

# スプライン曲線を用いたばらつきと欠損の抽出による形状評価

加瀬 究, 鈴木宏正, 木村文彦

理化学研究所, 東京大学

幾何学的な形状の精度評価は、測定データに対して、本来あるべき形状からのばらつきを最大値を用いて行われていたが、より高い精度を体系的に目指してゆく場合には、従来の形状評価の前提となっていた形状誤差の正規分布の仮定を排し、一定の傾向をもった系統誤差のパターンを抽出する必要がある。本研究では離散点である測定データとその理想形状との偏差データに対し、幾何学的な特性値を求めることを目的として、これを補間する3次スプライン曲線を求める。次に、形状誤差生成の要因を示唆する特徴は断片的に現れるという仮定の下で、得られたスプライン曲線の符合付曲率の平均値の変化と接線ベクトルを用いて領域の分割を行い、各領域に対して単純な幾何要素で構成される誤差モデルをあてはめることにより、データの局所的なばらつき具合や機能的に重要であるへこみや突起部のような特徴を抽出する形状評価手法を提案する。

## A form evaluation using variation range and loss feature extraction with spline interpolating curves

Kiwamu Kase, Hiromasa Suzuki, Fumihiko Kimura

The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), The University of Tokyo.

Geometrical errors after manufacturing processes are conventionally evaluated by maximum width of tolerance zones which envelop actual features. Detail patterns of error shapes within such zones should however be investigated when the designer wants to compare and examine manufacturing methods in quest of high accuracy of machined surfaces.

In this paper, we assume that error features, suggesting each error factor, appear in fragments, to extract such features, segmentation is applied to measurement point data by using signed curvature and characteristics of tangent vectors of interpolating spline curves. The average of change of signed curvature represents the variation range of the corresponding region of measurement data, the patterns of tangent vector are used to extract local loss features such as flaws or knots. A form evaluation method, with segmentation of data by variation and loss features, and with fitting by primitive geometric functions, is proposed.

## 1 はじめに

従来より、機械部品などの加工後の幾何学的な形状の精度評価は、測定データに対して本来あるべき形状からのばらつきを最大値を用いて行われていたが、迅速生産環境においてより高い精度を体系的に目指してゆく場合には、形状誤差を構成する偶然誤差と系統誤差のうち、後者の種類の誤差が生成される原因をできるだけ早く特定し、なくしてゆくことが必須の条件となる。このためにはまず、従来の形状評価の前提となっていた形状誤差の正規分布の仮定を排し、一定の傾向をもった系統誤差のパターンを抽出する技術が必要である。

本研究では、そのような形状誤差を生成する原因となるさまざまな要因は断片的に、また単純な形をとって測定データに対しある種の偏差パターンを与えるものであるという仮定を行なう。この仮定に基づき、特徴抽出は測定データを幾何学的な特徴量を利用していくつかの領域に分割することにより行ない、形状の評価は、分割されたそれぞれの領域に対して、円弧や3次までの多項式で表現されるような幾何要素からなる誤差モデルを最小二乗法を用いてあてはめる方法により行なう。

また、離散データである測定データから特徴抽出に必要な曲率や接線ベクトルのような幾何学的特徴を得るために、最小二乗法で近似された理想形状からの偏差データを補間する3次スプライン曲線を求めることにより連続化し、得られた(偏差)曲線の符合付曲率の平均値の変化と接線ベクトルのパターンをとり出す。

図1に本研究で想定している2種類の特徴をのせる。図1の下は加工条件の変化などでばらつきが途中から変化したデータを示している。この場合は2つの領域に分割して評価するべきであるが、従来の最大偏差による評価法や分散を求める統計的な手法では、そのような状態変化を示唆するような特徴をとりこぼしてしまう。一方、図1の上は形状創成時に不連続的な変化が起こったことを示す急峻な谷を示しており、同様に従来の評価法およびフーリエ変換などを用いた周波数解析では、高周波成分として他のノイズとともに無視されてしまうおそれがある。

## 2 手法

本手法で扱うデータは、金属材料をマシンングセンタなどで加工し、その後平面内にあるスキャンラインにそって三次元測定機で測定した点列であり、設計形

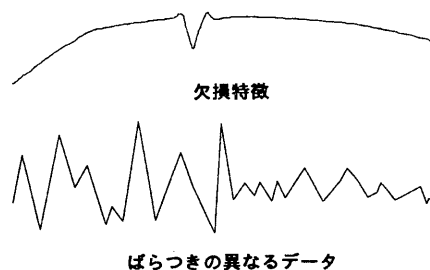


図1: 欠損特徴とばらつきの変化するデータ

状の種類(たとえば3次曲線や円弧など)は既知であるとする。

本手法は大きく以下の3つの部分に分かれる。

1. 測定データに対して最小二乗法を用いて近似曲線を求め測定データとの差分データを得る(前処理としての正規化)。
2. 差分データをすべて通る3次の補間スプライン曲線を求め[1]、そのスプライン曲線の幾何学的なそれぞれの特徴量を用いて領域の分割を行う(特徴量の抽出と分割)。
3. 分割された各領域に対応する測定データに対して最小二乗法を用いた円弧や低次多項式曲線のような単純幾何要素のあてはめを行う(誤差モデルのあてはめ)。

1の最小二乗近似した代用形体(substitute)からの偏差として形状誤差を表す方法は、形状偏差の測定では一般的であり、偏差値の最大値をもって規格の公差内にあるかを判定することにより良、不良の選別の基準とする場合が多い[4]。ここでは形状評価として代表的に使われていた方法を、設計形状によらない正規化の手法として用いる。

2ではスプライン関数、即ち区分的多項式関数による近似が、変動減少性、位置可変の長所を持ち、場所に応じた形の近似が可能である点に着目し、空間的に一様な処理であるフーリエ領域の手法と大きくちがうところから[2]、本手法のように形状誤差の局所性を評価するための道具として適している[3]ことを基

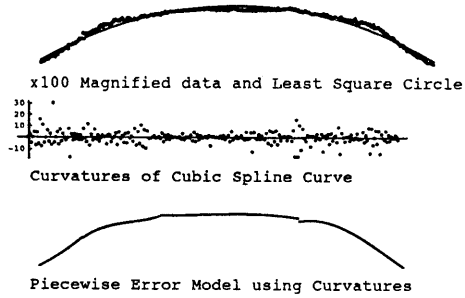


図 2: 半径 120mm の円筒の曲率による評価

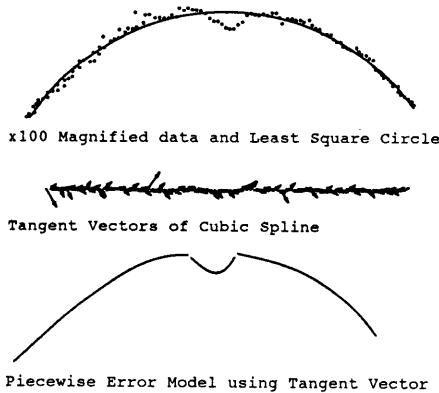


図 3: 半径 30mm の円筒の接線ベクトルによる評価

礎にしている。2ではさらにデータのばらつき具合の変化(これが形状およびその原因となる加工条件の変化を示唆する)と、機能的欠損につながると考えられる極値を含む比較的広範囲な特徴(「山特徴」と「谷特徴」と呼ぶ)を抽出するために以下のような処理を行う。

1. 3次補間スプライン関数の符合つき曲率の平均を求め[1]、その平均が半分または2倍になる領域を切り出す。これはばらつきのレベルが異なる領域を分離しそのレベルに応じた評価をすることに相当する。
2. 補間スプラインの接線ベクトル列を求め[1]、中心線からの傾きが一定値以上の点および一定値以下である点の両方を一定量以上持つ領域を

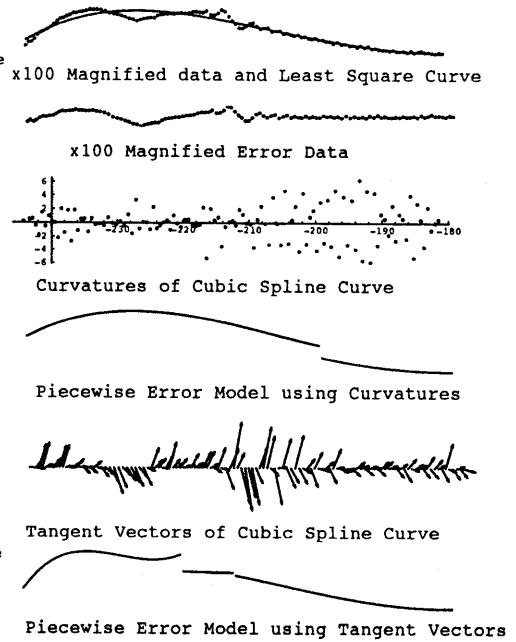


図 4: 4次曲線の評価例

切り出し、欠損をしめす山や谷の特徴を抽出する。

最後に3で上記の2種類の幾何特性を用いて分割されたそれぞれの測定データの領域に対して、直線、2次、3次曲線を最小二乗法を用いてあてはめ、形状自身のゆがみを強調表現する。

### 3 実行例

図 2,3はそれぞれ3軸加工機によって切削された半径 120mm と 30mm の円筒面の断面を 3次元測定機で測定したデータと、最小自乗法でえられた代用形体である円 [4] との差分データに対して 3次のスプライン曲線で補間し、そのばらつきによる分割後に、3次のベジエ曲線で表現される形状誤差モデルによって特徴が抽出されていることを示している。前者は両端部分にきめの粗い山が生じていることを示しており、後者は中央部分におおきなへこみが生じていることを示している。いずれも 3軸の円筒切削における工具と切削回転方向の変化により生じる形状誤差の特徴をよく示している。

図 4は設計形状が 4次曲線である研削面の断面の

測定データに本手法を適用した例で、符号付き曲率の変化の平均値と接線ベクトルの特徴的なパターンによってそれぞれ異なる領域で分割され、単純な幾何要素があてはめられた様子を示している。この例では、ばらつきは右半分の平坦部の方が大きく、また、左半分の山の途中にへこみがあり、その直後の小さな突起部分も欠損特徴として分割されている。

#### 4 おわりに

本研究では、加工後の測定データなど離散的な点列で与えられた偏差データを3次スプライン曲線で補間し、そのスプライン曲線の符合つき曲率を用いた偏差のゆらぎのレベルに応じた領域の分割と、接線ベクトルのパターンを用いた欠損特徴の抽出を行い、分割された各領域に対して、円弧や低次の多項式曲線で表現される形状誤差モデルをあてはめることによって、局所的な特徴を抽出する評価方法を提案した。将来は、代表的な形状誤差の原因を集めたライブラリと本評価方法を組み合わせることにより、迅速な原因特定と体系的な加工へのフィードバックが可能になると思われる。

#### 参考文献

- [1] Farin 著, 木村文彦, 山口泰訳: CAGD のための曲線・曲面理論, (1993).
- [2] D. H. Ballard, C. M. Brown 著, 福村晃夫訳: コンピュータ・ビジョン, 日本コンピュータ協会, (1987), pp92.
- [3] 坂上勝彦, 横矢直和: 弛緩法と正則化, 情報処理, Vol. 30, No. 9, (1989), pp.1047-1057.
- [4] 中野健一: 精密形状測定の実際 —幾何公差の解釈と幾何偏差の測定・処理—, 海文堂, (1992), pp62-64.