

鑄造加工部品の外観検査に関する研究

上 菌 剛*

Study on Visual Inspection of Casting Part

Tsuyoshi UEZONO

砂型を用いた鑄造加工部品は、不規則な素地模様や複雑な形状からカメラによる外観検査が難しいとされている。本研究では、県内企業から外観検査の要望が高い鑄造加工部品（ナット）をモチーフに、ピンホール、へこみ、こぶ、素地荒れ等の不良を照明や撮像方法を検討し、画像処理により検出した。外表面の不良は、ハレーションを起こした画像から素地模様をキャンセルして判別し、86%の正答率を得た。内側加工面は円錐ミラーに写る画像を撮像する環境を構築し、ねじ模様をキャンセルした画像で1mm以上のピンホール不良を判別した。

Keyword : 画像処理, 外観検査, 鑄造, 不良, 円錐ミラー, ハーフミラー

1. 緒 言

カメラを用いた外観検査は、キズ、バリ等の不良の検査や形や大きさの判定、ラベルやマークの検査などの多方面で広く用いられている技術である。一般的には均一な形状をしたもの、平らな面を持つものについての検査が行われている。一方で複雑な形状や不規則な素地模様、ねじ山などを有する鑄造加工部品は、特徴抽出の難しさから自動検査の難易度が高くなり、またコストが高くなるなどのことから目視による検査が行われている場合が多い。しかし、生産効率の向上や信頼性向上のためには自動検査が必要であり、目視検査で対応している県内企業から要望の声は高い。本研究では、県内企業が目視検査で月産7万個程出荷する鑄造加工部品（ナット）を対象に、自動検査の実現に向けた研究を実施した。

2. 実験方法

2. 1 サンプル特徴と不良の種類

サンプルの鑄造加工部品（図1）は、形状が8角形で、外側の表面に見える素地は砂型を転写した梨地になっており、内側は切削加工により鏡面部分とねじ山が形成されている。発生する不良は、ピンホール、へこみ（以下、凹部）、こぶ（以下、凸部）、素地荒れ、カケ等がある。ピンホールと凹部の不良は内部にできた鑄巣が表面に出現したものである。凸部、カケの不良は、砂型の不具合により発生した金属こぶや欠損である。素地荒れとは内側を切削加工する際のチャッキングにより変形して若干の勾配を持つ状態のことである。

① 外表面検査用サンプル

外表面の検査には、製造現場で不良と判断された37不良を対象とした。

② 内側加工面検査用サンプル

内側加工面の検査には、サンプルの側面からドリルで貫通穴を開け、サンプル内面に擬似的なピンホールの不良を作り込んだサンプル1個を用いた。貫通穴は直径2mm、1mm、0.5mmの3種類とした。

外表面の検査に用いたサンプルの不良内容を表1に、代表的な不良の画像を図2に、ドリルで穴を開けた内側加工面の検査用サンプルの画像を図3に示す。

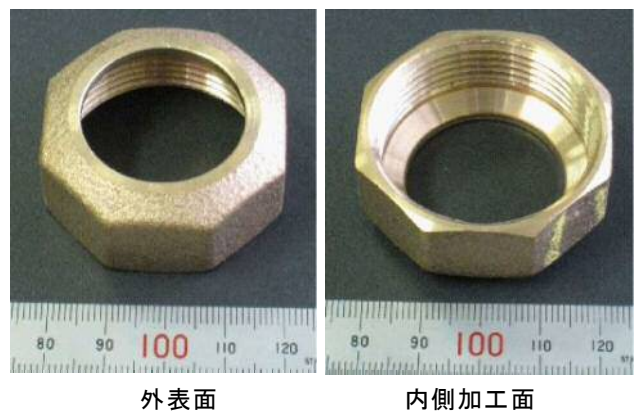


図1 鑄造加工部品（ナット）

表1 外表面検査用サンプルの内容

種類	不良数	不良の大きさ(mm)
ピンホール	2	0.5～1
凹部	10	1～4
凸部	14	1～3
素地荒れ	8	2～10
カケ	3	5～10
合計	37	

*生産技術部

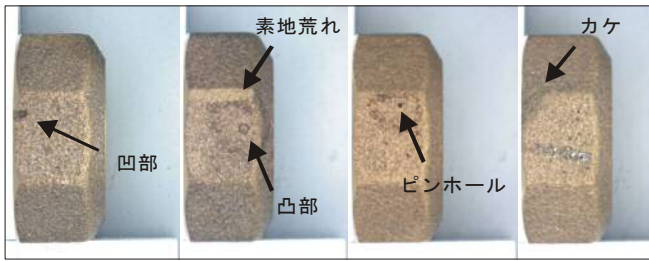


図2 代表的な不良



図3 ドリルで貫通穴を開けた検査用サンプル (直径2mmの穴を3個開けた側面の写真)

2. 2 外表面の撮像方法

外表面はすべてを一度に撮像できないため、8角形の平坦な1側面について検討を進め、その結果を残りの平面に展開することとした。サンプルの1側面について、図4に示す方法で撮像した。照明は落射照明を用い、サンプルからの正反射がカメラに入射する明視野受光で撮像した。素地模様の凹凸と不良による凹凸の明度を比較すると、後者が断然大きいため、不良による反射光は相対的に小さくなる場合が多くなる。素地模様の凹凸による明度のばらつきを測定範囲外に置くことで、不良の凹凸を出現させることができる考えたため、カメラの絞りを調節することで、ハレーションを起こした画像(以下、ハレーション画像)を得て不良部分を判別する手法を用いた。

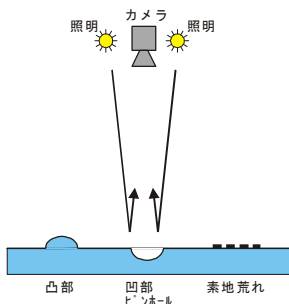


図4 外表面の撮像

2. 3 内側加工面の撮像方法

内側加工面の撮像は、直視ではねじ山の死角により不良が撮像できない可能性があることから、ミラーを用いて反射像を撮像する構成とした。撮像の構成図を図5に、構築した撮像システムを図6に示す。サンプルは開口部の広い方を下向きに設置し、その中心位置に円錐ミラーを設置した。照明は偏りのない光とするために面照明を用い、下方から照射する構成とした。カメラは上部に設置し円錐ミ

ラーに写り込む像を撮像した。取得した画像において、ミラー頂点部から一定距離の同心円上にあるすべての画素を、円から線分に座標変換した。サンプルを移動させ、ミラーに写り込む画像を1ドット分ずらして、同様の座標変換を繰り返し、得られた複数の線分を順番に並べることでより内側加工面の平面画像を得た。サンプルとミラーの位置合わせ及び高さ方向の駆動のために電動XYZステージを用いた。

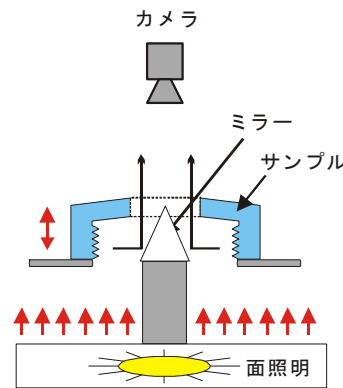


図5 内側加工面の撮像

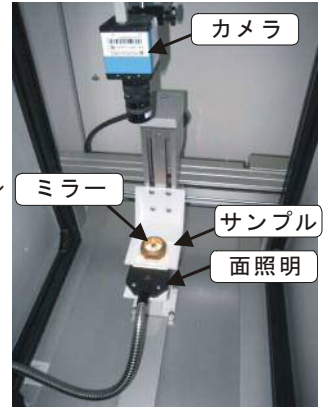


図6 構築したシステム

3. 結果及び考察

3. 1 外表面の不良判定

用意した37不良のサンプルについて検討した。代表的な不良の撮像結果について、ハレーション画像(上段)と対象面のみを抽出した2値化画像(下段)を図7に示す。矢印はそれぞれ不良の位置を示している。

素地模様の凹凸が小さいため、ハレーション画像ではその明度の差がダイナミックレンジを超えたところであり画像には現れない。一方、不良部分は素地模様の凹凸と比較して高低差が大きいため、不良部分が作る影が画像に現

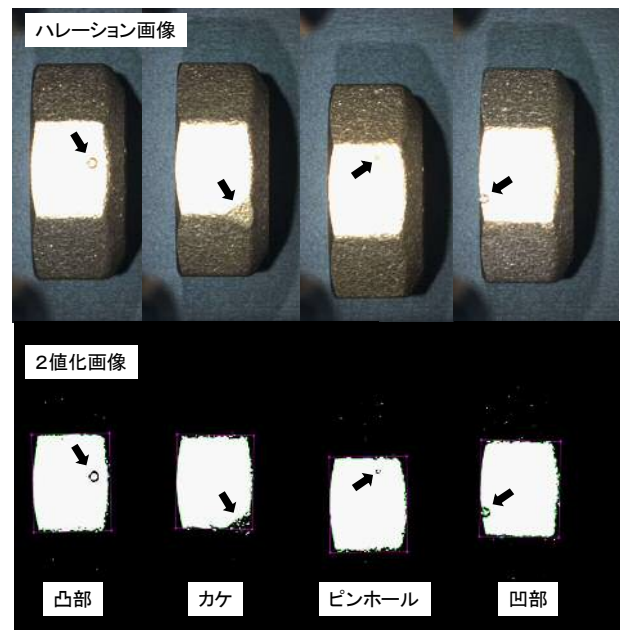


図7 ハレーション画像と2値化画像

れ判別が可能になる。

2値化画像は、明度を基準に一定の閾値でハレーション画像を2値化した結果である。ハレーション部分は明度が250以上（MAX255：8ビット）で、不良部分やその他の背景部分と区別することができる。

不良判別の方法として、2値化画像の白色部分について次の5項目の特徴量で判別を実施した。5項目の内容を図解したものを図8に示す。

① 最大領域の面積

白い塊のもっとも大きなものを指し、その面積は画素数である。良品は一定範囲の数値に収まる。

② その他の面積

①の最大領域以外の白い塊の画素数の総和である。凸不良やカケ不良、素地荒れで大きくなる場合がある。

③ 輪郭長さ

①の最大領域の輪郭線を構成する画素数である。カケ不良による輪郭線の乱れから大きくなる場合がある。

④ 長辺長さ

①の最大領域を内包する最小四角形の長辺長さである。凸不良やカケ不良などで長くなる場合がある。

⑤ 黒い部分

①の最大領域内に存在する黒い部分である。平面素地内にある不良（ピンホール、凹部、凸部）により発生する場合がある。

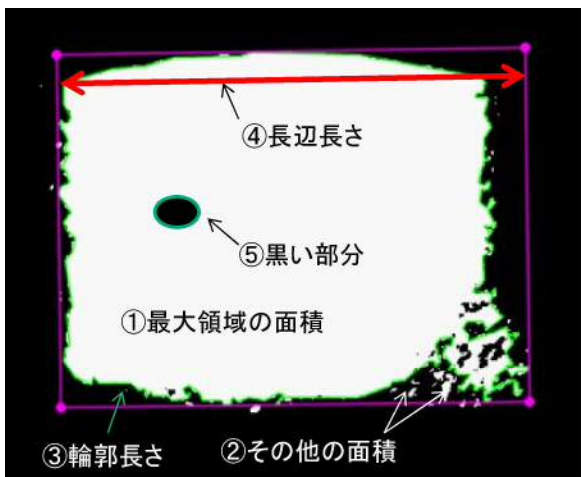


図8 判別5項目の図解

一例として、②その他の面積の数値を良品と不良品で比較した結果（一部）を図9に示す。不良の状態によっては良品と変わらないサンプルもあるが、大きく変化しているサンプルが多数あることが確認できる。

5つの判別項目を用いた37不良の判別結果を表2に示す。全体で86%の正答率を得た。ピンホールの判別ミスは、穴径が0.5mmと小さくて特徴を画像として捉えられなかったためである。凸部の判別ミスは、金属こぶの盛り上がり方がなだらかで、特徴を画像として捉えられなかったため

である。素地荒れの判別ミスは、チャッキングによる勾配が小さくて特徴を画像として捉えられなかったものが一つと、特徴は捉えているが、5項目の判別をすり抜けたものが一つであった。

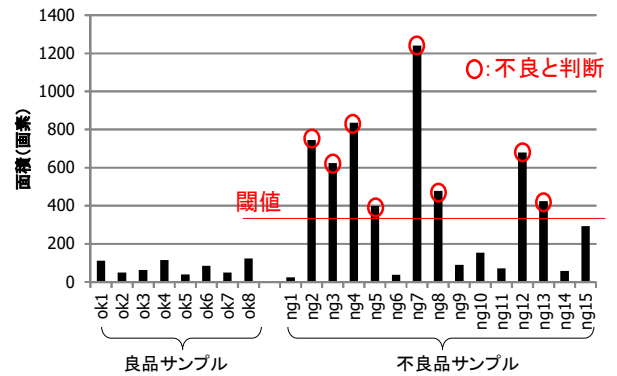


図9 良品と不良品の値の差
(②その他の面積の総和（一部）)

表2 判別結果

	正答率
ピンホール	1 / 2 (50%)
凹部	10 / 10 (100%)
凸部	12 / 14 (86%)
素地荒れ	6 / 8 (75%)
カケ	3 / 3 (100%)
総合	32 / 37 (86%)

3. 2 内側加工面の不良判定

まず、円錐ミラーに写り込んだ画像の座標変換が正しく実施できているかを確認した。サンプルの内側に文字を印刷した紙をはめ込み（図10）、前述の実験方法により取得した平面画像（図11）には、印刷した紙の文字と同様の文字が確認できた。同様の方法で取得した内側加工面の平面画像を図12に示す。ねじ山模様の中にドリルの貫通穴が写っていることが確認できる。

取得した平面画像は、ねじ山に起因する濃淡の帯が画像



図10 文字判別のサンプル

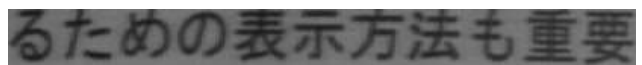


図11 平面に再構成した文字画像（一部）

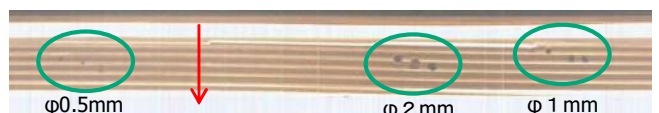


図12 平面に再構成したねじ山画像

全体に存在し、そのままでは不良の検出が難しい。そこで、ねじ山の山ー谷ー山（図12中の矢印方向）で平均化することを考えた。矢印方向に画素を見ると、20画素の周期で同じ部位が繰り返されることから、ねじ山部分の特徴すべてがこの20画素に均等に凝縮されていることになる。この方法で画像全体を平均化し、ねじ山の模様をキャンセルした（図13）。

さらに画像全体を見ると、上下両端に切削面の白い帯部分があったり、その白い帯部分とねじ山部分との境界がグラデーションになっているなど、そのままではしきい値による不良抽出が難しい。ここで、図13に示す①白い部分、②白い部分とねじ山部分の境界、③ねじ山部分（不良を含む）の横方向3ラインについて明度のプロファイル及び平均値、標準偏差をとった（図14、表3）。すると、平均値は大きく違うものの、標準偏差は大きくないことが分かった。一方で、不良部分については大きな差を確認した。そこで、横方向1列分の画素の平均値を基準にして、そこから一定以上の差があるものを不良として判別することとした。この方法は、画像全体を一つのルールで処理できるため効率的である。この手法で不良判別した結果を図15に示す。白部分を不良部分として表現している。2mmと1mmの

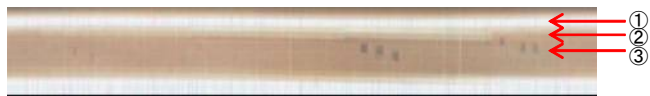


図13 ねじ山模様をキャンセルした画像

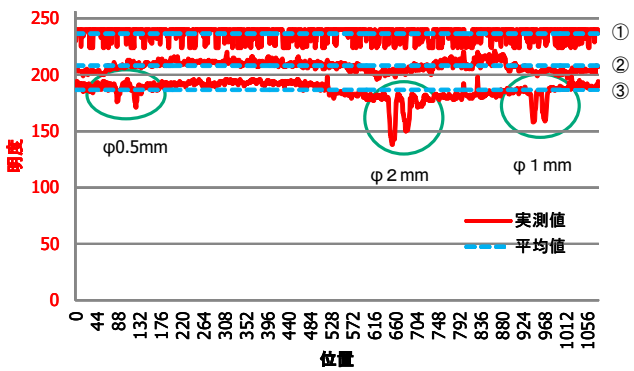


図14 明度のプロファイル

表3 各ラインの平均と標準偏差

	①	②	③
明度平均	236	208	187
標準偏差	6	4	8



図15 判別結果

穴については判別できたが、生産現場の検査手順書にある不良品しきい値である直径0.5mmの穴は判別できなかった。改善の方法としては、サンプルと円錐ミラーの中心軸のズレを小さくして明度の不均一を改善し、標準偏差の値を小さくすることで、不良判定のしきい値をもっと厳しく設定できる可能性がある。

3.3 生産現場への適用の検討

外表面と内側加工面の検討を踏まえて、生産現場への適用方法について検討した。外表面に関しては、8角形の1平面についての検討結果を他の7面についても適用し、また上面と下面についても同様の手法が適用できると考える。内側加工面は前述の結果をそのまま利用する。カメラや照明の位置関係を考慮した結果、1台のカメラで短時間に撮像する図16のようなシステムを提案する。

図16において、サンプルの上面はやや円錐状の傾きを持った形状となっている。そのため、照明1はリング照明が適しており、また照明の正反射を得ることが可能な位置に設置する。側面は8つの面それぞれに正対する8つの照明2を準備し、ハーフミラーを用いて反射像を撮像する。サンプルのハンドリングはロボットアームを想定した場合、下面はハンドリング途中でカメラに正対させ撮像する。必要な照明のみ点灯しながら順次撮像することで、これまでの検討と同じ画像を短時間で得ることができる。

ハーフミラーは光の一部を透過し、残りの光を反射する。図16においては、照明光の一部が透過してサンプルに照射され、サンプルで反射した光の一部がハーフミラーで反射してカメラに到達する。カメラで直接撮像した画像とハー

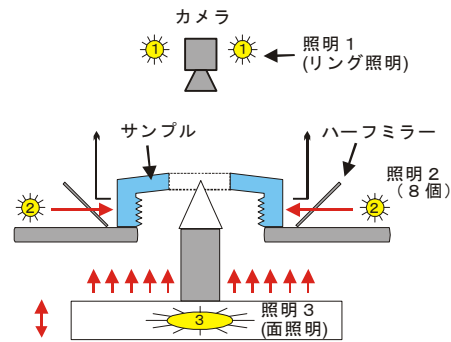
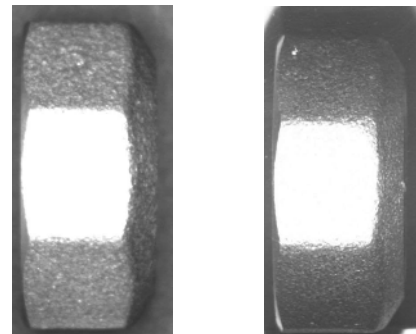


図16 生産現場に適用するシステム案



直接撮像 ハーフミラー撮像
図17 ハーフミラーの検討画像

フミラーを通して撮像した画像を図17に示す。ハーフミラーを用いても同等の処理が可能なハレーション画像が得られていることが分かる。

4. 結 言

外観検査の自動化が実現していない鋳造加工部品をモチーフに、その実現の可能性について検討した。判別率の向上及び現実的な処理時間への対応については、さらに検討が必要であるが、以下のような結果を得た。

(1) 落射照明による正反射像を撮像することで、鋳造加工部品の特徴である素地模様（梨地）をキャンセルすることが可能になった。用意した37個の不良での検証結果では86%の判別率であった。

(2) ミラーを用いて反射像を撮像するシステムを構築し、サンプル内面を正確に撮像することが可能となった。撮像した画像を、ねじ山の山-谷-山方向に平均化し、横1列の画素の平均値をベースにしきい値を設定する簡素な判別手法を開発した。判別は1mm以上の穴が可能であった。

(3) 外表面と内側加工面の検討を踏まえて、生産現場への適用方法について検討し、1台のカメラで短時間に撮像するシステムを提案した。

参 考 文 献

- 1) 奥水大和ら：目視検査の自動化技術，（1995）