

7 ランダムピッキングに適したエンドエフェクタの提案

安部重毅, 岡野仁, 大賀 誠

Suggestion of Industrial Robot's End-Effector suitable for bin-picking

ABE Shigeki, OKANO Hitoshi, OGA makoto

For the purpose of wide-spread automation in the factory, we developed an experimental bin-picking (picking a part which is stacked random position on a container) system, which is composed of an industrial robot and a depth-map camera. This system repeatedly calculates the coordinates of position to grip the target part, by simple image processing using depth-map camera's data. During the calculations, it makes an error between the calculated position and the appropriate one. And the error raises two problems, one is failures to grasp the target part frequently and the other is the collisions of the robot's end-effector against the container.

To solve these problems, we suggest the physical countermeasure, which is to have the end-effector the following two functions and one contraption. (1) The first function is the impact mitigation against the collisions. (2) The second function is following the shape of the profile which the touched part has. (3) The contraption is the specialized shape of the robot's fingers to grasp the target part.

キーワード：産業用ロボット, ランダムピッキング, エンドエフェクタ, コンプライアンスデバイス, 距離画像

1 結 言

工場の生産ラインを自動化するにあたり、無作為にばら積みされた素材部品を1個ずつ取り出すランダムピッキング作業が喫緊の課題となっている。

広島県では戦略研究プロジェクトとして、産業用ロボットと距離画像カメラを基幹とするランダムピッキング作業の自動化システム¹⁾を検討してきた。

この作業は図1のとおり、①距離画像カメラの撮像データより、②部品の位置・姿勢を演算し、③比較的自由度の高い姿勢がとれる産業用ロボット（垂直多関節）のアームを演算位置に移動させ、④アーム先端のエンドエフェクタで部品を掴んで（把持）取り出し、⑤次工程へ供給する、手順で行う。

本作業の自動化が難しい理由は、次の3点である

- 1) ロボットと距離画像カメラ間の座標合わせ、撮像の不具合、部品認識の演算等の一連の処理中に、位置誤差（理想把持位置と指示位置間の誤差）が発生する。
- 2) 部品の重なりや部品箱の壁などにより、把持の目標

位置へ把持具が物理的に到達できない場合が発生する。

3) 把持対象部品の位置・姿勢がランダムであることからロボットの動作経路を毎回自動演算する必要があり、現場設計者の意図しない経路が作成される可能性がある。

その結果、部品の把持失敗、部品箱等との衝突による異常停止、次工程の加工機への取付け失敗等を招く。

これらの課題に対して、部品認識アルゴリズムの改良、ロボットのサーボモータ制御による衝撃緩和、部品組付時の荷重制御等、ソフトウェア的な対策がロボットメーカーから提供されているが、いずれもコストアップが伴う。

筆者らは、現場で調整が容易なハードウェアでの対策も有効であると考え、エンドエフェクタに衝撃緩和機能や倣い機能等を付与する等して、ランダムピッキング作業の課題対策を提案する。

2 エンドエフェクタの提案

ランダムピッキング作業を安定して継続運転するためには、衝突による異常停止の回避や、高い把持成功率の維持が不可欠である。そこで、これらの課題に対して次の対策をエンドエフェクタに取り入れる（図2参照）。

- ・従来備える把持機能、特に把持爪に工夫を加える。
- ・物理的に衝撃を緩和する機能を織り込む。
- ・倣いによる適正位置への自動補正機能を織り込む。

2.1 把持具の考え方

一般的に、産業用ロボットによる部品の把持方法として、吸着パッドによる吸着把持、電磁石による磁力把持、シリンダに取り付けた把持爪を開閉して物理的に挟む挟

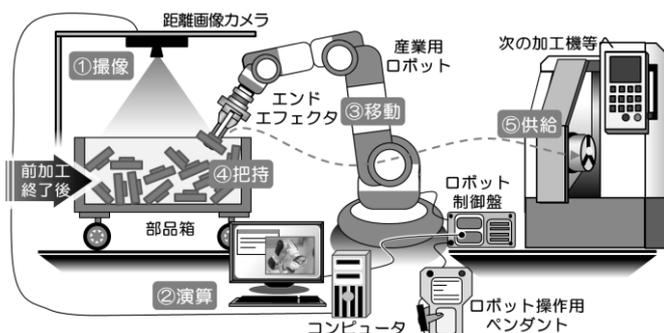


図1 ランダムピッキングシステム

持がある。以下では把持方法を挟持に特化して説明する。

挟持の利点は、非磁性材料や表面が粗い鍛造部品など磁力や吸着では把持できない部品も広く扱えることである。一方、挟持の欠点は、対象部品の挟持できる部位が著しく限定されることであり、その部位に把持爪が到達できなければ、把持できない。そのため、近接位置に到達できれば把持できる吸着や磁力に比して難易度が高い。

本報ではランダムピッキング作業での把持成功率を高める把持爪の要点を図3の事例を用いて整理する。

2.1.1 ランダムピッキング作業に特化した把持爪

ランダムピッキング作業で使用する把持爪は、部品箱内の隙間を縫って把持位置に届く細さでありながら、かつ衝突に耐えうる強度が必要である。

また、把持対象部品の側壁を挟持するのではなく、底面(図3参照)を把持爪の凸形状に引掛ける挟持が望ましい。これは、凸形状の上面で部品重量を支えることができれば搬送が安定する上、把持力の小さい安価な小型シリンダに変更できるためである。

以上のことから、把持爪は、強度を保ちつつ、根元から徐々に先細りさせるとともに、その長さは部品箱内で取り回しに困らない程度とし、さらに先端に部品底をひっかける凸形状を付ける形状が適していると言える。

2.1.2 複数の把持部位

部品箱内でバラ積みされた部品は、その位置・姿勢によっては把持する部位が隠れ、把持位置に移動する前に爪が衝突してしまう場合が多々ある。

その対策として、把持方法や把持動作などを計画する

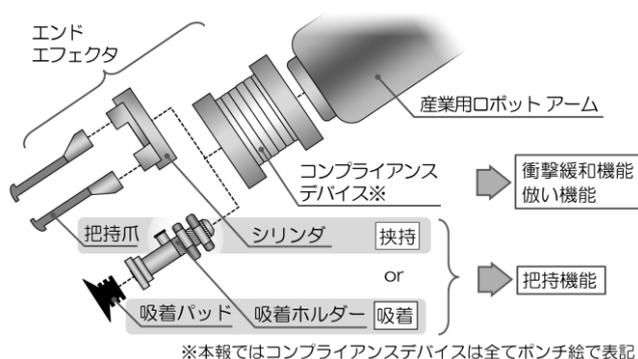


図2 エンドエフェクタの構成(概念図)

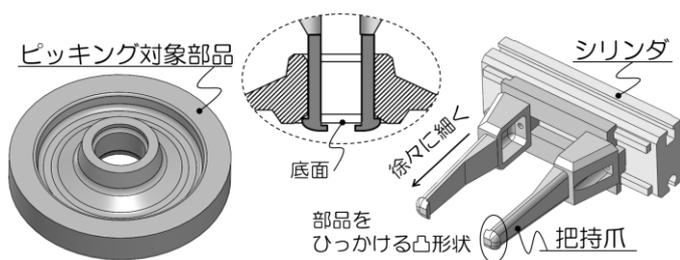


図3 ピッキングの例

初期段階で、挟持が容易な把持部位(第一候補)が隠れて把持できない場合を想定し、同部品内に別の把持部位(第二候補)を探しておき、両候補の把持方法に対応できる爪形状とするのが望ましい。

把持爪先端の“内外”に凸形状を付与した図4の事例で説明する。左図のように常に部品中央の穴を挟持(内径把持)できれば良いが、立った姿勢の部品に対して内径把持を行うのは非常に難しい。もし、右図のように把持爪が外周部位を挟持できれば、立った姿勢の部品でも把持できることは容易に想像できる。

このように、1組の把持爪で、第一候補の内径把持と第二候補の外周把持へ対応ができれば、把持できる部品の姿勢が増えるため、把持成功率が向上する。

2.1.3 誤差吸収代が大きい把持爪形状

座標合わせ、撮像、部品認識の演算等の一連の処理を行う間に、理想の把持位置と指示される把持位置の間には少なからずズレ(位置誤差)が生じる。この誤差が大きいと把持位置に到達できず、把持に失敗する。

ここでは、位置誤差が大きくても、エンドエフェクタ、特に把持爪形状に工夫を入れることで、把持成功率を向上させる。エンドエフェクタの効果により、把持に成功し得る許容できる誤差を誤差吸収代と定義する。

図5の内径把持の場合では、把持爪の先端面と内径穴との間に隙間ができる設計にしており、この隙間分より少ないズレであれば内径穴へ挿入でき、把持できる。この隙間が誤差吸収代であり、先端面を小さくすることで誤差吸収代を拡大できる。

一方、外周把持では、シリンダのストロークを大きくすると誤差吸収代を拡大できる。しかし、過度に大きくすると、挟持動作の領域内に隣接する部品なども入り、把持に失敗するため、適度なストロークが望ましい。

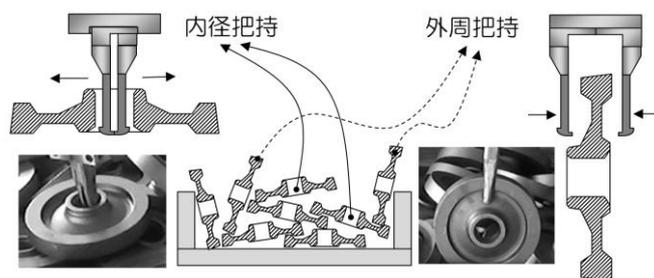


図4 内径と外周の複数部位での把持例

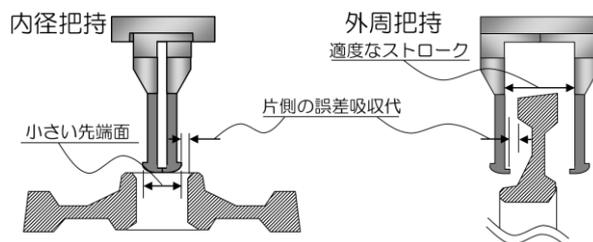


図5 誤差吸収代

2.2 衝撃緩和機能

産業用ロボットは、各関節のサーボモータを保護するために設定値以上の衝撃を感知すると軽微な故障と判定して停止する。もし、把持爪の衝突対策を取らなければ、衝突のたびに現場担当者による復旧作業が必要になる。

この対策として、エンドエフェクタに衝突時の衝撃を緩和する機能を持たせる。本機能は衝突すると、エンドエフェクタの先端側が、自動車のサスペンションのように接触相手の形状に倣いながら、弾性的に逃げるように変形することで衝撃を緩和する。この物理的接触が解消されると接触前の姿勢に自動で復帰する。

この対象物形状に倣う考え方は、組み付け作業で既に使われており、倣い機能を有する治具をコンプライアンスデバイスと呼称している。以下では、衝撃緩和機能と倣い機能を有する本治具もコンプライアンスデバイスと呼称し、その省略名称である C.D. を用いて表記する。

本 C.D. がランダムピッキング作業に有効であるかを確認するために、2 種類の C.D. 試作機を製作した。1 機は把持対象部品重量が 5kg 未満の大型部品用、もう 1 機は 1kg 未満の小型部品用である。両機とも、軸方向の伸縮、水平方向の並進、傾動、ねじれ回転の各姿勢、さらにこれらを自由に組み合わせた姿勢が取れる (図 6 参照)。

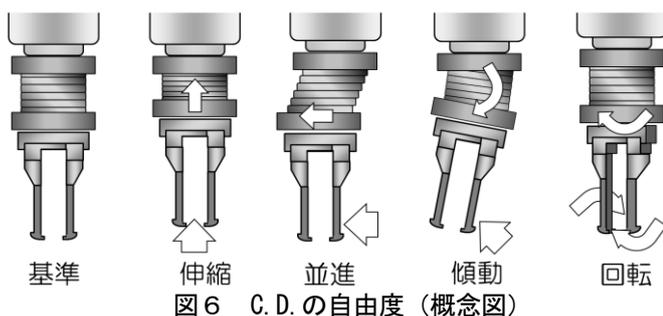
C.D. は接触物に押されて姿勢が変わっている間は、元の姿勢に戻ろうとする復元力が働く。この復元力が弱い場合、ロボットに C.D. 先端を起こす動作をさせると復元力が把持具等の重量に負けて、先端が重力方向に傾動してしまう。逆に、復元力が過度に強いと部品をはじき飛ばしたり、衝突時の衝撃緩和機能が正常に働かなくなる。

このように C.D. の復元力は、把持対象部品に合わせて適正に調整する必要がある。そこで、両試作機とも部品交換等により復元力を調整できる仕組みとしている。

2.3 倣い機能による適正位置への自動補正

C.D. の倣い機能を積極的に活用すれば、把持成功率を向上できる。具体例として、把持爪が、内径穴の淵の上面と僅かに重なった図 7 の状態を考える。

まず、把持爪先端形状を球に近い滑らかな形状にしておく。すると、押し込まれている把持爪が内径穴の淵形



状に沿いながら、穴中央部へ移動する。さらに、把持爪を押し込めば C.D. の効果により把持爪の姿勢が補正され、内径穴の底まで挿入できる。淵が重なるようなズレに対しても把持できるようになるため、倣い機能によって、誤差吸収代を拡大できることがわかる。

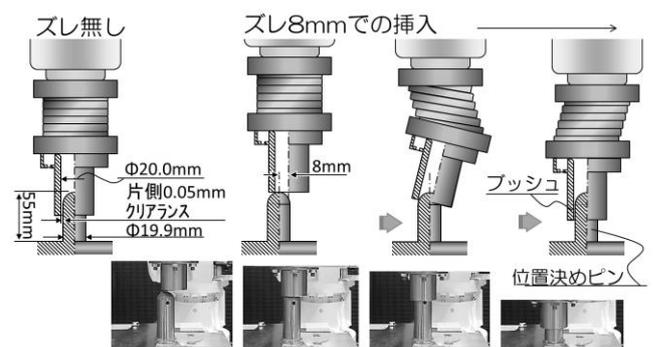
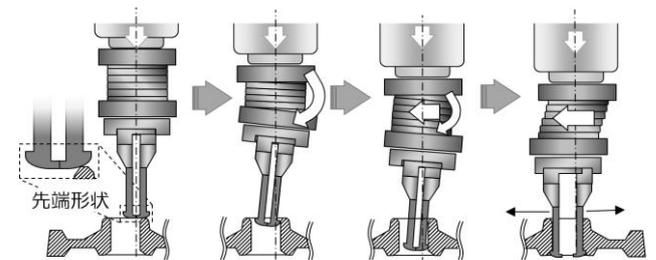
次に、C.D. の倣い機能の別の効果を紹介する。ピッキングにより取り出され、挟持状態の部品が、想定した挟持姿勢に比べてずれていても加工機へ取付けられることが望ましい。部品の取付け性を改善できるかを評価するために小型部品用 C.D. を用いて図 8 の挿入実験を行った。

挿入ピンは、外径 19.9mm で、先端が球状の位置決めピンとし、機械油を塗布してテーブルに固定する。挿入される側のブッシュは内径 20.0mm とし、C.D. の下側プレートに取付け、ロボットで移動させる。この条件の元、ピンとブッシュ間の中心軸を平行にずらした状態 (ずらす量は毎回変更) で、挿入の可否を評価する。

本実験により、片側 0.05mm のクリアランスがあれば、中心軸が最大 8mm ずれても挿入でき、C.D. の倣い効果によって、組付け時にも誤差吸収できることが分かった。

2.4 エンドエフェクタの評価

ランダムピッキング作業の対象部品は多様であり、個々の部品に適したエンドエフェクタを迅速に決定する必要がある。本節では、設計した把持爪等を含め、エンドエフェクタの適性を、事前に評価する方法 (計算機と模擬現場) を紹介する。なお、爪形状を評価する場合は、複数の部品をバラ積みした状態ではなく、単品の把持対象部品を置いた状態で把持のトライを行い、評価する。



2.4.1 計算機での確認

ランダムピッキング作業用に把持爪を加工した後に、把持成功率が低かったり、部品箱の底にエンドエフェクタが届かなくて、把持爪を作り直すことは避けたい。

事前に、シミュレーションを行い、課題の洗い出しと解決案を盛り込んで製作に至るのが望ましい。筆者らは、次の表1のとおり事前検討を行っている(図9参考)。

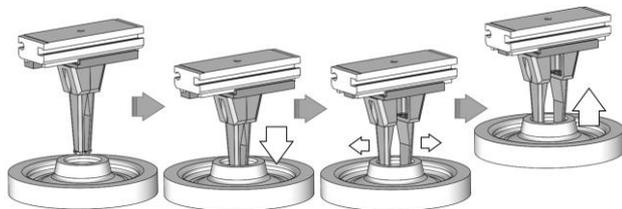
2.4.2 模擬現場でのトライでの確認

ランダムピッキング作業の調整には多くの時間を要するため、生産ラインへの配備前に、製作した把持爪を使って、模擬現場で事前トライしておくことが望ましい。

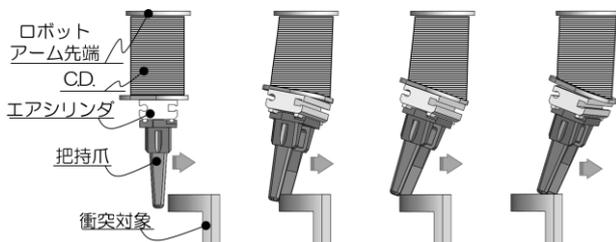
広島県の戦略研究プロジェクトでは、事前トライ用と

表1 計算機での事前検討

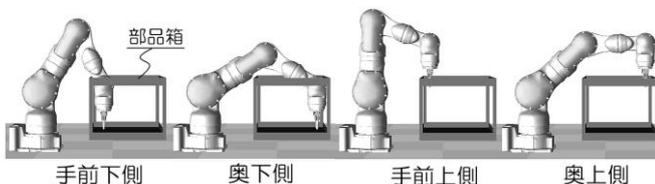
解析/ソフトウェア	使用目的
三次元 CAD SolidWorks	・ 把持爪や C. D. 等の試作のための形状設計。
構造解析 SolidWorks Simulation	・ 爪形状の強度面での評価。 ・ 爪の応力集中箇所の確認と改善。
機構解析 SolidWorks Motion	・ 把持爪での部品挟持の可否評価。 ・ C. D. の挙動を踏まえた誤差吸収代の評価。
動作解析 MotoSim-EG 等	・ 部品箱隅への把持具の到達可否評価 ・ 部品箱とロボットの適正位置決定。



(a) 把持の可否の機構解析



(b) C. D. の倣い機能の機構解析



(c) ロボットのリーチ確認のための動作解析

図9 ランダムピッキングのためのシミュレーション

して、図10のとおり、産業用ロボットを用いたエンドエフェクタの評価装置を構築中である。本装置では、PLC (Programmable Logic Control) を使って、ロボットの作業開始指示や周辺機器の制御を行う。

リフター上のテーブルは治具等を取り付け、誤差吸収代の実験や組み付け性の評価などで使用する。

部品箱には把持対象部品を複数入れ、ランダムピッキング作業のトライを行うことを想定している。なお、エンドエフェクタのためのランダムピッキング作業のトライ機能は今後追加する予定である。

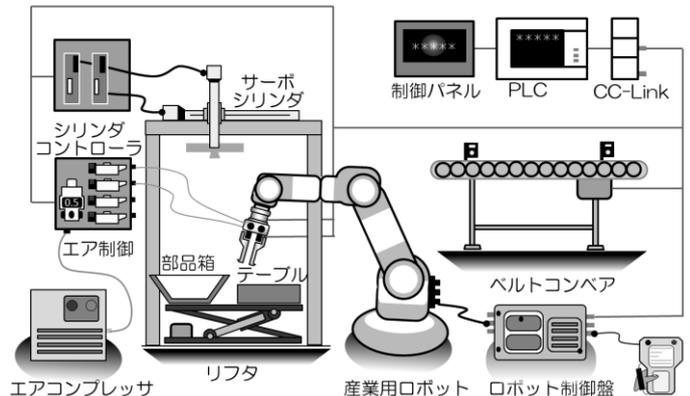


図10 エンドエフェクタ評価装置の構成図

3 今後の課題

・本年度から広島県では、戦略研究プロジェクトの成果移転事業を実施しており、県内企業への技術紹介や技術移転を推進する。

・模擬現場として紹介した装置には、目標となる把持位置を指定する機能が無いため、追加する。

4 結 言

ランダムピッキング作業を継続して安定稼働ができるように、ロボット先端に取り付けるエンドエフェクタに、衝撃吸収や倣いによる自動補正の機能を持たせるとともに、把持成功率を向上させる挟持爪の設計方法を示した。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、ご助言いただいた株式会社 安川電機の是永晋治氏にお礼申し上げます。

文 献

1) 岡野他：広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター研究報告, 57 (2014), 2