

バラ積みワーク取り出しロボットシステム － 3次元ビジョンシステムの適用－

Bin-Picking Robot System – Application of 3D Vision System –



赤松 政彦①*	Masahiko Akamatsu
山本 武司②	Takeshi Yamamoto
横尾 篤志③	Atsushi Yokoo
布目 徹④	Toru Nunome
河上 大祐⑤	Daisuke Kawakami
榎本 雅幸⑥**	Masayuki Enomoto
長谷川省吾⑦	Shogo Hasegawa
三浦 克也⑧	Katsuya Miura
竹本 豊⑨	Yutaka Takemoto

工作機械への部品（ワーク）のローディングや工程間のハンドリング作業は、製造ライン構築に重要な作業工程であり、特にバラ積みワークの取り出し作業の自動化が求められている。本稿では、当社が開発した3次元ビジョンシステムの適用事例として、バラ積みワーク取り出しロボットシステムについて述べる。

Operations for loading workpieces onto machine tools and handling workpieces between processes are important towards building a manufacturing line. In particular, the operations for picking workpieces in bulk need to be automated. This paper describes a bin-picking robot system as a case of application of a 3D vision sensor developed by us.

まえがき

現在、機械部品の加工工程において、工作機械へのワークのローディングや工程間の移載など、加工プロセス間におけるワーク搬送作業は、人手に依存している場合が多い。このような加工プロセス間にある機械部品のピッキングや搬送などを、ロボットシステムにより自動化すれば、加工工程のレイアウトやフローが柔軟になり、ライン全体の自動化率の向上が図れる。

素材加工の生産現場において、コンテナ箱などの大型部品箱にランダムに入れられた状態のバラ積みワークの取り出し作業（ビンピッキング）は、自動化が進んでいない工程である。特に、鍛造素材や機械部品などの重量物ワークの取り出しは、単調な繰り返し作業、不快な作業環境など、いわゆる3K職場であり、自動化の要求度が高く、ロボットシステムの導入が期待されている。また、部品を整列させる専用機を用いた場合は、多品種に対応できないなどの問題があるため、汎用性の高い産業用ロボットによる実用化が必要となっている。さらに、ロボットシステムの導入のためには、複雑なバラ積みワークを認識するためのビジョン技術の開発が必須である。

当社では、これまでにロボット向けビジョンとして、ステレオセンサ、3Dレーザセンサなどを用いた各種ビジョンシステムを製品化し、溶接、組立、検査、搬送など、さまざまなロボットアプリケーションを提供している^{1) 2)}。

今回、鍛造素材を対象としたバラ積みワークの取り出し

を自動化するため、当社ビジョン技術をベースに、3次元ビジョンセンサ、バラ積みワーク認識手法、オンライン干渉シミュレータ、および各機能を統合制御するモジュールコントローラを開発し、バラ積みワークを安定して取り出せるロボットシステムを上市した（図1）。

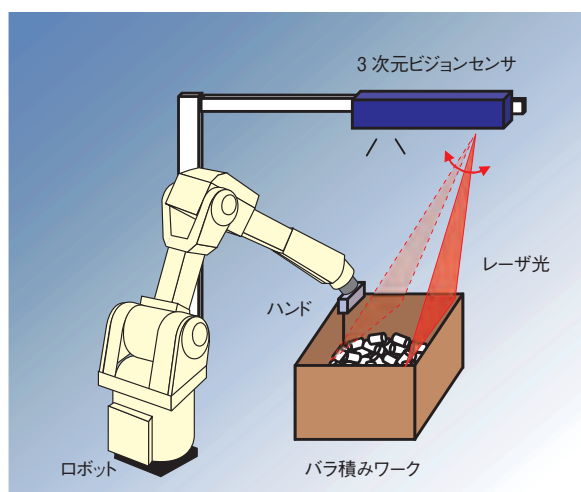


図1 バラ積みワーク取り出しロボットシステム
Fig.1 Bin-picking robot system



図2 機器構成図
Fig. 2 System configuration of bin-picking system



図3 レーザスリットスキャンカメラ (LSC)
Fig. 3 Laser slit scanning camera

表1 LSCの仕様
Table 1 Specifications of LSC

項目	仕様
撮像距離 (mm)	1,400~2,000
計測範囲 (mm)	800(W)×800(D)×600(H)
レーザクラス	クラス3 R
外形寸法 (mm)	610(W)×125(D)×125(H)
重量 (kg)	約4.8

1 開発課題と解決策

(1) 開発の課題

一般的なピッキング作業では、コンベアなどの平面上に置かれたワークに対して、カメラで撮像した濃淡画像を2次元処理することで、ワークの位置・姿勢を認識する手法が用いられていた。しかし、この手法では、ワークが決まった平面上に置かれた場合や、整列配置された場合など、取り出し自動化の適用範囲が限定される。一方、コンテナ箱内などにランダムにバラ積みされた場合は、それぞれのワークの3次元位置・姿勢を認識し、取り出し対象ワークを決定して、ロボットで取り出す必要がある。ビンピッキング作業の自動化のための主な課題は、以下のとおりである。

- ① バラ積みワークの3次元位置・姿勢が多様である上、ワークが積み重なり背景から認識しづらいため、個々のワーク認識が困難である。
- ② ワークの取り出し動作中に、ロボットやハンドが、周辺のワークやコンテナ箱と衝突する。
- ③ ワークの位置や姿勢によっては、コンテナ箱内にワークの取り残しが発生する。

(2) 解決策

課題に対する解決策として、以下の項目の開発に取り組んだ。

- ① 周囲照度環境やワーク表面状態の変動に強いビジョンシステムと安定したバラ積みワーク認識手法。
- ② 周辺ワークとの衝突を事前に判断し、回避する機能。
- ③ ワークの取り残しを最小限にする多様な把持形態を有するハンド機構。

2 バラ積みワーク取り出しロボットシステムの開発

(1) 機器構成

バラ積みワーク取り出しロボットシステムは、バラ積みワークを認識する3次元ビジョンセンサ、取り出し動作を行う多関節ロボット、つかむ動作を行う電磁石ハンド、および各機器や動作シーケンスなどの統合制御を行うモジュールコントローラから構成されている。機器構成を図2に示す。

(2) 3次元ビジョンシステム

(i) レーザスリットスキャンカメラ (LSC)

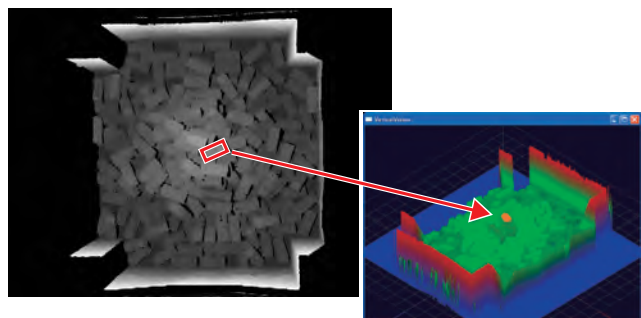
バラ積みワーク取り出しを自動化するための3次元センシング機能として、高さ情報を濃淡値で表した距離画像を処理する方式を採用した。本システムでは、半導体レーザのスリット光を投影するアクティブ方式により、距離画像を取得しており、ステレオカメラなどのパッシブ方式と異なり、輪郭や模様のない平面や曲面上の対象について高さ情報を得ることが可能である。また、外乱光やワーク表面の反射率の変化に対しても、安定した撮像が可能である。今回、モータによりミラーを駆動させレーザスリット光を走査して、距離画像を取得する3次元ビジョンセンサ「レーザスリットスキャンカメラ」(LSC)を開発した。LSCは、大型コンテナ箱(W800×D800×H600mm)の広い範囲を1度のスキャンで計測できる。LSCの外観を図3に、仕様を表1に示す。

(ii) バラ積みワーク認識手法

円柱形状の鍛造素材を対象として、バラ積みワークの認識手法を開発した。本認識手法では、3次元ビジョンセンサで撮像した距離画像から、把持対象ワークを抽出して、3次元位置・姿勢の算出ができる。また、通常の画像認識処理で用いられるようなモデルとなるテンプレート画像が不要であり、多様なワーク姿勢に対して認識が可能である。



(a) 鍛造素材ワーク (b) 領域分割処理画像



(c) 距離画像と把持対象ワーク検出結果

図4 バラ積みワークの処理画像
Fig.4 Processing image of random parts

バラ積みワークの認識処理手順を以下に示す。

① エッジ検出・分割処理

距離画像から各ワークのエッジを検出し、領域分割処理を行う。鍛造素材ワークの外観を図4(a)に、領域分割処理後の画像を図4(b)に示す。

② 特徴量算出

領域分割処理後、各小領域のラベリングを行い、抽出した各小領域の高さ、面積中心、表面曲率、面積などの特徴量を算出する。

③ 把持対象ワークの検出

領域分割処理で抽出した小領域から、把持対象のワークを決定し、把持位置の3次元座標、およびワーク傾き・回転角度を算出する。距離画像および把持対象ワークの検出結果を図4(c)に示す。

(3) オンライン干渉シミュレータ

従来のバラ積みワーク取り出しロボットシステムでは、ロボットが把持対象ワークにアプローチ動作した際に、動作目標の周辺ワークやコンテナ箱と衝突し、システムが停止する問題があった。この問題を解決し、安定して取り出し動作を行うため、当社製ロボットシミュレータの干渉チェック機能を適用して、オンライン干渉シミュレータを開発した。オンライン干渉シミュレータの特徴は、以下のとおりである。

- ① LSCで取得した3次元計測データを用いて、アプローチ動作前に、ロボットの衝突を検知できる。
- ② 把持対象ワークについて、ワークの3次元位置・姿勢、ロボット姿勢を評価して、効率の良い優先順位を決定できる。

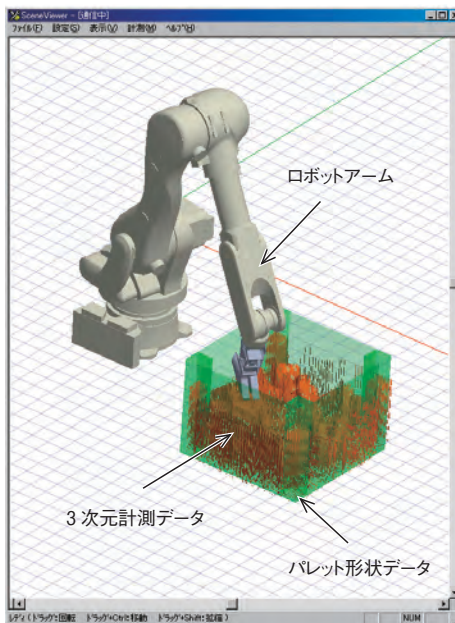


図5 オンライン干渉シミュレータ画面
Fig.5 Online robot simulator for collision check

- ③ ロボット動作時間が最短となるロボット姿勢を決定できる。

オンライン干渉シミュレータの動作画面を図5に示す。

(4) モジュールコントローラ

バラ積みワーク取り出しロボットシステムの各機能を統合的に制御するモジュールコントローラを開発した。モジュールコントローラは、ロボットシステムの中核となり、3次元ビジョンシステム、オンライン干渉シミュレータ、動作シーケンスハンド機構、各種センサなどを統合制御する量産型ロボットシステム構築向けに標準化したシステムである。また、汎用言語(C#言語)によるライブラリを提供し、顧客ごとに容易にカスタマイズが可能のため、ロボットシステムの開発期間を短縮できる。モジュールコントローラのシステム構成を図6に示す。

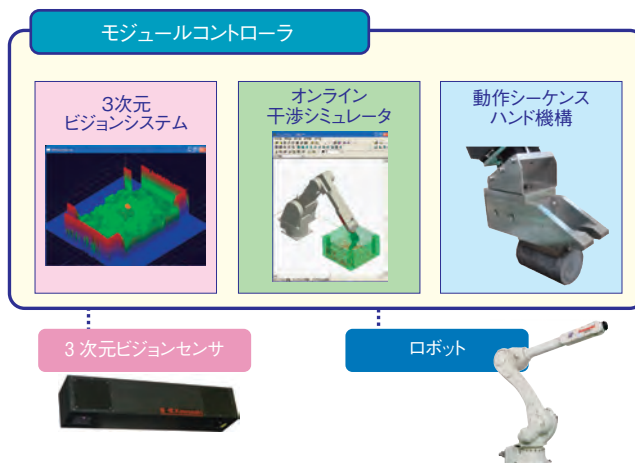
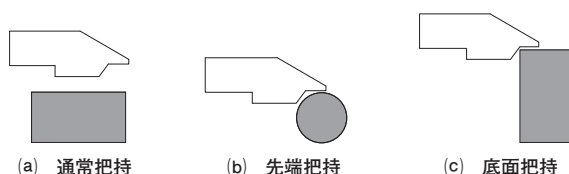


図6 モジュールコントローラのシステム構成
Fig.6 System configuration of module-controller

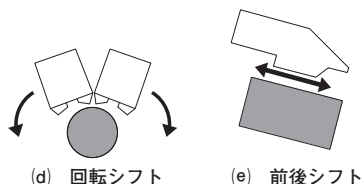


(a) 通常把持 (b) 先端把持 (c) 底面把持

図7 電磁石ハンドの概要
Fig.7 Views of electromagnet hand



(a) 通常把持 (b) 先端把持 (c) 底面把持



(d) 回転シフト (e) 前後シフト

図8 電磁石ハンドのアプローチ動作例
Fig.8 Approach operation of electromagnet hand

(5) 電磁石ハンド

通常、円柱形状のワークがコンテナ箱内にバラ積み状態で積載された場合、コンテナ箱の壁近傍のワークについては、最後までワークを取り出せずに、取り残しとなる場合がある。この問題を解決して、取り残しを最小限とするため、把持対象の同一ワークに対して複数の把持形態を有する電磁石ハンドを開発した。また、オンライン干渉シミュレータにより、複数の把持形態をシミュレーションした上、ハンドが衝突しないアプローチ動作を自動的に算出して、バラ積みワークを取り出すことを可能とした。開発した電磁石ハンドの概要と把持形態を図7に、アプローチ動作例を図8に示す。

3 適用事例

鍛造製品の製造ラインに、バラ積みワーク取り出しロボットシステムを導入した。本システムでは、鍛造素材ワーク表面の酸化スケールや錆状態がある場合でも安定してワークを認識できる。また、ロボットは、周辺ワークやコンテナ箱と衝突することなく、連続してワークを取り出すことが可能となった。鍛造素材向けロボットシステムを図9に示す。

あとがき

当社が有するビジョン技術をベースに3次元ビジョンセンサ、バラ積みワーク認識手法、オンライン干渉シミュレ



図9 鍛造素材向けロボットシステム
Fig.9 Bin-picking system for forged parts

ータを開発し、バラ積みワーク取り出しロボットシステムを実用化し、上市した。今後は、3次元ビジョンセンサを活用したロボットアプリケーションとして、ハンドリング分野だけではなく、自動化が困難で人手に頼っている精密機械部品や電機部品の組立、検査工程などのロボットシステムの開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 久保, 中村, 榎本, 北嶋: “産業用ロボットなどのビジョンセンサ・画像処理技術”, 川崎重工技報, No.159, pp.40-41 (2005)
- 2) 中村, 三浦, 狩谷, 上原: “ロボットシステムのための画像計測”, 川崎重工技報, No.163, pp.26-27 (2007)



赤松 政彦



山本 武司



横尾 篤志



布目 徹



河上 大祐



榎本 雅幸



長谷川省吾



三浦 克也



竹本 豊