Vol.2018-CDS-22 No.12
2018/6/1

画像処理による鍛造部品欠陥検出の検討

山﨑達也[†1]　福井暉斗[†1]

概要：鍛造とは金属をたたいて成型加工する技法であり，金属製造における主要な工程の一つである．鍛造部品の品質を保つことは製品の性能や安全性の面から大変重要であり，部品に欠陥がないかを目視により判定しているが，作業者にとって大きな負担となっている．人の目視検査に代わる欠陥検出手法としてレーザ測定や画像処理の実用化が求められ，研究開発が進んでいるが双方の比較検討はほとんど行われていない．そのため，一つの部品に対して両者の手法を適用した欠陥検出結果について実験を行った結果を報告する．

キーワード：鍛造部品，欠陥検出，周波数分析，画像処理

Study on Defect Detection for Forging Parts by Image Processing

TATSUYA YAMAZAKI[†1]　AKITO FUKUI[†1]

Abstract: Forging is the process of forming and shaping metals by making use of hammering or pressing. Forging is one of the main processes in metal production. Keeping quality of forging parts high is very important from the viewpoint of performance or safety of the products. Since forging part quality is checked by human worker eyes whether there is any defect, it imposes a lot of loads to the workers. Although the defect detection is expected to be substituted by laser measurement or image processing instead of human eyes, comparison of both methods has hardly been carried out. In this report, experimental results to detect defects by both methods are described for one forging part. Especially, comparison between frequency analysis by Fourier or wavelet transform and image processing is reported.

Keywords: Forging parts, Defect detection, Frequency analysis, Image processing

1. はじめに

鍛造は金属をたたいて成型する加工法で，自動車部品の製造等に用いられている技術である．鍛造部品の生産量は近年増加し続けており，鍛造業の製造現場は繁忙を極めているが，工程の中でボトルネックの一つとして挙げられるのが，製造ラインの最終段階で行われる外観検査である．現在，外観検査は通常目視で行われている．外観検査で検出すべき欠陥の種類には打痕，肌荒れ，欠肉，加肉，傷などがあり，これらの欠陥を全て人が目で見て判断しなくてはならない．目視による判定は，高精度であることはもとより，一つの部品の判定に要する時間は平均 5 秒以下が求められるなど，厳しい条件が課せられている．そのため，外観検査を行う人にかかるストレスと，長時間継続した場合に避けられないヒューマンエラーが課題である．

鍛造，鋳造，プレス加工などで成型される部材の検査には，X 線計測，三次元計測や画像処理のような手法が用いられることが多い[1][2]. 三次元計測ではラインレーザ光を用いる場合があり，一方画像処理では CCD カメラで撮影された部材の静止画像が通常用いられる. いずれの場合も，鍛造部材の表面にある細かい凹凸が誤過検出の要因となっている，この凹凸はショットブラスト痕と呼ばれ，研削の結果として残る直径 0.1mm ほどのクレータ状の痕で，位置はランダムに生じる．

欠陥の検出は，原理的には部品の表面の三次元形状の変化が周囲とは異なることを発見することであると言える．三次元形状を把握する方法としては，部品にレーザ光を照射して，その反射光により距離を検出するレーザ測定が有効である場合がある．レーザ測定には種々の測定方法があり，分解能がマイクロメータのオーダまで出せるなど高精度ではあるが，一般に装置が高額となる．

部品欠陥の検出の自動化を目指す上で，「周囲とは少し異なる領域」を如何に定義するかが重要な点であると考える．レーザ測定では，物体までの距離という物理的情報を通常は一次元のライン計測で行うだけであり，周囲との違いを感知するには空間情報を有効に活用しているとは言い難い. これに対して, CCD カメラによる画像処理手法では，撮像データは二次元であり，複数のカメラからの画像を組合せることも可能なため，欠陥検出のために多様な処理を工夫することが可能である．青木ら[3]は，人間が持つ「周囲とは少し異なる領域に気付く」メカニズムに着目し，視覚生理機構の知見に学んだ傷の気付き処理を提案している．また，検査員がいろいろな角度から目視検査を行っていることから，光源から光を照射する際に縞状のスリットを用い，スリットをシフトすることによる反射光の輝度変化を利用する，Slit Shift Min/Max 法（SSMM 法）が提案されている[4]．SSMM 法は艶あり塗装品やメッキ品に適用され，線キズなどの検出に成功している．

†1 新潟大学
Niigata University

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

別の観点から欠陥検出を考えてみる，もし欠陥が全くない部品の画像（以下，マスター画像）が利用できるとすれば，マスター画像と比較することで欠陥部分の検出が可能であることは容易に推測できる．しかしながら，この原理に基づいた手法を現場に導入するにはいくつかの課題がある．特に，個々の部品のばらつきが，高速かつ高精度なマスター画像との比較処理を妨げている要因と考えられる[5]．この課題に対し，搬送系と撮像系を一体化して部品の姿勢の安定化を行い，複数のカメラで撮像することを導入した上で，外観検査装置の製品化まで行っている事例がある[5]．とは言え，個々の部品のばらつきを全くなくすることは非常に困難であり，マスター画像との比較の際に固体差に起因する欠陥の過誤検出が生じてしまう．前述したように，検査員は部品を照明に対していろいろな角度にかざして見ていることから，複数の角度からの撮像画像を重ね合わせて用いることで，マスター画像を用いずとも周囲と異なる部分を検出する手法が提案されている[6]．

以上のように，鍛造部品の欠陥の自動検出に対して，大きくレーザ測定による手法と画像処理による手法があるが，両者の検出結果を比較検討した報告はないようである．本稿では，一つの部品に対して，両者の手法を適用した場合の欠陥の検出結果について報告する．

2. レーザ測定データに対するフーリエ変換による欠陥検出

まず，レーザ測定により得られた部品の高さ情報を用いて欠陥検出を行う．全体処理の流れを図 1 に示す．高さ情報は数値で得られるので，それを画素値とみなして画像として扱う．検査対象画像とともにマスター画像も得られているという前提で処理を行う．最初に前処理として輪郭部の影響の低減を行う．輪郭部は部品と背景との高低差であるため当然ながら欠陥ではない．その後の検査対象画像とマスター画像の差分画像を求める際に，完全に輪郭部が一致していれば問題はないが，実際には個々の部品のばらつきにより，輪郭部の高低差が残ってしまう．この問題を解決するために，事前に背景部を輪郭部の高さ情報で置き換える処理を，輪郭部処理として行った．図 2 に輪郭部処理の概念を示す．その後，検査対象画像とマスター画像の差分画像を求める．差分画像の一例を図 3 に示す．ただし，部品画像の一部を掲載することとする．

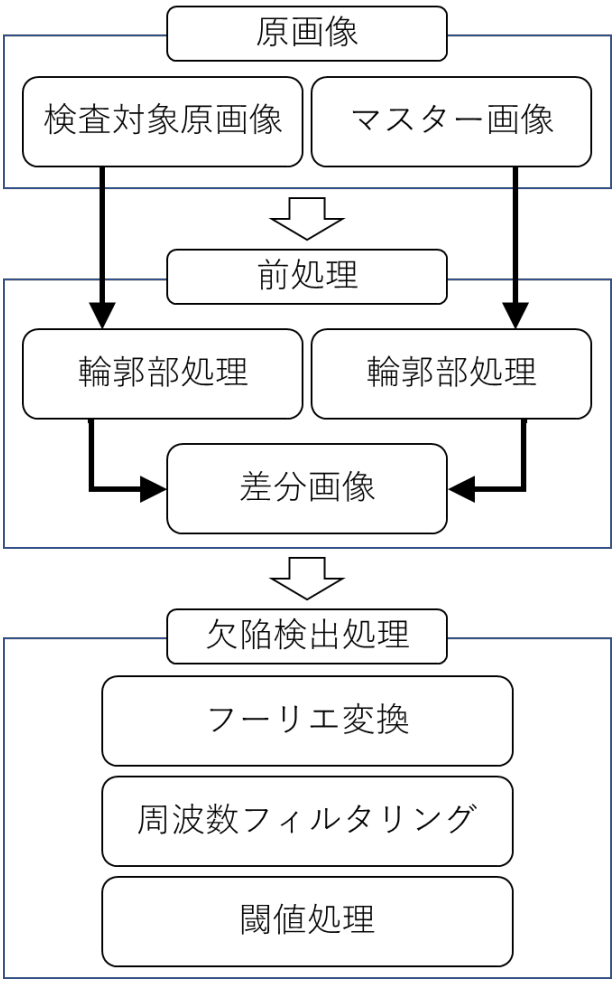


図 1　フーリエ変換による欠陥検出の処理の流れ

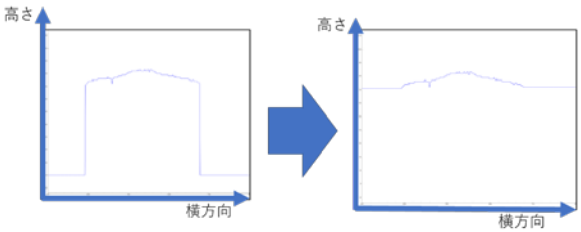


図 2　フーリエ変換による欠陥検出の処理の流れ

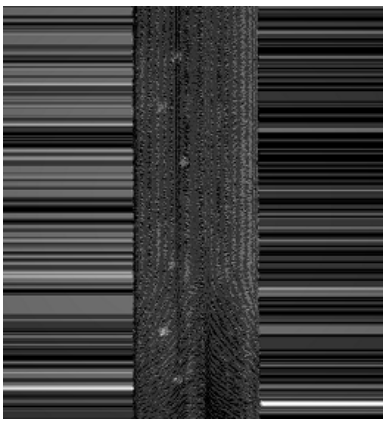


図 3　検査対象画像とマスター画像の差分画像

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

次に，差分画像にフーリエ変換(FT: Fourier Transform)を施した後に，帯域通過フィルタをかけ，逆フーリエ変換を行い，任意の周波数部分が強調された画像を得る．帯域通過フィルタの役割は，低周波数帯の部品の大まかな形状という大域的な画像の変化の部分と，高周波数帯のショットブラスト痕による変化部分を除外することにある．最終的に閾値処理により残った部分を欠陥部分として判断するが，その際に高さ情報から明らかに背景と分かる部分は除外するようにした．図 4 に逆フーリエ変換後，図 5 に最終的な検出画像の一例を示す．結果確認のため，傷の箇所を枠で囲んだ検出結果を図 5 に示す．図 5 中で白色の点が欠陥検出結果であるが，実際の傷の場所に緑色の枠を示し，さらに赤色で検出点を示している，また，本来は傷でない点の検出は青色で示している．輪郭部の一部が欠陥として検出されてしまっているが，これは検査対象画像とマスター画像の高さ情報自体の差が生じていたためである．

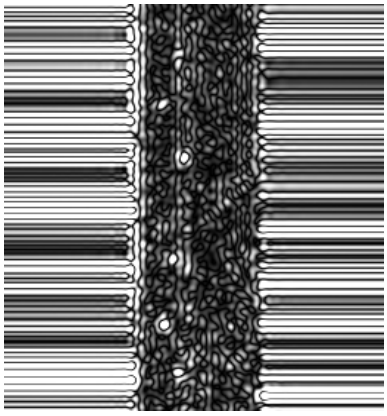


図 4　逆フーリエ変換後の画像

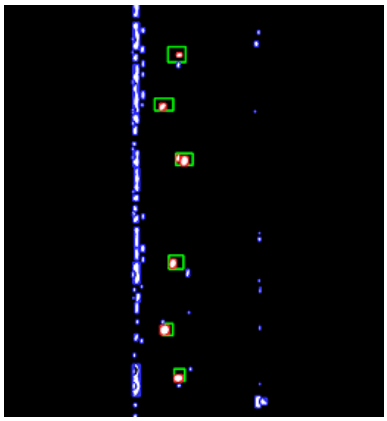


図 5　フーリエ変換による欠陥検出画像

3.　レーザ測定データに対するウェーブレット変換による欠陥検出

フーリエ変換では画像全体に広がる正弦波を解析するため，一般的に画像中の局所的な周波数変化を捉えることが困難である．これに対して，周波数解析における別の手法であるウェーブレット変換では，画像の局所的な位置における周波数変化を捉えられるという特長を持つ．ウェーブレットは有限長の波形という意味を持ち，画像内でどのようなスケールでウェーブレットが出現しているかを解析するためである．

処理としては図 1 中の「フーリエ変換」の処理モジュールを「ウェーブレット変換」に変更することになる．1 回の変換で得られた低周波信号の画像に，再起的にウェーブレット変換を施すことで，様々なスケールで解析することができる．本実験では，図 6 に示すような 6 回ウェーブレット変換を繰り返す多重スケール解析を行った．図 7 に逆ウェーブレット変換後，図 8 に最終的な検出画像を示し，図 9 に検出結果を光学画像上に表示した画像を参考に示す．



図 6　多重スケール解析に用いたウェーブレット

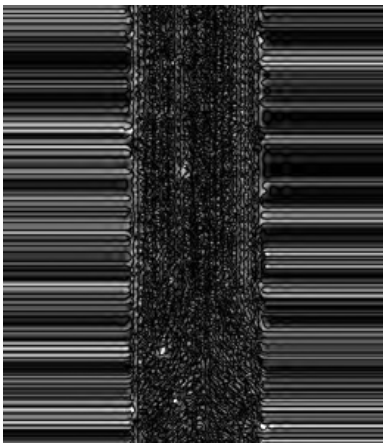


図 7　逆ウェーブレット変換後の画像

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

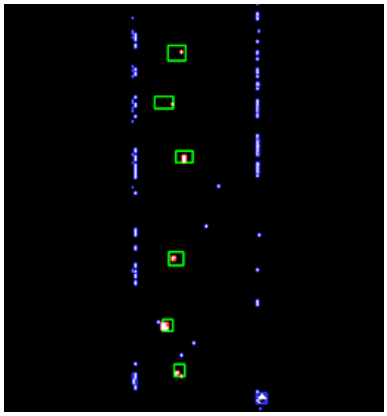


図 8　ウェーブレット変換による欠陥検出画像

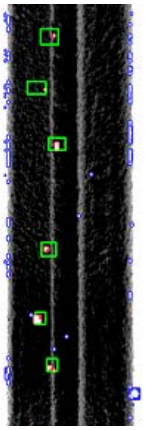


図 9　欠陥検出結果の光学画像上への表示

図 8，図 9 に用いた色は，図 5 における意味と同じである．

4. 画像処理による欠陥検出

前節の実験で用いた同じ部品に対し，光学カメラで撮像した画像のみの処理だけで欠陥を検出する．図 10 に全体処理の流れを示す．対象画像はグレースケール輝度の欠陥のある部品全体の画像であり，マスター画像は利用しない．

まず，前処理としてヒストグラム平坦化とガウシャンフィルタ処理を施す．前者により，明暗差が大きくなり，輪郭，ショットブラスト痕，傷などの特徴量が強調できる．また，後者の処理は画像のエッジ特徴をぼかす効果があり，ショットブラスト痕の影響の軽減を目的としている．この場合，傷の特徴もぼかしてしまう影響もあるためパラメータ調整が必要であるが，本実験では試行錯誤によって決定している．

次に，前処理を適用した画像から欠陥検出を行う．第 1 節に記述したように検出原理は周囲と特徴量の異なる部分の発見であるため，本手法では輝度情報の急激な変化をエッジ検出の一手法である Canny 法により抽出する．Canny 法でも閾値パラメータの調整が必要であり，試行錯誤で決定した．エッジという特徴量では，部品が本来持つ形状によるものや背景との境の輪郭部分も同時に検出されてしまう．これらは工業製品の特性から幾何学的な形状をしているため，長いエッジを直線として除去することにより，欠陥と区別することとした．そのため，ハフ変換による直線部分と，輝度情報のヒストグラムを平坦することにより得られる部品の輪郭を検出する．これら検出された直線と輪郭を Canny 法適用後の画像より減算することにより，欠陥検出を行う．

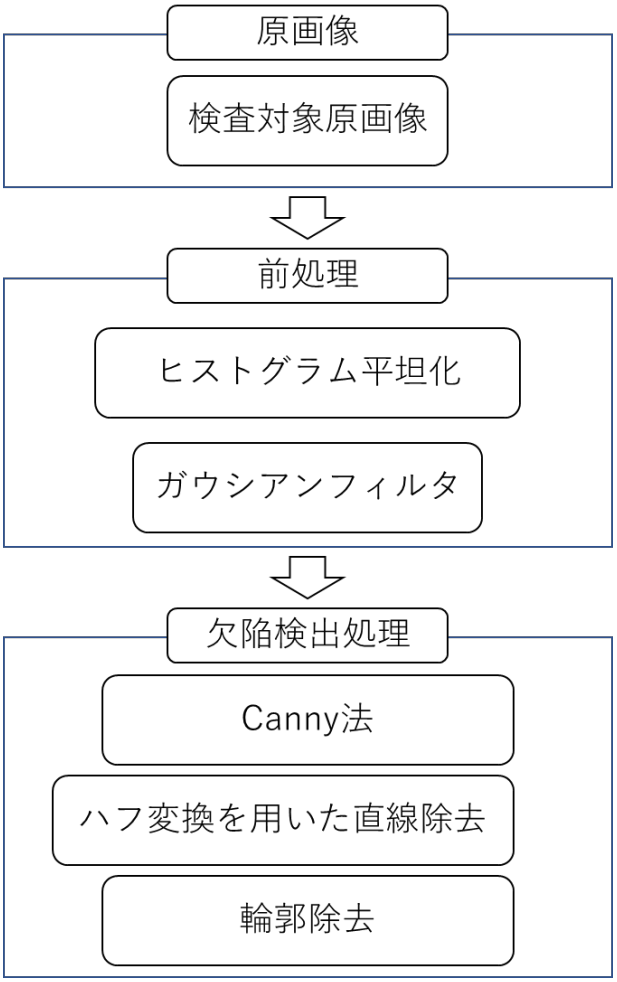


図 10　画像処理による欠陥検出の処理の流れ

図 11 に輝度画像，図 12 に Canny 法まで適用した処理結果画像，図 13 にハフ変換により検出された直線部分，図 14 に抽出された輪郭部分，図 15 に最終的な検出画像の一例を示す．図 13 及び図 14 では検出された直線と輪郭の部分を緑系の色で示している．図 16 に用いている色の意味は図 5 と同様である．

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

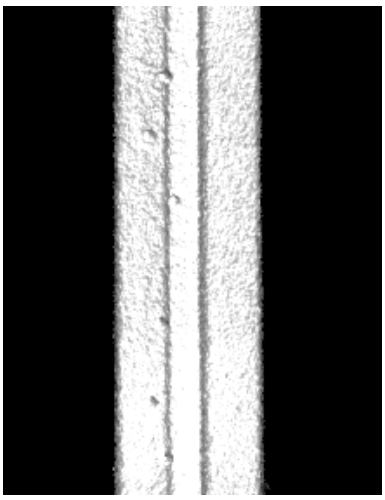


図 11　輝度画像

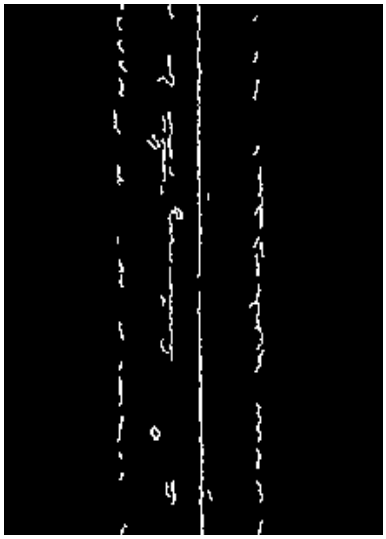


図 12　エッジ検出後の画像

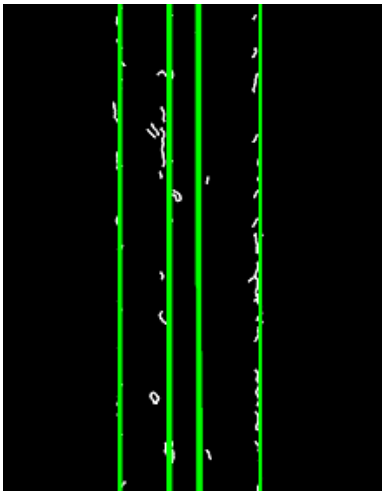


図 13　ハフ変換により検出された直線部分

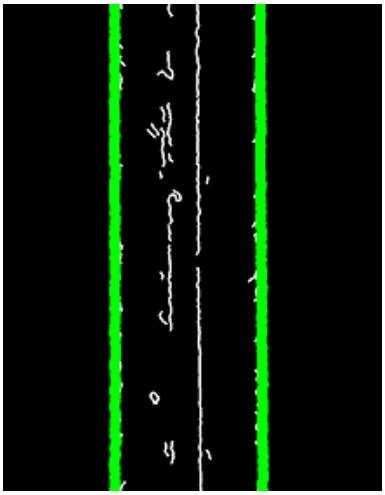


図 14　抽出された輪郭部分

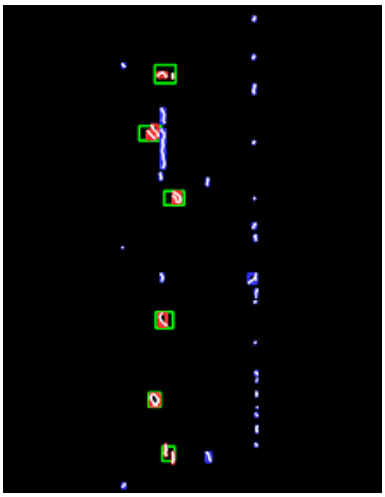


図 15　画像処理による欠陥検出画像

5. おわりに

鍛造部品における欠陥検出は製品の性能や品質，安全性を確保するために重要な工程である．現在は目視で行われることが多く，作業者の大きな負担となっている．欠陥検出の自動化のために，大きくレーザ測定による手法と画像処理による手法があり，本稿では，一つの部品に対して両者の手法を適用した欠陥検出結果について報告した．両者の性能は同等であると考えられるが，導入コストを考慮した場合画像処理手法に利があるようだが，画像処理は照明などの環境条件に左右されることがあるので，安定性を向上させることが優先課題の一つであると考える．

謝辞　本研究を進める上で，周波数解析に関して貴重な御助言を頂いた新潟大学工学部の村松正吾准教授に，謹んで感謝の意を表する．

参考文献

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

[1] 渡邊裕之，自動車用部材向け外観検査技術．電気製鋼, 2014, vol. 85, no. 2, p. 139-148.
[2] 渡邊裕之，自動車用部材向け外観検査技術．画像ラボ, 2015, pp.67-73, Oct. 2015.
[3] 青木公也，根来秀多，吉村裕一郎，舟橋琢磨，輿水大和，三和田靖彦，傷【のみ】に気付く、時空間【傷の気付き】処理．画像ラボ, 2015, pp.39-46, Oct. 2015.
[4] 菅野直，艶あり塗装品・メッキ品向け外観検査手法の開発．画像ラボ, 2015, pp.75-78, Oct. 2015.
[5] 吉田知宏，鍛造部品の外観目視検査を自動化する外観検査装置．画像ラボ, 2015, pp.60-66, Oct. 2015.
[6] 武藤功樹，伊藤尚起，柴田実頼，吉村裕一郎，青木公也，輿水大和，石井博行，検査員の【かざして見る】動作に基づく不良部位の見え方の“特異性”による外観検査．動的画像処理実利用化ワークショップ 2017 (DIA2017), 2017, no. OS4-5, Mar. 2017

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan