

ロボットマニピュレータ計測・制御システムの開発

逢坂 一正* ・堂田 周治郎*
倉橋 康浩** ・鎌田 優**

*岡山理科大学工学部機械工学科

**岡山理科大学大学院理学研究科

(昭和61年9月30日 受理)

1. はじめに

現在、産業界の各分野にロボットの導入が進み、その働きには目を見張るものがある。さらに次世代ロボットとして注目される智能ロボットの技術開発にも関心が高まっている。しかし、現在のロボットに関する研究の主たるものは、ロボットの機構と制御に関するものが多く、ロボットの持つべき智能に注目した研究は比較的少ない。なお、ロボットの智能についての概念も明確には定まっていないようである。

我々は智能機械の一例として、ロボットマニピュレータの制御を取り上げ、その知的制御について研究中である。この知的制御は最適制御方式を自律探索できる制御系を構成することを目標としている。マニピュレータの最適制御について知的制御を達成するためにシミュレーション手法を用いて、マニピュレータの消費エネルギーを評価関数とする最適制御方式を求めている。シミュレーション結果を実際のマニピュレータの実験結果と比較することは重要なことである。そのためには、マニピュレータの運動を自由に制御し、その時の駆動トルク、速度などの情報を検出、処理できるシステムが、ぜひ必要である。

本報告では、開発したマニピュレータ計測・制御システムの概要とマニピュレータ操作時の消費電力の測定例を報告する。

2. システム構成

2.1 システムの構成条件

システムの開発にあたり、下記の要件を満すシステムを構成することを目的とした。

- (1) マニピュレータを制御する制御用コンピュータとこれを支援するホスト・コンピュータとで階層構造を実現することで、マニピュレータ操作の制御、計測、データ処理を効率良く行い、汎用性、発展性を持つシステムとする。

(2) マニピュレータの複雑な運動を容易に実現できる制御用言語を備え、マニピュレータの運動軌道をグラフィック・シミュレートできるシステムとする。

2.2 マニピュレータ

本システムの制御対象となるマニピュレータを Fig. 1 に示す。基本的には3自由度、

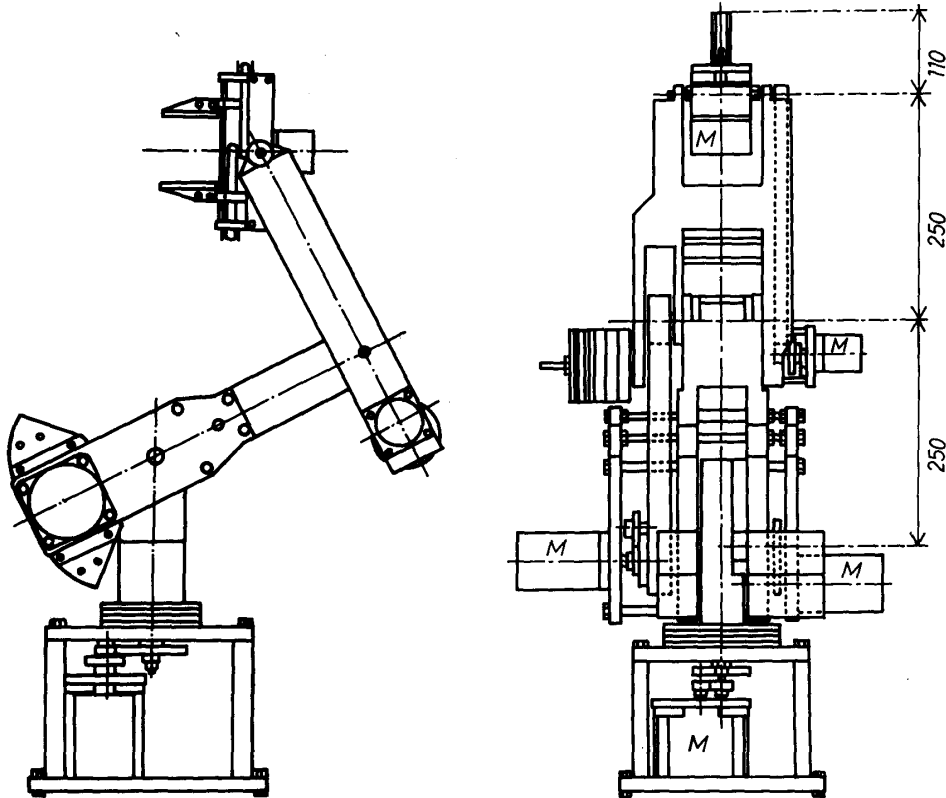


Fig. 1 General view of manipulator.

Table 1 Specifications of the manipulator.

項目	仕様
可搬重量	MAX 1 kgf
可搬物寸法	MAX 100×100×100mm
最大合成速度	20cm/sec
繰返し位置精度	1 mm
本体重量	30kgf
動力源	2相4極式 ステッピング・モーター
駆動方式	+12V ユニポーラ定電圧

垂直多関節型で、駆動源として、ステッピング・モータ (M) を使用している。アーム部、ハンド部は、アルミ合金製である。そして無負荷状態での力学的バランスを得るために、ウェイト・バランス、動作範囲の限界を検出するリミット・スイッチなどが付いている。マニピュレータ性能を、Table 1 に示す。

2.3 システム・ハード構成

本システムのハード構成のブロック図を Fig. 2 に示す。Host・コンピュータとして、SORD社M243 (CPU: Z-80)、制御用コンピュータとしてコンピュータ・リサーチ社のZ-80をCPUに持つ1ボード・コンピュータを使用している。両者を8 bit 平行 I/O で接続して階層構造にしてあるため、制御用コンピュータ上のプログラムを、Host・コンピュータと切り離して実行ができ、制御、計測、データ処理を並列して行うことが可能である。マニピュレータ動作中の各関節の回転方向、回転角、回転速度、動作可能範囲などの情報を制御用コンピュータを通してHost・コンピュータで知ることができる。計測用装置として、各種の電圧出力型センサーに対応すべく8ビットのA-D変換器を持つ周波数帯域25KHzのデジタル・メモリ・スコープ2台をGPIB、DIOで接続し、Host・コンピュータからの命令によるデータの自動読み込みを可能と

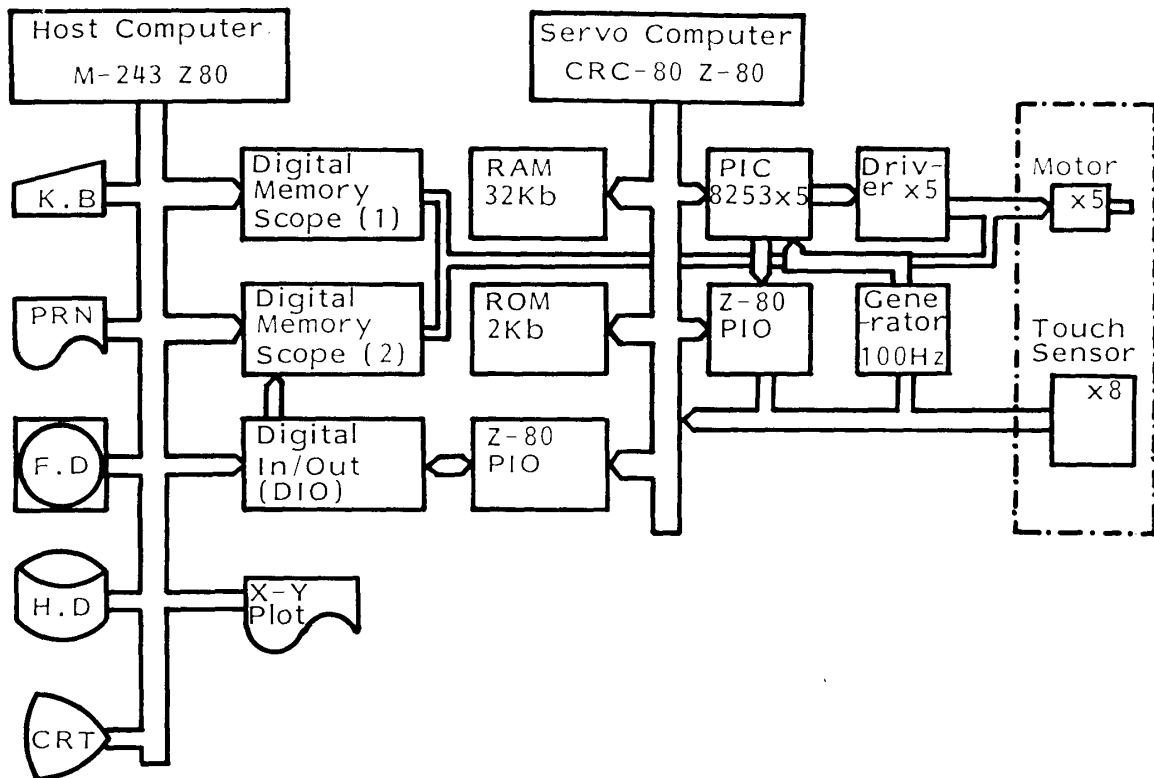


Fig. 2 The whole system.

している。これによりマニピュレータ動作と連動しての計測を任意時間間隔で連続して自動的に計測，処理することが可能である。

現在の計測対象は，ステッピング・モータ駆動電力であり，電圧降下法（測定用抵抗，OPアンプよりなる電流検出回路の使用）により誤差 $\pm 0.1776\text{mA}$ で駆動電流を検出し，これをデジタル・メモリ・スコープに表示記憶する。

2.4 システムのソフトウェア

ホスト・コンピュータ用OSはSORD社MDOS/XMSであり，マルチ・ジョブ/マルチプログラムを可能としている。言語はG P-IB, D I Oをサポートするために拡張したBASIC及びアセンブラを使用している。

マニピュレータ制御用プログラムはアーム先端が作業用空間のある始点から終点まで移動する時，その間を特定の軌跡で動かすための速度データを作製するためのものである。ここで速度データとは，ステッピング・モータは発振器からのパルスをカウンターで分周したパルスに同期して動作するので，その分周値のことである。

実際にマニピュレータを制御する場合，作業空間座標の設定をする必要がある。本システムでは，Fig. 3 に示す3次元座標系を用いて作業空間を設定し，その空間内で任意の始点，終点を指定できる。始点，終点間を円弧軌道，直線軌道にするための計算手順を

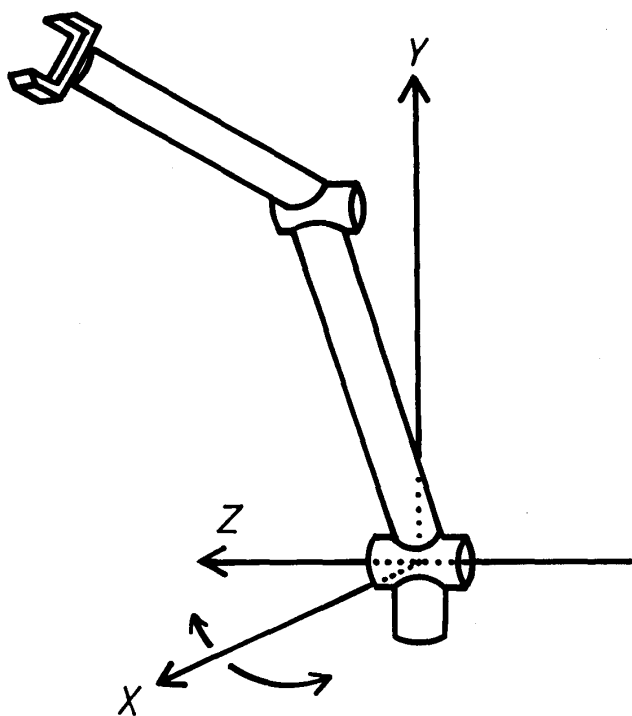


Fig. 3 A coordinate system of the manipulator.

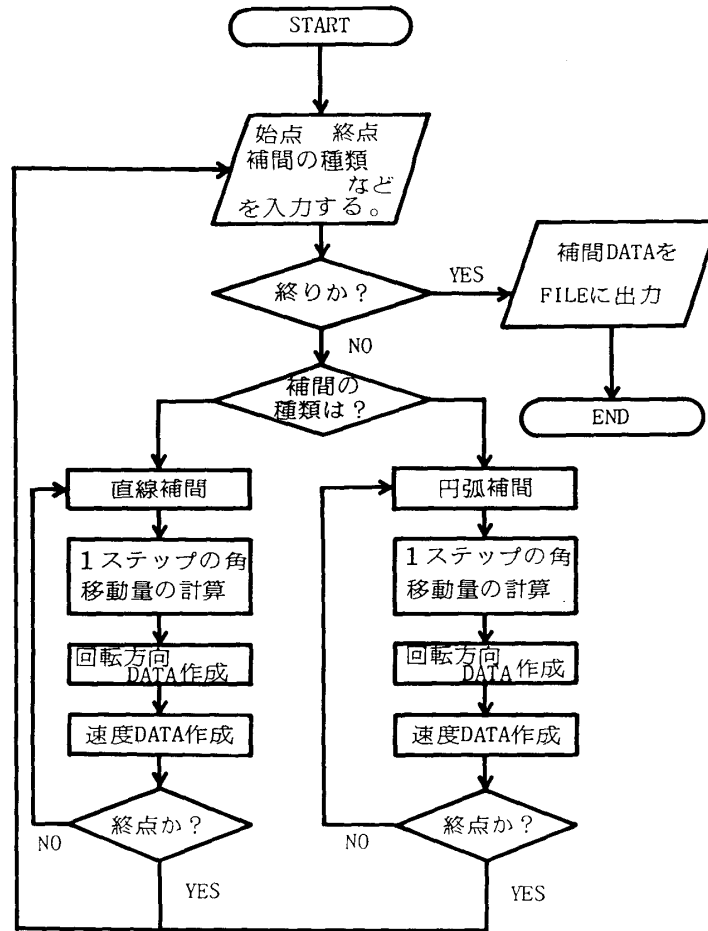


Fig. 4 A flow diagram to compute trajectories of the manipulator

Fig. 4に示す. 基本的には, 始点, 終点間をいくつかのステップに分割し, 各々のステップについてのモータの回転方向, 速度データを算出し, 必要なステップ数を繰返したのち, そのデータをファイルに出力する.

つぎにグラフィック・シミュレータについて述べる. ロボット制御用言語で作成された各関節速度データを入力とし, そのときのマニピュレータのアーム軌道及び各関節の角度変化を, CRT, X-Yプロッタ上に表示するものをグラフィック・シミュレータと呼ぶ. Fig. 5 (a)は, ロボット制御用言語で作成されたマニピュレータ先端がL字形軌道の速度データを用いてグラフィック・シミュレータで, プロッタ上に表示した軌道である. Fig. 5 (b)は, 同じL字形軌道の速度データによるマニピュレータの各関節の角度変化を示したものである. これによって, 実機の軌道及び各関節の角度変化を容易に知ることができる. また, グラフィック・シミュレータは, CRT上にグラフィック言語を用いて描かれた任意の軌道から, マニピュレータ実機の速度データに変換してファイルに出力することも可能である.

現在, 本システムは, 最適制御シミュレーション結果との比較として, 実機駆動中の消

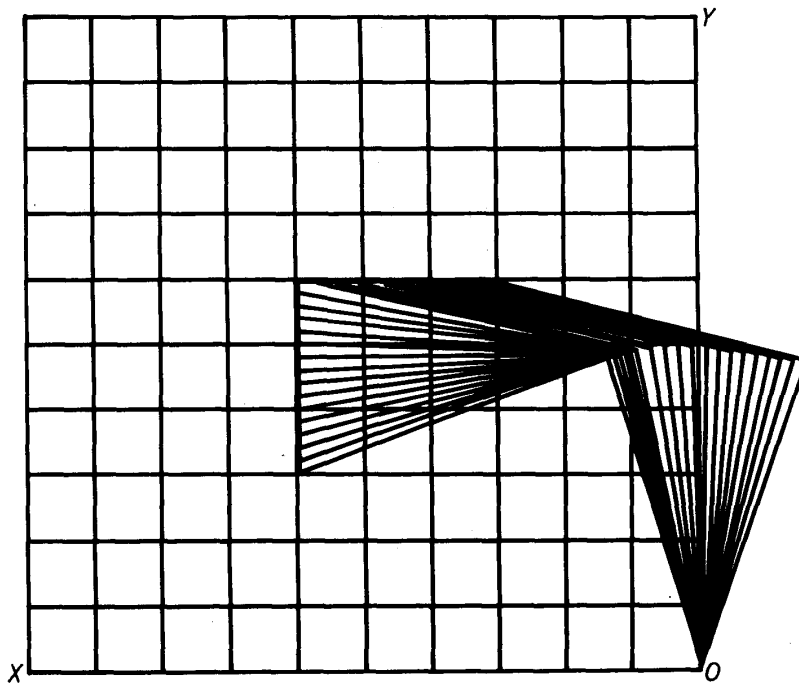


Fig. 5(a) An example of a trajectory generated by a graphic simulator.

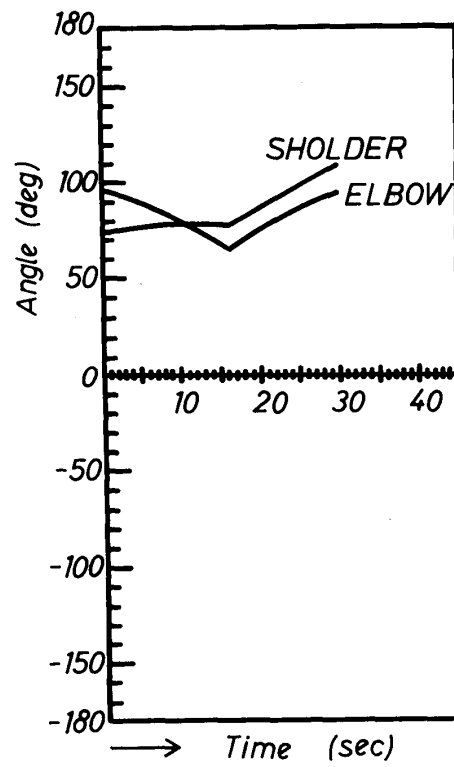


Fig. 5(b) angular displacements to two joints.

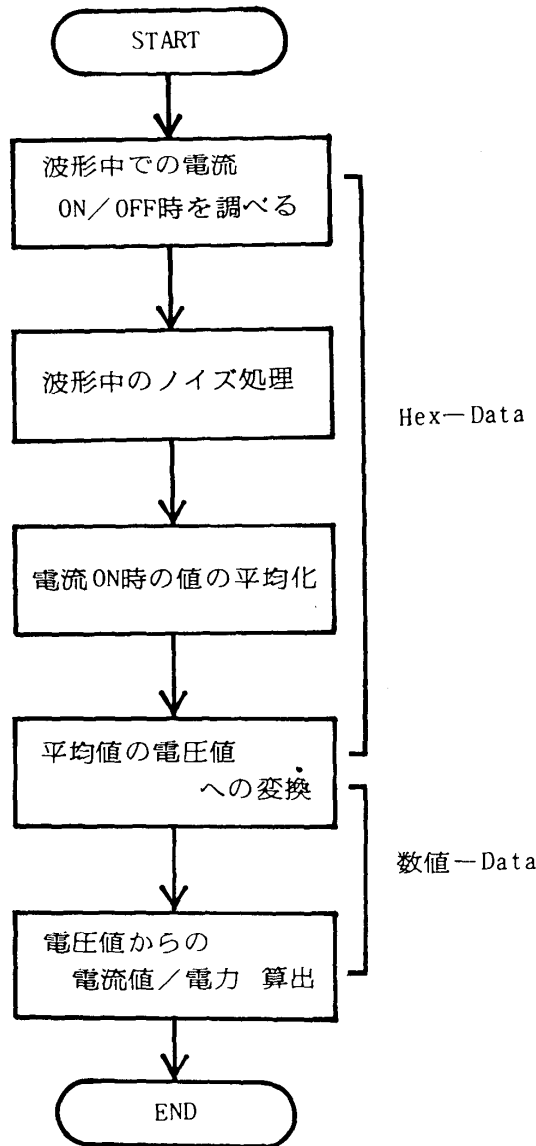


Fig. 6 A flow diagram of the experimental data processing.

費電力を測定している。消費電力を求める計算手順を、Fig. 6 に示す。メモリ・スコープはたて軸を8ビットのデジタル量で表わした4000個のデータから構成されている。そのために、メモリ・スコープに捕えられた4000個の電流値の各個について、ノイズ処理の平均化を行い、駆動時誘導電流値を引いた値を、駆動時の消費電流とする。Fig. 7 (a)(b)に駆動中の電圧波形、電流波形を示す。測定時の電流、電圧波形は安定していた。

3. 実験結果

本システムの測定精度は、デジタル・メモリ・スコープ、電流検出回路の設定条件によって決まる。メモリ・スコープの電圧軸、時間軸の1DIV当りの設定値を最小値に設

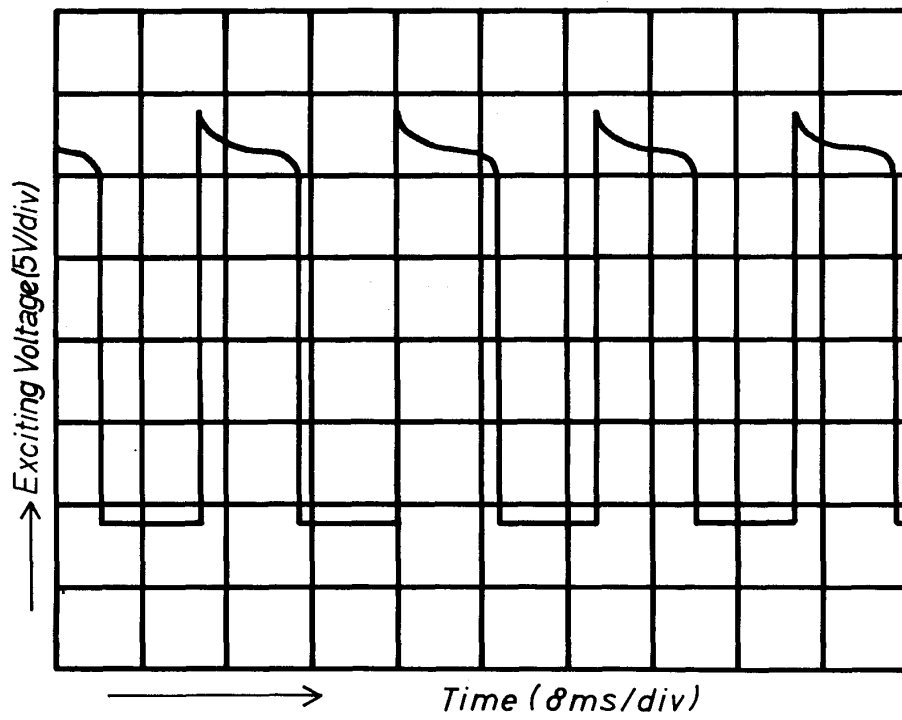


Fig. 7(a) The exciting voltage of a stepping motor.

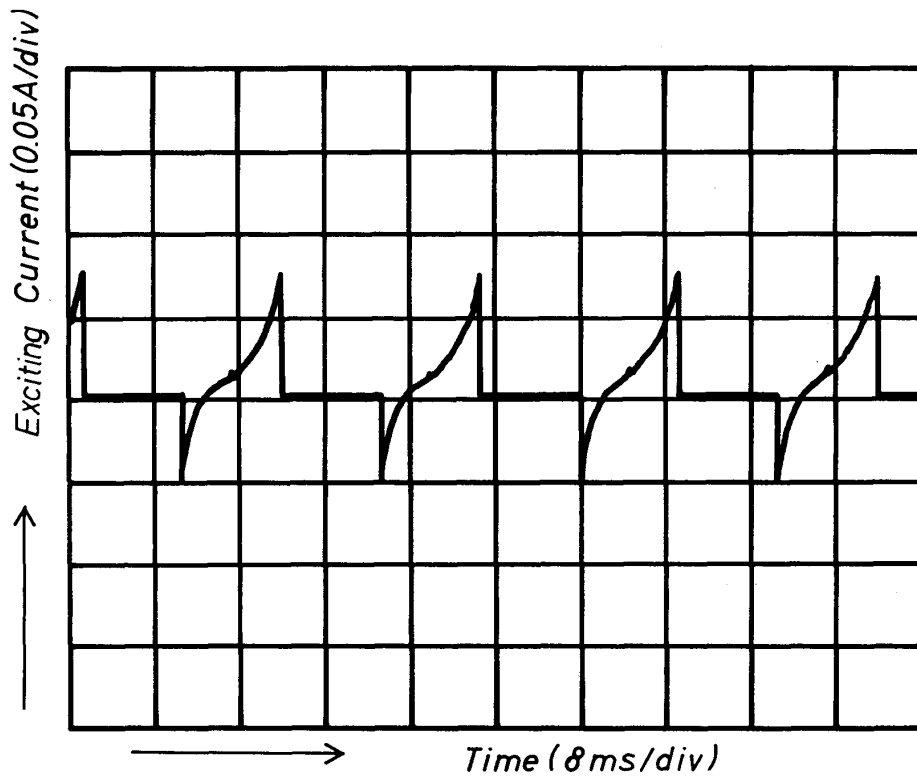


Fig. 7(b) The exciting current of a stepping motor.

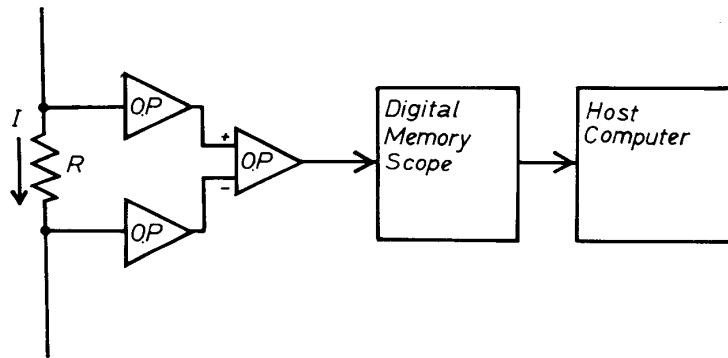


Fig. 8 A measuring system of the exciting current.

定した場合の量子化誤差は、 $1.562 \times 10^{-1} \text{mV/bit}$ 、 $5 \times 10^{-3} \mu\text{sec/data}$ となる。電流検出回路は、アナログ回路で、誤差 $3.55 \times 10^{-3} \text{V}$ となる。これらをFig. 8に示す測定用接続部を用いた場合、測定精度は電圧値 $6.25 \times 10^{-2} \text{(V)}$ 電流値 $3.125 \times 10^{-3} \text{(A)}$ となる。ホスト・コンピュータで、メモリ・スコープからのデータを基にして駆動時電流を算出するのに要する時間は、約90secである。

次に本システムを用いた計測例を、いくつか示す。まず、ステッピング・モータの周波数—電流特性について述べる。測定対象は、2相4極式ステッピング・モータ (Table 2) で、測定結果をFig. 9に示す。測定は1極当り (Fig. 9(a)) と4極同時 (Fig. 9(b)) の2種類について行った。測定は、+12V定電圧を印加し、伝達機構を除いた単体無負荷で行った。周波数が大きくなるにつれて電流値が低下しているが、これは、モータ巻線の交流による自己誘導によると考えられる。そこで、ステッピング・モータをR、Lの直列回路でモデル化し、次の(1)式に基き

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \tag{1}$$

ただし、V : 電圧 (V) I : 電流 (A) f : 周波数 (Hz) R : 巻線抵抗 (Ω)

Table 2 Specifications of a stepping motor.

項 目	仕 様
電 圧 (V)	12
電 流 (A/相)	1
励磁最大静止トルク (kg f cm)	22
巻線抵抗 (Ω /相)	12
巻線インダクタンス (mH/相)	72
ローター慣性モーメント (gfc m^2)	1100
重 量 (kgf)	2.5

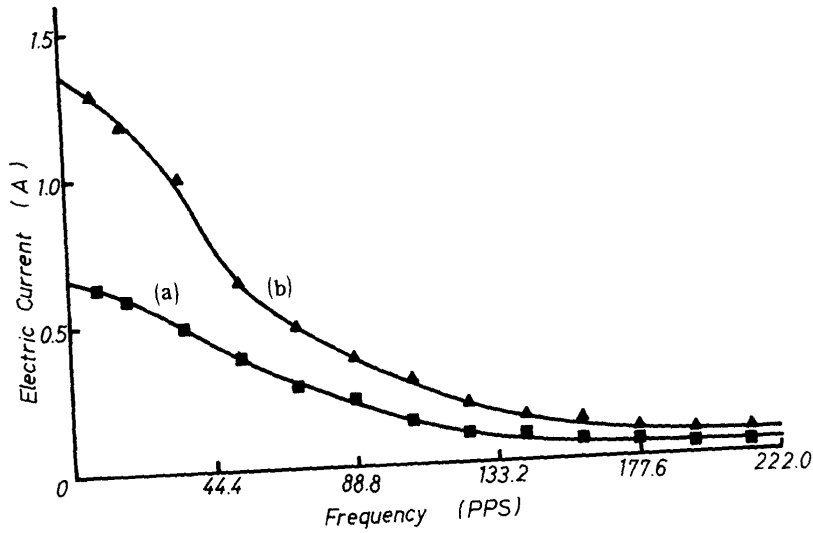


Fig. 9 An experimental frequency-current characteristic of a stepping motor.

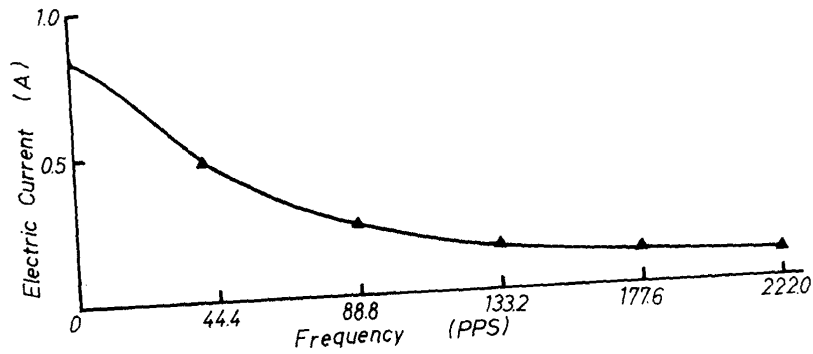


Fig. 10 A calculated frequency-current characteristic of a stepping motor.

L : インダクタンス (mH)

周波数-電流特性を計算した結果を, Fig. 10に示す. 周波数-電流特性の実験値と計算値は比較的良く合っているので, 周波数特性は巻線による自己誘導で説明できる.

次に, マニピュレータ運動解析用のシミュレータで得られた速度パターン通りに実機を動作させた時の電流変化の測定例を示す. 第1リンクを, 0° から 90° 回転し, 第2リンクを固定したときの場合を取りあげる. シミュレーション結果によれば, この場合の運動エネルギーを最小にする速度パターンは, Fig. 11に示す等脚台形パターンが良いことが分かっている. ただし, T_s : 運動開始時刻 T_f : 運動終了時刻とする. 等脚台形の速度パターンの最大値を $25^\circ/sec$ としたときの測定結果について述べる. Fig. 12は, 無負荷時の駆動電流, Fig. 13はアーム先端に500g負荷をつけた時の駆動電流を示す. 無負

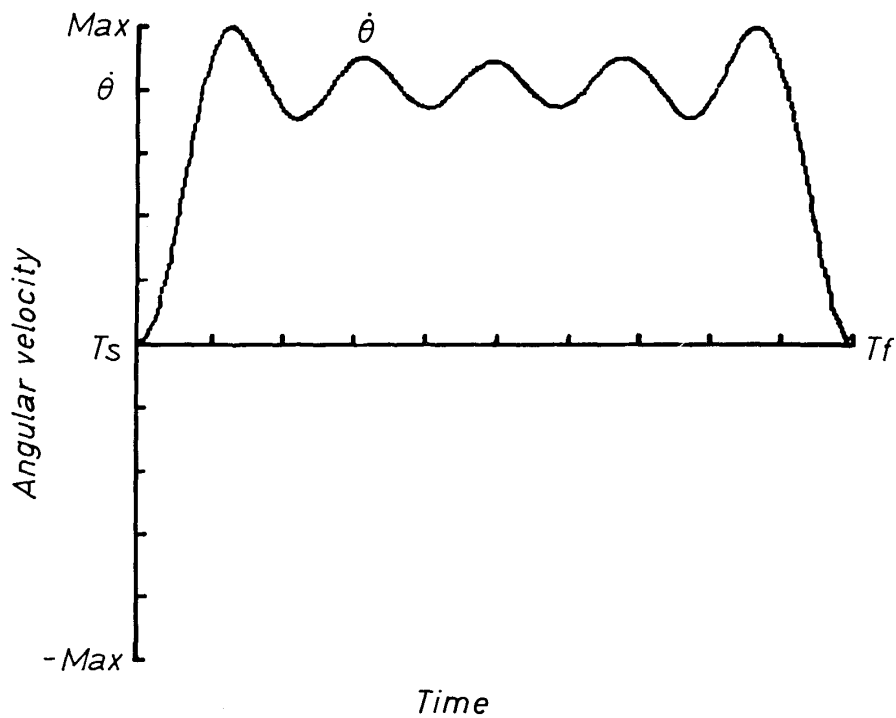


Fig. 11 An optimal angular-velocity pattern of the manipulator.

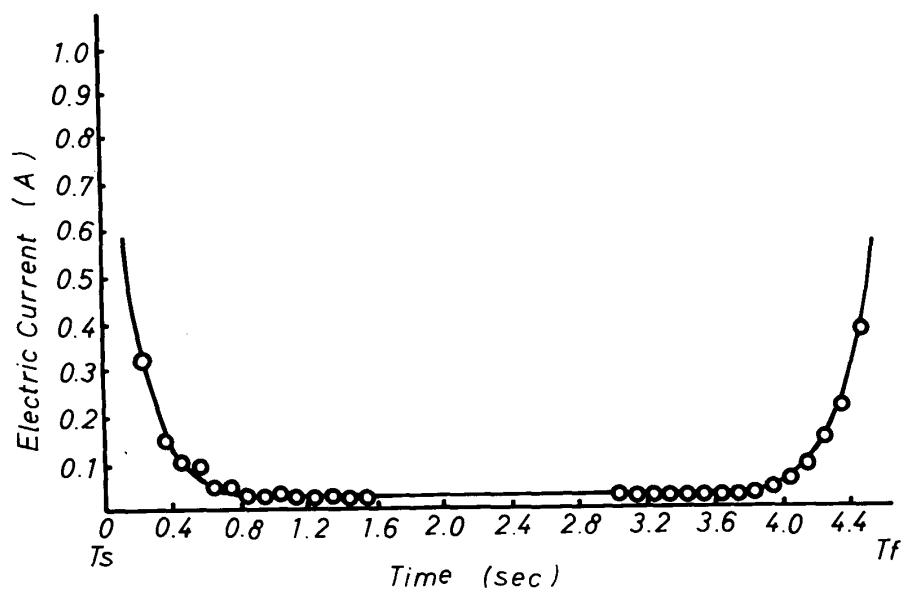


Fig. 12 The exciting current of the manipulator with no load..

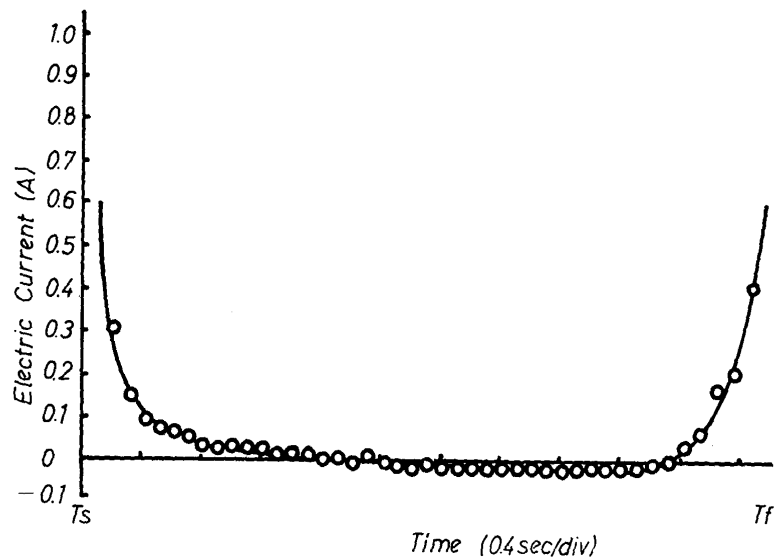


Fig. 13 The exciting current of the manipulator with 0.5kg load.

荷時には、ウェイト・バランスにより、重力の影響がないので電流変化は左右対称の整った形状となり、負荷時には重力の影響が現れ、非対称の形状となっている。

4. おわりに

マニピュレータの制御性能を、実機による実験で評価するための、計測・制御システムを開発した。得られた性能は、システムに要求した条件を十分に満足した。今後、もう一台の知能パソコンを接続してシステムを拡張することにより、本来の目的とする知能機械の計測・制御システムへと発展させたい。

参考文献

- 1) 吉川恒夫訳 Richard P. Paul : ロボット・マニピュレータ, コロナ社 (1984)
- 2) 川村貞夫, 宮崎文夫, 有本 卓: ロボット・マニピュレータの運動学習制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 22, No. 4 (1986)
- 3) 中野栄二: ロボット工学入門, オーム社 (1983)
- 4) SORD M200mark Series I/O INTERFACEマニュアル, ソード社
- 5) SORD M200mark Series BASICマニュアル, ソード社
- 6) 計測自動制御学会: 特集 ロボットアームの制御, 計測と制御, 1月号 (1986)

A Control and Measuring System for Robot Manipulator

Kazumasa OHSAKA*, Shujiro DOHTA*,
Yasuhiro KURAHASHI**, Suguru KAMADA**

* *Department of Mechanical Engineering*

** *Department of Mechanical Science*

Okayama University of Science,

1-1 Ridai-cho Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1986)

It is important to investigate the intellectual control of a robot manipulator in robotics and the investigation is now in progress in our laboratory using computer simulation. In order to confirm the exactness of simulation results, it is necessary to compare these results with the experimental results of an actual manipulator.

Therefore, we have developed a control and measuring system of a robot manipulator. Design conditions of the system are as follows;

- (1) The system has a hierarchical structure with host and servo computers.
- (2) The system is able to control the manipulator, and measure simultaneously several physical quantities of the manipulator.
- (3) The system can simulate trajectories of the manipulator graphically on CRT or X—Y plotters.