研究論文

バラ積み鋳鉄品の自動ピッキングシステムの開発

小林　豊*　大野　宏**　五十嵐　晃*　中部　昇*　坂井　朋之*
内山　照嘉***　中澤　義人***　山森　正人***

Development of Bin Picking Robotics for Cast Metals

KOBAYASHI Yutaka* , OHNO Hiroshi** , IKARASHI Akira* , NAKABE Noboru* , SAKAI Tomoyuki* ,
UCHIYAMA Teruyoshi*** , NAKAZAWA Yoshito*** and YAMAMORI Masato***

抄　　録

鋳鉄品の外観検査工程の自動化システムの完成を目的に，検査工程への鋳鉄品供給機構として，バラ積み鋳鉄品の自動ピッキング（つかみあげる）システムの開発を行った。システムはバラ積みからの取り出し部，鋳鉄品の整列部で構成した。取り出し部は，三軸直交ロボットをベースとして，距離画像センサにより鋳鉄品を認識させ，電磁石によりピッキングする機構を開発した。整列部は，ロータリーシリンダを用いる機構とした。また，鋳鉄品の外観検査プログラムについては，二次元画像による検査を三次元形状を測定して欠陥を判別するように改良し，検査精度の向上を図った。

1. 緒　　言

鋳鉄品は複雑な形状部品を大量に製造できるため，安価な量産部品として製造されている。しかし，鋳型に不具合が生じたり，鋳造条件が不適切であったりすると鋳鉄品に欠陥が発生してしまう。そのため，現状では目視による外観検査が行われているが，検査員による個人差や疲れによるばらつきが生じるため自動化が望まれている。これらの解決のため，平成 21 年度に画像処理による鋳鉄品の外観検査システムの開発を行った。[1)]

本研究では，このシステムの性能をさらに向上させるために，バラ積み状態の鋳鉄品（以下ワークと呼ぶ）から外観検査システムへワークを供給するピッキングシステムと整列部の開発，および検査工程の精度向上を図ったので，報告する。ここで，ワーク 1 個をつかんでバラ積みの山から持ち上げることを「ピッキング」と呼ぶことにする。

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター
***　（株）三条特殊鋳工所

2. 研究概要

2.1　ワークの形状

検査対象となるワークの形状および欠陥の例について，図 1 に示す。

(a)　検査対象　　(b)　欠陥例

図 1　検査対象と欠陥例

ワークの重量は 135g で，以下に示す特徴を有している。

①鋳肌表面はざらざらしており，欠陥部と正常部の見分けが難しい。
②複雑形状であり，曲面と垂直面がある。
③製品番号の意味で，凹状または凸状の刻印を付けているが，刻印と欠陥との区別が付きにくい。

2.2　ワークの供給部

最も高い位置にあるワークを見つけ，その位置にピッキング機構を移動し，つかみ上げる方法を説明する。ワークの高さおよび位置の測定には距離画像センサを用い，ピッキングは電磁石で吸着する方法を用いた。ピッキング機構を移動するロボットは設置面積が大きくなるが，比較的可動範囲の広い直交型を用いた。

2.2.1　装置の外観

開発した装置の外観を図 2 に示す。距離画像センサはマイクロソフト社の KINECT®，三軸直交ロボットは（株）アイエーアイ社のものを用いた。距離画像センサはロボットの可動域の中心上部に取り付け，バラ積みを上部から測定した。Z 軸の先端には電磁石が取り付けられており，これによりワークの吸着，脱着を行った。これらの機構はすべて PC でプログラム制御とした。

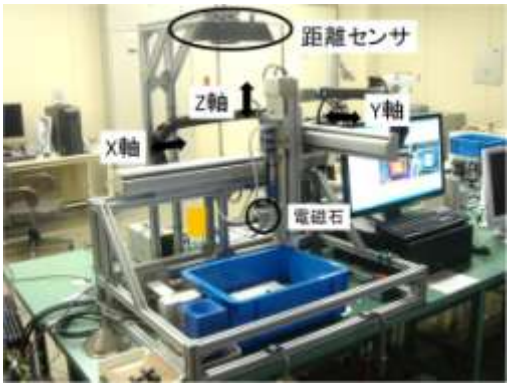

図 2　装置の外観

2.2.2　距離画像センサ

KINECT®はマイクロソフト社のゲーム機用に開発されたモーションキャプチャセンサである。通常のカラーカメラと物体の 3 次元座標を測定する赤外線カメラが搭載されている。安価なことと比較的性能が良いことから PC 用のドライバが開発されており，本研究でも PC に接続して使用した。距離の測定精度は長さの異なるブロックゲージを測定し確認したところ約 7mm であった。その他の主な仕様を表 1 に，プログラムの開発環境を表 2 に示す。

表 1　KINECT®の主な仕様

カメラ入力距離	カラーカメラ 0.8～4.0m 赤外線カメラ 0.8～4.0m
視野角度	垂直方向 43°，水平方向 57°
解像度	カラーカメラ： VGA(640×480 ピクセル) 赤外線カメラ： VGA(640×480 ピクセル)

表 2　距離画像センサの開発環境

センサ本体	KINECT®(XBOX360 用)
ドライバ	OpenNI(Windows32 ビット用 Ver1.3.4.3) NITE1.4.2.4(ミドルウエア)
画像表示ライブラリ	OpenCV2.1
プログラム開発環境	VisualC++2008

2.2.3　ワークの判別プログラム

バラ積みの最も高い位置にあるワークの三次元座標を求めるプログラムを作成した。図 3 は KINECT®でバラ積みを上部から撮影したカメラ画像および距離画像（センサからの距離を色で表現した画像）である。この画像をもとに検出範囲内で最も高い座標値を計算してカーソルおよび数値で表示した。

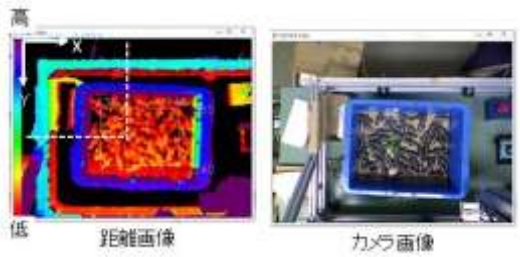

図 3　バラ積みされたワークの距離画像とカメラ画像

2.2.4　座標変換

カメラからワークまでの距離方向を Z 軸，Z 軸に垂直な方向を XY 方向とする。KINECT®が出力する座標値は Z 座標がミリメートル単位で XY 座標はピクセル単位（解像度は 640×480）であるため，XY 座標はロボットに距離

を渡すときにミリメートル単位に変換する必要がある。また，Z 軸方向の距離が変化するとピクセル単位の座標と実際の位置が変化するため変換するときには Z 軸方向の距離を考慮する必要がある。以下ピクセル単位の XY 座標をロボットの座標へ変換する方法を説明する。

KINECT®で求めた距離(Z 座標値)を L，X 軸座標のピクセル単位の値を xp，X 軸方向の解像度を 640，赤外線カメラの視野角を 2θ，距離 L のときの X 軸方向視野の端点から中心までの実距離を H とすると赤外線カメラの視野中心から xp までの実距離 h は

$$h = \frac{(320 - xp) * H}{320} = \frac{(320 - Xp) * L * \tan\theta}{320}$$

・・・①

xp：X 軸座標値(ピクセル)
H：X 軸方向視野の端点から中心までの実距離
L：距離(Z 座標値)
2θ：視野角(°)
となる。

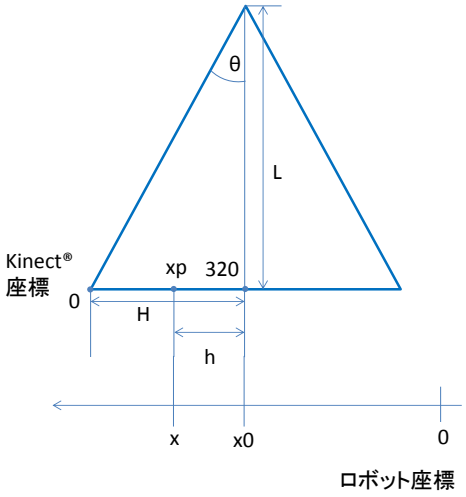

図 4　座標変換の原理

次にロボットの X 座標がキネクト X 座標と平行で，x0 を KINECT®の赤外線カメラの視野中心でのロボットの x 座標値とするとロボットの x 座標値は①式を使って
x=x0+h　・・・②
となる。

Y 軸も同様に計算できるため，プログラムではこの式に基づいて座標変換を行った。図 4 に変換原理を示す。

2.2.5　座標変換の計算値と測定値の比較

前節で求めた計算値と実測値との比較を行った。ロボットの可動範囲内の任意の 3 箇所について 733～874mm まで 4 段階に距離を変えて KINECT®およびロボットそれぞれで座標を測定した。図 5(a)～(d)に x 軸の測定結果を示す。各距離で計算値と測定値がほぼ一致しており z 方向の距離を考慮した座標変換ができていることがわかる。

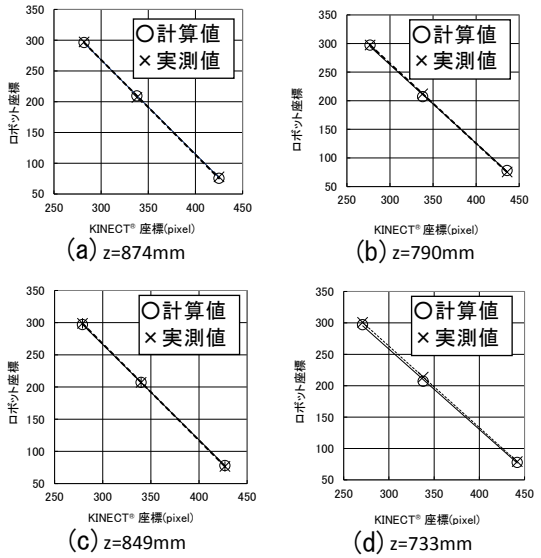

図 5　KINECT®とロボットの座標変化の実測値と計算値の比較

2.2.6　ピッキング機構

図 6 にロボットの z 座標先端に取り付けたピッキング機構を示す。取り付け板と電磁石の間にプッシュスイッチが入っており z 軸アームが下降を始め，ワークに接触するとプッシュスイッチが ON になり吸着を検知してアームは上昇する。このときワークは電磁石に吸着して持ち上げられる。また，電磁石の吸着力が小さいと吸着の失敗が増え，大きいと 2 個同時に吸着することが多くなるため，吸着力の異なる数種類を検討し単位面積あたりの吸着力が 0.81N/mm^2 のものを選定した。

図 6　ピッキング機構

2.2.7　ピッキングの成功率，サイクル時間および課題

開発したピッキング装置を実際に動かした時の成功率とサイクルタイムを測定したところバラ積みからワークを 1 個だけ選別し受渡し位置まで移動する動作の成功確率はおよそ 85%であり，1 サイクルに要する時間は約 40 秒であった。ピッキングの失敗の主な原因はワークと電磁石外周部の干渉によって吸着部が接触しないためであった。また，1〜2%は 2 個同時に引き上げることによる失敗であった。今後検査部と連携をとる際には引き上げた個数の判定が必要となるため重さによる判別などを行う必要がある。成功率およびサイクルタイムについて現状では，後工程の検査に 90 秒程度かかっていることから判断すると現在の性能でも実用化は十分可能と考える。今後さらに成功率を上げる必要がある場合は，外周部の干渉を少なくするためにより精度の高い位置検出アルゴリズムの採用などが考えられる。

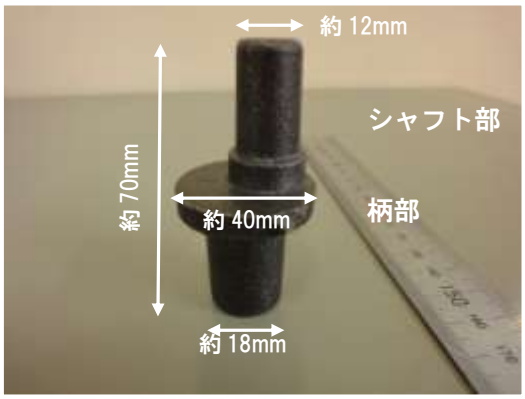

図 7　ワークの概略寸法

2.3　ワークの整列部の検討

バラ積み状態から取り出したワークを次の外観検査工程のロボットへ渡すために，鋳鉄品の整列部について検討した。

今回，外観検査の対象としているワークの概略の寸法を図 7 に示す。

これらの寸法より，姿勢制御は，ジョウゴ型の治具を用いることとし，その外観を図 8 に示す。また，同治具の寸法図を図 9 に示す。

ワークが図 7 のように縦になり，上部または下部のシャフト部分を真下にした状態でジョウゴ型治具に入れば，柄の部分がジョウゴ型治具の下穴のフチに引っかかるため，図 7 のような向きとなり，外観検査工程のロボットがつかみやすい姿勢を実現できる。

ただし，この際，ワークが縦以外の状態になってジョウゴ型治具に入った場合は，ロータリーシリンダを矢印の方向に揺動し，上下いずれかのシャフトがジョウゴ型治具の下穴に入るよ

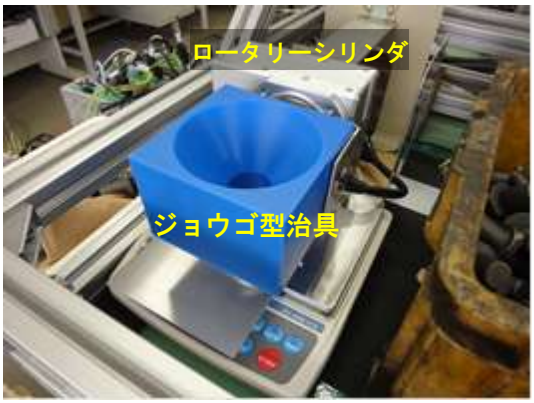

図 8　ジョウゴ型治具の外観

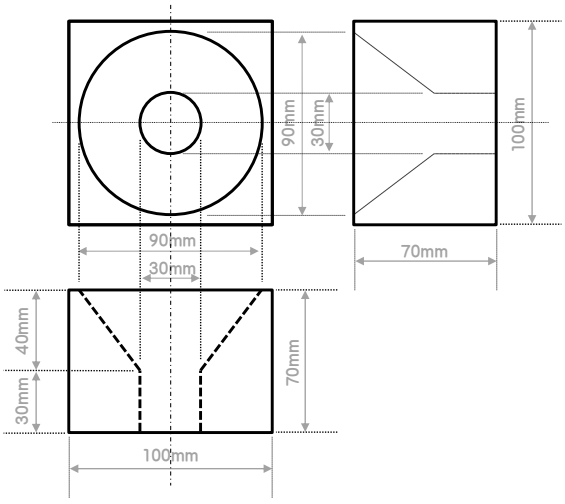

図 9　ジョウゴ型治具の寸法図

うにする。また，同時に，治具とロータリーシリンダ全体の重量を計測しており，ワークが 1 個か 2 個かを判断する。もし 2 個入っていると判断されれば，時計回りの矢印の方向に大きく角度分揺動させ，ワーク 2 つをもとのバラ積みの山へ戻すこととする。

2.4　ワーク外観検査部プログラムの改良

2.4.1　概要

平成 21 年度の共同研究では二次元画像処理で欠陥を検出していたが，検査精度を上げるために三次元形状を測定して欠陥を判別するよう改良した。

鋳物の表面にできる凹凸の欠陥は，斜めから強い光をあてると影となり黒くなる。これを二次元画像として取り込み，画像処理して欠陥の有無および良品・不良品の判別を行った。この方法では，鋳肌の突起も欠陥として検出される場合もあった。そもそも鋳物の形状は三次元であるが，二次元に縮退させて検査しているため，一部の情報が欠落してしまい正確さに欠けてしまう。そこで，本研究では，ワークの三次元形状を測定し，良品か不良品かを判別するよう改良した。

2.4.2　三次元形状測定による欠陥の検出

図 10 に三次元形状測定の原理を示す。ラインレーザーを測定対象にあてカメラで撮像し，ラインのピーク値を画像処理で求める。測定対象を少しずつ動かしながらこの操作を繰り返すと，測定対象全体の三次元形状を測定できる。

図 11 に実際に製作した装置の外観を示す。ラインレーザーはキコー技研株式会社製レーザーポインターMLXKG-A13-640-10，カメラはレーザー検出用の photonfocus 社製ワイドダイナ

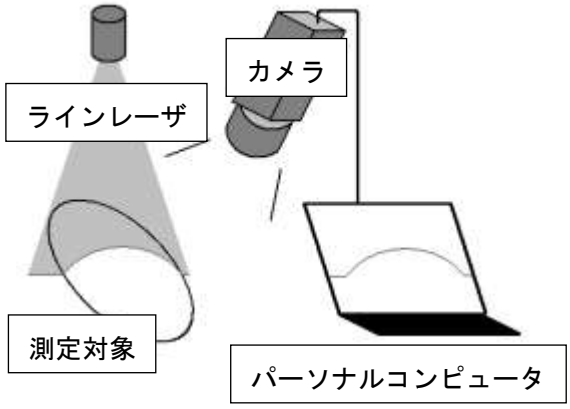

図 10　三次元形状測定の原理

図 11　検査装置の外観

（a）カメラ画像　　（b）良品の測定結果　　（c）不良品の測定結果

図 12　三次元形状測定結果の一例

ミックレンジカメラ MV1-D1312-80，6 軸多関節ロボットは三菱電機株式会社製 RV-1A を使用した。

図 12 に，カメラで撮像した画像，良品および不良品の三次元形状測定結果の一例を示す。不良品では，鋳巣による欠陥を確認できた。

2.4.3 欠陥検出手順

ワークの端面は平面のためラインレーザーは直線となる。鋳造品の表面に出っ張りや欠けがあるとラインレーザーは直線から外れる。次の手順で欠陥があるかどうか調べる。

①画像処理範囲を設定する。
②ラインレーザーのピークを求める。
③ハフ変換で基準となる直線を求める。
④欠陥を調べる始点と終点を求める。
⑤その範囲で②のラインレーザーのピークが③の基準直線から外れていないか調べ，ずれが大きい箇所が続けば欠陥のある不良品と判別する。

ワークの側面は円柱になっているためラインレーザーは円弧を描く。次の手順で基準の円弧から外れていないか調べる。

①画像処理範囲を設定する。
②ラインレーザーのピークを求める。
③ハフ変換で基準となる円弧を求める。
④中心の前後の範囲で②のラインレーザーのピークが③の基準円弧から外れていないかどうか調べ，ずれが大きい箇所が続けば欠陥のある不良品と判別する。

3. 結　　言

(1) 三軸直交ロボットをベースとし，距離画像センサによる位置検出プログラム，および電磁石を用いた，ワークのピッキング機構を開発した。
(2) ロータリーシリンダを用いることで，ワーク整列部機構確立の目処がついた。
(3) 前回の共同研究では二次元画像処理で欠陥を検出していたが，精度を上げるために三次元形状を測定して欠陥を判別するよう改良した。

参考文献

1) 大野宏ほか，”画像処理を利用した鋳鉄品の外観検査の自動化についての研究”，工業技術総合研究報告書，No.38，2009，p56-61
2) 中村薫ほか，”KINECT for Windows SDK プログラミング”，秀和システム，p6,41,46