

# ファイバフロー画像の統計的処理による鍛造工程の定量的品質管理の試み

塑正 \* 福井 類 (東京大院), 鈴木 正, 鈴木 勝己, 長倉 修二 (長倉製作所)

## 1. 緒論

冷間鍛造においてファイバフロー (Grain flow) は、どのような加工が施されたのか、そして加工後の製品がどのような機械的性質を有するのかを観察する1つの手段とされている<sup>1)</sup>。すなわち、同様なファイバフローを持つ製品は、同様な冷間鍛造加工プロセスを経て製作されたことになり、また同様な機械的性質を有することが期待される。このため大量生産品において一定個数おきにサンプル抽出を行いファイバフロー観察を行うことで、品質管理を行うことが可能であると考えられる。

しかし品質管理のためには、複数のサンプルから得られるファイバフロー画像群が相互にどれほど”似ているのか”を定量的に(数値で)表現する必要がある。これに対して、ファイバフローをその画像処理も含めて定量的に取り扱った研究は少なく、また”同様な”ファイバフローであることを、どのように数値化するかの研究は取り組まれていない。

そこで本研究ではファイバフロー観察のために取得された画像に対して画像処理を施し、まずはファイバフローを数値的に表現する方法の構築に取り組む。続いて構築された数値表現のもと、どのような指標を導入することで、ファイバフローの類似性を表現することができるかについて論ずる。

## 2. ファイバフロー画像の統計的処理

### 2.1 研究対象とする画像例

まず Fig. 1 に本研究が対象とする画像を示す。これらはサンプルの断面に表面研磨および3%硝酸アルコール溶液(ナイトル)でエッチングを行い取得された。いずれも最終形状はほぼ同様となるよう加工されているが、素材形状および加工法が次のように異なる。

- (a) 素材径  $\phi 36$  mm, 量産品で同種の画像が30枚あり
- (b) 素材径  $\phi 32$  mm, (a) に対して予備打ち工程追加
- (c) 素材径  $\phi 46$  mm, (a) と同じ鍛造工程

3つの画像をみると直感的にも大きく異なっており、また機械的な強度もサンプル(a)が要求基準を満たす一方で(b), (c)は基準以下であることが分かっている。品質管理において最終形状だけでなくファイバフローを観察することの重要性が示されている。

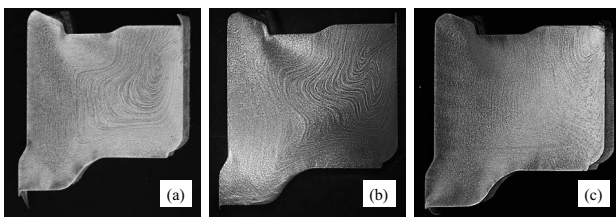


Fig.1 Grain flow sample images.

### 2.2 統計的画像処理の基本アプローチ

これらの類似性を表現する基本的なアプローチとして、画像を小領域に細かく分割し、各小領域の中でのファイバフローの方向を抽出し、それらを結合した「ファイバフロー方向行列」を取得するという方法を提案する。昨今、自動車向けの安全技術としてカメラ画像から歩行者を検出することが可能となってきたが、この歩行者の検出手法としてよく用いられる Histogram of oriented gradients (HOG) と呼ばれる処理手法<sup>2)</sup>を参考に、画像小領域の勾配(エッジ)情報群をヒストグラム化し、そのヒストグラムの統計量(特徴量)を抽出するというのが、提案手法の肝となる。以下に処理の流れ(Fig.2)を示す。

1. 位置の基準となる画像を1つ決め、他の画像をその基準画像に対して位置あわせする
2. 平均化フィルタを適用しノイズを除去する<sup>3)</sup>
3. 画像を特定の大きさの小領域に切り刻み、小領域の中で処理を行う
  - (1) Prewitt フィルタでエッジを抽出する<sup>3)</sup>
  - (2) 抽出された(大量の)エッジのうち”強度”が大きいもののみを選択する<sup>\*1</sup>
  - (3) 選択されたエッジ群の”方向”のヒストグラムを作成し、その重心をファイバフローの方向とする<sup>\*2</sup>
4. 各小領域の方向を収集し、全体のファイバフローを表現するファイバフロー方向行列を得る

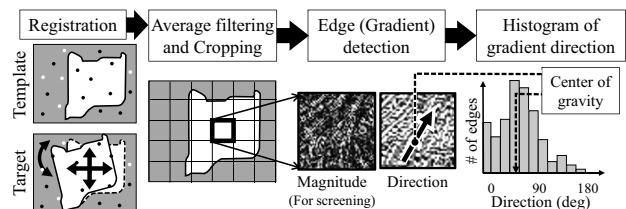


Fig.2 Overview of the proposed image analysis.

### 2.3 ファイバフローの類似性指標

同一の鍛造工程を経てもファイバフロー方向行列が完全に一致するわけではない。そこで同一工程で加工された鍛造品群のファイバフロー方向行列がどれほどばらつくかを考慮する必要がある。画像  $R$  を基準画像としたときに各小領域  $(i, j)$  の方向のばらつきを式(1)のように表現する。ここで  $N$  は同一工程で加工された画像の数であり、 $K$  は画像のインデックス、 $\theta(K, i, j)$  画像  $K$  の小領域  $(i, j)$  におけるファイバフローの方向

\*1具体的には平均 + 標準偏差 ( $\mu + 1\sigma$ ) 以上のものを選択した。

\*2方向は  $0 \sim 180$  deg に規格化し、また重心を求める際には方向の表現が  $180$  deg ごとに繰り返すことに注意しなければならない。

である。

$$\varepsilon(R, i, j) = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N |\theta(K, i, j) - \theta(R, i, j)| \quad (1)$$

このばらつき  $\varepsilon(R, i, j)$  をもとに、異なる画像  $E$  から取得されたファイバフロー方向行列の類似性を表す指標  $S(R, E)$  として式 (2) を用いる。ここで  $f(i, j)$  は  $\varepsilon(R, i, j) < \alpha$  のときに 1 をとり、それ以外の場合に 0 をとる関数である。つまり類似性指標は同一工程で加工されたファイバフロー画像のなかでばらつきが適宜設定する閾値  $\alpha$  よりも小さい (安定している) 領域のみを評価する点が特徴である。

$$S(R, E) = \sum_{i,j} f(i, j) |\theta(R, i, j) - \theta(E, i, j)| \quad (2)$$

### 3. 実験

#### 3.1 ファイバフロー方向行列算出実験

Fig. 1 に示した画像のファイバフロー方向行列を算出した結果を Fig. 3 に示す。算出された各小領域の方向を矢印として描画している。製品が存在しない部位にも矢印が記載されているが、これは背景のノイズが描画されたものである。抽出された結果は直感に即しており、提案手法の有効性が確認された。

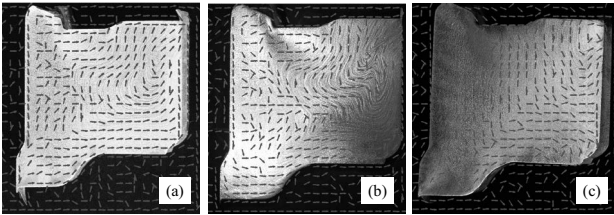


Fig.3 Extracted grain flow direction matrix.

#### 3.2 ファイバフロー方向行列のばらつき評価実験

サンプル (a) の画像 30 枚について式 (1) に基づくばらつきを評価した。実験結果を Fig. 4 に示す。黒色が濃いほど  $\varepsilon(R, i, j)$  の値が小さいことを示している。目視でファイバフローが確認できるサンプル右側は比較的小さなばらつきとなっているのに対して、サンプル左側は大きなばらつきとなっている。サンプルの外はエッジが正しく検出されないため、ばらつきが大きく

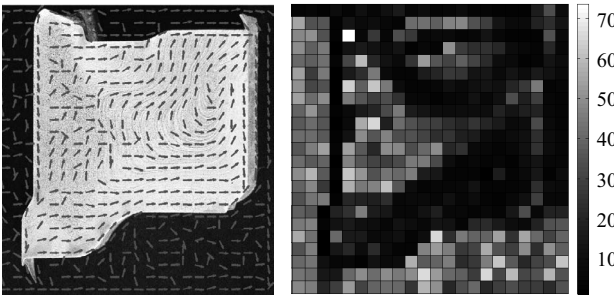


Fig.4 Variations of fiber flow direction in 30 images.

なりがちである。実験によりファイバフロー方向行列のばらつきを表現する  $\varepsilon(R, i, j)$  が人の直感に則した結果を示すことが確認された。

#### 3.3 ファイバフローの類似性指標算出実験

前節の実験結果をもとに類似性評価に用いる領域を選定する  $f(i, j)$  を適宜設定し、ファイバフローの類似性を評価する実験を行った。本実験ではサンプル (a) を基準画像とし、サンプル (a)30 枚の類似性指標  $S(R, E)$  の平均および分散と、サンプル (b), (c) のサンプル (a) に対する類似性指標を比較し評価した。 $\alpha$  の値は試行錯誤的に 10, 20 を評価した。実験結果を Fig. 5 に示す。実験の結果、サンプル (a)30 枚での評価指標の平均値およびばらつきに対して、サンプル (b), (c) の類似性評価指標値が著しく大きくなる (すなわち全く似ていない) ことが確認された。 $\alpha$  の値は類似性指標の数値の大小には影響があるが、サンプル (a) の標準偏差をスケールとして捕らえれば画像間の類似性を相対的に示せるため、特に慎重に設定すべきパラメータではないことが確認された。以上の結果より、提案するファイバフロー類似性指標は、今回のサンプルのような素材形状・鍛造工程の違いを明確かつ定量的にあらわすことが可能であることが示された。

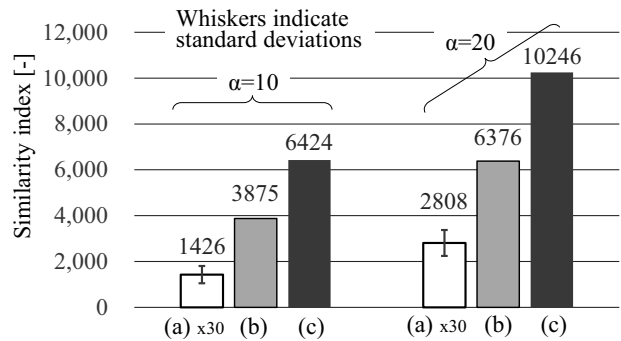


Fig.5 Experimental results of similarity index.

### 4. 結論

本論文ではファイバフロー観察のために取得された画像に対して、統計的な画像処理を施しファイバフローを数値的に表現するファイバフロー方向行列を提案した。続いてファイバフロー方向行列間の類似性を表す指標についても提案をし、実験により提案手法が鍛造品の素材形状や鍛造工程の違いを定量的に表現できることを示した。将来課題として本研究では 3 種類のサンプルでの議論に留まってしまったが、より多様なサンプルへの適用性を確認したい。また類似性指標をもとに、品質管理の合格・不合格を判定する認識器の開発も重要な課題である。

#### 参考文献

- 1) 中西広吉ほか. 鍛造 CAE-鍛造変形解析の製品内質予測への応用. 豊田中央研究所 R&D レビュー (2001), Vol. 36, No. 1.
- 2) N. Dalal et al., "Histograms of oriented gradients for human detection," IEEE CVPR(2005), pp.886-893.
- 3) CG-ARTS 協会, デジタル画像処理 (2006)