ノート

バラ積み部品のピッキングから検査と整列までを連動させたシステムの開発

大野　宏*　小林　豊*　林　成実*　本多　章作**
田村　健太郎***　棚橋　広貴***　田中　仁***　金泉　亮治***

Development of Automated System for Picking, Inspection, and Alignment of Stacked Parts

OHNO Hiroshi* , KOBAYASHI Yutaka* , HAYASHI Narumi* , HONDA Shosaku** ,
TAMURA Kentaro*** , TANAHASHI Hiroki*** , TANAKA Hitoshi*** and KANAIZUMI Ryoji***

1. 緒　　言

製造業での就労人口減少の対応や一人当たりの生産性向上が必要な状況は続いており，AI（Artificial Intelligence）やロボットの製造現場への適用が進んでいる。特に目視による外観検査は作業者によるばらつき，疲労による判断基準のぶれなどから生産性向上の妨げとなっており，AIやロボットによる自動化が進んでいる。

本研究では令和 3 年度にディープラーニングを活用したバラ積み部品ピッキングシステム [1] を，令和 4 年度に数種類の部品を対象にディープラーニングを利用した外観検査システムを開発した。今年度はこれらの成果を踏まえ，バラ積み部品のピッキングと，部品の曲がり検査，良品をケースに格納するまでの一連の工程を自動化するシステムを開発したので報告する。

2. 開発したシステムの概要

開発したシステムは，三次元センサ，産業用ロボット，バラ積み部品を置く台と検査台，制御用パーソナルコンピューターから構成される。バラ積みされた部品の三次元形状をセンサで取り込んで処理し，上の方にある取りやすい部品からロボットが 1 個ずつ吸着する。部品は左側の検査台に置かれ，再度三次元センサで計測し，曲がっていないか検査する。この検査で良品と判定された部品はロボットが吸着し整列コンテナに投入され，不良品は排出される。開発したシステムの外観を図 1 に示す。当初は多関節ロボットを使用したシステムを検討したが，ピッキングの対象部品が薄く，バラ積みにしても傾きが小さいため，コンパクトで導入しやすい 4 軸ロボットを使用した。

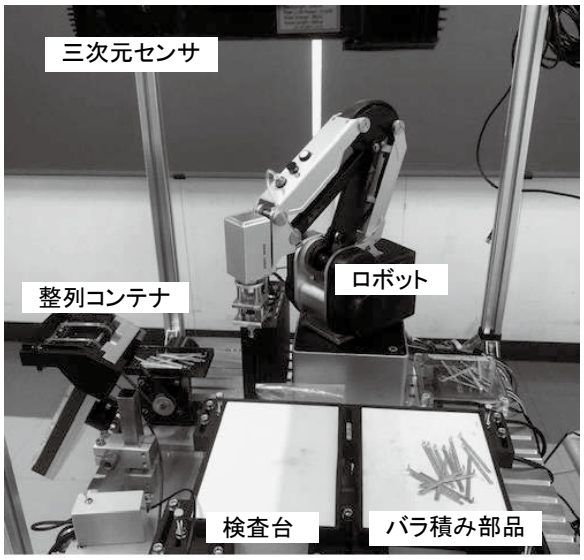
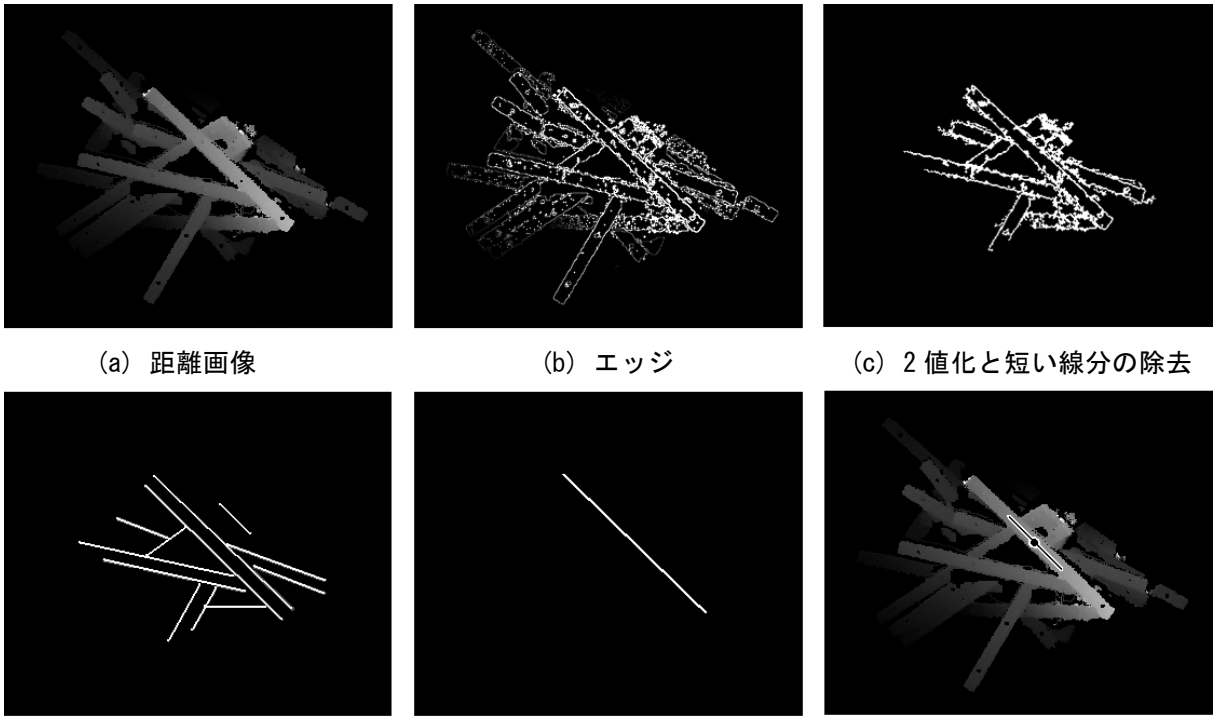


図 1　開発したシステムの外観

バラ積み部品を置く台と検査台は，ピッキングを連続で失敗した場合はバラ積み状態を変え，検査ができない場合は正しい姿勢に変えるため，振動台を使用した。

* 研究開発センター
** 県央技術支援センター
*** ケミコンデバイス(株)長岡工場



(a) 距離画像　(b) エッジ　(c) 2 値化と短い線分の除去

(d) 線分　(e) 第一候補の線分　(f) 部品の中心座標

図 2　部品の認識方法

3.　バラ積み部品のピッキング

3.1　部品の認識方法

令和3年度に開発したバラ積み部品のピッキングシステムは，三次元点群データを距離画像に変換し，ディープラーニングでバラ積みの上の方にある部品のおおよその位置を推定し，点群を繰り返し計算で張り合わせるICP(Iterative Closest Point)[2] を使い部品の正確な位置と向きを計算した。この方法の利点は，対象部品のCADデータがあればディープラーニングに使う学習データをプログラムで自動生成でき，複雑な形状の部品にも適用できることである。しかし，ICPは形状が単純な部品は上手くマッチングしない場合があり，繰り返し計算で点群を張り合わせるため処理時間もかかる。今回のピッキングの対象となる部品は長方形の細い板という単純形状のため，長い方の線分を検出し部品の中心座標を求めるように変更した。

最初は，これまでと同じように三次元点群データから，図 2(a)に示す距離画像を求める。この距離画像から図 2(b)に示すエッジを求め，2 値化処理で短い線分を図 2(c)のように除去する。このエッジ線を処理し図 2(d)に示すとおり線分を求める。多くの線分が検出されるため，三次元センサから取得した高さ情報を統合し，線分の長さが部品の長さに近く，高い位置にあるものをピッキングの第一候補とし図 2(e)のように推定する。この線分の位置から図 2(f)に示すとおり中心座標を計算し，この座標をロボットに送り，ロボットは部品を吸着する。改良後のプログラムは，画像ライブラリと自作のアルゴリズムの組み合わせで実現し，ピッキングする部品の位置と向きの計算時間は改良前の 1/3 の約 0.5 秒になった。

3.2　曲がり検査機構

バラ積みから1個ずつピッキングした部品を左側の検査台に移動させ，三次元センサでもう一度形状を取得し，曲がっていないか検査する。図3に三次元センサで取得した部品の三次元点群データを示す（Z軸のみ拡大表示）。部品の位置と高さから最小二乗直線を求め，これを基

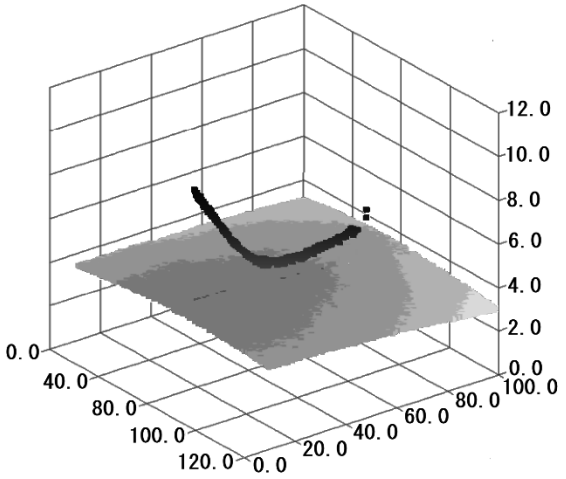


図 3　部品の三次元形状

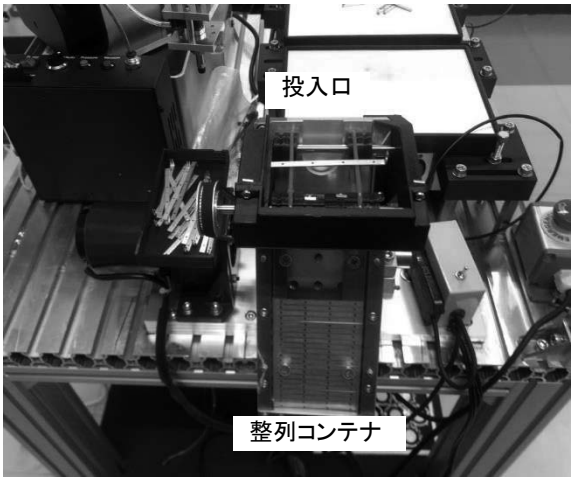


図 4　整列コンテナ投入機構

準として差を求め，その最大値が閾値より小さい時は良品，大きい時は不良品と判定する。

3.3　整列コンテナへの投入機構

検査で良品と判定された部品を整列コンテナに投入するため，図 4 に示す機構を開発した。検査時は部品の爪が上向きになり，整列コンテナ投入時は爪を下向きにする必要があるため，部品をベルトの上に乗せ反転させて整列コンテナに投入する。なお，先の検査では部品の爪の位置が左右のどちらか画像処理で判別し，ロボットは爪が右側になるようベルトの上に置く。

3.4　動作全体の制御プログラム

動作全体は，バラ積み部品からピッキングするとともに検査を行い良・不良を判定し，良品を整列コンテナに投入し，不良品を排出する。実際の運用を考えると，ピッキングが連続してできない場合や，ワークの検査が正しく行えない姿勢に置かれる場合がある。ピッキングを2回続けて失敗した場合は振動させてバラ積みの状態を変え，再度三次元センサで形状を取り，ピッキングを試みる。検査ができない場合は振動させてワークを正しい姿勢に変える。

バラ積み状態の形状測定と曲がり検査にパターン光投影型の三次元センサを使っている。データの取得に時間がかかるため，曲がり検査直後のピッキングでは検査時に取得した三次元点群を使うこととし，三次元センサの稼働回数を減らし，処理時間を高速化させた。

制御プログラムはコードが読みやすく修正しやすいPythonで開発し，一般的な処理は画像処理ライブラリOpenCV [3] を利用した。また，三次元センサから点群データを取得したり，1画素ずつ読み込んで処理したりする部分は時間がかかるため，C++で開発しこれをライブラリにしてPythonから呼び出すようにした。

4.　2 台のロボットによる並列処理

4 軸ロボットは小型で繰り返し精度も高く取

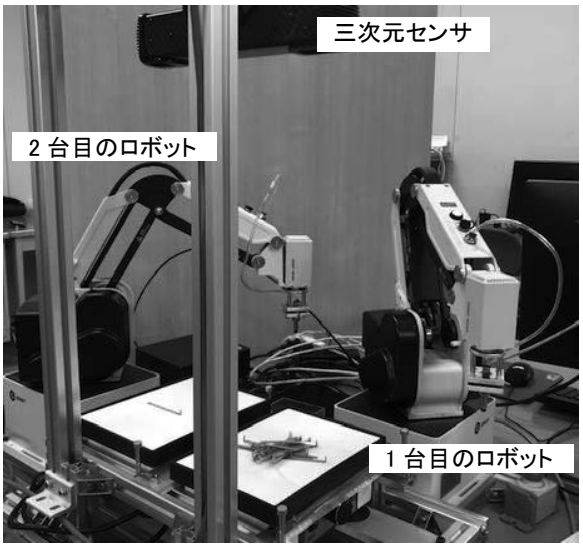


図 5　2 台のロボットを使ったシステムの外観

り扱いやすいが，動作が遅いため 2 台を並列処理させ全体の速度向上に取り組んだ。開発したシステムの外観を図 5 に示す。1 台目のロボットはバラ積み部品から 1 個ずつピッキングし検査台に移動させる。2 台目のロボットは検査結果をもとに，良品と不良品に仕分ける。2 台のロボットを使うことで，1 個の部品を処理する時間が半分に短縮されることを期待したが，12 秒から 8 秒と 2/3 にとどまった。これは，1 台の三次元センサを 2 台のロボットが共有しており，データ取得の時間を削減できなかったためである。

5. 結　　言

(1) バラ積み部品のピッキングから曲がり検査と整列コンテナへの投入までを自動化するシステムを開発した。部品の認識方法を変更し，これに要する時間を 1/3 に短縮した。

(2) 2 台のロボットを並列処理することで，ピッキングから検査と仕分けに要する時間を 2/3 に短縮した。

なお，本研究は，令和 5 年度の共同研究事業「ディープラーニングを利用したバラ積み部品のピッキングと外観検査を連動させたシステムの開発」の研究成果をまとめたものである。

参考文献

1) 木嶋祐太ほか, “ディープラーニングを利用したバラ積み部品のピッキングシステム開発”, 工業技術研究報告書, No.51, 2020, pp.9-14.
2) 増田健, “コンピュータビジョン最先端ガイド 3, 第二章 ICP アルゴリズム”, アドコム・メディア, 2010, pp.33-62.
3) 小枝正直ほか, “OpenCV による画像処理入門”, 講談社, 2017, pp.97-174.