U. D. C. 621.039.566

京都大学原子炉実験所納

日立パワ・マニプレータ

Hitachi Power Manipulator

宮沢 浄* 和世啓三* 松香茂道*
Kiyoshi Miyazawa Keizô Wase Shigemichi Matsuka

内容梗概

感覚機能を有する遠隔操作技術の一応用例として，最大つり上げ荷重500 kg，つかみ上げ荷重50 kgのパワ・マニプレータPE-1形を完成し，京都大学原子炉実験所に納入した。本機は天井走行形電動式パワ・マニプレータで，走行機構，横行機構ならびに昇降機構に，人間の腕に相当する肩回転ならびに肩関節機構，ひじ関節機構，手首装置およびつかみ機構を組み合わせたものである。

運転は操作卓のマスタスイッチにより，オペレータの手の運動と機械の動作が相似的に対応するように行なわれる。手首のトルクおよび握力は，内蔵された検出器により常時電気的に検出測定され，操作卓上に指示される。オペレータはガラス窓を通して作業を直接観察するとともに，計測器によりトルクおよび握力を知覚して情況に追従した適切な運転操作を行なうことができる。

本稿では装置の構造の紹介に加えて，機械的特性および周波数切換方式による電動機速度制御について設計的に検討した結果を主体として述べる。

1. 緒言

通常の遠隔操作装置に感覚的機能を持たせることにより，さらに進歩した遠隔操作装置の製作が可能になる。将来，各種産業の高度の機械化が進むにつれ，いわば感覚機能的遠隔操作技術ともいうべき新技術の必要性は増加するものと思われる。日立製作所においてはこれら技術に関し開発研究を続けてきた[(1)~(3)]が，主要機構部についてその過程を終了したので，その成果をパワ・マニプレータに応用し，京都大学原子炉実験所のホットケーブの放射性物質遠隔取り扱い用として実用化に成功した。

日立パワ・マニプレータPE-1形は負荷容量が，最大つり上げ荷重で500 kg，つかみ上げ荷重で50 kgとなっており，人間の腕のように対象物をつかんで移動したり，ハンドルやネジ類を回転したりできるので，これをホットケーブ内に設置することによりケーブの有用性は著しく増加する。駆動には誘導電動機を用い，つかみやねじりなどの各動作に一台の電動機を配し，それらをケーブ外の操作卓から遠隔制御する。

本装置に感覚的機能を持たせるためには，つかみ力と手首の回転トルクを，本体に内蔵する検出器により電気的に検出測定し，それらを操作卓上に指示し，オペレータが，しゃへい用ガラス窓を通して作業を直接監視するとともに計測系を通してトルクおよびつかみ力を知覚して，作業情況に追従した適切な運転操作を行なえるようにしている。

需要量の点より，マニプレータへの本技術の適用は今後行なわないことになるが，他方面への応用について考えていく所存である。

2. 装置の構成

日立パワ・マニプレータPE-1形はホットケーブ内に敷設された2条のレール上を自走する構造で，この点では天井走行式クレーンと類似の構造である。パワ・マニプレータが設置されたホットケーブの構造および機器配置の概略を**第1図**に示す。

本機の主要部分は，マニプレータ本体で，それは機械的つかみ機構と，つかんだ対象物を任意に動かす肩関節部 (Shoulder Pivot)，ひじ関節部 (Elbow Pivot)，手首部とそれらを直交三方向に動かして作業位置まで移動する走行，横行および昇降装置とより成る。マニプレータ本体の外観を**第2図**に示す。

本パワ・マニプレータは三相誘導電動機で駆動される。速度制御は電源周波数の切り替えにより行ない，つかみは2段に，それ以外の動作はすべて4段に制御される。操作は操作卓のマスタスイッチ（主幹制御器）により総括的に行なわれる。操作卓の外観を**第3図**に示す。

本体への給電および各種制御用信号の伝達はケーブルにより行なわれる。ケーブルはホットケーブ上に設置されたケーブルリール装置に巻き取られる。ケーブルにはマニプレータ用として特殊設計の多心ケーブルが用いられ，マニプレータの移動中，ケーブルの張力がほぼ一定になるように考慮されている。

以下各構成要素について説明する。

2.1 マニプレータ本体

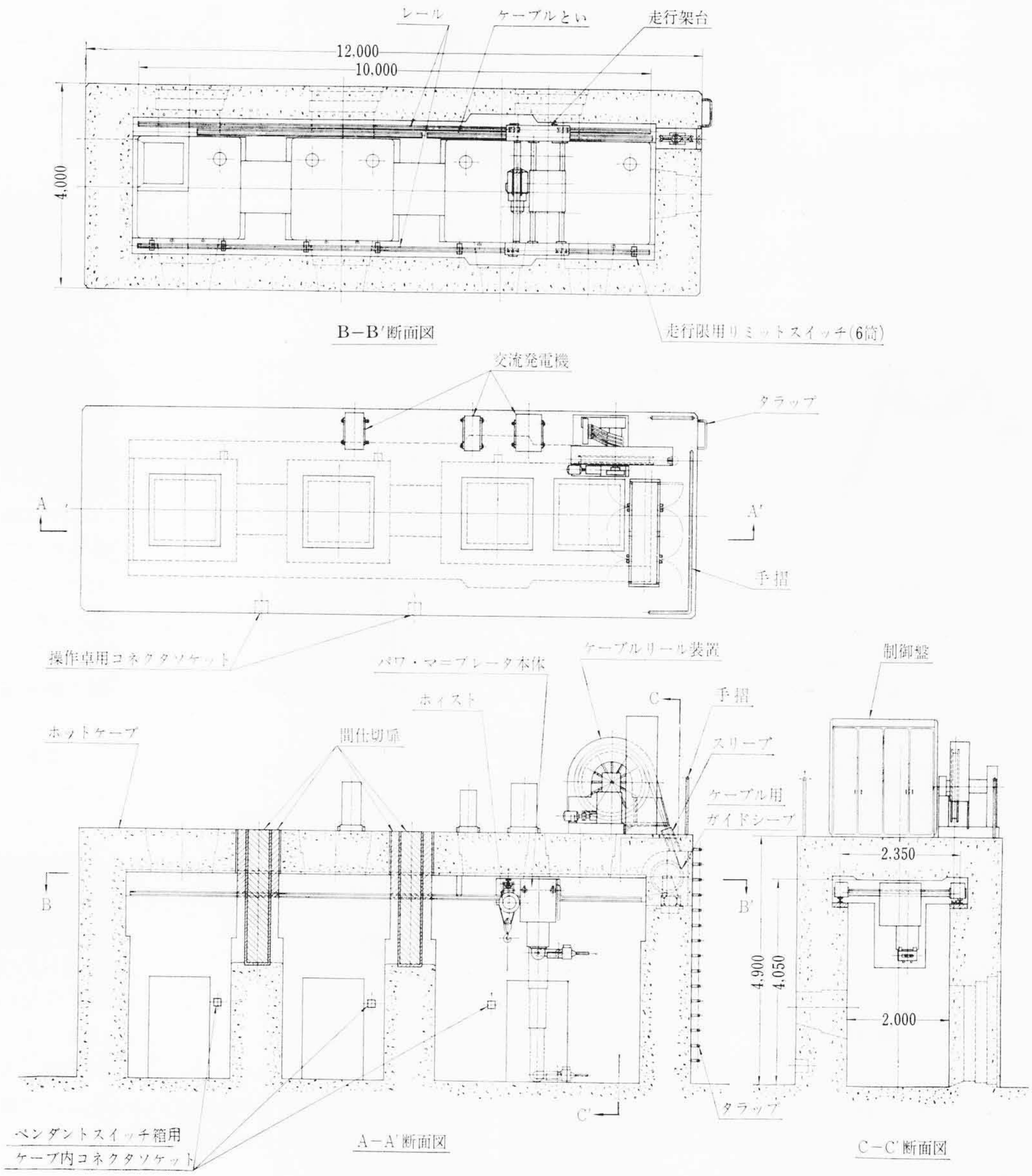
マニプレータ本体はホットケーブ内にあって実際に各種作業を行なう主要部分である。直接対象物に近づいてこれをつかみ上げたりねじったりする部分が手首装置およびつかみである。**第2図**に示すように手首装置はひじ関節機構を介して腕に連結され，腕はさらに肩関節機構を介して肩に連結される。肩部は直径の異なる3本の円筒から成る伸縮自在のVチューブ (Vertical Tube) の下端に取り付けられる。Vチューブの最も内側の円筒内には肩回転機構とともに，肩部以下との電気的接続をする2条のコイル状ケーブルおよび多点スリップリングが内蔵されている。Vチューブはそれぞれの円筒がその内部に取り付けられたワイヤロープ機構によりささえられ，かつ相互にしゅう動しながら昇降することにより伸縮する。Vチューブの上端は横行台車に取り付けられ，この台車にはワイヤロープ機構が納められている。

ワイヤロープには巻上用と押しつけ用がある。前者はVチューブを構成する3本の円筒のそれぞれをつり上げるために用いられ，後者はマニプレータで対象物を下方に押し下げる作業をする際，押しつけの反力でVチューブ以下の部分が浮き上がるのを防止するよう働く。これは日立パワ・マニプレータの大きい特長の一つで，これにより作業の範囲は拡大され，対象物を押しつけながら回転するような，通常のパワ・マニプレータではできない作業も行なうことができる。巻上用，押しつけ用のいずれのワイヤロープも主ロープと補助ロープとより成り，万一主ロープ側が著しく伸びたり，切断したりしたときには直ちに補助ロープに荷重が加わるようになってい

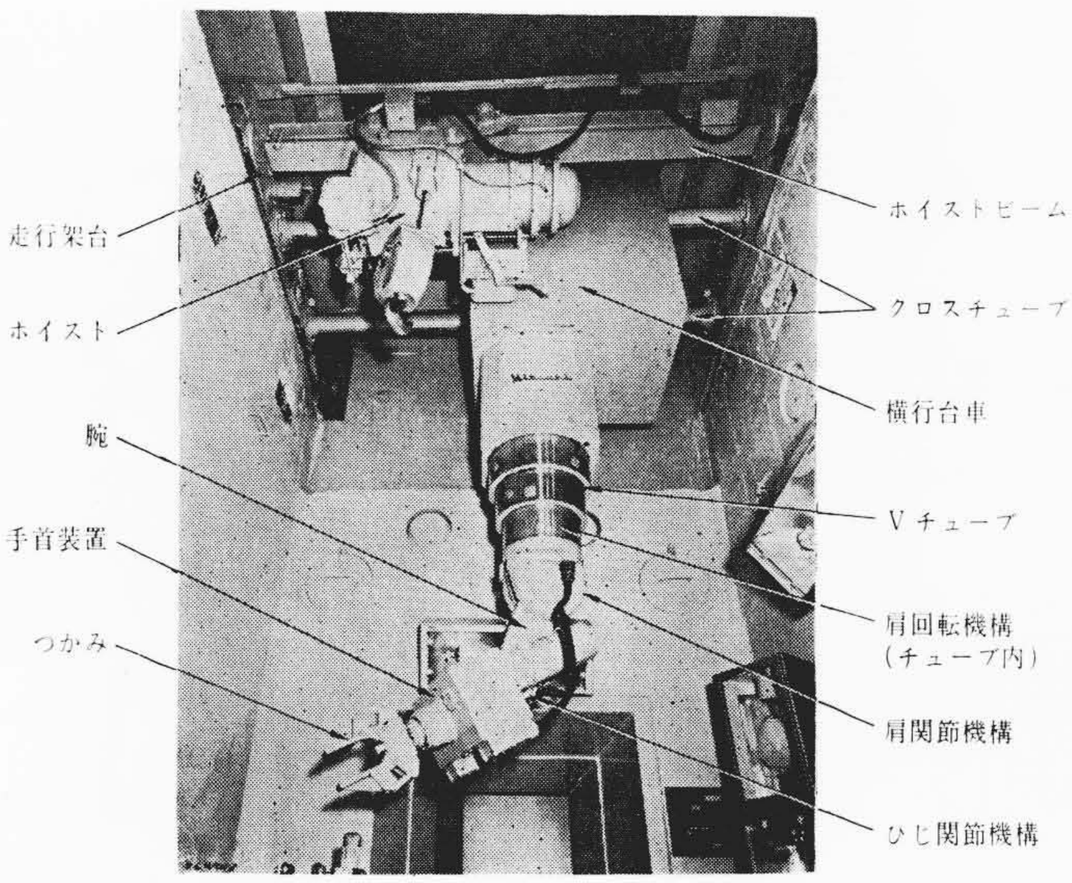
* 日立製作所日立工場

る。また主ロープに異常を生ずれば，それは2.6に述べるように操作卓上に表示されるから，必要な処置をすることができる。

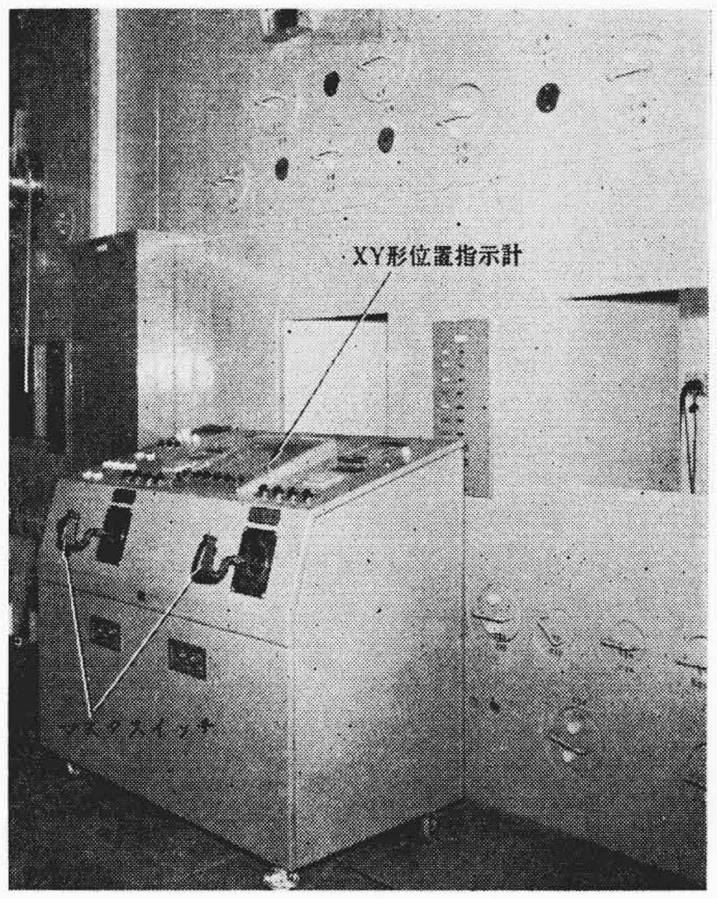
横行台車は走行架台の2本のクロスチューブに沿って移動し，走行架台は前述のようにケーブ内に敷設されたレール上を走行する。以上述べた各機構によりマニプレータ本体は第1表に示すような8種類の運動の自由度が与えられたことになる。各運動の自由度を第



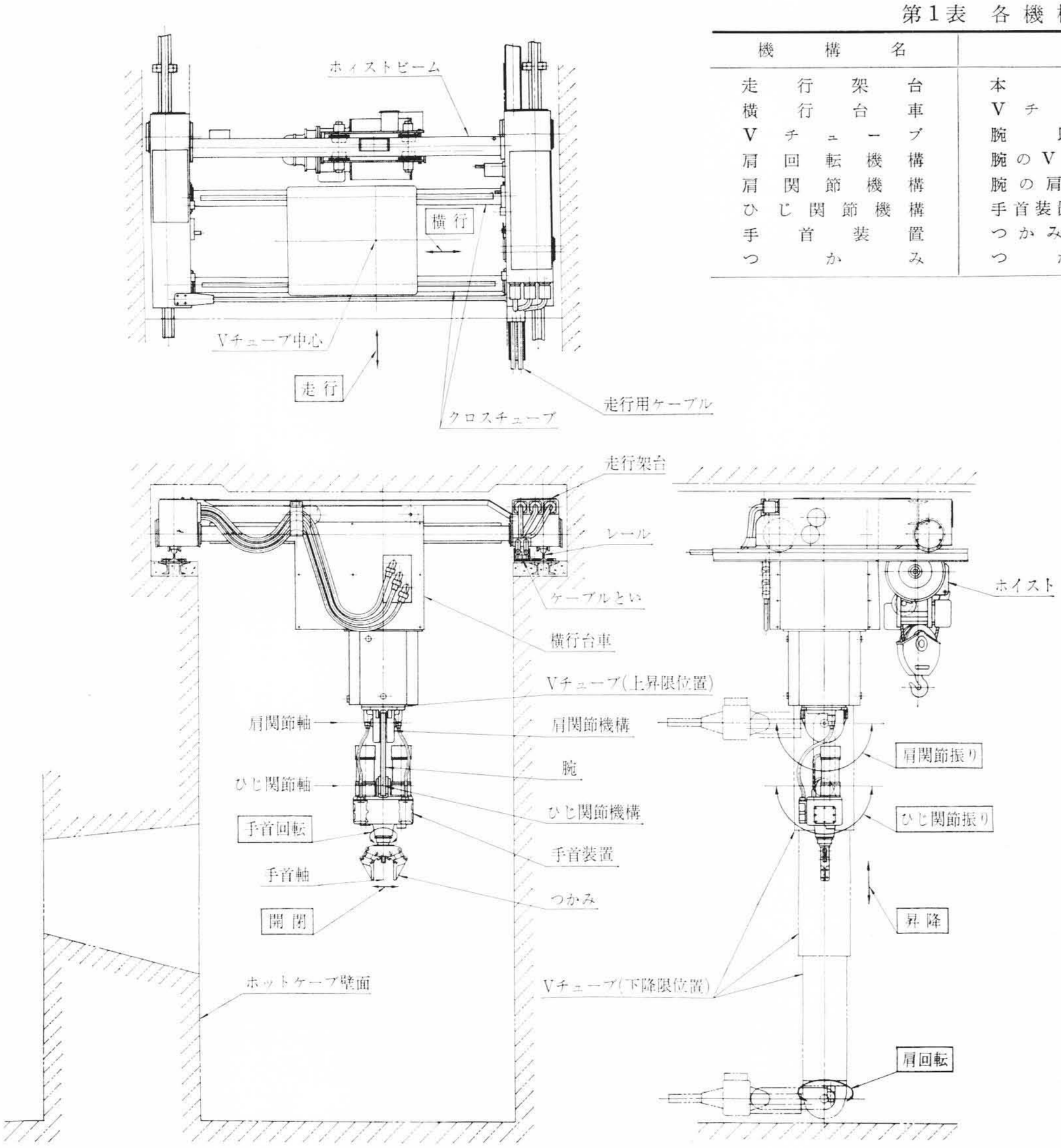
第1図　日立パワ・マニプレータ全体配置図



第2図　パワ・マニプレータ本体



第3図　操　作　卓



第4図　パワ・マニプレータ各部の動作

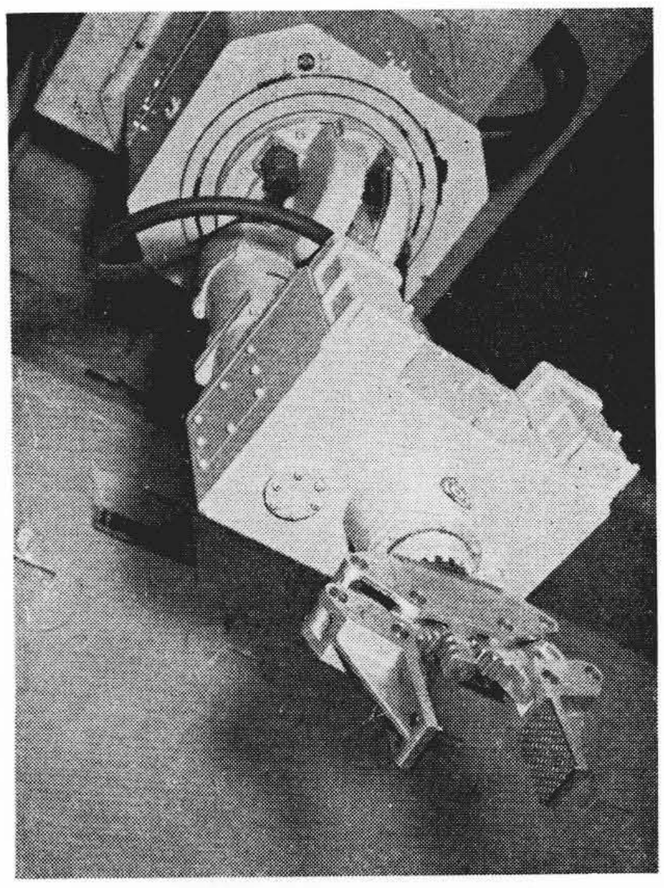
第1表　各機構の運動

機構名	運動の自由度
走行架台	本体の走行
横行台車	Vチューブ以下の横行
Vチューブ	腕以下の昇降
肩回転機構	腕のVチューブ軸まわりの回転
肩関節機構	腕の肩関節軸まわりの振り
ひじ関節機構	手首装置のひじ関節軸まわりの振り
手首装置	つかみの手首軸まわりの回転
つかみ	つかみの開閉

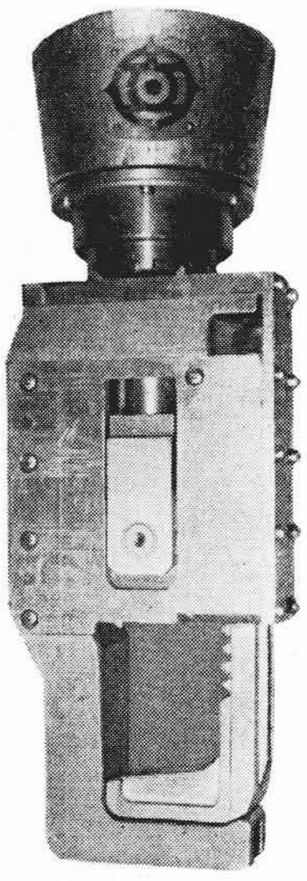
4図に示す。マスタスイッチを操作してこれら8種類の動作を組み合わせて行なうことにより，マニプレータの作業領域内においては，つかみ部を任意に動かすことができる。

つかみ部は一対のつかみ板およびその支持部と駆動用ラック機構からなる。その外観を**第5図**に示す。この部分はトングヘッドと呼ばれ手首装置との遠隔着脱ができるような構造をもっている。対象によっては**第5図**に示すようなトングヘッドでは扱いにくい場合があるのでこのようなもののためにはフック状のヘッド(フックヘッド)が用意されている。フックヘッドの外観を**第6図**に示す。フックヘッドは主としてパイプ状の対象物の持上げなどに使用するものである。

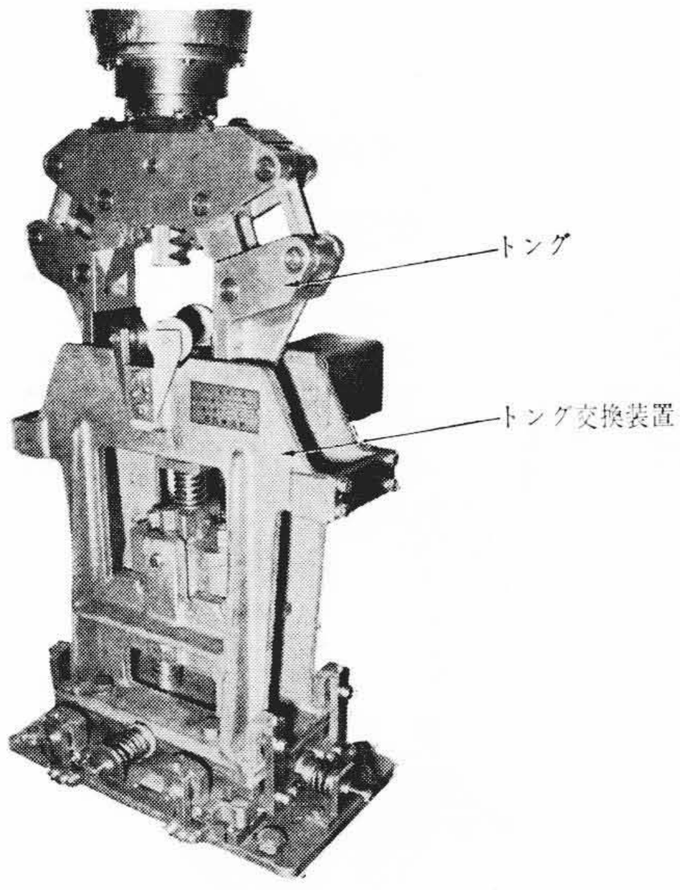
トングヘッドとフックヘッドとの交換は，ケーブ内に設けられたトング交換装置を用いて遠隔操作により容易に行なうことができる。すなわち，**第7図**に示すようにヘッドをトング交換装置にそう入して手首回転すればそれは手首装置からはずれる。ヘッドの装着も同様にして行なう。また本機には円筒状容器内より試料をつまみ出すために，



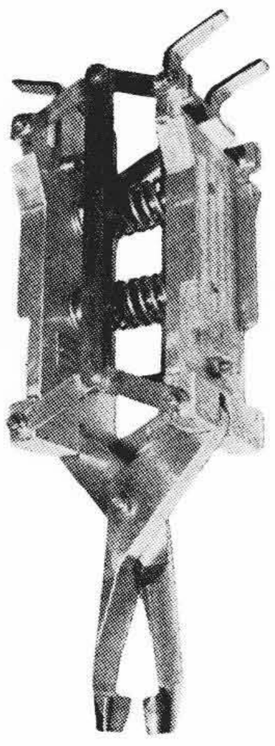
第5図　手首装置およびつかみ部(トングヘッド)



第6図　フックヘッド



第7図　トング交換装置(トングヘッドを半ばそう入した状態を示す)



第8図　補助トング

特別に製作された補助トングが付属している。これはトングヘッドに遠隔操作で装着されて使用されるものでその外観を**第8図**に示す。

2.2 制御装置

マニプレータの運転はすべて操作卓上のマスタスイッチにより行なわれる。すなわち前項に述べたマニプレータ本体の8動作はすべて左右合わせて2個のマスタスイッチを上下，左右引き押しすることによりオペレータの手の運動と機械の動作が相似的に対応するように制御される。

つかみおよび手首装置には，つかみ力およびトルクの検出器が内蔵され，それらを常に測定，指示すると同時に，つかみ力については，設定値に達すると信号を出してつかみ用電動機を自動停止せしめる回路を設けてあるので，オペレータは最初に対象物に適したつかみ力を設定すれば，それ以後はつかみ動作を行なうのみでよく運転が容易になる。

マニプレータ本体の位置は走行，横行，昇降の3方向のそれぞれに位置指示計を設け，操作卓上に指示させている。特に走行と横行の位置は，通常の指示計のほかにX-Y形位置指示計(**第3図**参照)を設け，それに二次元的に表示させることにより，マニプレータ本体の位置（具体的にはVチューブの中心の位置，**第4図**参照）が一目して読みとれるよう考慮されている。

操作卓は**第3図**に示すように車輪付で移動可能となっており，マニプレータの作業位置につれて適当な位置に移動して操作することができる。接続はケーブルで行なわれ，ケーブル端のコネクタプラグを，ホットケーブ壁面に設けたコネクタソケットに連結するようになっている。壁面コネクタソケットの位置は**第1図**に示されている。

2.3 ケーブル

マニプレータ本体と制御装置を結ぶ連結の方式には，無線または有線通信技術を応用したものやケーブルによるものなどがありそれぞれ一長一短であるが，本機では信頼性および耐放射性にすぐれた多心ケーブルを用いる方法によっている。

ケーブルを用いる場合には，マニプレータ本体の走行に伴うケーブルの巻取りが必要である。ここではケーブルに損傷を与えないため，ケーブルの曲げ半径が許容値以下にならないようにケーブルリールの径を十分大きく選ぶとともに，ケーブルに常に一定の張力を与えるように機構上および制御上の考慮を払ってある。なおこのケーブルは前述のようにマニプレータ用として特に設計，製作されたものであり，引張り強さ，可とう性，耐放射性に重点をおいてある。

2.4 付属装置

以上のほかに，パワ・マニプレータには補助作業用としてホイストが付属するのが常である。ホイストはマニプレータと共用の走行架台に取り付けられる場合と，別にホイスト専用の走行架台を設ける場合がある。ここでは前者の方法によっている。すなわち走行架台に，**第2図**に示すようにホイスト専用のビーム(ホイストビーム)を設けホイストはビーム上を移動する。本機に付属するホイストはケーブ内の輸送水路から物をつりあげる作業も行なうのでロードブロック，ワイヤロープおよび巻きドラムにはすべて18-8系ステンレス鋼を使用している。ホイストの運転はマニプレータと同一の操作卓から行なうほか，ケーブ内の着脱式ペンダントスイッチ箱からも操作することができる。ペンダントスイッチ箱用ケーブ内コネクタソケットの位置は**第1図**に示すとおりである。

マニプレータ駆動用三相誘導電動機の電源として，ここでは4種類の周波数（15, 30, 60, 120 c/s）を有するものが用いられる。60 c/s のみ商用電源をそのまま用い，他はすべて交流発電機によっている。

2.5 安全装置およびインタロック

誤操作により，装置各部に過大な力がかかったり，破損することがないように本機には安全装置が設けられ，また制御回路にはインタロック回路が設けられている。その概要を次に述べる。

（1） 各動作の運動限ではリミットスイッチが働いてその動作を自動停止させる。一例として走行限用リミットスイッチの取り付け位置を**第1図**に示す。

（2） 手首回転トルクとつかみ力の強さは，前述のように操作卓上に指示させると同時に，つかみ力が設定値に達すると信号を出してつかみ動作を自動停止させる。

（3） 各動作ごとに駆動部にスリップクラッチ機構を設け，作業端が障害物に触れたり，あるいは過負荷となったときに機構部各部が破損することのないようにしている。

（4） 本機がケーブ間の間仕切りとびらを通過するとき，マニプレータが間仕切りとびら部壁面に触れない姿勢をとり，ホイストが同様な位置にあるときにのみ走行ができるようなインタロックを設け，同時に操作卓上にマニプレータおよびホイストについてそれぞれ「移行可能」の表示をさせている。

（5） 主ワイヤロープがゆるんだ場合あるいは万一切断した場合には巻上動作を自動停止せしめるようなインタロック回路を設け，さらにどのワイヤロープが故障したかを表示灯により操作卓上に表示せしめる。また，ロープゆるみの場合にのみ，保守上の便を考慮して必要な場合に限って責任者がインタロックをバイパスできるようバイパス用キースイッチを操作卓上に設けてある。

2.6 装置の仕様

第1表に示す運動ごとに運動範囲，負荷容量，最大速度および変速段階を決めたものがパワ・マニプレータの基本的仕様となる。本パワ・マニプレータの仕様を**第2表**に示す。

運動範囲のうち走行および横行はケーブの内のり寸法によって実質的には決まる。本表の数値は**第1図**に示すホットケーブに合わせたものであるが，日立パワ・マニプレータPE-1形はさらに広い範囲の運動が可能である。これに加えて巻上の2,400 mmは本邦最大であり，大形ホットケーブにも十分な運動範囲を有するものである。

3. 機械的特性

マニプレータの機械的特性としては，マニプレータ本体の剛性，機構部の摩擦特性，機械的なガタ，つかみ部の摩擦特性などがあげられる。マニプレータ本体のたわみは自重に対してはもちろん，これに全負荷を加えてもある程度以下であることを要する。すなわち

第2表　パワ・マニプレータの仕様一覧表

	運動	運動範囲	負荷容量	最大速度	変速段階
パワ・マニプレータ	走行	8,800 mm	—	4.5 m/min	1, ½, ¼, ⅛
	横行	1,100 mm	—	4.5 m/min	1, ½, ¼, ⅛
	昇降	2,400 mm	* 500 kg	3.2 m/min	1, ½, ¼, ⅛
	肩回転	限界なし	1,000 kg/cm	3.0 rpm	1, ½, ¼, ⅛
	肩関節の振り	±90°	3,000 kg/cm	1.0 rpm	1, ½, ¼, ⅛
	ひじ関節の振り	±90°	3,000 kg/cm	1.0 rpm	1, ½, ¼, ⅛
	手首回転	限界なし	500 kg/cm	9.0 rpm	1, ½, ¼, ⅛
	つかみ	125 mm	** 50 kg	80 cm/min	1, ⅛
	フック	100 mm	* 500 kg	65 cm/min	1, ⅛
ホイスト	走行	（マニプレータ走行と同じ）			
	横行	1,000 mm	—	4.5 m/min	1, ¼
	巻上	8,000 mm	1,500 kg	2.0 m/min	単一速度

（注） * Vチューブ軸線上において鉛直下方に荷重が加わる場合の値（たとえばフックヘッドで鉛直上方にVチューブ軸線上をつり上げる場合の値）。
** トングヘッドのつかみ中央部における値。

剛性の大なることが望ましい。本機では合理的な設計により重量を軽減して剛性を大にし，たわみを極力小さく押さえている。また，機構部の静摩擦，動摩擦が大きいと動力の伝達損失が大きくなり，電動機の所要出力が増大し重量が増加する結果となる。本機では回転部にボールベアリングを，しゅう動部に潤滑グリースを使用して摩擦損失を軽減している。機械的なガタとつかみ部の摩擦特性については以下に説明する。

3.1 機械的なガタ

機械的なガタが多すぎると操作端と作業端の間のおくれが増大し，特に微細な作業ができにくくなり精密遠隔操作装置としては好ましくない。ガタが発生しやすい箇所の一つはVチューブである。Vチューブが最も伸びたとき，すなわち肩部分以下が最も降下した状態のときVチューブを構成する3本の円筒相互間および最上部円筒と横行台車との重なり長さが最短になるためガタが大きく現われる。この部分のガタを極小に押さえるために調整可能な案内構造を採用した。その結果，Vチューブを全昇降距離2,400 mm 伸ばした状態でも，先端におけるガタは ±5 mm 以内であった。この程度のガタであれば実用上，支障はない。

3.2 つかみ部の摩擦特性

つかみ部はパワ・マニプレータの作業の先端であり，直接対象物をつかみ上げる最も重要な部分の一つである。つかみ部の性能は対象物をつかんで上げ得る容量，すなわちつかみ上げ荷重によって表わされる。つかみ上げ荷重はつかみ部のつかみ力と，つかみ板と対象物間の摩擦係数の積によって決まる。したがってこの部分の摩擦係数はできるだけ大きいことが望ましい。

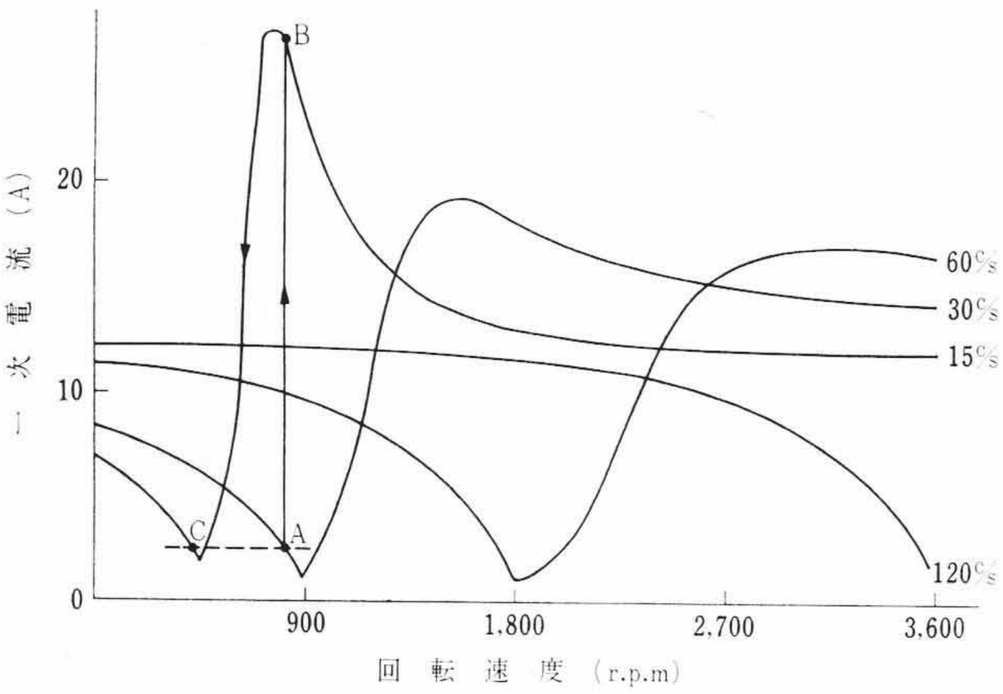
鉛直状になっているつかみにより物をつかみ上げる際のつかみ上げ荷重は次式で表わされる。

$$W=2\mu F \quad \cdots\cdots(1)$$

ここで，W：つかみ上げ荷重 (kg)
F：つかみ力 (kg)
μ：摩擦係数

(1)式から明らかなように 50 kg の物をつかみ上げるための摩擦係数 μ は，$F=125\sim150$ kg とすると 0.16～0.2 であることが必要である。本機のつかみ板としては**第5図**に示すような，表面に網目模様の凸部を設けたステンレス鋼製のものと，特殊用途としてゴム製のものが用いられる。それぞれについて(1)式により摩擦係数を実測した結果を**第3表**に示す。

つかみ上げ荷重を一口に 50 kg と称しても，所要つかみ力は対象物の材質，表面状態やつかみ板の種類などにより変動するので，実際の使用に際しては情況によりつかみ板を交換するなどの方法が必要となる。その場合，**第3表**に示すような各組合せに対する摩擦係数の概略値を知っていることが肝要である。



第9図　走行用400W電動機の一次電流—速度特性

第3表　つかみ部の摩擦係数

組合せ	摩擦係数 μ
ステンレス鋼製つかみ板と鋼材	約 0.2
ゴム製つかみ板と鋼材	約 0.6

第4表　基本的速度段階

運動速度	操作内容
高速	マニプレータを作業位置まで移動する
中速	マニプレータを対象物に近づける
低速	対象物に接触したり，部品を所定位置に取り付ける

4. 駆動および制御方式

駆動および制御方式で問題となるおもなものは電動機の選定，変速段階の決定および減速特性である。パワ・マニプレータ用電動機としては誘導電動機と直流電動機が考えられる。選定に当たってはマニプレータに用いる場合の長所，短所を比較検討し，本マニプレータにおいては小形三相誘導電動機を用いることにした。その最大の理由は，構造が簡単であるから保守点検も容易で，放射性領域に使うのに適しているからである。

マニプレータ各運動速度の変速段数は汎用性を考慮し，各種作業に対処できるように決定する。基本的な速度段階を**第4表**に示す。本マニプレータにおいてはつかみを除いてすべて4段変速とし，つかみは第1速と第4速よりなる2段変速とした。

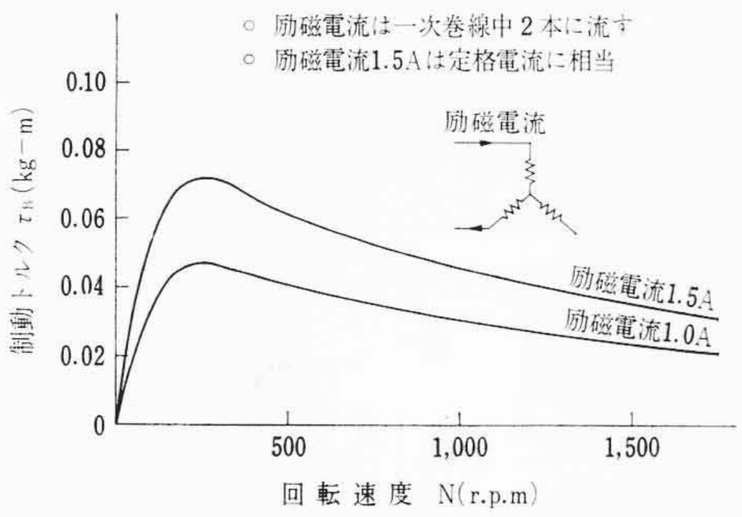
三相誘導電動機の速度制御は，安定性を考慮して周波数切換方式とした。すなわち，4種類の周波数 (15, 30, 60, 120 c/s) を有する電源を設け，電動機の電源を切り換えることにより変速を行なっている。ここで問題になることは減速時の過渡現象である。切り換え時間が電動機の減速時間から大幅にずれるような切り換えを行なうと切り換え時に生ずる機械的衝撃が大きく，また回路にも過渡電流が流れる。本機では切り換え回路にタイマを使用することにより減速ができるだけ円滑に行なわれるようにしている。次章にその検討結果を述べる。

5. 駆動電動機の減速特性

電源周波数を切り換えて誘導電動機の速度制御を行なう場合問題となるのは減速時の過大電流による電動機の過熱および機械側に与える衝撃である。一例として走行用 400 W 誘導電動機の一次電流—速度特性を周波数をパラメータとして示すと**第9図**となる。図において周波数を一段下の値に切り換える場合，たとえば 30c/s から 15 c/s に切り換える場合を考えると，切り換え直後電動機は短絡二次誘導発電機として作用し電流は純静的には，矢印のごとくA点，B点を通ってC点に落ち着く。B点では約 27A で起動電流の2倍以上，全負荷電流の約14倍となって好ましくない。一方オペレータの立場から考えると減速時間はできる限り短いほうが望ましい。実際，減速に5秒以上かかると非常に長いという印象を与える。

以上を勘案して本機では減速時制御としては周波数切換後一定時間タイマによって発電制御を加え，しかる後はじめて周波数切換えのリレーを投入するようにしている。減速時間は各周波数ともに3秒以下を目標とし，機械側に与える制動トルクが起動トルク以下になるよう電動機の一次側を定格電流の 60～100% の電流によって直流励磁した場合について減速時間を算出した。発電制動時の減速時間の算出は次式によった。

$$-\frac{\pi \cdot GD^2}{120}\frac{dN}{dt}=9.8(\tau_B+\tau_f) \quad \cdots\cdots(2)$$



第10図　横行用200W電動機の発電制動特性

ここで, GD^2: 電動機軸換算全 GD^2 (kg-m^2)

N: 電動機回転速度 (rpm)

t: 時　　間 (s)

τ_B: 制動トルク (kg-m)

τ_f: 摩擦トルク (kg-m)

ここで摩擦トルク τ_f はほぼ一定と考えられるが制動トルク τ_B は一次側に流す励磁電流とそのときの発電機としての回転速度Nの関数である。すなわち,

$$\tau_B=f(I_f, N) \quad \cdots\cdots(3)$$

励磁電流 I_f は無負荷励磁電流を I_{f0}, 電機子反作用分を I_{fa} とすると,

$$I_f^2=I_{f0}^2+I_{fa}^2 \quad \cdots\cdots(4)$$

I_{fa} は二次電流, すなわち二次電圧 V_2 に比例し, 二次インピーダンスを Z_2, 比例定数を K とすると,

$$I_{fa}=\frac{K}{\sqrt{3}}\cdot\frac{V_2}{Z_2} \quad \cdots\cdots(5)$$

(4)式および(5)式から

$$\frac{I_{f0}^2}{I_f^2}+\frac{V_2^2}{\left(\frac{\sqrt{3}\,Z_2 I_f}{K}\right)^2}=1 \quad \cdots\cdots(6)$$

(6)式は励磁電流 I_f をパラメータにとれば, I_{f0} と V_2 に関した円曲線となる。I_{f0} は回転速度Nに逆比例して決まるから, I_f を仮定すれば, 二次電圧 V_2 が求められる。二次インピーダンスの抵抗分を R_2 とすると出力は V_2^2/R_2 として求められ, 回転速度はすでに定まっているので, この点での制動トルク τ_B が求められる。このようにして求めた制動トルク τ_B と回転速度Nとの関係を横行200W電動機の場合について**第10図**に示す。**第10図**および(2)式を用いて各運動について減速時間を算出した結果を, 組合せ試験における実測値とともに**第5表**に示す。ここでは摩擦トルク τ_f を無視し, 機械側 GD^2 を電動機 GD^2 の10%として計算した。

第5表　減　速　時　間　(単位: 秒)

運動 ＼ 周波数 c/s ＼ 速度	最大速度→½速度		½速度→¼速度		¼速度→⅛速度	
	120 → 60		60 → 30		30 → 15	
	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値
走行	3.5	2.0	2.0	1.5	0.6	0.5
横行	3.1	2.0	1.3	1.0	0.5	0.5
昇降*	5.9	0	2.3	0	0.9	0
肩回転	1.6	0.5	0.8	0.5	0.3	0.5
肩関節の振り	2.6	0.5	0.7	0.5	0.3	0.5
ひじ関節の振り	2.6	1.0	0.7	0.5	0.3	0.5
手首回転	1.6	1.0	0.8	0.5	0.3	0.5
つかみ	1.6	1.0	0.8	0.5	0.3	0.5

* 昇降には安全の面からタイマを使用しなかった。したがって実測値はすべて0となる。

第10図により明らかなように200W電動機の場合, 励磁電流1Aに対する制動トルクは最大約0.05 kg-mで, 電動機の起動トルク0.2 kg-mの約25%であり, 機械側に与える衝撃もきわめて小さく, また励磁電流も定格電流の約65%程度であるので, 電動機の過熱のおそれもない。

第5表において実測値と計算値との間に差があるのは, 計算時に摩擦トルクを無視したことと, 測定上の誤差によるものと考えられる。本機ではこれを考慮して切り換えタイマに20%程度の余裕を持たせて設定してある。

上述のように本機においては高速から低速に至る4段の変速段階に加えて, 円滑な加減速方式の採用により, あらゆる条件下において, ホットケーブ内の各種の対象物をきわめて容易に扱うことができる。

6. 結　　言

産業界その他で要求されるもろもろの作業が人間の能力を越えたものになるにつれて, 感覚機能を持った遠隔操作装置が次第に必要となってくる。ここに紹介したものは感覚機能的遠隔操作技術のパワ・マニプレータへの応用例であるが, これら以外の方式についても感覚技術に関する各種開発研究が行なわれ, 成果を得ている。需要量の点より今後はマニプレータへの適用は行なわない所存であるが, この技術は他の方面に広く応用され得るであろう。

終わりに臨み, パワ・マニプレータの計画, 設計を進める過程において種々ご配慮賜わった京都大学原子炉実験所, 柴田教授, 岩田助教授に厚く謝意を表するとともに, 設計, 製作にご支援, ご協力いただいた日立製作所関係者各位に深謝する次第である。

参　考　文　献

(1) 江尻: 第5回自動制御連合講演会前刷, 33 (昭 37-11)
(2) 宮沢, 和世: 日立評論 **45**, 1967 (昭 38-12)
(3) 和世, 宮沢, 江尻, 鴨井: 日立評論 **46**, 950 (昭 39-6)