

計測自動制御学会東北支部第178回研究集会(1998.11.20)

資料番号 178-7

ゴム人工筋マニピュレータによる  
位置と力の制御

COMPLIANCE CONTROL OF PNEUMATIC ROBOT  
USING ARTIFICIAL MUSCLES

阿久沢 晃久\* , 田代 文夫\* , 坂野 進\*

Akihisa Akuzawa\* , Fumio Tashiro\* , Susumu Sakano \*

\* 日本大学工学部

\* College of Engineering, Nihon University

キーワード : コンプライアンス制御 (compliance control) , ゴム人工筋 (rubber artificial muscles) , ロボット (robot) , 空気圧制御 (pneumatic control)

連絡先 : 〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原1 日本大学工学部 機械工学科メカトロニクス研究室  
Tel. : 024-956-8774. Fax. : 024-956-8860  
e-mail : sakano@mech.ce.nihon-u.ac.jp

# ゴム人工筋マニピュレータによる 位置と力の制御

阿久沢 晃久\* 坂野 進\* 田代 丈夫\*\*

Compliance Control of Pneumatic Robot using Artificial Muscles

Akihisa Akuzawa Susumu SAKANO Takeo Tasiro

**Key Words :** Pneumatic robot, Compliance control, Artificial muscle  
Collision force, Rubbertuator

## 1. はじめに

空気圧を駆動源とするラバーチュエータが開発され、それを人工筋とするロボットの構成と制御の研究が報告されている。空気圧駆動アクチュエータは電気駆動アクチュエータなどに比べて高速移動や位置決め精度の点では劣るが、空気の圧縮性によるコンプライアンスを利用した力制御には優れた特性を有している。したがって、空気の圧縮性によるコンプライアンスを有効利用したコンプライアンス制御の報告も多々行われている。多自由度の空気圧ロボットのコンプライアンス制御法として、位置ベース型、力ベース型および位置と力のハイブリッド型の制御法が検討され、接触做い動作などに応用されている。これらの研究において、ロボットは2本の人工筋による駆動システムの組み合わせで構成され、関節部に設けられたエンコーダにより位置を検出し、腕の先端部に設置された力センサーにより力を検出している。力センサーにより力を検出し、制御するという方法は一般的な方法であるが、先端部と対象物あるいは障害物との接触という限定された範囲の情報に限定される。ゴム人工筋の圧縮性を考えると、工夫次第では先端部のみでなく先端部に隣接した部分の接触の有無の情報を得ることも可能となる。

そこで本研究では、従来のゴム人工筋のシステリシス特性などの非線形要素を改善し、ばね復帰力を有する新しいゴム人工筋を試作し、1本のゴム人工筋による駆動システムを実現するとともに、ロボットが他物体に接触した場合の情報を①人工筋内部の空気圧の変動、②エンコーダの出力、から得てコンプライアンス制御する方法について検討した。

ゴム人工筋を用いた2自由度関節型ロボットを用いて上記の方法の実験を行い、力情報の検出に専用の力センサーを用いることなくコンプライアンス制御が可能であることを示す。また、ロボットの先端部における他物体との接触、衝突のみでなく、ロボットの腕の他の部分が接触、衝突してもエンコーダの位置情報を利用することにより力制御が可能であることを示す。

## 2. ばね性を付加した人工筋

### 2. 1 人工筋の構造

これまで用いられて来ている人工筋はゴムチューブの上に繊維コードを編み上げ、チューブの両端に口金を取り付けられた構造となっている。繊維コードの装着により、チューブを径方向に膨脹させ、人工筋に変位を生じさせている。このような構造であるので、変位量が小さく、また、ゴムチューブのみの変位で力を生じるので非線形性の強い特性を示す。そこで、非線形性の改善のために、スプリング力を付加することとした。図1に構造を示す。ゴムチューブの周辺に繊維コードの代わりにスプリングを装着することによりゴム人工筋の力-変位特性に線形性を持たせている。また、スプリングにより復帰力が与えられるので一本の人工筋のめり駆動システムを構成することが可能となる。

### 2. 2 人工筋の圧力-変位特性

図2に示すような実験構成により人工筋の圧力-変位特性を測定した。結果を図3に示す。圧力の低い部分では非線形特性を示しているが、圧力が高くなると線形性を示している。次に、電・空レギュレータへの入力信号を周波数とした、周波数特性を図4に示す。図中の理論値は次の式により表示されるゴム人工筋の伝達関数より求めた曲線である。

$$F(s) = \frac{25.2}{(s^2 - 5.8s + 9)} + \frac{28.8}{(s^2 - 11.6s + 36)} + \frac{70.4}{(s^2 - 15.5 + 64)} \quad (4)$$

## 3. 位置と力の制御

### 3. 1 圧力情報による位置と力の制御

電・空レギュレータにより圧力調整された圧縮空気を人工筋に供給することで人工筋に所定の変位を与えている。圧力変動の調整は電・空レギュレータに設けられた圧力センサーの出力をフィードバックすることにより行われている。ロボットが何かに接触した場合に生ずる人工筋内の圧力変化をこのセンサーで検知可能であれば、ロボットの手先にセンサーを設けることが不必要となる。そこで、図5に示すゴム人工筋内部の圧力情報を利用した位置と力の制御の可能性を検討する。パソコンなどからによる入力信号により電・空レギュレータで圧力調整された圧縮空気をゴム人工筋に供給し、ゴム人工筋に変位を与える。ゴム人工筋内の圧力情報は圧力センサーにより常時監視され、電・空レギュレータへの入力信号にフィードバックされている。ロボットの手先またはアームが障害物などに接触した場合には、圧力センサーが人工筋内部の急激な圧力変動を検出することにより障害物との接触を検知することが可能と考えられる。問題は接触あるいは衝突による圧力変動がどの位となるかである。このために人工筋の先端部に重りを落下させることによる人工筋内の圧力変動の測定実験を行った。図6に実験装置を示す。ゴム人工筋に予め変位を与えておき、その状態で重りを落下させることにより人工筋内部の圧力変動を測定した。図7に結果を示す。なお、圧力の変動はセンサーの電圧の変動として表示している。衝突に

よる圧力の上昇時間は0.06秒前後で、圧力変動は衝突エネルギーにほぼ比例している。さて、ゴム人工筋でロボットを構成した場合におけるアームの移動速度は数cm～数十cmのオーダーである。衝突エネルギーは実験の $1/1000 \sim 1/10000$ 程度となる。したがって、この程度の圧力変動では電・空レギュレータによる設定圧力に対する圧力変動と判別は難しい。また、衝突エネルギーを増大させるためにロボットのアームの慣性を大にすることは好ましくない。上記のような実験結果から圧力情報を利用する力制御を実現することは困難であると判断した。

### 3.2 位置情報による力制御

(1) 制御の方法： 図8に示すようにポテンシオメータの位置情報を用いて力制御を行う。人工筋の変位によるロボットのアームの変位をポテンシオメータで検出している。電・空レギュレータへの入力信号に対するロボットのアームの変位が常に一定であれば、入力信号の入力回数に対するアームの変位は決まった値となる。ロボットの手先あるいはアームが障害物などに衝突あるいは接触した場合にはポテンシオメータの出力信号の変化がなくなるか、または、あったとしても僅かな出力信号の変化となると考えられる。入力信号1回あたりのポテンシオメータにおける出力信号に対する、衝突時における出力信号の変化の大きさを確認し、これを利用することにより障害物との衝突あるいは接触の認識が可能となる。

#### (2) ロボットの構成：

ゴム人工筋を用いた具体的なロボットを構成し、そのロボットにおける入力信号と出力としてのアームの変位から上記の制御法の可能性を検討する。ロボットの構成を図9に示す。ロボットはアーム1とアーム2からなる2自由度のロボットで、それぞれのアームを各1本のゴム人工筋で駆動する。アームの回転軸にはポテンシオメータが装着されている。

力制御はアーム1のポテンシオメータの出力信号を用いて行う。また、アーム1が障害物などへの接触を検知した場合には、アーム2を駆動して障害物などからの回避動作を行わせる。電・空レギュレータへの入力電圧を0.1V単位で加減した場合のアームの出力変位を図10に示す。負荷と人工筋に付加したばね力との関係でアーム1とアーム2で異なった出力となっている。アーム2の特性では、ゴム人工筋の伸張方向とアームの駆動方向の組み合わせがアーム1とは逆の状態、人工筋の収縮時に負荷が加わるが、ばねの復元力と相殺している。このようにアーム1でもこのような力関係となるように構成すれば制御し易い構成となるが、ここでは取り扱わない。図11にアーム2を固定し、アーム1の先端に荷重を加えた場合の実験結果を示す。電・空レギュレータへの入力電圧0.1Vあたり約 Nの力である。以上のような実験結果をもとに以下に示すような具体的な制御系と制御アルゴリズムを構成し、障害物回避実験を行う。

#### 4. 障害物回避実験

##### 4. 1 障害物回避動作法

2本のゴム人工筋で構成した2自由度ロボットにおける障害物回避動作の概念を図12に示す。アーム1が障害物の接触あるいは衝突した場合に、障害物である認識処理を行う。アーム1のゴム人工筋の内部圧力が増圧され、アーム1に設けられたポテンシオメータの出力信号が増加しないことにより障害物である認識が行われる。次に、アーム1の人工筋が減圧されアーム1は下方に降下動作を行う。ポテンシオメータによる位置情報によりアーム1は動作を停止し、障害物回避動作としてアーム2が駆動される。アーム2の動作後に、アーム1が再び上昇動作を行い、障害物に再び接触すれば、上記の動作を繰り返す。アーム1のポテンシオメータの出力信号がアーム1の動作に対して所定の出力であれば、障害物の回避動作が完了したこととなる。障害物回避動作のフローを図13に示す。

##### 4. 2 障害物回避実験結果

障害物回避実験は円筒状障害物および板状障害物に対して行った。図14にアーム1のアームの部分小さな円筒状障害物に接触し、回避動作を行った結果を、図15にはそれよりも大きな円筒状物体に最初は腕の部分が、次にアーム先端部分が接触し、回避動作を行った結果を示す。図16には水平に置かれた板状物体の、図17には垂直に置かれた板状物体に接触し、回避する実験結果を示す。図17に示すように板の表面をなぞりながら回避動作へと進んでいる。図18には、斜めに置かれた板状物体への回避動作を示す。以上の実験結果が示すように、ゴム人工筋ロボットは定められたプログラムに沿って力制御を行い、障害物回避動作を行っている。

#### 4. まとめ

ゴム人工筋を用いたマニピュレータによるコンプライアンス制御法を示した。障害物にマニピュレータが接触した場合にゴム人工筋の柔軟性を利用し、エンコーダからの信号を用いてコンプライアンス制御を行う方法を提案した。ゴム人工筋をアクチュエータとする2自由度関節型ロボットにより各種の障害物回避動作実験を行い、提案した方法の有効性を確認した。

行った実験の障害物の表面は平滑で、かつ障害物は剛体であるという条件である。より複雑な形、弾性体あるいは粘性体の障害物に対する検討は行っていない。今後の検討課題である。

#### 参考文献

1. 則次, 他, : ゴム人工筋を用いたロボットマニピュレータの位置と力のハイブリッド制御, 日機論, 61c-586, (1995), p. 309.
2. 武富, 他, : ゴム製空気圧アクチュエータによる力と位置のハイブリッド制御, SICE東北支部第138回研究集会, NO. 138-5, (1995).

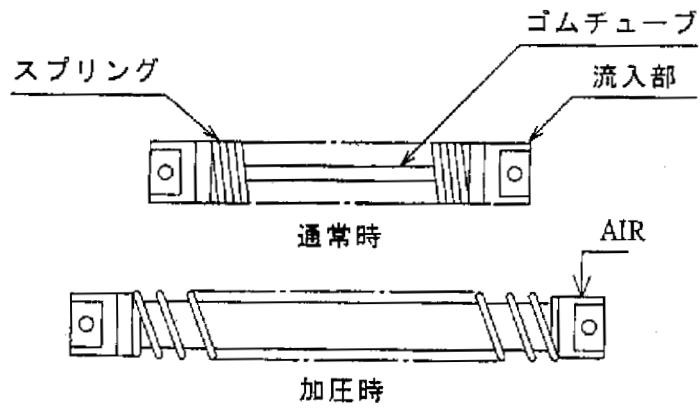


図1. ゴム人工筋概略図

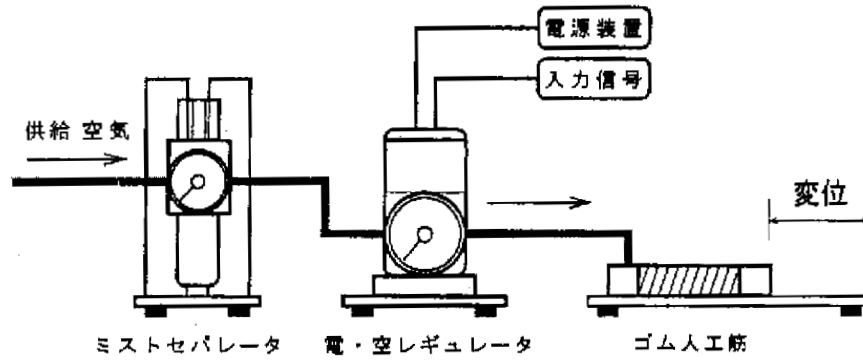


図2. ゴム人工筋特性測定実験装置

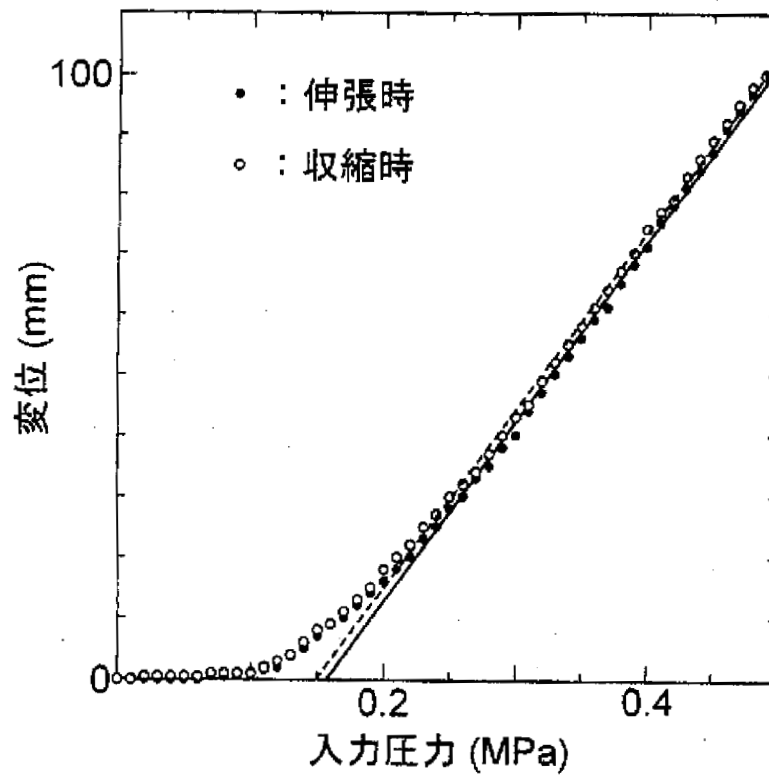


図3. ゴム人工筋の変位特性

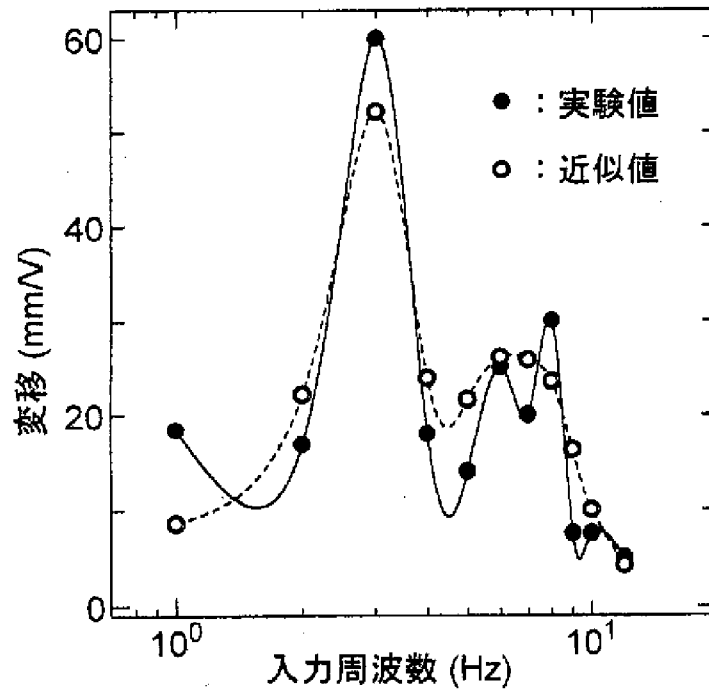


図4. ゴム人工筋の周波数特性

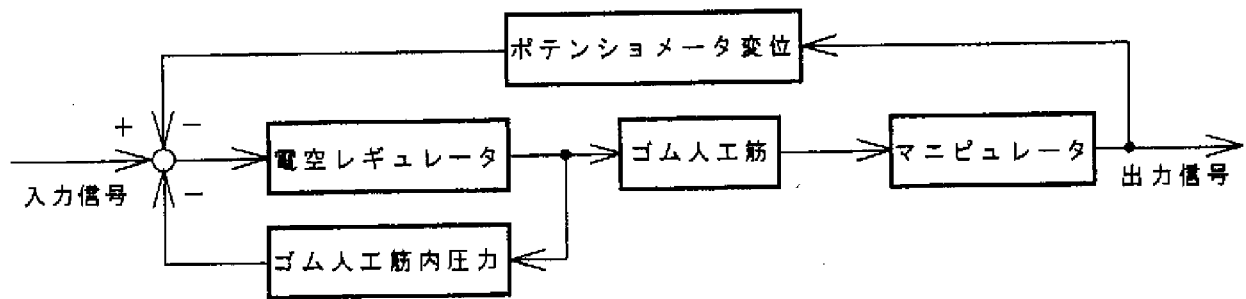


図5. 圧力情報による力制御

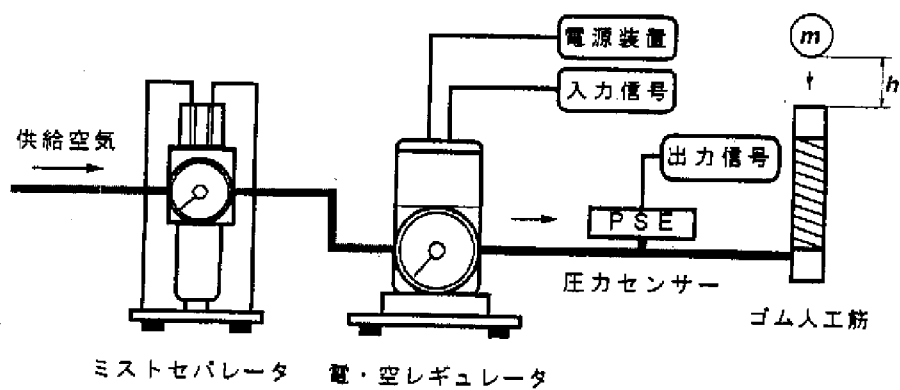


図6. ゴム人工筋衝撃実験方法

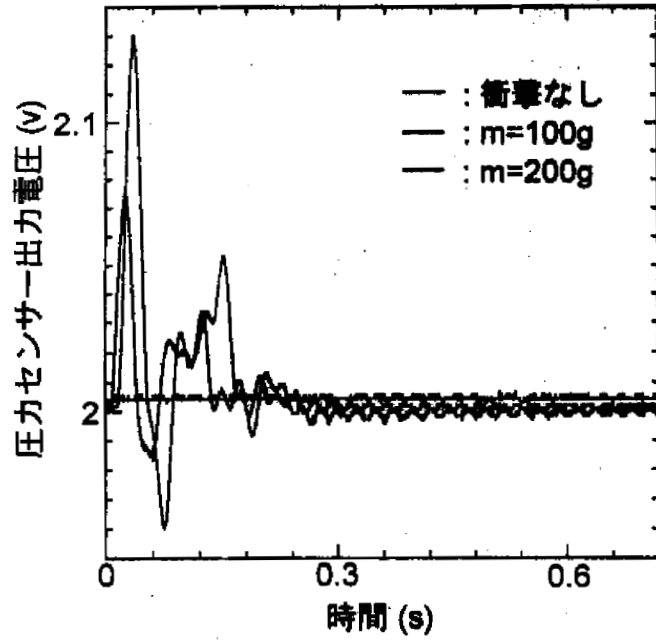


図7. 衝撃によるゴム人工筋の圧力変化 (初期圧力0.25MPa)

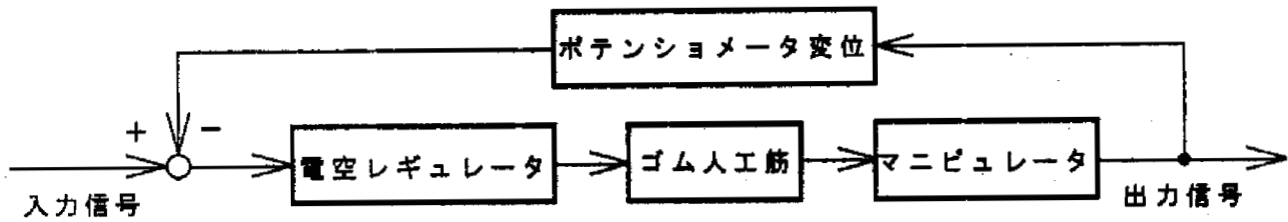


図8. 位置情報による力制御

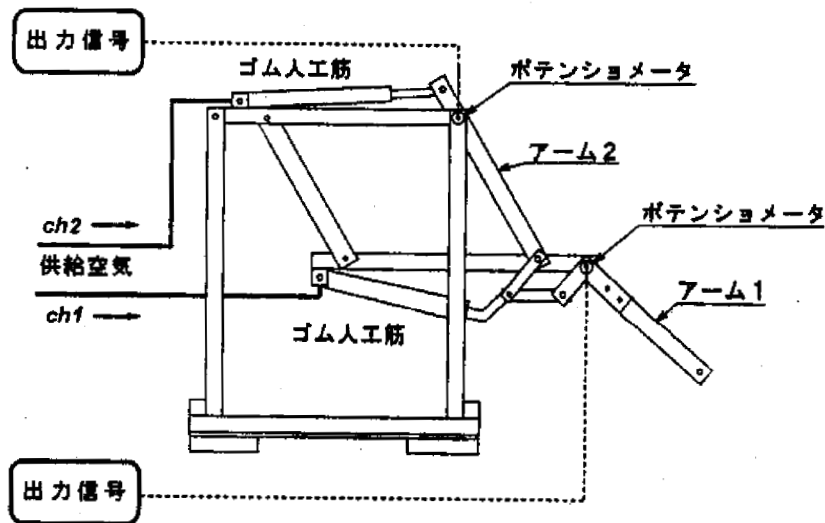


図9. ゴム人工筋を用いた2自由度ロボット



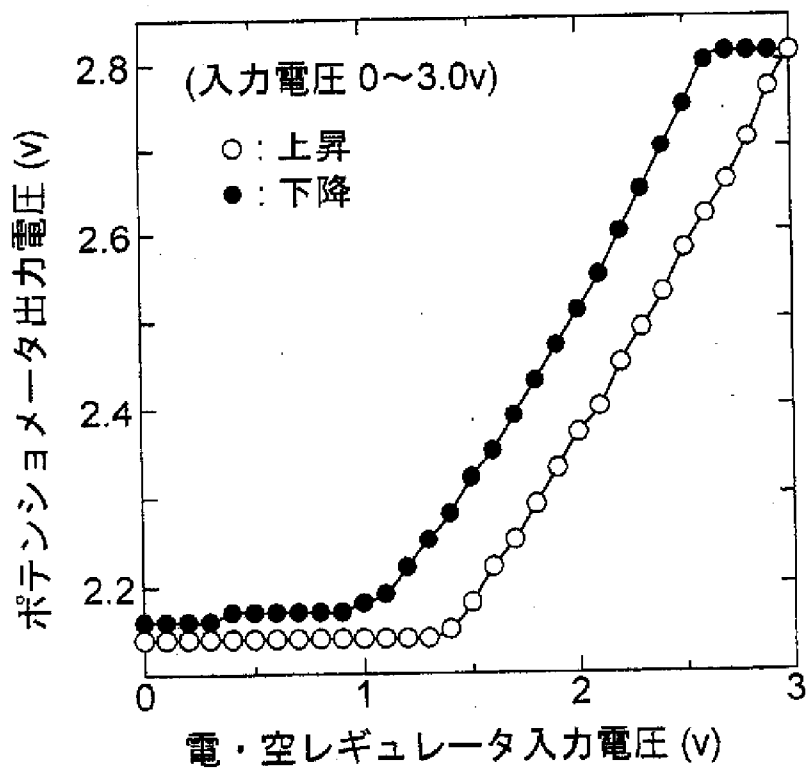


図10. アームの駆動特性 (アーム1)

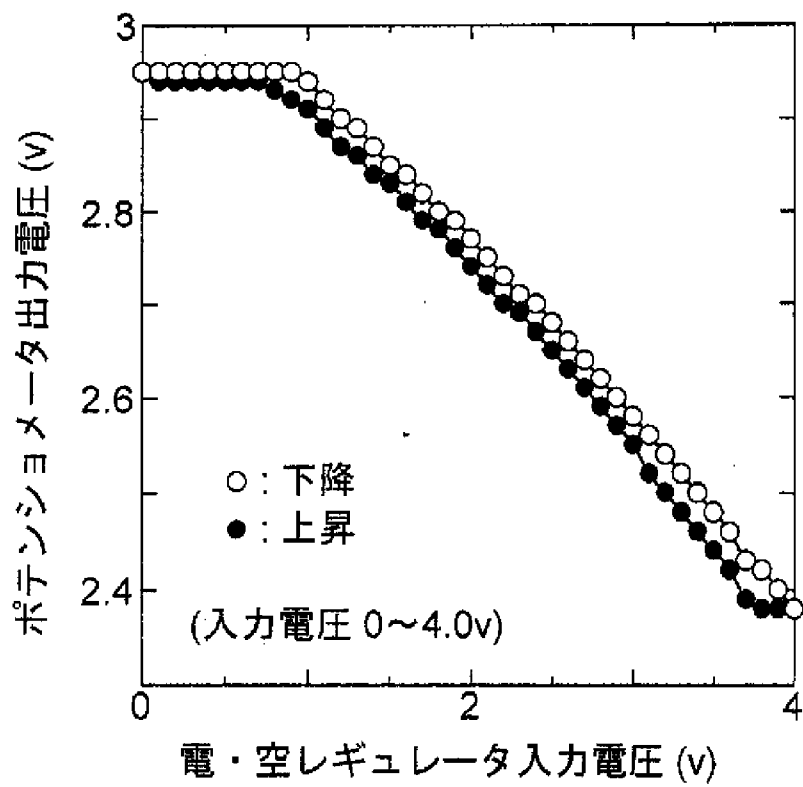


図11. アームの駆動特性 (アーム2)

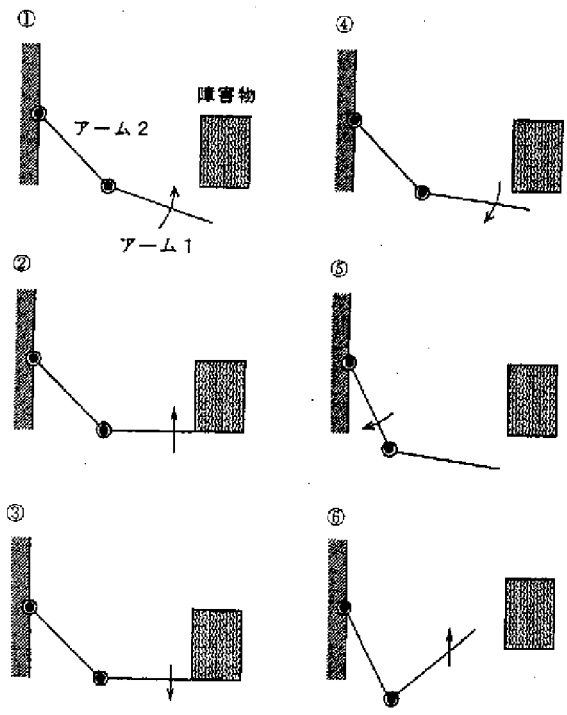


図 1.2. 障害物回避動作

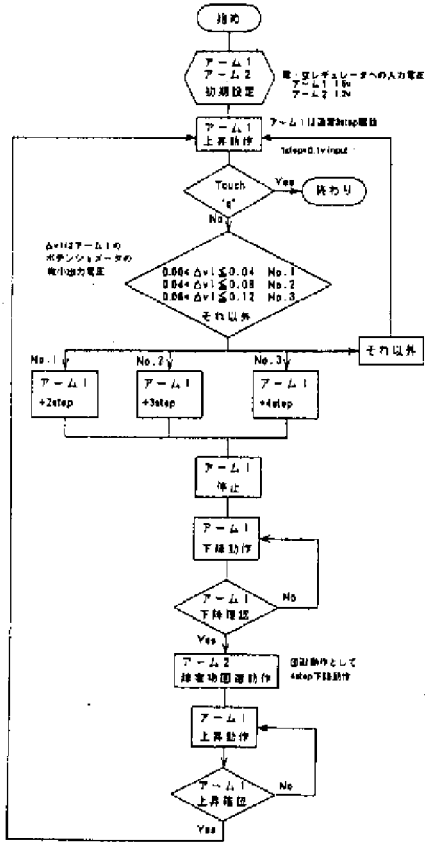


図 1.3. 障害物回避動作フロー

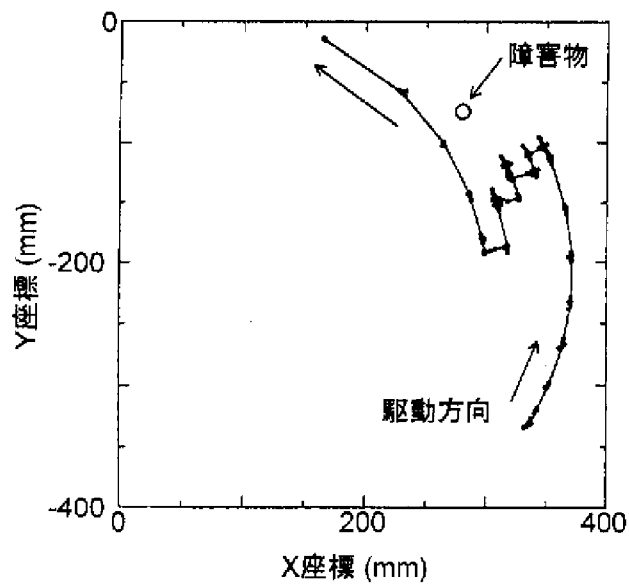


図14. 障害物回避実験結果(1)

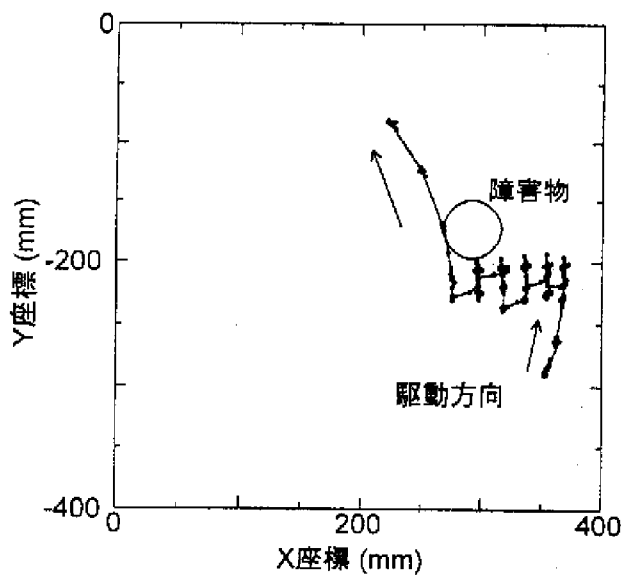


図15. 障害物回避実験結果(2)

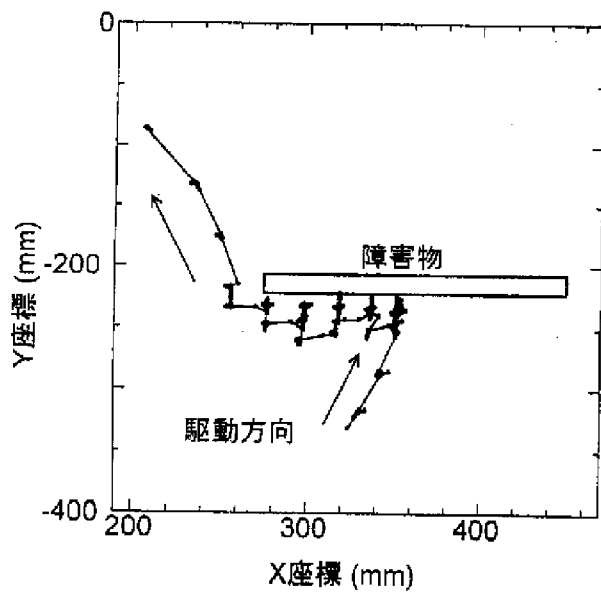


図16. 障害物回避実験結果(3)

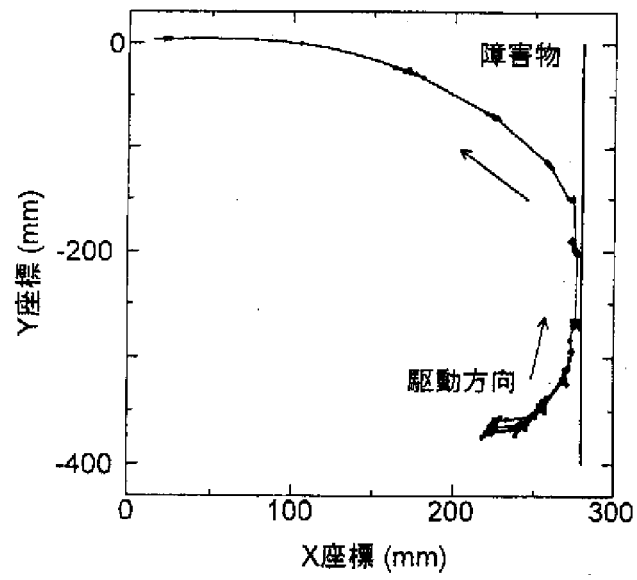


図17. 障害物回避実験結果(4)

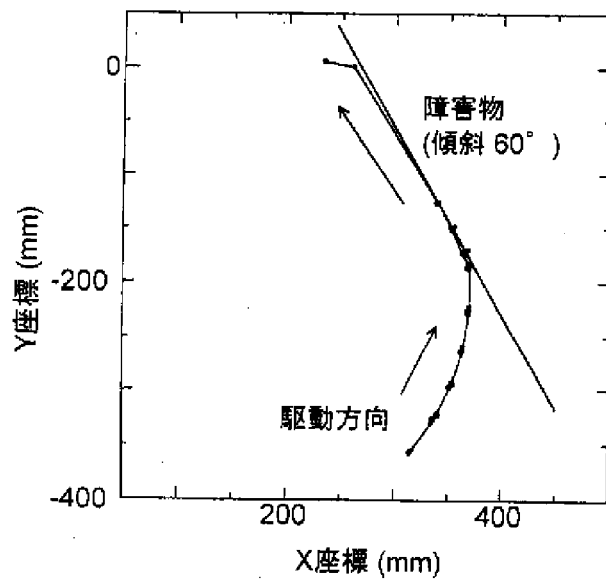


図18. 障害物回避実験結果(5)