

# 機械部品組立ロボットシステム

## Machine Parts Assembly Robot System



高山	裕規①	Yuuki Takayama
掃部	雅幸②**	Masayuki Kamon
赤松	政彦③*	Masahiko Akamatsu
榎本	雅幸④**	Masayuki Enomoto
三浦	克也⑤	Katsuya Miura
山根	秀士⑥	Hideshi Yamane

生産現場の省力化、製品の品質維持のため、これまで困難とされてきた組立作業の自動化が求められている。本稿では、組立ロボットシステムの実用化に向けた要素技術開発について、当社の取り組みを述べる。また、それらの技術を適用した社内適用事例を紹介する。

To reduce labor and maintain product quality, assembly operations need to be automated. This paper describes our approaches to the development of elemental technologies destined for the commercialization of assembly robot systems. The paper further presents examples of in-house applications using such technologies.

### まえがき

これまで産業界では、生産性向上のため生産現場へのロボットの導入が進められてきた。特に、ロボットによる自動化が盛んに行われてきた溶接や塗装の現場では、非常に多くのロボットが稼働しているが、近年では、自動化が遅れていた新領域へロボットを導入していく取り組みが始まっている。組立作業の自動化は、こうした新領域の一つである。

組立作業の自動化が求められる背景として、多品種変量生産への対応がある。先進国の製造業では、顧客の幅広いニーズに応えるため、標準製品のカスタマイズも含め多種多様な製品を生産している。こうしたことから、組立作業に要求される技能・知識は高まり、作業員への負荷が大きくなっている。加えて、特に国内においては、少子高齢化による労働人口減少により、安定した作業員の確保、後進への技能伝承も難しくなる傾向にある。ロボットによる組立作業の自動化は、これらの課題を解決し得るものとして期待されている。

一方、BRICsに代表される新興国では、比較的安価な労働力を背景に、大量生産中心の製造を行っている。しかし、将来的には、現地の経済発展に伴い、製品の多様化は避けられない。その際には、製品ごとの作業マニュアル化や品質維持に大きなコストを要求されることが必至である。これに対して、組立工程を自動化すれば、段取り換えや品質維持を容易にすることができるため、導入効果は高い。

以上のような理由から、ロボットによる組立作業の自動化の市場拡大が期待されている。しかし、組立は多様な作

業の組み合わせで成り立っているため、ロボット化には多くの困難がある。そのため、各ロボットメーカーとも、実用化に向けた研究開発に取り組んでいる。

当社でも、多様な作業を可能とする組立用ハンド技術を中心に、組立ロボットシステムを実用化するための要素技術開発を続けている。また、このような取り組みの成果として、社内工場での組立作業の自動化を実現している。本稿では、当社の組立ロボットシステムに関する要素技術と、社内生産ラインへの適用事例を紹介する。

### 1 ロボットによる組立自動化の課題

溶接や塗装など、基本的な作業内容が単一であれば、ロボットの能力が人間を凌駕することも多い。しかし、多くの場合、組立は複数の作業の組み合わせで成り立っている。このような場合、人間ならば容易にこなせることでも、ロボットにとっては困難であったり、実現のために過剰なコストがかかったりすることが多い。

ロボットによる組立自動化の課題をまとめると、大きく分けて、以下の3点に集約される。

- ① 器用さの獲得
- ② 柔軟さの獲得
- ③ 正確さの獲得

組立ロボットシステムの実用化に向け、これらの課題に対し、当社が開発してきた要素技術を紹介する。



図1 チェビシェフリンクハンド  
Fig. 1 Chebyshev linkage hand

## 2 組立ロボットシステムの要素技術

### (1) 器用さの獲得 —組立用ハンド技術—

従来、ロボットが複数の部品をハンドリングしたり、複数の作業を行ったりする場合、その都度、それぞれに適合したハンド（グリッパ）に交換する必要があった。この場合、対象とする作業数が増えるほどにハンドが増加し、コスト、配置スペース、タクトタイムに悪影響を及ぼすことになる。

この問題を解決するため、当社では、複数の部品・作業に対応し、汎用的に使用可能なサーボハンドの開発を行ってきた。ここでは、その一部を紹介する。

#### (i) チェビシェフリンクハンド

ハンドの器用さを評価する指標として、ストロークの大きさが挙げられる。当社では、広いストロークが特長の「チェビシェフリンクハンド」<sup>1)</sup>を開発した（図1）。

ハンド機構にチェビシェフリンク\*を採用することで、コンパクトなハンド本体に比して、広いストロークを実現している。これにより、多様なサイズの部品をハンドリングすることができる。さらに、リンクの結合部は全て回転関節で構成されるため、シールが容易であり、クリーン対応も可能である。また、サーボハンドの一般的な特長である、把持力の強弱調整やハンド開幅の測定といった機能も搭載している。

\* チェビシェフリンク機構：回転運動から、擬似的な直線運動が得られるリンク機構。

#### (ii) ネイルアタッチメント

高機能なサーボハンドであっても、ハンド単体では、多様な部品をカバーしきれない場合も多い。そこで当社では、ハンドに装着し、その対象部品の種類を拡張する「ネイルアタッチメント」を開発した（図2）。

ネイルアタッチメントは、ハンドに既設のフィンガ部に、ロボットが自動着脱して使用する。対象部品の大きさや形状に応じて、異なる爪形状のアタッチメントを装着するこ

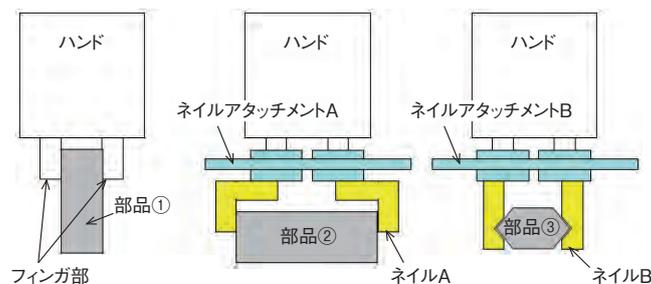


図2 ネイルアタッチメント  
Fig. 2 Nail attachment

とで、多様な部品のハンドリングが可能となる。

なお、アタッチメント装着時の固定は独自のバネ機構、駆動は既設ハンドの動作によって行う。そのため、エアなどの追加駆動源は不要であり、従来のツールチェンジャと比べ低コスト・高速である。

### (2) 柔軟さの獲得 —誤差吸収機構—

組立作業においては、ロボットが製品に触れたり、ハンドが把持した部品を押し付けたりすることが多い。この際、わずかな組付位置誤差によっても、ロボットに大きな負荷がかかる可能性がある。そのため、ロボットを組立作業に適用する場合には、押付力を制御するために力覚センサを利用したり、手先に柔軟性を与えるコンプライアンス装置を利用したりする手段が採られてきた。

しかし、力覚センサは高コストであるとともに、組立作業の衝撃で故障する危険性がある。また、コンプライアンス装置は、誤差を許容するためのフローティング機能により、位置決め精度が低下する欠点がある。

これらの課題に対し、当社では、独自のコンプライアンス装置「誤差吸収機構」を開発した。

#### (i) 誤差吸収機構

誤差吸収機構は、図3のように、ロボットのフランジ面とハンドの間に装着し、使用する。誤差吸収機構が押し付けられたとき、ハンド側にフロート効果がはたらき、誤差に依う機能が発揮される。さらに、内蔵されたバネの付勢力により、ハンドが把持した部品を押し付ける作業が可能である。これは、ネジ締めなどの、適切な押付力で部品同士を当接させる必要がある作業において有効である。

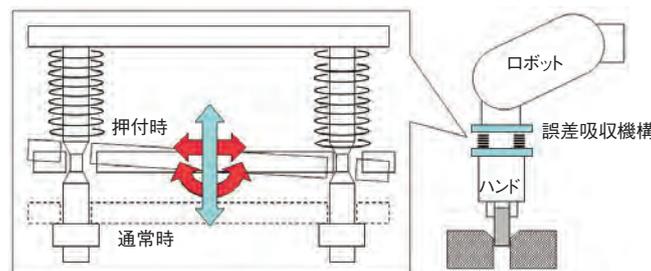


図3 誤差吸収機構  
Fig. 3 Error absorption mechanism

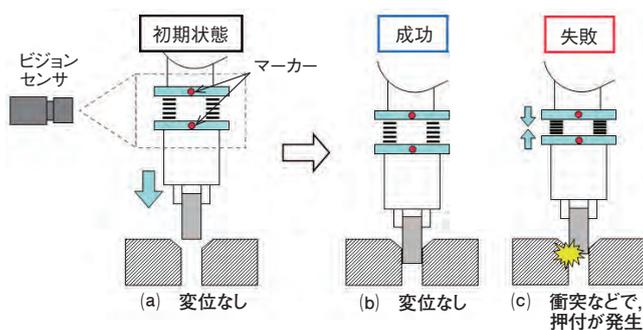


図4 誤差吸収機構による組付成否判定  
Fig. 4 Determination of success or failure

また、通常時（押付解放時）には、フロート効果は封じられ、ハンド側はセンターに位置決めされる。これにより、部品をピックアップする際には、高精度な作業が可能である。

(ii) 押付状態検出技術

誤差吸収機構を使用して組立を行う際、その変位量を測定することで、押付の発生を検出することができる。これを実現する構成を2例挙げる。

① マーカー撮影方式

図4(a)のように、誤差吸収機構の上下にマーカーを配し、これをビジョンセンサで撮影する。押付前後の2つのマーカー間距離を比較し、変位を測定する。

② タッチ（距離）センサ方式

誤差吸収機構にタッチセンサを内蔵し、押付により任意の変位量が発生したことを検出する。

マーカー撮影方式は、ロボット側にセンサが不要になるため、より信頼性の高いシステムを構築可能である。タッチセンサ方式では、センサを複数配置することで、傾きを推定することができる。

この技術により、部品組付成否の判定が可能である。例えば、図4(c)のように、部品挿入作業の途中で大きな変位が測定された場合、部品同士が干渉し失敗していると判定する。この検出結果を利用し、組み付けのリトライを行うなどの対応も可能である。

また、歯車などの噛み合わせ組み付けにおいて、部品を押し付けた状態で噛み合う位相を探る動作を行い、誤差吸収機構の押付が解放されたことで成功と判定するような、高度な作業も可能である。

(3) 正確さの獲得 —ビジョンセンサ技術—

組立作業の自動化に期待されている効果として、人間では困難な、一定かつ正確な作業によりケアレスミス無くし、製品の品質を維持するというものがある。しかし、これはロボットの導入のみで解決可能な課題ではなく、センサとの協調が不可欠である。

当社では、以前からロボット用ビジョンセンサの開発に継続して取り組んでおり、多くの生産現場に適用されている<sup>2)</sup>。ここでは、ビジョンセンサ技術を組立ロボットシステムに適用した例を紹介する。

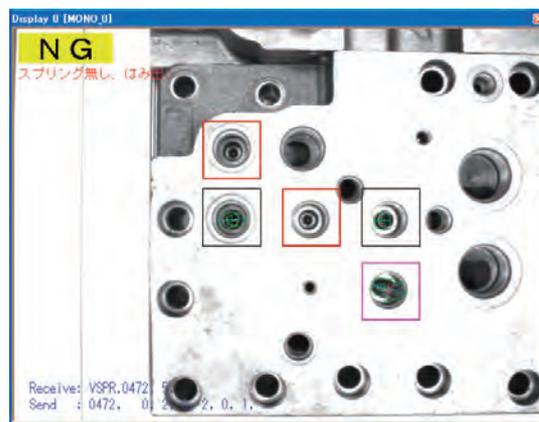


図5 スプリング挿入状態検査  
Fig. 5 Check of spring installation condition

(i) 位置認識技術

ロボットに正確な組立作業を行わせるためには、組立対象部品が高精度に位置決めされていることが重要である。部品の大きさや形状が一定であれば、機械的な位置決めが可能な治具を導入することが、最もシンプルである。しかし、顧客のニーズ多様化に伴い、生産現場では、多様な製品を生産する必要に迫られている。このような場合、それぞれの部品に対し専用治具を用意することは、膨大なコスト増につながる。

このような課題に対し、当社では、組立ロボットシステムに部品の位置認識を行うビジョンシステムを適用した。汎用パレットに設置され、供給された部品の特徴をビジョン認識し、その位置を測定する。測定された位置情報に基づいて、ロボットは、部品組付位置を補正することが可能である。

これにより、製品の機種ごとに専用治具を用意することなく、正確な組立作業を実現し、設備の低コスト化に貢献した。

(ii) 組立ミス検出技術

組立作業において、万が一、部品未挿入などのミスを見逃した場合、製品に欠陥が出てしまい大きな損失につながる可能性がある。この点から、組立作業の自動化において、ミス検出技術は欠かせないものとなっている。

組立の信頼性向上のため、ビジョン認識により部品の組付状態を検出するシステムを開発した。図5は、製品にスプリングをセットした状態を検査している様子である。

スプリングが未挿入となっている位置を、図中赤枠で示している。このようなミスが検出された場合、組み付けのリトライや、作業者に修正を要求するなどの対応が可能である。

また、サーボハンド側にも、ハンドリングしている部品の落下検知機能を搭載可能であり、ビジョン認識と合わせて一層の信頼性向上を図っている。

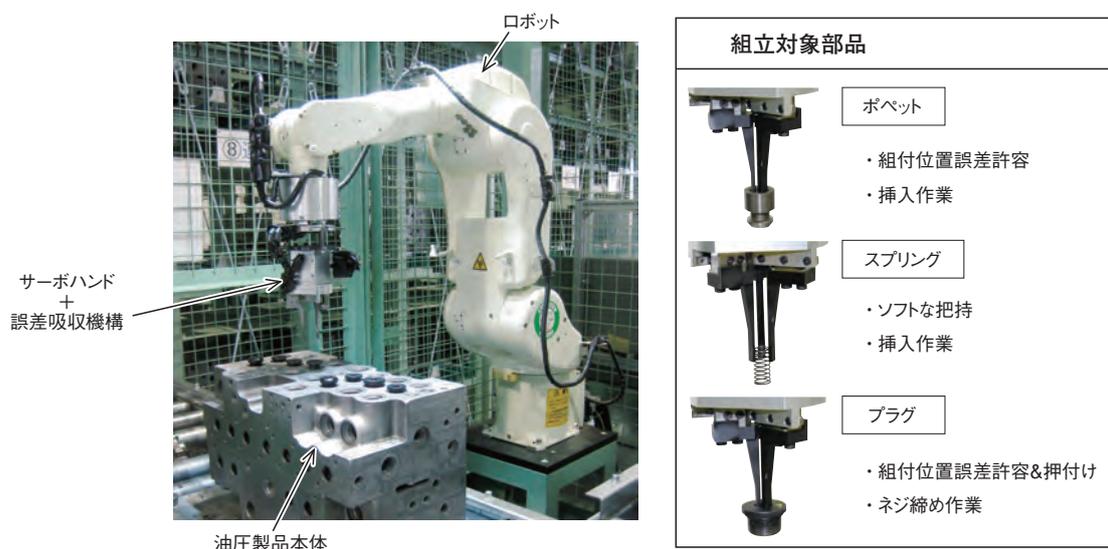


図6 油圧製品組立ロボットシステム  
Fig. 6 Robotic assembly system for hydraulic product

### 3 社内適用事例 —油圧製品組立—

以上に紹介したような組立ロボットシステムの要素技術を活用し、社内外のさまざまな組立作業へのロボットの導入を進めている。ここでは、当社の油圧製品生産ラインに導入した、組立ロボットシステムを紹介する。

システムの概要を図6に示す。本システムでは、機種によってバリエーションがある3部品、ボベット（弁）、スプリング、プラグ（ネジ付き）を組立対象としている。ボベットに対しては組付位置誤差を許容した挿入作業、スプリングはワークを変形させないソフトな把持、プラグは誤差を許容しつつネジ部に当接させ、ネジ締め作業を行っている。従来であれば、それぞれに対して別のツールが必要になる作業を、サーボハンド、および誤差吸収機構の採用によって、単一ツールで実現した。

また、供給される製品本体の上にビジョンセンサを設置し、製品機種の照合や、位置ずれの認識を行っている。なお、プラグは、次工程の専用ネジ締め機でのネジ噛み込みを防止するため、一定量の仮締めが必要である。そのため、ネジ締め量は、誤差吸収機構の変位量測定をビジョンシステムによって行うことで、管理されている。

#### あとがき

近年の社会情勢の変化に伴い、ロボットの適用範囲は、従来の比較的単純な作業だけでなく、これまで自動化が困難とされてきた複雑な作業にも広がりつつある。本稿では、組立ロボットシステムをテーマにその要素技術開発、社内適用事例を紹介した。

今後も、一層本格化するであろう組立作業自動化への要求に応えるため、組立ロボットシステムの技術開発に継続して取り組む所存である。

#### 参考文献

- 1) 蓮沼, 掃部, 高山: “川崎重工の産業用汎用ハンド～その2～”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.422 (2011)
- 2) 中村, 三浦, 狩谷, 上原: “ロボットシステムのための画像計測 -ビジョンセンサの適用-”, 川崎重工技報, No.163, pp.26-27 (2007)



高山 裕規



掃部 雅幸



赤松 政彦



榎本 雅幸



三浦 克也



山根 秀士