

マルチスペクトルカメラを用いた 鍛造物形状計測システム

吉門 翼[†], 長 元気[†], 盧 存偉[†], 押川 巧^{††}, 桑木 透^{††}

[†] 福岡工業大学大学院工学研究科 ^{††} 日本鑄鍛鋼株式会社

長さ十数メートル以上、温度 600~1200 °C の鍛造物の形状を誤差 5mm 以内で計測することができれば代表的な鍛造放重量で約 2 % の歩留まり改善が可能となり、多大な省資源・省エネが期待できるが、現状では高温の影響などによるノイズや酸化膜による表面色の急激な変化等の影響により、誤差数 mm 程度、計測時間数十秒程度の性能を有した計測方法及びシステムは存在せず、鍛鋼業界における大きな解決課題となっている。上記問題を解決する為に、本研究では近赤外情報と可視光情報を同時に取得できるマルチスペクトルカメラを用いて高速かつロバストに物体概形の抽出を行い、精度良い形状検出を行う。提案手法では、更に大型自由鍛造プレス形状を考慮し、抽出された鍛造物領域において画素強度勾配より輪郭検出を行いプレス痕を推定することで、精度良い熱間大型鍛造物の径寸法の計測をする。

Shape Measurement for Forged Object using Multi-Spectrum Camera

Tsubasa YOSHIKADO[†], Genki CHO[†], Cunwei LU[†], Takumi OSHIKAWA^{††} and Tohru KUWAKI^{††}

[†] Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology

^{††} Japan Casting & Forging Corporation

If the shape of the forged which length is ten meters or more, of 600~1200 °C can be measured within 5mm in the error margin, typical forged object makes the yield improvement of about 2 % possible, and a large saving resource and energy can be expected. However, There are no measurement method and system that has the performance of about a small measurement error and short measurement time, because the influence of temperature, an oxide film, form, etc. intense to measurement. In this research, we present a new 3D image measurement method, while use a Multi-Spectrum camera, to obtain the shape of forged object with a large-size and high temperature.

1 はじめに

熱間鍛造とは金属の塑性加工法の一つで、自由鍛造と型鍛造に分けられる。熱間自由鍛造は材料の再結晶温度で実施され、単純形状の工具を用いるので鍛造物は成形の自由度が大きい。またプレス荷重が小さく、高温過熱と大きな変形による鍛錬効果で素材内部の組織が密になり性質が向上するので、長さ数メートル~十数メートルの大型鍛造品の製造に用いられ、これらの鍛造品は火力・原子力発電所などの負荷の激しい心臓部で使用される^{1, 2, 3, 4)}。

熱間大型鍛造物の成形時における現在の代表的な寸法計測方法はプレスデジタル、パス、ライトマーカーなどがあり、プレスデジタルは鍛造する

際に使うプレス機の移動量から鍛造物の径寸法を計測する接触式方法で、プレス時の跳ね返りなどを考慮しても±10mmの誤差で計測可能であるが、プレス箇所のみしか計測ができず鍛造物全体の計測を行うには時間がかかる問題や、各断面中心の軸心に対する信頼性が欠ける問題がある。パスは接触式の径寸法の計測方法で、トングで計測物体を挟んだ時の開度で径寸法を計測する方法であるが、挟まれた1点の径寸法の情報しか得られず、計測に時間がかかる問題や、作業者の危険性が高い問題がある。ライトマーカーは既知の間隔で放射される複数本のレーザースリットを鍛造物に投影し長さ寸法を計測する方法であるが、鍛造物に投影されたライトマーカーの位置は目視で確

認するため、計測に時間がかかる問題や径寸法が計測できない、上記諸問題より既存の寸法計測方法では、成形中の鍛造物を誤差数 mm 程度の計測精度で計測することが困難である。そのため現在では鍛造する際に目的の機械加工寸法に多くの鍛造余肉を付加して成形し、鍛造終了後に余肉を削り目的の最終製品寸法に加工されている。

一方、近年では非接触式の形状計測方法として画像計測が実用されつつあり、ステレオ視に代表される受動型計測方法やパターン光投影法に代表される能動型計測方法等がある^{5, 6)}。ステレオ視計測法は、複数台のカメラもしくは複数視点画像を用いて計測物体にエネルギーを与えることなく対象の3次元座標を得ることができるが、鍛造物は高温であり表面酸化膜の影響により表面色が変化しやすく、安定した特徴情報の取得が困難である。パターン光投影法は、鍛造物が高温であり対象自体が光エネルギーを放つため、撮影された画像よりパターン光のみを精度よく検出することが困難である^{7, 8)}。

上記問題を解決するために本研究では近赤外情報と可視光情報を同時に取得できるマルチスペクトルカメラを用いて鍛造物を軸回転させながら複数回撮影し、取得した画像より高速かつロバストに物体概形を抽出し、概形周辺においてマルチスペクトル画像解析を行うことで精度良い形状検出を行う。本論では、さらに大型自由鍛造プレスの単純形状を考慮し、抽出された鍛造物領域において画像強度勾配より輪郭検出を行い、プレス痕を推定し、断面形状を補正することで、精度良い熱間大型鍛造物の径寸法を計測する。

2 マルチスペクトルカメラを用いた計測システム

2.1 マルチスペクトルカメラ

マルチスペクトルカメラとは、光を分光しそれぞれの波長バンドを各 CCD センサーで感光することで、複数の波長バンドを同時に撮影できるカメラである。本研究に用いたマルチスペクトルカメラは3つの CCD センサーを用いて、B チャンネル 400nm ~ 500nm、G チャンネル 500nm ~ 600nm、R チャンネル 600nm ~ 700nm、IR チャンネル 700nm ~ 850nm の4つの波長バンドの中から任意の3つの

波長バンドを選択し同時に撮影することができる。このマルチスペクトルカメラを用い近赤外線領域と可視光領域において同時に画像を撮影することで、鍛造物の大きな特徴である高温状態を利用して特徴ある画像情報を安定して得ることができる。図 1(a) は通常の可視光情報で最も近赤外線に近い波長領域の R チャンネルでの鍛造物撮影画像であり、図 1(b) は IR チャンネルでの鍛造物撮影画像である。また、それぞれの画像の任意の領域の背景成分のヒストグラムと物体成分のヒストグラムを図 1(c) に示す。鍛造物は約 800 °C である。領域 1 においては、R チャンネルのヒストグラムより、背景の強度分布と鍛造物の強度分布の差が大きいので物体抽出が容易であるが、領域 2、領域 3 においては、強度分布の差が小さいため物体抽出が困難である。一方 IR チャンネルではいずれの領域においても、強度分布の差が大きいので物体抽出が容易である。

2.2 システム構成及びアルゴリズム

計測システムはマルチスペクトルカメラ、パソコン、通信ケーブル及び鍛造工場の既存設備により構成する。図 2 に計測システムのイメージを示す。工場内では大型設備などが多数存在することや、マルチスペクトルカメラが高価なことから、本研究では1台カメラ方式を用いて計測を行う。計測方法は鍛造物を回転させるためのマンピュレーターで鍛造物を任意角度で回転させ、マルチスペクトルカメラで複数回撮影することで、鍛造物を多方向から撮影し、それぞれの画像で物体抽出を行い、輪郭情報を取得し合成することで径形状を計測する。図 3 は計測の流れであり、以下に具体的内容を述べる。

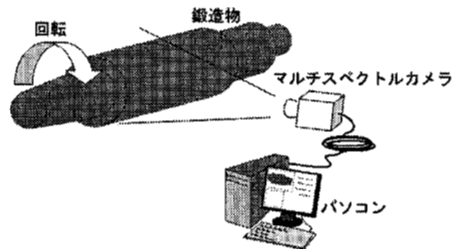


Fig. 2 計測シーン

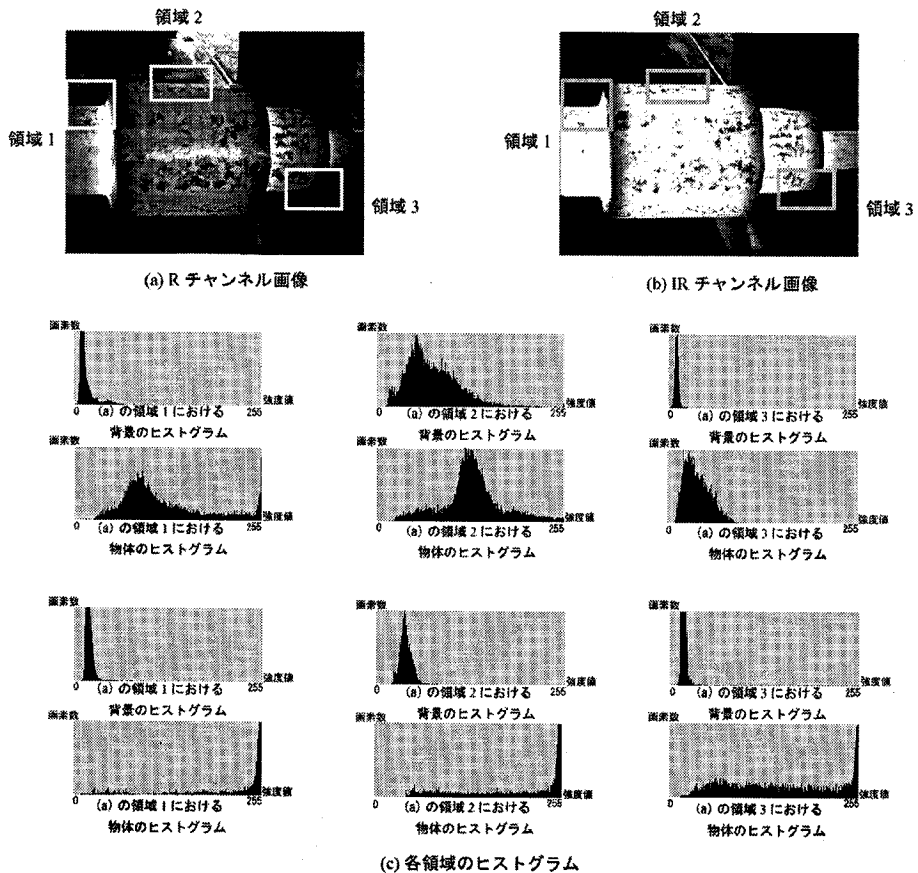


Fig. 1 R,IR チャンネルの鍛造物の画像と各小領域でのヒストグラムの比較

Step 1. 鍛造物を複数回回転させ任意の角度で撮影する。このような方法を用いることで一台のカメラで、多方向から鍛造物の撮影を行うことができる。

Step 2. 撮影された各画像より、近赤外情報を用い鍛造物の概形を抽出し、その周辺領域において可視光情報と近赤外線情報の強度分布を局所領域的に評価する。評価は局所領域内ヒストグラムの分布より行われ、この評価値を最大とする画素位置を鍛造物の輪郭とする。

Step 3. それぞれの画像より取得された輪郭情報を用い、径寸法を計測する。

Step 4. 鍛造物における最大径を持つ胴部分の中心軸を計算し、その中心軸から各任意の断面での偏芯量を求める。これにより、計測対象を機械加工する際に最小量の余肉削減を行うことができる。

Step 5. 断面形状や偏芯などの情報を取得したい箇所を画像の水平軸から任意に取得する。

Step 6. 取得された箇所の鍛造物の回転状況を判断する。具体的方法は 3 章で述べる。

Step 7. Step 6. の判断結果を用いて計測対象物の断面図を復元する。

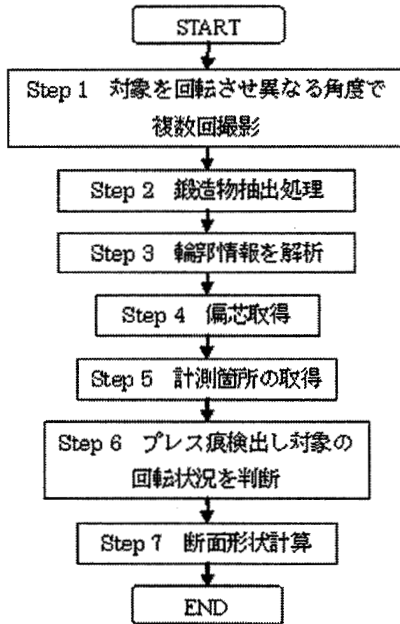


Fig. 3 計測の流れ

3 鍛造物形状計測精度向上のための回転状況判断

自由鍛造は鋼塊をプレスで加圧し成形されるが、軸状鍛造品はそのほとんどが鋼塊を4角柱、8角柱、16角柱、と角数を増やす工程を踏み製造される。本研究ではカメラ1台方式を用いており、計測される径寸法は、鍛造物の回転状況すなわち、鍛造面から鍛造面までの距離である場合や、角から角までの対角線の距離である場合などがある。そのため、断面図を復元する際にそれぞれの画像において鍛造物の回転状況を把握しなければ、算出された形状計測結果は適切な断面形状の表現を行えない場合がある。上記問題を解決するために本研究ではプレス時に生じるプレス痕を用いて回転状況を推測する。プレス痕周辺は空気に触れる面積が広いので温度低下が大きく、撮影画像には強度勾配が生じる。この強度勾配を検出し、ハフ変換を用いてプレス痕の検出をする。この検出されたプレス痕の本数や間隔情報を用いて鍛造物の回転状況を判断する。その判断のために以下の性質

を利用する。鍛造物の鍛造面から鍛造面、角から角のそれぞれの直径を計測する際、輪郭と画像の鍛造品中のプレス痕の幅は異なる。ここで鍛造物の断面図を正 n 角形として、基準となる面から面までを直径として計測した場合の輪郭と画像の鍛造物のプレス痕の幅を r とし、実際に計測されて得られる輪郭と画像の鍛造物のプレス痕の幅を w とする。計測された鍛造物の輪郭と画像の鍛造物のプレス痕の幅が r に近い値であれば、計測された直径は面から面までを測定したと判断し、 r より小さい値であれば角から角までを計測したと判断する。図4にプレス痕検出から回転状況判断までの流れを示し、以下に具体的内容を述べる。

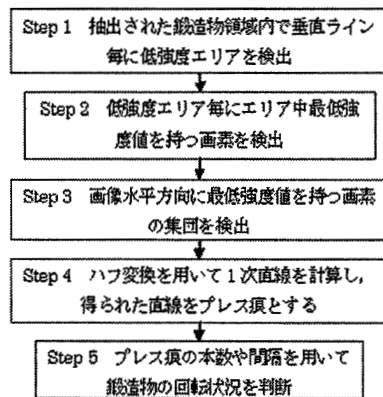


Fig. 4 プレス痕抽出の流れ

Step 1. 抽出された鍛造物領域内において垂直方向毎に強度値の低い画素を検出する。プレス痕の周辺であれば強度値の低い画素が集団で検出されるので、この集団を1つの低強度エリアとし、画像全体でいくつかの低強度エリアを検出する。

Step 2. 各垂直ラインの低強度エリア毎に、最も低い強度値を持つ画素を検出する。

Step 3. 画像水平方向に対して Step 2. で検出されたそれぞれの画素を1つの集団とする。

Step 4. 集団化された各画素の座標より、ハフ変換を用いて1次直線を算出し、得られた直線をプレス痕とする。

Step 5. プレス痕間の垂直方向の間隔を取得し、鍛造物の回転状況を判断する。

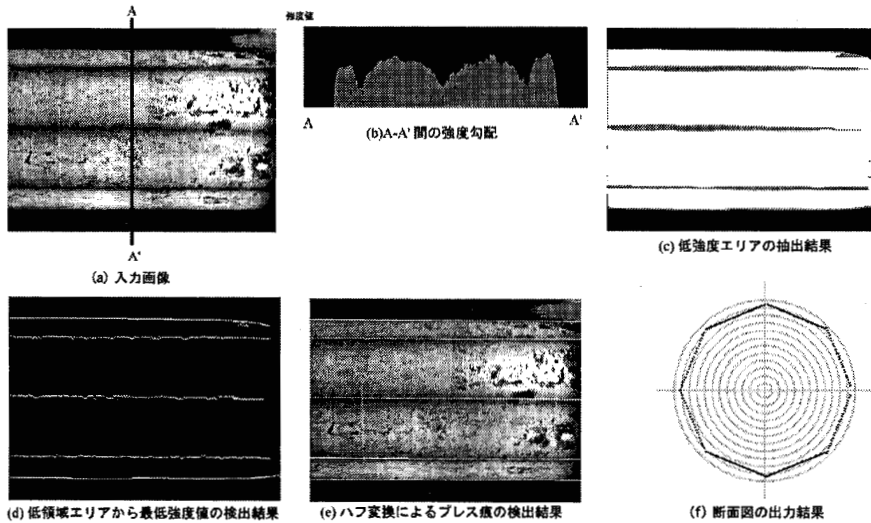


Fig. 5 回転状況判断結果 (角ー角)

4 実験

図5は鍛造物の角から角までの回転状況判断を行った実験結果である。図5(a)は角から角までを径とした撮影画像例、図5(b)は図5(a)中の評価ラインA-A'の強度勾配、図5(c)は強度勾配が大きく変化する低強度エリアを検出し、酸化膜やノイズの削除をおこなった結果、図5(d)は図5(c)の結果から得られた低強度エリア毎に最も強度値が低い画素を抽出した結果、図5(e)は図5(d)の画素を集団化し、この集団からハフ変換を用いた1次直線の算出結果、図5(f)は図5(e)をプレス痕とし、図5(a)を角から角まで計測したと判断した断面形状計測結果の補正画像である。

図6は鍛造物の鍛造面から鍛造面までの回転状況判断を行った実験結果である。図6(a)は鍛造面から鍛造面までを径とした撮影画像例、図6(b)は図6(a)中の評価ラインB-B'の強度勾配、図6(c)は強度勾配が大きく変化する低強度エリアを検出し、酸化膜やノイズの削除をおこなった結果、図6(d)は図6(c)の結果から得られた低強度エリア毎に最も強度値が低い画素を抽出した結果、図6(e)は図6(d)の画素を集団化し、この集団からハフ変換を用いた1次直線の算出結果、図6(f)は図6(e)

をプレス痕とし、図6(a)を鍛造面から鍛造面まで計測したと判断した断面形状計測結果の補正画像である。角柱鍛造物の径寸法を計測する際、鍛造物の輪郭情報のみでは角から角まで計測された場合や、鍛造面から鍛造面まで計測された場合など、判断することはできない。提案手法を用いることで、鍛造物の回転状況を判断し、角柱鍛造物でも径寸法を補正し計測することが可能となった。

5 まとめ

本研究では、マルチスペクトルカメラを用い、鍛造物の物体概形を高速かつロバストに抽出し、概形周辺においてマルチスペクトル画像解析を行うことで精度良い形状検出を行った。さらに鍛造プレスの形状より生じるプレス痕を検出し、そのプレス痕と画像の鍛造物の輪郭との幅を用いて鍛造物の回転状況を判断する手法を提案した。また提案手法を用いることで角柱状の鍛造物でも断面形状の計測結果を補正することができた。本論では軸方向に段差のない簡単な角柱状の鍛造物の計測を行ったが、今後の課題として段差のついた角柱状の鍛造物でも各段差領域で回転状況を判断し、断面形状の結果を補正することが挙げられる。

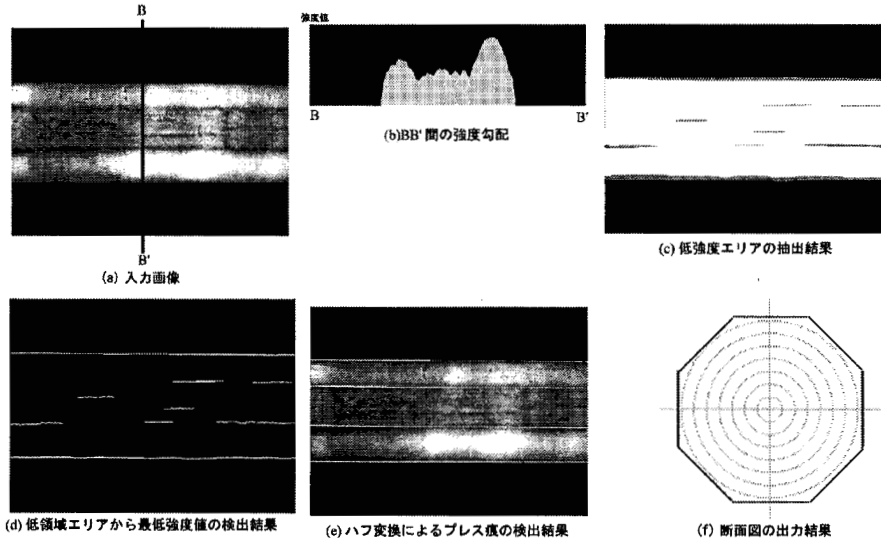


Fig. 6 回転状況判断結果 (面一面)

参考文献

- 1) 小野 信市, “地球を救う古くて新しい技術”, 日本機械学会誌.6, Vol.102, No.967, pp338-339, (1999)
- 2) 小野 信市, “エネルギー産業を支える超大型鍛造品”, 日本機械学会誌, Vol.107, No.1024, pp152-153, (2004)
- 3) 葉山 益次郎, “塑性学と塑性加工”, オーム社, 1982
- 4) 岡本 陽, 和佐 泰宏, 株式会社 神戸製鋼所 “熱間シェルリング形状計測装置の開発”, CAMP-ISIJ, Vol.17, No.5, pp970, (2004).
- 5) 井口 征士, 佐藤 宏介, “三次元画像計測”, 昭晃堂, 東京, (1990).
- 6) 井口 征士, “3次元画像計測の高速化”, 画像電子学会誌, 第24巻, 第5号, (1995)
- 7) 吉澤 徹, “光三次元画像計測”, 新技術コミュニケーションズ, 東京, (1998).
- 8) J.Batlle, E.Mouaddib, and J.Salvi, “Recent progress in coded structured light as a technique to solve the correspondence problem: a survey”, Pattern Recognition, Vol.31, No.7, pp963-982, (1998).