

特別研究

視点移動に関する研究（第1報）

電子部 小田原 幸 生
 佐藤 哲 哉
 橋本 忍

1 はじめに

FA（工場内自動化）において視覚センサ（画像処理）の利用は重要な鍵となっているが、本研究では視覚センサを機械的に走査させることによる探索、視野の拡大、制御の最適化について検討を行うために視点移動機構を製作し、制御特性の解析と計測、小型化の研究を行った。

今回は制御について検討するために画像処理は用いず、2次元位置センサ（PSD）を用い、（目玉型）2軸視点移動機構を製作して比例制御による点光源の追尾を試み、ターゲットの光源を手で動かし、スムーズに追尾できるようになった。アクチュエータには無線制御操舵用（模型飛行機・ヘリコプタなど）に使われている小型サーボモータを使用した。この種のサーボモータは本来オープン・ループ制御で使われるが、フィードバック制御で用いるために改良を行い、制御回路を付加した。（試作した視点移動機構を写真1に示す。）

2 視点移動機構の制御

2.1 サーボの特性、制御回路

視点移動機構のアクチュエータには無線制御用の小型直流サーボモータ（以下、サーボという）を使用した。このサーボの特徴は出力／重量（容積）比に非常に優れ、安価で入手が容易であり、トルクも100kgf・cmを超えるものもあり、ホビーだけでなく航空・船舶の実験、映画や舞台装置の可動部にも使われている。一方、欠点として、工作機械の様な精度は得られず、長期間の信頼性に劣る。

サーボはモータ、減速歯車、出力軸に直結したポテンシオメータ、超小型プリント基板回路などで構成されている。駆動は周期23ms、パルス幅1.5±0.5ms（機種より異なる）のパルス信号を与えることにより、内部の制御回路によりパルス幅に比例した角度に出力軸を回転させる。表1に使用したサーボの仕様を、図1にサーボ駆動用インターフェース（直流／パルス信号変換回路）を示す。

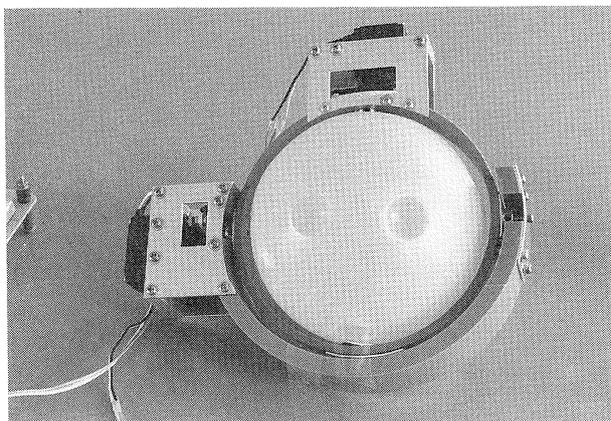


写真1 (目玉型) 2軸視点移動機構

表1 X軸、Y軸サーボ仕様
 (X 軸) (Y 軸)

型番	: FP-S143	FP-S5101
メーカー	: 双葉電子工業(株)	
サイズmm	: 28*13*29	38.5*19.5*34.5
重量	: 19g	42g
電源	: 4.8~6V	
動作角度	: ±40度	±45度
トルク	: 1.9kgf・cm	4 kgf・cm
動作速度	: 0.18s / 60°	0.24s / 60°

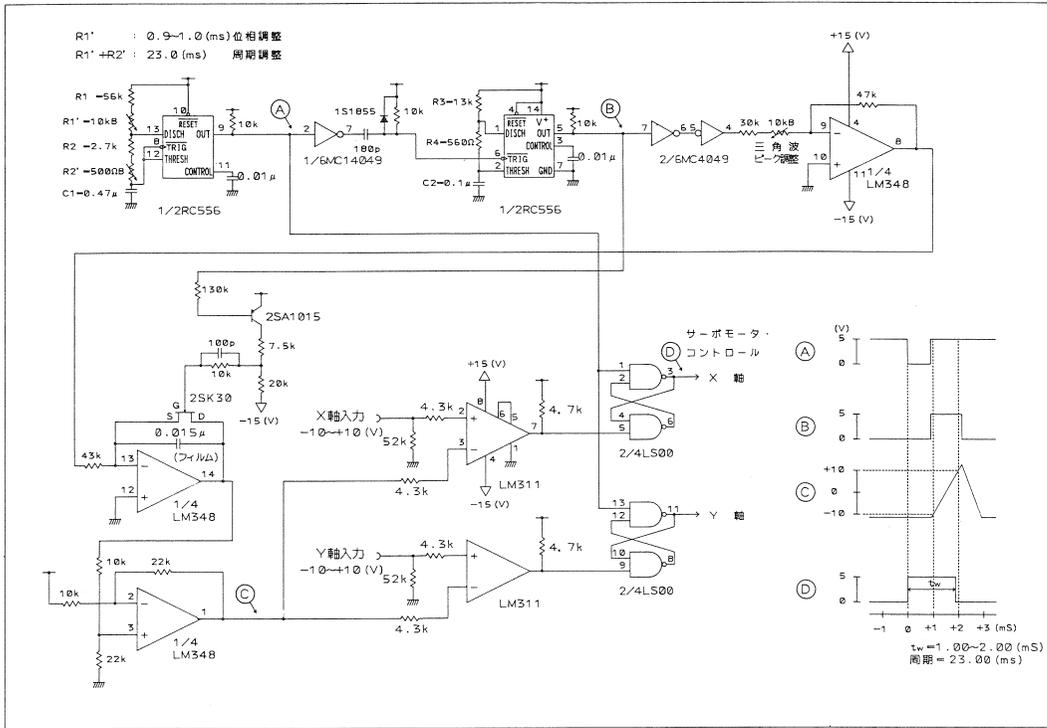


図 1 サーボ駆動用インターフェース回路

2. 2 視点移動ステップ応答試験

視点移動機構 X 軸の動作角を 10°とした時のステップ応答を図 2 に示す。以下、この結果について考察を行う。

モータの回転は入力パルス信号に同期して電源を +5 V または -5 V に切り替えてスイッチング制御している。モータ逆起電力 (Ve) は次式で表される。

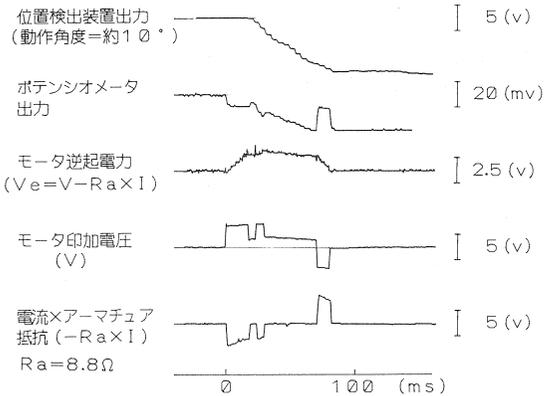


図 2 サーボモータ ステップ応答

$$\textcircled{1} \quad V_e = V - La \cdot (dI / dt) - Ra \cdot I$$

(V : 印加電圧、I : 電流、La : アーマチュア・インダクタンス、Ra : アーマチュア抵抗)

使用したモータの電気的時定数 (0.14s) が機械的時定数 (28ms) の 1/200 で、La の項の影響が十分に小さく、本解析では (La = 0) としている。

また、Ve はモータ回転速度に比例している。

$$\textcircled{2} \quad V_e = k_e \cdot n \quad (k_e : \text{逆起電力定数、} n : \text{回転数})$$

図でモータに電流が流れていない時にモータ電源端子に発生している電圧は逆起電力であり、これを時分割により検出して速度制御がなされている。

サーボ出力軸の回転について見ると、モータに電流が流れ始めてから約 20ms (位置検出装置出力) 遅れて動き出している。この遅れは歯車の遊び、軸受けのガタなどによる。応答は 90ms でほぼ終了しているが、モータの不感帯のため目標位置に完全には到達できていない。

ポテンシオメータ出力を見ると軸の回転に相当する電圧にモータ電流出力が重なった様な出力になっているが、これは電源電圧の変動によるものと思

れる。モータはサンプリング制御によっており、丁度この間の変動はサンプリング区間ではないため、位置検出には支障がない。

次にサーボの伝達関数を求める。サーボは（本体の基準位置に対する）回転角に比例した長さのパルス信号を与えることによって駆動されるが、1 制御周期でみるとパルス信号を受け取った直後に回転角（ポテンシオメータ）、速度（モータ逆起電力）をサンプリングし、回転指令角からそれらを差し引き、それに比例する間隔で電源を正／逆にスイッチングし、回転を制御している。制御周期が23ms、スイッチング間隔の上限が約20ms、負荷を含むモータの機械的時定数が35ms のため、1 制御周期の間にモータ回転速度が大きく変動する場合が考えられるが、解析を簡略化するためにモータ回転速度の変化が小さい場合に限りサーボの伝達関数を求めると通常のモータ電源電圧をアナログ制御した場合に近似できる。

$$\textcircled{3} \quad n(s) / (K(s) \cdot VO) = 1 / (ke \cdot (s \cdot tm + 1))$$

(VO: モータ電源電圧、K(s): パルス幅デューティ比 [K(s)I = 0 ~ 1]、s: ラプラス変換変数、tm: 機械的時定数)

3 視点移動機構による点光源の追尾試験

3. 1 試験装置について

本試験のために製作した 2 次元 PSD による位置検出装置と視点移動機構を用いて点光源の追尾試験装置を構成し、応答特性等を調べた。写真 2 に試作した位置検出装置の写真を、表 2 にその仕様を示す。また、写真 3 に追尾試験装置を、図 3 に制御プロッ

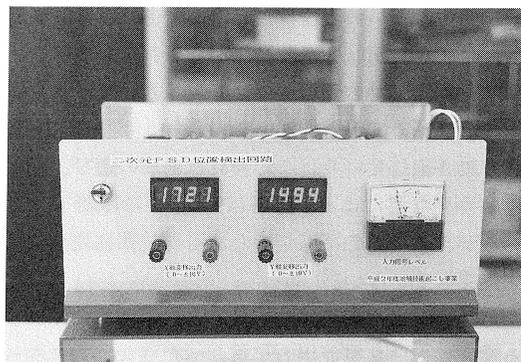


写真 2 2次元 PSD による位置検出装置

表 2 位置検出装置仕様

センサ 2次元 PSD (S2044)

浜松ホトニクス(株)製

有効受光面サイズ: 4.7mm×4.7mm
分光感度特性: (ピークの 5%)
300~1100 (nm)
ピーク波長: 900 (nm)

レンズ コンパクト ITV レンズ (f25mm F1.4)

酒井硝子エンジニアリング(株)製

赤外透過フィルタ (IR80) 使用

ターゲット用赤外 LED (TLN105B) 東芝製

検出方法 パルス光同期検出

周波数 Max. 436Hz

範囲 200mm*200mm (距離 1 m)

距離 標準 1 m Max 5 m

精度 平均値 ±0.2% (中心部±0.1%)

バラツキ±0.1%

表示 X, Y 変移 (表示範囲±1500)

受光強度 (アナログ・ボルトメータ)

ク図を、図 4 にフィードバック制御回路を示す。

3. 2 点光源の追尾試験について

ターゲットの光源を手で持って追尾を試み、うまく追尾させることができ、定常状態に移ってから 1 秒程の遅れはあるが位置偏差をほぼ 0 にできた。また、視野から光源を外すと視点移動機構は違った方向を向くが、改めて視野の中に入れてやると直ちに追尾を再開させることができた。

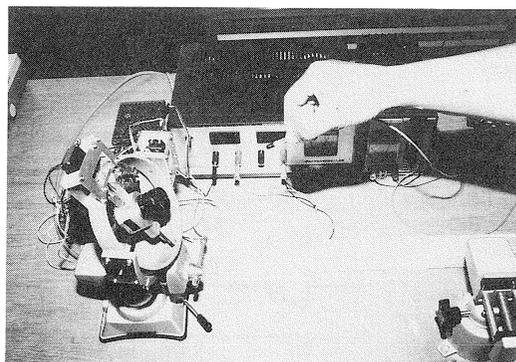


写真 3 追尾試験装置

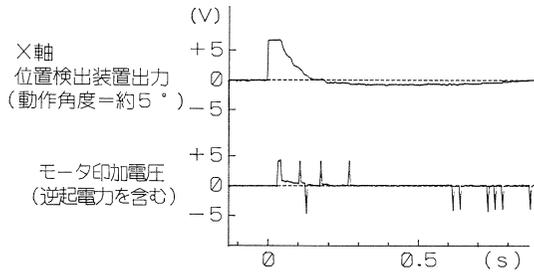


図5 X軸位置決めステップ応答

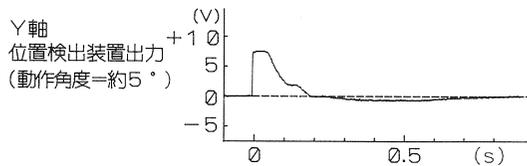


図6 Y軸位置決めステップ応答

制御特性を把握するためにステップ応答を調べた。位置の切り替えは2個のLEDの発光を電氣的に切り替えて行った。動作角は約5°で、応答特性は位置検出装置の出力(位置偏差、サンプリング218 Hz)で記録した。X軸について図5に、Y軸について図6に示す。

3. 3制御特性の解析

制御特性をボード線図で表すためにサーボを分解してモータ無負荷回転数、減速歯車機構のギヤ比、負荷を含んだ機械的時定数、内部回路の速度フィードバック及び位置ゲインなどの制御パラメータを実測し、X軸制御系についてボード線図を作成したので図7に示す。解析ではモータの伝達関数は2.2③式に依り、減速歯車の遊び、モータの不感帯、摩擦抵抗、一部回路の非線形性、サーボがサンプリング制御されていることについては考慮していない。回路の調整はステップ応答実験(図5)の時と同じである。ボード線図によると、 $\omega_p = 4 \text{ rad/s}$ ($0.64r/s$)で3 dB (1.4)のピークをもち、それ以上の角速度ではゲインは下がる一方で、制御系の帯域はゲインが-3 dB以下になる角速度、 8 rad/s ($1.3r/s$)である。この位の帯域であれば、サーボが約40Hzでサンプリング制御されている制限は小さいと思われる。ステップ応答の立ち上がり時間(10~90%)はピーク/定常比が1.3~1.5の時に概略 $1.3/\omega_p$

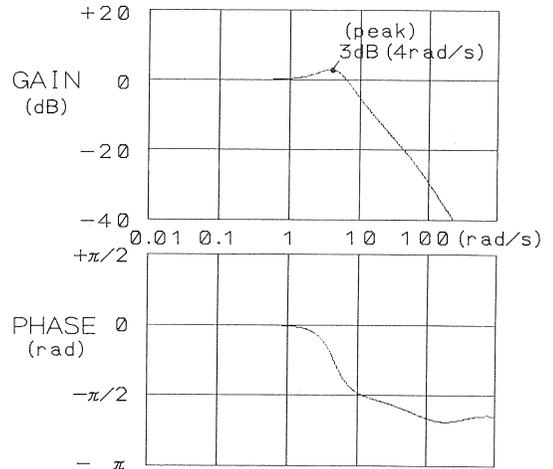


図7 X軸制御系ボード線図

で推定され(参考文献2)P107)、0.3sと計算されるが、実測値(約0.15s)の方が小さめの値となった。

5 まとめ(今後の課題)

2次元PSDによる位置検出装置と視点移動機構により点光源の追尾試験装置を構成し、基本的な制御特性を把握し、追尾試験にも成功した。しかし、制御系の一部(サーボ)にサンプリング制御が用いられているにもかかわらず、解析を簡略化するために連続制御として扱ったこと、試験結果と解析結果を比較すると必ずしも十分な精度とは言えないことなど、課題が残された。さらに、画像処理結果により視点移動制御を行った場合、サンプリング制御の扱いになるが、処理速度が非常に遅くなるために制御の最適化が必要である。次の段階ではサンプリング制御理論の適応について検討したい。

参考文献

- 1) 「自動制御の理論と演習」市川邦彦 著(産業図書)
- 2) 「サーボ機構」大島康次郎, 荒木献次 著(オーム社)
- 3) 「DCサーボモータの制御方法」越野昌謙 著(トランジスタ技術別冊 センサ・インターフェーシング No.2 P.187~200 1983年4月初版)
- 4) 浜松ホトニクス(株) PSD データ