

# 機械部品モデルの写真測量とそのフェアリング

Measurement of Machine Parts Model by Photogrammetry, and its Fairing

丸 安 隆 和\*・村 井 俊 治\*・栗 原 京 子\*

Takakazu MARUYASU, Shunji MURAI and Kyoko KURIBARA

従来から、おもに機械工学の分野で数多くのフェアリングの手法が研究され開発されてきた。それらの手法の多くはきわめて煩雑な関数や複雑な作業を必要としたり、大容量の計算機が必要となるので手軽にあるいは実用的に利用されることが少なかった。

そこで本研究では、写真測量から得られた測定値を用いて、手軽にしかも実用的にフェアリングする手法の開発を行なおうとした。本手法によれば任意の平滑率に対応する空間曲線または空間曲面のフェアリングが容易に行なうことが可能になる。

## 1. 空間曲線のフェアリング

### (1) 空間曲線のフェアリング問題

一般に写真測量によって測定された値は、写真測定時の誤差やモデルそのものの歪みなどから、なめらかさを失っていることが多い。特に境界線となるキャラクターは測定が他の部分よりむずかしいためその傾向が強い。

空間曲線をフェアリングする方法は数多くの研究者により開発されている。この研究ではこれらの研究成果のもつ複雑さや難解さをさけてフェアリングの実用的な方法を見出すために、次のような考え方を行なった。

すなわち、まずフェアリングされた空間曲線上の点  $(X, Y, Z)$  はつぎに示されるような関数をもつものとする。

$$\left. \begin{aligned} X &= f(u) \\ Y &= g(u) \\ Z &= h(u) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

つぎにこの空間曲線上に有限個の点が測定されるものとし、これらの測定値は上記の (1) 式であらわされる曲線上に平滑化されるものとする。

空間曲線上の  $i$  番目の点  $P_i$  の測定値を  $(x_i, y_i, z_i)$  とし、この点がフェアリングされて  $(X_i, Y_i, Z_i)$  の座標となったとしよう。

この研究では空間曲線のフェアリング問題をつぎのように定義した。

すなわち、 $X_i, Y_i, Z_i$  はそれぞれ (2) 式で表わされる  $F, G, H$  の値を (3) 式で表わされる制約条件のもとでそれぞれ最小にするような値として定義される。

$$\left. \begin{aligned} F &= \sum (X_i - x_i)^2 \\ G &= \sum (Y_i - y_i)^2 \\ H &= \sum (Z_i - z_i)^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} L_x^2 &= \alpha_x D_x^2 \\ L_y^2 &= \alpha_y D_y^2 \\ L_z^2 &= \alpha_z D_z^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで、 $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$  はそれぞれ、 $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向の平滑率をあらわし、 $L_x, L_y, L_z, D_x, D_y, D_z$  は (4) 式で与えられるように距離の 2 乗和を示している。すなわち、(3) 式の制約条件は、フェアリングされた空間曲線の各線分の距離の 2 乗和が、測定された空間曲線の各線分の距離の 2 乗和を  $\alpha$  倍した値に縮められることを示している。

$$\left. \begin{aligned} D_x^2 &= \sum \{(u_{i+1} - u_i)^2 + (x_{i+1} - x_i)^2\} \\ L_x^2 &= \sum \{(u_{i+1} - u_i)^2 + (X_{i+1} - X_i)^2\} \\ D_y^2 &= \sum \{(u_{i+1} - u_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2\} \\ L_y^2 &= \sum \{(u_{i+1} - u_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2\} \\ D_z^2 &= \sum \{(u_{i+1} - u_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2\} \\ L_z^2 &= \sum \{(u_{i+1} - u_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2\} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\frac{\sum (u_{i+1} - u_i)^2}{\sum \{(u_{i+1} - u_i)^2 + (\theta_{i+1} - \theta_i)^2\}} < \alpha_\theta < 1.0 \quad (5)$$

(3) 式を変形すると (6) 式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} P(X) &= \sum (X_{i+1} - X_i)^2 - (\alpha_x - 1) \sum (u_{i+1} - u_i)^2 \\ &\quad - \alpha_x \sum (x_{i+1} - x_i)^2 = 0 \\ Q(Y) &= \sum (Y_{i+1} - Y_i)^2 - (\alpha_y - 1) \sum (u_{i+1} - u_i)^2 \\ &\quad - \alpha_y \sum (y_{i+1} - y_i)^2 = 0 \\ R(Z) &= \sum (Z_{i+1} - Z_i)^2 - (\alpha_z - 1) \sum (u_{i+1} - u_i)^2 \\ &\quad - \alpha_z \sum (z_{i+1} - z_i)^2 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

結局、空間曲線のフェアリング問題は、 $X, Y, Z$  の成分に分解して、(6) 式で表わされる制約条件のもとに (2) 式であらわされる関数を最小にするような  $X_i, Y_i, Z_i$  を求める問題であるとした。

上にあげた式は  $X, Y, Z$  について対称であるので  $X$  についてのみの問題を論議することにしよう。

### (2) 空間曲線のフェアリング問題の解き方

空間曲線のフェアリング問題は、ラグランジュの未定係数法を導入すると、つぎに示すような問題として扱える。すなわち

$$F = \sum (X_i - x_i)^2 + \lambda P(X) \quad (7)$$

であらわされる  $F$  を最小にするような  $X_i$  および  $\lambda$  を求めればよい。

結局、(6) 式の制約式と  $F$  を  $X_i$  で微分したものを

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

ゼロとして得られるつぎのような非線形連立方程式を解くことによって  $X_i$  および  $\lambda$  が求められる。

(1) 両端が自由端の場合

$$\begin{cases} P(X) = \sum_{i=1}^{n-1} (X_{i+1} - X_i)^2 - (\alpha_x - 1) \sum_{i=1}^{n-1} (u_{i+1} - u_i)^2 \\ -\alpha_x \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_i} = 0 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

(9) 式をマトリックス表示すると (10) 式のようになる。

$$\begin{pmatrix} 1+\lambda & -\lambda & & & & & \\ -\lambda & 1+2\lambda & -\lambda & & & & \\ & -\lambda & 1+2\lambda & -\lambda & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & & -\lambda & 1+2\lambda & -\lambda & \\ & & & & -\lambda & 1+2\lambda & -\lambda \\ & & & & & -\lambda & 1+\lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \vdots \\ X_{n-1} \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{pmatrix} \quad (10)$$

(2) 一端が固定端の場合

$i=1$  の点が固定されている場合は (10) 式の第 1 行目を除き,  $i=n$  の点が固定されている場合は (10) 式の第  $n$  行目を除く。また (8) 式において  $X_1$  または  $X_n$  は入力値を用いるようにすればよい。

(3) 両端が固定端の場合

(10) 式の第 1 行目および第  $n$  行目を除き, (8) 式の  $X_1$  および  $X_n$  に入力値を用いればよい。

(8) 式および (9) 式または (10) 式で表わされる連立非線形方程式を解くにはつぎのような逐次近似法を用いればよい。

(i) (10) 式からわかるように  $X_i$  は  $\lambda$  の関数であるから  $P(X)$  は  $\lambda$  の関数とみなすことができる。

$$P = P(\lambda) \quad (11)$$

(ii)  $\lambda$  の近似値  $\lambda^0$  を与える。普通の場合第一近似値を  $\lambda^0 = 0$  としてよい。

(iii)  $\lambda = \lambda^0$  のまわりにテーラー展開し、一次項までとる。

$$P(\lambda) \approx P(\lambda^0) + \frac{\partial P}{\partial \lambda} \Delta \lambda = 0 \quad (12)$$

(iv) 上式から  $\Delta \lambda$  を求め、近似値をつぎのように補正して  $P(\lambda^0) = 0$  となるまで (iii) 式以下をくりかえす。

$$\lambda^0 = \lambda^0 + \Delta \lambda \quad (13)$$

(3) データの正規化

測定値  $x_i, y_i, z_i$  の単位や大きさによって、連立方程式を解く場合の感度が異なることがあるので、つぎのように測定データを正規化しておくことが望ましい。

すなわち、測定データの平均値および標準偏差をもとめ、平均値のまわりに正規化しておく。

測定値を  $x_i$ , 正規化されたデータを  $x_i'$  とするとつぎの式によって  $x_i'$  を求める。

$$x_i' = (x_i - \mu) / \sigma \quad (14)$$

ここで  $\mu = \sum x_i / n$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}}$$

正規化された値を用いてフェアリング問題を解いたとき得られた解  $X_i'$  はつぎの式を用いてもとの単位に変換すればよい。

$$X_i = \sigma X_i' + \mu \quad (15)$$

(4) 空間曲線フェアリングの応用例

図 1 に示されるようなスクリーウの木製モデルを写真測量して、各マークの空間座標を求めた。このスクリーウの形状を決めるために、まずスクリーウの外周部を決定し、それを用いて内側の曲面を 2. でのべるような空間曲面フェアリングの手法を用いて決定することを考えた。

写真からわかるようにスクリーウ外周部には 14 個、内側に 25 個のマークがはりつけられ、さらに写真測量の基準点として 12 個のターゲットが設けられた。

写真測量による測定値の誤差の平均値は、つぎのようであった。

$x$ 方向 (横方向)	$\pm 0.2 \text{ mm}$
$y$ 方向 (縦方向)	$\pm 0.1 \text{ mm}$
$z$ 方向 (奥行方向)	$\pm 0.4 \text{ mm}$

室内で行なわれる写真測量の精度は大体上記程度であるが、撮影距離、使用カメラの焦点距離、レンズ基線長

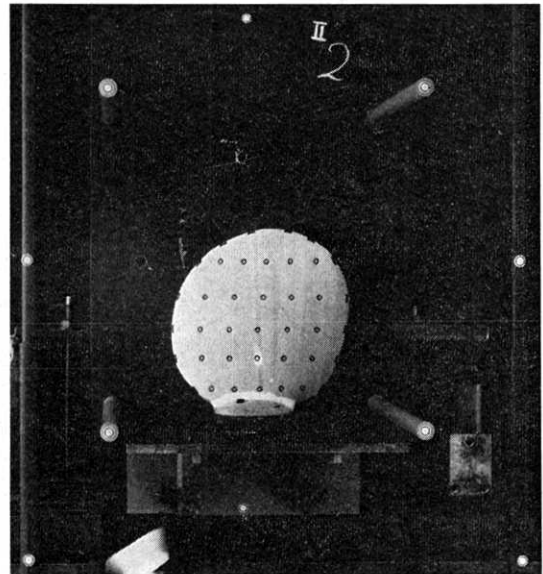


図 1 スクリューの木製モデル

表 1 写真測量諸元

撮影距離	1.60 m
カメラ名称	IIS カメラ
カメラ焦点距離	112.4 mm
レンズ基線長	300.0 mm
写真縮尺	1: 14

表 2 スクリュー外周部の測定座標およびそのフェアリング ( $I=1$  と  $I=14$  の両端を固定した)

	$x$ 測定値	フェアリングされた X 値 $\alpha=0.998$	$y$ 測定値	フェアリングされた Y 値 $\alpha=0.998$	$z$ 測定値	フェアリングされた Z 値 $\alpha=0.990$
	X (I)	XX (I)	Y (I)	YY (I)	Z (I)	ZZ (I)
1	-70.342	-70.342	-150.164	-150.164	156.373	156.373
2	-93.087	-92.172	-113.513	-113.642	144.158	144.560
3	-96.354	-95.804	-79.830	-79.584	136.853	137.189
4	-89.331	-88.487	-40.809	-40.829	132.929	133.533
5	-64.645	-64.386	-1.660	-2.466	136.163	136.563
6	-35.301	-35.132	21.015	20.503	143.674	144.024
7	-2.934	-2.525	34.346	33.697	154.932	155.351
8	38.926	38.223	35.114	34.496	171.943	171.320
9	64.904	64.979	24.189	23.500	180.667	180.392
10	94.000	93.231	0.300	-0.649	187.000	186.428
11	106.929	106.186	-43.248	-42.918	186.665	186.140
12	104.666	104.354	-78.958	-78.882	180.307	180.046
13	96.753	96.314	-113.381	-113.404	171.167	171.065
14	79.548	79.548	-148.355	-148.355	160.958	160.958

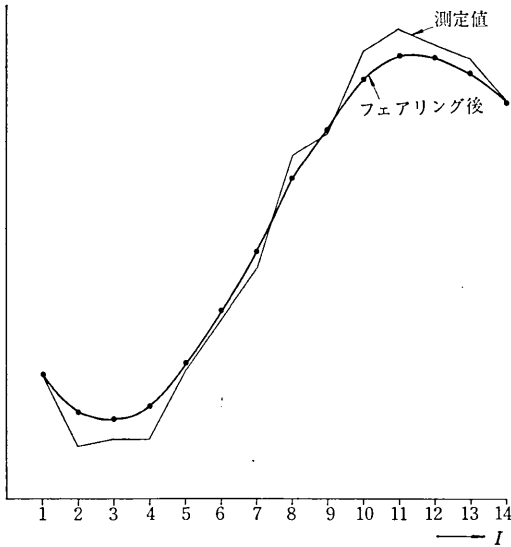


図 2 (a) X 座標のフェアリング (偏差を見やすくするため偏差を拡大してある)

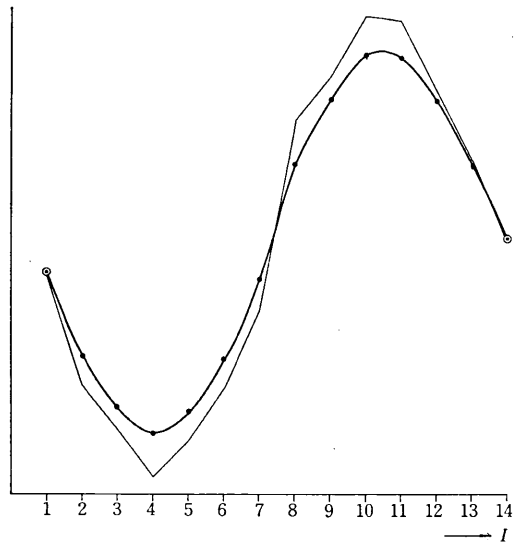


図 2 (c) Z 座標のフェアリング (偏差を見やすくするため偏差を拡大してある)

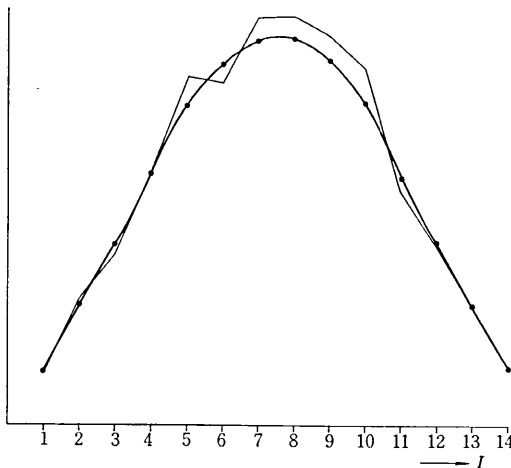


図 2 (b) Y 座標のフェアリング (偏差を見やすくするため偏差を拡大してある)

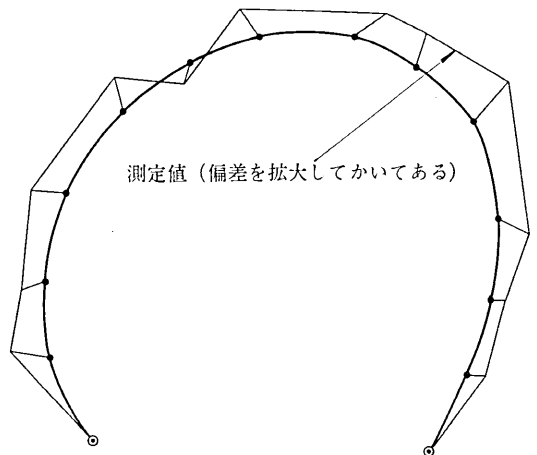


図 3 スクリュー外周曲線のフェアリング状況 (X-Y 断面)

などによっても精度は異なる。表1はこのモデルを写真撮影したときの諸元である。

表2は写真測量によって得られたスクリュー外周部14個のターゲットの空間座標と、これらの測定値を用いて空間曲線のフェアリングをした結果である。

図2(a)(b)(c)は、それぞれ、X, Y, Z, に分解した図であり、図3は正面図になおしたものである。

これらの図からわかるように、測定の精度に応じて平滑率 $\alpha$ の値を変えてやれば、好みに応じてまたは図解的に確認しながらフェアリングを行なうことができる。

写真測量の精度とほぼ見合う平滑率は

x方向:  $\alpha_x=0.998$

y方向:  $\alpha_y=0.998$

z方向:  $\alpha_z=0.990$

であった。

## 2. 空間曲面のフェアリング

### (1) 空間曲面のフェアリング問題

空間曲面のフェアリング問題は空間曲線のフェアリング問題を拡張して以下のように定義される。

すなわち、フェアリングされる空間曲面上の点 (X, Y, Z) はつぎに示されるような関数で表わされるものとする。

$$\left. \begin{aligned} X &= f(u, v) \\ Y &= g(u, v) \\ Z &= h(u, v) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

このとき、この曲面上に有限個の点  $p_{ij}$  の空間座標  $(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$  が測定されるものとし、これらが平滑化されて、(16)式であらわされる曲面上に、 $(X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})$  の空間座標をもつものとする。

この研究では空間曲線問題と同様に、X, Y, Z 方向にそれぞれ分解して考える。X, Y, Z 方向に関して対称となるので、ここではX方向のフェアリング問題のみをかくことにする。

フェアリングされるべき  $X_{ij}$  は (18) 式であらわされる制約式のもとに (17) 式であらわされる  $F$  の値を最小にするような値として求められる。

$$F = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (X_{ij} - x_{ij})^2 \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} P_u &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m-1} \{ (X_{i+1,j} - X_{ij})^2 + (u_{i+1,j} - u_{ij})^2 \} \\ &\quad - \alpha_u \{ (x_{i+1,j} - x_{ij})^2 + (u_{i+1,j} - u_{ij})^2 \} = 0 \\ P_v &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-1} \{ (X_{i,j+1} - X_{ij})^2 + (v_{i,j+1} - v_{ij})^2 \} \\ &\quad - \alpha_v \{ (x_{i,j+1} - x_{ij})^2 + (v_{i,j+1} - v_{ij})^2 \} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

ただし、 $\alpha_u, \alpha_v$  はつぎの式で示される範囲をとる。

$$1 > \alpha_u > \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m-1} (u_{i+1,j} - u_{ij})^2}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m-1} \{ (u_{i+1,j} - u_{ij})^2 + (x_{i+1,j} - x_{ij})^2 \}}$$

$$1 > \alpha_v > \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-1} (v_{i,j+1} - v_{ij})^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-1} \{ (v_{i,j+1} - v_{ij})^2 + (x_{i,j+1} - x_{ij})^2 \}} \quad (19)$$

### (2) 空間曲面のフェアリング問題の解き方

空間曲面のフェアリング問題は、ラグランジュの未定係数法を導入すると、つぎに示すような問題におきかえられる。

すなわち

$$F = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (X_{ij} - x_{ij})^2 + \lambda_u P_u + \lambda_v P_v \quad (20)$$

であらわされる  $F$  を最小にするような  $X_{ij}$  を求めればよい。

結局 (18) 式の制約式と、(20) 式を  $X_{ij}$  で微分したものとでつくられる  $(m \times n + 2)$  元の非線形連立方程式を解くことによって  $X_{ij}$  および  $\lambda_u, \lambda_v$  が求められる。

#### (1) すべての点が自由点である場合

$$\left\{ \begin{aligned} P_u &= 0 \\ P_v &= 0 \\ \frac{\partial F}{\partial X_{ij}} &= 0 \quad i=1, m; j=1, n \end{aligned} \right. \quad (21)$$

(21) 式をマトリックス表示すると (22) 式のようなになる。

$$\begin{pmatrix} A & C \\ C & B & C \\ & C & B & C \\ & & C & A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{m-1} \\ X_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{m-1} \\ x_m \end{pmatrix} \quad (22)$$

ここで

$$A = \begin{pmatrix} 1 + \lambda_u + \lambda_v & -\lambda_v & & & \\ & -\lambda_v & 1 + \lambda_u + 2\lambda_v & -\lambda_v & \\ & & -\lambda_v & 1 + \lambda_u + 2\lambda_v & -\lambda_v \\ & & & -\lambda_v & 1 + 2\lambda_u + \lambda_v \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 1 + 2\lambda_u + \lambda_v & -\lambda_v & & & \\ & -\lambda_v & 1 + 2\lambda_u + 2\lambda_v & -\lambda_v & \\ & & -\lambda_v & 1 + 2\lambda_u + 2\lambda_v & -\lambda_v \\ & & & -\lambda_v & 1 + 2\lambda_u + \lambda_v \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} -\lambda_u \\ & -\lambda_u \end{pmatrix}$$

$$X_i = \begin{pmatrix} X_{i1} \\ X_{i2} \\ \vdots \\ X_{in} \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \vdots \\ x_{in} \end{pmatrix}$$

#### (1) 一部固定点がある場合

境界条件やその他のためにある点を与えられた座標値になるようにフェアリングしたい場合には、(21) 式または (22) 式の中からこれらの点に対応する式を除けばよい。

$X_{ij}$  および  $\lambda_u, \lambda_v$  に関する非線形連立方程式を解くには、 $P_u$  および  $P_v$  の関数を  $\lambda_u, \lambda_v$  に関する関数と考え、前と同様にデータを正規化した上で逐次近似法を用いて解けばよい。

(3) 空間曲面のフェアリングの応用例

空間曲線のフェアリング問題に用いた木製スクリューのモデルに空間曲面のフェアリングを行なった例を以下に示そう。

図4に示されるようにフェアリングされたスクリュー外周部の空間曲線が、空間曲面の固定端となるものと考え、スクリュー内部の  $5 \times 5 = 25$  点を自由未知点として空間曲面のフェアリング問題を解いてみた。すなわち、 $7 \times 6$  のメッシュを考え、 $i=1, i=7$  および  $j=6$  の線上はスクリュー外周部により固定されているものとする。また、(4, 6) の点はこの外周曲線上に与えられる

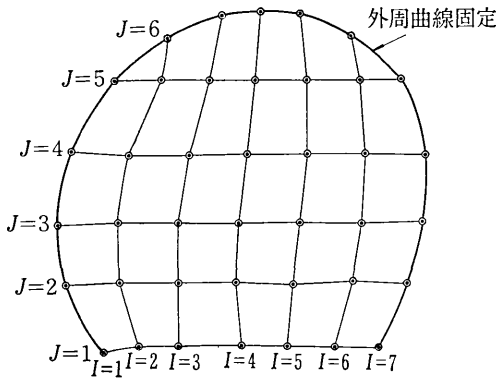


図4 スクリュー断面のフェアリング問題

と考え、(1, 6) 点と (2, 6) 点および (6, 6) 点と (7, 6) 点はそれぞれ共有点とした。

$x$  および  $y$  方向では平滑率  $\alpha=0.998$ 、 $z$  方向に  $\alpha=0.990$  を採用したときの曲面フェアリングの計算結果を表3~5に示す。

フェアリングされた各格子点を用いて、格子点以外の点に対応する空間座標を求める必要がある。この手法についてはすでに著者らは生産研究第23巻第10号(1971)「人体の数値表現とその自動処理」で発表しているもので、ここでは省略する。この手法を用いてフェアリングされたスクリューの立体透視図を自動作画したものが図5である。

む す び

機械部品モデルを手軽に写真測量し、その複雑な線や

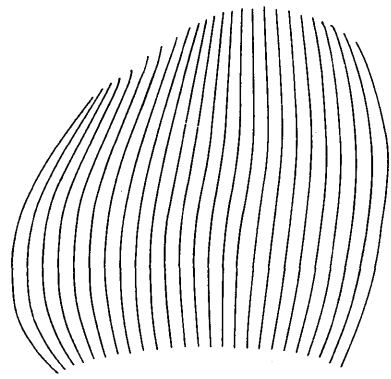


図5 自動製図されたスクリュー曲面の透視図

表3 X 曲面のフェアリング

x 座標測定値 (単位: mm)							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	-70.342	-50.806	-24.483	4.966	30.340	55.855	79.548
2	-93.087	-61.584	-29.676	2.108	33.014	66.211	96.753
3	-96.354	-62.906	-29.364	2.998	36.995	71.349	104.666
4	-89.331	-56.832	-23.226	9.603	41.774	73.660	106.929
5	-64.645	-38.795	-12.167	13.240	40.528	69.449	94.000
6		-35.301	-2.934	16.000	38.926	64.904	
フェアリングされたX座標値 ( $\alpha=0.998$ )							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	-70.342	-51.200	-24.671	4.863	30.443	56.239	79.548
2	-92.172	-61.244	-29.475	2.248	33.066	66.031	96.314
3	-95.804	-62.609	-29.138	3.207	37.018	71.231	104.354
4	-88.487	-56.405	-23.041	9.501	41.554	73.418	106.186
5	-64.386	-39.302	-12.212	13.204	40.482	69.431	93.231
6		-35.132	-2.525	16.000	38.223	64.979	
偏差							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	0.000	-0.394	-0.188	-0.103	0.103	0.384	0.000
2	0.915	-0.340	0.201	0.140	0.052	-0.180	-0.439
3	0.550	0.297	0.226	0.209	0.023	-0.118	-0.312
4	0.844	0.427	0.185	-0.102	-0.220	-0.242	-0.743
5	0.259	-0.507	-0.045	-0.036	-0.046	-0.018	-0.769
6		0.169	0.409	0.000	-0.703	0.075	

表 4 Y 曲面のフェアリング

y 座標測定値 (単位: mm)							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	-150.164	-146.742	-146.927	-146.624	-146.305	-146.045	-148.355
2	-113.513	-112.007	-111.999	-111.654	-111.639	-111.434	-113.381
3	-79.830	-78.959	-78.998	-78.882	-78.677	-78.750	-78.958
4	-40.809	-41.745	-41.641	-41.584	-41.473	-41.671	-43.248
5	-1.660	-0.240	-0.776	-0.881	-0.821	-0.562	-0.300
6		21.015	34.346	36.000	35.114	24.189	
フェアリングされたY座標値 ( $\alpha=0.998$ )							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	-150.164	-146.742	-146.927	-146.624	-146.305	-146.045	-148.355
2	-113.642	-112.007	-111.999	-111.654	-111.639	-111.434	-113.404
3	-79.584	-78.959	-78.998	-78.882	-78.677	-78.750	-78.882
4	-40.829	-41.745	-41.641	-41.584	-41.473	-41.671	-42.918
5	-2.466	-0.240	-0.776	-0.881	-0.821	-0.562	-0.649
6		20.503	33.697	35.500	34.496	23.500	
偏 差							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.023
3	0.246	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.076
4	-0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.330
5	-0.806	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.349
6		-0.512	-0.649	-0.500	-0.618	-0.689	

表 5 Z 曲面のフェアリング

z 座標測定値 (単位: mm)							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	156.373	163.203	169.098	171.148	169.673	165.523	160.958
2	144.158	155.797	164.781	169.652	172.314	173.192	171.167
3	136.853	151.783	161.882	170.941	175.662	178.991	180.307
4	132.929	147.908	160.340	170.386	177.473	183.082	186.665
5	136.163	147.960	159.455	168.211	176.511	183.329	187.000
6		143.674	154.932	165.000	171.643	180.667	
フェアリングされたZ座標値 ( $\alpha=0.990$ )							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	156.373	162.015	168.391	170.948	170.135	166.789	160.958
2	144.560	156.152	164.923	169.988	172.437	173.039	171.065
3	137.189	151.934	162.110	170.676	175.376	178.616	180.046
4	133.533	148.428	160.402	170.073	176.927	182.386	186.140
5	136.563	147.456	158.996	167.942	175.817	182.765	186.428
6		144.024	155.351	164.500	171.320	180.392	
偏 差							
J	I=1	I=2	I=3	I=4	I=5	I=6	I=7
1	0.000	-1.188	-0.707	-0.200	0.462	1.266	0.000
2	0.402	0.355	0.142	0.336	0.123	-0.153	-0.102
3	0.336	0.151	0.228	-0.265	-0.286	-0.375	-0.261
4	0.604	0.520	0.062	-0.313	-0.546	-0.696	-0.525
5	0.400	-0.504	-0.459	-0.269	-0.694	-0.564	-0.572
6		0.350	0.419	-0.500	-0.323	-0.275	

面をなめらかなものにフェアリングする手法に対する要望はかなり前からあった。写真測量による測定の精度にはある限界があり、その解析技術上必然的に誤差が介入する。ここでは、これらの事情を認識した上で写真測量から得られた値を用いて実用的なフェアリングの解を求める手法を開発した成果を紹介した。

ここに示した写真測量の精度はきわめてよいため、十

分に本手法の特色を示すことができなかったが、もう少し精度が低くてもなおこの手法による効果が期待できると考えられる。この手法は宅地造成などの整地問題にも応用可能であり、広い応用可能性をもっている。

おわりに、機械部品モデル撮影にあたって多大の協力をしていただいた新日本工機(株)の皆様に謝意を表す。

(1972年4月28日 受理)