

力制御による高密度積載機能をもつ長尺品積載ロボット

Loading Robot of Long Items with Force-Controlled High-Density Loading Function

明渡 甲志* · 中嶋 久人* · 北野 斉* · 谷口 稔** · 堤 俊成*** · 橋内 賢二***
Koshi Akedo Hisato Nakajima Hitoshi Kitano Minoru Taniguchi Toshinari Tsutsumi Kenji Hashiuchi

梱包品をパレット上に積載するパレタイズ工程において、力制御による高密度積載機能の開発によって、双腕ロボットを使用した積載装置を実現した。この装置における制御法の特徴は、梱包品を隙間なく積載させるための力制御、先の梱包品積載座標を基準に次の梱包品の積載目標位置を順次求める計算プログラム、および梱包品の寸法と積載スペースを比較して積載の可否を判断するアルゴリズムを有することの三つである。

この制御法によれば、梱包品やパレット寸法のばらつき等の変動要因に対しても柔軟に対応でき、さらには煩雑なティーチング作業も軽減できる。また、ロットごとに長尺梱包品のサイズが異なる場合でも、所定サイズのパレット上に効率的な配置で、きずを付けない積載が可能となる。

In the palletizing process of loading packages on a pallet, a loading device using a dual-arm robot has been constructed by developing a force-controlled high-density loading function. The features of this device's controls include the force control for loading packages without leaving a gap, the calculation program for obtaining the target loading position of the next package based on the coordinates of the previously loaded package, and the algorithm of identifying the next loading position by comparing the package dimension and the loading space.

This method of control can flexibly accommodate variations in package size and pallet dimensions as well as reduce time-consuming teaching operations. Even when the package size varies by lot, the robot can load them on a specified pallet in an efficient loading arrangement without causing any damage.

1. ま え が き

製造ラインの梱包、パレタイズ工程は自動化されている例もあるが、一般的には品種数が多いことなどから自動化が困難な工程である。作業員が一人で積載できる程度のサイズや質量の梱包品の積載装置はあるが、長尺で重量物である梱包品の場合はハンドリングが困難で自動化の事例は少ない。雨樋製造ラインにおいても長尺品である軒樋梱包品のパレタイズ工程は、人手でパレットを設置した後、梱包品の両側に位置する作業員二人でタイミングを合わせ、コンベヤからパレット上の転倒防止用ポール（以下、ポールと記す）間の積載スペースに梱包品を移載する。このとき、梱包品間の隙間をなくすことで効率的な積載を行っているが、梱包品の寸法がばらつき、パレットにおけるポール間の積載スペースの寸法もばらつくことが自動化の障害

要因となっていた。したがって、梱包品の積載位置が一定ではなく、積載スペースのクリアランス、すなわちパレット上の寸法の余裕が少ない場合は積載方法を工夫する等、変動要因に対する柔軟な対応が必要となる。

過去にも力センサを用いたフィードバック制御¹⁾が提案されている。これは6軸の力センサを用いて部品の組立時の接触状態を計測しながら自動で位置補正を行うもので、位置が固定された部品組立の信頼性を向上させることで成果を上げている。

本稿では、1軸の力センサを用いたフィードバック制御によって簡便に梱包品の積載座標を決定し、さらにその座標を基準にして位置が異なる次の梱包品の積載位置、積載方法等を判断することにより、その積載目標位置を自動計算するロボットの制御法を開発した。この方法により変動要因への柔軟な対応と、煩雑なティーチング作業の軽減が

* 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

** 製造システムセンター Manufacturing Systems Center

*** 住建事業本部 雨樋事業部 Rain Gutters Division, Building Products Manufacturing Business Unit

できたので報告する。

2. 技術開発内容

積載効率の向上のためには梱包品を隙間なく積載する必要があるが、梱包品の寸法ばらつきやパレットの寸法と設置位置のばらつきがあり、またポール間の積載スペースに余裕がないため、固定のティーチング座標による方法では整然とした積載が不可能である。そこで、梱包品にきずを付けずに隙間なく積載するハンドリング動作とともに、このような変動要因にも対応して柔軟な位置決めを実現する必要がある。

寸法ばらつき等の変動要因に対する積載の問題として以下のことが挙げられる。

- (1) ハンドで梱包品を抱えるようにして把持するとハンドの爪の抜き代が必要になり隙間のない積載ができない。また、吸着による方法では長尺品や重量物の場合は保持が不安定になったり、落下や破損の危険性がある。
- (2) 梱包品間の隙間の状態を検出する必要がある。
- (3) 各段の最後に積載する梱包品は、すでに積載されたものとポール間の梱包品1個分のスペースに積載する必要があり、ポールと干渉するおそれがある。
- (4) 各梱包品の積載位置が固定位置にならない。

これらの問題の解決方法として、(1)、(2)については2.1節で、(3)については2.2節で、(4)については2.3節でその内容を詳述する。

2.1 ロボットハンドの構造と力制御

2.1.1 ロボットハンドの構造

長尺梱包品を確実に把持するため、梱包品の両端を4本の爪で挟む構造としている。爪の抜き代の課題を解決するために爪の長さを長短2種類とし、梱包品の搬送時は長短4本の爪で把持し、隙間をなくす動作のときは短い爪をあらかじめ抜いてから、先に積載された梱包品に接触するまで長い爪で梱包品を押すようにして移動させる（以下、直進積載と記す）。また、梱包品を押すための長い爪に設置している力センサで先に積載された梱包品との接触を検出し、ロボットの動作にフィードバックする。

2.1.2 ロボットのハンドリング動作

ロボットのハンドリング動作について、図1を用いて以下に述べる。

- (1) ロボットハンドの4本の爪で梱包品の両端を把持し、パレット上まで移動する。梱包品は寸法ばらつきがあるため、先に積載された梱包品から寸法ばらつき以上の隙間を空けた位置に移動する。
- (2) 梱包品同士の隙間をなくす移動ができるように、先に積載された梱包品と接する側と上側の短い2本の爪を横方向に抜く。

- (3) 残りの2本の長い爪で梱包品を押すように移動しているとき、把持している梱包品と先に積載された梱包品が接触して発生する反力を力センサで計測し、所定の値以上でロボットハンドを停止させる。この位置が梱包品の積載位置であり、その座標をコントローラに記憶させる。なお、本方法では並進運動方向の力を計測するだけのため、1軸のセンサを用いている。
- (4) 長い爪の長さ分だけロボットハンドを抜いて梱包品を離し、次の梱包品を把持するためにコンベヤ側へ移動させる。

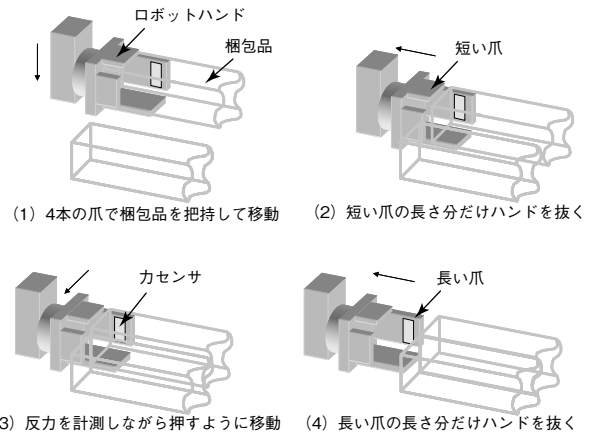


図1 ロボットのハンドリング動作

2.1.3 力制御

把持している梱包品をロボットハンドで押し、先に積載した梱包品と接触させて反力を測定する。図2に接触時の梱包品の押込量に対する反力のセンサ出力値を示す。測定は以下の内容で行う。

- (1) 通常は梱包品の縦、横寸法は異なるため、センサを接触させる面の寸法が長い場合と短い場合に分けて測定する。
- (2) 把持した梱包品を接触させる対象は、ポールと梱包品の場合に分けて測定する。

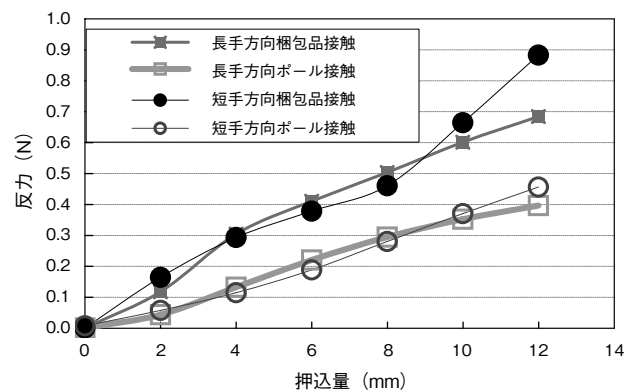


図2 押込量と反力の関係

測定結果から、反力は梱包品の縦、横寸法には影響され

ないが、接触対象がポールと梱包品とでは差があるため、接触判定の閾値は接触対象によって分けて行う必要がある。

2.2 ポールとの衝突回避方法

各段の最後に積載する梱包品は、積載スペースに余裕が少ないことと梱包品の寸法ばらつきがあることから、図3に示すように垂直に降下させるとポールの上端部に接触して損傷する可能性がある。その対策として、先に積載された梱包品の端部付近を中心に回転させながら降ろし、ポールの上端部との接触を回避する（以下、回転積載と記す）。このときポール側面との接触の可能性はあるが、梱包品の損傷には至らない。しかし積載スペースに対し、一定寸法以上大きい梱包品を積載する場合は回転積載でも対応できないため、積載の順番を入れ換える制御を行うことになるが、詳細については2.3節で後述する。

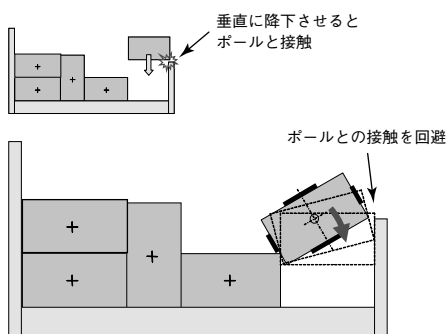


図3 回転積載

図4に示すように、パラメータとしては、先に積載された梱包品の座標 (a, b) を基準として、その端部から水平方向に距離 d 離れた位置で、回転させる梱包品の下端部から距離 c 離れた位置を回転中心として、角度 θ 回転させると、梱包品の回転中の中心座標は、座標 (a, b) からの距離 Lx , Lz として以下のように求められる。

$$Lx = m/2 + d + m/2 \times \cos \theta - (n/2 - c) \times \sin \theta \quad (1)$$

$$Lz = n/2 + (n/2 - c) \times \cos \theta + m/2 \times \sin \theta \quad (2)$$

たとえば、梱包品の横寸法 $m = 100 \text{ mm}$ 、縦寸法 $n = 50 \text{ mm}$ 、回転中心位置 $c = 10 \text{ mm}$ として、積載スペースが、 105 mm あったとする。ロボットによる積載の際に、 $d = 5 \text{ mm}$ の隙間を空けるとポール側の隙間は $t = 0 \text{ mm}$ となり、接触による梱包品の損傷の危険性がある。しかし、表1に示すように梱包品を $\theta = 24.7^\circ$ 傾ければ、先に積載された梱包品のエッジと回転積載する梱包品のエッジ間距離 $La = 100 \text{ mm}$ から、 $t = 5 \text{ mm}$ となり、接触することなく積載が可能となる。 $\theta = 5.7^\circ$ のとき La が最大で 0.5 mm の接触となるが、損傷は考えられず、積載スペースに余裕がない場合の回転積載が有効であることがわかる。

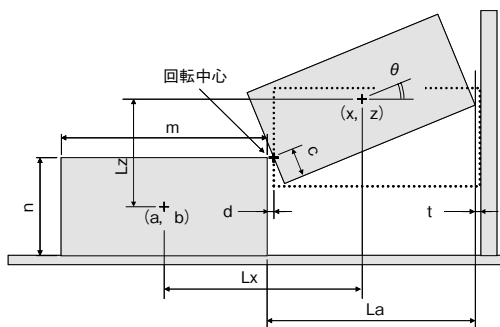


図4 回転積載時の座標

表1 回転積載時の座標計算

| | $\theta=24.7^\circ$ | $\theta=5.7^\circ$ | $\theta=0^\circ$ |
|-----------|---------------------|--------------------|------------------|
| Lx (mm) | 94.2 | 103.3 | 105.0 |
| Lz (mm) | 59.5 | 44.9 | 40.0 |
| La (mm) | 100.0 | 105.5 | 105.0 |

2.3 自動積載位置決め

ロボットの積載動作の概略を、図5に示す。コンベヤ上でロボットに把持された梱包品は、先にパレットに積載された梱包品から隙間を空けた位置に仮置きされる。次に梱包品をロボットハンドの爪で先に積載された梱包品側に押し当て、力センサで接触の有無を判定する。梱包品間の隙間がなくなった時点のロボット座標を記憶し、この座標を基準に次の梱包品のパレット上への移動位置を自動計算する。

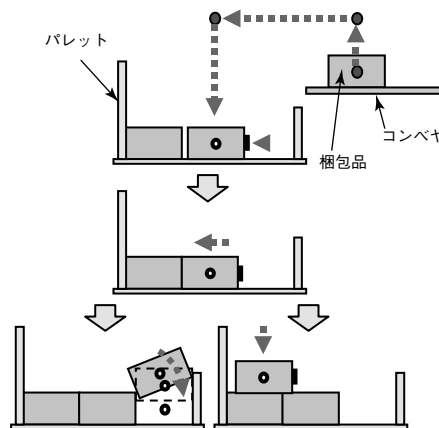


図5 ロボットの積載動作

各段最後の梱包品の積載は、パレット上に残った積載スペースと計測された梱包品の寸法を比較判断し、積載スペースのほうが大きければそのまま積載するが、梱包品を垂直に降下させるとポールと接触する可能性があるため、図5の下段左に示すように梱包品を回転させながら降ろす。また、積載スペースが小さければ次の積載位置へ移動する（図5下段右）。このように、各段の最後の積載スペースに梱包品が積載されるまで比較判断を繰り返す。

2.3.1 自動積載プログラム

図6に自動積載プログラムのフローを示す。

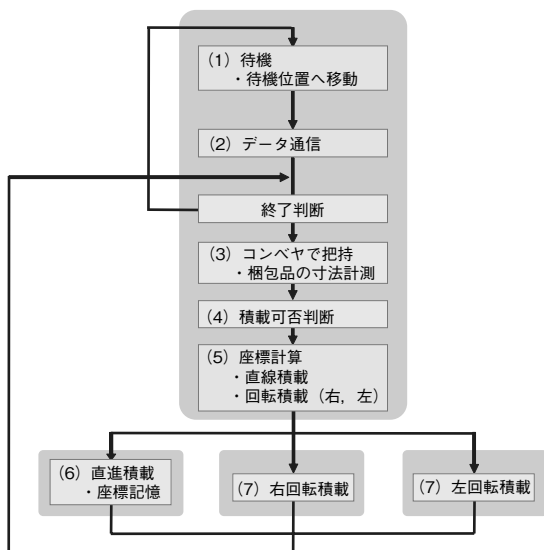


図6 積載プログラムのフロー

(1) 待機

待機位置の状態から開始する。

(2) データ通信

ロボットコントローラはPLCからデータ通信により梱包品の積載情報等を受信する。積載情報はPLCに保存されており、積載順にどの段と列に積載するか、直進積載か回転積載かの情報が含まれている。

(3) コンベヤで把持

ロボットはコンベヤ上の梱包品を把持する。その際の爪の位置から梱包品の縦、横寸法を計測し、計測値はロボットコントローラに送信される。

(4) 積載可否判断

積載情報から次の積載位置を得る。積載可否判断は各段の最後に積載する梱包品に対して行われるが、これについては2.3.2項で後述する。

(5) 座標計算

座標計算で直進積載の場合、先に積載された梱包品の座標に対し、x座標は測定された梱包品の寸法と隙間の距離を加算して求める。y座標は爪の厚み寸法に隙間の距離を加算して求める。

(6) 直進積載

梱包品の反力を計測しながら移動、閾値を超えた時点でロボットを停止し、その座標を記憶する。この動作を各段の最後から2番目の積載まで行う。

(7) 回転積載

各段の最後はあらかじめ設定された回転方向で積載する。

2.3.2 積載可否判断

各段の最後に積載する梱包品の積載可否判断について、

図7を用いて説明する。積載スペースであるLspと梱包品の横寸法であるLb4を比較し、Lspにハンドリングの余裕分aを加算した値が大きければ回転積載を行う。逆にこの値が小さければ、積載順を入れ換えて次の積載位置に移動させ、積載可否判断を繰り返す。すでに積載された梱包品のスペースであるLaは、1列目と3列目の梱包品が積載された時点で計測、記憶された梱包品の横寸法Lb1、Lb3と、x座標の差Lxから求められる。

$$La = (Lb1 + Lb3) / 2 + Lx \quad (3)$$

さらにLspは、次のように求められる。

$$Lsp = Lp - La \quad (4)$$

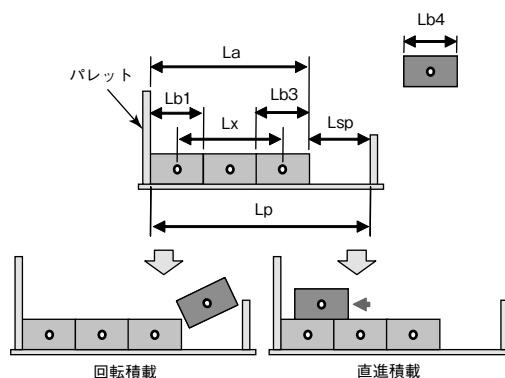


図7 積載可否判断

3. 長尺品積載双腕ロボットシステム概要と特徴

3.1 概要

長尺梱包品積載ロボットシステムの概要を図8に示す。

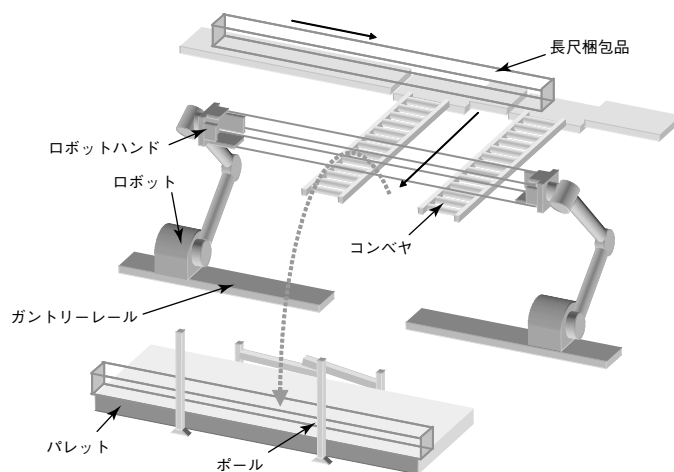


図8 長尺梱包品積載双腕ロボットシステム

6軸のロボット2台を組み合わせ、同期制御することによって長尺品積載双腕ロボットシステムを実現した。

梱包品はコンベヤ上をパレタイズ工程まで移動し、コンベヤ端部にあるストップで停止する。梱包品は2台の6軸

ロボットで両端を把持され、決められた積載パターンに基づいてパレット上に積載される。今回はガントリーレール上をスライドするガントリーロボットを採用した。このロボットは、梱包品の異なる長さやストッパでの位置ずれに対応してガントリーレール上をスライドする。

3.2 ティーチング作業の効率化

力制御を用いて積載する梱包品の座標を自動計算することで、煩雑なティーチング作業も軽減される。たとえば同様の設備で、従来のように本プログラムがない場合を考えると、ティーチングポイントは、コンベヤ上は共通としても、各梱包品のパレット上の位置は教示する必要がある。1パレット当たり約20梱包の積載で、サイズの異なる梱包品が10種類あるとするとティーチングポイント数は200点となり、双腕ロボットの場合はその2倍となる。ティーチング作業に1ポイント当たり5分を要すると考えると、1パレット当たり33時間程度を要する。また、新しい品種に対しては、製造現場側でのティーチング作業が必要となる。これには専門の担当者が必要で、また一定時間のライン停止も伴う。さらに、ロボットの可動範囲内での作業となるため、安全上の注意も必要となる。しかし、座標自動計算プログラムを用いると、梱包品の寸法と回転積載をするかどうかの情報をタッチパネル等から入力するだけで、順次ロボットの座標が生成されるため、煩雑なティーチング作業が軽減される。

4. あとがき

梱包品をパレット上に積載するパレタイズ工程において、力制御による高密度積載機能の開発によって、双腕ロボットを使用した積載装置を実現した。この装置における制御法の特徴は、梱包品を隙間なく積載させるための力制御、先の梱包品積載座標を基準に次の梱包品の積載目標位置を順次求める計算プログラム、および梱包品の寸法と積載スペースを比較して積載の可否を判断するアルゴリズムを有

することの三つである。

この制御法によれば、梱包品やパレット寸法のばらつき等の変動要因に対しても柔軟に対応でき、さらには煩雑なティーチング作業も軽減できた。また、ロットごとに長尺梱包品のサイズが異なる場合でも、所定サイズのパレット上に効率的な配置で、さずを付けない積載が可能となった。

今回の開発アプローチは、パレタイズ工程だけでなく、組立工程などでも幅広く応用展開できる要素技術の一つになると考えている。

*参考文献

- 1) 小笠原 卓, 中嶋 久人, 三谷 宏一, 北野 幸彦: 力覚フィードバックによる高信頼組立ロボットシステム, 松下電工技報, No. 67, p. 100-105 (1999)

◆執筆者紹介



明渡 甲志
生産技術研究所



中嶋 久人
生産技術研究所



北野 斉
生産技術研究所



谷口 稔
製造システムセンター



堤 俊成
雨樋事業部



橋内 賢二
雨樋事業部