

要旨

本研究では、感覚的に3次元ベクトルを計算機内に入力することが可能な装置を試作した。二台のカメラとPSDを用いた3次元ベクトルの測定原理を述べ、二台のカメラの光軸の向きが測定精度に与える影響を調べる実験を行った。その結果、光軸を内向させる(適当に角度を設ける)ことの有効性が示された。

1. はじめに

現在のCADシステムにおける情報入力には、概ねマウス、タブレットなどのように2次元的に入力するもの、あるいはキーボードのように数値による3次元座標値の入力は可能であるが、移動量などが視覚的に理解しにくいものが入力方式として用いられている。しかし3次元的に形状情報を取り扱うCADシステムでは、数値入力や2次元空間内での操作では不十分であり、操作者が3次元空間内で感覚的に位置、方向を指示することが可能な形状モデラが必要と考えられる。本報では、PSD (Position Sensitive Device) 素子を用いることにより3次元空間内の複数個の光源の座標値及びベクトル情報を計算機内に入力することが可能な装置の開発を目的として、装置を試作し、3次元ベクトル計測の実験を行ったのでその結果について報告する。なお、本研究におけるベクトルとは方向ベクトルのことであり、始点と終点の距離および方向を表すものである。

2. 3次元座標値算出の原理

図1に本研究で用いた3次元座標値の算出原理を示す。3次元空間上で点 $Q_1 (q_{1x}, q_{1y}, q_{1z})$ 、 $Q_2 (q_{2x}, q_{2y}, q_{2z})$ 、 $Q_0 (q_{0x}, q_{0y}, q_{0z})$ とすると、

$$Q_0 = Q_1 + s a_1 \tag{1}$$

$$Q_0 = Q_2 + t a_2 \tag{2}$$

が成り立つ。

ここで、 $a_1 (a_{1x}, a_{1y}, a_{1z})$ 、 $a_2 (a_{2x}, a_{2y}, a_{2z})$ は単位ベクトル、 $s$ 、 $t$ は任意の実数である。式(1)、(2)より

$$Q_1 - Q_2 = s a_1 - t a_2 \tag{3}$$

となり、 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ から $s$ 、 $t$ が求められる。

今、 $Q_0$ は光源の位置座標であり、 $Q_1$ 、 $Q_2$ はレンズ中心 $P_1$ 、 $P_2$ を通過して2つのPSDに達する光の位置ベクトルである。従ってPSD<sub>1</sub>とPSD<sub>2</sub>の幾何学的関係( $D$ 、 $O_1$ 、 $O_2$ 、 $f_1$ 、 $f_2$ )が既知であれば、2つのPSD上での座標値 $Q_1$ 、 $Q_2$ から光源の3次元座標値 $Q_0$ を求めることが出来る。

なお、 $D$ はレンズ中心間距離、 $O_1$ 、 $O_2$ はPSD<sub>1</sub>、PSD<sub>2</sub>の光軸の向き、 $f_1$ 、 $f_2$ はレンズの焦点距離を表す。

3. 3次元ベクトル入力装置

図2に本研究で試作した3次元ベクトル入力装置の構成図を示す。

本装置では、3次元座標値を入力するPSD素子を用いた2つの受光部、PSDより出力される情報を計算機に入力するための電流電圧変換回路、A/D変換回路、計算機から構成されている。また、光源とし

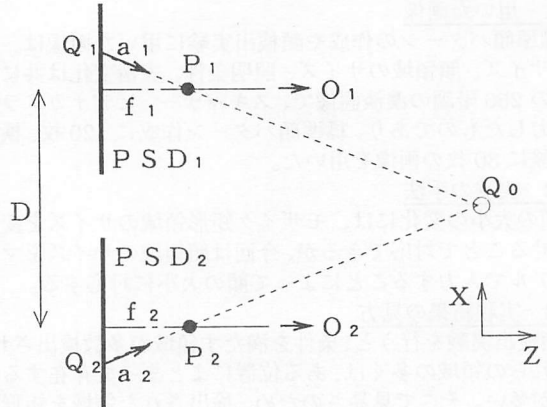


図1 3次元座標値算出原理図

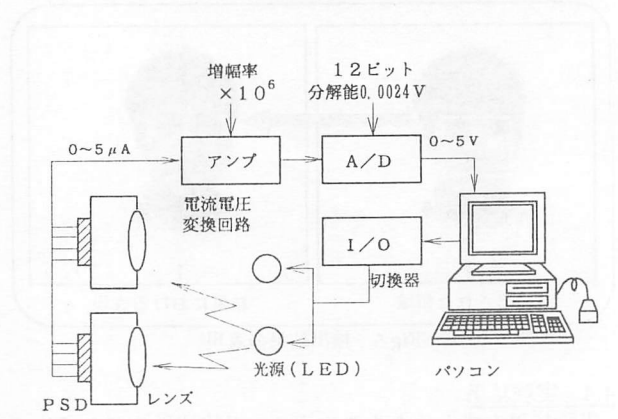


図2 本装置の構成図

てPSD素子の分光感度を考慮して、赤外線LEDを使用し、点灯するLEDを切り換えるためにI/Oボードを用いた。

PSD素子から出力される情報は素子面に対する光の入射位置とその強度によって決まる4つの端子電流である。その端子電流を電圧に変換しかつ計算機により処理可能な値まで増幅しA/D変換回路でデジタル化した後、計算機に入力する。2つのPSD素子から得られる8つの端子電流から各々のPSDにおける光の入射位置を求め、さらに式(3)から赤外線LEDの3次元座標値を求める。

4. 実験

4.1 光軸の向きによる誤差への影響

試作した本装置での実験として、光軸（図1中の $O_1$ 、 $O_2$ ）を平行にした場合（ケース1）と各々の光軸を内向した場合（ケース2）の2種類の方法で3次元ベクトル測定を行った。2つの比較を行うために、光軸の方向以外の幾何学的条件はほぼ等しくした。

理論的に考えられるケース1に対するケース2の利点として測定可能領域（ある光強度のもとで測定可能な領域）の近距離化あるいは測定領域に対するPSD素子面の使用効率の増大などが考えられる。これは、光源を比較的に近距離において計測した場合にケース1に比べてケース2では入射光をPSD素子の中心近傍で受けることが出来ることを示しており、素子の外周部付近で見られる画像の歪みによる影響が軽減される。また、PSD素子上での座標値のばらつき $\delta$ が、計測値の誤差 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$ に及ぼす影響も小さくなる（図3）。以上のような理由から、光軸を内向させたときに測定精度の向上が期待できる。

4.2 実験方法

4.1で述べたようなケース2の利点を確認するために、3次元ベクトル測定実験を行った。実験方法としてはNC工作機械に取り付け5mmピッチで立方格子状（20mm立方）に位置決めした光源（LED）をケース1、ケース2の条件でそれぞれ計測した。座標軸の関係は図1に示した通りとし、 $P_1$ を原点とする。

ケース1では $D$ を76mmとし、ケース2では $D$ を80mm、各々の光軸の傾き（図3の $\phi$ ）を $13^\circ$ 内向させて実験を行った。

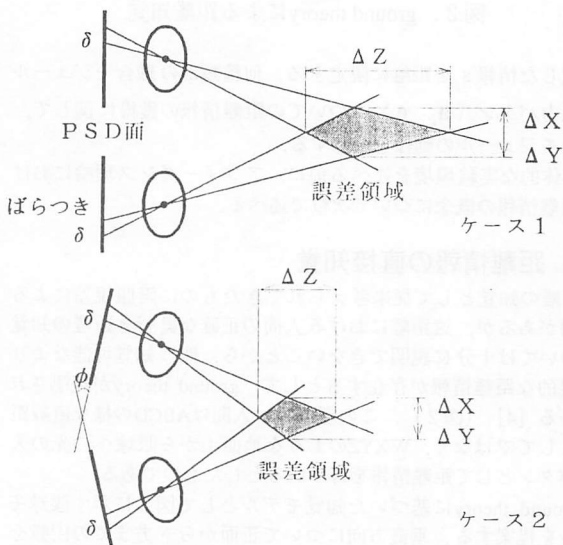


図3 ケース1とケース2の比較図

5. 実験結果・考察

（ケース1）

測定可能領域は $Z = 400$ mm付近からであった。3次元ベクトル測定実験を行うためには、 $Z = 600$ mm

分離することが必要であった。この実験の結果を表1に示した。ベクトルの大きさ、方向とも、設定値に対する誤差が大きく、またばらつきが目立った。この原因として光源のPSD面での位置が、周辺部であるため、PSD画像の歪みが影響したと考えられる。

（ケース2）

測定可能領域は $Z = 190$ mm付近から、3次元ベクトル測定実験においても、 $Z = 400$ mmで十分に両PSD素子の中心付近で受光することが可能であった。このため、ベクトルの長さは大きくなる傾向が見られるが、方向に関しては設定値に対して良好であった。

これらのことから、光軸を内向させることによって測定可能領域がPSD面に近づくことが確認された。このことは光源の光強度が小さい場合でも測定が可能であることを示す。さらに、表1と表2の比較から、両者ともにY、Z軸方向での精度に比してX軸方向での精度が十分ではないが、ケース2の精度は光軸を内向させることによって、かなりの改善がなされたと言える。

6. 結論

本報では、3次元ベクトルを計算機に入力する装置の検討を行い、以下のことを報告した。

- 1) 2つのPSD素子を使用した三角測量法に基づく3次元ベクトル入力装置を試作した。
- 2) 光軸に対する測定精度の比較実験を行い、その結果、光軸を内向させることの有効性を確認した。

設定値		測定値		
大きさ	方向	大きさ	方向	S. D.
5.0mm	(1.0, 0)	23.6mm	(0.11, 0.00, 0.99)	(0.00, 0.00, 0.88)
5.0mm	(0.1, 0)	5.3mm	(0.05, 0.86, -0.50)	(0.00, 0.01, 1.38)
5.0mm	(0.0, 1)	14.0mm	(-0.04, 0.00, 0.99)	(0.00, 0.00, 0.56)

表1 ケース1での3次元ベクトル測定結果 (D=76mm、 $\phi = 0.0^\circ$ 、Z=600mm)

設定値		測定値		
大きさ	方向	大きさ	方向	S. D.
5.0mm	(1.0, 0)	9.2mm	(0.88, 0.00, 0.47)	(0.00, 0.00, 0.06)
5.0mm	(0.1, 0)	8.2mm	(0.05, 0.99, -0.03)	(0.00, 0.01, 0.02)
5.0mm	(0.0, 1)	13.9mm	(0.17, 0.01, 0.99)	(0.00, 0.10, 0.01)

表2 ケース2での3次元ベクトル測定結果 (D=80mm、 $\phi = 13.0^\circ$ 、Z=400mm)