

組立ロボットの最近の動向

岡部 佐規一* 神谷 好承*

1. はじめに

各種工業製品の生産工程において部品の加工工程は早くから自動化が進められていたのに対し、組立工程は複雑な動作機能と判断力を必要とするために自動化が大きく遅れていた。しかしながら1960年を過ぎる頃から、省人化に対する強いニーズと、各種の要素技術やコンピュータ技術の発展、そして高性能な組立ロボットの開発などに支えられて着実にその自動化の実を上げてきた^{1),2)}。

一方、近年はとくに製品に対するニーズが多様化し、これに伴って多品種少量(多量)生産に柔軟に対応できる自動組立システムの開発が求められているが、これまでのような少品種多量生産向けにつくられた組立システムの延長では十分に対応しきれなくなっているのも事実である。

このような多品種混流生産システムにおいては組立機械のハード面の見直しはもとより、製品設計から部品や情報の流れをも含めたシステム的な構築が求められ、量的変革よりもむしろ質的変革が期待されていると言えよう。当然のことながら、このようなフレキシブルな自動組立システムにおいてはロボットの占める重要度はますます高くなっており、求められる機能もますます高度化している。すなわち、

(1) 高速化, (2) 高精度化, (3) 高信頼性化, などといった産業用ロボット一般に求められる課題とともに、

(4) フレキシビリティ, (5) 移動性, (6) 協調作業性, (7) 知能化 などさまざまな機能の拡張が今後の組立用ロボットに強く求められている。

組立作業の自動化や組立用ロボットの現況については、本学会誌の「CIMとロボット」特集(Vol.10, No.3)においてすでに詳細に取扱われており^{3),4)}、本稿では重複を

できるだけ避け、主として「フレキシビリティ」に焦点を置いて述べることにする。

2. 自動組立システムとフレキシビリティ

自動組立機械に要求される基本性能として、生産性(Productivity)、巧妙性(Dexterity)、フレキシビリティ(Flexibility)があげられているが、これらは機能的に互いに相容れない面が多く、システム全体としてどこに妥協点を置いてシステムを構築するかが大きな問題となる。

とくに近年の動向としては「フレキシビリティ」に対する要求が増大しているが、「フレキシビリティ」とは概ね①多品種生産、機種モデルチェンジなどに適応できる融通性(Changeability)、②部品の形状・寸法の変更、部品点数や生産工程の変更などに対処できる柔軟性(Interchangeability)、③作業プログラムを容易に変更できる能力(Programmability)、④部品寸法のバラツキや位置決め誤差をカバーして所定の目的を完遂できる能力(Adaptability)などの意味で用いられていると言えよう。このようなフレキシビリティをもつ自動組立システムの実現のためには、個々の構成要素の高機能化が求められるとともに有機的な統合が必須であることは言うまでもない。システムの汎用化のために用いられている手法を分類してみると、理想的な①ユニバーサル方式を含めて基本的には、②着脱式、③タレット式、④併設式、⑤調整式の5方式に大別される。実際には②～⑤の各方式が製品の種類やサイクルタイム等に応じて使い分けされているが、スペースや段取り替えなど多くの問題点を残しているのが実状であり、単一機構でユニバーサルなシステムの開発が強く求められている。

3. 自動組立システムの分類

自動組立システムの構成要素を機能によって分類すると「移送」「供給」「組付け」の3基本機能があげられ、さらにそれらをサポートする機能として「制御」「検査」「通信」などがあげられる。システムの詳細にわたる構成は対象とする製品の種類、生産方式などによって大き

原稿受付 1992年11月11日
Recent Trend on Assembly Robot
* 金沢大学工学部

表 1 自動組立システムの分類

機能 分類	組 付 け	移 送	供給 (1ステーションあたり)			制 御 等
			単一部品	同種複数部品	異種複数部品	
I 型	専用工具	一方向同期移送	○			固定シーケンス
II 型	固定型ロボット	一方向同期移送 or 一方向非同期移送	○	○	○	可変 (プログラマブル) シーケンス
III 型	固定型ロボット	双方向 (可逆) 非同期移送	○	○	○	ランダムシーケンス
IV 型	固定型ロボット	原則として非移送			○	
V 型	移動型ロボット	—	○	○	○	

く異なってくるが、まずシステムの骨格とでもいうべき基本的構成を決定する要素としては移送方式があげられる。表 1 は移送方式と組立方式に着目して自動組立システムを分類したものである。

分類 I の方式は専用の単機能組付工具を用いて 1ステーションで 1 部品を組付け、いくつかのステーションを直列に構成して一連の組立作業を行うシステムである。

分類 II は単機能組付工具を組立用ロボットに置き換えて組付け作業に融通性を持たせたものである。1ステーションで必要に応じて複数個あるいは異種の部品をプログラマブルに組付けることができ、汎用性は向上する。

分類 III は分類 II と同様に組付作業は各ステーションで行われるが、必要に応じて移送の方向を逆方向にとれるようにしたものであり、組付けのシーケンスをランダムに設定できる方式である。また、分類 IV は製品を移送することなく 1 箇所、1 台または複数台のロボットを用いてすべての組付け作業を行なう方式であり、たとえばアセンブリセンタはこの方式に相当する。

以上の分類はいずれもロボットを固定して組付け作業を行う方式であるが、もしロボット自身が移動可能ならばさまざまなシステムのバリエーションが考えられ、フレキシビリティは一段と向上する。例えば、能動的に必要な部品を取りに行き行ってその場で直ちに組付け作業を行うような、いわゆるカフェテリア方式であるとか、さまざまな機能を持つロボット群から必要に応じてロボットが逐次集って来て組立作業を行う方式など各種の方式があげられる。これらの方式では多品種でしかも 1 個、2 個といった少量の生産にも十分適応できる自動組立システムの実現が可能になると思われる。このように移動型ロボットを用いたシステムを分類 V とする (将来は分類 V の方式はさらに細かく分けられる必要があると思われる)。

現在、実用されているシステムとしては I、II、IV の方式がほとんどであり、とくに V の方式は研究の段階を出ていないのが実状であるが、システム的には、I → V

へとフレキシビリティは高くなるため多品種少量指向の生産システムでは移動機能を持つ組立ロボットの要求が今後ますます高まるものと思われる。なお、図 1 および図 2 はロボットに移動機能を付加したシステムの開発研究の例を示したものである^{5,6)}。

このような移動機能を持つシステムにおいては、作業目的に合った最適な移動機構の開発設計を行わねばならないことは言うまでもないが、実際に組立作業を行う場合にはとくに座標系の補正が困難であるため、位置決め動作や装入作業の遂行にさまざまな問題が生じてくる。このため視覚センサを用いた位置決めや力センサを用いた協調制御などが有効となる。これについては後で簡単に触れる。

4. 汎用組立用ロボットの開発

(a) 汎用ロボットハンドの開発

いずれの自動組立方式においても、フレキシブルなシステムの実現のためにはその核となる組立用ロボットの高機能化 (汎用対応化) が必須であり、とくにさまざまな部品に対処できるハンド (グリップ) の開発が強く求められている。現在のシステムでは、作業や部品の種類に応じてハンドを交換する AHC (Automatic Hand



図 1 移動型ロボットによるフレキシブル組立センタ⁵⁾

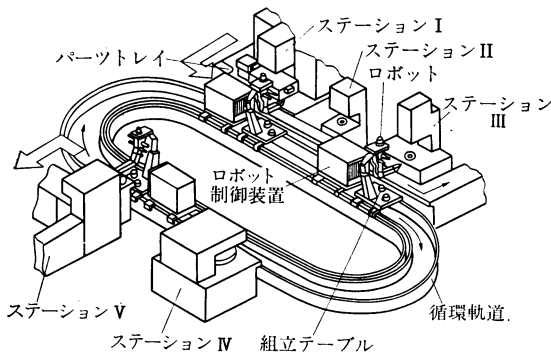


図2 循環移動式組立ロボットシステム例⁶⁾

Changer) やタレット式が多く用いられているが、とくにスペースや段取り替えの時間などに多くの問題点を残している。理想的には人間の手のように1つのハンドですべての部品や製品のハンドリングが可能であるようなユニバーサルなシステムが望まれる。

さらに精密な組立作業においては、ハンド先端の位置姿勢制御とともに力・モーメントをも考慮した協調制御が必要となるケースも多く、次世代組立用ロボットでは部品形状に対する適応性ととも、指先にすべり感覚や力分布なども検出できるようなセンシング機能を持ったハンドの開発が強く望まれる。

(b) 部品配給ロボットの開発

多品種生産に対処できる組立システムでは、さまざまな形状、寸法をもつ部品群から必要な部品を製品(機種)毎に適宜切り替えて確実に整列、分離、供給することが必要であり、部品供給技術の占める役割はますます重要になっている。従来は専用の部品整列供給装置やマガジンなどを用いた供給方式がほとんどであったが、多品種生産に対応するために部品供給のみに作業を限定したいいわゆる部品配給ロボットの開発が進められている。作業を部品供給のみに限定することによって、さまざまな特徴を持たせることができ、いわゆるパーツフィーディングセンタの開発などシステムの汎用化、高集積化の実現が期待される。

5. 組立作業の汎用アルゴリズム

組立ロボットの歴史の中で、より高精度な組み立てを考えたとき、ロボット自身のもつ繰り返し位置決め精度では不十分であることがいくつかの事例によって明らかにされてきた。そのまず最初は RCC デバイス⁷⁾であるといえる。これは組立ロボット自身のもつ位置決め精度の低さを受動的コンプライアンス機構である RCC により補償し、その変形により高精度な組み立てを完遂させ

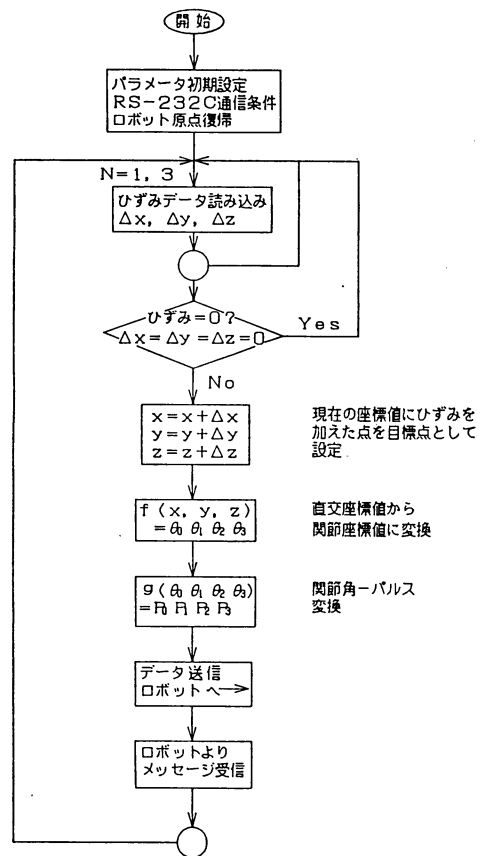


図3 位置合わせ制御アルゴリズム

るものである。同様の受動的コンプライアンスの考え方は SCARA ロボット⁸⁾においても採用され、また、さらに能動的コンプライアンス機構の考え方も富士通研究所等⁹⁾において提案されてきている。

これらの考え方は組立用ロボットの繰り返し位置決め精度が高精度な組立部品の公差に比べて不十分であるという事実であるが、別の観点からみれば部品の組み立てに要求される本質的機能は位置決めではなくロボットおよび部品同志の位置合わせではないかということに気付く。

本来組み立て可能な部品同志であってもその置かれている位置がわずかでもずれておれば、位置決め精度のみを大切にするロボットであれば、その組立作業の完遂は不可能である。しかし、ロボットおよび部品同志の位置合わせを重要視するロボットの運動制御が可能であれば本来組み立つ部品であれば組み立てを成功させることが期待できる。

また、移動型のロボットによる組立作業においては、本質的に組み合わせられる両部品間の座標系に累積誤差を

含みやすく、このため位置決めを重視するアルゴリズムでは作業の完遂は難しく、例えば視覚を応用した粗い位置決めおよび作用力に着目した位置合わせアルゴリズムが必須となる。

こうした技術こそ次世代の組立ロボットに要求されるものであるとの観点から、位置合わせを指向する組立ロボットの運動制御に関連したいくつかの基本的な試みについて述べてみたい。

(a) 力覚センサを用いた組立作業における位置合わせ

ロボット手首に設けた力覚センサにより部品組み付け時に発生する力覚情報を読み取り、力覚センサ値が小さくなる方向にロボットアームを誘導する手法である。こうしたロボットの運動制御により部品の位置が少しくらいずれていても部品同志の位置合わせが可能となり、精度の高い公差をもつ部品同志の組み立てを可能にすることが期待できる。

力覚センサから検出されるひずみ量をロボットの関節座標系に変換してロボットを駆動し、力覚センサのひずみ量を制御する本手法の制御アルゴリズムを図3に示す。

こうした手法はロボット自身が十分高い繰り返し位置決め精度をもつことが必要であり、現実的にはせいぜい3程度の自由度をもつ高精度な組立ロボットに対して適可能であるようにも思われる。

(b) 力覚情報に基づく精密組立

前述の手法は部品同志の位置ずれに対してその位置合わせを可能とするため位置ずれがあっても部品同志の組み立てを可能にしてくれるが、組み付ける部品同志の姿勢角誤差がある場合にはそのまま組み立てが困難である場合もある。部品の組み付け時に発生する力覚センサ値が小さくなる方向にロボットアームを移動させるといった基本的コンセプトに変わりないが、姿勢角誤差があるとどちらの方向へロボットアームの姿勢を変化させてよいかわからなくなる。すなわち、ロボット手首に設けた力覚センサより得られる力覚情報そのものでは部品同志がどの位置で接触しているのかが簡単にはわからなく、その最初として部品の位置ずれを修正すべきなのかあるいはその姿勢を修正すべきのかが判断できない。そこ

でまず力覚情報に基づいて部品同志がどの点で接触し力を及ぼし合っているのかを知ることが必要になる。これには部品同志の接触点において少なくとも各軸回りのすべてのモーメントが働かないことを利用しその接触点を探り出すことにする。これより手首に設けられた力覚センサに現われた力覚情報を組み付けるべき部品表面のすべての場所に座標変換しモーメント値がすべて0になる場所を探し出し、その点において部品同志が接触しているとするアルゴリズムを構成することにする。

上述した接触位置の推定に基づいたはめ合わせとして以下のような挿入アルゴリズムを構成することができ、軸状部品の先端が穴部品の面取り部分に接触していると判断される場合には軸状部品の並進誤差のみを修正し、部品の先端部をとりあえず穴部品の中心にまず移動させる。こうした状態から部品を穴の中へ挿入していき、一点接触が生じた時は逐次部品の姿勢角誤差を中心に修正する。すなわち部品先端を穴部品の中心付近にまずセットし、それ以降は姿勢のひきおこしを中心にはめ合わせを遂行させていくものとする。この時、軸状部品の姿勢の修正には常に軸状部品先端を回転中心とした修正を行うことが必要である。

6. おわりに

さまざまな周辺技術の進歩発展に伴い製品の組立分野でも自動化が大いに促進され、製品コストの低減、品質の安定に大きく寄与しているが、製品によっては組立システムやロボットに解決されるべきまだまだ多くの課題が山積しているのも事実である。例えば大型部品、柔軟部品、複雑形状部品等の組立作業、特殊環境下での組立作業などは自動化が大きく遅れており、このような作業に対応できるロボットの開発が強く求められている。

また当然のことながら組立工程の中には複数ロボットや複数アームによる協調作業が求められるケースも多く、次世代の組立ロボットには協調動作に対するシステムの構築が必須となるであろう。

組立図より自動的に組立手順を決定し、さらに組立部品に応じて必要な治具やハンド(ロボット)を選択して

(66ページに続く)

岡部佐規一 (Sakiichi OKABE)



1942年4月生まれ。1964年金沢大学工学部精密工学科卒業。同年金沢大学工学部精密工学科助手となり、同学講師、助教授を経て、1983年より同学教授。この間、振動応用工学、自動組立工学、部品自動供給システム等の研究に従事、精密工学会、日本機械学会、計測自動制御学会、油空圧学会等の会員、工学博士。(日本ロボット学会正会員)



神谷好承

(Yoshitsugu KAMIYA)

1949年5月生まれ。1975年金沢大学大学院工学研究科修士課程修了。同年4月同大学工学部助手。1985年同機械システム工学科助教授、現在に至る。工学博士。制御工学、振動工学、メカトロニクス、ロボティクスの教育と研究に従事。日本機械学会、精密工学会、計測自動制御学会等の会員。(日本ロボット学会正会員)