

北海道大学 工学部 ○松原 晋 近藤 司 三好隆志 斉藤勝政

1. 緒言

近年の金型製作は、マスタモデルの測定データをベースとして行われている。マスタモデルの形状を計算機空間上において高精度に再現するためには、より細かなピッチによる形状測定が要求され、測定データは膨大な量になる。このため、その膨大な測定データの圧縮化と数式化が必要となっている。

本研究の目的は、マスタモデルからデジタル化により測定された格子状点群データを、B-スプライン曲面にあてはめを行うことにより、離散的なデータを数式化することにある。

2. 本研究の位置付け

マスタモデルからの金型加工のプロセスは、図1のように、従来の倣い加工とは別に、マスタモデルからデジタル化によって得られた離散的な点群データを形状分離・形状解析により、幾何モデルにおける平面・二次曲面・自由曲面に分離し、それぞれのデータをCAD/CAMにより処理し、加工を行うものである。本研究は、形状分離・形状解析により分離された幾何モデルの自由曲面を、B-スプライン曲面にあてはめるものである。

3. B-スプライン曲面への逆変換手法

B-スプライン曲線式は次の式で表わせられる。

$$Q(u) = \sum_{k=0}^n V_k B_{i,k}(u) \quad (1)$$

ただし、 V_k は制御点群、 $B_{i,k}(u)$ は階数 k (次数 $k-1$)のB-スプライン関数である。またB-スプライン曲面式は次の式で表わせられる。

$$s(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_{i,k_1}(u) B_{j,k_2}(v) V_{i,j} \quad (2)$$

ただし、 $V_{i,j}$ は制御点群、 $B_{i,k_1}(u)$ は階数 k_1 (次数 k_1-1)のB-スプライン関数であり、 $B_{j,k_2}(v)$ は階数 k_2 (次数 k_2-1)のB-スプライン関数である。

ここで、(2)式を次のように変形する。

$$s(u,v) = \sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^m V_{i,j} B_{j,k_2}(v) \right) B_{i,k_1}(u)$$

とすると、次式が得られる。

$$s(u,v) = \sum_{i=0}^n C_i(v) B_{i,k_1}(u) \quad (3)$$

ただし、 $C_i(v) = \sum_{j=0}^m V_{i,j} B_{j,k_2}(v)$ $i=0, \dots, M$ (4) となる。

(4)式は、(1)式より $(M+1)$ 本のB-スプライン曲線群の式であり、また(2)式の制御曲線にあたる。そして、この $(M+1)$ 本の制御曲線群を定義する制御点 $V_{i,j} : (M+1) \times (N+1)$ 個の集合が与えられる。

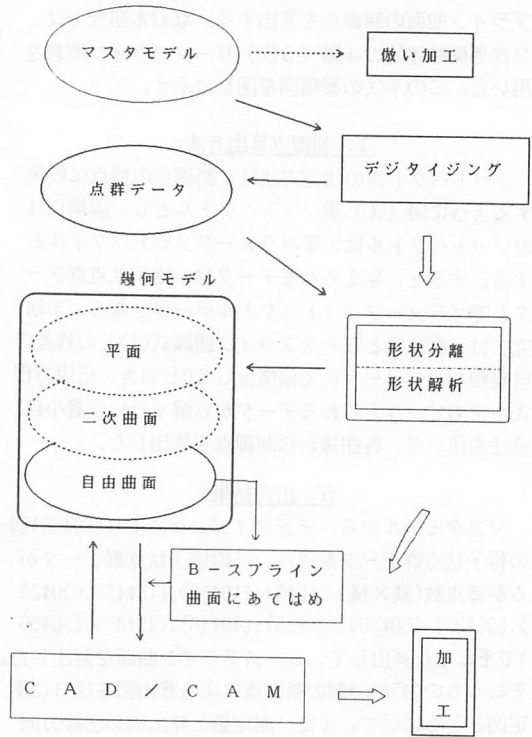


図1 本研究の位置付け

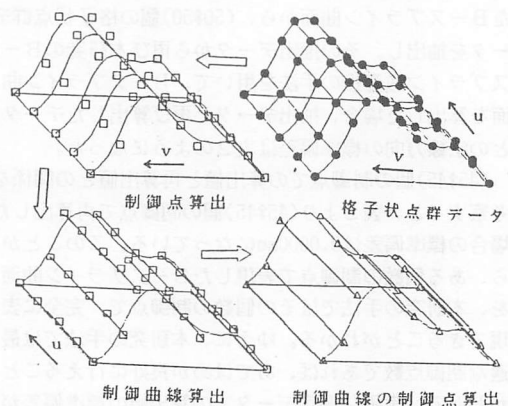


図2 B-スプライン曲面への逆変換手法

以上の考察から本研究では、次のようにして格子状点群データから、B-スプライン曲面の制御点を算出した。

まず、格子状点群データの x, y 方向を u, v 方向とにおいて、 v 方向について断面曲線ととり、その断面曲線から制御点を算出する。算出した制御点を u 方向にとることにより、制御曲線となる。その制御曲線から再び制御点を算出することにより、測定データを基にしたB-スプライン曲面の制御点を算出する。なお本研究では、2次導関数連続の4階(3次)B-スプライン関数を用いた。この手法の概略図を図2に示す。

4. 制御点算出方法

ノットベクトルの決定方法は、制御点の端点に収束するように $M(4)$ 重ノットベクトルとし、両端以外のノットベクトルは、等パラメータノットベクトルとする。すると、与えられるデータは、格子状点群データと等パラメータノットベクトルデータとなる。本研究では、測定値とB-スプライン曲線式(1)との残差の自乗和をパラメータ V_i で偏微分して0とおき、正規方程式を求めて、与えられるデータから解くという最小自乗法を用いて、各曲線から制御点を算出した。

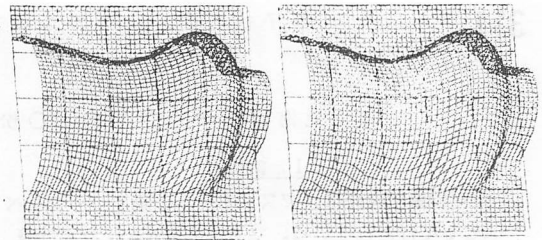
5. 出力結果

マスタモデルから、デジタイジングにより(50*50)個の格子状点群データを得る。その格子状点群データから制御点数(縦×横)：(5*5), (10*10), (15*15), (20*20), (25*25), (30*30), (35*35), (40*40), (45*45), (50*50)でそれぞれ算出して、B-スプライン曲面を算出した。そのうちの(45*45)個の制御点による算出図を図3に測定図とともに示す。また、測定値と算出値の法線方向の標準偏差を表1に示す。

次に、マスタモデルより(45*45)個の制御点で算出したB-スプライン曲面から、(50*50)個の格子状点群データを抽出し、その抽出データから再び本研究のB-スプライン逆変換の手法を用いて、B-スプライン曲面を算出した場合、抽出データと再び算出したデータとの法線方向の標準偏差は表2のようになった。

(45*45)個の制御点での算出値と再算出値との関係を考察すると、表2より(45*45)個の制御点で再算出した場合の標準偏差は0.0000mmになっている。このことから、ある個数の制御点で表現したB-スプライン曲面を、本研究の手法ではその個数の制御点で、完全に表現できることがわかる。ゆえに、本研究の手法では最適な制御点数であれば、あてはめが良好に行えることがわかる。実際に測定データでの算出値の標準偏差が一定の値にまで収束する傾向があるのが表1からわかる。

なお、本研究の手法では多重ノットベクトルを用いないため、連続性の低い部分の表現には限界がある。



(a) 測定値 (50*50) 格子状点群データ
(b) 算出値 (45*45) B-スプライン曲面
 $x \times y$ 方向は100mm×100mm
 z 方向の最大高さ約32mm

図3

表1

測定値と算出値の
法線方向標準偏差

		法線方向 標準偏差
制 御 点 数	5*5	1.8313
	10*10	0.7608
	15*15	0.4310
	20*20	0.2499
	25*25	0.1818
	30*30	0.1386
	35*35	0.1133
	40*40	0.1019
	45*45	0.1026
	50*50	0.0000

(mm)

表2

(45*45)制御点での算出値
と再算出値の
法線方向標準偏差

		法線方向 標準偏差
制 御 点 数	5*5	1.8290
	10*10	0.7586
	15*15	0.4283
	20*20	0.2479
	25*25	0.1825
	30*30	0.1499
	35*35	0.1254
	40*40	0.1088
	45*45	0.0000
	50*50	0.0000

(mm)

6. 結論

1. 断面曲線から制御点を算出する方法をもとにして、格子状点群データのユニフォームB-スプライン曲面へのあてはめの手順を明らかにした。
2. 実際の測定データを用い、ユニフォームB-スプライン曲面へのあてはめを行い、本手法の有効性を確認した。

参考文献

- 1) CD Woodward : Skinning technique for interactive B-spline surface interpolation, computer-aided design volume 20 number 8 october 1988
- 2) 市田浩三, 吉本富士市 : スプライン関数とその応用 教育出版, 1979
- 3) 山口富士夫 : 形状処理工学 [I] [II], 日刊工業新聞社, 1982