

JAERI-M

5 4 3 3

ダイナミックリミター駆動装置の設計と  
試験結果

1973年10月

太田 充・大賀徳道・国枝俊介・山本正弘・浜野 昇

日 本 原 子 力 研 究 所  
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ダイナミックリミター駆動装置の設計と試験結果

日本原子力研究所東海研究所核融合研究室

太田 充・大賀徳道・国枝俊介

東海研究所技術部

山本正弘・浜野 昇

(1973年10月3日受理)

現在原研東海研究所において中間ベータ値トーラス装置(JFT-2)が稼動しており、それには原研独自のアイデアであるダイナミックリミターが取付けてある。

本報告書は、そのダイナミックリミターの駆動装置の設計、製作および試験結果が述べられている。

プラズマに対するリミターの効果を調べるためにはストローク10cmを20m/secで移動させるリミター(平均速度5m/sec)の駆動装置が必要である。我々は空圧シリンダーとギヤを用いてその駆動装置を開発した。空圧10Kg/cm<sup>2</sup>のときのストローク10cmの平均速度5.2m/sec, 最終速度約9m/secを得た。この駆動装置の開発にあたって真空を保持しているペローズの振動及び駆動装置を支持している架台の振動が問題になったが、前者についてはペローズ振動防止治具を考案し、後者については市販のショックアブゾーバを使用して解決した。なお試験はスピード測定だけでなく振動及びジッターについても測定され、充分プラズマ実験に使用できることが判った。

Design and Test of the Driving Mechanism for a Dynamic Limiter

Mitsuru OHTA, Tokumichi OHGA, Shunsuke KUNIEDA  
Division of Thermonuclear Fusion Laboratory, Tokai, JAERI

Masahiro YAMAMOTO and Noboru HAMANO  
Division of Engineering Services, Tokai, JAERI

( Received October 3, 1973 )

A fast-acting removable limiter called the dynamic limiter was installed to JFT-2 in January 1973. The limiter is removed while or after the plasma is produced in order to study the diffusion process in a tokamak plasma. The design and tests of the driving mechanism of dynamic limiter are described. The dynamic limiter consists of two rail limiters, an air cylinder and its electromagnetic valves, driving gears, and bellows to maintain the vacuum. Rubber is placed around the bellows to absorb the vibration produced at the end of strokes. The dynamic limiter is needed to be removed with the average velocity of 5 m/sec for the stroke of 10 cm, which is expected faster than the diffusion velocity of plasma. Test of the driving mechanism has shown the final and average velocities to be about 9 m/sec and 5.2 m/sec, respectively, at a cylinder pressure of 10 kg/cm<sup>2</sup>. The velocity reaches 5 m/sec at about 2 cm of travel, which means that the average speed over 5 m/sec is attained in the last 8 cm of stroke. The delay time between trigger pulse and beginning of motion depends on the cylinder pressure and is about 50 msec at a pressure of 10 kg/cm<sup>2</sup>. The jitter in delay time is less than 1 msec, much shorter than the confinement time expected with JFT-2. By using the dynamic limiter, a new information on the diffusion process is expected in the near future.

目 次 な し

## 1 はじめに

現在日本原子力研究所核融合研究室においてトカマク型プラズマ閉じ込め装置である中間ベータ値トラス装置(JFT-2)が稼動している。この装置ではプラズマの半径を規定するリミターと呼ばれる円環殻が真空容器内に取付けられている。このリミターはプラズマ柱の変位あるいはその安全性に寄与している可能性がある。しかしながら予想される核融合炉にこのようリミターを挿入した場合、炉心となるプラズマが高温、高密度のためまたたくまにリミターが融けてしまう。そのため核融合炉では金属円環殻のリミターは使用できず、それ以外の方法でプラズマ半径を規定しなければならない。したがって核融合炉の研究開発において、トカマク型プラズマ閉じ込め装置では、このリミターのプラズマ柱の変位や安定性に及ぼす影響を調べることは重要なテーマの一つである。そのためJFT-2ではプラズマ形成後プラズマの拡散速度より早い速度でリミターを取除くダイナミックリミターと呼ばれる装置の製作計画が立てられた。

JFT-2でのプラズマの拡散速度は $1\sim 2\text{ m/s}$ と予想され<sup>(1)</sup>、そのためリミターの平均速度は $5\text{ m/sec}$ を目標とした。JFT-2では真空容器の内径は $600\phi$ であり、固定リミターとして内径が $327\phi$ ,  $400\phi$ ,  $500\phi$ の3枚のモリブデン板が用意された。この内径はアスペクト比がそれぞれ5.5, 4.5, 3.6に相当しており、プラズマ閉じ込めに対するアスペクト比の効果を調べるようになってきている。しかしダイナミックリミターが取り付けられた場合にはこれら既設のリミターは取除かれる場合もありうる。

プラズマの拡散速度よりも早い速度で動くリミターのストロークは、プラズマに対するリミターの効果を調べる点からいえば長い程好ましい。しかしJFT-2のダイナミックリミターを設置する観測箱(以後ダイナミックリミター用ボックスと呼ぶ)は、組立を容易にするためトロイダルコイル内を通過できる大きさに規定したためその長さに制限がある。ここではリミターの全ストロークは最大が $130\text{ mm}$ である。このためリミターの効果を調べる目標速度 $5\text{ m/sec}$ 以上のストロークは少なくとも $5\text{ cm}$ は必要と思われる。

以上のプラズマからの要請を考慮して駆動装置を決定する。現在の技術からすると駆動装置としては(i)スプリング、(ii)爆薬、(iii)磁石、(iv)空圧シリンダー等が考えられうる。

第二章では、駆動装置の動力として空圧シリンダーを採用した過程とそのモデル実験を示す。第三章ではモデル実験で得られた結果からJFT-2に取付けるダイナミックリミターの駆動装置とその制御の設計を行なったのでその詳細を示す。第四章では製作されたダイナミックリミターをJFT-2に取付けてその性能を試験したのでその結果について報告する。なおここでは作動試験だけでなく振動についても検討を加えた。

## 2 モデル実験

## 2.1 駆動装置の決定

前述したように駆動装置としてはコイルばね、爆薬、磁石、空圧シリンダーなどが考えられる。以下にそれぞれの検討結果を述べる。なお目標として著者らが目ざした機能は次のとおりである。

- a ストローク10 cmを20 msecの時間内に移動可能な構造とする。すなわち平均速度は5 m/sec以上である。
- b ストローク10 cmのうち5 m/secを越える速度を有するストロークは5 cm以上とする。
- c リミターその他の可動部の質量は10 Kgを仮想する。

## 2.1.1 コイルばね

コイルばねを使用した場合の駆動部の運動方程式は次式で書き表わされる。

$$M\ddot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

ただし、Mはリミターの質量、kはコイルばねの定数、xは距離を表わす。(1)式の解は  $x = A \cos \omega t$  ( $\omega = \sqrt{k/M}$ ) で与えられる。Aはストロークの半分であり、こゝでは5 cmを与えた。駆動部の機能の条件aより

$$\overline{\dot{x}} = \frac{2}{\pi} A \omega \geq 5 \text{ m/sec} \quad (2)$$

が得られる。M=10 Kgの場合には  $k \geq 280 \text{ Kg/cm}$  であり、ばねおよび付属機器の質量効果を考慮してM=20 Kgを仮定すると  $k \geq 560 \text{ Kg/cm}$  でなければならない。この場合に5 m/secを越えるストロークは全ストローク10 cmのうち約5.5 cmである。

コイルばね定数は次式で表わされる。

$$k = G d^4 / 8 N_a D^3 \quad (3)$$

ここでdは素線の直径、Dはコイルの平均径、 $N_a$ は有効巻数、Gは材料の横弾性係数である。素線に生ずる振り応力 $\tau$ は

$$\tau = \kappa (8 DP) / (\pi d^3) = \kappa \tau_0 \quad (4)$$

から求められる。こゝでPはばねにかゝる荷重、 $\kappa$ はワールの応力修正係数と呼ばれるもので  $C = D/d =$ ばね指数とおくとき

$$\kappa = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \quad (5)$$

で表わされる。また一般にコイルばねを設計する場合の制限として(i)ばね指数は4~10に選ぶ、(ii)圧縮ばねの縦横比(自由高さと同径の平均径の比)は0.8~4に選ぶ、(iii)有効巻数は3以上にとる、(iv)ピッチを0.5 D以下にする等が挙げられる。これらの制限を考慮してコイルばねを設計すると以下のようになる。

$$\begin{array}{lll} \bullet \text{ばね個数 } 4 \text{ 個} & \bullet N_a = 10 & \bullet \tau_0 = 51 \text{ Kg/mm}^2 \end{array}$$

- $D = 50 \text{ mm}$
- $G = 8 \times 10^9 \text{ Kg/m}^2$
- $\tau = 66 \text{ Kg/m}^2$
- $d = 10 \text{ mm}$
- $k = 80 \text{ Kg/cm}$
- $\kappa = 1.3$
- $D/d = 5$
- $P = 400 \text{ Kg}$
- ばねの総質量  $3.9 \text{ Kg}$

こゝではばねを4個に分割したが、これを1個のコイルでまかなうとばねの質量が10~20 Kgになり、そのため必ずしも速度が増すわけではない。こゝでは最適化は行なわなかった。ばねを使用する場合の附属装置としては、ばねをあらかじめ圧縮するための動力源が必要である。

以上の結果、コイルばねは、駆動装置として原理的に不可能ではないにしても、後述の空圧シリンダーと比較すると技術的に難かしく、得られる性能も劣る。

### 2・1・2 爆 薬

駆動源として爆薬を考えた場合、その制御方法に困難があり、プラズマ閉じ込め装置という特殊装置に取付けた場合の危険性は無視できない。このため駆動源として除外した。

### 2・1・3 磁 石

磁石はソレノイドコイルにより発生する磁場と磁性体との相互作用力を駆動源として利用する。この相互作用力  $F$  は次式で書き表わされる。

$$F = -\frac{B^2}{2\mu_0} S \quad (6)$$

ただし  $B$  は磁束密度、 $S$  は面積、 $\mu_0$  は真空の透磁率を表わす。こゝで  $S = 0.01 \text{ m}^2$  を仮定すると  $M = 10 \text{ Kg}$ 、平均速度  $5 \text{ m/sec}$  を得るために必要な磁場は約  $12000 \text{ G}$  である。

一方プラズマ領域での不整磁場は出来るだけ小さい方が好ましい。JFT-2では、その許容値は数  $10 \text{ G}$  以下である<sup>(1)</sup>。こゝではプラズマを重視する観点から磁石は採用しなかった。

### 2・1・4 空圧シリンダー

空圧シリンダーを用いた場合の運動方程式は、

$$M\ddot{x} = F = SP \quad (7)$$

である。ただし、 $S$  はシリンダー断面積、 $P$  は空気圧力である。圧力は  $10 \text{ Kg/cm}^2$  を越すと高圧ガス取締法の指定する高圧ガスとなるためできるならば  $10 \text{ Kg/cm}^2$  以下で装置を動作させることが望ましい。また質量  $M$  はリミターの質量  $M_l$  とピストンの質量  $M_p$  の和である。力学的に最適なシリンダーは  $S/(M_l + M_p)$  を最大にする場合に相当する。エアシリンダーの規格品(メクマン社製)より  $M_p = 10 \text{ Kg}$  と仮定して最適なシリンダーを抽出すれば、 $S = 1860 \text{ cm}^2$ 、 $M_l = 12.7 \text{ Kg}$  が求まる。このシリンダーにより得られる最終速度は、ストローク  $10 \text{ cm}$ 、圧力  $10 \text{ Kg/cm}^2$  のとき  $12.7 \text{ m/sec}$  であり、目標速度  $5 \text{ m/sec}$  を越えるピストンの移動距離は  $1.6 \text{ cm}$  である。ただしこれはあくまでも理想的なモデルから予想される結果であり、ピストンとシリンダー間の摩擦、配管での圧力波の伝達時間などを考えると若干この値は補正が必要である。しかし、他の駆動源に比べると性能も良く、また規格品を使用できるためシステムが簡単になる等の理由によりこゝでは空圧シリンダー方式を採用した。



## 2・2 モデル実験

以上の検討の結果、空圧シリンダーを採用することに決定したが、実際の装置では摩擦その他の損失がどの程度速度に影響を及ぼすのかを調べるためにモデル実験を行なった。

### 2・2・1 装置

モデル実験の概略図を Fig.1 に示す。エアシリンダーの先端に重り(最大荷重12.4 Kg)を接続し、リミターを模擬した。高圧空気注入系は Fig.1 にフローシートで示したように空気はポンペより4ウェイバルブを通してエアシリンダーに供給され、排気は4ウェイバルブとシリンダー間に急排気弁を設け、配管での排気損失を少なくするように行なわれる。ピストンの速度測定には重りの先端に間隔5 mmで2 mm $\phi$ の穴がけられた金属板を設け、フォトランジスターでその穴を通過してくる光を感知して測定された。エアシリンダーに空気を供給する配管径は13 $\phi$ 、19 $\phi$ 、25 $\phi$ の3つを準備した。エアシリンダーはメクマン社製の250P/150(シリンダー内径154 mm, ストローク100 mm, ピストンロッド径50 mm)を用いた。

### 2・2・2 実験結果

速度測定の写真ランジスター信号を Photo 1, 2, 3 に、またその結果を Fig. 2, 3 に示す。Photo 1, 2, 3 は圧力10 Kg/cm $^2$ 、総質量25.1 Kgで配管径が各々13 $\phi$ 、19 $\phi$ 、25 $\phi$ と異なる場合の測定結果である。フォトランジスター信号の山と山との距離は5 mmに相当する。Fig. 2 に、圧力は10 Kg/cm $^2$ 、配管径は25 $\phi$ であり、質量は15.2 Kg(ピストン質量12.7 Kgと重り25 Kgの和)および25.1 Kg(ピストン質量と重り12.4 Kgとの和)の場合のピストン運動を示す。これから平均速度は約3 m/sec, 最大速度は約5 m/secであり、質量の速度に及ぼす効果は余り認められない。Fig. 3 にストローク100 mmの平均速度を示す。配管径が13 $\phi$ の場合平均速度はほぼ1 m/secで圧力、質量にほとんど依存しない。これは配管径が小さいために空気の吸入量によって平均速度が決められているためと思われる。配管径が大きくなるに従い平均速度は増す。配管径が25 $\phi$ のとき、圧力10 Kg/cm $^2$ で平均速度は~3 m/secを得ている。又、質量の平均速度に及ぼす効果はそれ程顕著には認められない。なお、同図に(7)式から推定される平均速度を示したが、実験では、その値の60%の平均速度が得られているにすぎない。

以上の実験から判ることは、(i)シリンダーに高圧空気を挿入する配管径を大きくすれば空気シリンダーのピストン速度は増す。(ii)ピストンに12 Kgの重りを載せてもピストンのみの場合とほとんど平均速度に差はない。(iii)我々が行なった実験範囲では、理論的に予想される場合の60%の平均速度が得られたにすぎず、目標速度5 m/secは得られなかった。

この結果、所期の速度を得るためには先ず配管径を大きくし、かつ本数を増やすことが考えられる。ここで配管径を大きくすることとは、単に配管径を大きくすることだけでなく、それに附随するバルブの径も大きくすることを意味する。というのは一ヶ所でも配管径に絞りが存在すると、吸入量はその絞りで決まるためである。現在の商業ベースにのっているバルブの径は25 $\phi$ が最大である。径を大きくするためにはバルブの開発をしなければならぬため、とりあえず、この考えは中断した。エアシリンダー吸入孔は構造上

2本取り付け可能である。

次に考えられる増速手段は、質量をピストンを含めて 25 Kg以下に相当する歯車による増速装置である。すなわち、ピストンに二段歯車を連結し、小歯車をピストンに、大歯車をリミターに接続すれば、そのギヤ比だけリミターの速度は増す。ただし、ピストン側からみてピストンを含めた歯車系の相当質量が 25 Kg以下にする必要がある。ここでは、ギヤ比を 1 : 2 にすれば 6 m/sec の平均速度が得られることが予想される。

その他考えられることは、ピストンとシリンダーとの摩擦を減らすこと、配管径の圧力損失を減らすため、曲り部の個数を少なくし、圧力タンクとシリンダーの間の配管を短かくすること等が考えられる。

### 3 ダイナミックリミター駆動装置

モデル実験では、初期の目標  $5 \text{ m/sec}$  の平均速度を得ることが出来なかったが、速度を増す手段としていくつかの方法が考えられた。ここでは、そのうち歯車を用いて増速する方法と配管を2系統にする方法を採用して設計製作した。

#### 3.1 駆動装置

駆動装置の概要を Fig. 4 に示す。この装置は、リミター、真空保持のためのベローズ、ベローズ振動防止治具、増速のためのギヤボックス、エアシリンダー、ダンパー、装置全体の支持架台、配管径から構成される。以下に構成部材の仕様を述べる。

リミターは、真空容器の一部を構成するダイナミックリミター専用ボックスに設置されており、上下二枚のリミターがある。材料は SUS 28 を用い、板厚  $5 \text{ mm}$  の平行平板型リミターである。リミターはリミター軸とは分割可能な構造であり、プラズマ実験の要請からリミターを交換出来る。また、上下のリミターはそれぞれに連結された個有の駆動装置を有している。

溶接ベローズは、真空容器内部の真空保持のためリミター軸に溶接されている。ベローズはダイナミックリミターを作動させた時に水平方向、上下方向に大きく振動するが、ここで問題となったのは、ベローズの疲労強度である。ダイナミックリミターを作動させた場合、ベローズは振動のため数十回の伸縮を行なう。このためダイナミックリミターの使用頻度が  $200 \text{ 回/日}$  とすると、ベローズの寿命が  $10^5 \text{ 回}$  として1ヶ月で取り替える必要が生ずる。我々はこのため、次のような工夫をした。すなわち、水平方向の振動防止にはベローズの外側にゴムを内張りした円筒を設置し、上下方向振動防止にはリミター停止信号を受信して小型シリンダーを作動させ、ゴム板をリミターに接触させた。この結果、ベローズの伸縮も外側からは、ダイナミックリミター1回の作動に対して数回の繰り返し数に減らすことができた。

歯車機構は、ラックと歯車（モジュール4、歯数15およびモジュール3、歯数40）からなり、ギヤ比を1:2に設定した。

エアシリンダーはモデル実験で使用したものと同一のメクマン社製  $250 \text{ p}/150$  を使用した。

この他、リミターの最終速度は  $10 \text{ m/sec}$  近くにもなるのでその減衰と衝撃をやわらげるため、リミター軸の端にオイルダンパー（昭和空圧機工業KK、ダイナソフターASE型）を設けた。

なお電気絶縁は、リミター軸とギヤとの間に中間フランジを設け、その間にテフロン板を挿入した。

空圧系を Fig. 5 に示す。コンプレッサーより供給される圧縮空気は、上下二系統に分けられ、圧力調整弁を通してタンクに貯えられる。使用圧力は  $10 \text{ Kg/cm}^2$  に設定した。エアシリンダーへは4ウェイバルブを介してタンクから供給される。配管は1つのシリンダに25

$\phi$ 径×2本を設けた。

ダイナミックリミターを作動させた場合、衝撃力が作用するのは、エアシリンダーとギャボックスである。下側の機構では、エアシリンダーとギャボックスはシールド板および本体の支持脚に固定した。上側では、本体の支持脚の代わりに鉄心の枠材に固定した。

ダイナミックリミター駆動装置の制御回路をFig.6に示す。この回路はJFT-2プラズマ発生シークェンスに同期させてリミターを駆動させる。すなわち、マスターパルスIでトロイダル磁場コイルや直流型垂直磁場コイルを投入し、その後遅延時間が0.5~5 secの間可変のマスターパルスIIで電磁弁を作動させる。ここでエアシリンダーの作動の遅れ時間が圧力又は配管の長さ依存して変化するので、上下のリミターを同調させるため「マスターパルスII」と「スイッチング回路」の間に「ディレー回路」を挿入した。一方、プラズマ形成は「マスターパルスII」から「ディレー回路」を通して「マスターパルスIII」を作動させ、パルス型垂直磁場コイル電源や一次巻線コイル電源を励磁させる。ダイナミックリミター装置とプラズマ放電との同期は、この「ディレー回路」で調整される。

この他、実験からの要請により、リミターの動作信号をモニターして一次巻線電源、パルス型垂直磁場電源を作動させることも考えている。

電磁弁の駆動はコンデンサー(1000  $\mu$ F, ~130V)にエネルギーを貯え、SCRでスイッチングし、電磁弁を作動させた。

## 4 実 験

本装置は48年正月にJFT-2装置に取りつけられ、作動試験が行なわれた。以下に速度、遅れ時間、ジッター、振動についての測定結果を示す。

### 4・1 速度測定

速度測定は、モデル実験で測定した方法を採用した。すなわち、リミター軸の先端に間隔5 mm、径2 mm  $\phi$ の孔を有する板(スピード測定治具)を取り付け、その孔を通過してくるレーザー光又は電球の光をフォトランジスターで感知して速度に換算した。装置のセッティング誤差は極力減らす努力をし、 $\pm 1$  mm程度におさえた。

Photo.4 に上側リミターおよび下側リミターの測定写真を、Fig.7 にその測定結果を示す。Photo.4の最上段、中段はレーザー光、電球光による上側リミターの速度測定結果(エアシリンダー圧力8 Kg/cm<sup>2</sup>)であり、下段は電球光による下側リミター速度測定結果(エアシリンダー圧力10 Kg/cm<sup>2</sup>)である。Fig.7の実線は、上側リミターの動き(エアシリンダー圧力8 Kg/cm<sup>2</sup>)を示し、一点鎖線は下側リミターの場合(圧力10 Kg/cm<sup>2</sup>)を示す。動き始めてから約2 cmで目標速度5 m/secを越え、全ストローク13 cmのうち約8 cmの間5 m/secを越えている。オイルダンパーはリミターが動き始めてから8.5 cmで作動するよう設置した。ストローク10 cmでの平均速度は両者とも5.2~5.3 m/secである。Fig.8はストローク10 cmでの平均速度を圧力のパラメータで示す。上側リミターは圧力7~8 Kg/cm<sup>2</sup>で5 m/secを越えるが、下側リミターは9 Kg/cm<sup>2</sup>で5 m/secに達する。これはしゅう動部の摩擦、特にピストンとシリンダー間、ギヤボックスのリミター軸受などの摩擦によるものと思われる。なお、スタート時間はこの測定方法では正確にすることが難かしく、動きはじめてからの測定点から外挿してスタート時点を推定した。

### 4・2 遅れ時間とジッター

電極弁を作動させてからリミターが作動するまでの遅れ時間及びジッターが速度測定と同様の手段で測定された。Fig.9に上下側リミターの遅れ時間を圧力の関数で示した。遅れ時間は圧力とともに減少し、圧力10 Kg/cm<sup>2</sup>で47 msecである。上下リミターとも遅れ時間にほとんど差はない。ジッターの測定結果を第1表に示す。ジッターは $\pm 500 \mu$  sec以内におさまっており、プラズマ放電との同期が期待できる。

### 4・3 振動測定

振動の測定には共和電業社製のDPM-1N動歪測定器を用い、振動検出器には同社製AS-A型加速度変換器を用いた。測定箇所は、ダイナミックリミター用ボックス、ギヤボックスを取り付けているシールド板およびエアシリンダーの取り付け板の3ヶ所である。

Photo.5, 6に上下リミターを作動させた場合の振動測定写真を示す。Photo.5では上側がエアシリンダー取付板の振動波形、下側がシールド板のそれである。ボックスの振動は、余りにも小さすぎて測定できなかつた(ボックスの手による感触からも感知できない程

であった)。写真には $300\mu$ (エアシリンダー取付板, シールド板の検知器の較正係数はそれぞれ $0.0798 g/\mu$ ,  $0.093 g/\mu$ である)の較正のための直線を掃引してある。電磁バルブから圧縮空気の衝撃波がシリンダーに到達すると最大加速度 $20\sim 25g$ , 周波数 $\sim 1$  kHz, 変位に換算して $5\mu$ 程度の振動が生ずる。圧力波がエアシリンダーに到達してから約 $10$  msec後にピストンが動きはじめるが, シールド板はそれ程振動しない。その後 $20$  msec足らずでダンパーに衝突している。この時はシリンダー取付板だけでなくシールド板も大きく振動する。シールド板の変位は約 $15\mu$ である。一方シリンダー取付板は周波数 $\sim 1$  kHzの振動の他に $\sim 100$  Hzの振動も発生する。これは変位にして $100\mu$ 程度である。

下側リミターでも上側リミターとほとんど同様の結果を示した。

この結果, JFT-2のプラズマ計測や, 真空容器の破損などにダイナミックリミターがほとんど影響していないことがわかった。

## 5 お わ り に

以上の結果, 所期の目標である平均速度 $5$  m/sec 以上のスピードを有するダイナミックリミターの駆動装置を開発することができた。又, 同時にベローズ振動防止治具を工夫してベローズの寿命を大幅に延ばすことに成功した。これらの装置は充分プラズマの実験に耐えられるものと期待したい。

最後に, 本報告書を作成するにあたり終始暖かい御助言を賜りました森茂核融合研究室長, 伊藤智之JFT-2グループリーダーに深く感謝致します。また, 装置を製作していただいた日立製作所及び宮盛製作所の関係各氏に深く感謝致します。

## 文 献

1. S. Itoh et al, JAERI-memo 4084(1970)

Table 1 電磁弁作動時からのリミターの作動遅れ時間

時 間		回 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		作動するまでの時間 (m sec)	圧 力 $8 \text{ Kg/cm}^2$	5 1.6	5 1.3	5 1.5	5 1.3	5 2.0	5 2.2	5 2.1	5 2.1	5 2.0
圧 力 $10 \text{ Kg/cm}^2$	4 6.8		4 7.0	4 6.7	4 6.5	4 6.7	4 6.7	4 6.7	4 6.7	4 6.7	4 6.7	

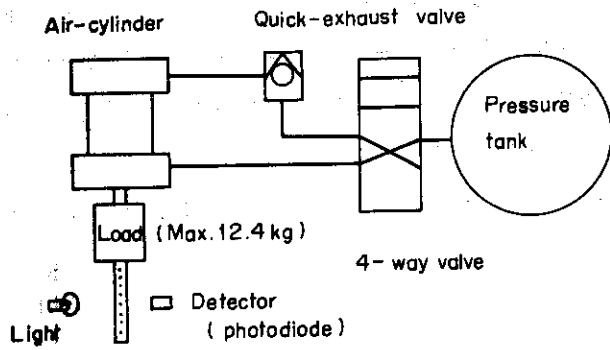


Fig.1 モデル実験の概略図

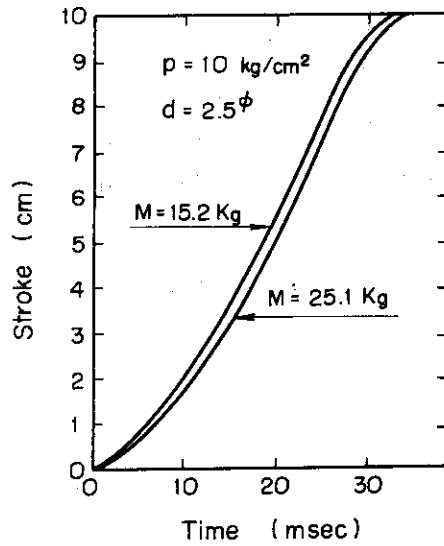


Fig.2 ピストン移動距離の時間依存曲線

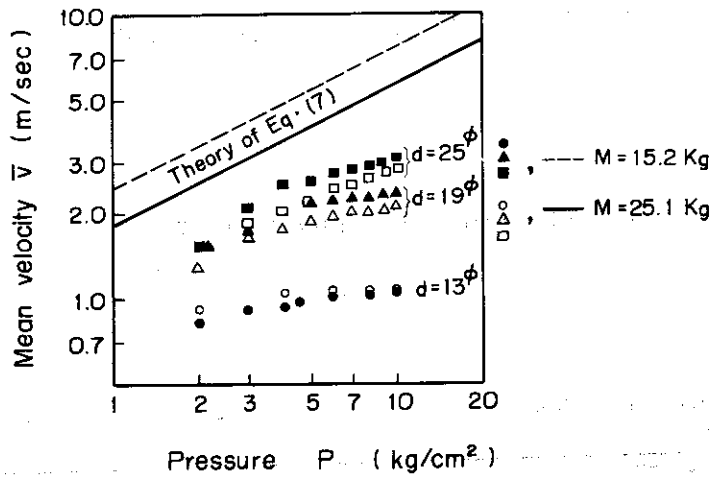


Fig.3 ストローク 10 cm の平均速度

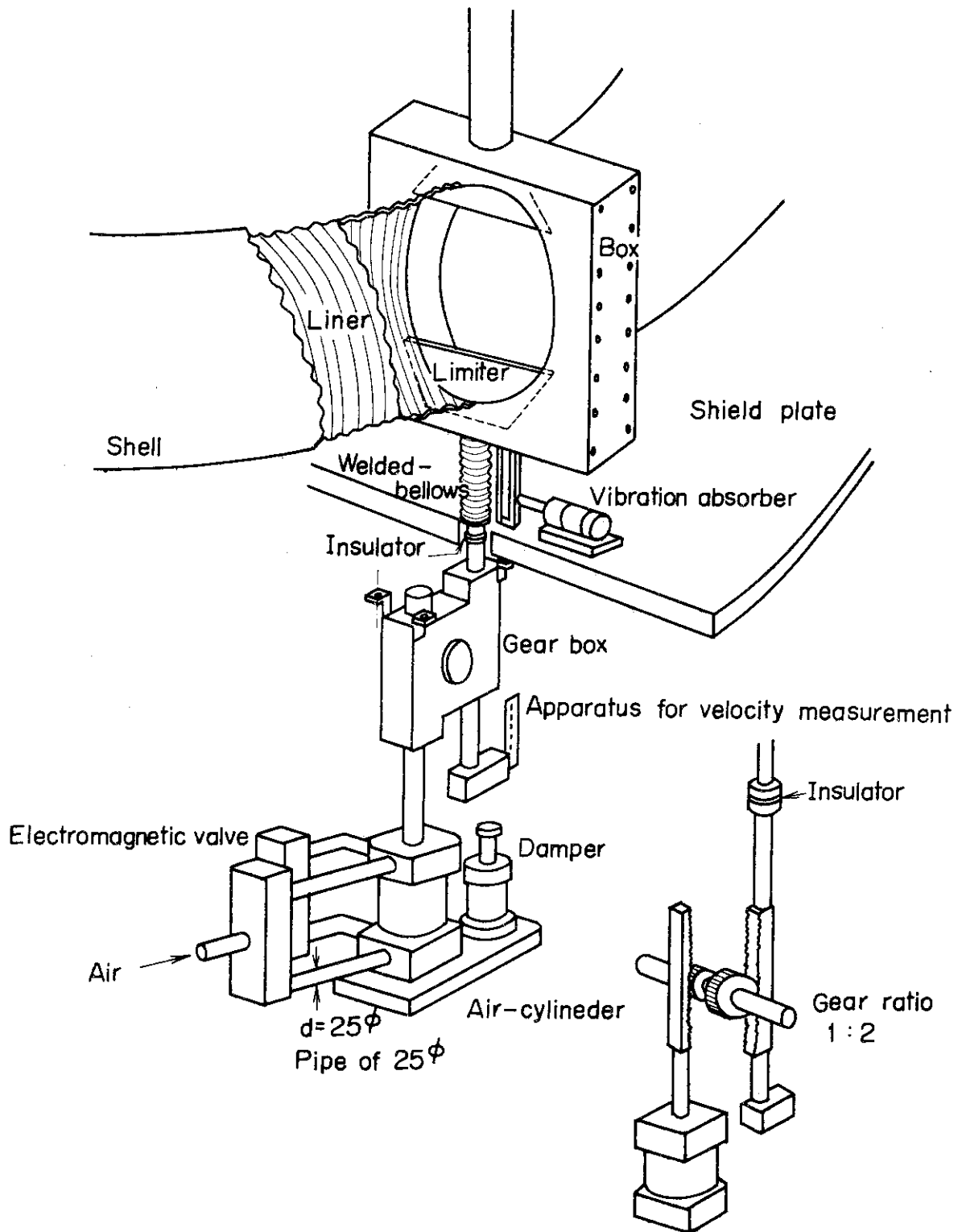


Fig.4 ダイナミックリミター駆動装置





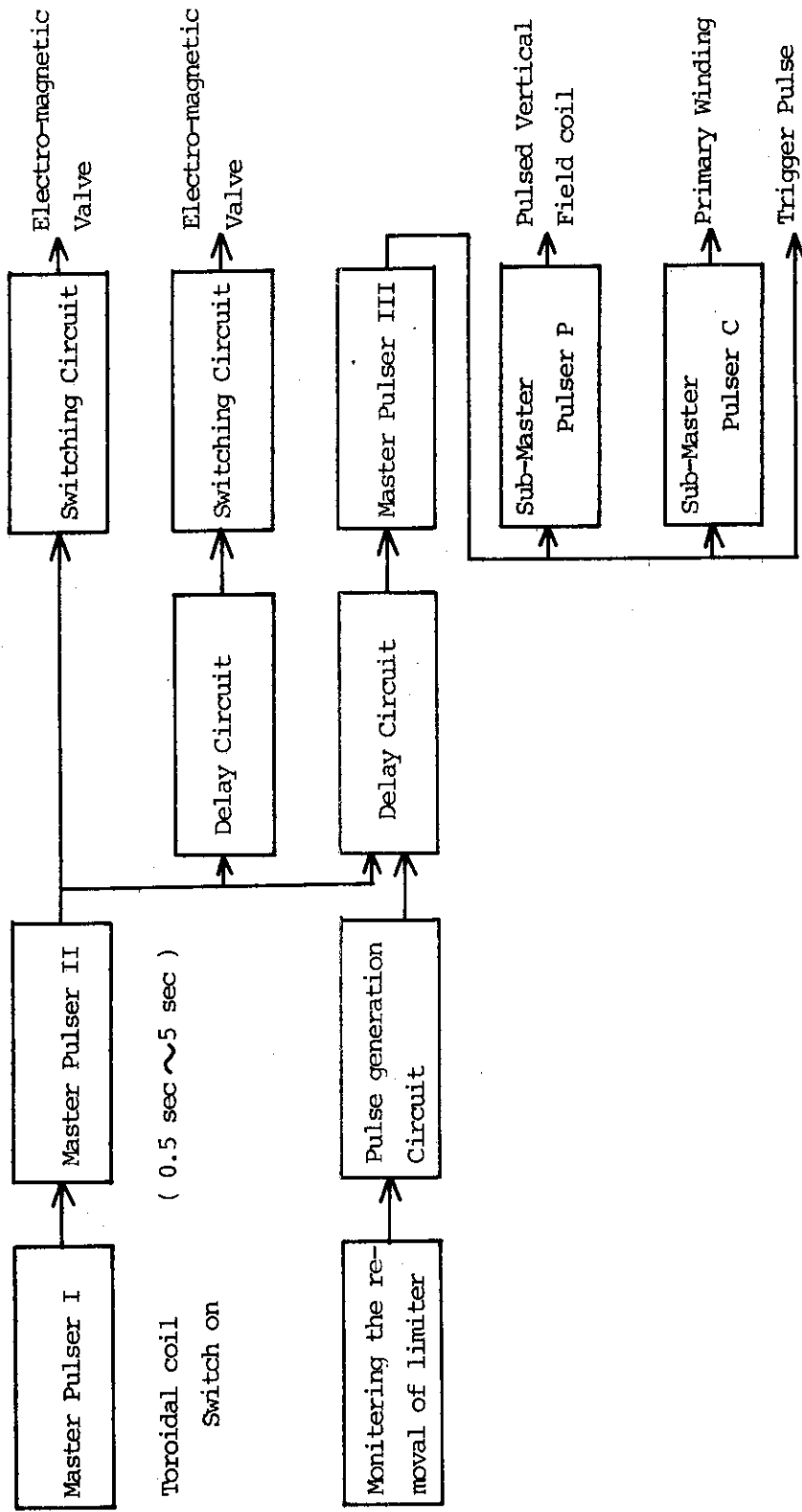


Fig. 6 ダイナミックリミター駆動装置の制御回路

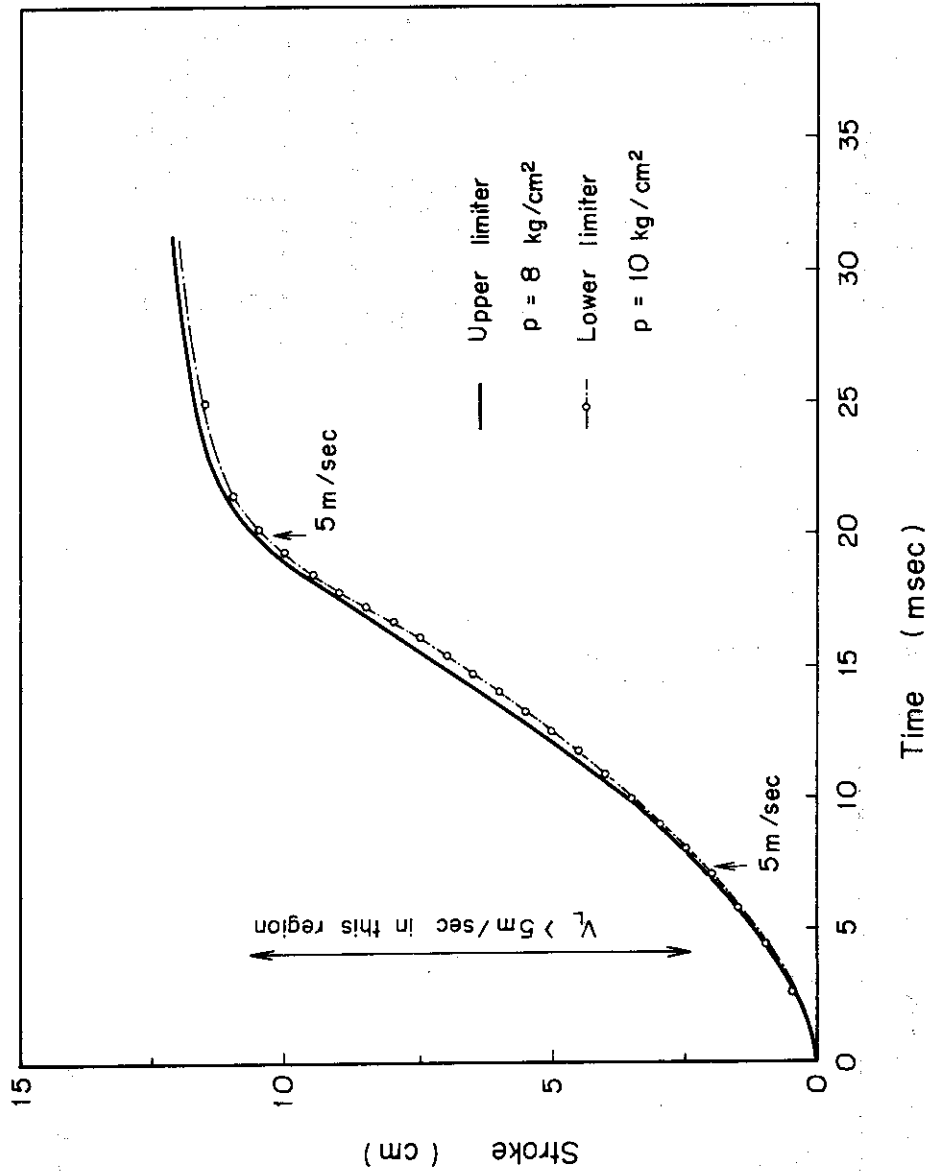


Fig.7 リミター位置対時間曲線

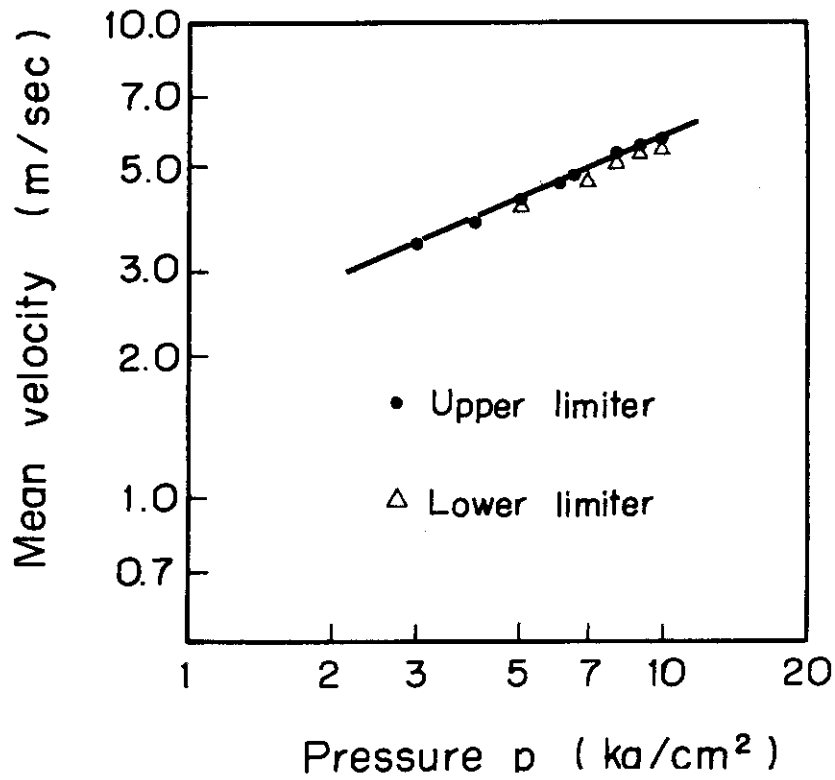


Fig.8 ストローク10 cmの平均速度

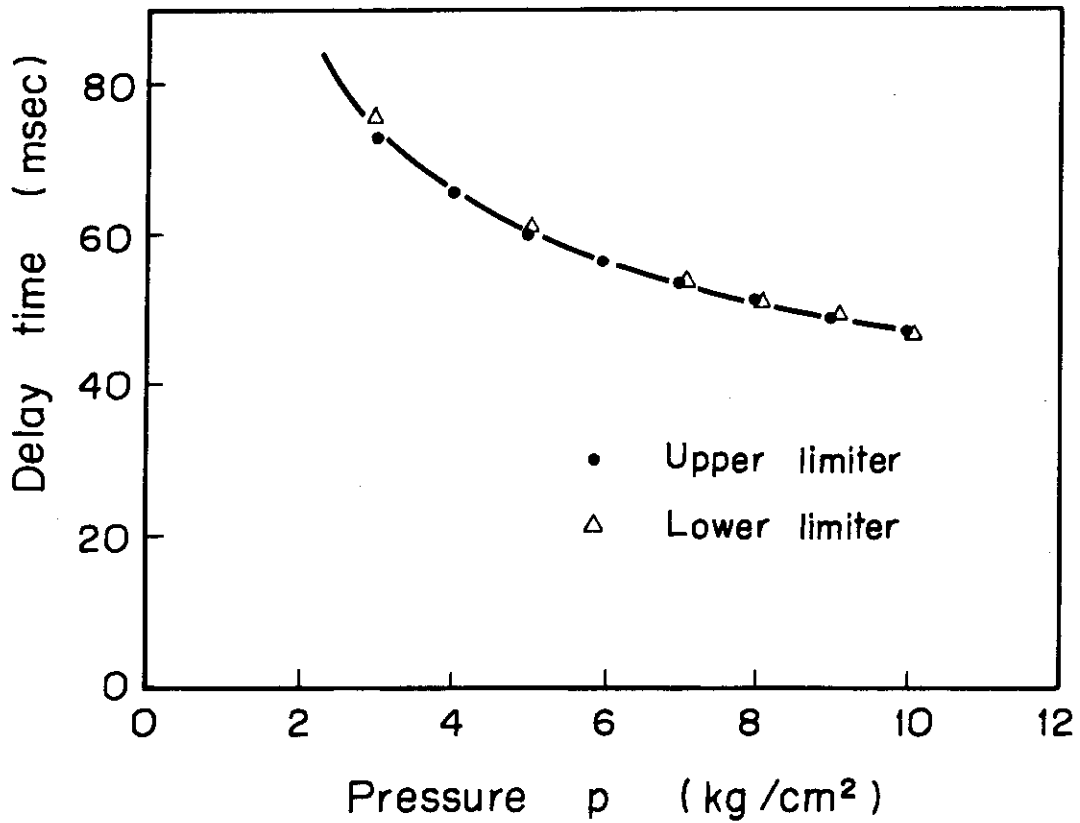


Fig.9 電磁弁の作動時からのリミターの作動遅れ時間

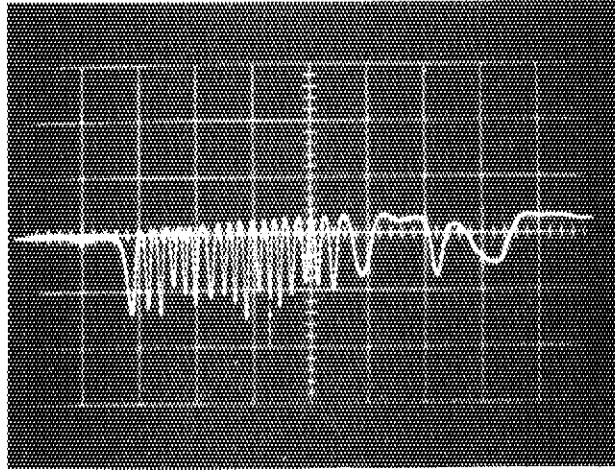


Photo.1  $P=10 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $M_{\text{total}}=25.1 \text{ Kg}$ ,  $d=13 \phi$  のときの  
 フォトトランジスター信号 (1 div = 20 msec)

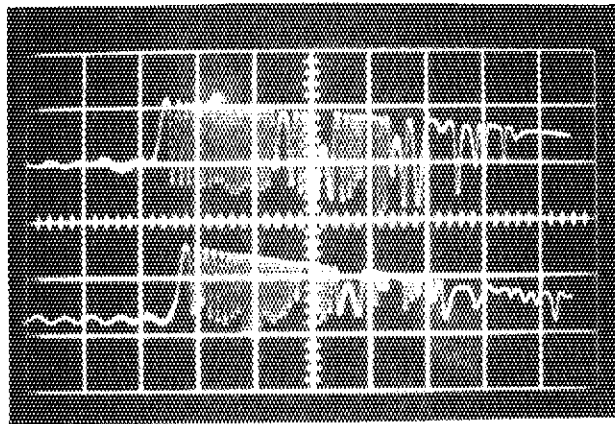


Photo.2  $M_{\text{total}}=25.1 \text{ Kg}$ ,  $d=19 \phi$  のときのフォトトランジスター  
 信号。上側は  $P=10 \text{ Kg/cm}^2$ , 下側は  $P=9 \text{ Kg/cm}^2$   
 (1 div = 20 msec)

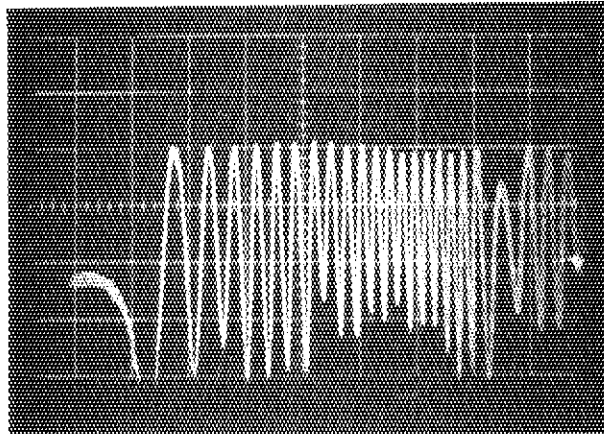


Photo.3  $P=10 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $M_{\text{total}}=25.1 \text{ Kg}$ ,  $d=25 \phi$  のときの  
 フォトトランジスター信号 (1 div = 5 msec)

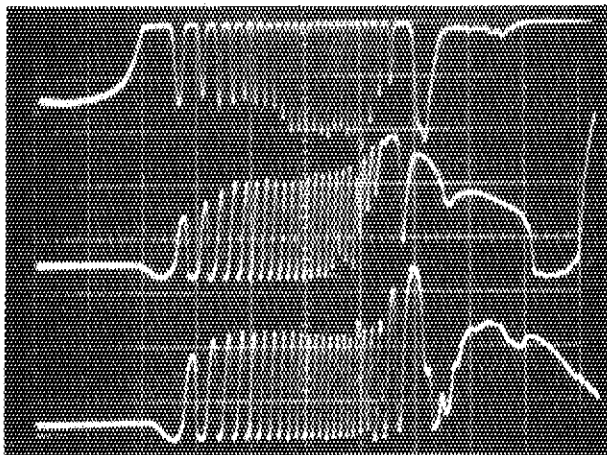


Photo.4 (i)上段、レーザー光による上側リミターの測定結果  
 (ii)中段、電球光による上側リミター測定結果  
 (iii)下段、電球光による下側リミターの測定結果  
 上側リミターの空圧  $8 \text{ Kg/cm}^2$ 、下側リミターの空圧  $10 \text{ Kg/cm}^2$   
 (1 div. = 5 msec)

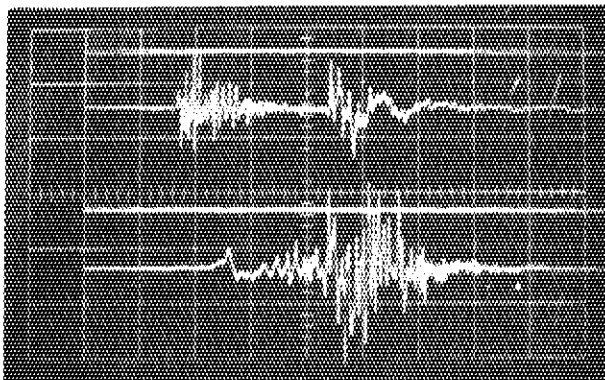


Photo.5 上側リミターの振動波形  
 (i)上段 エアシリンダー取付板 (ii)下段 シールド板  
 空圧  $10 \text{ Kg/cm}^2$  (1 div. = 10 msec)

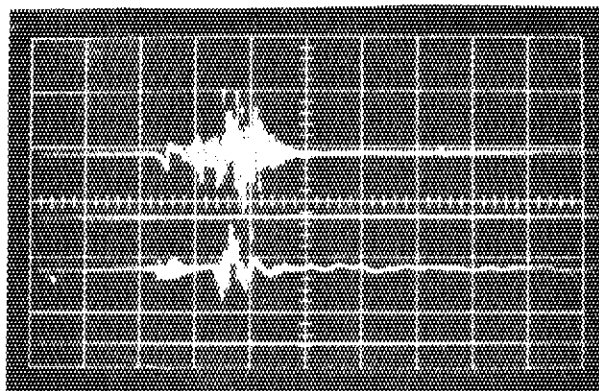


Photo.6 下側リミターの振動波形  
 (i)上段 シールド板, (ii)下段 エアシリンダー取付板  
 空圧  $10 \text{ Kg/cm}^2$  (1 div. = 20 msec)