610 3次元加工モデルの最適化処理に関する研究

Research on optimization processing of 3 dimensional machining model

○学 小坂紘幸（函館高専） 正 山田誠（函館高専）

Hiroyuki KOITA, Hakodate National College of Technology, 14-1, Tokura-cho, Hakodate, Hokkaido
Makoto YAMADA, Hakodate National College of Technology

Key words : 3 dimensional machining model, Optimization processing, B-spline curve, Facet remodeling

1. 緒 言

3次元ディジタイザを用いて3次元モデルの測定を行い、その測定によって得た点群データを編集し、3次元加工を行うことにより、3次元モデルの再現加工が可能である。これらの工程を自動化することが本研究の目的である。この自動化を行うためには、現在既存のソフトウェアに依存している位置合せ、点群データの編集等を一連の流れで行う、最適化処理システムが必要である。

本報告では、3次元ディジタイザで測定した形状の自動加工システムを構築するために、点群データを加工モデルとするための最適化処理についての方法論とその結果を示す。

2. 研究の概要

図1に形状の測定から加工までの手順¹⁾を示す。その流れは、3次元ディジタイザを用いて形状を測定し、作成したポリゴン編集ソフトを用いて得られた測定点群の位置合せ・合成・穴埋め等の編集をしてSTLデータとして出力する。出力したSTLデータから3軸用CAMであるEdge CAMを用いてNCデータを出力し、5軸制御工作機械で加工する。この一連の流れで最も困難である加工モデルとするための最適化処理について、位置合せ、点群データの編集の方法論について示す。

Fig.1 Procedure from shape measurement to processing

3. 測定モデルの編集

3.1 3次元モデルの測定

3次元ディジタイザを用いて3次元モデルの測定を行った。測定風景を図2に示す。測定対象は人形とし、測定時の誤差を低減させた。回転軸を固定し、60°ごとに回転させて測定することで、6方向からの測定データを得た。

Fig.2 Measurement method

3.2 不要ファセットの削除

点群データは三角形ファセットの集合体で表されており、ファセット同士が辺を共有することで3次元モデルを形成する。3次元ディジタイザによる測定で得た点群データには、測定した状況によりデータとして信頼できないファセットが存在する。このファセットを残したまま位置合せ作業を進めていくと、位置合せ時に不具合が生じ、形状の再現を行うことが出来ない。そこで点群データから不要ファセットの削除を行った。3辺のうち2辺以上を他のファセットと共有しているデータのみを使用し、1辺のみだった場合はファセットごと削除した。図3に削除前と削除後の測定データを示す。

Fig.3 Deleting unnecessary facet

3.3 位置合せ

測定した点群データは測定器側に原点が存在しているため、加工モデルを作成するためにはモデル側に原点を移す必要がある。測定形状Pに対し、Z軸回り、X軸回りの回転変換及び、Z軸方向並進変換を式(1)のように適用し、原点位置を移動させた形状P'を決定する。

$$\mathbf{P}' = A^6(\theta)A^4(\phi)A^3(z)\mathbf{P} \quad (1)$$

ここで、 P' は回転・並進変換後のモデル、 $A30$ は Z 軸方向の並進移動、 $A40$ 、 $A60$ は X 軸回り、 Z 軸回りの回転移動の座標変換行列をそれぞれ表している。また、モデルに対する工具軸の Z 軸回りの回転角を θ 、 X 軸回りの回転角を ϕ とする。 θ 、 ϕ は測定時の姿勢形状により決定する。

原点を移動した後、B-spline 曲線を用いて位置合せを行う^[2]。位置合せについては、測定時の回転軸が全て一致しているものとし行う。また、B-spline 曲線に使用する点は、基準とする点群データの任意高さでの断面の座標を用いる。

B-spline 曲線はコントロールポイント列を、B-spline 基底関数を用いて混ぜ合わせることににより定義される(図 4)。階数を m 、コントロールポイントを $q_i (x_i, y_i, z_i) (i=0, \dots, n-1)$ 、B-spline 基底関数を $N_{i,m}$ とし、曲線上の点 P を求める行列は式(2)となる。3 次元ディジタルで得た点群を通過点列 P_i とすると、B-spline 曲線を描くために必要なコントロールポイント q_i は、(2)式と基底関数の逆マトリックス $N_{i,m}^{-1}$ との積で表すことができ、これにより B-spline 曲線を描くことができる。

求めた B-spline 曲線から曲率半径を求める。 P 、 P_1 、 P_2 は曲線上の点群、 u 、 v はそれぞれの点の中間位置、 Q は焦点座標、 R は曲率半径とする。曲線上の 3 点から焦点座標を求めることにより曲率半径を計算する(図 5)。曲線はパラメータ空間でパラメータ $t (0, \dots, 1)$ としているためパラメータ空間では一致する。しかし実空間では曲線ごとに各パラメータの間隔が異なる。そこで、曲線の長さを求め、その長さの比をとる事により実空間での各パラメータの間隔を一致するようパラメータを発生させ、曲率半径を計算できるようにした。求めた曲率半径同士を比較し、最も近い曲率半径同士で点 P が一致するよう移動量を計算し、座標変換行列を用いて一致させる。一致させた状態での点 P を回転中心として P_1 同士が一致するように回転角を計算する。ここで座標変換行列を用いて並進移動と Z 軸の回転移動の座標変換を行う。これにより位置合せを行った(図 6)。

$$Bs(t) = \sum_{i=0}^{n-1} N_{i,m}(t)q \quad (2)$$

Fig.4 B-spline curve

Fig.5 Curvature radius

a) Before positional suiting, b) After positional suiting

Fig.6 Positional suiting

3.4 形状の補修

結合後のデータには穴や面の重なり等、形状として補修が必要な部分が存在する。それらを補修し、完全なモデルとすることで加工することが可能となる。まず微小高さごとに断面をとり、点群データを得る。このとき取得した点群データは、ファセットの構造により隣接情報を持っているため完全なデータであれば閉ループを成すことができる。補修が必要となるのは閉ループを成さない場合である。原因としてはデータが足りない、データが交差しているためループを閉じることができないということが考えられる。これは周囲の点群から曲線を作成し、その曲線上に点を作成することで補間を行う。面の重なりは曲線の交点を求め、交点の外側に存在する点群を削除することで補修する。その後、下段の断面の点群データを用い、ファセットを再構築していくことで形状を補修する(図 7)。

形状の補修終了後は作成したデータを基に 5 軸制御マシンングセンタによる加工及び評価を行い、この最適化処理の有用性を確認する。

Fig.7 Facet remodeling

5. 結 言

本研究では、3 次元モデルの再現加工の工程を自動化することを目的とした最適化処理に関して次の事項を示した。

- 1) 3 次元ディジタルを用いた形状測定から形状加工までの手順を示した。
- 2) 測定モデルの編集に関してその方法論を示した。

参考文献

- 1) 小坂紘幸, 鶴尾篤, 山田誠: 非接触モデルの最適加工に関する研究 精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集(2008)
- 2) 三浦曜, 望月一正 著: CAD・CG 技術者のための実践 NURBS