

3次元点群データに基づく曲面生成システムの構築

旭川高専 ○西村 圭太, 後藤 孝行

要 旨

実体モデルをベースとする工業製品の形状設計プロセスにおいて、実体モデルの形状を測定して獲得した離散的な3次元点群データに基づいて高品位な曲面モデルの生成が重要な技術である。そこで、本報は、点群データへB-spline曲面をあてはめる曲面生成システムを構築した結果を報告する。

1 緒 論

現在、高機能なスタイルデザインシステムの開発により、工業製品の形状設計を効率に行えるようになってきている。しかし、製品の付加価値を高めるために、デザイナー（設計者）がイメージしている微妙に変化する形状をディスプレイ内に定性的かつ定量的に表現することは未だ難しいのが現状であることから、形状を直接的に表現できる実体モデルを用いた形状設計が行われている。

実体モデルを用いた形状設計は、リバースエンジニアリングと呼ばれており、形状の測定により獲得した点群データに基づいて高品位な計算機（CAD）モデルを生成する技術が重要である¹⁾。

本研究は、実体モデルをベースとする形状設計システムの構築を目的としている。そこで本報では、構築した3次元点群データに基づく曲面生成システムについて示し、実際の点群データを用いた検証実験結果について報告する。

2 実体モデルをベースとする形状設計

図1は、実体モデルをベースとする形状設計プロセスである。実体モデルの形状を3次元デジタルサイザによって測定し、3次元点群データを獲得する。点群データは離散的であるため、点群データへの曲面あてはめ処理によって計算機（CAD）モデルを生成する。生成したCADモデルを用いて加工を行い、製品（加工モデル）が完成する。加工モデルの評価は、定性的および定量的に行い、評価が満たされると形状設計プロセスが終了する。

本報で構築する曲面生成システムは、点群データへ曲面のあてはめを行ってCADモデルを生成する処理を担っているものである。

3 曲面生成システムの構築

3-1 システムの構築方針

本システムは、実体モデルの形状を3次元デジタルサイザによって測定し、獲得した3次元点群データに基づいて高品位なCADモデルの生成を目的としている。そこで、以下の方針に基づいてシステムの構築を行う。

- (1) テキストデータ形式の点群データおよび制御点データを読み込むことができる。
- (2) B-spline 開・閉曲面の生成処理およびあてはめ処理ができる。
- (3) 生成した B-spline 曲面を評価するためのあてはめ誤差が算出できる。
- (4) システムの構築には、Visual C++および Open GL を用いる。
- (5) 処理操作が容易な GUI を準備する。

3-2 動作原理および操作方法

(1) データの読み込み

ツールバーの【ファイル】→【データ読み込み】を選択し、【測定点データとして読み込む】または【制御点として読み込む】のラジオボタンをチェックした後、読み込むデータファイルを指定するとそれぞれのデータ群が描画される（図2）。

(2) 曲面・曲線

(a) B-spline 曲面変換

B-spline 曲面は、近似曲面の一種である。そして、制御点から B-spline 曲面を生成することを B-spline 曲面変換という。曲面のパラメータを u および w とする B-spline 曲面において、 u 方向の制御点数を $(n+1)$ 、階数を k 、 w 方向の制御点数を $(m+1)$ 、階数を l 、制御点を \mathbf{V}_{ij} ($i=0,1,\dots,n; j=0,1,\dots,m$) とすると、B-spline 曲面 $\mathbf{S}(u, w)$ は次式で与えられる。

$$\mathbf{S}(u, w) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,k}(u) M_{j,l}(w) \mathbf{V}_{ij} \quad (1)$$

ここで、 $N_{i,k}(u)$ 、 $M_{j,l}(w)$ はそれぞれ u および w 方向の B-spline 基底関数である。

ツールバーの【計算】→【曲面・曲線】を選択すると、各種データを設定するウィンドウが表示される（図3）。ここで B-spline 曲面変換およびノットベクトル形式のラジオボタンをチェックし、生成する B-spline 曲面の階数お

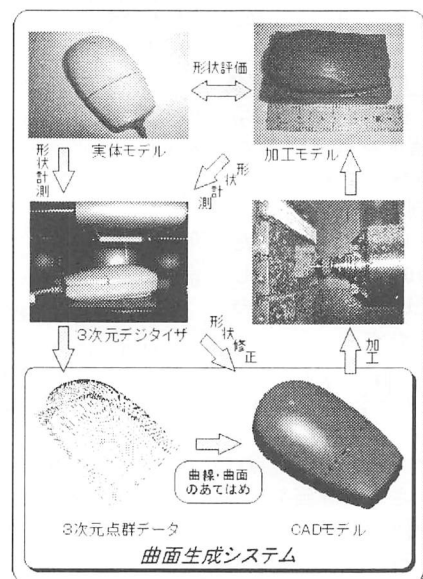


図1 実体モデルをベースとする形状設計プロセス

よび制御点数を各パラメータ毎に入力する。また、B-spline 閉曲面を生成する場合には、該当するパラメータの【閉じる】をチェックする。そして、各種チェックおよび数値入力を行った後、【OK】をクリックすることにより B-spline 曲面が描画される。

(b) B-spline 曲面逆変換

実体モデルの形状を測定して獲得した点群データへ B-spline 曲面をあてはめるとき、点群データおよび B-spline 基底関数から制御点を算出する処理を B-spline 曲面逆変換という。

制御点マトリックスを **[V]**，基底関数マトリックスを **[NM]**，B-spline 曲面マトリックスを **[S]** とすると式(1)は次式のように表される。

$$[S] = [NM][V] \quad (2)$$

曲面あてはめは、点群データが曲面上の点と一致するように処理することである。したがって、点群データマトリックスを **[P]** とすると、あてはめ処理で得られる B-spline 曲面の制御点は次式で求められる²⁾。

$$[V] = ([NM]^T[NM])^{-1}[NM]^T[P] \quad (3)$$

B-spline 曲面逆変換は、点群データを読み込んだ後、B-spline 曲面変換と同様の操作を行い図3のウィンドウを表示させ、B-spline 曲面逆変換のラジオボタンをチェックする。B-spline 曲面逆変換では、ユニフォーム形およびノンユニフォーム形のノットベクトルが扱える。ノンユニフォーム形は、曲率を考慮してノットを配置している³⁾。

図4は、点群データへあてはめた B-spline 曲面の生成結果である。図中の■印は制御点、■印を結んだ直線は制御点ネットを表している。また、生成した B-spline 曲面は、レイトレーシング処理によりリアルに描画される。

(3) あてはめ誤差の算出と描画

点群データへ B-spline 曲面が良好にあてはめられたかを評価するためにあてはめ誤差を求める。あてはめ誤差は点群データ P_{ij} ($i=0,1,\dots,s; j=0,1,\dots,r$) と各データに対応する B-spline 曲面上の点 $S(u_{ij}, w_{ij})$ との距離とする。すなわち P_{ij} におけるあてはめ誤差を ϵ_{ij} とすると次式で求める。

$$\epsilon_{ij} = \|P_{ij} - S(u_{ij}, w_{ij})\| \quad (i=0,1,\dots,s; j=0,1,\dots,r) \quad (4)$$

ツールバーの【誤差】→【点】を選択することにより、あてはめ誤差が計算される。そして、あてはめ誤差の分布状況を一目で確認できるように、生成した曲面上にあてはめ誤差量に応じたカラーがマッピングされる。また、あてはめ誤差を統計処理した結果は【誤差】→【結果】の操作で得られ、エディタウィンドウで表示および保存できる。

(4) その他の機能

本システムは、上記の機能の他に以下の機能を有している。

- ①座標軸の表示
- ②B-spline 曲面の解像度の変更
- ③B-spline 曲面の回転および平行移動(回転はマウスに

よる操作が可能)

- ④B-spline 曲面の描画スケールおよび描画方向の変更
- ⑤B-spline 曲面のワイヤフレーム表示
- ⑥制御点のネットポリゴン表示
- ⑦描画背景色およびマテリアル色の変更

4 結論

本報では、実体モデルをベースとする形状設計における点群データに基づいた曲面生成システムを構築した。そして、B-spline 曲面変換・逆変換およびあてはめ誤差の算出と描画を可能にした。しかし、今回構築した曲面生成システムでは、点群データが膨大(数百万点)の場合や制御点の多いあてはめ処理が行えない状態である。

今後の課題は、これらの問題を解決するとともに、3次元デジタイザおよび各種(切削、積層)加工機と組み合わせた形状設計システムの構築を行っていききたい。

参考文献

- 1) 青山英樹：リバースエンジニアリングの目的と要求される機能および法線ベクトルを利用した試み、型技術、11、12(1996)20.
- 2) David F. Rogers and J. Alan Adams：Mathematical Elements for Computer Graphics(Second Edition), Mac Graw Hill(1990).
- 3) 久里隆志、他6名：三次元点群データからの自由曲面生成、2000年度精密工学会北海道支部学術講演会論文集、24.

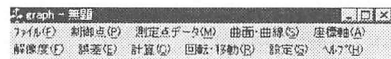


図2 点群データの描画

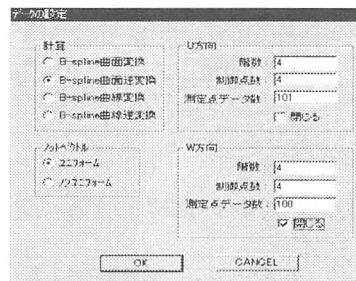


図3 B-spline 曲面のデータ設定ウィンドウ

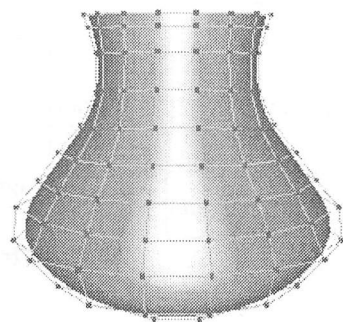


図4 点群データへあてはめた B-spline 曲面と制御点

閉曲面 次投.