研究論文

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

大野　宏[*]　木嶋　祐太[**]　白川　正登[*]　本田　崇[*]　伊関　陽一郎[***]
内山　照嘉[****]　中澤　義人[****]　山森　正人[****]　田口　圭一[****]

Study on Automatic Surface Inspection of Cast Metals Using Image Processing

OHNO Hiroshi[*], KIJIMA Yuuta[**], SHIRAKAWA Masato[*], HONDA Takashi[*], ISEKI Youichirou[***], UCHIYAMA Teruyoshi[****], NAKAZAWA Yoshito[****], YAMAMORI Masato[****]and TAGUCHI Keiichi[****]

抄　　録

鋳鉄品の外観検査を自動化するために，照明方法，画像処理方法，ロボットのハンドリングおよび鋳鉄品の供給装置について研究を行った。その結果，鋳鉄品の外観検査に適した照明方法と画像処理方法を開発した。また，供給装置と反転機構を開発し，外観に欠陥があるか判別する検査装置を試作した。

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，鋳造条件が不適当だったりすると鋳鉄品に欠陥が発生する。そのため，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。

このような背景から，画像処理を利用した鋳鉄品の外観検査に自動化について研究し，検査装置を試作したので報告する。

2.　検査対象

検査対象は，砂型鋳造による鋳鉄品とし，生産量が多く 1kg 以下と比較的小型の物とする。鋳鉄品には，画像処理による自動検査を難しくする次の特徴がある。

①鋳肌表面はざらざらしていて，欠陥部と正常部の区別が難しい。

②複雑形状であり，曲面，垂直面および溝などがある。

③製品番号として凹状または凸状の刻印を付けるが，欠陥との区別が難しい。

(a) 検査対象　　(b) 欠陥例

図 1　検査対象と欠陥例

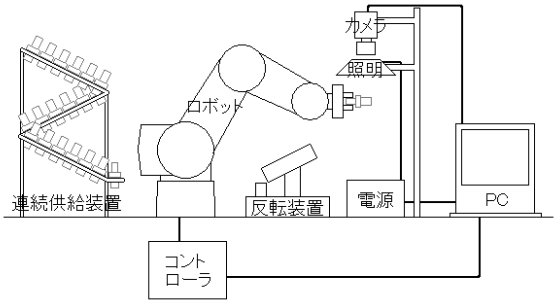


図 2　システム構成

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

上記鋳鉄品の特徴の影響を受けにくい検出方法を検討した。

今回は，産業用機械の部品であるピンクランクを対象とし，外観と欠陥例を図 1 に示す。このような表面上の凹状と凸状の欠陥を画像処理で検出する。

3. 外観検査装置

試作した外観検査装置のシステム構成を図 2 に示す。カメラで対象となる鋳鉄品を撮像し，画像処理用パーソナルコンピュータで画像を解析し欠陥の有無を判別する。照明には LED 照明を利用し，画像を撮像する時のみ点灯するようパーソナルコンピュータで制御する。検査対象となる鋳鉄品を連続供給装置にセットし，多関節型ロボットが 1 個ずつ保持し，カメラの下に移動させ向きを変えて全面を検査する。解析する画像サイズは 640×480 画素である。また，本研究で検出する欠陥の大きさは縦横とも 1mm 以上，凹状の欠陥の深さと凸状の欠陥の高さは 1mm 以上とする。

図 3　連続供給機構

4. 鋳鉄品の連続供給機構と反転機構

鋳鉄品の外観検査を自動化するためには，これらを連続的に供給する仕組みが必要となる。小型で軽量な対象であれば，モータの振動を利用して整列するパーツフィーダを使えるが，鋳鉄品のような中型・大型のパーツは振動で整列させることが困難である。そのため，鋳鉄品を連続的に検査装置に供給する機構を製作した。

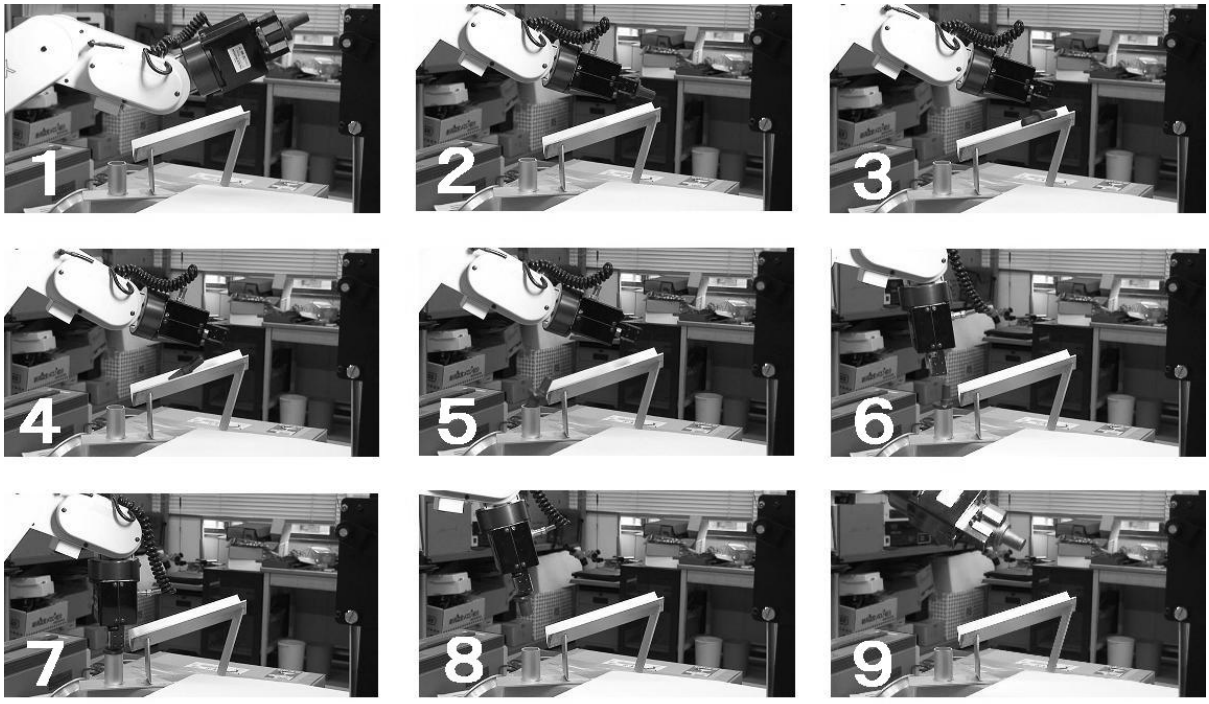


図 4　反転機構

また，全面を検査するため，途中で鋳鉄品を反転させロボットで持ち替える機構を製作した。

4.1　連続供給機構

連続供給機構の外観を図 3 に示す。螺旋状の滑り台のような構造をし，1 番下の鋳鉄品をロボットが掴むと，他の鋳鉄品の自重で全体が 1 個ずつ下に滑り降りる。検査の前に，この連続供給機構に鋳鉄品を多数セットしておけば，供給を含めて検査を自動的に行うことができる。

4.2　反転機構

全面を検査するために，鋳鉄品の片側をロボットハンドで保持するが，この保持した側に欠陥がある可能性もあるため，こちら側も検査する必要がある。そのため，滑り台のような構造の反転機構を製作した。図 4 に示すとおり，ロボットは最初にクランクの太い方を保持して細い方を検査し，その後，鋳鉄品を反転機構の右上で離すと鋳鉄品は左下に滑って円柱に細い方を上にして収まる。ロボットは，この細い方を保持して反対側の太い方を検査する。

5.　前処理

鋳肌の表面はざらざらしており，欠陥部と正常部の区別が難しいため，これらを区別しやすくする前処理方法を検討した。

5.1　評価方法

最初に前処理の評価方法について述べる。カメラのある走査線の明るさの変動を図 5 に示す。欠陥部分の波形を検出すべき信号 S とし，ノイズ N は正常部分の信号の標準偏差の 3 倍（3σ）とし，S/N を評価値とした [1]。この値が大きいほど，鋳肌表面のざらざらの影響が小さく欠陥部分を検出しやすくなる。

5.2　前処理フィルタ

先の図 5 に示すとおり，鋳肌の正常部分の信号は周期が細かく高周波の成分であることがわかる。そのため，この高周波成分を除去するため平滑系のフィルタ（平均値フィルタと中間値フィルタ）の窓の大きさを変化させた時の S/N を計算した。平均値フィルタはある画素とその周辺の画素の平均値に，中間値フィルタはある画素とその周辺の画素の中間値に変換する。計算結果を図 6 に示す。窓サイズが 4×4 画素の中間値フィルタで S/N が最大となった。

中間値フィルタは，中間値の計算に並べ替えを行うた処理時間がかかるが，SIMD（Single Instruction Stream Multiple Data Stream）を効果的に利用すれば，計算時間を約 1/10 に短縮できる。

6.　欠陥検出

LED 照明を鋳鉄品の表面に照射してカメラに取り込むと，欠陥部分には光が当たらず黒くな

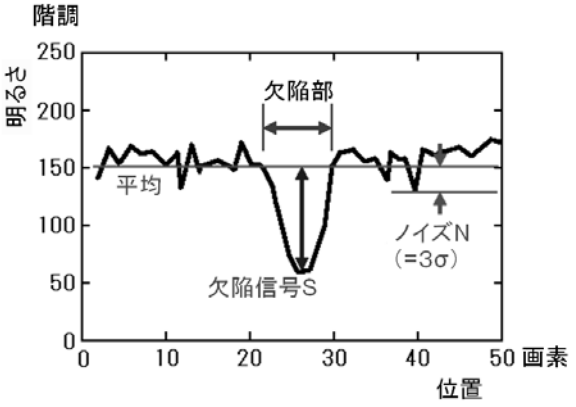


図 5　システム構成

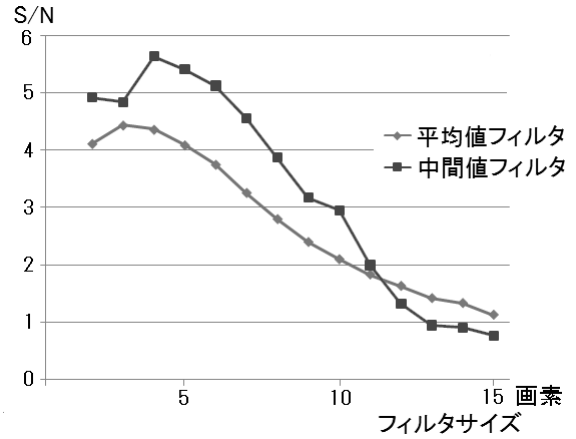


図 6　前処理フィルタの効果

る。これを画像処理で検出する。LED 照明の取り付け角度を約 60 度とし，撮像した原画像に 4×4 画素の中間値フィルタ処理を加え，2 値化して欠陥を検出した。2 値化には，照明の明るさの変動を考慮した動的 2 値化を適用した [2)]。また，欠陥を検出するためには十分強い光を照射する必要があるが，その領域が限られるため，画像処理の領域を設定した。

6.1　動的 2 値化

照明の明るさは時間とともに変動するため，2 値化のしきい値を決まった値にする固定 2 値化では，図 7 に示すとおり誤った欠陥検出をする可能性がある。そのため，平滑画像を生成し，原画像と平滑画像の差分を 2 値化した。その様子を図 8 に示す。この方法は，照明の明るさ変動の影響を除去でき，安定した欠陥検出が可能となる。平滑化は原画像に 15×15 画素の平均化処理を行った。動的 2 値化は，場所によって明るさが異なる画像でも，平滑画像を利用することで傷や欠陥のみを検出することができる。

6.2　領域設定

検査対象となる鋳鉄品は曲面のため，側面を検査する場合は明るさが場所によって極端に異なる。そのため，検査領域を設定する必要がある。また，上面を検査する場合は，突起により

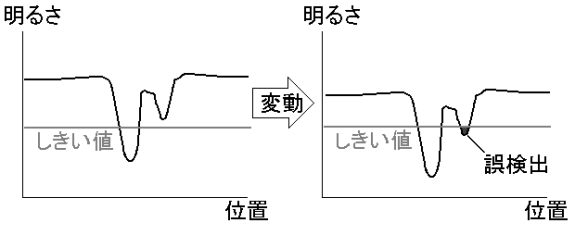


図 7　固定 2 値化

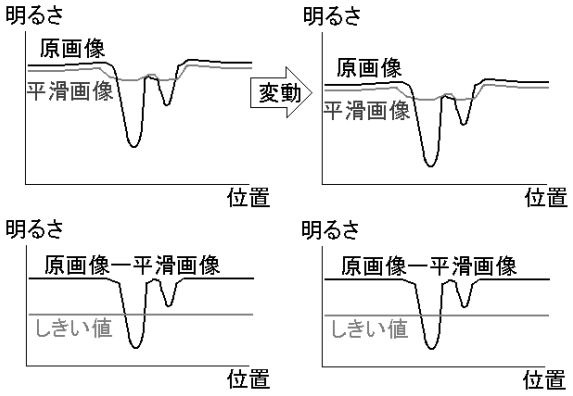


図 8　動的 2 値化

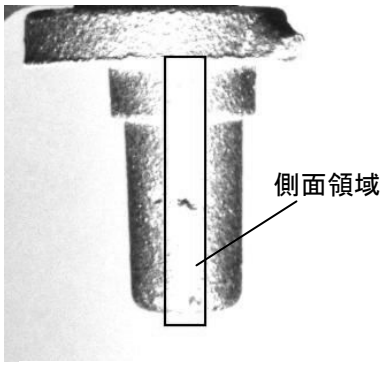
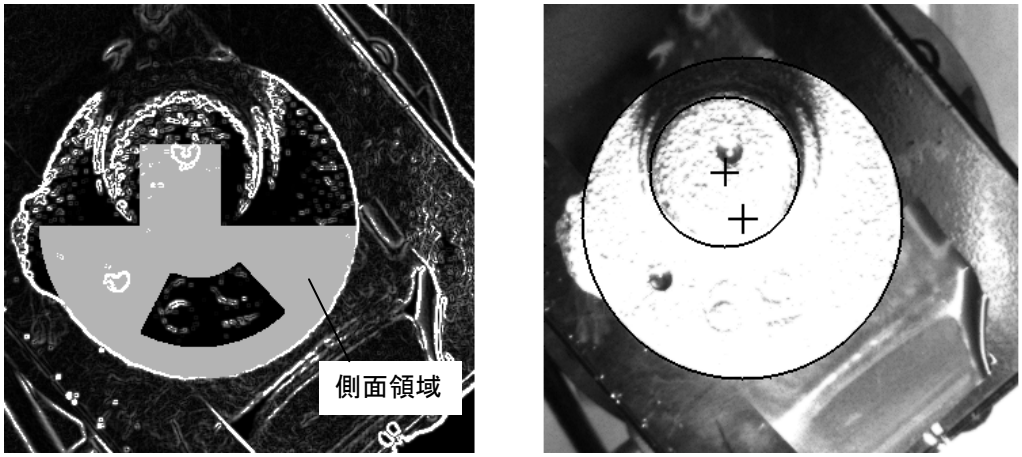


図 9　側面検査



(a) 検査領域　　(b) 2 つの円の検出

図 10　上面検査

陰が生じるため，検査ができない領域が発生する。同様に上面検査でも領域を設定した。側面と上面どちらも検査領域が限られるため，検査対象をロボットで回転させて画像を取り込み，これを繰り返すことで全面を検査した。

側面を検査する場合の検査領域を図 9 に示す。また，上面を検査する場合は図 10 に示すとおり，陰の部分や照明の弱い部分を検査領域からはずし，図 9（a）の灰色で示す部分を検査領域とした。さらに，凹状の文字は欠陥との区別が難しいため，検査領域からはずした。検査領域の設定は，画像のエッジを検出し，図 9（b）に示すとおり，ハフ変換で検査対象の外側の円と突起部分の内側の円を検出し，2 つの円の位置関係から文字の位置を算出した。ハフ変換では円の直径を指定して，計算時間を短縮した。

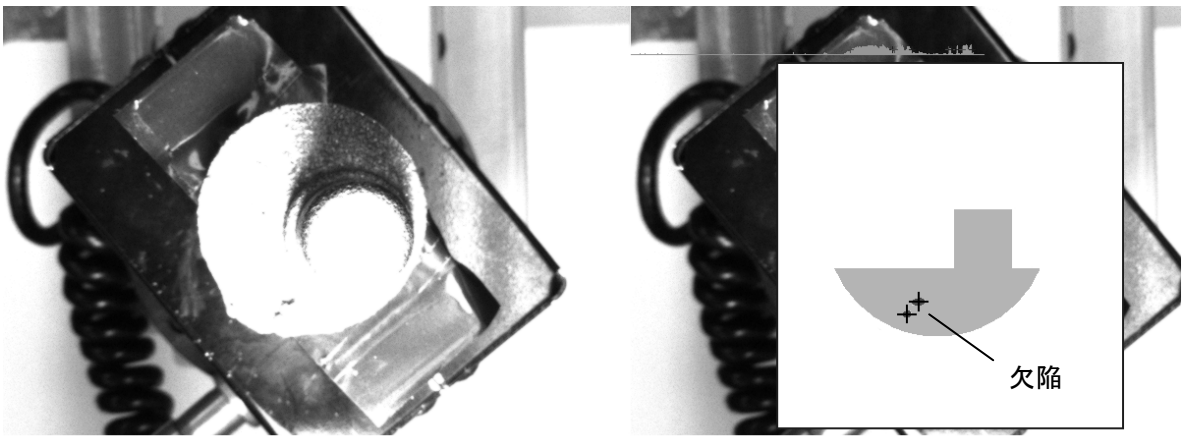
7. 実験と結果

欠陥のある鋳鉄品を画像処理し，図 11 に側面検査の結果を，図 12 に上面検査の結果を示す。どちらも，左側は原画像，右側は検出結果である。側面と上面で凹状と凸状の欠陥を検出できることを確認した。ロボットハンドが鋳鉄品を傾いた状態で保持すると，設定した検査領域から鋳鉄品がはずれてしまうため，鋳鉄品の曲面に合わせたアタッチメントを製作し，ロボットハンドに取り付けて傾かないようにした。

現在手元にある不良品のサンプル数は 10 個と少ないため，次年度，本試作機を工場に持ち込み多くの鋳鉄品を検査し評価を行う予定である。

(a) 原画像　　(b) 検出結果

図 11　側面検査



(a) 原画像　　(b) 検出結果

図 12　上面検査

8. 結　　言

（1）平面型の LED 照明を使い強い光を照射することで，凹状と凸状の欠陥がはっきりと表れた。

（2）平滑化フィルタを用いて鋳鉄品の欠陥画像の SN 比を向上させることができた。

（3）動的 2 値化処理による欠陥検出で，鋳鉄品の良否の判別を行うことができた。

参考文献

1）染次孝博ほか，“鋳鉄部品表面の凹状欠陥自動検出システムの開発”，精密工学会誌，Vol.63，No.10，1997，p1412-1416.

2）石井明ほか，“画像処理応用システム”，東京電機大学出版局，2000，p156-160.