

日立マスタスレーブ・マニプレータ

Hitachi Master-Slave Manipulator

宮 沢 浄* 和 世 啓 三*
Kiyoshi Miyazawa Keizō Wase

内 容 梗 概

放射性物質の遠隔操作装置の代表例として、機械式マスタスレーブ・マニプレータの概要を論じ、日立HM形マニプレータの仕様、構造ならびに特長について述べる。特にその主要部品の一つであるリニアアクチュエータの速度特性を紹介する。

1. 結 言

マスタスレーブ・マニプレータは放射性物質取り扱いの必要から生まれた遠隔操作装置である。これは人間が操作するマスタ側（主動側）と、遮へい室内にあってマスタ側の動きをそのまま再現して動くスレーブ側（従動側）より成り、マスタ側とスレーブ側とを連結する方法により機械式と電気式とに大別される。機械式のものは電気式に比べて全体として構造が簡単であり安価であるが、一方機械的結合部分が遮へい壁を貫通することになり、その貫通孔を通して散乱する放射能のために扱い得る放射性物質の放射能の強さには限度がある。電気式マニプレータでは電線をのばすことにより、スレーブ側をマスタ側から遠くに離しておくことができるので、放射性のより強い物質を扱うことが可能になる。また通常人間が近づき得ない場所にあるものの遠隔操作も不可能ではなくなってくる。しかし、構成がやや複雑となり増幅器などを必要とし全体として高価になる。現在では機械式のものが多く実用に供されており電気式のものは特殊用途用または高級なマニプレータとしてむしろこれから発展していくであろう。

本稿ではまずマスタスレーブ・マニプレータについて述べ、次に日立HM形マニプレータの構造および特長を紹介し、電動装置リニアアクチュエータの性能を検討する。

2. 機械式マニプレータの概要

機械式マスタスレーブ・マニプレータ（以下機械式マニプレータと略記する）には機械式構造により数種の形式があり、現在最も改良された形はマスタ側とスレーブ側とを結ぶ部分すなわちスル・チューブ（Thru-tube）が垂直遮へい壁を貫通して取り付けられるもので、一般にはANL-8形⁽¹⁾という通称で呼ばれている。ここではこの形のものについて論ずる。

一般にマスタスレーブ・マニプレータの第一の特長は運動の相似関係と力（または感覚）のフィードバックである。前者はマスタ側の運動とスレーブ側の運動とが相似であることであり、後者はスレーブ側が対象物を扱う際に受ける反力をそのままマスタ側に伝え、操作者の手に感じさせることで、繊細な作業をするときには特に必要である。これらについてはバイラテラル（Bi-lateral）サーボ理論として、いくつかの研究が発表されている⁽²⁾⁽³⁾。

機械式マニプレータでは運動の相似関係と力のフィードバックとは機械的リンク機構による。元来機械要素には本質的にこれらの性質を備えたものが多く、一例として一本の棒を手にとって物を押す場合を考えれば、握っている部分の運動と棒の先端の運動とは一対一の相似関係にあり、棒の受ける反力は棒を介してそのまま手に伝えられる。人間の手の動作はもっと複雑であるが、次のような成分に分けることができる。

手の前後運動
手の左右運動
手の上下運動
手首のねじり
手首の振り
腕の軸まわりの回転
つかみ

すなわち空間的な運動の6成分とつかみとである。機械式マニプレータではマスタ側の手の運動の6成分が、差動歯車装置、リンク装置、滑車、ワイヤロープ、テープなどによりスレーブ側に伝えられ、そこで合成されて手の運動を再現する。つかみ運動はこれらとは独立した運動として別個にスレーブ側に伝えられる。スレーブ側が対象物から受ける反力はこれらの装置を介してマスタ側に伝えられるから操作者はこれを感じとることができる。

第1図は機械式マニプレータの代表例として日立HM形マスタスレーブ・マニプレータの構造を示す。マスタ側はマスタハンドル、マスタアーム、ガイドチューブ、アーム支持機構より成り、スレーブ側はつまみ、スレーブアーム、ガイドチューブ、アーム支持機構などより成る。スル・チューブはその両端にマスタアームおよびスレーブアームをそれぞれ支持し、遮へい壁を貫通する。このチューブ内を、マスタ側とスレーブ側とを連絡する2本のロッドが通る。

つまみは人間の手に比べればはるかに簡単であるが、訓練により相当複雑な作業を行なうことができる。第2図はスレーブ側つまみを示す。必要に応じて形状の異なる各種のつまみを交換して使うこともできる。

この種の機械式マニプレータでは、マスタ側の運動とスレーブ側の運動とは一対一であるから、作業領域はマスタハンドルの運動領域に限られる。領域を拡げるためにマスタ側に無関係にスレーブアームのみを前後または左右に振るための電動装置を設ける。さらにスレーブアームを伸縮させる装置を付けることもある。

次にマニプレータに対して考慮されねばならない二、三の問題点について述べる。

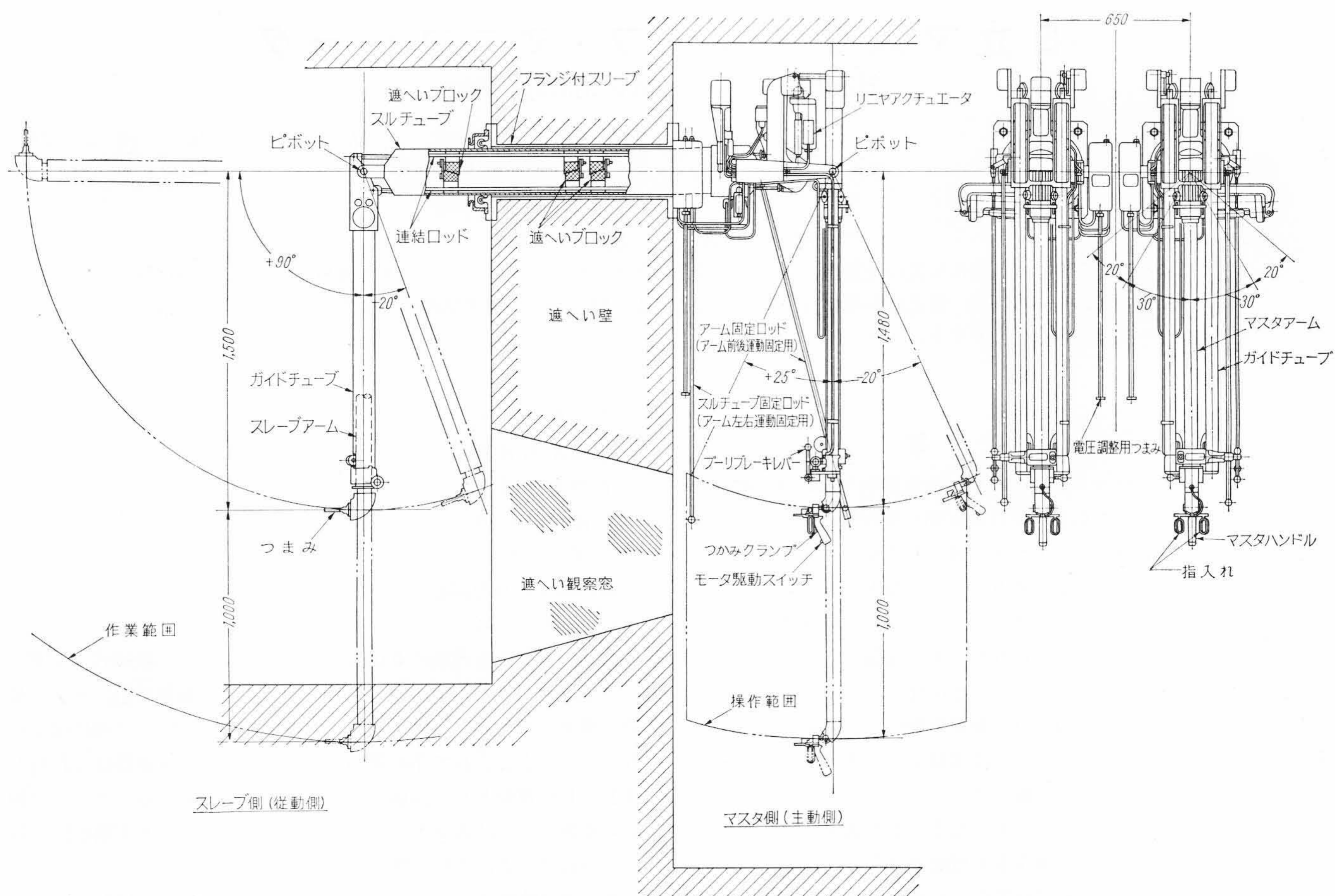
(1) 摩擦力の減少

マニプレータの円滑な操作を阻害するものに慣性力と摩擦力がある。いずれも小さい方がよいが、特に後者は前者に比べると影響が大きいのでつとめて小さくすることが必要である。Goertz⁽⁴⁾は慣性力は5~10 lb (2.3~4.5 kg) までは許容できるが摩擦力は1 lb (0.45 kg) 以下に抑えるべきだとしている。摩擦力を減らすためには可動部の重量を軽減するとともに、ころがり軸受などを使って摩擦係数を減らすことが必要である。

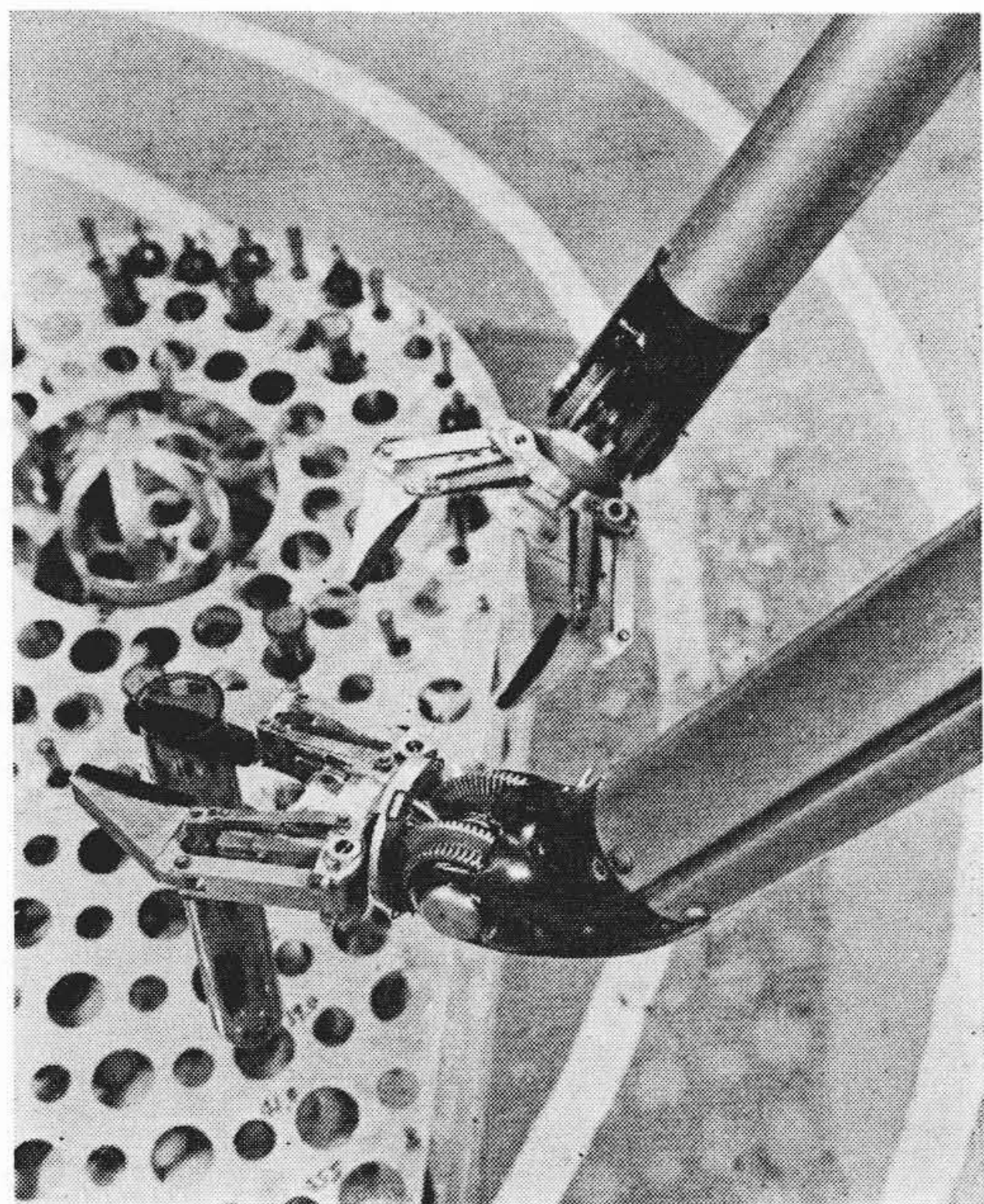
(2) 運動相互間の干渉

各種運動の伝達にそれぞれ独立した金属テープやワイヤロープを用いているが、これらテープやロープの動きは互いに干渉しないことが望ましい。実際には前記7種の運動成分のあるものは構

* 日立製作所日立工場



第1図 日立 HM 形 マニプレータの構造図



第2図 スレーブ側つまみ

造上どうしてもほかの運動の影響を受けるので、プーリやシーブの位置を細かく検討し、干渉ができるだけ少ないようにしている。

3. 日立マスタスレーブ・マニプレータ

日立HM形マスタスレーブ・マニプレータは、遮へい室の垂直壁を貫いて取り付けられる構造で、ANL-8形に相当する。すなわち遮へい壁を貫通してスル・チューブがありその両端にマスタアームとスレーブアームがそれぞれ取り付けられる。運動の伝達はすべて

チューブ内部を通るロッド、金属テープおよびワイヤロープにより行なわれ、一部はチューブ自身の回転によって行なわれる。

第1図に示すように遮へい壁にはまずフランジ付スリーブが水平に埋込まれる。スリーブの両フランジ部にはスル・チューブ支持装置が取り付けられる。これはローラより成り、スル・チューブをスリーブと同心にかつ回転自在にささえる。チューブ内部には鉛の遮へいブロックを設け、外部に散乱する放射能を最小限に押える。

マスタアームおよびそのガイドチューブはアルミニウム管より成り、マスタアームは2本のガイドチューブの間を上下する。ガイドチューブはスル・チューブの一端でピボットによってささえられる。ピボット付近にはリンク機構があり、マスタアームの前後の振りはリンク機構と2本のロッドを介してスレーブ側に伝えられる。スレーブアームおよびガイドチューブもアルミニウム管で、前者は後者の内部を滑動する。ガイドチューブはスル・チューブの他端でピボットによってささえられ、2本の連結ロッドでマスタ側と結ばれる。

手の前後および左右動は上記の機構により伝達されるが、それ以外の運動はすべて金属テープとワイヤロープで伝えられる。手首部はそのうちの振り(手招きに相当)とねじりを伝えるものでマニプレータの主要部分である。手首の動きはマスタ側の差動かさ歯車機構によりねじりと振りに分解されそれぞれ独立したテープを介してスレーブ側に伝えられ、ここで同じ機構により合成されて運動を再現する。マスタハンドル部分は操作者が直接握る所であるから、扱いやすいようにハンドルの大きさ、指入れとハンドルとの角度などに特に注意して設計してある。

マニプレータを使用しないとき、または作業中必要に応じて定位に保持するとき各動作を固定するためのブレーキ装置が備えられている。つかみには独立したクランプ装置が備わっている。

以上述べたマニプレータの基本的構造に加え、日立マスタスレーブ・マニプレータでは遠隔取扱装置としての機能を十分に発揮し、過酷な使用にも耐え得るよう、細心の注意を払って設計、製作されている。たとえば摩擦力を減らすために可動部分の重量はできるだけ軽減し、また要所にころがり軸受を使用している。そのために全摩擦力はマスターム先端において上下方向にわずか0.4 kgに過ぎない。ほかの方向においてもいずれもこれ以下の値となっている。

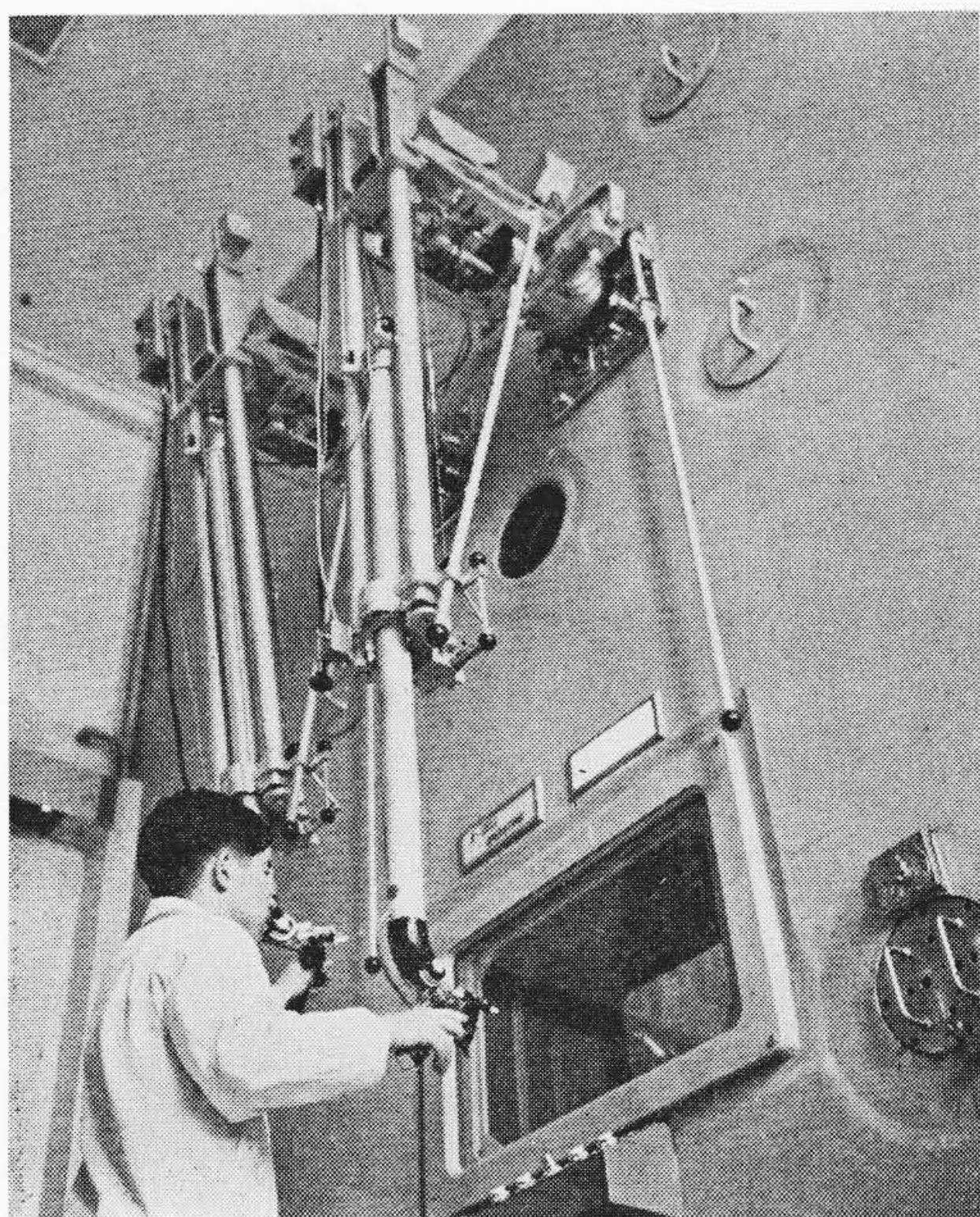
操作領域拡大用電動装置はリニアアクチュエータと呼ばれ、小形で強力なものが片腕に対し1台または2台が取り付けられている。これについては次章で述べる。

マニプレータの性能は動作範囲と荷重能力によって表わされる。前者は構造によって決まるが、後者はマニプレータの強度のほか、人間の手の出し得る力によって左右される。荷重能力は対象物をはさむ場合とつり下げた場合とについて決める。またそれぞれについて常用荷重と最大荷重を定める。前者は普通の人で連続して作業するときに出し得る力を基準にした値であり、後者はマニプレータの強度から決まる値である。第3図に日立HM形マニプレータの外観を示し、第1表にその性能と標準仕様を示す。

4. リニアアクチュエータ

4.1 リニアアクチュエータによる運動

すでに述べたように機械式マニプレータではスレーブ側の運動は



第3図 日立マスタスレーブ・マニプレータ

第1表 日立マスタスレーブ・マニプレータの仕様

1. 動作範囲		
(1) 上下運動.....		1,000 mm
(2) 左右運動.....		±30°
(3) 前後運動.....		±20°
(4) 腕回転運動.....		±75°
(5) 手首振り運動.....		140°
(6) 手首ねじり運動.....		±90°
(7) スレーブつまみの開度.....		80 mm (最大)
(8) 横回転運動.....	±20°	{ リニアアクチュエータにより付加される拡大動作。
(9) 前後回転運動.....	+90°～-20°	
2. 荷重能力		

	常用荷重	最大荷重
つまみではさんだ場合	2 kg	3 kg
つまみ先端につり下げた場合	3 kg	5 kg
つまみ手前につり下げた場合	3 kg	9 kg

3. 取扱許容放射線線量.....約1,000 キュリー程度

マスタ側の運動と一対一の対応をなし、作業領域はマスタハンドルの運動領域以上にはならない。実際の操作では限られた大きさの遮へい窓を通してスレーブ側つまみを注視しながらマスタハンドルを扱わねばならないので、マスタハンドルの運動範囲も小さくなり、したがって作業領域はさらにせばまってしまう。この欠点を補うために、スレーブアームを前後または左右に振ったり、スレーブアームを伸縮させる装置（リニアアクチュエータ）を付加して作業領域を拡大する方法がとられる。

リニアアクチュエータは電動ねじジャッキ装置で、これをリンクの一部に組み込み、電動でその長さを変えることによりスレーブアームをマスタアームの動きに無関係に振ることができる。第4図に前後用リニアアクチュエータの動作の概念を示す。通常両アームはアクチュエータがAの状態にあるとき平行を保っているがこれがBのように伸長するとスレーブアームはB'のごとく前方に振られる。同様にアクチュエータが短縮すればB''のようにアームは手前側に振られる。

リニアアクチュエータはマスタハンドル付近に設けられた手元スイッチにより簡単に操作されるので、単に領域の拡大のみならず、これを作業に併用することにより、作業能率をあげ、操作者の疲労を軽減するなど多大な効果があり、きわめて小形の遮へい室を除いては必要欠くべからざるものである。

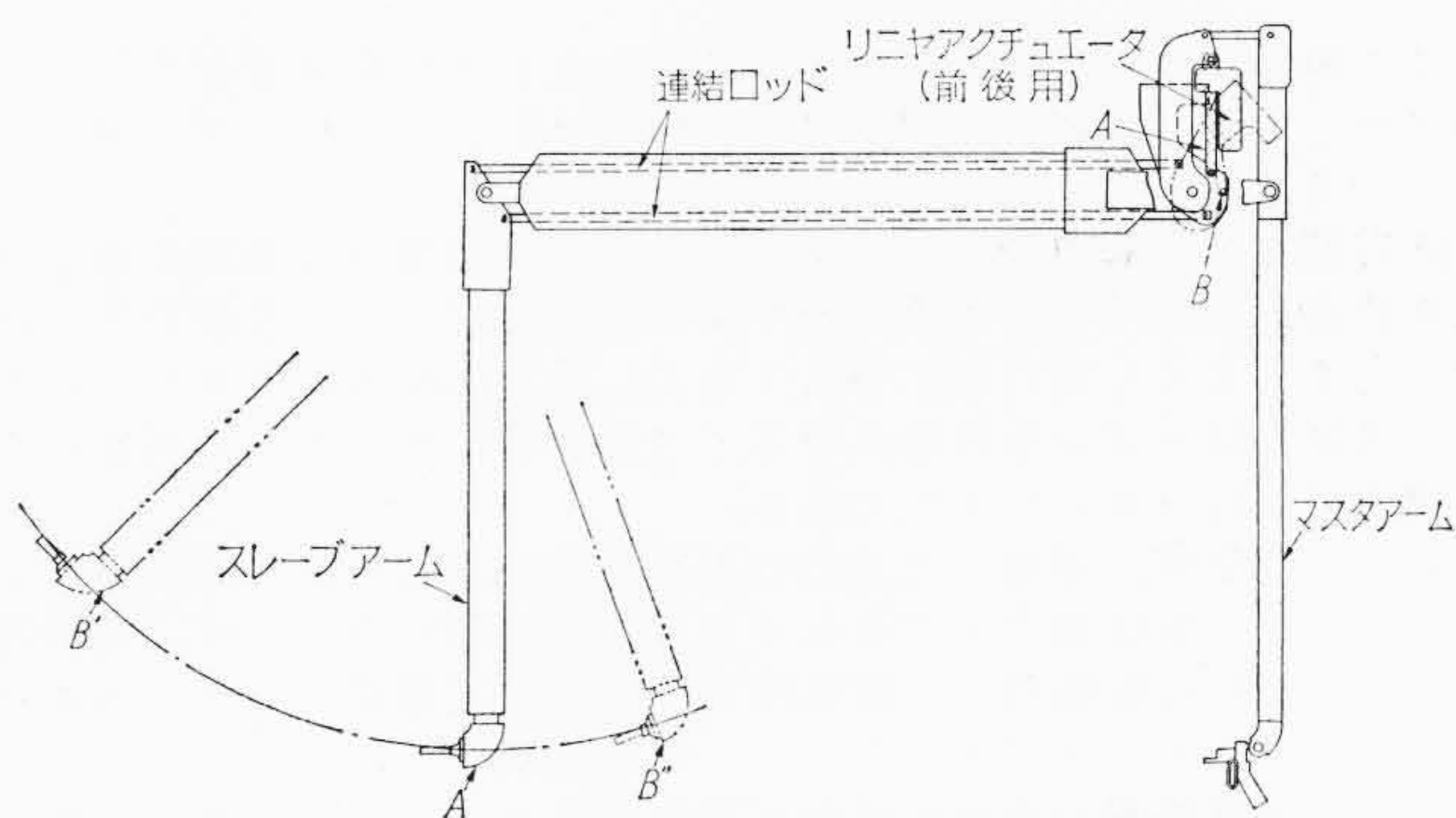
4.2 仕様と構造

リニアアクチュエータを併用して作業する場合、それにかかる負荷は相当変動するのが普通で、特にアームの上昇時と下降時とではその相違は少なくない。一方動作は常に安定していなければならず、アームの上昇速度と下降速度の間に大きな差異があってはならない。

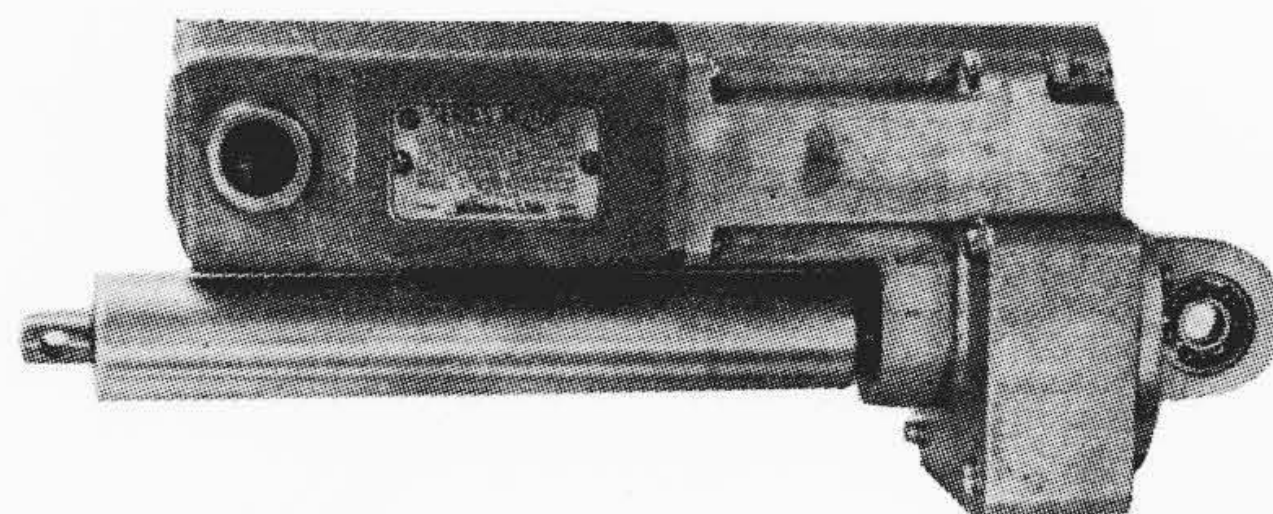
日立HM形マニプレータ用のリニアアクチュエータはこれらの過酷な負荷条件に対しても常に安定した速度特性をもつよう新たに開発されたもので、強力な交流整流子モータ、減速機構、ねじジャッキ機構ならびに特殊な小形電磁ブレーキ・クラッチから構成される。なお本機は限られたスペースに納まるよう小形軽量化され、停止特性にすぐれ、微細な作業にも最適である。リニアアクチュエータの外観を第5図に、おもな仕様を第2表に示す。

4.3 特性試験結果

本機の負荷条件は前述のとおり種々変動するので、その負荷に対



第4図 リニアアクチュエータによる運動



第5図 リニアアクチュエータ

第2表 リニアアクチュエータの仕様

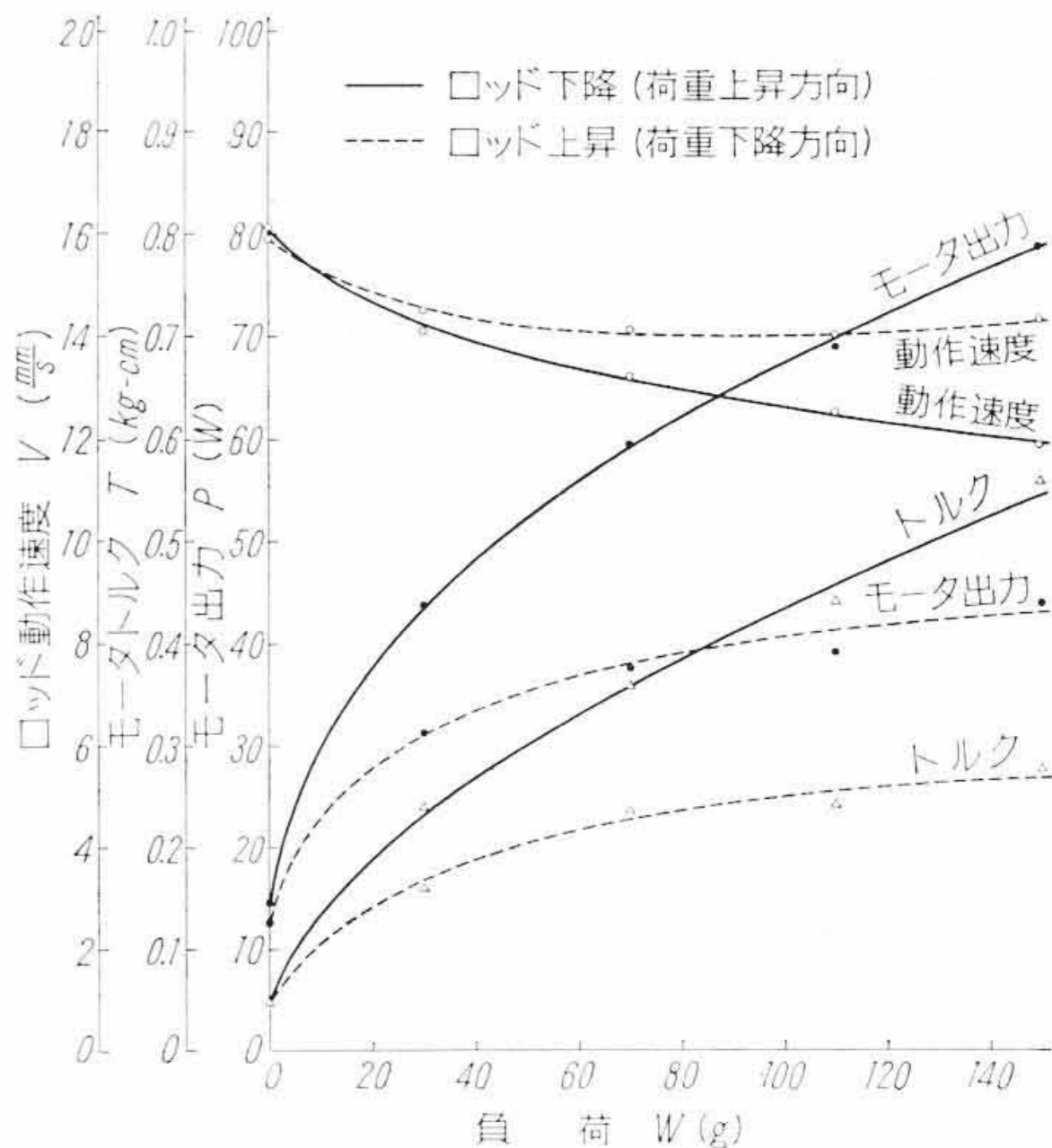
ネジロッドのストローク		120mm
ネジロッド端最大出力		150 kg
モーター	機種	単相直巻整流子モータ
	定格出力	AC 100V 50/60 cps 100W
	定格速度	12,000 rpm (正逆転可能)
送りネジ	種類	2重 T16 (リード 5.08 mm)
減速機構	種類	2段インターナル遊星歯車機構
	減速比	1/94.5
電磁クラッチ	電源	AC 100V 50/60 cps
	伝達トルク	0.8 kg-cm

する速度特性を検討するため、モータの電源電圧を100V一定に保ち、ロッドの上昇時と下降時についてストローク120mmに対する所要時間、モータ電流および入力を測定し、その結果からモータ出力、トルクおよびロッドの動作速度を算出した。第6図はその特性曲線である。

最大負荷150kgのとき、ロッドの全ストロークに対する所要時間はロッド下降時10.0秒、上昇時8.4秒でその差は1.6秒である。図で明らかなようにこの速度の差異は負荷にほぼ比例しているから常用負荷(約50kg)時では0.5秒程度となり、実用上全く支障はない。モータ出力、トルクなどがロッドの上昇時と下降時とにおいて異なるのは負荷方向によりねじ部の効率が変わるからである。

5. 結 言

マニプレータの存在を意識することなく物を扱うことができればそのマニプレータは理想的であろうが、現在ではそのような装置は存在しない。本文に述べたごとくマニプレータを使いにくくする要



第6図 リニアアクチュエータの特性曲線

因、たとえば摩擦力や慣性力、運動の成分の間の干渉をできるだけ少なくするとともに作業領域の広いマニプレータを作ることがたいせつである。

ここに紹介した日立マスタスレーブ・マニプレータはこれらの点で使用者の満足をうるものであり、今後各方面に使われようとしている。本稿が需要家各位のご参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) L. R. Kelman ほか： ANL-5509 (1955)
- (2) R. C. Goertz ほか： ANL-5022 (1953)
- (3) R. C. Arzbaecher： ANL-6157 (1960)
- (4) R. C. Goertz： Nucleonics., 10, 40 (Nov. 1952)
- (5) 機械設計便覧 (昭33, 丸善)



特許第407405号

特 許 の 紹 介



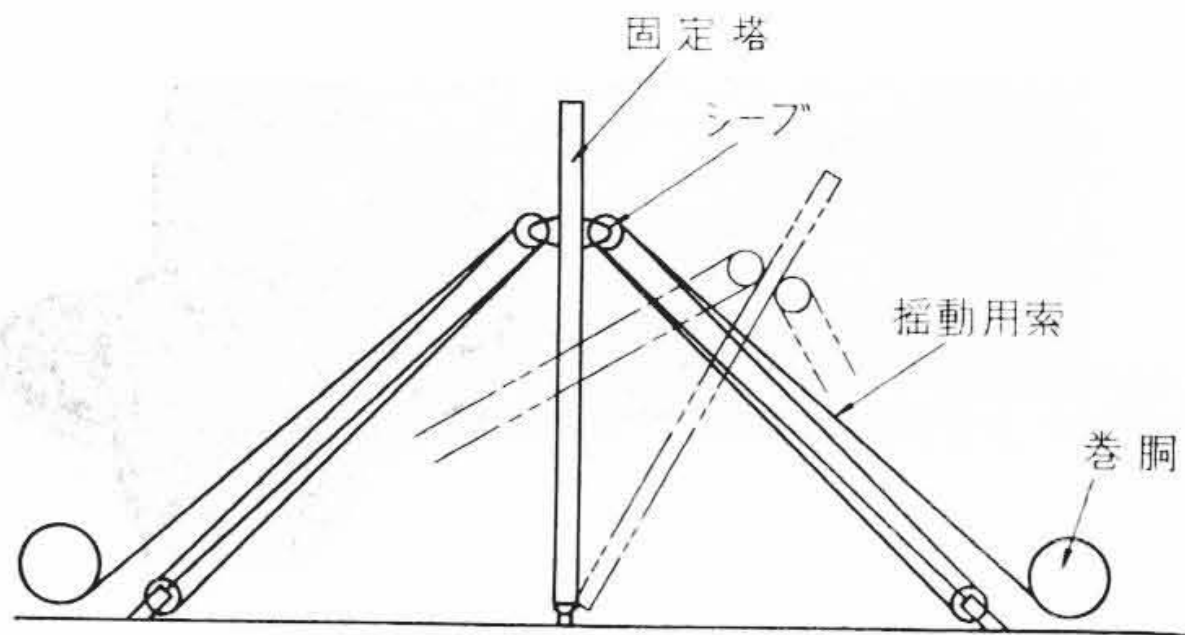
松 崎 直 忠・原 政 次

ケーブルクレーンにおける固定塔の揺動装置

この発明は、固定塔をそれに連結した左右の揺動用索を介して揺動させ、主索の支持点を変位させる形のケーブルクレーンに関するものである。

固定塔を左右に揺動させる場合、一方の揺動用索は巻胴に巻きとられ他方の揺動用索は巻胴からくり出されるが、その巻胴のみでは索の巻きとりくり出し量が等しくなく、巻きとり側の索がたるむため、固定塔は不安定な状態になる。この発明は次に述べる構成により前記の欠点を除いたものである。

- (1) 固定塔に連結した左右の揺動用索を適宜位置に配置したシープを経過させてそれぞれ別個の巻胴に巻きつけ、その巻胴には駆動用の主電動機および補助電動機、メカニカルブレーキ、マグネットブレーキを連結する。
- (2) 主電動機を速度を補助電動機のそれより適当に早く定め、巻取り側の巻胴は主電動機により運転し、くり出し側の巻



胴は補助電動機およびメカニカルブレーキにより運転するようにする。

この発明の装置で、くり出し側の揺動用索に異常なくり出しが生じようとするときには、メカニカルブレーキの働きにより規制される。

この発明によれば、左右の揺動用索は常に緊張した状態におかれるので、安定した状態で固定塔を揺動させることができる。

(富 田)

