

# 三次元物体認識技術を応用したバラ積みピッキングシステムの開発

## Development of Bin Picking Robotics using 3-D Object Recognition

林 俊 寛 技術開発本部総合開発センター制御システム開発部  
曾根原 光 治 技術開発本部総合開発センター制御システム開発部 課長  
井之上 智 洋 技術開発本部総合開発センター制御システム開発部  
島 輝 行 技術開発本部総合開発センター制御システム開発部  
河 野 幸 弘 技術開発本部総合開発センター制御システム開発部 部長

産業用ロボットなどの各種機械で自動化する際、対象物の位置・姿勢の認識が必要となる。カメラで対象物を撮影する二次元画像処理では、単純形状物体や整列配置された物体を対象に実用化されてきた。今後適用範囲を拡大するためには、三次元形状認識が必須となる。そこで、距離センサの計測結果と 3D-CAD モデルとの照合による三次元物体認識技術を開発し、乱雑に置かれた多数物体から、個別物体の位置・姿勢を認識するバラ積みピッキングシステムに適用した。本稿では、本開発成果の概要を紹介する。

For automation using various industrial robots, recognition of object attitude and position is very important. Two-dimensional image processing with the CCD camera has entered use for simple shape objects or objects which are arranged in a plane or regularly. To extend the application area, recognition of three-dimensional shapes is necessary. Therefore, we have developed a bin picking system which recognizes the position and attitude of the individual object from disorderly piled objects, through three-dimensional object recognition technology approaches using the geometric matching method between the measurement result of the range sensor and the 3D-CAD model. This paper describes the above development.

### 1. 緒 言

産業用ロボットなどの各種機械で自動化を行う際、対象物（以下、ワークと呼ぶ）の位置・姿勢の認識が必要となる。従来、ワークをカメラで撮影し、得られた濃淡画像を二次元画像処理することによってワークの位置・姿勢を認識する方法がよく用いられてきた。

しかし、この方法は二次元の濃淡情報しか扱わないため、二次元平面上での位置・姿勢の認識で十分な場合、あるいは単純形状物体や整列配置された物体を対象とする場合など、実用化される範囲が限定されていた。また、実物による教示作業が必要であり、照明環境などの影響も受けやすいことから、新種のワークの導入時に調整作業が不可欠となる。

例えばセル生産などにおける多品種変量生産のように、ワークや環境が頻繁に変化する状況下では、二次元画像処理による方法は、環境の整備や調整時間などの面に対応が困難である。自動化の適用範囲を広げるためには、ワークの三次元形状を認識する必要がある。一方、最近では

3D-CAD を用いた設計が進んできており、3D-CAD 情報を利用できる環境も整ってきた。

そこで、複雑形状物への対応、新種ワークの導入の簡素化を目的に、距離センサの計測結果と 3D-CAD モデルとの照合による三次元物体認識技術を開発し、今回、バラ積みピッキングシステムに応用し検証した。

本稿では、まずピッキングシステムの概要について触れ、次に三次元物体認識技術とその適用例について紹介する。

### 2. バラ積みピッキングシステム

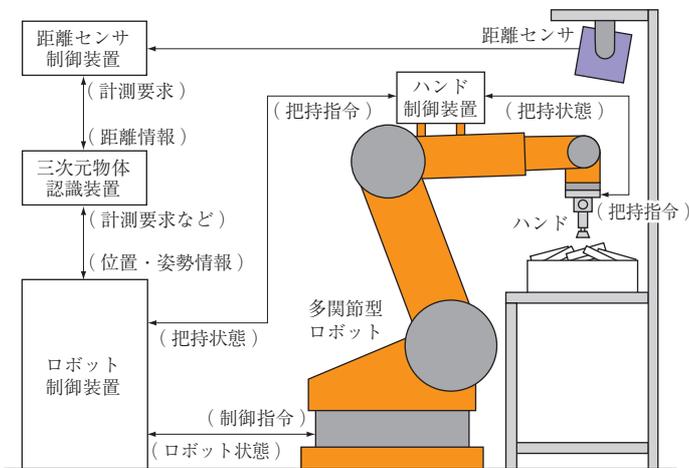
バラ積みピッキングシステムとは、乱雑に重なり合って置かれたバラ積み部品などの複数のワークから個別にワークの位置・姿勢を認識し、ロボットが一つずつワークを取り出すシステムであり、ピンピッキングシステム<sup>(1)</sup>とも呼ばれる。

現状、一般のピッキングシステムは、ワークをいったん作業員や整列機などが整列させてからピッキングを行う。本バラ積みピッキングシステムの導入によって、整列作業や整列機などが不要になるなどの長所がある。

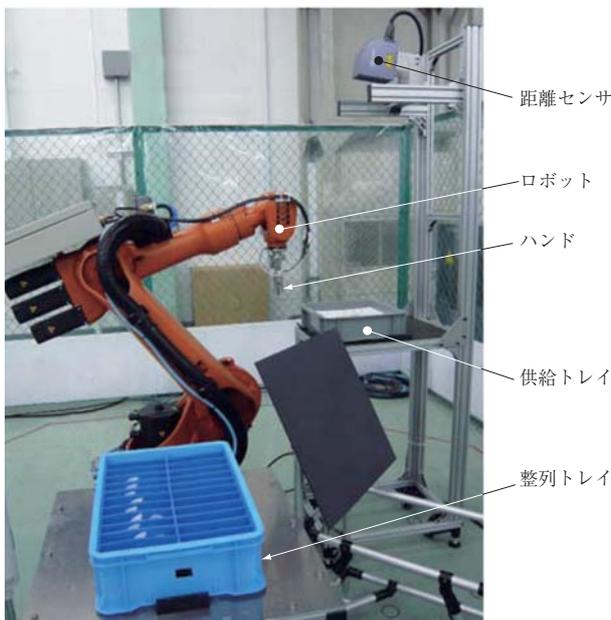
## 2.1 システム構成

本システムの構成を第1図に、システムの外観を第2図に示す。本システムは、供給トレイ内にバラ積みされたワークの三次元形状を計測する距離センサ、対象となるワークを供給トレイから取り出し、整列トレイ内に配置するロボット、ワークを把持するためにロボットの手先に取り付けられたハンド、および、対象となるワークの三次元位置・姿勢を認識する三次元物体認識装置から構成されている。

距離センサには、レーザ光を用いて三角測量の原理で計測するセンサを採用した。この距離センサは、レーザ光を二次元的にスキャンすることで、対象物の三次元形状情報を得ることができる。距離センサの主仕様を第1表に示す。



第1図 システムの構成  
Fig. 1 System configuration



第2図 システムの外観  
Fig. 2 System appearance

第1表 距離センサの主仕様  
Table 1 Specifications of range sensor

項目	単位	視野	
		標準	広角
計測距離	mm	約 500 ~ 1 000	
距離精度	mm	1.0 以下	
最大視野	mm	約 320 × 250	約 560 × 490
計測点数	点	約 120 × 100	約 220 × 140
計測時間	s	約 2.5	約 4.0

す。なお、計測時間は増えるが、計測点数が約4倍の高精度な計測も可能である。

ワークはバラ積みされており、一般に任意の姿勢をとる可能性があるため、ロボットはスカラー型ではなく、多関節型の産業用ロボットを採用した。

## 2.2 特長

ワークの三次元位置・姿勢を認識するまでの処理フローを第3図に示す。本システムでは、バラ積みされたワークを距離センサで三次元計測し、得られた計測結果とワークの3D-CADモデルとを照合することによって、個別のワークの三次元位置・姿勢を認識する。

このように、レーザ光を用いた三角測量によるワークの三次元計測および3D-CADモデルとの照合方式を採用しているため、カメラを用いた画像処理方式のバラ積みピッキングシステムと比べて、以下のような特長がある。

- (1) ワークとして複雑な形状を扱うことができる。
- (2) ワークが傾いている場合、重なり合っている場合、異物が混入した場合でも安定して取り出しができる。
- (3) 認識用の教示作業や照明環境などの整備が必要ない。

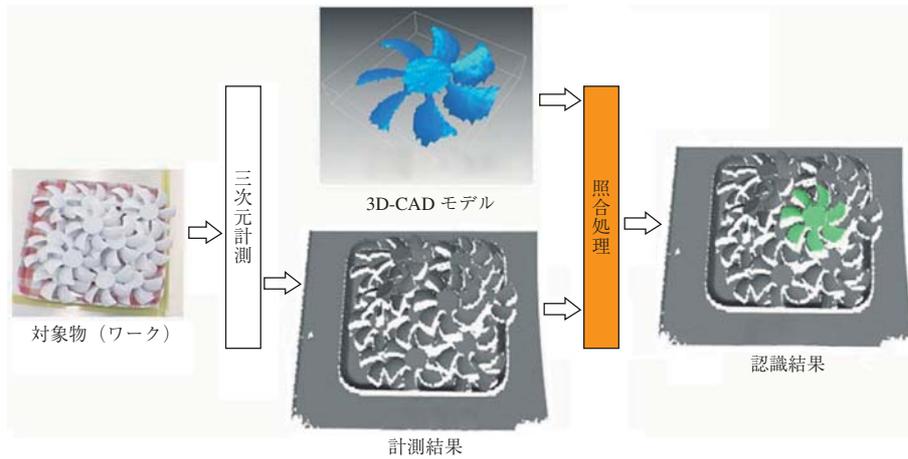
なお、バラ積みされたワークを対象としているため、ワークを取り出す際に荷崩れなどの要因で失敗することも考えられる。そこで、ロボットによるワークの取り出し動作のリトライ処理や、供給トレイ内のワークの荷姿の再計測などを行い、システム全体として停止せずに作業を継続させ、作業効率を低下させない工夫を行っている。

## 3. 三次元物体認識技術

ワークの三次元計測結果と3D-CADモデルの照合方法として、本システムでは、ICP (Iterative Closest Points)<sup>(2), (3)</sup> と呼ぶ方法を基本方式として採用した。

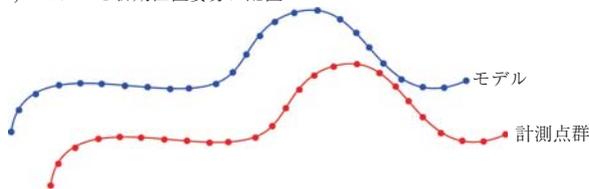
ICPの原理を第4図に示す。ここでは、説明を簡単にするために、二次元の例で示す。

距離センサで得られた計測結果は、三次元の計測点群で

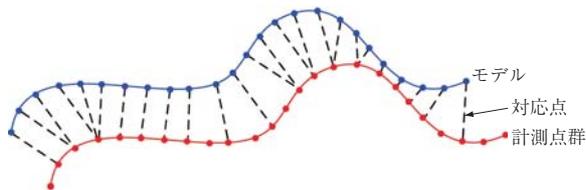


第3図 処理フロー  
Fig. 3 System flow diagram

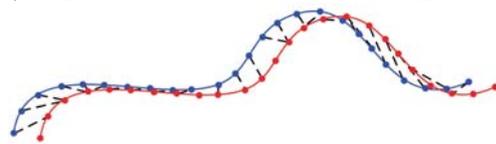
(1) モデルを初期位置姿勢に配置



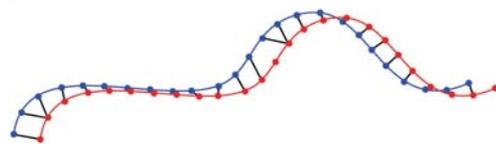
(2) モデルと計測点群の対応点を決定



(3) 対応点間距離が最小になるようにモデルの位置姿勢を変換



(4) モデルと計測点群の新たな対応点を決定



(5) 以下、収束するまで繰り返し

第4図 ICPの原理  
Fig. 4 ICP algorithm

構成されている。本システムでは、3D-CAD モデルも照合処理の前に点群データに変換しておく。

- (1) まず、モデルを計測点群に重ね合わせるため、ほぼ一致すると思われる初期位置・姿勢に配置する。
- (2) 次に、モデルと計測点群との各点について、距離が最も近いなどの基準で対応づけを行い、対応点と

して定める。

- (3) 対応点間の距離が最小になるように、6自由度あるモデルの位置・姿勢を、例えば共役勾配法などを利用して更新する。

- (4) モデルの新たな位置・姿勢に対して、再度モデルと計測点群との各点について対応点を求める。

以上の処理を対応点間の距離があるしきい値以下になるまで繰り返す。

このICPを用いて、計測結果と重なるモデルの位置・姿勢を求めることによって、計測結果に対してワークの三次元位置・姿勢を認識する。

なお、次に取り出すワークは、検出した各ワークの位置と姿勢を考慮して、取り出す角度がある範囲内にあるものの中で、最も高い位置にあるものを選定している。

#### 4. 適用例

複雑な形状をした部品の例として、CPUファンをワークとし、供給トレイ内に約30個バラ積みさせた場合の三次元位置・姿勢の認識結果の例を第5図に示す。第5図-(a)はバラ積みされたワークの状況を示す。第5図-(b)は距離センサで得られた距離値を擬似カラーで表現した距離画像であり、距離センサを基準として、遠方を青色、近傍を黄色で示す。第5図-(c)は、第5図-(b)の距離画像に対して、三次元物体認識を行った結果を示しており、取り出すワークの位置・姿勢を赤色で重ねて表示したものである。

第5図-(a)から明らかなように、ワークの色は白色の単一色であり、背景となる供給トレイ底面も同一の白色としている。また、照明の影響でワークの表面にハレーショ



第 5 図 CPU ファンに対する三次元位置・姿勢の認識結果例  
 Fig. 5 Results of 3-D recognition for fans

ンを起こしている部分がある。このような対象に対しては従来の二次元画像処理では濃淡値に基づく画像上の特徴が得にくく、また、ワークの形状が複雑であり、三次元的な位置・姿勢を求めることが困難であった。本システムでは三次元形状を扱っているため、このような対象に対しても取り出すワークの位置・姿勢を安定して認識できる。

第 6 図にロボットによるワークの取り出しと配置の状況を示す。ロボットの手先のハンドには、エア吸着方式を採用し、CPU ファンの中央の平面部分を吸着すること

によって、ワークを取り出す。

第 6 図 - (a) に示すように、本システムでは、ワークの三次元姿勢を認識しているため、ワークが傾いている場合でも、ハンドは、ワークの吸着面に垂直となるよう正しい方向からアプローチすることができる。また、認識したワークの位置・姿勢は、第 6 図 - (b) に示すように、整列トレイに正しくワークを配置するに十分な精度が得られている。また、本システムは、取り出したワークをいったん別の場所に置くなどして、途中で再度詳細な位置・姿勢計測を行う必要はない。

(a) ワークを取り出す状況 (b) ワークを配置する状況



第 6 図 ワークの取り出しと配置の状況の例  
 Fig. 6 Robotic handling behavior

第 7 図には異物が混入した場合のワークの三次元位置・姿勢の認識結果例を示す。この例では、白色のマウスを異物として混入させている。第 7 図 - (a) は、バラ積みしたワークの状況、第 7 図 - (b) はその認識結果、第 7 図 - (c) はワークを取り出す状況を示す。三次元形状を認識しているため、このようにワークと同系色のマウスを混入させた場合でもワークを安定して正しく認識し、取り出すことができる。

ほかのワークの例として、M20 ボルトをバラ積みした場合の三次元位置・姿勢の認識結果例を第 8 図に示す。

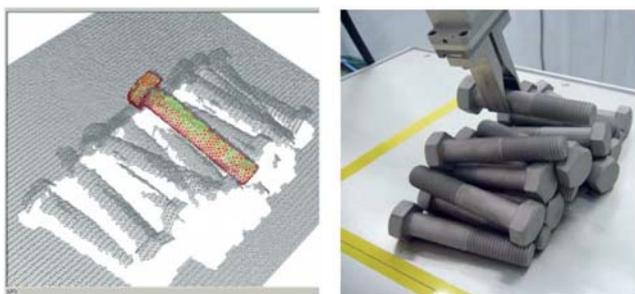
(a) ワークの状況 (b) 認識結果 (c) ワークを取り出す状況



第 7 図 異物混入時のワークの三次元位置・姿勢の認識結果例  
 Fig. 7 Results of 3-D recognition of fans by discerning from foreign objects

(a) 認識結果

(b) ワークを取り出す状況



第 8 図 M20 ボルトに対する三次元位置・姿勢の認識結果例  
 Fig. 8 Result of 3-D recognition of bolts

第 8 図 - (a) は、距離センサで得られた計測結果に、次に取り出すワークとして認識した部分を赤色で重ねて表示したものであり、第 8 図 - (b) は、ロボットのハンドでワークを取り出す状況を示している。このように円筒形状のワークでも正しく認識することができる。

CPU ファンを例に、ワークの位置・姿勢の認識処理時間を第 2 表に示す。ワークを重ねずに配置した状態で、第 1 表に示す標準の視野範囲で距離センサを用いた計測結果について、次に取り出すワークのみを認識する場合と、すべてのワークを認識する場合の 2 種類の結果を示している。CPU ファンのような複雑な形状をしたワークがバラ積みされた場合についても、第 5 図 - (a) のような例では 3 秒程度で認識することができる。

なお、ワークの認識処理時間や位置・姿勢の認識精度は、ワークの形状や個数、バラ積みの状態、計測条件などによっても変化する。

第 2 表 認識処理時間  
 Table 2 Recognition processing time

項 目	取り出すワークを認識する場合 (s)	すべてのワークを認識する場合 (s)
CPU ファン 個数	1 個	0.7
	4 個	2.5
	7 個	3.9

## 5. 結 言

三次元物体認識技術を応用したバラ積みピッキングシステムを開発し、CPU ファンをワークとした適用例を示した。この結果、CPU ファンのような複雑な形状をしたワークに対しても、三次元で位置・姿勢を正しく認識することができ、ワークの取り出しを安定して行うことを可能とした。

今後は、バラ積みピッキングシステムとして、物流・生産分野へ実際に適用を図っていくとともに、三次元物体認識処理のさらなる高速化と安定性向上に努める所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測 昭晃堂 1990 年 11 月 pp. 142 - 147
- (2) Y. Chen and G. Medioni: Object Modeling by Registration of Multiple Range Images Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (1991. 4) pp. 2 724 - 2 729
- (3) P. J. Besl and N. D. McKay: A Method for Registration of 3-D Shapes IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol.14 No.2 (1992. 2) pp. 239 - 256