産業用ロボットによるバラ積み部品供給技術

野田哲男*　田中健一*
永谷達也*
堂前幸康**

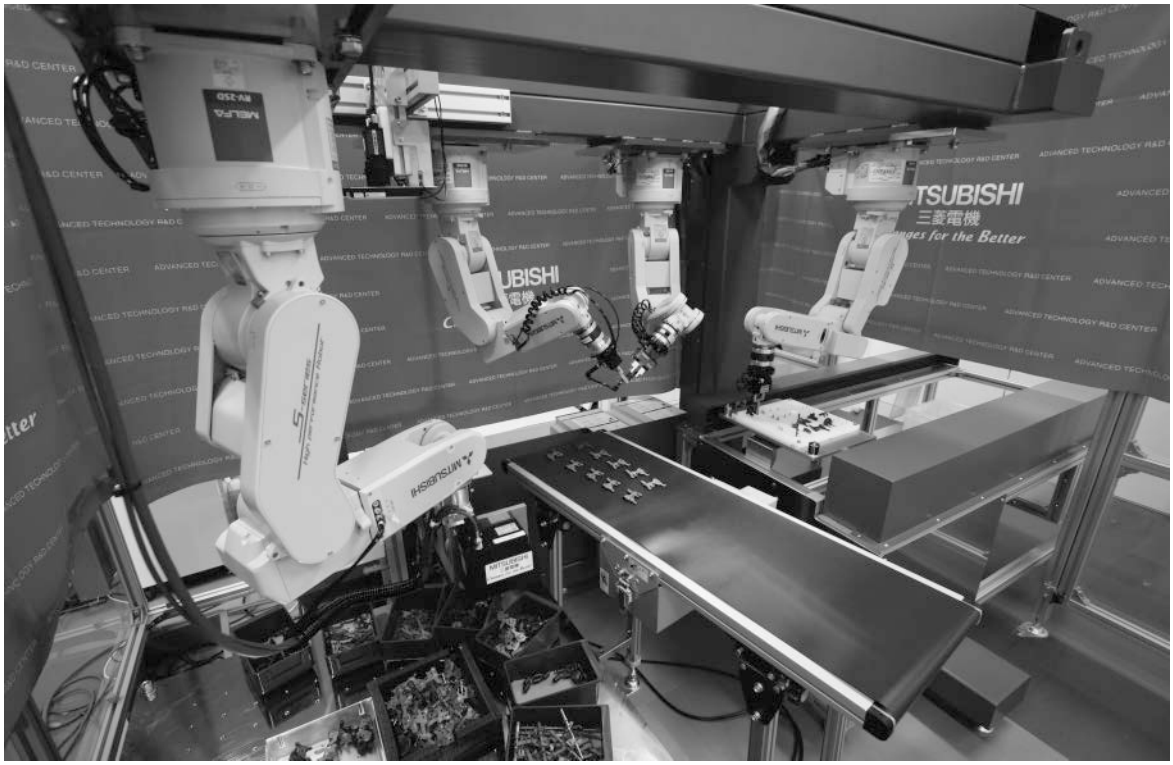
Industrial Robotics Technology Enabling to Feed Bulk Parts

Akio Noda, Tatsuya Nagatani, Yukiyasu Domae, Ken-ichi Tanaka

要　旨

自動組立てシステムで，部品箱の中に部品を無作為に多数投入したバラ積み状態で供給することが，部品保管・運搬の効率上，切望されている。これまでは，部品の種類数と同じ数だけ，パーツフィーダと呼ばれる専用供給装置を用いて部品を整列する必要があり，複雑な形状の部品の供給については，その整列を人手に頼らざるを得なかった。これはロボット学の古典的難題の一つとして知られているランダム・ビン・ピッキング問題そのものである。

今回，汎用機種4台のロボットによる流れ作業で，バラ積み部品箱から部品を取り出して，部品パレット上に整列させて，後段の自動組立て工程へ供給する技術を開発し，電気・電子製品の組立てにおいて用いられる小さなサイズの部品供給の問題を解決した。同技術を用いた実証システムを構築し，最速3秒台周期で，1台目のロボットが取り出した小さくて細かい小型電気電子製品の部品を，残り3台のロボットで持ち替えながら三次元空間内の任意姿勢へ整列できることを確認した。現在，更なる適用範囲の拡大と自社内工場における実用化，及び要素技術の製品化を進めている。



4台のロボットで複雑形状部品を整列

バラ積み部品供給技術を適用した部品整列システムの例である。4台のロボットで，左下の部品箱に無作為に投入された部品を取り出し，ベルトコンベアや部品パレット上に整列させて，下流の自動組立て工程へ供給する。

*先端技術総合研究所　**同研究所（工博）

1. まえがき

自動組立てシステムで，部品の自動供給が問題となる。現状，振動を利用して部品の位置姿勢を整列させるパーツフィーダと呼ばれる部品供給装置が用いられている。この装置は，対象部品ごとに設計と調達が必要なため，ラインの立ち上げ・変更に時間を要する上，部品ごとに1台必要なので，部品点数が多くなるとコストがかかるという欠点がある。また，複雑な形状の部品についてはパーツフィーダでは取り扱えないので，人手に頼るしかなく，自動化を阻害している。

この問題に対して，ロボットによる自動化も試みられてきたが，1980年代からランダム・ビン・ピッキングというロボット学の難題の一つとして知られており，これまで学術的な取組み，ロボットメーカー，ビジョンメーカー各社の取組みを経て，最近ようやく，対象部品の形状を限定した実用化がなされつつある。

三菱電機が研究開発を進める中で，この問題のロボット化の困難さは，任意の対象物についてのバラ積み状態からの対象物把持と，その後の姿勢変更操作に集約されることが分かった。簡単に言うと，対象物が“見えているのに握れない”“握ってはみたものの裏表が反転できない”ので，作業の成功率が低くなるということである。また，バラ積み状態部品の位置姿勢認識演算には多大な計算量が必要で，高速化の妨げとなっていた。これらの課題を**図1**にまとめる。

そこで，当社は，対象物の状態認識と，認識された状態に対してロボットで実行可能な操作とを，うまく連鎖させることで，上述の困難さを克服し，対象部品の範囲・作業の成功率・実行速度を飛躍的に高める技術を開発した。これまでの取組みで行われていたように，部品箱の中で乱雑に積み重なった部品の位置姿勢を正確に認識してロボットで把持するという大きな難しい問題を一つ解くのではなく，複数台のロボット間で，センサ計測による状態の推定と部品の操作を連鎖させるという小さな簡単な問題を，複数解くことによって，ロボット化の困難さを克服できる[1]。

本稿では，この技術の概要と効果について述べる。

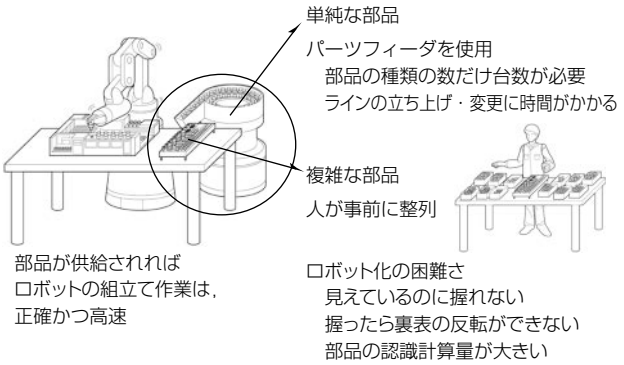


図1．自動化システムへの部品供給の課題

2. 自動化システムへの部品供給技術

この技術では，解くべき課題を，段階的に解決できる4つの小課題に分割し，それぞれを解決するサブ機能の連鎖で全体を解決する構成をとっている(**図2**)。

サブ機能1：取り出し

部品箱の中にあるバラ積み部品の位置姿勢を三次元ビジョンセンサ(自社開発)で計測する。これまでのランダム・ビン・ピッキング手法では，ここで部品の位置姿勢を完全に認識していた。しかし，認識できたところで部品を把持できるとは限らない。これに対し，この技術では，部品箱の中から，どのような姿勢でもよいので，部品をつまみ上げることにした，この方針のもと，三次元ビジョンセンサの計測データから，ロボットのハンドでつまめる部位を認識し[2]，部品をつまみ上げる(**図3**)。

次に，つまみ上げた部品を，平面状の仮置き台上に転がす。すると，何通りかある安定姿勢の一つで，部品が静定する。

サブ機能2：認識

平面上に転がった部品のシルエットを，二次元ビジョンセンサで計測する。これによって，高さが分かっている平面の上で，どのような姿勢で転がっているかが認識できる(**図4**)。姿勢が認識できると，どのように姿勢を変更して，最後にどこをつまんでいれば部品パレットに挿入すること

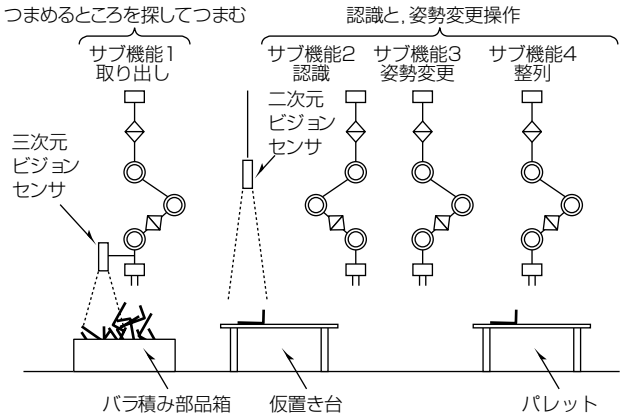


図2．自動化システムへの部品供給技術のサブ機能の構成

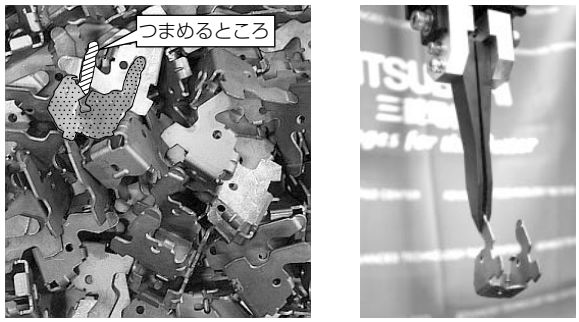


図3．つまめるところを探しての取り出し

ができるかのシーケンスが分かる。このシーケンスに従って，まず平面上から部品をつまみ上げる。

サブ機能3：姿勢変更

部品の姿勢を変更する。例えば，裏表の反転を行う。複数の産業用ロボット間で部品を持ち替えることで，必要な姿勢変更を行い，最終把持姿勢にいたる。

従来は，パーツフィーダのカスタマイズ発注，又は，専用の部品姿勢反転治具などを，部品ごとに専用のハードウェアとして用意していた。

サブ機能4：整列

パレットの所定の位置に，部品を挿入する。

先に述べたサブ機能1と2によって，“見えているのに握れない”という問題を解決する。また，サブ機能3と4によって，“握ってはみたものの裏表が反転できない”問題を解決する。

また，サブ機能3と4は，次段の組立て工程で部品の姿勢の区別を要する場合に必要となる機能である。つまり，部品の裏表の区別さえ付けば良い部品の場合には，サブ機能3は使わない。裏表の区別が必要ない部品であれば，やはりサブ機能3は使わず，サブ機能4をサブ機能2で代替することができる。

さらに，サブ機能は，**図2**のように，それぞれにロボットを1台用意しなくても，ロボットを2台にして，4つのサブ機能を同じロボットが分担しても良い。ただし，この場合，作業の並列度が下がるので，タクトタイムが伸びる。

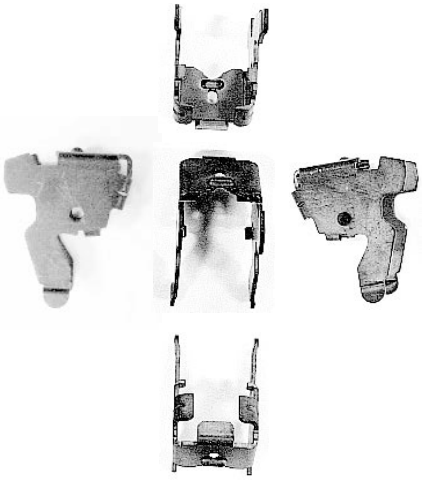


図4．5通りの安定姿勢とそのシルエット

3. 部品供給技術を用いたロボットシステムの考察

部品供給技術を用いて実証システムを構築し，最速3秒台周期で，1台目のロボットが取り出した小型電気電子製品の部品を，残り3台のロボットで持ち替えながら三次元空間内の任意姿勢へ整列できることを確認した(要旨の図)。

この実証システムによって得られた実験結果と，類似技術との比較を**表1**に示し，特長を次にまとめる。

(1) 積み重なった状態で個々の部品を認識する場合に比べ，扱うことができる部品が増え，整列時間も半減

(2) 部品ごとの三次元形状モデルの登録が不要

(3) 同じシステムで複数種類の部品を同時に扱うことが可能なため，部品数によらずシステムコストが一定

(4) 新たな部品登録に要する時間は約半日で，パーツフィーダの納期2か月(新規発注の場合)に比べて，大幅に削減可能

(5) 人でしか整列できなかった複雑な形状の部品も扱うことが可能

(6) 従来ロボットでは，対象部品が，板金物，軸物，内掴(つか)みで把持できるものに限定されていたが，より複雑な形状の部品を，取扱い可能

また，今回のような複数のロボットとセンサを用いる複雑なシステムは，据付け時や移設時の調整が複雑になり，調整作業時間が延びがちである。そこで，ロボットに取り付けられた力覚センサとビジョンセンサを用いてロボットの周辺環境を計測・認識することにより，この作業を迅速化する教示迅速化技術も，新たに開発した[3]。2011年に開催された国際ロボット展に，この技術を適用したデモシステム2種を出展した際，その移設作業において，標準調整時間8時間程度を見込んでいたところ，1時間で調整が完了し，作業時間が短縮する効果を確認した。

さて，先に述べたごとく，整列の対象となる部品は，部品の形状と使途に応じて，平面上での安定姿勢を複数持つ。ただし，裏と表の2通りで静定する部品でも，裏表の区別がなければ1通りと数え，裏表の区別のある部品は，そのまま2通りと数える。当社は，“区別する安定姿勢の数”を，その部品の複雑さと定義した上で，部品の複雑さ・ロボットの台数・タクトタイムの間に関係性があることを見い出し，システム設計手法を構築した[4]。具体的には，次のよ

表1．類似技術との比較

		部品形状への対応		動作周期	システムコスト	扱う部品を変えた場合の汎用性
		単純部品	複雑部品			
今回提案するロボットシステム		1システムで様々な形状の部品に対応可能		3～7秒	部品点数によらず一定	1部品あたりプログラム変更半日
従来	ロボットシステム	対応可能	対応不可	7～15秒	部品点数によらず一定	1部品あたり1か月程度のシステム開発
	パーツフィーダ群	部品ごとに装置を用意	対応困難	1～2.5秒	部品点数に比例	1部品あたり2か月程度のハードウェア開発
	人手	様々な形状の部品に対応可能		3秒程度	部品点数によらず一定	作業マニュアルのみ

図5．2011国際ロボット展への出展

うに設計を進める。裏表を問わない単純形状の部品はロボット2台で最短タクトタイムで整列可能である。安定姿勢が3以上ある複雑な形状の部品は，ロボット4台で流れ作業をすることで最速タクトタイムが得られる。流れ作業ではなく，ロボット2台で受渡しすることも可能であるが，タクトタイムが伸びる。言い換えると，タクトタイムを諦めると，ロボット台数を減らせる。

さらに，この技術を用いたロボットシステムでは，同じシステムで複数種類の部品を扱うことが可能で，部品ごとに必要なパーツフィーダを使う場合に比べ導入コストを削減できる。当社の試算では，製品の部品数が9個以上の場合，新ロボットシステムは導入コストの面でパーツフィーダを利用するより有利になる。

現在，自社内工場で，実製品組立てへの適用を進めるとともに，要素技術の製品化を進めている。**図5**に示すように，この技術を搭載した実証システムを，2011年の国際ロボット展に出展，市場から多大な反響を得つつある。

4. む す び

バラ積み部品供給への要望は，組立て工程に遍在する。一般的な組立て工場では，数十点，数百点から数万点に及ぶ部品を取り扱っており，これらの部品を整列させる合理的なソリューションの不在が，ロボット適用範囲の拡大を阻害してきた。この技術によって，部品整列作業へもロボットの応用範囲が拡大する。

世界的に類例のないロボット技術を日本から発信し，我が国の生産財輸出産業の発展に貢献するとともに，高効率生産システムを構築して，生産人口減少時代のモノづくり日本の堅持に貢献できる。

この技術の開発の一部は，“NEDO(注1)次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト”の委託を受けて実施したものである。

（注1） NEDO：New Energy and industrial technology Development Organization

参 考 文 献

(1) 野田哲男，ほか：ロボットによるバラ積み部品供給，第29回 日本ロボット学会学術講演会，3B2-2（2011）
(2) 堂前幸康，ほか：物体形状に依存せず高速なバラ積み物体の取り出し方法，第29回 日本ロボット学会学術講演会，3B2-1（2011）
(3) 永谷達也，ほか：座標系校正による産業用ロボットの位置復旧支援技術，第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，1E2-6，0348～0351（2011）
(4) 野田哲男，ほか：バラ積み部品供給可能なセル生産ロボットのシステム設計論，第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，1E1-5，0330～0332（2011）