

日立 LDA-6 型 戸 締 機 械 に つ い て

金子 良 士*

Hitachi's Type LDA-6 Door Engine

By Yoshito Kaneko

Kasado Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Aiming at the completion of small-sized, light door-engine with an efficiency high enough to satisfy the requirements for reduced weight and higher speed in operation, the writer designed and built a new type after a laborious experimental research. This is a miniature version of Type TK-4 door engine, successfully realized at no sacrifice of efficiency in any phase of its function. This engine was subjected to various tests including 3×10^5 time life-test for finishing before being placed on market as Type LDA-6.

〔I〕 緒 言

近年新しい構想によつて、設計製作された新しい感覚の電車が各方面に現れるようになり、これらの車輛はすべて軽量、高速、優美である点で、従来の型から一新した共通なものを持つている。したがつて車輛界の要望としてその部品である戸締機械も小型、軽量で高性能なものを求められるのも当然である。

戸締機械については、日立製作所として現在まで各種あわせて数千台の製作実績を持つており、この間に昭和25年には省型戸締機械について、また引続き DY-24 型戸締機械について、研究され、さらに主要部品であるピストンパッキンについても研究されている。また機構においても数多くの特許を獲得して現在の TK-4C 型および DY-24 B 型のようなすぐれた性能を持つた戸締機械を完成している。

しかしながら最近ではさらに小型、軽量にして高性能なものを要求される実状にあるので、こゝで今まで作られた資料および過去の実績に対して検討を加え、新しく上記目的に沿う戸締機械としての条件を見出して、LDA-6 型戸締機械を設計試作し、特殊な試験装置を設け、これによつて機構と特性の関係を測定、記録してその性能を解析した。

〔II〕 一般 戸 締 機 械 の 概 要

我国においては昭和の初期から電車用戸締装置について各方面の関係者によつて研究され、それぞれ特長を持つた装置が製作され使用されて来た。

* 日立製作所笠戸工場

国鉄でも TK-1 型、2 型および 3 型などがあり、それに外国製品なども輸入されて、戦前にはかなり多くの種類のものが使用されていたものと思われる。これが戦時中に統一され、国鉄、私鉄を問わず、すべて新製されるものは TK-4 型の一型式に集約されたので、現在使用されているものゝ大半はこの TK-4 型が占めている状態である。


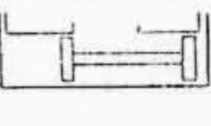
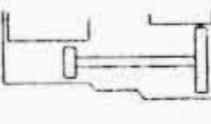

戦後、車輛の革新期に入り再び各方面で研究が進められ、新型式が出るようになってきた。日立製作所においても、このとき路面電車用として数種の DY 型戸締機械を完成している。以下今までの戸締機械に検討を加えてみる。

(1) 戸締機械のシリンダ配置

既成型式の戸締機械では極く一部に電動機によつて駆動するものがある外は、すべて動力源として圧縮空気を使用し、そのシリンダ配置は第 1 表に示すようなものに

第 1 表 戸 締 機 械 シ リ ン ダ 配 置

Table 1. Cylinder Arrangements of Door Engine

	シリンダ配置	使用型式	特 長
①		DY-23	機構は簡単であるが、ピストンロッドの保護およびクロスヘッドなどの装置を必要とし工学的に複雑になる。
②		TK-1 TK-2 TK-3 DY-24	最も簡単で小さくまとまるが、給排気の切替えのために附属品が増える。
③		TK-4 DE-2 DEB-1 DEB-2	機構も操作も簡単であるが型が大きくなる。
④		DY-25	操作は簡単であるが、シリンダ面が露出するので、その保護とクロスヘッドなどの装置を必要とする。

集約される。この中でも②③に示すものが最も多く、①④は特殊なものに使用されているのみである。①②のように同径対向式のものでは、一方のシリンダに給気すれば他方のシリンダの空気は大気に排出しなければならない。この操作は車掌弁により給気源と排気に通ずる通気口を直接切替えるか、または、進め電磁弁と戻し電磁弁を、2箇併用して電氣的に操作される。

また③④のように異径差動式のものでは、小ピストンには常に空気溜の圧縮空気を働かせ、大ピストンと同じ圧力の圧縮空気を給排して作動させる。

(2) 駆動方式

既成型式の駆動方式は第2表に示す型に集約できる。

①の場合は2つのピストンをラックで結合し、扇形歯車を開閉テコと一軸に固定してラックに噛み合わせである。開閉テコはその先端部のローラを扉の戸枠に取付けた腕滑り金具に嵌合し、ピストンの往復運動を拡大して扉の開閉運動をなさしめるものである。

②の場合はピストンロッドと開閉テコをリンク結合したもので、開閉作用は①の場合と同様である。

③の場合はラックにピニオンを噛み合わせ、ピニオン軸上に固定したスプロケットホイールよりアイドルにかけ渡したローラーチェーンに、扉の一端を結合して扉の開閉運動をなさしめるものである。

扉の開閉力は起動時および閉位置にあるとき最も大きい力が必要で、閉り位置においては手力で容易に開きえない程度の力を必要とし、起動時は力が大きい程作動が迅速に行われることになる。中間行程ではむしろ扉が減速される程度、すなわち万一乗客が触れるようなことがあつても傷害を与えない程度の出力が望ましい。これらの意味において①の機構が最も良く、②③の機構では起動力および戸締りに不足するか、または中間行程に無駄があるということになる。

(3) パッキン

ピストンとシリンダ間の気密を保つために、一般には牛皮製L型パッキンを使用しているが、この外日立型合成ゴム製(実用新案第382232号)のものおよび塩化ビニル製のものがある。これらは材質的に一長一短がある。皮パッキンは古くから一般に使用されて来たが、皮そのものが繊維質であり、油脂の充填処理が施されているが完全でなく、僅かながら透過洩れは避けられない。この点ゴムおよびビニル製のものは完全である。日立製作所では独自の実験により通常国内で使用される条件においては、合成ゴムであるブナN製のものが最も良いことを実証している⁽³⁾。

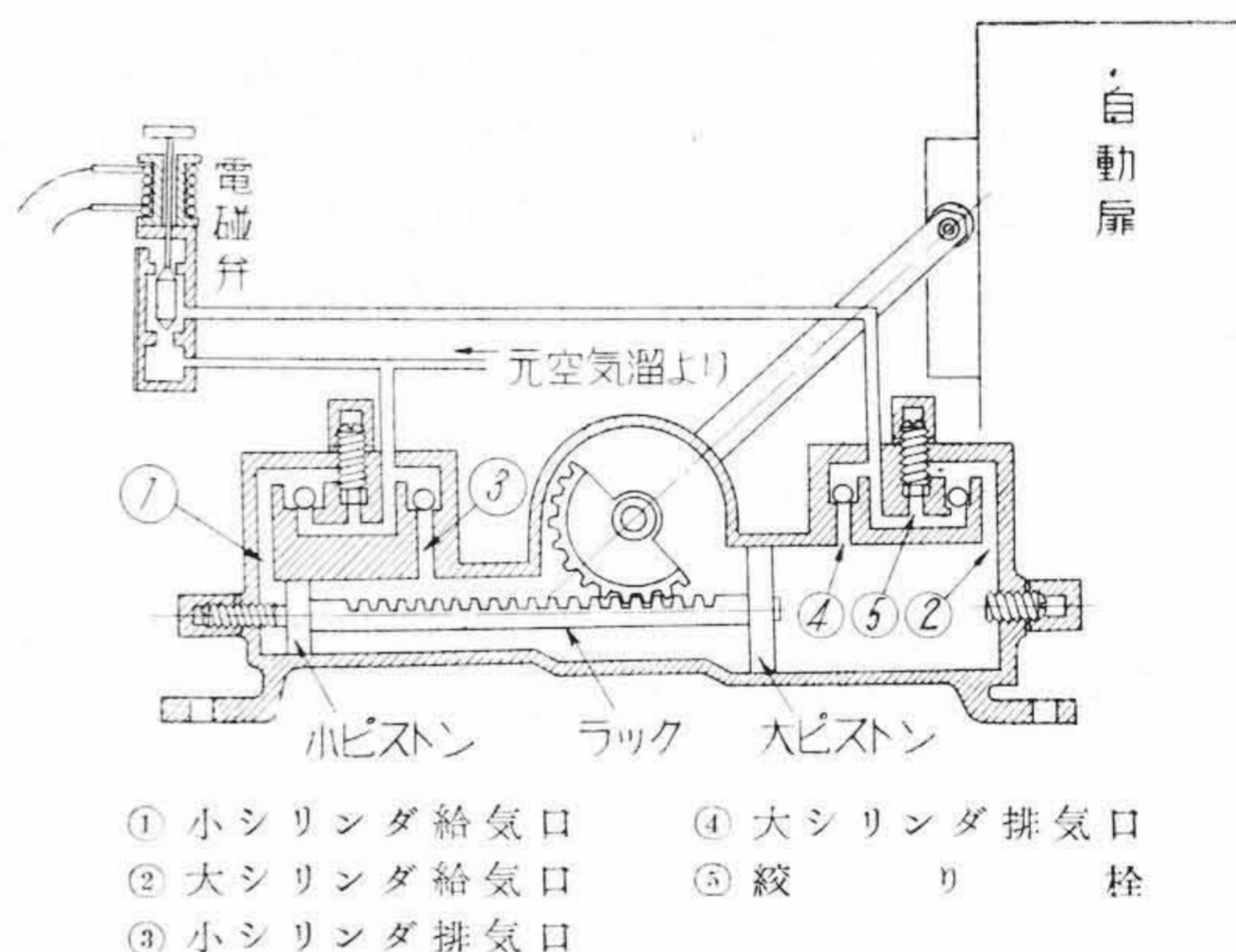
(4) 緩衝機構

扉開閉の最終行程において、衝撃を防ぐために減速装

第2表 戸締機械駆動方式

Table 2. Driving Systems of Door Engine

$F = P \frac{r}{R \cos \theta} K$	$F = P \frac{r \cos(90^\circ - \alpha)}{R \cos \theta} K$	$F = P \frac{d}{D} K$



第1図 TK-4 戸締機械構造図
Fig. 1. Construction of Type TK-4 Door Engine

置が設けてある。その機構はすべて排気を制御して減速し、戸当りに接触する速度を適当に小さくしたもので、第1図に示すようにシリンダの給排気口にそれぞれ弁装置を設けて、ピストン行程の終段において排気口を絞って排気を制御するものである。

しかしながらこの中間排気口があるために、皮、ゴムなどのピストンパッキンの寿命がいちじるしく短くなるのは当然である。また逆止弁は異物を噛みやすくこれらはいづれも空気洩れの原因となる。

(5) 検討

戸締機械はきわめて頻繁に使用されるもので、どのように酷使しても長期の使用に耐え、しかも保守が簡単であることが必要である。このために前述することからつぎのことがいえる。

- (a) シリンダ配置は差動型が機構上簡単で操作が容易である。
- (b) 駆動方式は歯車駆動式のように両端において強く、中間においては必要最小限の出力が望ましい。
- (c) ピストンパッキンは合成ゴムが最も良い。

- (d) 弁装置においては中間排気口を廃し、また逆止弁は空気洩れの原因となるので使用しないことが望ましい。

[III] LDA-6 型 戸 締 機 械

(1) 設計の要点

LDA-6 型戸締機械の設計に当つては前述の検討結果を加味し、つぎのような条件において計画した。

- (a) TK-4 型以上の出力および性能を確保し、可及的小型軽量にまとめること。
 (b) TK-4 型と互換性を持たせるために差動式とすること。
 (c) シリンダに中間排気口を設けない構造とすること。
 (d) 外観は努めて優美にすること。
 (e) 生産原価を TK-4 型以下とすること。

以上の条件を基に設計したものは、第 2 図に示す通りで、その特長はつぎの通りである。

- (a) 単シリンダ差動式とし、滑りリンク駆動にする。これにより小型、軽量化し、起動時の作用力を大きくし開閉特性の改善を計つた。
 (b) 軸連動の弁装置を使用してシリンダ中間排気口を止めるとともに、逆止弁を廃して空気洩れの原因を除去した。
 (c) 外観を箱型の優美なものとし、締付ボルトは埋込み式とした。
 (d) ピストンパッキンに円形リングを使用して保守の簡易化を計つた。

(2) 構造および作用

構造は第 2 図に示すように左半分がシリンダ部分で、右半分が駆動部分である。JIS 規格にしたがつてシリンダ径は 100φとし、これにピストンを納め、ピストンにはシリンダ作用面積の 1/2 に相当する断面積を持つピストンロッドが一体になっており、このロッド部はシリンダ右端のパッキンを貫通して、案内部によりその位置を保たれ、駆動部からくる反作用によりピストンおよびパッキンが無理な力を受けないようにしてある。

ロッドの右端は開閉テコの取付している軸に固定した 2 枚の滑りリンクに滑り子を通じて連絡してある。シリンダの両端にはそれぞれ給排口を設けて空気溜りに配管する。

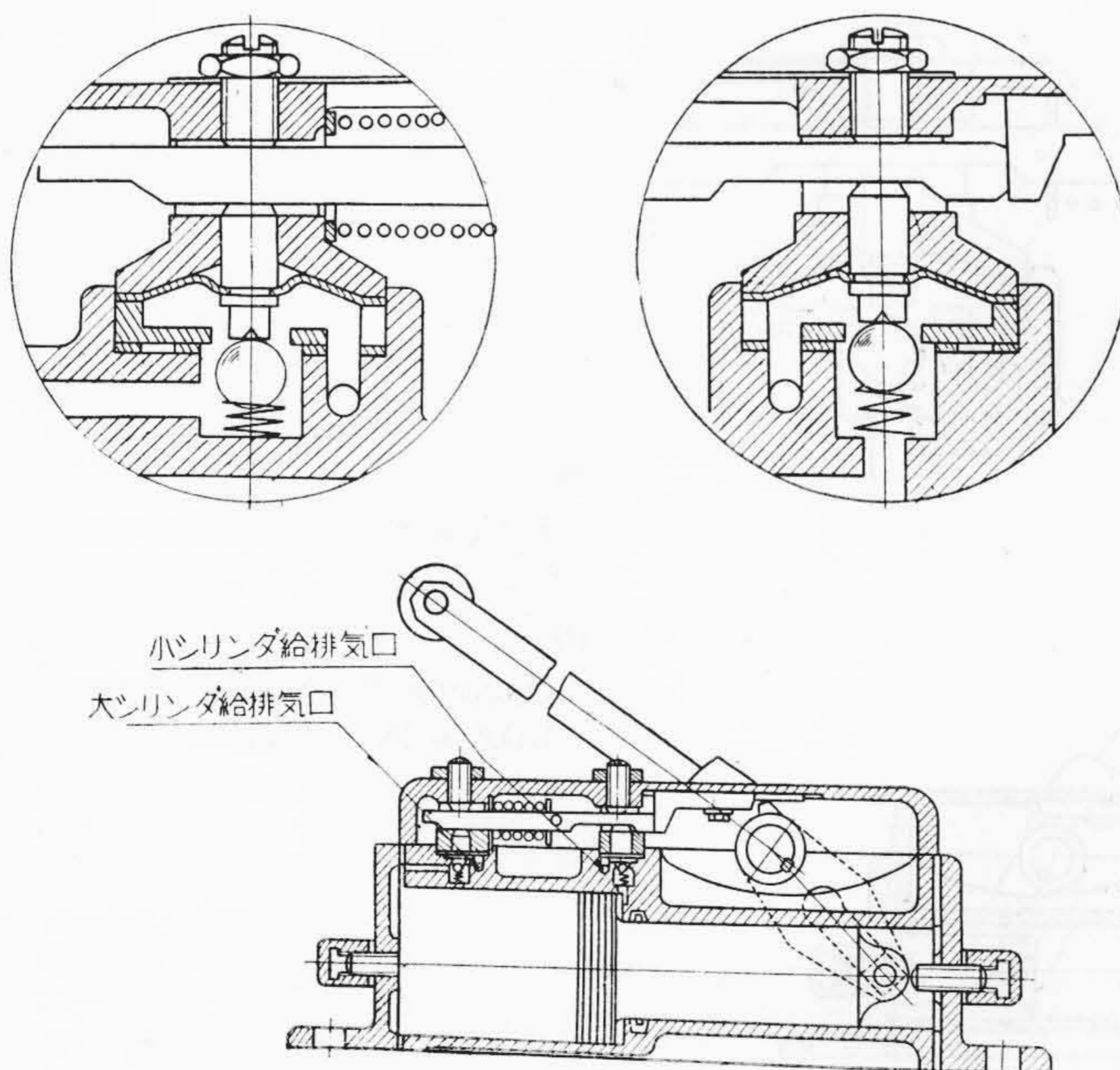
弁装置は独特のもので軸に設けた爪によつてカムをピストンと逆方向に間歇的に動かし、このカムで弁心棒を上下に動かして球弁の通気面積を変えて給排気を制御する構造である。

カムの上側の案内となる調整ネジを加減することによつて弁の位置が変わるから、通気口の最小間隙は任意に決定することができる。

通常使用状態においては、扉の閉つたときに、ピストンの両側に圧縮空気の圧力を働かせて、閉り位置を保つようにしてあるから、大シリンダ側の圧縮空気を排出すれば扉が開き給気すれば扉は閉ぢる。

以下扉の開閉動作による各部の動きについて順を追つて説明する。

第 2 図は扉の閉つた位置を示し、上の円内の図は弁の位置を拡大したものである。



第 2 図

LDA-6 型戸締機械閉り位置

Fig. 2.

Closed Position of Type LDA-6 Door Engine

大シリンダの給排気口を給気から断つて、大気に通じると、ピストン左室の空気は急速に大気に排出される。大シリンダの圧力が給気圧力の1/2以下になると、右室に働いている圧力により、ピストンは左へ押されて移動する。ピストンの移動にともなつて、軸は滑りリンクにより右廻りに回転し、軸に固定した開閉腕により扉を右に開くことになる。この場合ピストン右室への給気は絞り弁を押し下げて、弁心棒のリフトに無関係に自由に給気される。左室の排気はカムにより弁が完全に開かれた位置にあるので大量に排気される。

軸の回転によりカム棒は戻しバネに押されて移動し、約1/3行程進むと、第3図に示す位置となり、カム面に沿つて大シリンダ給排気口の絞り弁は浮上り、調整された弁間隙に絞られる。かように排気口が絞られると、大シリンダの排気はきわめて緩慢となるので、これまで加速された扉の惰性により大シリンダ内の空気は次第に圧縮され、給気圧力の1/2近くになると、扉は大きく減速され戸当り前で一時停止状態となる。停止状態になると排気が利いて大シリンダ内の圧力は下り、再び釣合いがくずれて静かに扉は開き終る。

第4図は扉が開いた状態である。扉を閉めるには小シリンダに給気している圧縮空気と同圧の圧縮空気を大シリンダに給気する。給気された圧縮空気は給排気口より弁室を通つて絞り弁を押し開き、大シリンダに自由に給気される。したがつて受圧面積の差によりピストンは右に押され、小シリンダの圧縮空気は、給気圧力より高い圧力となり、空気溜側に逆に押し戻されるのである。小シリンダ側の排気口は、始めから絞られた位置にあるの

で、ピストンの移動によつて、次第に圧力が上り約1/2行程進むと、小シリンダの圧力は給気圧力の2倍になり、ピストンの左右に働く力は釣合つて来るが、扉の惰性によりさらに圧縮されて減速力が働き、一旦停止状態になり再び釣合いがくずれて静かに閉り終ることは、開き作用の場合と同様である。

〔IV〕性能およびその検討

LDA-6型戸締機械のおもなる仕様はつぎの通りである。

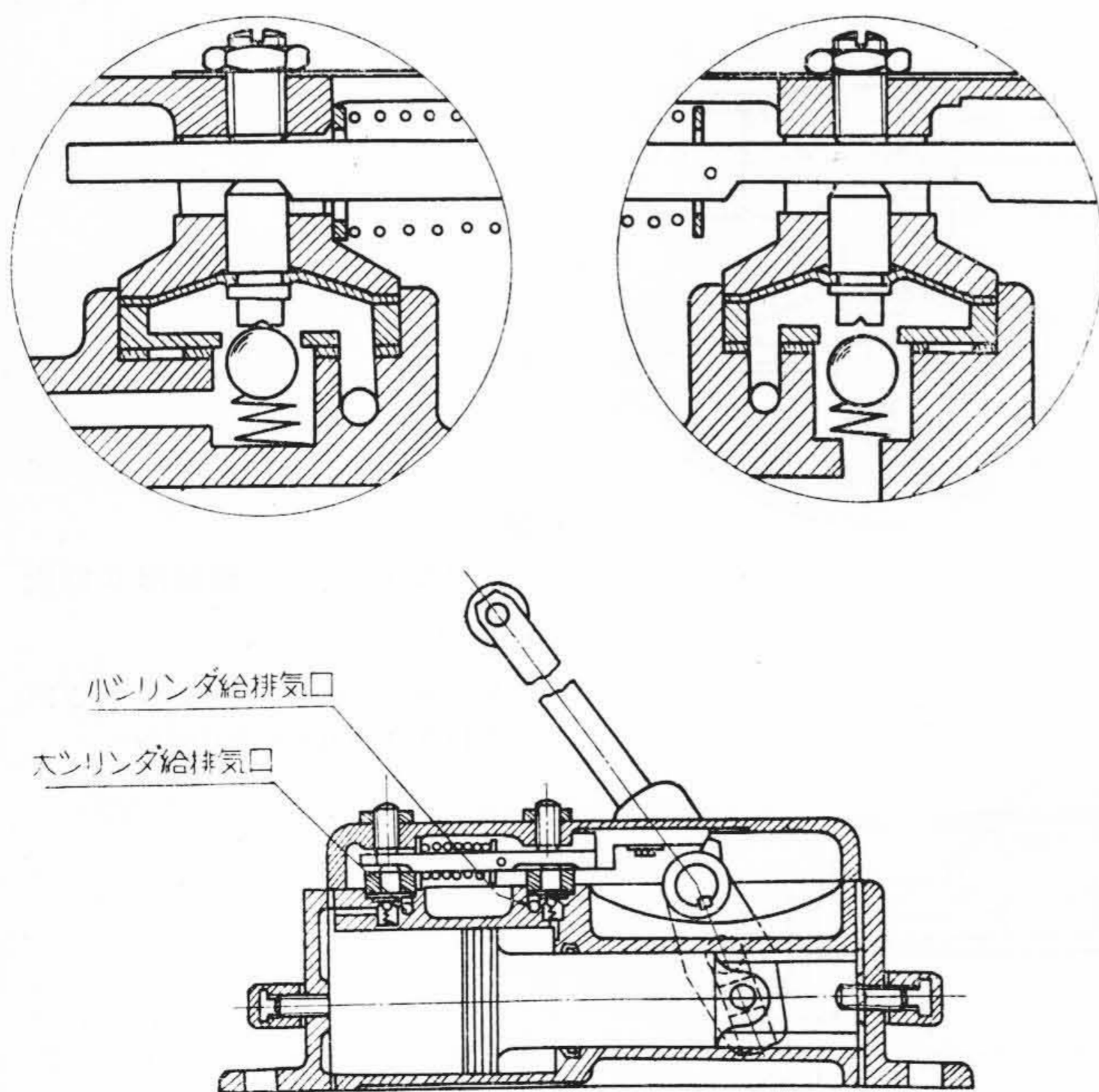
重	量	.....	20 kg
	(幅)	(高さ)	(長さ)
最大寸法	....	193 mm	×180 mm
軸トルク	.....	576~288 cm	kg/kg/cm ²
腕の作用角度	.....	90°	(標準)
シリンダ直径	.....	100 mm	
ピストン行程	.....	150 mm	(標準)
使用空気圧力	.....	3~8 kg/cm ²	
開閉時間	.....	2~5秒	

試作品については、工場内の戸締機械試験装置(第5図)により、つぎの試験を行い、その性能を検討し、種々改善を加えるとともに、長期の使用に対して十分の寿命を有することを確認した。

- (1) 扉開閉力試験
- (2) 動作特性試験
- (3) 30万回寿命試験

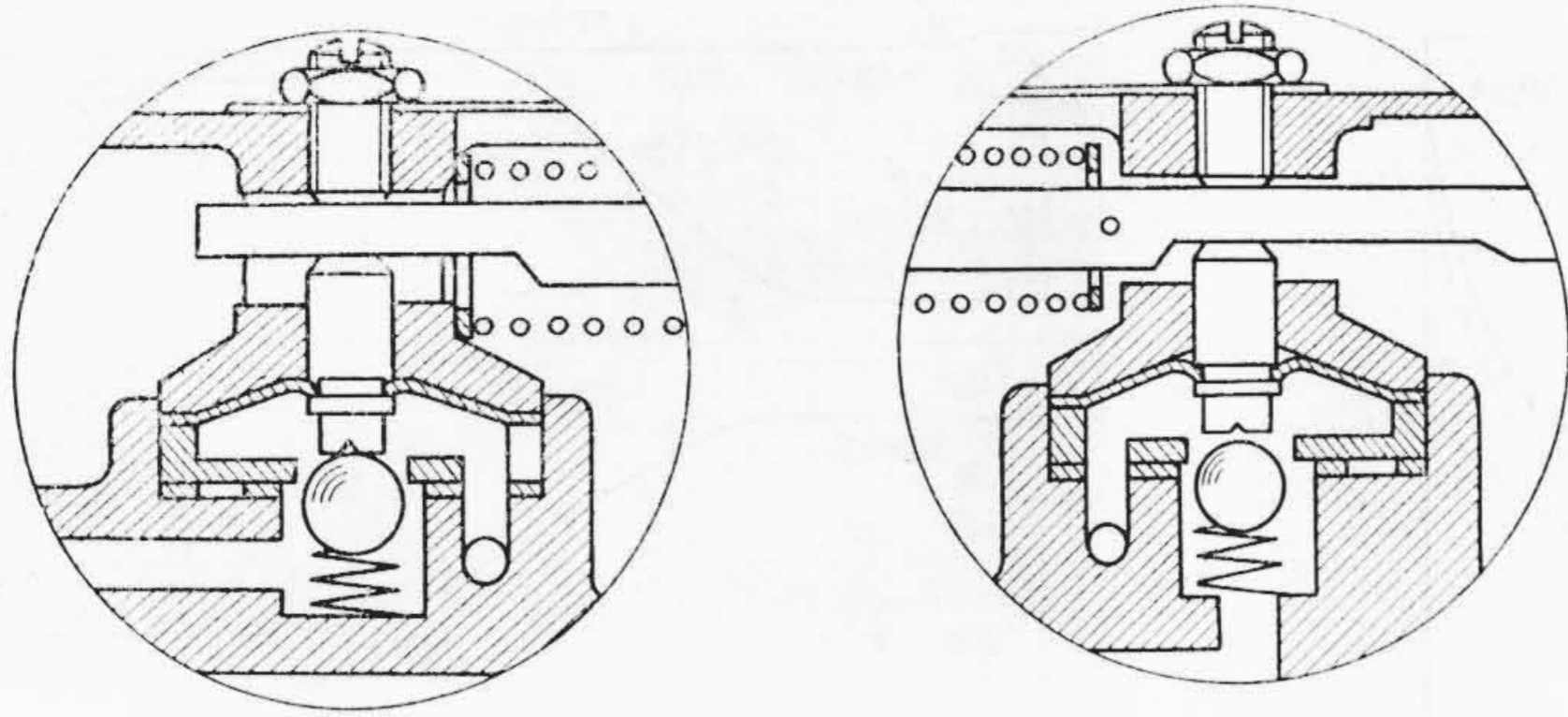
(1) 試験装置および方法

第5図は試験装置上においた試作品を示す。扉は現車

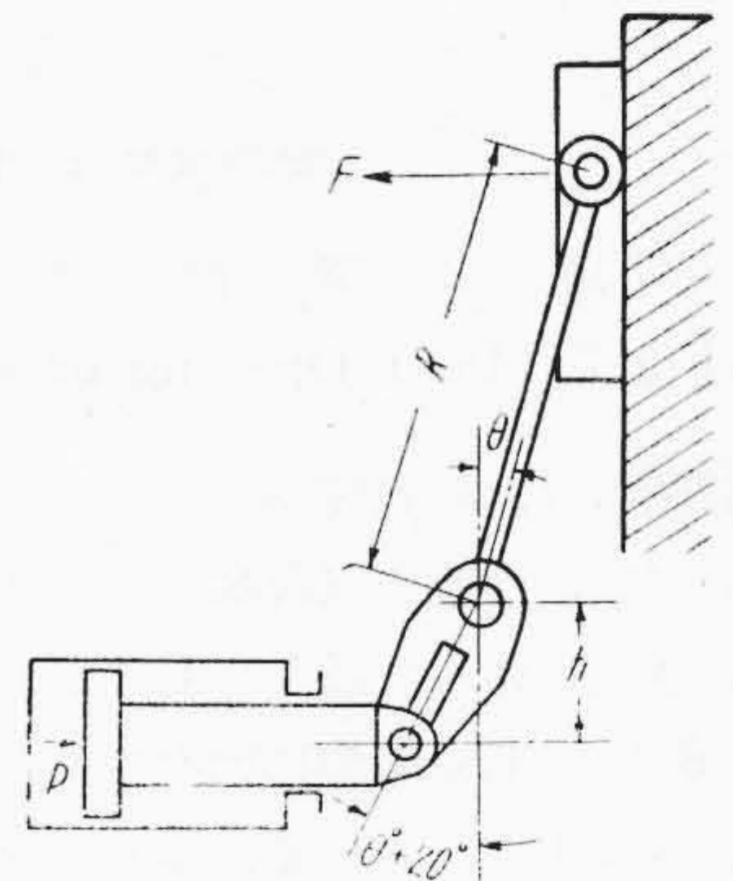
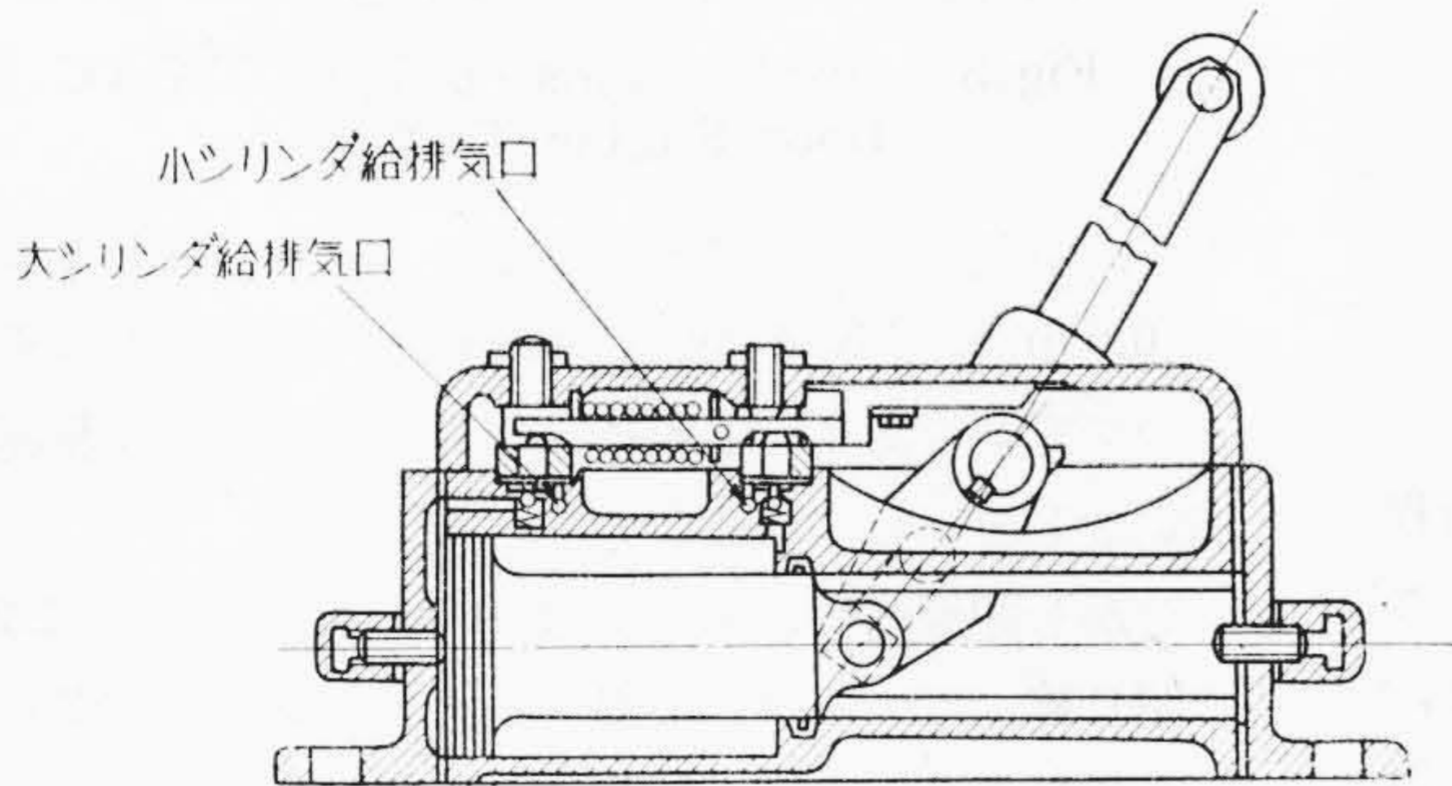


第3図 LDA-6型戸締機械開き中間位置

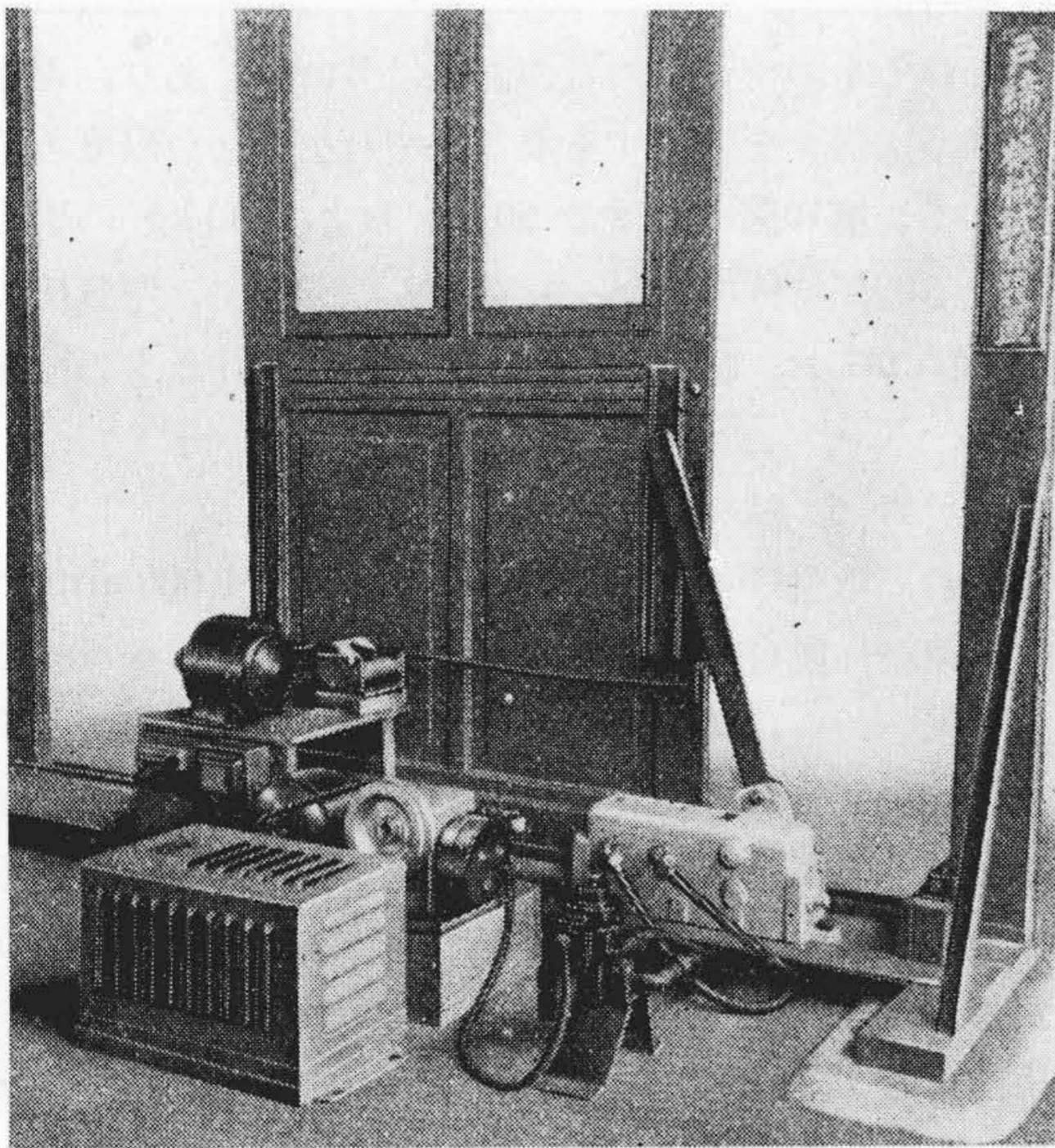
Fig.3. Opening Position of Type LDA-6 Door Engine



第4図
LDA-6 型戸締機械開き位置
Fig. 4.
Opened Position of Type
LDA-6 Door Engine



第6図 作用系統図 (LDA-6
戸締機械)
Fig. 6. System of Action
(Type LDA-6 Door
Engine)



第5図 戸 締 機 械 試 験 装 置
Fig. 5. Testing Apparatus of Door
Engine

と同様、上部に戸吊車を有して、レールに懸吊されており、その重量は扉に重錘を附加することにより、自由に変えることができる。今回の試験においては扉重量40~60 kg の範囲内で各特性を検討した。

戸締機械は、写真手前に見られる電磁弁により手動で操作されるが、寿命試験を行うためには写真に示す自動開閉操作装置によつて周期的に電磁弁を働かせて、自動的に連続運転を行い、右下に見られる自動記録装置によ

り作動回数を記録した。給気圧力は減圧弁によつて変化させ、圧力計により測定した。

開閉作用特性はオツシログラフにより記録したが、研究の途中においては写真左下に示すように縦軸を扉の移動に連動させ、横軸を記録ドラムの回転方向にとり、記録ドラムは定速電動機で一定速度に回転させて、機械的に特性を記録するようにした簡易記録装置を設備して結果の迅速な検討に資した。

(2) 扉 開 閉 力

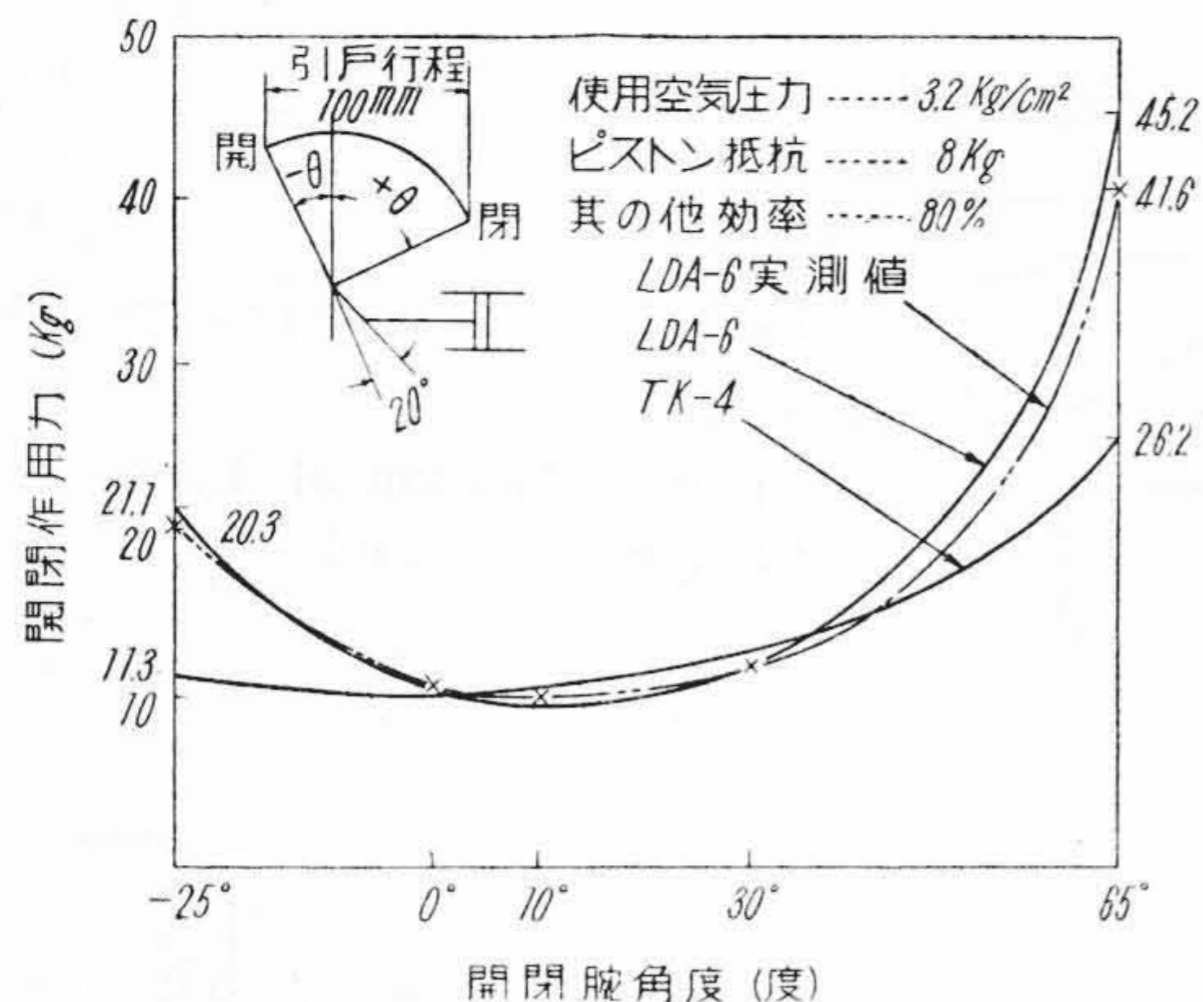
扉の開閉力は、基本的には次式によつて算出できる。

$$F = \left\{ \frac{(P-f)h}{R \cos \theta (\cos \theta + 20^\circ)^2} \right\} K \dots\dots\dots (1)$$

ただし第6図において

- F=開閉のために扉に加わる力。
- R=開閉腕の長さ。
- h=シリンダ中心と主軸中心までの距離。
- P=ピストンに加わる力。
- θ=開閉腕が垂直線となす角度。
- f=ピストンとシリンダ間の摩擦抵抗。
- K=機械効率。

(1)式により算出した計算値および LDA-6 型についての実測値を第7図 (次頁参照) に示す。



第7図 扉開閉作用力
Fig.7. Door Opening or Closing Force

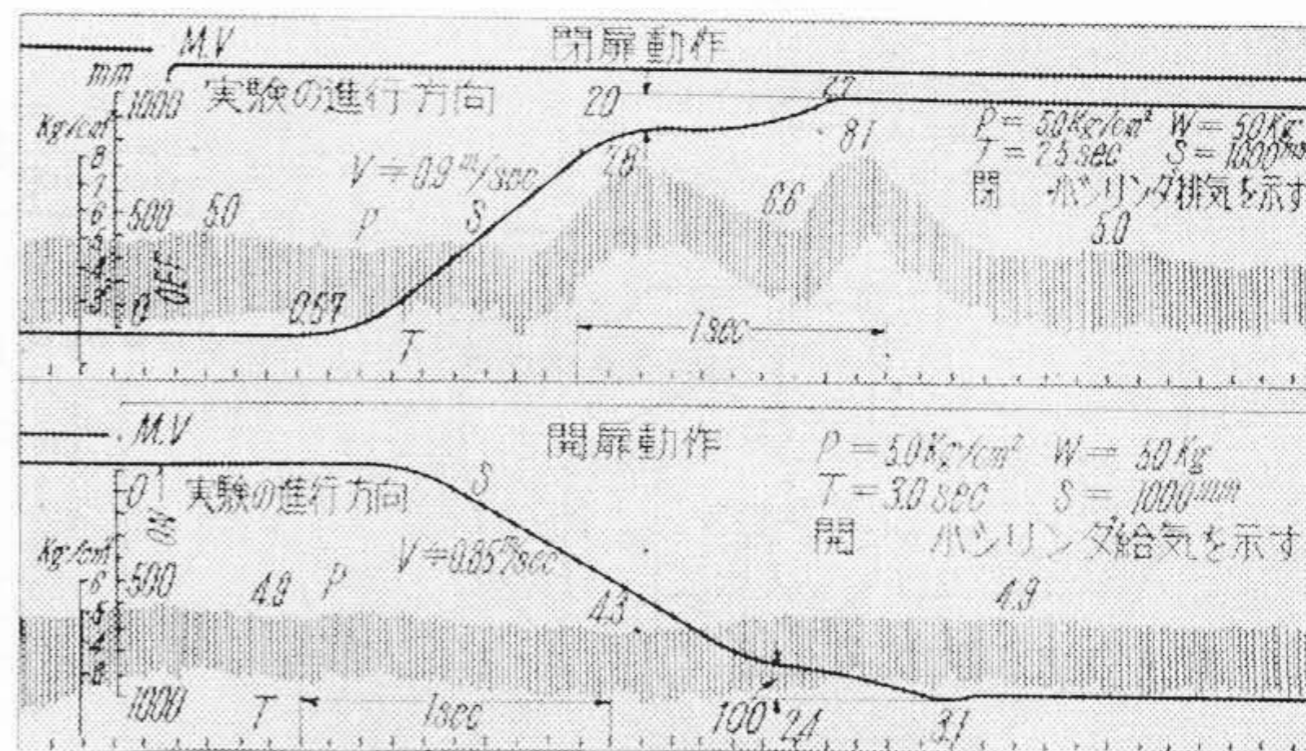
扉開閉力は、起動時および戸締り時に強く、中間行程においては、作動に支障ない限り弱いことが望ましいことは、さきに述べた通りであるが、この図に示す通り、LDA-6型はTK-4型に比べても起動時および戸締り位置における作用力は大きく、滑りリンク機構は歯車駆動以上に良い開閉特性を持っているといえることができる。

(3) 動作特性

戸締機械は空気圧力により作動する関係上、実際には空気の圧力変化にともなう空気流通速度、および作動速度による運動量の間、微妙な関係をもつて、開閉動作を行うものである。その間、作用する力も常に変化するもので、第8図はTK-4C型戸締機械の実測オシログラム(1)である。横軸は時間を、縦軸は行程を示しており、図中の垂直線群の上端を連ねた線が作動中のシリンダ内における圧力変化を表している。この圧力は電磁歪圧力計にそれぞれシリンダ内の圧力を働かせて記録されたもので、その絶対値は、厳密には読み取れないが、圧力変化の時間ずれは、この程度の運動速度においては問題にならないと考えられる。

上図に示された閉扉動作を検討してみると、電磁弁を消磁して0.57秒後起動し、2秒で戸当り前100mmに達し停止状態となり、2.3秒で再び起動し、2.7秒で閉り終っていることがわかる。またこの間、小シリンダの圧力は、扉の移動速度が早くなるにつれて圧力は上り、停止状態になるときもつとも高くなり、停止中に圧力は降り、再び起動すると圧力も上昇し、閉り終ってから給気圧力まで徐々に下っている。また開きの場合は1秒後に起動し、3.5秒で開き終っていることが分る。

第9図はLDA-6型戸締機械の開閉特性を記録したオシログラムである。二つの特性を比較すると、全開閉時間を一定にする現状の使用方法においては、起動力の大きいLDA-6型では、起動時のタイムラグが小である



第8図 TK-4C 戸締機械特性オシログラム
Fig.8. Oscillograms on Type TK-4C Door Engine Test

ので、中間速度を小にとることができる。(LDA-6型では0.5 m/s, TK-4型では0.9 m/s) このことは乗客にとって安全であるとともに、その開閉時間の調整範囲が広いことを示している。

しかし閉扉作用においては0.76秒で起動し、2.24秒で閉じ終っている。この場合は大シリンダに充満した圧縮空気を1/2以上排出しないと始動しないので、これに要する時間後れは必然的に大であり、電磁弁の通気口より行われるもので、この孔の直径は3mmであり、現在の標準型電磁弁を使用する限り、やむをえない限度と考えられる。第10図は扉重量60kgおよび40kgの場合における開閉特性のオシログラム記録例で、空気圧力は4 kg/cm²および5 kg/cm²のときにおけるものである。

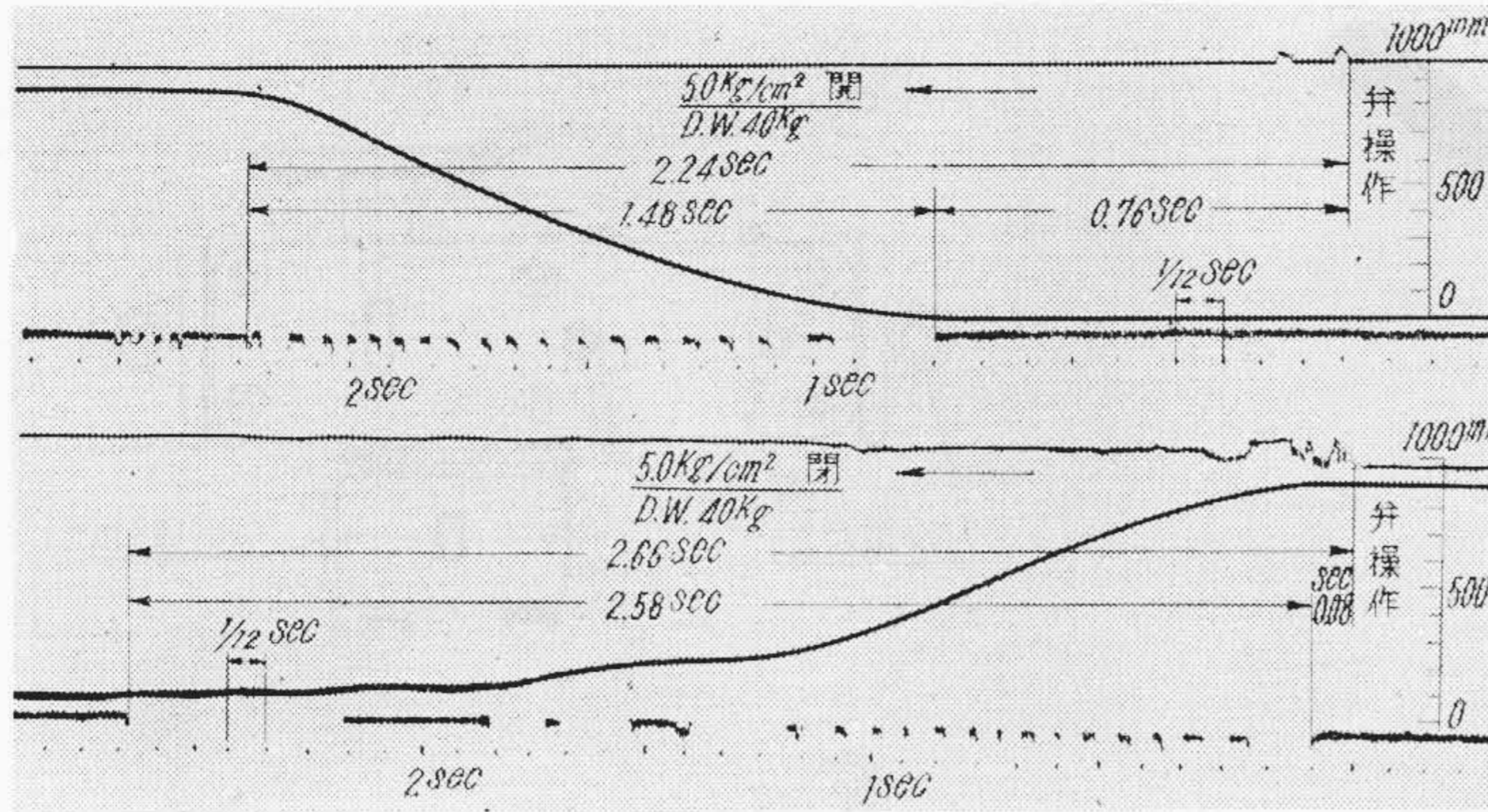
(4) 寿命試験

試験台に取付けて、50kgの扉を、行程1,000mmにして、連続作動自動操作装置により、無給油のまま長期連続運転を行い、30万回に達するも、作動に支障はなかった。作動回数30万回はJIS規格による寿命試験の回数で、頻繁に使用される電車で、約2箇年間の作動回数に相当するものである。試験後の分解結果はつぎの通りである。

(A) ピストンパッキンおよびスタフイングボックスに使用したブナN製O-リングは、僅かに変形の跡が認められるが、使用上支障のない程度のものである。また一部傷痕があつたが、これはシリンダの傷またはゴミのためであることが確認され、一般には良好な結果であつたので、保護詰皮を入れることにより、パッキンについては問題ないものと思われる。

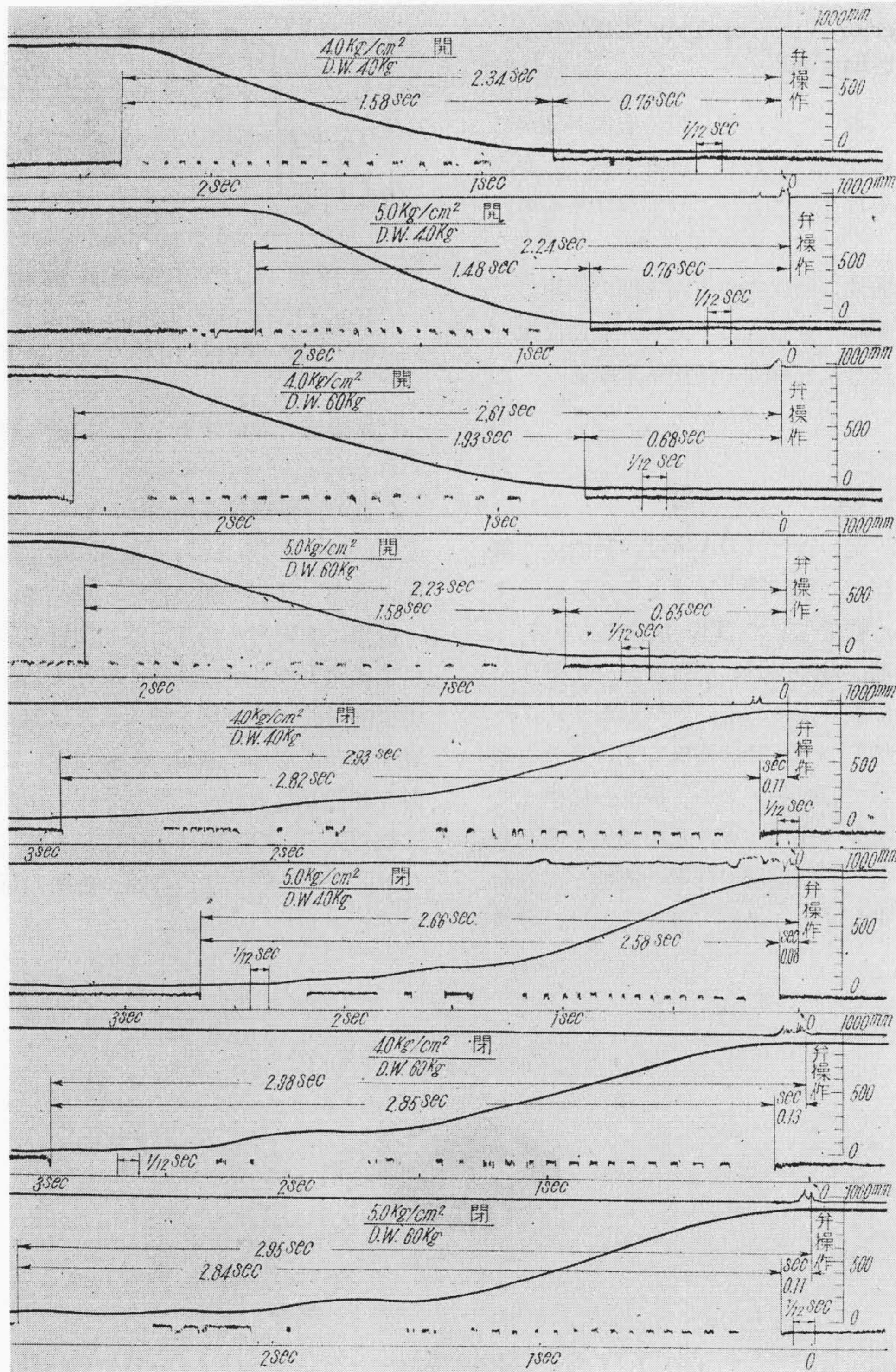
(B) シリンダおよびピストンの磨耗はほとんど認められない程度であり、油膜も切れていないので、問題はない。

(C) 軸受摺動面は、油は切れた状態になつていたが摺動面に損傷はなかつたので、給油孔を設けて、必要に応じて給油をすれば十分である。



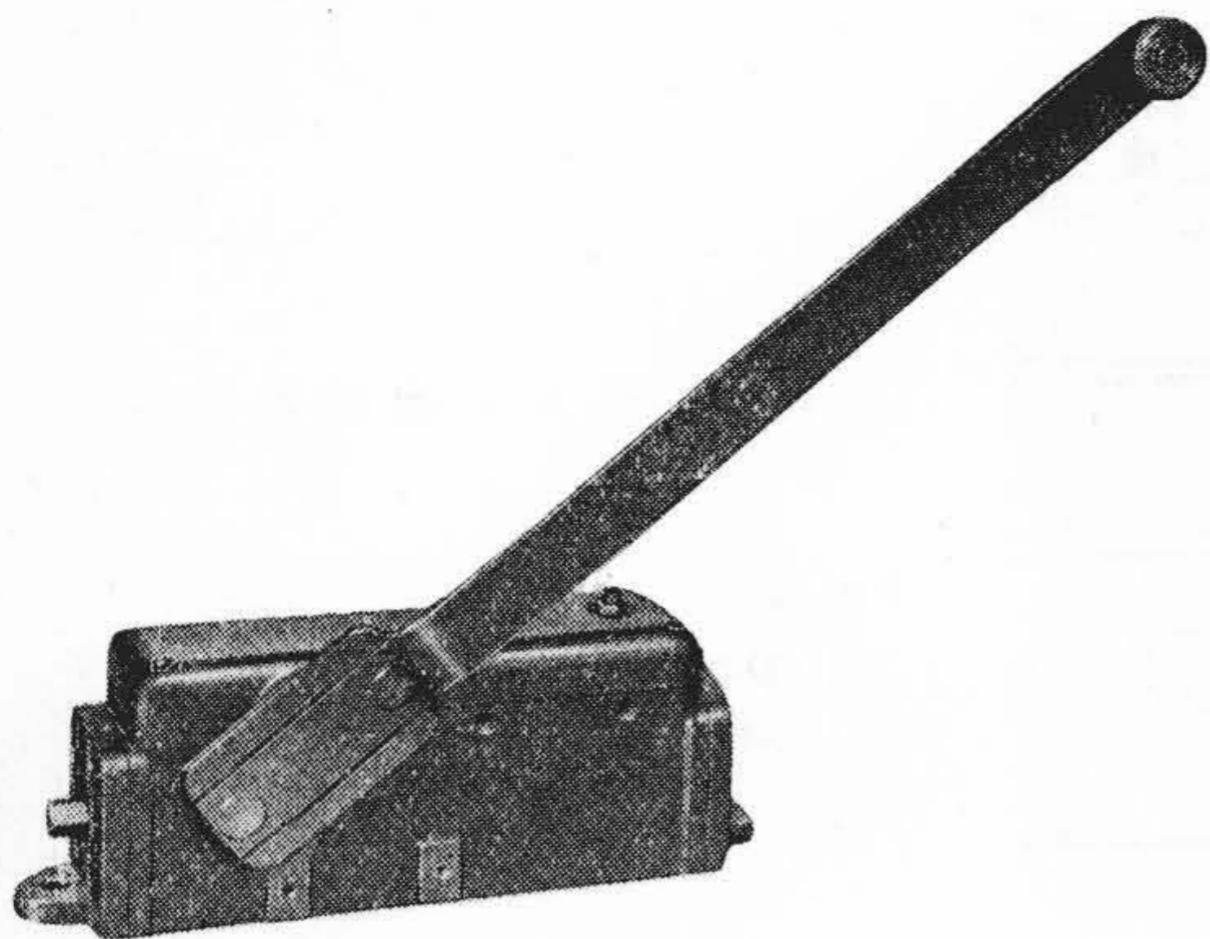
第9図 LDA-6 型戸締機械特性
オシログラム

Fig. 9. Type LDA-6 Door Engine Test



第10図 オシログラム記録例

Fig. 10. Oscillograms of Door Engine Operation



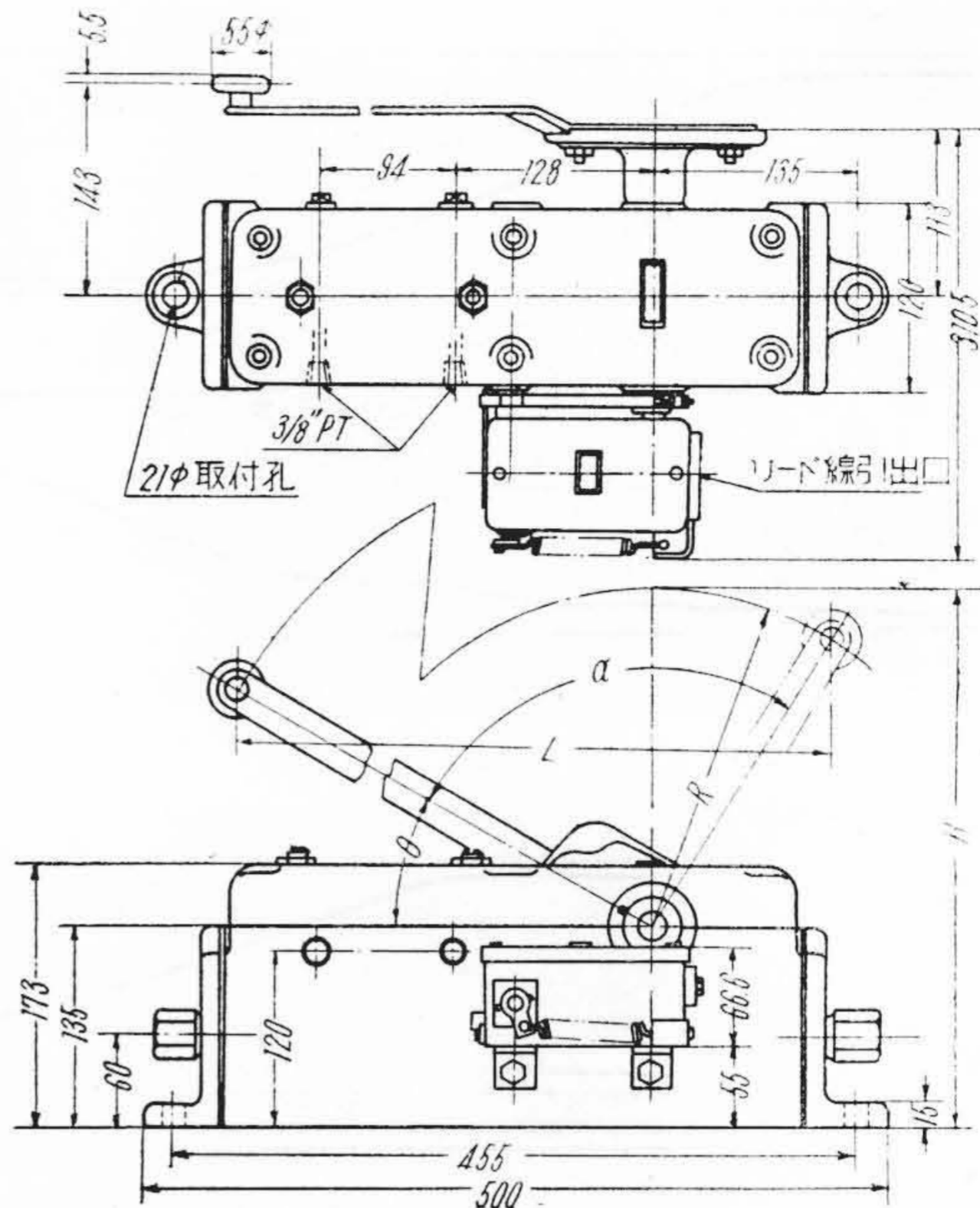
第11図 LDA-6型戸締機械外觀図
Fig.11. Exterior View of Type LDA-6 Door Engine

(D) 弁機構部分においては、弁心棒の上面が僅かに磨耗の跡が見られるほかは、きわめて良好である。弁心棒の磨耗は頭部を熱処理することにより解消するものと思う。

本試験の結果は無給油、無保守で1箇年間の使用には十分耐えうることを実証できるものであり、適切な保守のものに使用されるならば長期間の使用にも耐えうることを示している。

〔V〕 結 言

以上のようにして決定された LDA-6型戸締機械は第11図に示すような外觀で、第12図に示すような外形寸法のものであり、小型、軽量にして TK-4 型以上の出力、性能の改善という初期の目的に対しては、十分満足すべき結果を示したことになり、特に中間排気口を止めえたことは、パッキン取替という戸締機械保守上の最大の難点を解決したものとして意義深いものと思う。機構上では特許出願中のものを2件採用して、その効果を確認した。また本研究を通じて戸締機械の作動の実態と、寿命についての考え方を把握することができたことは、今後



第12図 LDA-6型戸締機械外型寸法図
Fig.12. Chief Dimensional View of the Type LDA-6 Door Engine

の戸締機械を設計する上に、貴重な経験となるものと思われる。

最近の戸締機械の傾向は、価格、重量の面からこの程度ではなお十分とはいへない難い状態にあるので、これらの面にさらに研究を進めたいと思つている。

最後に本研究に当り、終始御指導戴いた日立製作所笠戸工場元田設計第二課長、亀井工具課長ならびに部品工場松浦主任、設計第二課大橋氏に対して衷心より謝意を表するとともに、測定、記録などに御協力戴き、かつ有力な助言を与えられた部品工場の中西氏、研究課の高井、三牧の両氏、検査課の内山氏ならびに試作に御協力戴いた部品工場の関係諸氏に厚く感謝の意を表する。

