を検討した。
- (2) スペース効率に優れ、フレキシビリティに富む自動組立ラインを想定し、それに適した部品給配用ロボット機構を検討選択した。
- (3) 効率良く、高速に部品を給配できる方式を提案し、その効果について論じた。
- (4) 独自の給配方式による部品給配ロボットを設計試作した。

なお、部品給配方式の運動性能、制御および試作機による実験結果などについては次報以下に報告する予定である。

参 考 文 献

- 1) 横山恭男: 最近の部品供給装置の動向, 自動化技術, 21, 2 (1989) 18.
- 2) Y. Yokoyama: Importance of Parts Handling in Automated Assembly, China-Japan Int. Symp. on Mechatronics '88.
- 3) M. Shirai & A. Saito: Parts Supply in Sony's General-Purpose Assembly System "SMART", Jap. J. Advanced Automation Technol., 1, 2, (1989) 108.
- 4) T. Lee, Y. Kamiya, S. Okabe, Y. Yokoyama & T. Togami: Development of Parts Supplying Robot, Proc. 10th Int. Conf. on Assembly Automation, (1989) 173.
- 5) 横山恭男: 自動組立の基本技法・パーツハンドリング, 工業調査会, (1985.4).
- 6) 塩沢 晃: ニューヤマハアセンブリラインの理念, 精密工学会自動組立専門委員会研究例会講演論文集, (1987.8).
- 7) 牧野 洋, 村田 誠, 古屋信幸: SCARAロボットの開発, 精密機械, 48, 3 (1982) 378.
- 8) 横山恭男, 牧野 洋, 熊谷 卓編: 最新部品供給技術総覧 (188), 産業技術サービスセンター (1986).