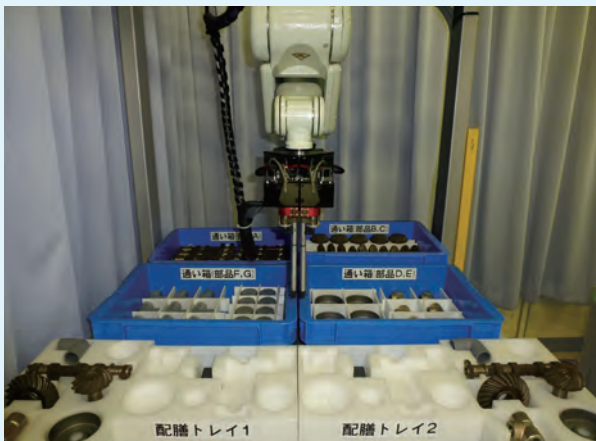


多品種ワーク配膳ハンドシステム

Catering Hand System for a High Variety of Workpieces



掃部 雅幸①※* Masayuki Kamon
 高山 裕規② Yuuki Takayama
 久保田 哲也③※ Tetsuya Kubota
 瀬田 良孝④ Yoshitaka Seta

ロボット適用拡大のためのコア技術として、当社は、多種類の部品（ワーク）をハンドリングできる汎用ハンドシステムの研究開発を進めている。特に、これまで困難とされてきた、組立・艤装工程での配膳作業のロボット化を、汎用ハンド技術とそのシステム化技術により実現している。2012年度には、社内の生産工場へ導入する予定である。

We are doing research and development on universal hand systems capable of handling a variety of workpieces as a core technology for expanding the scope of application of robots. In particular, we aim to realize robot-based automation of catering operations in assembly and outfitting processes that have been considered difficult, through the use of general-purpose hand technology and system technology. This catering system is scheduled to be introduced and commissioned in our plants in FY2012.

まえがき

自動車などの輸送機械やそれに搭載される機械装置の組立工場において、ロボット適用が遅れている工程に配膳がある。配膳とは、多品種混合組立ラインにおいて、1台の装置を組み立てるのに必要な部品群を、必要数取り集め、トレイに整理して、組立作業者に供給する作業である。その様子を図1に示す。

手感や目視など人間の高度な知能を必要とする組立作業に比べ、多くの場合、配膳は熟練を必要としない。そのため、以前からロボット化の要望は高かった。また、製造業の多品種混合生産方式が主流となった近年では、人のケアレスミスによる誤配膳を防止するため、ロボット化への要望は一層高まっている。人間の熟練を必要としないにもか

かわらず、ロボット化が困難であった要因の一つが、配膳に適したハンドシステムが実現されずにいたことである。

産業用ロボットに搭載されてきたこれまでのハンドは、エア把持式、エア吸着式、電磁吸着式などが主であった。これらは部品1品種ごとに、個別の爪形状とエア圧の調整が必要となり、多種類の部品のハンドリングを求められる配膳には不向きである。

多種類の部品をハンドリングするための解決策として、以下が挙げられる。

- ① ハンドを交換できるようにする。
- ② 複数個のハンドを装着する。
- ③ ハンドに汎用化機能を設ける。

①の方法は、部品種類が数点に限られる場合には有効であるが、それ以上になると、システムのコストアップやサイクルタイムの遅れが無視できなくなる。②の方法では、狭隘な環境に収納された部品を取り出す際に、別のハンドが周囲と干渉する問題が発生する。③の方法は、以前から、学术界、産業界の両方で精力的な研究開発が進められているが、コストや信頼性の問題、教示の困難さなどから、大きな普及には至っていない。しかし、近年になって、徐々にではあるが、実用事例が増えつつある。

当社も、2000年代前半より本格的に産業用汎用ハンドの研究開発を開始し、2007年の国際ロボット展において、その試作機を社外初公開している。当時は、人間の手の構造と機能を模倣し、ハンドに汎用性を持たせていた。その一部を図2に示す。その後、適用先を配膳用途に限定して、機能分析を行い、配膳特化型の汎用ハンドシステムを開発した。



図1 配膳作業の様子

Fig.1 How catering operations are carried out

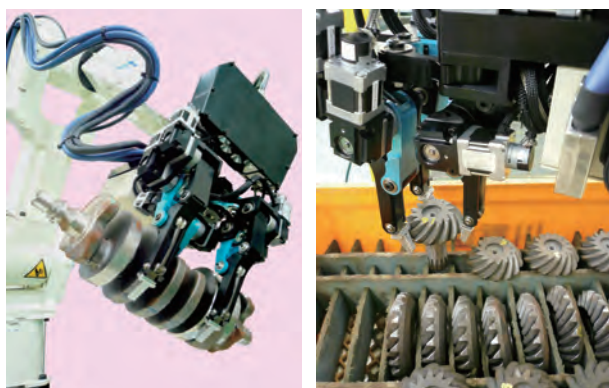


図2 人型汎用ハンド (2007年当時)
Fig.2 Humanoid hand (2007)

1 配膳ハンド実現への課題

オートバイの生産ラインを例として、配膳される部品とその収納環境を図3に示す。

その特徴は、以下に示す通りである。

- ① 部品の種類 (大きさ, 形状, 材質) はさまざまである。
- ② 部品は収納箱に集約して詰められ, 板などで仕切られている。
- ③ 仕切られた空間内で, 部品の位置や姿勢にばらつきがある。

従来の人型汎用ハンドにおいては, ①への対応は得意だが, ②の対応が困難であった。指先に屈曲自由度を有する人型汎用ハンドの場合, 指の節が太くなり, 仕切り板とワークの狭い隙間へ爪を挿入できない。また, ③への対応として, ビジョンセンサによって部品の位置と姿勢のばらつきを計測し, 爪を挿入する位置を補正する方法がある。この場合, 部品の収納箱ごとにカメラを設置するか, ハンドにカメラを搭載する必要がある。前者では, 多くのカメラが必要で, カメラの視野確保のため収納箱の設置環境が大形化してしまう。一方, 後者では, ロボット動作に, ばらつき量を計測するための時間待ちが生じてしまう。

2 4爪型配膳ハンドの開発

(1) 課題解決の方針検討

配膳される部品の種類とその収納環境はさまざまだが, 以下の二つの共通点が見出せる。

- ① 板で仕切られた空間は四角い。
- ② 部品の角部には面取りが施されている。

すなわち, どのような形状の部品が, どのように置かれても, 仕切り空間の四隅には, 必ずデッドスペースが存在している (図4)。

そこで, このデッドスペースのそれぞれに爪を挿入し, それらを中央に向かい水平移動すれば, 部品は中央に寄せられ, 最後には固定される。すなわち, 部品の形状や位置のばらつきによらず, 単純な同じ動作手順で把握が完了す



図3 オートバイ工場配膳される部品例
Fig.3 Example of workpieces being catered in a motorcycle

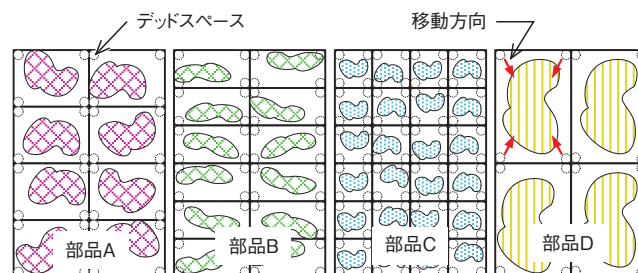


図4 部品の収納環境の分析
Fig.4 Analysis of workpiece storage situation

ることになる。また, 4本爪による把握であるため, 水平面内ではフォームクロージャ (物体が周囲と摩擦力ゼロの点接触状態で固定された状態) が形成されやすく, 細い爪, 弱い握力でも, 部品を安定して固定できる。

以上の分析から, 配膳ハンドの基本形態は4爪を有する構造が適している。そして, 4本の爪の縦ピッチ, 横ピッチを調整するための2自由度が必要である。また, 複雑形状の部品に対しても, 4本の爪のすべてを接触させるには, ハンドに4以上の自由度を有していることが望ましい。

(2) ハンドの特徴

(i) 主機能と諸元

方針をもとに, 開発したハンドの主要諸元を表1に, 構成図を図5に示す。

ハンドは, 4つのサーボモータを搭載する4自由度機構であり, 図の矢印で示された動作が独立に制御可能である。従って, 四角い仕切り空間のサイズに合わせて, 爪の縦ピッチ, 横ピッチを調整できる。また, 爪の縦ピッチを閉じ切れば, 3爪ハンド, 2爪ハンドへと変化する。サーボモータのトルク制御機能により, 把持力は自在に調整でき,

表1 主要諸元
Table 1 Main specifications

横ストローク (mm)	160
縦ストローク (mm)	60
指先力 (N)	100以上
開閉時間 (s)	0.3
外形寸法 (mm)	W:160×D:190×H:115
重量 (kg)	3.5

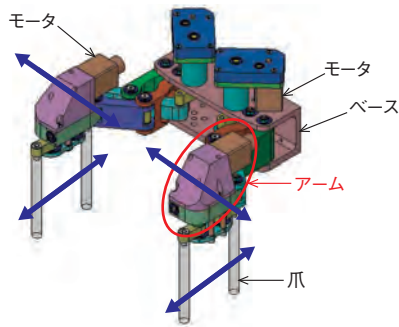


図5 開発したハンド
Fig.5 Hand

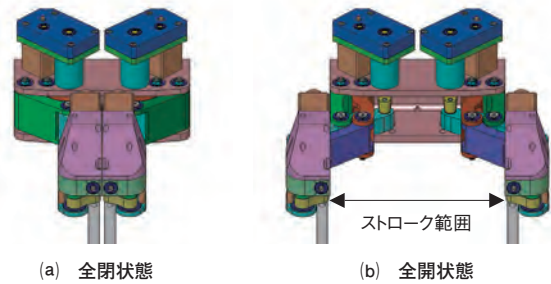


図7 アームのストローク
Fig.7 Arm stroke

内把持, 外把持とも可能である. そのため, さまざまな形状・硬さの部品を, 狭い仕切り空間から容易に取り出すことができる (図6).

(ii) 構造について

ハンドは, ベース, 2本のアーム, 4本の爪, 4台のモータで構成される. ベースから2本のアームが取り付けられ, モータはアームを水平方向に駆動する. また, アームにはモータと2つの爪が搭載されている. このモータは爪を円弧状に連動駆動する.

2本のアームには, 当社独自のチェビシェフリンクフィンガ機構¹⁾を採用している. そのため, コンパクトなベースサイズで大きな把持ストロークを確保でき, 狭隘な環境でもさまざまな大きさの部品を把持できる. 通常, ボールネジなどでハンドを設計した場合, ストロークはベースサイズの半分以下となるが, 本ハンドはベースサイズと同程度のストロークを有している (図7).

また, 高さを低く抑えた構造であり, 部品の収納箱が置かれた棚への侵入が可能である (図8).

* 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.



図8 棚への侵入
Fig.8 Entry into space between shelves

(iii) 鉛直方向の安定化

4本の爪の囲い込みにより, ワークは水平面内で安定に把持されるが, 鉛直方向には爪との摩擦で保持されるのみである.

そこで, ワークを鉛直方向にも摩擦なしで安定状態にするため, 巻きバネの内側にくびれのあるシャフトを通して構成した, 多点接触爪を開発した. この爪は, ワークに接触し, さらに力を加えられると, 巻きバネがワークを避けるよう上下に変形し, 接触点を増やす. すなわち, 爪の水平移動だけで, 3次元的なフォームクロージャが形成され, 安定状態となる (図9).

多点接触爪は, 巻きバネという汎用品により, シンプルな構造で構成できるため, 爪の大径化を抑え, 細い隙間への侵入が可能である.

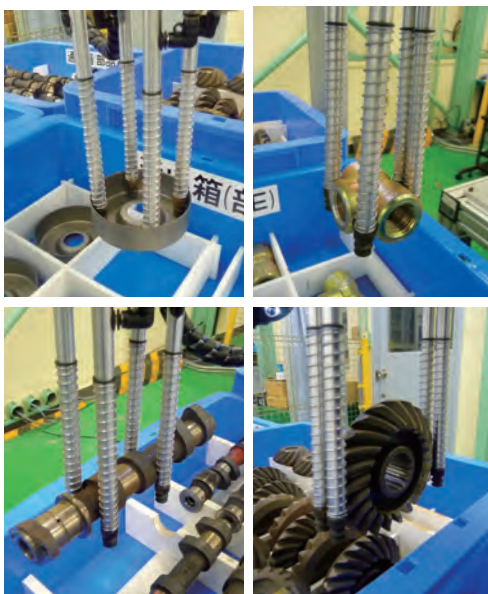


図6 さまざまな形状の部品の取り出し
Fig.6 Picking parts of different shapes

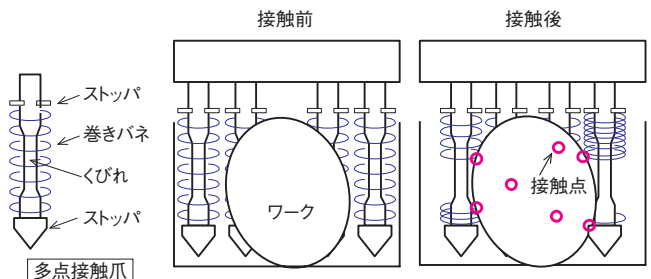


図9 多点接触爪の構成と接触
Fig.9 Actions of multiple-contact hooks



図10 吸着把持
Fig.10 Holding by suction

(iv) 吸着機能

プラスチック材など、把握では表面に傷がつく部品への対応として、把握把持だけでなくエア吸着把持を可能にした。すなわち、爪を中空構造とし、その先端にエア吸着パッドを取り付けた。また、アームや爪が動いても、エア配管に緩み、絡みが出ないように、アーム内部に案内穴を設け、コンパクトな配管を可能にしている。

軽量部品であれば、複数個を同時に取り出すことが可能で、配膳作業のサイクルタイムを短縮できる（図10）。

(3) システム構成

ハンドの動きを制御するコントローラは、ロボットコントローラとは別筐体に収納されており、両者はRS232Cケーブルを介して直接に通信を行う。

ロボットコントローラはハンドコントローラに対して、定められた周期ごとに、モータの位置・トルク、その他の状態（異常／正常、サーボオン／オフなど）を問い合わせ、ハンドコントローラはそれに応答する。ロボットコントローラは、それらの情報からハンドを常に監視しており、ロボット動作プログラムの記述に従い、ハンドに各種動作指令を送る。動作指令には、現在位置からのジョグ送り動作、教示位置への一気動作、設定力に基づく把持動作、原点設定などが含まれる。

また、教示作業時の効率化ツールとして、ロボットのタッチペンダントの画面でハンドの各種操作、状態監視を行うことを可能にした。さらに、実際の部品や収納箱に対して、人の手により爪間のピッチや押し付け力を直接調整できる、ダイレクト教示機能を有している。

このように、開発したハンドシステムは多軸なシステムではあるものの、ユーザーに特別な訓練を要せず、直感的で快適な操作を可能にしている。

3 適用検討例

当社オートバイ工場に配膳される機械部品7種に対し、実際の収納箱を使い、適用検討を行った。爪形状を交換することなく、すべての部品に対して、配膳作業が可能であった²⁾（図11）。



図11 実験の様子
Fig.11 How catering experiments are carried out

あとがき

近年のロボット関連機器の技術進展に伴い、ロボットが人間に代わって担える作業は着実に増えている。しかし、配膳のように、一見すると、単純で技能不要な軽作業でさえも、人間による作業をそのままロボット化しようとする、高度なセンサシステムや大規模な周辺機器を必要とし、費用対効果を損なってしまう例は多い。

こうした問題に対して、当社では、人間による作業を、一旦ロボットによる作業の視点に翻訳するアプローチを採用した。すなわち、配膳を例にとると、「配膳とは四角い仕切りに入った不定種物を取り出す作業」として、ロボットによる作業が容易になる形式に翻訳し、それを満足する、シンプルかつ汎用的な装置を追求していった。

人間の手の器用さや五感による環境認識機能が必要とされる作業の、ロボット化への要求は多くある。今後も、我々は、ロボットに要求される作業の本質を見極めた上で最良の解決策を提案していきたい。

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) 高山, 掃部: “川崎重工の産業用汎用ハンド ~その1～”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.422 (2011)



掃部 雅幸



高山 裕規



久保田 哲也



瀬田 良孝