

## 要 旨

ステレオ画像による3D形状測定法の一つである微分両眼視法を改良し、より高精度な画像計測を目指す。その一手法として本報では、傾斜基準面法と呼ぶ改良アルゴリズムを提案し、その効果をシミュレーションにより検討する。

## 1. 緒言

微分両眼視法は、勾配が比較的滑らかに変化する物体を対象とした非接触3D形状測定法である。このような物体表面は、局所的に平面（局所平面と呼ぶ）で精度良く近似することが可能である。本来の微分両眼視法<sup>1)</sup>では局所平面を高さ一定の平面とし、これに平行な基準面上の点を二台のカメラが観測しようとしたときに得られる両眼の濃度値を処理することによって、物体表面の高さのみを測定する。したがってこの方法で精度良く測定できるのは、表面が極めて小さな勾配をもつ物体に限られていた。

先の報告<sup>2)</sup>では、物体表面の勾配を考慮して局所平面を測定点における接平面と仮定し、局所平面の高さと勾配を同時に算出する方法（以下、従来法と呼ぶ）を提案した。しかし微分両眼視法においては局所平面と基準面との高さの差が、測定点近傍において微小であることを前提とするため、表面の勾配の増加に伴って測定誤差が増大するという性質があった。

本報告ではこの前提条件を成立させ、測定点におけるより高精度な3D座標と勾配を求めるための傾斜基準面法を提案する。つまり基準面を、局所平面に近い傾斜をもつ傾斜面であると想定して、高さと傾きを繰り返し演算によって収束させようとするものである。収束条件はこの二平面がほとんど一致したときであり、このとき両眼の視線がほぼ一致したことになる。

## 2. 傾斜基準面法の原理

空間に物体座標系  $o-xyz$  を採り、 $xy$  平面に正対してこの平面から距離  $H_0$  の位置に二台のカメラが  $x$  軸に平行に間隔  $D (=2d)$  で置かれている系を考える（図1）。いま測定点を  $(x_m, y_m)$  としてその近傍領域で局所平面、傾斜基準面をそれぞれ次式で表す。

$$h(x, y) = h_m + h_0 - \alpha_1(x - x_m) - \beta_1(y - y_m) \quad (1)$$

$$z(x, y) = H_1 - \alpha_0(x - x_m) - \beta_0(y - y_m) \quad (2)$$

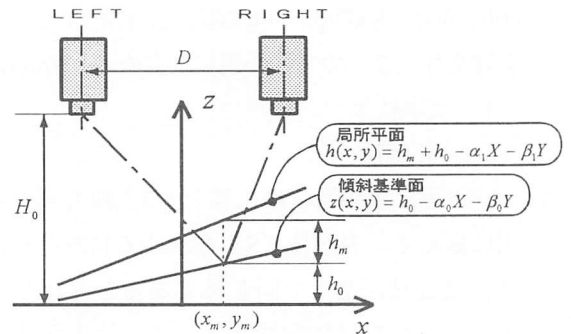


図1 傾斜基準面法の配置図

左右のカメラが基準面上の点  $(x, y)$  を捉えようとしたとき、実際に得られる左右両画像を  $f_R(x, y)$ ,  $f_L(x, y)$  とし、撮像までに受ける強度の変化をそれぞれ  $\xi_R, \xi_L$  とし、 $\xi = (\xi_R - \xi_L) / (\xi_R + \xi_L)$  を導入し、一次近似を用いて整理すれば次式を得る。

$$f_- - \xi f_+ - C \{h(x, y) - z(x, y)\} f_g = 0 \quad (3)$$

$$\text{ただし } C = \frac{d}{H_{m0}(H_{m0} - \alpha x_m - \beta y_m) - \alpha_0(\alpha_0 + \alpha)d^2} \quad (4)$$

$$f_g = (H_{m0} - \alpha_0 x) f_x - \alpha_0 y f_y \quad (5)$$

$$H_{m0} = H_0 - h_0 - \alpha_0 x_m - \beta_0 y_m \quad (6)$$

ここで、 $f_- = f_R - f_L$ ,  $f_+ = f_R + f_L$  であり、 $f_x, f_y$  はそれぞれ  $f_+$  の  $x, y$  に関する偏微分を表す。測定点の近傍、領域  $\Gamma$  内で式 (3) が成り立つと考える

$$J = \iint_{\Gamma} [f_- - \xi f_+ - C(h_m - \alpha X - \beta Y) f_g]^2 dx dy \quad (7)$$

ただし、 $\alpha = \alpha_1 - \alpha_0, \beta = \beta_1 - \beta_0,$

$$X = x - x_m, Y = y - y_m$$

を最小にするような  $C, h_m, \alpha, \beta$  を求める。正規方程式は、

$$\begin{pmatrix} S_{++} & S_{+g} & -XS_{+g} & -YS_{+g} \\ S_{+g} & S_{gg} & -XS_{gg} & -YS_{gg} \\ -XS_{+g} & -XS_{gg} & X^2S_{gg} & XYS_{gg} \\ -YS_{+g} & -YS_{gg} & XYS_{gg} & Y^2S_{gg} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ Ch_m \\ C\alpha \\ C\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{-+} \\ S_{-g} \\ -XS_{-g} \\ -YS_{-g} \end{pmatrix} \quad (8)$$

ただし、 $X^r Y^s S_{i,j} = \iint_{\Gamma} X^r Y^s f_i f_j dx dy$   
( $r, s = 0, 1, 2; i, j = +, -, g$ )

この解と式(4)から

$$C = \frac{d + (H_{m_0}x_m + \alpha_0 d^2)C\alpha + H_{m_0}y_m C\beta}{H_{m_0}^2 - (\alpha_0 d)^2} \quad (9)$$

が求められ、この式と式(8)から  $h_m$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  をそれぞれ求めることができる。

### 3. シミュレーションの条件

傾斜基準面法の効果を立証するために、以下の条件でシミュレーションを行った。

$$H_0 = 700(\text{mm}), D = 74(\text{mm})$$

測定ピッチ 0.5(mm)

近傍領域  $\Gamma = 11 \times 11(\text{pitch})$

$$\text{対象物表面の濃度 } f = 3 + \sin(\omega x) + \cos(\omega y) \quad (10)$$

### 4. シミュレーション結果と検討

シミュレーションの結果の一例を図2に示す。対象は、 $x$ 軸に関して70度傾斜した平面で、高さの誤差を拡大して表示している。この図から提案した方法が従来法に比べ、より対象物に近い平面を得たことが分かる。

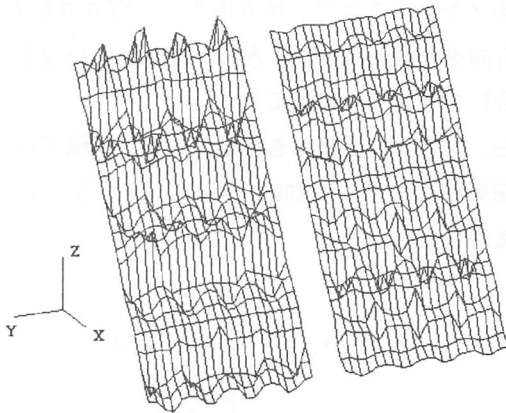
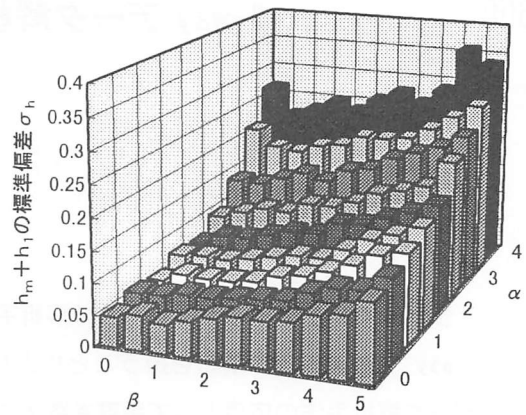


図2 従来法(左)と傾斜基準面法(右)との比較

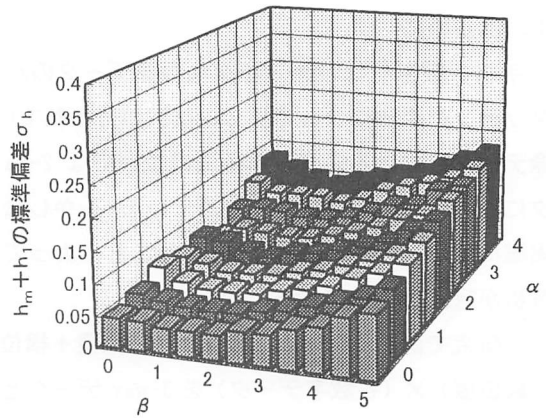
提案法は他の傾斜に対しても同様に誤差が小さく、その効果は平面の傾斜が急であるほど顕著に現れている(図3)。また、物体表面上の勾配の算出においても、提案法はより高い精度を得ており(図4)、基準面の傾斜に関する情報が、精度改善に反映していることが分かる。ただし、画像の輝度情報のみを用いて計算を行うため、測定物の輝度分布(今回は式(10)に与えた正弦波の周期)の違いによって測定精度は変化してしまい、本手法によってどの程度の測定精度が常に保証されるかを解析的に求めるのは大変困難である。しかしどの周期においても、誤差が対象の傾斜角の影響を受け難いという傾向は変わらず、本手法の有効性は立証された。

### 5. 結言

本研究は微分両眼視による3D形状測定の高精度化を目的とし、従来法との比較により、提案した傾斜基準面法の有効性を立証した。



(a) 従来法



(b) 提案法

図3 平面の法線ベクトル( $\alpha, \beta, 1$ )に対するZ座標の誤差(標準偏差)

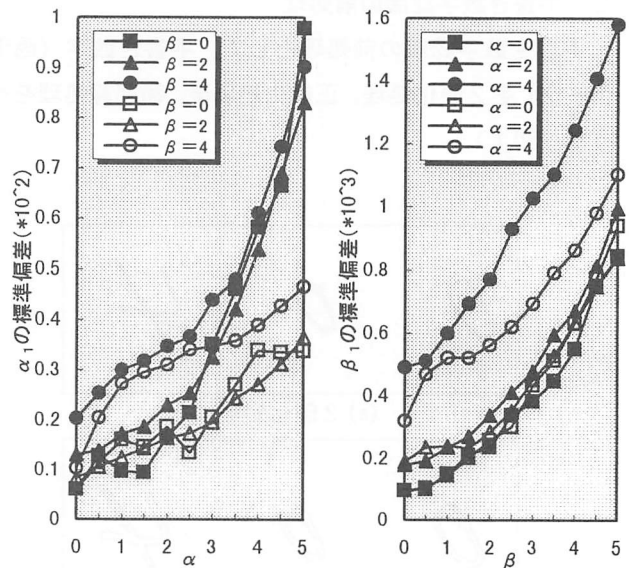


図4 平面の法線ベクトル( $\alpha, \beta, 1$ )に対する  $\alpha_1, \beta_1$  の誤差(標準偏差)  
(黒塗りが従来法, 白抜きが提案法)

### 参考文献

- 1) 安藤他: 計測自動制御学会論文集, 24, 6(1988)84/90
- 2) 遠田他: 精密工学会北海道支部学術講演会論文集(1993)17/18