

物流施設向け 自動荷降ろしロボット技術

Technologies for Automatic Depalletizing Robots for Logistics Sites

小川 昭人 村上 厚

■ OGAWA Akihito ■ MURAKAMI Atsushi

少子高齢化を背景に労働力不足が顕在化するなか、サービス産業の生産性向上は社会的要請となっている。特に物流分野のように、長時間にわたって負荷の大きい作業が求められる傾向にある業界では、作業従事者の負担軽減と事業の持続的成長の観点から、業務の自動化が望まれる。しかし、多種多様な荷物を扱う作業は、従来技術による自動化が難しく、新たなロボット技術が求められている。

東芝は、このようなニーズに応えるため、人が行う複雑な処理を代替するロボットの開発に取り組んでいる。今回、荷降ろしの自動化を実現するための制御アルゴリズム、荷物を確実に把持するための多関節真空型把持機構、及び荷物の正確な情報を得るための荷物認識技術を用いて、様々なサイズの箱状荷物を扱う荷降ろし作業を自動化するロボット技術を開発した。

With industries in the service sector facing a critical labor shortage accompanying the aging of society and declining birthrate in recent years, improvement of productivity is becoming a social issue. In particular, demand for the introduction of automated processes has been increasing in various business fields such as logistics in which long working hours and heavy workloads tend to be required, in terms of both reducing the burden on workers and realizing sustainable growth. Innovative robot technologies are therefore necessary due to the difficulty of automating all handling processes for diversified packages using current equipment.

As a solution to this issue, Toshiba has been engaged in the development of technologies for robots to support the processing of complex tasks carried out by workers. We have now developed technologies for automatic depalletizing robots for logistics sites incorporating the following technologies: a control algorithm to automate the processes of depalletizing work, an articulated mechanism with vacuum type gripping pads to grip packages of various shapes, and a package recognition technology to accurately detect the position of target packages.

1 まえがき

物流業界では、通信販売の拡大による荷物取扱量の増加や、食品を含め多様化する貨物への対応、当日配達、温度を含めた輸送品質の向上など、低コストで高品質なサービスへの要求が高まっている。しかし、その一方で少子高齢化を背景に、長期的に安定した労働力を確保することが難しくなっている。このため、物流企業各社は、事業の継続と荷物増大への対応の観点から、物流システムの自動化に取り組んでおり、近年、自動化機器を積極的に導入した大型物流センターの建設が進められている。

既存のシステムでは、荷物の搬送、仕分け、保管といった定型作業はコンベヤや、仕分け機、自動倉庫などの機器による自動化が進んでいる。しかし、荷降ろしやピッキングといった複雑な作業は、従来技術による自動化が難しく、いまだ人手に頼った工程となっている。

宅配会社では、トラック輸送や仕分けのためにかご台車を使用している。かご台車は、“直積み”に比べて積載効率は劣るが、トラックへの積降ろし作業を迅速に行えるというメリットがある。ところが、仕分けのためにかご台車に積載された荷物を搬送ラインに投入する荷降ろし作業は、数kgから数十kg



図1. 人手による荷降ろし作業 — かご台車に積載された荷物を搬送ラインに一つずつ投入する。

Depalletizing work using manual operations

の荷物を人手で扱う作業となる(図1)。荷降ろし作業は、人手では一定の処理能力を長時間にわたり維持することが難しく、作業従事者の負担軽減の観点からも、自動化の要求が高い工程となっている。

東芝は、このような背景から、荷降ろし作業を自動化するた

めの自動荷降ろしロボットの開発に取り組んでいる。ここでは、自動荷降ろしロボットの概要、特に実際の現場で必要とされる機能とそれを実現する具体的な機構について述べるとともに、開発した自動化技術の詳細について述べる。

2 自動荷降ろしロボットの概要

2.1 要求される技術

これまで、ロボットは主に産業用として、ファクトリオートメーション (FA) の分野で広く活用され、技術革新が進められてきた。FA分野では、把持対象物の形状や寸法精度が規格化されており、作業の標準化も進んでいるため、ロボットによる自動化が比較的容易であった。したがって、決まった作業をいかに速く、正確に実行するかが技術開発の主な目標であった。これに対し、荷降ろし作業は、対象となる荷物のサイズや重量が多様なため、荷物を破損することなく、安定してハンドリングする技術の開発が新たに必要となる。

また、これまでロボットは、専用の作業空間が用意されるのが主であり、比較的広い空間で動作することが許されていた。ところが、既設の物流センターは、人の作業に合わせた搬送ラインが配置されている。したがって、導入されるロボットは、人と同じ比較的狭い空間で器用な作業を実行する必要がある、現場に合った新たなロボット機構が求められる。

このような要求に応えるため、次に述べるようなコンセプトに基づいて自動荷降ろしロボットの開発に取り組んでいる。

- (1) 設置・導入容易性 作業人員の充足度に合わせて、システムの大規模な改造を行うことなく、順次既設ラインに導入することを可能にする。人が荷降ろし作業を行うスペースは数m四方であり、ロボット筐体(きょうたい)と作業領域はこれに収まるサイズにする。
- (2) 多種多様な荷物の取扱い 荷降ろしの対象物は、宅配便や通信販売などで広く使用される段ボールや厚紙などの箱状荷物とする。これらの荷物は、サイズや強度などの規格が不ぞろいで、かつ外形のたわみや膨らみが発生する。また、積載された荷物が傾いている場合もある。これらの積載荷物から、投入順序及び把持対象の位置を自動で決定して把持し、搬送する能力を持つ。
- (3) 重量物の安全な搬送と落下防止 一般の宅配便の重量である、数百gから30kg程度までの様々な重さの荷物を安全に取り扱える機構にする。また、ハードウェア的な落下防止構造を備え、荷物の破損を確実に防止する。
- (4) かが台車の中間棚への対応 かが台車には、上面が開放されているものや、中間に棚が設置されているものがある。中間棚は軽量、小型、かつ不均一な荷物の積載に便利であり、活用されるケースが増えている。自動荷降ろしロボットは、いずれの台車にも対応可能にする。

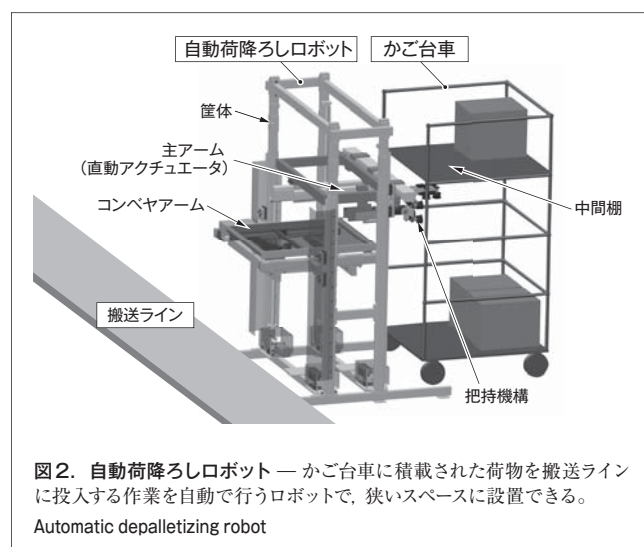


図2. 自動荷降ろしロボット — かが台車に積載された荷物を搬送ラインに投入する作業を自動で行うロボットで、狭いスペースに設置できる。
Automatic depalletizing robot

2.2 設置・導入容易性の実現

把持機構を動かすアームとして、産業用ロボットでは垂直多関節型の構造が広く採用されているが、荷降ろし作業を想定した場合には、アームの干渉を回避するため作業領域が広くなってしまう。そこで、自動荷降ろしロボットでは、狭い空間での荷降ろし動作を可能にするため、図2に示すような、門型の筐体に直動アクチュエータを配置したガントリー構造を採用している。

先端に荷物を把持するための把持機構を持つ主アームは、上下、前後、及び左右の3軸の自由度を持つ。主アームを駆動することで、かが台車内の任意の位置に把持機構を移動させることができる。作業領域は筐体内とかが台車内に収まるため、荷降ろし作業に必要な空間は筐体サイズと一致し、約2m四方の領域に収めることができる。

2.3 多種多様な荷物の取扱い

箱状荷物を安定、高速に把持するため、把持方式には真空吸着方式を採用した。小型の吸着パッドを複数用いることで、多様なサイズ及び重量の荷物を吸着できる。吸着パッドは、荷物の上面だけでなく側面でも吸着可能な配置とし、把持機構に関節を設けることで、様々な状態に積み上げられた荷物の把持を可能にしている。

また、荷物の積載状態や位置を計測するためのビジョンカメラ及び距離画像カメラを搭載することで、荷物位置の自動認識を可能にしている。

2.4 重量物の安全な搬送と落下防止

自動荷降ろしロボットの特徴的な機構として、主アームとは別に、小型のコンベヤベルトが上下及び前後に駆動するコンベヤアームが搭載されている。

真空吸着で把持され持ち上げられた荷物は、吸着面の状態や搬送時の加減速の影響により落下するおそれがある。そこで、主アームにより取り出された荷物は、すぐにコンベヤアーム

上に乗せられ、荷物の上下の搬送と搬送ラインへの投入処理はコンベヤアームで実施する機構にしている。コンベヤアームでの搬送は、荷物が常に下から支えられた状態であるため、荷物の落下を確実に防ぐことができる。

2.5 かご台車の中間棚への対応

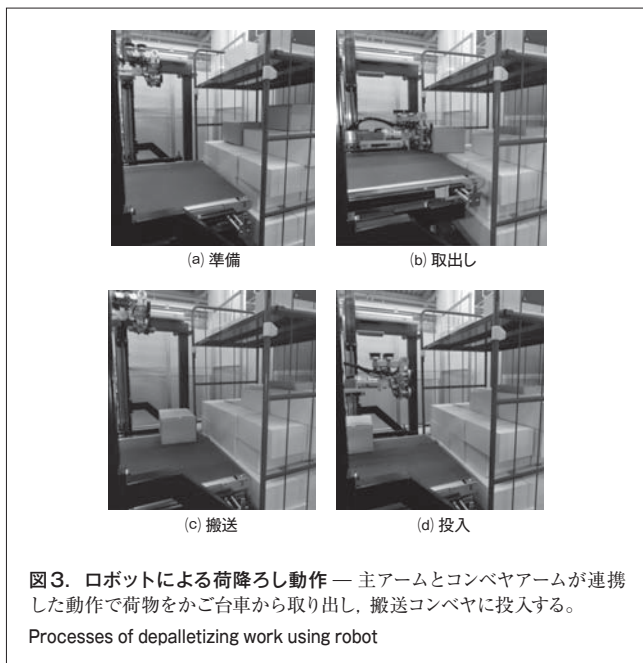
上面が開放されているかご台車に対しては、主アームは把持機構を荷物の上側に移動し、荷物の上面を吸着把持して搬送する。一方で、中間棚の直下の荷物に対しては、把持機構を荷物上面に移動できない。この場合、把持機構は荷物の側面を吸着し、かご台車から引き出してコンベヤアームに移送する。自動荷降ろしロボットは、側面吸着可能な把持機構とコンベヤアームを搭載することで、中間棚のあるかご台車からの荷降ろし作業を可能にしている。

3 自動荷降ろしロボット技術

3.1 自動荷降ろし処理

荷降ろしの自動化を実現するためには、把持機構を持つ主アームと、コンベヤアームが互いに衝突を回避しながら、連携して荷物を搬送する制御技術が必要になる。

開発した制御アルゴリズムは、図3に示すように、準備、取出し、搬送、及び投入の四つの基本動作で構成されている。準備動作では、両アームは退避位置にあり、ビジョンカメラ画像及び距離画像で対象となる荷物の位置を決定する。取出し動作では、コンベヤアームは荷物の下面高さに移動し、主アームが対象荷物を取り出して、コンベヤアーム上に移送する。搬送動作では、荷物を載せたコンベヤアームが搬送ラインの高さに移動する。投入動作では、コンベヤアームのコンベヤを駆動し、



荷物を搬送ラインに投入する。四つの動作を繰り返すことで、かご台車にある全ての荷物の荷降ろしを実行する。

作業時間短縮のため、コンベヤアームが搬送・投入動作を実行している間に、主アームは準備・取出し動作の一部を先行して行う。投入の対象となる荷物の位置は、作業の進捗に伴って変化するため、両アームの退避位置を荷物の高さに合わせて調整する。更に、同じ高さに複数の小さい荷物が認識された場合には、取出し動作を連続して実行し、二つの荷物を同時にコンベヤアームで搬送することで荷降ろしに掛かる時間の短縮を実現している。

3.2 多関節真空吸着型把持機構

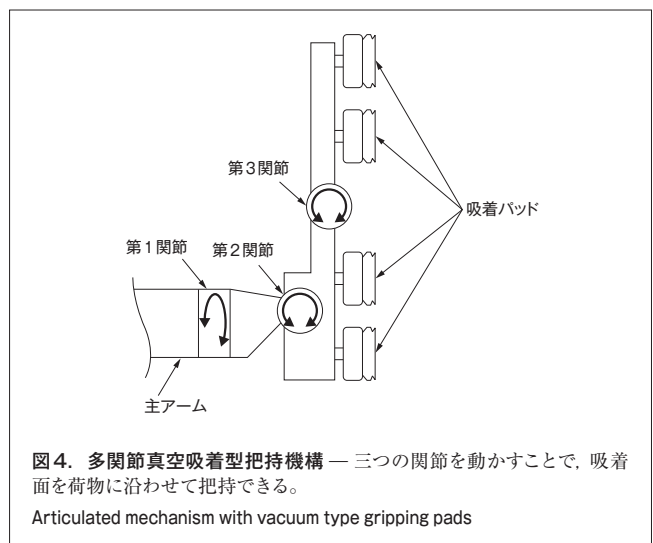
サイズや積載状態の不規則な荷物を確実に把持するために、三つの回転関節を持った真空吸着型の把持機構を開発した(図4)。第1関節と第2関節は直行する軸で回転し、対象荷物の吸着面が斜めになっている場合でも、吸着パッドを沿わせて密着させることができる。

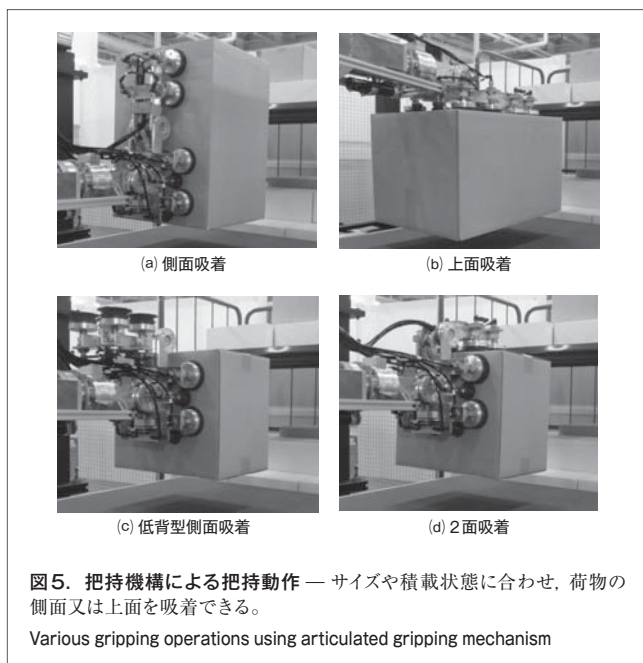
第2関節の角度を変えることで、荷物を側面だけでなく、上面でも把持できる。第3関節を図中の反時計回りに折り畳むことで、狭い場所に把持機構を挿入することが可能になる。第3関節を逆に折り畳めば、対象荷物の2面を同時に吸着することが可能になり、荷物を安定して把持できる(図5)。

複数配置された吸着パッドは、それぞれ電磁弁を通じて真空ポンプに接続されており、対象荷物のサイズや表面の状態に合わせて任意のパッドの吸着力をオンオフできる。更に、主アームと第1関節の間に配置された6軸力センサと吸着パッドに接続された圧力センサにより、荷物の吸着と把持の状態を常に把握できる。

3.3 荷物認識技術

荷降ろし作業では、対象となる荷物のサイズや、色、積まれた位置などは様々である。したがって、荷物を確実に把持するためには荷物の正確な位置情報を得る必要がある。そこ





で、距離画像による領域抽出、ビジョンカメラの輝度画像による輪郭抽出、及びパターン検出を組み合わせた荷物認識技術を開発した。

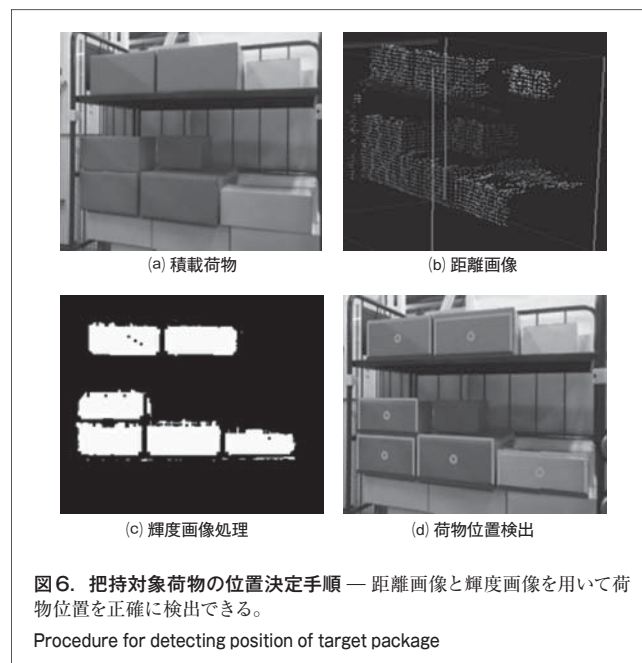
通常、かご台車の奥行きや高さは1 m以上ある。したがって、満載の状態と荷降ろし作業の後半で、対象荷物の位置は1 m以上異なる。更に、かご台車内に密着して積み上げられた段ボールの境界を識別するためには、1 mm程度の分解能が必要になる。一般の距離画像カメラの性能では、このような広い領域の検出と分解能の両立は難しい。

開発した方式では、対象荷物の位置を、“距離画像による注目領域の抽出”、“輝度画像による荷物の境界検出”、及び“荷物の位置検出と把持対象の選択”の三つのステップで決定する(図6)。距離画像で広い領域から荷物の位置を把握した後、分解能の高い輝度画像で荷物の境界と形状を検出することで、把持対象とする荷物の位置をすばやく、かつ正確に決定できる。

4 自動化技術の展望

今回は、箱状荷物を扱う荷降ろし作業の自動化技術を開発したが、物流システムの自動化率を更に高めるためには、袋状のものなど柔軟な荷物を含め、多様な形状の荷物も扱えるようにする必要がある。また、大規模な物流施設だけでなく中小の物流施設など、流通業界に活用の幅を広げるためには、更なる小型化や低コスト化が求められる。

当社はこれまでに、柔軟物を把持する機構⁽¹⁾や、より小型で高パワーを発揮できる油圧駆動ロボット⁽²⁾、高価な力センサを用いない力制御技術⁽³⁾などの開発を行っている。今後は、これ



らの技術を自動荷降ろしロボットに適用することで、扱える荷物の種類や適用施設の拡大を目指す。

5 あとがき

物流施設での荷降ろし作業を自動化する自動荷降ろしロボットについて、開発のコンセプトと開発した自動化技術を説明した。

今後は実際の物流施設への適用に向け、自動荷降ろし作業の信頼性向上や、更なる高速化の技術開発を進める。更に、搬送ラインから荷物を積み込む作業など、より複雑な作業を自動化するロボットの開発にも取り組んでいく。

文 献

- (1) 田中淳也. “爪伸縮型積載把持機構の研究開発”. 第32回日本ロボット学会学術講演会予稿集. 福岡, 2014-09, 日本ロボット学会. 2014, 1P3-01. (CD-ROM).
- (2) 高橋宏昌 他. 油圧駆動双腕ロボット. 東芝レビュー. 69, 5, 2014, p.37-40.
- (3) 大賀淳一郎 他. 産業用ロボットアームの動力学モデルに基づいたセンサレス力制御. 東芝レビュー. 66, 5, 2011, p.38-41.



小川 昭人 OGAWA Akihito

研究開発統括部 研究開発センター 機械・システムラボラトリー主任研究員。メカトロニクス製品の研究・開発に従事。
Mechanical Systems Lab.



村上 厚 MURAKAMI Atsushi

社会インフラシステム社 セキュリティ・自動化システム事業部 物流・郵便機器システム営業部グループ長。物流システムの企画・営業に従事。
Security & Automation Systems Div.