

JAERI-M  
87-202

燃料棒直径測定技術の開発（I）  
— 駆動装置の試作及び性能評価 —

1987年11月

大島 邦男・新見 素二・伊藤 昇・安藤 弘栄  
桜井 文雄\*・小山田六郎

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1987

---

編集兼発行	日本原子力研究所
印刷	日立高速印刷株式会社

燃料棒直径測定技術の開発(I)  
- 駆動装置の試作及び性能評価 -

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部  
大島 邦男・新見 素二・伊藤 昇<sup>+</sup>・安藤 弘栄  
桜井 文雄<sup>\*</sup>・小山田六郎

(1987年11月16日受理)

軽水炉燃料の安全性研究では、燃料の健全性を確保するために種々の技術開発が進められている。特に、軽水炉の経済性向上をめざした高性能化や高燃焼度化への関心が高まってきた。JMT Rでは上記の開発を進めるための照射実験法の開発の一環として、負荷追従運転時あるいは高燃焼時の燃料棒の照射挙動を把握するために必要となる燃料棒直径測定技術の開発を行った。燃料棒直径測定のための装置は、燃料棒の直径を測定する直径測定器、燃料棒の軸方向位置を検出する位置検出器および直径測定器を移動する駆動装置から構成される。これらの内、駆動装置は、軽水炉の冷却水と同様の圧力および温度条件下で燃料棒の直径測定に影響を与えることのないスムーズな動きと一定の駆動速度が要求される。このため、駆動装置として、水力シリンダー方式とした装置を試作し、性能試験を実施した。この結果、駆動範囲600 mmでスムーズな駆動を得た。

本報告書は、上記の駆動装置の試作とその性能試験結果についてまとめたものである。

Developments on Fuel Rod Diameter Measuring Technique (I)  
— Trial Fabrication of Driving Device  
and it's Property Valuations —

Kunio OHSHIMA, Motoji NIIMI, Noboru ITO<sup>+</sup>  
Hiroei ANDOU, Fumio SAKURAI\* and Rokurou OYAMADA

Department of JMTR Project  
Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 16, 1987)

As to the study on the safety of the LWR fuels, various technologies have been developing to assure the integrity of the LWR fuels. Especially, high performance fuels and extended-burnup fuels have become a matter of great concern from the viewpoint of economy.

As a part of the developments on the method of irradiation experiments, the development of fuel rod diameter measuring techniques have been performed to study the fuel behavior at load following or high burnup. Experiment facilities consist of a diameter detector for measuring fuel rod diameter, a position indicator for detecting the axial position of fuel rods, and a driving device for moving the diameter detector, the driving device are required a smooth movement and a constant speed without change of experiments conditions, that the diameter of fuel rod have to be measured under same conditions with LWR coolant pressure and temperature.

Therefore, a hydraulic piston was trialily fabricated as a device of hydraulic piston type and was driving device and system performance tests was executed.

---

+ Department of Reactor Safety Research, Tokai Research  
Establishment

\* Neuclear Energy Data Center

Consequently, it driven smoothly in drive ranges from 0 to 600mm.

The present report describes results of the trial fabrication of driving device and system performance tests.

Keywords: LWR Fuels, Extend Burnup Fuel, Diameter Measuring,  
Load Following, Diameter Detector, Fuel Lod, Driving  
Device Hydraulic Piston

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. 燃料棒直径測定装置の概要 .....	2
3. 駆動装置 .....	3
3.1 機器の仕様 .....	4
3.2 設計製作のための検討事項 .....	5
4. 駆動装置の性能試験 .....	7
4.1 水力ピストンの摩擦抵抗測定試験 .....	7
4.2 高圧ポンプによる水力ピストン駆動試験 .....	7
4.3 窒素ガス差圧による水力ピストン駆動試験 .....	8
4.4 水力ピストンのシリンダー部温度特性試験 .....	9
5. 結 論 .....	10
謝 辞 .....	10
参考文献 .....	11

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Fuel rod diameter measuring device .....	2
3. Driving device .....	3
3.1 Specification .....	4
3.2 Design and fabrication .....	5
4. Performance test of driving device .....	7
4.1 Frictional resistance test of piston and O-ring .....	7
4.2 Driving test of hydraulic piston by high pressure pump .....	7
4.3 Driving test of hydraulic piston by nitrogen gas under differential pressure 10 kg/cm <sup>2</sup> .....	8
4.4 Temperature measuring tests in hydraulic piston cylinder .....	9
5. Conclusion .....	10
Acknowledgments .....	10
References .....	11

## 表 一 覧

第 1 表	OWL-2 照射設備の性能 .....	1 3
第 2 表	駆動方式の選定 .....	1 4
第 3 表	駆動試験データ .....	1 5

## 図 一 覧

第 1 図	OWL-2 の炉内管構造 .....	1 6
第 2 図	OWL-2 のフローシート .....	1 7
第 3 図	燃料棒直径測定装置 .....	1 8
第 4 図	直径測定器 .....	1 9
第 5 図	燃料棒位置検出器 .....	2 0
第 6 図	駆動装置（水力シリンダー方式） .....	2 1
第 7 図	駆動装置（キャンドモータ駆動方式） .....	2 2
第 8 図	駆動装置（水車駆動方式） .....	2 3
第 9 図	駆動装置（電動機駆動方式） .....	2 4
第10図	駆動装置（油圧駆動方式） .....	2 5
第11図	駆動装置（外部遠隔駆動方式） .....	2 6
第12図	水力シリンダー構造図 .....	2 7
第13図	駆動装置フローシート .....	2 8
第14図	水力ピストンのマグネット埋込構造 .....	2 9
第15図	水力ピストン用位置検出器の概略構造 .....	3 0
第16図	水力ピストン用位置検出器のブロック図 .....	3 1
第17図	水力ピストンの駆動流量と駆動速度 .....	3 2
第18図	高圧ポンプによる水力ピストンの移動 .....	3 2
第19図	高圧ポンプのストロークと駆動開始所要時間 .....	3 3
第20図	窒素ガス差圧による水力ピストンの移動 .....	3 3
第21図	型駆動装置の改良（フローシート） .....	3 4
第22図	水力ピストン用位置検出器の耐熱試験装置 .....	3 5
第23図	水力ピストン用位置検出器の温度分布 .....	3 6



## List of Tables

- Table 1 Performance of OWL-2 facilities  
Table 2 Selection of driving device methods  
Table 3 Driving test data

## List of Figures

- Fig.1 Structure of OWL-2  
Fig.2 Flow sheet of OWL-2  
Fig.3 Fuel rod diameter measuring device  
Fig.4 Diameter detector  
Fig.5 Position indicator  
Fig.6 Driving device (Hydraulic piston type)  
Fig.7 Driving device (Canned moter type)  
Fig.8 Driving device (Water wheel type)  
Fig.9 Driving device (Electromoter type)  
Fig.10 Driving device (Oil pressure type)  
Fig.11 Driving device (Remote-control type)  
Fig.12 Structure of hydraulic piston  
Fig.13 Flow sheet of driving device  
Fig.14 Structure of piston magnets  
Fig.15 Outline structure of position indicator for piston  
Fig.16 Block diagram of position indicator for piston  
Fig.17 Relation between driving flow rate and driving speed of piston  
Fig.18 Data from piston indicator by high pressure pump  
Fig.19 Data from piston indicator by differential pressure gas  
Fig.20 Experiment of heat proof in position indicator  
Fig.21 Temperature distribution of position indicater  
Fig.22 Flow sheet of drive system in advance type  
Fig.23 Distribution of drive system for piston indicater

## 1. 序 論

軽水炉燃料の安全性研究では、燃料の健全性を確保するために種々の技術開発が進められている。特に、軽水炉の経済性向上をめざした高性能化や高燃焼度化への関心が高まってきている。すなわち前者はP C I破損対策を施して、炉のならし運転を不要にし、かつ自由な負荷追従運転を可能にする高性能燃料開発の要求であり、後者は燃料の高燃焼度化を図り、燃料費を低減するための炉の長期サイクル運転と共に設備利用率を向上させる高燃焼度化の開発要求である。

J M T R<sup>(1)(2)</sup>では、上記の開発を進めるための照射実験法の開発として、燃料中心温度測定技術<sup>(3)~(13)</sup>、燃料棒直径測定技術<sup>(18)~(20)</sup>及びF Pガス圧力計の再計装技術開発<sup>(14)~(17)</sup>を行ってきた。前者は終了しており、現在再計装技術開発を行っている。これらの技術開発の内、燃料棒直径測定技術開発では、照射中の燃料棒の直径変化を調べることにより、負荷追従運転時、あるいは高燃焼時の燃料棒の照射挙動を調べることが目的としている。特に燃料棒のP C I破損機構の解明には、その燃料棒の照射中における直径を測定することが非常に有効である。すなわち、照射中の燃料棒に発生している周方向の応力はP C I破損に深く関与していることから、燃料棒の直径偏位を求めることによって被覆管に生じている周応力を知ることができる。

この技術開発のためには、燃料棒の直径を測定する直径測定器、燃料棒の軸方向位置を検出する位置検出器及び直径測定器を移動するための駆動装置を組込んだ燃料棒直径測定装置の開発が必要となる。これらの内、駆動装置は、軽水炉冷却水の圧力及び温度条件下での直径測定精度に悪影響を与えることのないスムーズな動きと一定の駆動速度が要求される。駆動装置の開発では、まず種々の駆動方式について検討し、水力シリンダー方式を採用した。そしてその方式による駆動装置を試作し、性能試験を実施した。この結果、600mmの駆動範囲においてスムーズな駆動を得た。

本報告書は、上記の駆動装置の試作とその性能試験結果についてまとめたものである。

## 2. 燃料棒直径測定装置の概要

JMTRの水ループOWL-2照射設備(以下OWL-2という)を使用することを想定して燃料棒直径測定技術の開発を行った。

OWL-2は炉内管の寸法および除熱能力が大きいので、燃料集合体をはじめ各種の燃材料の照射が可能であり、その炉心部は直径測定器を据付けて移動することができる十分なスペースを有している。OWL-2の炉内構造、フローシート及び性能を各々第1図、第2図及び第1表に示す。炉外燃料棒直径測定装置の概略構造を第3図に示す。本装置は主として直径測定器、位置検出器及び駆動装置からなる。JMTRの炉心の高さは750mmであり、この範囲内に燃料棒を据付け、直径測定器は燃料棒を挟んで移動できる位置に取付ける。燃料棒の直径測定位置を検出する位置検出器はその上部に据付ける。直径測定器を燃料棒に沿って移動させる水力ピストンはOWL-2の炉内管上部位置とし、水力ピストンの駆動系は炉の外側に置かれる。これらの機器は燃料棒と一体にして組込み、OWL-2炉内管の上部から挿入される。燃料棒直径測定装置の主な使用環境は以下のとおりである。

冷却水温度 …………… 270℃(沸騰水モード285℃)

冷却水圧力 …………… 7.3kg/cm<sup>2</sup>G

また、燃料棒直径測定装置の有すべき性能は以下の通りである。

直径測定範囲 …………… 1.25±0.3mm

位置測定範囲 …………… 0~600mm

駆動範囲 …………… 0~600mm

直径測定器の概略構造を第4図に示す。直径の測定方法は、燃料棒の直径変化をフィーラで検出し、フィーラと直結している磁性体のアーマチュアがクロススプリングを支点として直径変化に比例した動きをする。この動きをハウジングにコイルを巻いたトランスの二次側電圧出力として検出するものである。この方法は一般に差動トランス方式とよばれる。位置検出器の概略構造を第5図に示す。燃料棒の位置検出器は、磁性体で作られた中空のコイルボビンの内部を磁性体とを交互に規則正しく並べたコアアセンブリーが移動することによって、トランスの二次側で電気出力として検出するものである。この方法も、差動トランス方式を用いている。

### 3. 駆動装置

直径測定器を燃料棒に沿って上下方向に移動させる駆動装置は、軽水炉冷却水の圧力及び温度条件下で直径測定精度に悪影響を与えないスムーズな動きと駆動速度が要求される。

駆動装置が備えなければならない性能は次のとおりである。

- ① 軽水炉冷却水温度，圧力条件下で駆動できること。
- ② 600 mmの範囲で駆動できること。
- ③ 任意の位置で長期間停止できること。
- ④ 駆動による振動が少ないこと。
- ⑤ 繰返し使用に耐えること。
- ⑥ 保守が容易で故障しにくいこと。

また，駆動装置の駆動機構を決定するにあたり，以下の各駆動方式について検討した。それぞれの機構案を第6図～第11図に示す。

#### ① 水力シリンダー方式

ピストンの下部に駆動軸を取付け，炉外の駆動装置からの高圧水によりピストンを駆動する。

#### ② キャンドモーター駆動方式

キャンの中に内蔵されたモーターからの回転を減速ギヤにより減速して駆動軸に伝える。

#### ③ 水車駆動方式

水車の回転を減速ギヤにより減速して駆動軸に伝える。水車を回転させる水は炉外の給水装置から供給される。

#### ④ 電動機駆動方式

遊星減速機付きモーターの回転を駆動軸に伝える。また，駆動軸を回転させることなく上下に駆動させるためにネジ方式を採用している。

#### ⑤ 油圧駆動方式

油圧モーターの回転を駆動軸に伝える。また，駆動軸を回転させることなく上下に駆動させるためにネジ方式を採用している。油圧モーターを回転させるための油は炉外の給油装置から供給される。

#### ⑥ 外部遠隔駆動方式

炉外から伝達軸を回転し，この回転をユニバーサルジョイントを介してボールネジに伝える。また，駆動軸を回転させることなく上下に移動させるためにボールネジを用いている。

各方式の構造とその特徴を第2表に示す。

これらの方式を検討した結果，①の水力シリンダー方式を選定した。選定の主な理由は，必要とする性能をほぼ満足しているとともに，他の方式に比べて保守が容易で故障しにくいこと，油を使用していないので万一水漏れが生じて冷却水と同じ軽水を用いるので問題を生じないこと等があげられる。

以下に，水力シリンダー方式により製作した駆動装置の仕様及び性能試験結果について述べる。

### 3.1 機器の仕様

製作した水力シリンダー駆動装置の構造を第12図に、駆動系のフローシートを第13図に示す。水力ピストンは、OWL-2炉内管上部に取付け、シリンダ内へ純水を供給することによりピストンを上下させる。

駆動系は、シリンダ内へ純水を供給するための系で高圧ポンプ、加圧タンク、クッションタンク、操作弁、配管類などからなる。計測機器は、ピストンの位置を検出する位置検出計、シリンダ内の差圧を測定する差圧計、加圧タンクの水位計、流量計、圧力計などからなる。各部の仕様について以下に示す。

#### (1) 水力ピストン

水力ピストンは、シリンダとピストン及び駆動軸からなる。

- |              |       |                        |
|--------------|-------|------------------------|
| (1) 設計圧力     | ..... | 88kg/cm <sup>2</sup> G |
| (2) 最高使用圧力   | ..... | 73kg/cm <sup>2</sup> G |
| (3) 設計温度     | ..... | 150℃                   |
| (4) ピストン移動範囲 | ..... | 600mm                  |
| (5) ピストン移動速度 | ..... | 1~3mm/秒                |
| (6) 駆動軸      | ..... | 25mmφ×1192mm           |
| (7) 材質       | ..... | SUS316                 |
| (8) グランドパッキン | ..... | 角パッキン(バルフロン含浸石綿編)      |

#### (2) 高圧ポンプ

- |          |       |                          |
|----------|-------|--------------------------|
| (1) 形式   | ..... | 一連プランジャータイプ(ストロークカウンタ付き) |
| (2) 容量   | ..... | 0.532ℓ/分(可変)             |
| (3) 吐出圧力 | ..... | 100kg/cm <sup>2</sup>    |
| (4) モーター | ..... | 0.75kW(200V-50Hz)        |
| (5) 材質   | ..... | SUS316(接液部)              |

#### (3) 加圧タンク(クッションタンク)

- |            |       |                        |
|------------|-------|------------------------|
| (1) 設計圧力   | ..... | 88kg/cm <sup>2</sup> G |
| (2) 最高使用圧力 | ..... | 73kg/cm <sup>2</sup> G |
| (3) 設計温度   | ..... | 100℃                   |
| (4) 寸法     | ..... | φ190.9mm×695mm         |
| (5) 容量     | ..... | 20ℓ                    |
| (6) 材質     | ..... | SUS316                 |
| (7) 数量     | ..... | 2基                     |

#### (4) 弁配管類

- |          |       |          |        |
|----------|-------|----------|--------|
| (1) 弁    | ..... | 呼び径 8φ   | SUS316 |
| (2) 主要配管 | ..... | 径 φ8mm   | SUS316 |
| 継手       | ..... | スューズロック  | SUS    |
| ジョイント部   | ..... | クイックカップラ | SUS    |

## (5) 位置検出計

第14図に示すように、ピストンにスケール用マグネットを10mmごとにN極、S極を交互に埋め込み、スケールとしては磁器格子縞を目盛りとする。マグネットの錆び防止のため、露出部にはテフロンコーティングを施した。位置検出器の概略構造を第15図に示し、そのブロック線図を第16図に示す。検出ヘッドは、sin出力とcos出力のヘッドが各々20個一直線に並べてあり、ピストンが検出ヘッド上を移動することによりsin, cosの2相の直流電圧を生じるようになっている。この20mm4周期の出力をカウンター内で1/20に内挿し、結果として測定精度1mmの出力を得る。また、上限下限のリミットスイッチは、このカウンターによって設定することができる。

## (6) インターロック

水力ピストンのシリンダー部には、駆動範囲外の移動を防ぐため、以下のインターロックを備えている。

## (1) 機械的インターロック

0mmから600mmの範囲を越えた場合には、ピストンの移動を機械的に阻止する。

## (2) 加圧タンク圧力高インターロック

加圧タンクの圧力計の上限接点の設定値により、アラームおよび高圧ポンプを停止させる。

## (3) ピストン差圧インターロック

ピストンの差圧についての任意の設定値(10kg/cm<sup>2</sup>以下)でアラームおよび高圧ポンプを停止させる。

## (4) 駆動範囲設定インターロック

駆動範囲内で上限下限の任意の設定値でアラームおよび高圧ポンプを停止する。

## 3.2 設計製作のための検討事項

水力ピストンを設計製作するにあたり検討した事項は以下のとおりである。

## (1) 水力ピストンの放射能汚染防止

水力ピストンの駆動軸の一部は放射能で汚染されたOWL-2の冷却水中に挿入されるため、その駆動軸の表面に放射能汚染を生ずる。この汚染の水力シリンダー中への広がり、水力シリンダー下部のグランドパッキングで阻止する。

## (2) 水力ピストン駆動に必要な荷重の検討

水力ピストンに異常な圧力差が発生した場合、インターロックにより高圧ポンプを停止させる。そのため、水力ピストン系に生ずる通常時の差圧を次に検討した。水力ピストンが上下に移動を開始するまでに受ける抵抗は以下の通りである。

## (1) グランドパッキングの摩擦抵抗

バルフロン含浸石綿格子編み角パッキンを7本使用する。また、摩擦抵抗はパッキンの締付け程度によって以下のように変化する。

パッキンの摩擦抵抗 …… ±50～98kg(計算値)

- (2) 駆動軸のOリングの摩擦抵抗  
 バイトン製 25 mm  $\phi$  1個 ……………  $\pm 7$  kg (実測値)
- (3) ピストンのOリングの摩擦抵抗  
 バイトン製 60 mm  $\phi$  2個 ……………  $\pm 34$  kg (計算値)
- (4) 配管抵抗  
 主要配管 内径 6 mm  $\phi \times 40$  m  
 圧力損失 ……………  $0.1$  kg/cm<sup>2</sup> (計算値)
- (5) ピストンおよび駆動軸の重量  
 ピストンの自重 ……………  $+10$  kg  
 駆動軸の自重 ……………  $+20$  kg
- (6) OWL-2 冷却水が圧力  $73$  kg/cm<sup>2</sup>G で駆動軸を押し上げる荷重  
 ……………  $-359$  kg

(ただし、+は、下向き荷重、-は、上向き荷重を示す)

上の(6)で、ピストンと駆動軸の荷重  $30$  kg (駆動軸を下方に押すことになる)を考慮してピストンを下方向に常時  $329$  kg の荷重をかけておけば、OWL-2 の冷却水が駆動軸を押し上げる荷重とつり合ってOWL-2 冷却水の圧力を無視することができる。そのためには、ピストンの差圧を常時  $12$  kg/cm<sup>2</sup> にすればよい。

OWL-2 冷却水が駆動軸を押し上げる荷重を処理するもう一つの方法としては駆動系の圧力を  $73$  kg/cm<sup>2</sup>G に加圧しておく事が考えられる。

この結果、駆動する場合に必要な荷重は摩擦抵抗のみとなり、その荷重の値は  $89 \sim 139$  kg となる。また、この荷重をピストンで動かすのに必要な差圧はピストンの断面積から求めると約  $5$  kg/cm<sup>2</sup> となる。

### (3) ピストンの回転防止

ピストン中には、マグネットを埋込んでピストンの位置検出の役目をさせている。そのマグネットは一方向だけしか取付けられていないので、ピストンが回転した場合には位置の検出が不可能になることが考えられる。そこでマグネットの横幅を  $25$  mm とする事によって、僅かな角度のずれが生じた場合でも位置の検出ができるようにした。また、ピストンの大きな角度のずれはグランドパッキンやOリングの摩擦抵抗に阻止されるために生じないと考えられ、かつピストンの内部に回転防止機構を組入れることが困難であったため、回転防止は、ピストン以外の部分で行うことにした。

## 4. 駆動装置の性能試験

水力ピストンがスムーズに駆動する条件を見出すために、まず、ピストンのグランドパッキンおよびOリングの摩擦抵抗値の測定を実施し、次にピストン駆動系を $6.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ に加圧し、高圧ポンプで水力ピストンを駆動した場合と、ピストン駆動系を $6.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ に加圧し、加圧タンクとクッションタンクとの間に窒素ガスの差圧を $1.0 \text{ kg/cm}^2$ 与えてピストンを駆動する場合とについて駆動試験を実施した。

### 4.1 水力ピストンの摩擦抵抗測定試験

#### (1) 試験方法

OWL-2の炉内管相当部を大気圧とし、ピストンに差圧を与えてピストンが動き出す差圧を求めた。

#### (2) 試験結果

- ① ピストンを上昇させる場合は、 $3.9 \text{ kg/cm}^2$ の差圧で駆動を開始した。
- ② ピストンを下降させる場合は、ピストンと駆動軸の自重のみで駆動した。

#### (3) 検 討

ピストンおよびOリングの摩擦抵抗の予測値は、ピストンと駆動軸の自重を考慮しない場合でも $8.9 \sim 13.5 \text{ kg}$ であった。この荷重を受けてピストンを駆動するのに必要な差圧は $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ と推定された。しかし、試験の結果ではピストンを上昇させる場合には実測値の差圧 $3.9 \text{ kg/cm}^2$ から求めると $9.0 \text{ kg}$ の荷重となり、ピストンと駆動軸との自重 $3.0 \text{ kg}$ を差引いた $6.0 \text{ kg}$ が摩擦抵抗値となった。一方、ピストンを下降させた場合は自重で駆動した事から、 $3.0 \text{ kg}$ 以下の摩擦抵抗値であった。

### 4.2 高圧ポンプによる水力ピストン駆動試験

高圧ポンプからピストンに水を送り込み、この水量を流調弁でコントロールすることにより駆動速度を一定に保つ方法である。

#### (1) 試験方法

- ① 全系を $6.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ に加圧する。
- ② 弁操作手順によりピストンを駆動する。

また、実験パラメータは以下の通りである。

- ① 加圧タンクとクッションタンクの水位
- ② ポンプのストローク
- ③ バイパス経路の流調弁(V-10)の開度
- ④ 加圧タンクとクッションタンクの差圧



## (2) 試験結果

高圧ポンプのストロークを調節するとともに流調弁で流量を変化させた。この結果を第17図に示す。図から流量と駆動速度とは比例関係にあることが分った。

次に高圧ポンプのストロークを100%とし、流量を3~3.5cc/秒とした時に、駆動スピードはやや安定したが高圧ポンプによる脈動の影響が僅かに現れた。このデータを第18図に示す。図で、横軸はチャートスピードを示し、縦軸は、ピストンの位置を示す。上の図は、ピストンを下から上に移動した場合を示し、下の図はピストンを上から下に移動した場合を示す。この場合は流量の調節が難しいために僅かに直線性が失われていることがわかる。各種の試験で得た結果を第3表に示し、その検討結果を以下に示す。

- ① ピストンの速度はクッションタンク中の水位には影響されない。
- ② ポンプ出口のクッションタンクが無い場合にはピストンの脈動が大きい。
- ③ ポンプ入口の高圧タンクが無い場合にはピストンの脈動が大きい。
- ④ ポンプのストロークを変化させてもピストンの速度は一定しない。
- ⑤ 加圧タンクとクッションタンクに差圧を与えた場合はピストンの速度はやや安定した。
- ⑥ 流量を小さくしてピストンの速度を遅くした場合はピストンの速度がより安定した。
- ⑦ 高圧ポンプを始動してからピストンを動かし始めるには、加圧タンクとクッションタンクとに約4 kg/cm<sup>2</sup>の差圧が必要であり、この差圧に到達するまでには第19図に示す様に、高圧ポンプのストロークが100%のときでも約3分間のタイムラグが必要になる。
- ⑧ 0~600mmのピストンの駆動による加圧タンク水位の変化は60mmであり、この水位変化に伴う水の移動は約1.7リットルであった。

## (3) 検 討

- ① 高圧ポンプによる現在の駆動系でピストンの脈動を防ぐことは難しい。
- ② クッションタンクは高圧ポンプの脈動を吸収できない。
- ③ 加圧タンクとクッションタンクに差圧を設ければピストンの脈動を少なくすることができる。
- ④ ピストン出入口弁(V-2, V-3)を流調弁にすれば加圧タンクとクッションタンクに差圧を設けやすく操作し易くなる。
- ⑤ ピストンが駆動を始めるまでには高圧ポンプを駆動してから少なくとも3分を必要とする。
- ⑥ ピストンの駆動による加圧タンク水位の変化は60mmであり、この水位変化に伴う水の移動は約1.7リットルである。

## 4.3 窒素ガス差圧による水力ピストン駆動試験

駆動装置において、加圧タンクおよびクッションタンクを窒素ガスで加圧し、高圧ポンプを用いずに加圧タンクとクッションタンクとの差圧によりピストンの駆動試験を行った。

## (1) 試験方法

- ① 高圧タンクとクッションタンクの水位を40%にする。
- ② 駆動系を10 kg/cm<sup>2</sup>Gに加圧する。
- ③ クッションタンクのガス圧力を20 kg/cm<sup>2</sup>とし、高圧タンクとの差圧を10 kg/cm<sup>2</sup>に設定する。
- ④ 弁(V-2, V-3)の流量調節操作によりピストンを駆動する。

## (2) 試験結果

試験では、ピストンの出入口の流量を2~10 cc/秒まで変化させて駆動試験を実施した。ここの結果、脈動の無いスムーズな駆動が得られた。一例として、流量を4 cc/秒とした場合のデータを第20図に示す。図で横軸はチャートスピードを示し、縦軸はピストンの位置を示す。左図はピストンを下から上に駆動した場合を示し、右図はピストンを上から下に駆動した場合を示す。駆動中には流量調節を殆ど行う必要がなかった。

主な試験結果を以下に示す。

- ① ピストンの速度は流量1~10 cc/秒のとき0.5~3 mm/sが得られた。また、本駆動装置の最大流量は駆動速度データから20 cc/秒であった。
- ② 加圧タンクとクッションタンクとの差圧が5 kg/cm<sup>2</sup>以下になると駆動速度の低下が現れ始める。
- ③ ピストンの出入口弁を開くとピストンは直ちに駆動する。
- ④ ピストンの脈動は全く見られない。
- ⑤ 流量が10 cc/秒をこえても一定の駆動速度が得られた。

## (3) 検 討

加圧タンクとクッションタンクとに差圧を与える場合には以下のことがいえる。

- ① 各タンクの容量は、現状の20リットルがよい。
- ② 差圧を5 kg/cm<sup>2</sup>以上にすると水力ピストンのスムーズな駆動が得られる。  
(ただし、OWL-2冷却水から73 kg/cm<sup>2</sup>Gの圧力をうけの場合には、更に12 kg/cm<sup>2</sup>の差圧を加える必要がある。)
- ③ 流調弁を開くと同時にピストンを駆動することができる。
- ④ 流量に比較した安定した駆動速度が得られる。

このガス差圧方式を用いる場合に考えられる駆動系のフローシートを第21図に示す。この図は2個の加圧タンクと窒素ポンプおよび弁、配管等からなり、今回の試験に用いた駆動装置をより簡便化した装置になる。

## 4.4 水力ピストンのシリンダー部温度特性試験

水力ピストンの位置検出には磁気スケールを用いているが、この磁気スケールの耐熱温度は60℃である。一方、水力ピストンのシリンダー部の設計温度はOWL-2炉内管上部の水温と同じ150℃となっている。位置検出器は水力ピストンのシリンダーの側面に1mmのギャップをもたせて取り付け、このときの位置検出器の温度測定試験を行った。

水力ピストンのシリンダー部温度測定試験装置の概略を第22図に示す。水力ピストンの下部に小形のタンクを設け、その隣に小形のタンクの熱容量を補うために大きなタンクを設けた。また、お互いのタンクは、2本の配管で結合し、各タンクは下部からヒーターで加熱した。

(1) 試験方法

第22図に示すように水力ピストンの内部に室温の水を満たし、水力ピストン下部を150℃および167℃の温水に浸した。シリンダーの外壁は実際には水中に置かれるが実験では大気中で実施した。また、位置検出器の下端は水力ピストンの下部フランジの上端から80mmの位置に位置検出器の模擬板を取付けて模擬板の各部の温度を測定した。

(2) 試験結果及び検討

試験結果を第23図に示す。図では横軸は温度の測定値を示し、縦軸は水力ピストンからの距離を示す。

この結果、OWL-2炉内管中の151℃の温水による位置検出器の最高温度は60℃であり、位置検出器の耐熱性は問題ない。実際には位置検出器が常温水中に置かれるのでトラブルは生じないと思われる。

## 5. 結 論

試験の結果から駆動装置について以下の結論を得た。

- (1) 燃料棒直径測定装置に用いる駆動装置には、水力ピストン方式が使用できる。
- (2) 水力ピストン方式では高圧ポンプを用いるよりも、ガス差圧によって駆動する方式の方がより安定した駆動速度が得られる。
- (3) OWL-2（冷却水の温度285℃）で使用した場合でも水力シリンダーの位置検出器の性能を劣化させる事はない。

## 謝 辞

燃料棒直径測定の技術開発は、直径測定技術開発グループによってなされたものである。上記のグループのメンバーであった企画室 中田 宏勝氏および照射第1課 石井 忠彦氏に深く感謝いたします。また、この技術開発に関して原子炉計測研究室 荒 克之氏および原子力船技術部の石塚 信氏には、参考となる多くの助言を戴きました。さらに、本報告書をまとめるにあたって御指導戴いた材料試験炉部次長 山本 章氏および計画課長 齊藤 実氏、元計画課核技術係長 須藤 高史氏、計画課 河村 弘氏の各氏に深く感謝の意を表します。

水力ピストンのシリンダー部温度測定試験装置の概略を第22図に示す。水力ピストンの下部に小形のタンクを設け、その隣に小形のタンクの熱容量を補うために大きなタンクを設けた。また、お互いのタンクは、2本の配管で結合し、各タンクは下部からヒーターで加熱した。

(1) 試験方法

第22図に示すように水力ピストンの内部に室温の水を満たし、水力ピストン下部を150℃および167℃の温水に浸した。シリンダーの外壁は実際には水中に置かれるが実験では大気中で実施した。また、位置検出器の下端は水力ピストンの下部フランジの上端から80mmの位置に位置検出器の模擬板を取付けて模擬板の各部の温度を測定した。

(2) 試験結果及び検討

試験結果を第23図に示す。図では横軸は温度の測定値を示し、縦軸は水力ピストンからの距離を示す。

この結果、OWL-2炉内管中の151℃の温水による位置検出器の最高温度は60℃であり、位置検出器の耐熱性は問題ない。実際には位置検出器が常温水中に置かれるのでトラブルは生じないと思われる。

## 5. 結 論

試験の結果から駆動装置について以下の結論を得た。

- (1) 燃料棒直径測定装置に用いる駆動装置には、水力ピストン方式が使用できる。
- (2) 水力ピストン方式では高圧ポンプを用いるよりも、ガス差圧によって駆動する方式の方がより安定した駆動速度が得られる。
- (3) OWL-2（冷却水の温度285℃）で使用した場合でも水力シリンダーの位置検出器の性能を劣化させる事はない。

## 謝 辞

燃料棒直径測定の技術開発は、直径測定技術開発グループによってなされたものである。上記のグループのメンバーであった企画室 中田 宏勝氏および照射第1課 石井 忠彦氏に深く感謝いたします。また、この技術開発に関して原子炉計測研究室 荒 克之氏および原子力船技術部の石塚 信氏には、参考となる多くの助言を戴きました。さらに、本報告書をまとめるにあたって御指導戴いた材料試験炉部次長 山本 章氏および計画課長 齊藤 実氏、元計画課核技術係長 須藤 高史氏、計画課 河村 弘氏の各氏に深く感謝の意を表します。

水力ピストンのシリンダー部温度測定試験装置の概略を第22図に示す。水力ピストンの下部に小形のタンクを設け、その隣に小形のタンクの熱容量を補うために大きなタンクを設けた。また、お互いのタンクは、2本の配管で結合し、各タンクは下部からヒーターで加熱した。

#### (1) 試験方法

第22図に示すように水力ピストンの内部に室温の水を満たし、水力ピストン下部を150℃および167℃の温水に浸した。シリンダーの外壁は実際には水中に置かれるが実験では大気中で実施した。また、位置検出器の下端は水力ピストンの下部フランジの上端から80mmの位置に位置検出器の模擬板を取付けて模擬板の各部の温度を測定した。

#### (2) 試験結果及び検討

試験結果を第23図に示す。図では横軸は温度の測定値を示し、縦軸は水力ピストンからの距離を示す。

この結果、OWL-2炉内管中の151℃の温水による位置検出器の最高温度は60℃であり、位置検出器の耐熱性は問題ない。実際には位置検出器が常温水中に置かれるのでトラブルは生じないと思われる。

## 5. 結 論

試験の結果から駆動装置について以下の結論を得た。

- (1) 燃料棒直径測定装置に用いる駆動装置には、水力ピストン方式が使用できる。
- (2) 水力ピストン方式では高圧ポンプを用いるよりも、ガス差圧によって駆動する方式の方がより安定した駆動速度が得られる。
- (3) OWL-2（冷却水の温度285℃）で使用した場合でも水力シリンダーの位置検出器の性能を劣化させる事はない。

## 謝 辞

燃料棒直径測定の技術開発は、直径測定技術開発グループによってなされたものである。上記のグループのメンバーであった企画室 中田 宏勝氏および照射第1課 石井 忠彦氏に深く感謝いたします。また、この技術開発に関して原子炉計測研究室 荒 克之氏および原子力船技術部の石塚 信氏には、参考となる多くの助言を戴きました。さらに、本報告書をまとめるにあたって御指導戴いた材料試験炉部次長 山本 章氏および計画課長 齊藤 実氏、元計画課核技術係長 須藤 高史氏、計画課 河村 弘氏の各氏に深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 材料試験炉部編；JAERI-M 83-053, "JMTRハンドブック", (1983)
- 2) 中田宏勝, 瀬崎勝二, 佐藤雅幸；"材料試験炉(JMTR)における照射技術の現状", 日本原子力学会誌, 28, 307(1986)
- 3) 中島照夫, 松原邦彦, 他；JAERI-M 9600, "JMTRにおける燃料中心温度測定実験(I) —第1次燃料(77LF-33J)の設計と製作—", (1981)
- 4) 安藤弘栄, 河村弘, 他；JAERI-M 9202, "JMTRにおける燃料中心温度測定実験(II) —第1次燃料試料の実験解析—", (1980)
- 5) 酒井陽之, 中倉優一, 他；JAERI-M 82-034, "JMTRにおける燃料中心温度測定実験(III), —第1次燃料の照射後試験—" (1982)
- 6) 安藤弘栄, 松原邦彦, 他；JAERI-M 83-0031 "燃料中心温度測定実験, —第1次試料—(77LF-33J)", (1983)
- 7) 安藤弘栄, 河村弘, 他；JAERI-M 82-020, "JMTRにおける燃料中心温度測定実験(IV) —第2次試料の予備試験—", (1982)
- 8) 伊藤昇, 中島照夫, 他；JAERI-M 82-187, "JMTRにおける燃料中心温度測定実験(V) —第2次燃料試料の製作—", (1982)
- 9) 河村弘, 安藤弘栄, 他；JAERI-M 82-133, "JMTRにおける軽水炉燃料の局所線出力評価法(OWL-1照射孔)", (1983)
- 10) 河村弘, 小向文作, 他；JAERI-M 84-228, "燃料中心温度測定実験試料の燃焼度評価" (1983)
- 11) H. Takeshi, H. Muto, etc; "Determination of Oxygen Uranium ratio in Irradiated Uranium Dioxide based on Dissolution with Strong Phosphoric Acid, Anal. Chem, 58, 458(1986)
- 12) 小向文作, 河村弘, 他；JAERI-M 85-087, "BOCAキャプセルによる燃料中心温度測定実験(80F-1J及び80F-2J)", (1985)
- 13) 河村弘, 土田昇, 他；JAERI-M 85-211, "JMTR出力急昇試験設備における燃料棒出力評価法", (1985)
- 14) 市川達生；"軽水炉燃料の高燃焼度化", 原子力工業, 31, No11, 43(1985)
- 15) S. Granata, and P. Gunnerud ; HWR-70, "Re-instrumentation of Irradiated Fuel Rod for In-pile Fission Gass Release Determinations"(1983)
- 16) S. Granata, P. Gunnerud, et al ; HWR-130, "Description of the Re-instrumentation Techique at the HBWR and Preliminary Results from Power Ramp Release Measurements on High Burnup Rods Enlarged Halden Program Group Meeting(1984)

- 17) 中田宏勝, 瀬崎勝二, 他; JAERI-M 85-021, "JMRI出力急昇試験設備の開発 (その3)" (1985)
- 18) P. J. Fehrenbach and P.H. Morel; "IN-Reactor measurement of clad strain effect of power history" AECL-6686 (1980)
- 19) 柳沢和章; JAERI-M 85-197, "ハルデン出力急昇実験中のBWR型燃料棒に生じた異常な直径増加と陥没", (1985)
- 20) 荒克之; JAERI-M 83-181, "高温環境用差動変圧器の開発に関する研究", (1983)

第1表 OWL-2 照射設備の性能

装置名	OWL-2	
炉心位置	K, L-3, 4	
熱中性子束	最大	$5.4 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$4.1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
高速中性子束	最大	$5.5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$4.2 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
$\gamma$ 加熱率(最大)	0.5 W/g	
冷却材	軽水	
冷却材流量	1100 kg/min	
冷却材温度	270°C (285°C)*	
冷却材圧力	73 kg/cm <sup>2</sup> G	
蒸気含有率または不純物濃度	蒸気含有率 20% (最大)	
炉心部有効寸法	φ117.8×750 l	
試料最大発熱量	850 kW	
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PWR (73 kg/cm<sup>2</sup>G まで), BWR, ATR の燃材料の照射</li> <li>• 貫通型</li> </ul>	

\* ( ) 内は沸騰水モードの場合

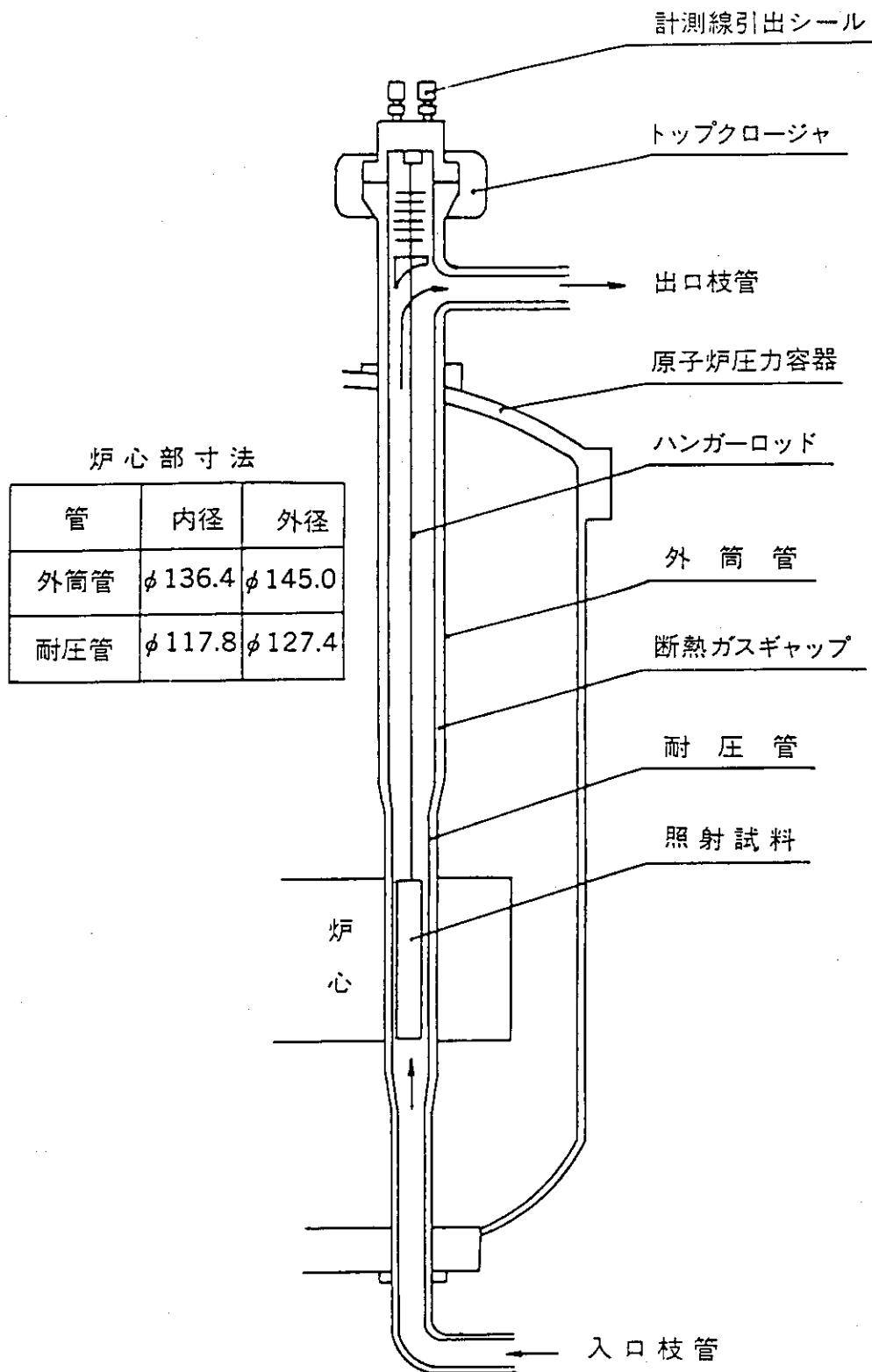


第2表 駆動方式の選定

方式 項目	水力 ピストン	キャンド モータ	水車	電動機	油圧 モータ	外部遠隔
既存技術で可能	○	×	×	○	○	○
操作用配管、棒	要	不要	要	不要	要	要
速度調節	○	△	△	○	○	○
駆動力	○	△	△	△	○	○
位置検出	○	×	×	△	○	○
駆動軸のシール	要	不要	不要	要	要	要
系の放射能汚染	有	無	無	無	無	有
油もれ	——	有	——	有	有	——
駆動部の高さ	中	低	低	低	低	高
電源ケーブル	——	有	——	有	——	——
炉外装置	要	不要	要	不要	不要	要
総合判定	◎	——	——	——	——	——

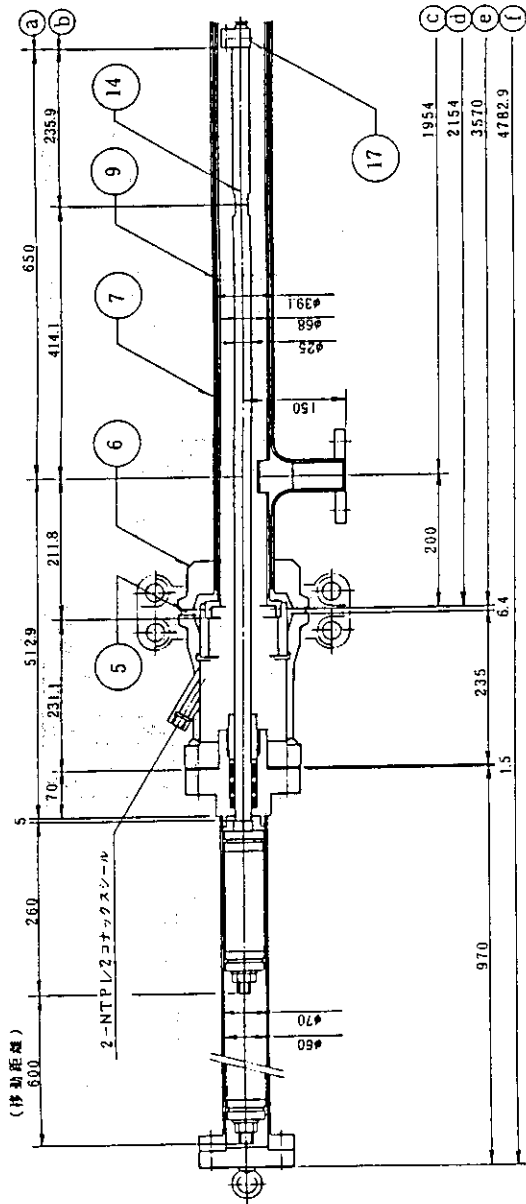
第3表 駆動試験データ

No.	試験 パラメータ	クッション タンクレベル	ポンプ ストローク	流調弁 開度	流量	ピストン 差	ピストン 速度	ピストン 上	ピストン 下	試験 結果
1	T1 T2 のレ ベル変化有	1/2	100%	1.6	CC/s ~3	kg/cm <sup>2</sup> -4	mm/s ~1	上昇		ピストン速度一定せず。
2	"	1/2	100	1.6	3~5	4	~1	下降		"
3	"	V-2 3閉	100	1.6	1~10	-2~ -5.8	~1	上昇		T1 のない場合 脈動 大
4	"	V-2 2閉	100	1.6	1~10	-2~ -5.8	~1	上昇		T2 のない場合 脈動 大
5	ポンプのスト ローク変化有	1/2	50	2.0	3~5	-4 ~-5	~1	上昇		ピストン速度一定せず。
6	T1 T2 のレ ベル変化有	3/4	50	2.0	3~ 4.5	-4 ~-5	~1	上昇		ピストン速度一定せず。
7	"	3/4	50	2.0	"	4~5	~1	下降		ピストン速度一定せず。
8	T1 T2 に 差圧を設ける	3/4	70	1.5	2.5 ~3	-2.4~ -3.2	~1	上昇		V-3 をしぼる。 ピストン速度やや安定
9	"	3/4	100	1.5	3 ~3.5	5.6 ~6	~1	下降		V-2 をしぼる。PIA-1=77 PI-3=60.5ピストン速度やや安定
10	"	3/4	70	1.5	1.5 ~2	-2.2~ -2.4	~0.5	上昇		V-3 をしぼる。PIA-1=77 PI-3=61ピストン速度やや安定

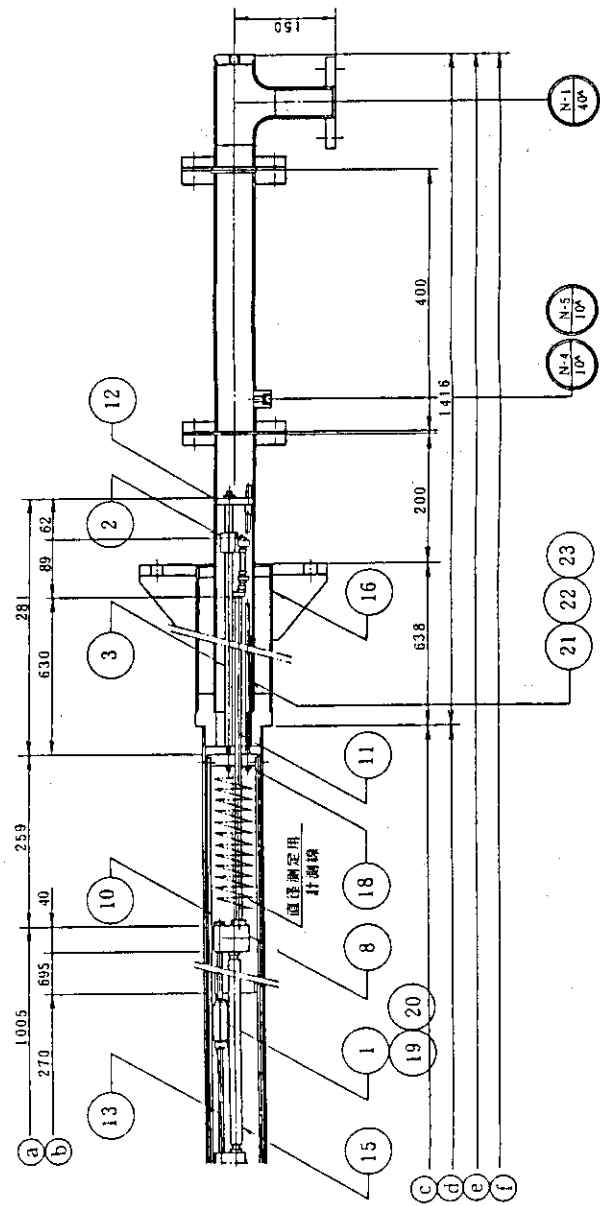


第1図 OWL-2 の炉内管構造

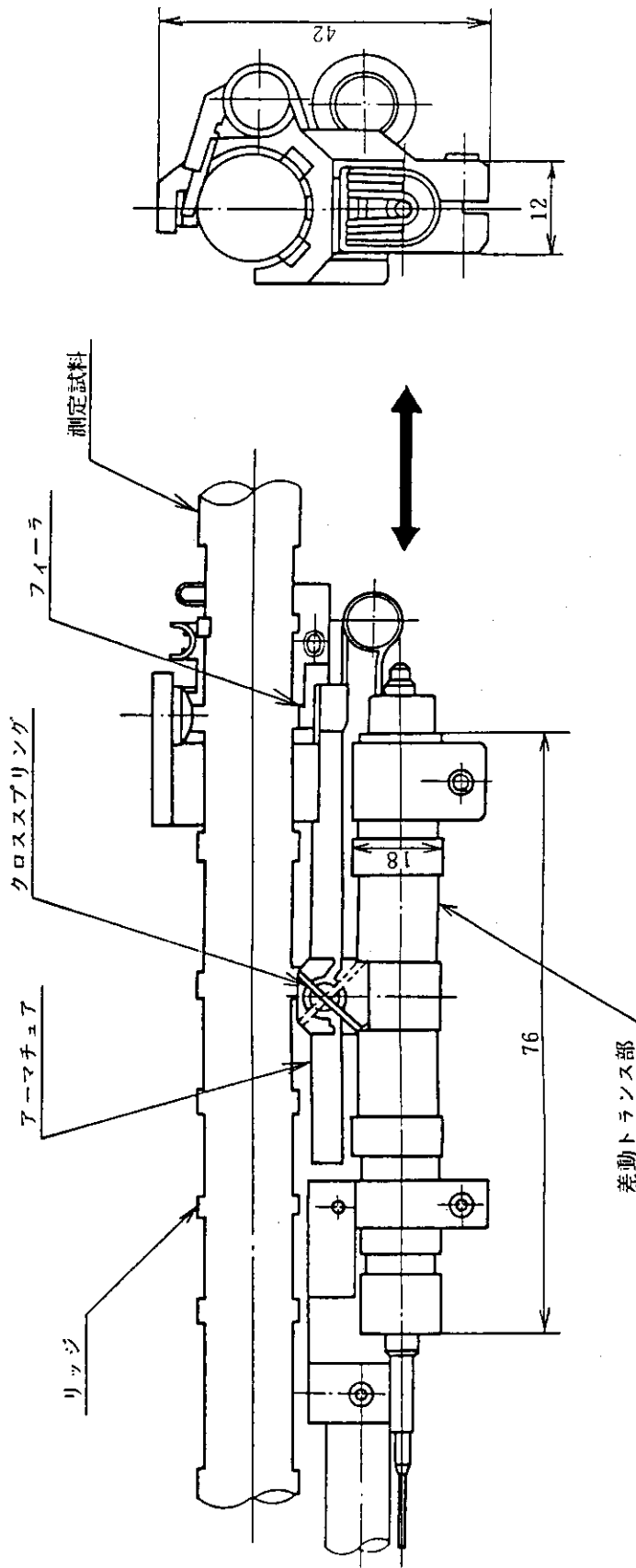




23	タイロッド ~ b	SUS316	2	
22	タイロッド ~ a		2	
21	ナット		4	
20	搬出器固定金具 ~ b		1	
19	搬出器固定金具 ~ a		1	
18	ロッド搬送金具 ~ b		1	
17	ロッド搬送金具 ~ a		1	
16	ハンガーロッド ~ c		1	
15	ハンガーロッド ~ b		1	
14	ハンガーロッド ~ a	SUS316	1	
13	コアセンターリ		1	
12	タイアラレット ~ b	SUS316	1	
11	タイアラレット ~ a		1	
10	ホルダ ~ b		1	65°TP-S sch40加工
9	ホルダ ~ a		1	65°TP-S sch40加工
8	搬送炉内蓋 ~ b		1	50°TP-S sch40加工
7	搬送炉内蓋 ~ a	SUS316	1	80°TP-S sch40加工
6	グレイロック ~ ハブ	SUS316	1	No. 52
5	グレイロック ~ シェルリング	JF-4H JF-4H JF-4H	1	5CR52 番加工
3	構造材料		1	
2	直径測定器		1	
1	位置検出器		1	
材料名		材質	1/部分構成	記号



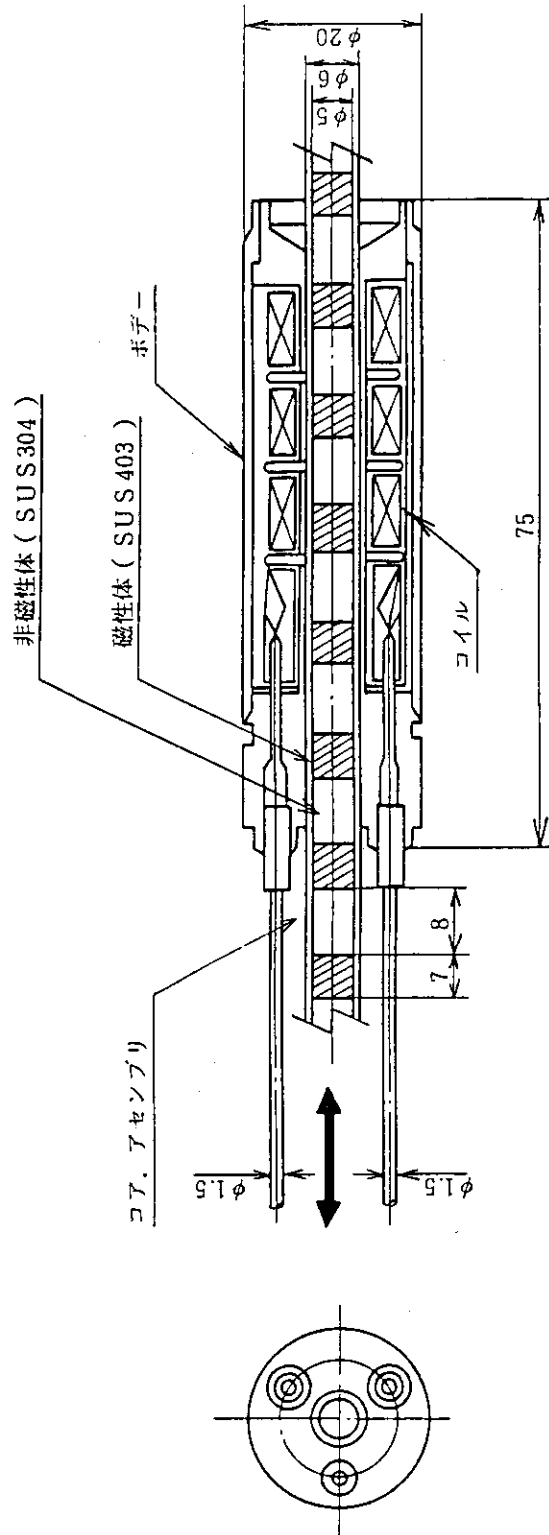
第3図 燃料棒直径測定装置



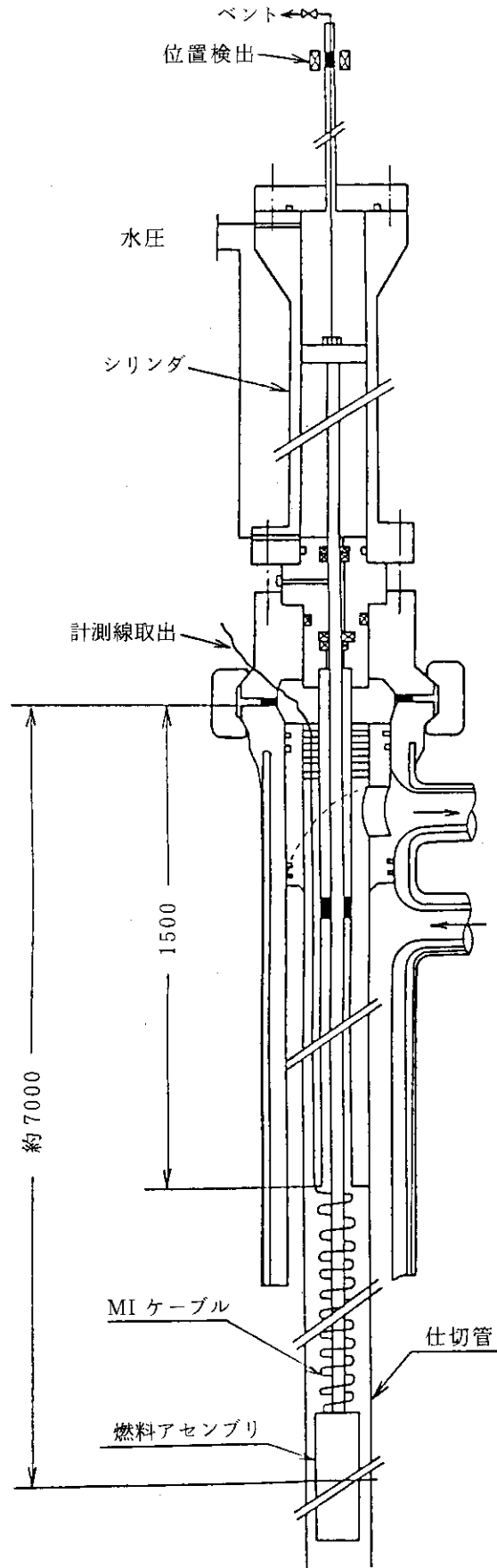
EI 型差動トランス方式

直径測定範囲：12.5 ± 0.3 mm

第4図 直径測定器

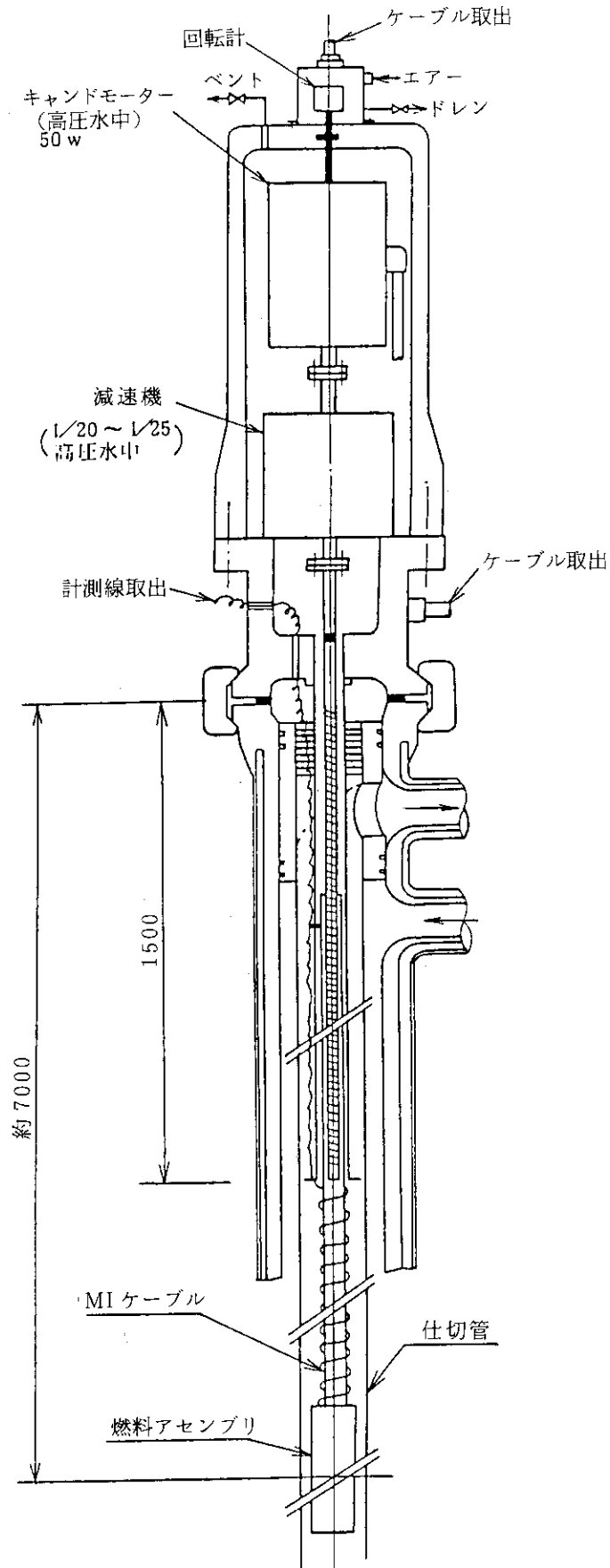


第5図 燃料棒位置検出器

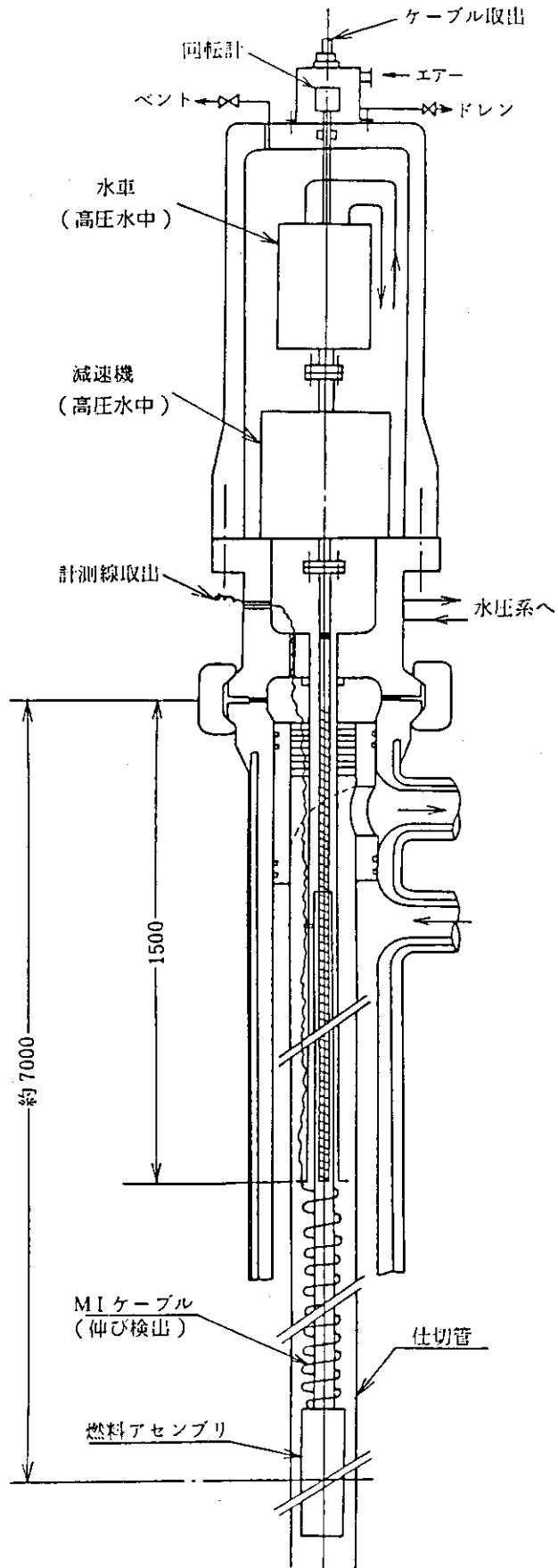


第6図 駆動装置（水カシリンダー方式）

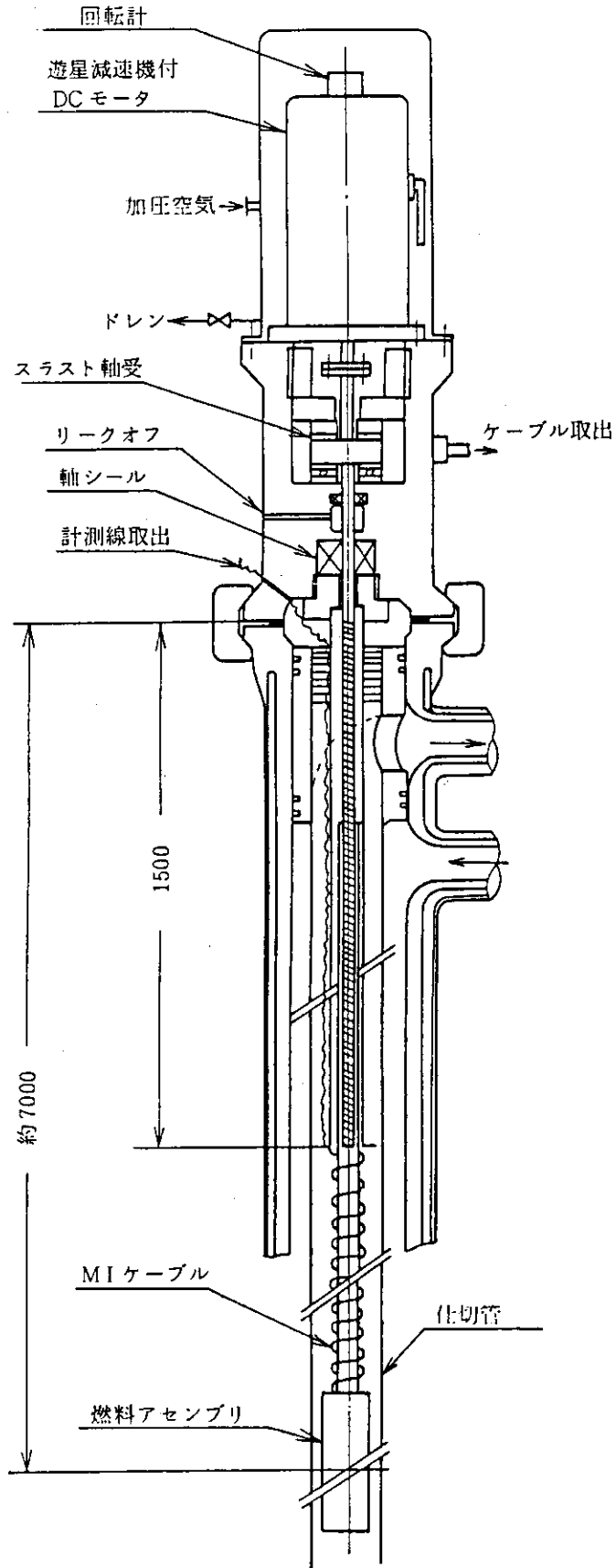




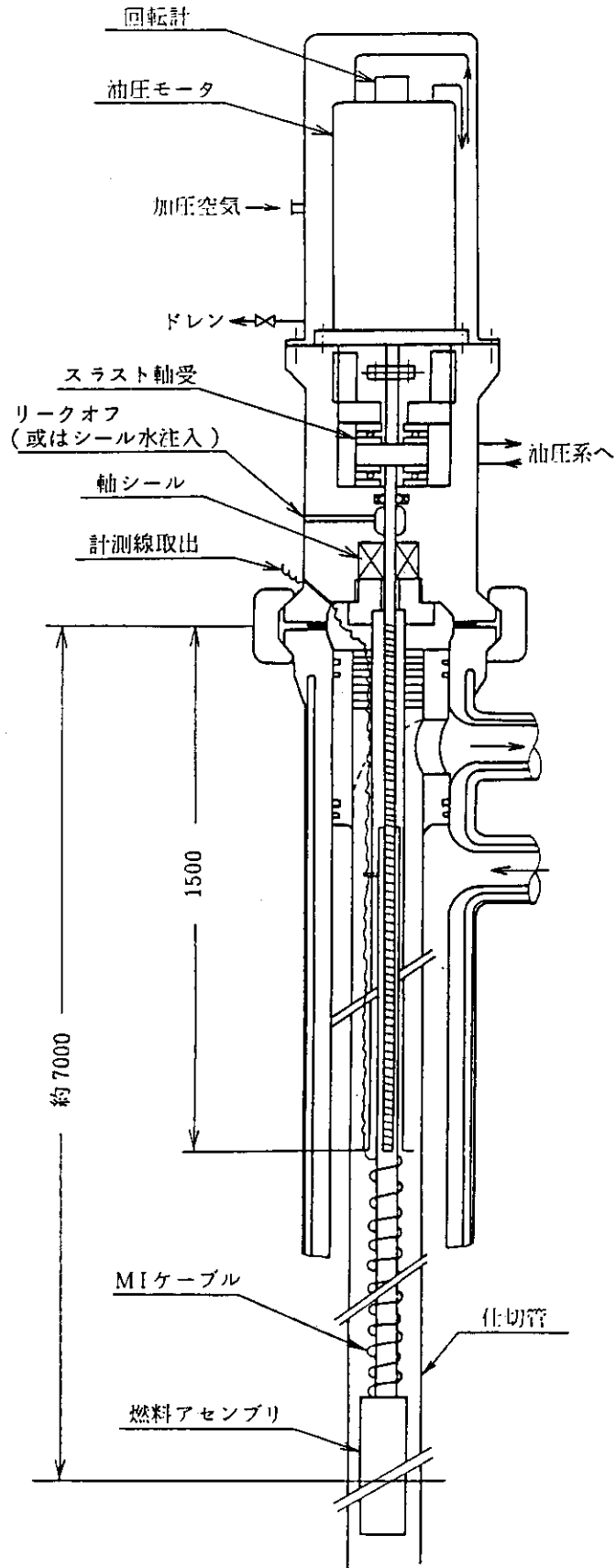
第7図 駆動装置 (キャンドモータ駆動方式)



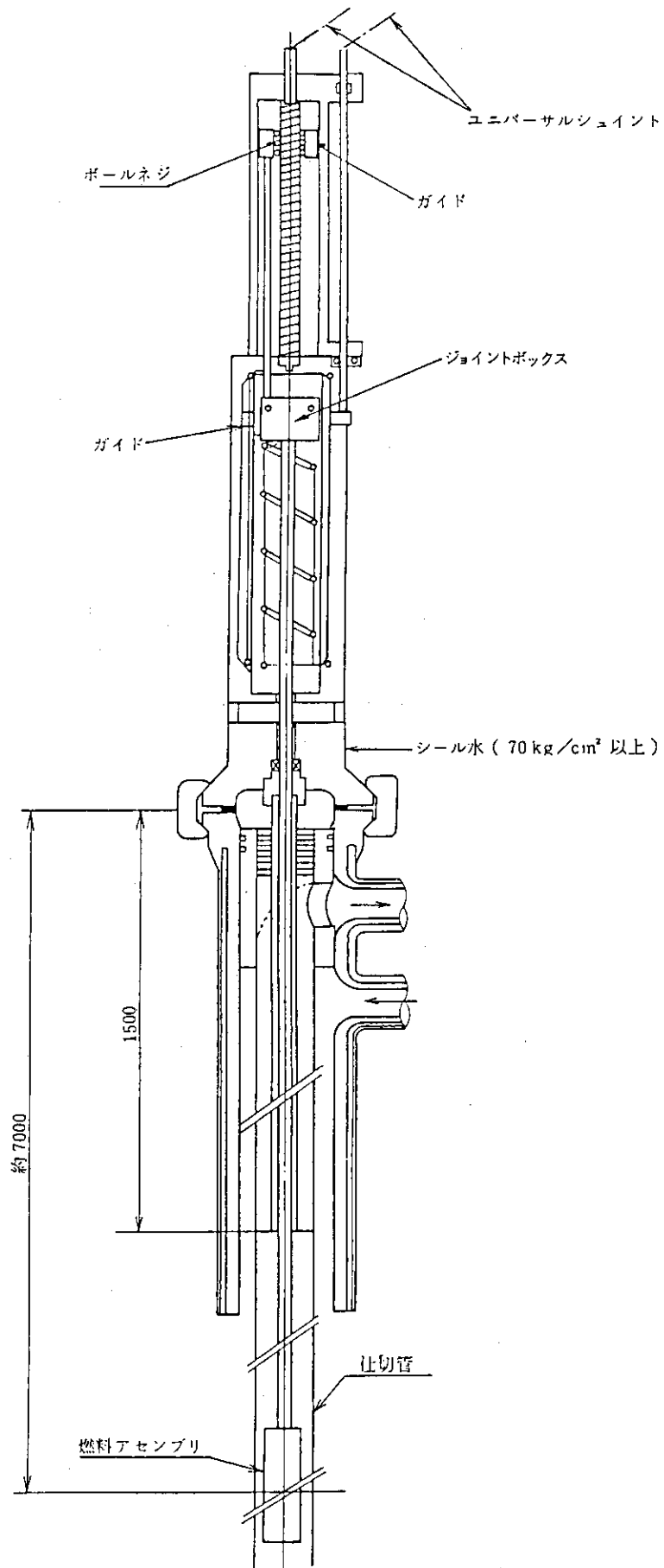
第8図 駆動装置 (水車駆動方式)



第9図 駆動装置 (電動機駆動方式)

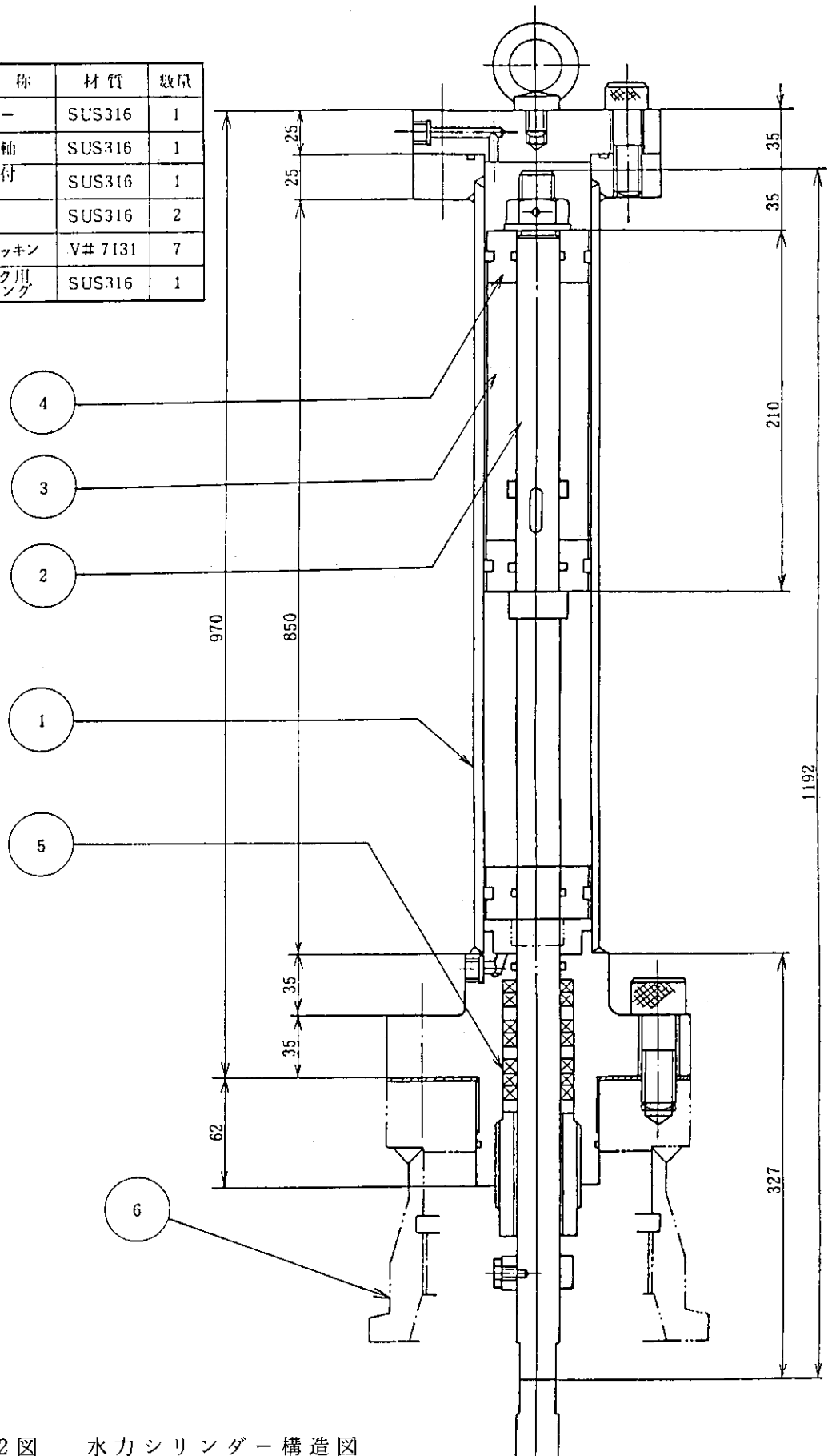


第10図 駆動装置 (油圧駆動方式)

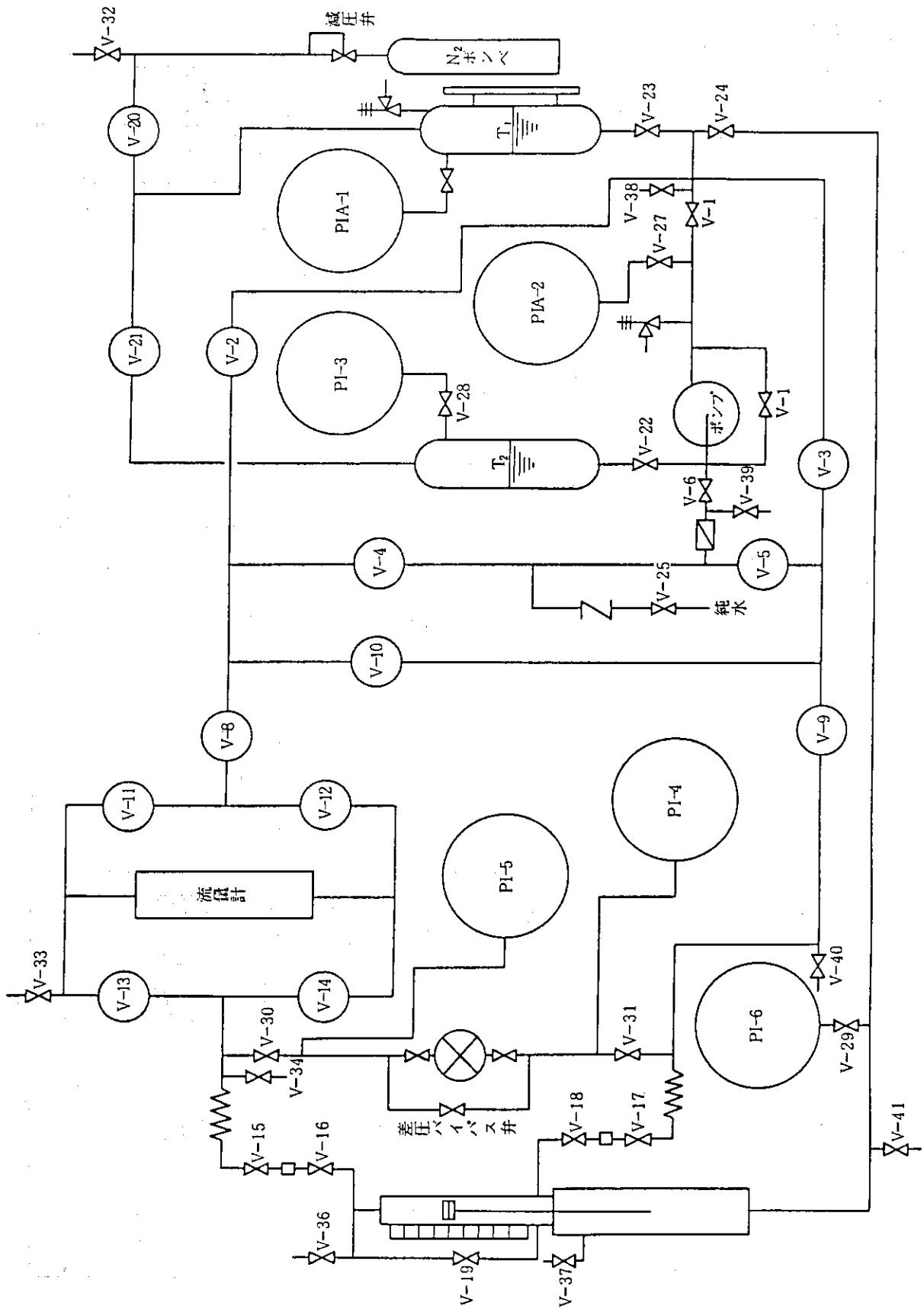


第 11 図 駆動装置 (外部遠隔駆動方式)

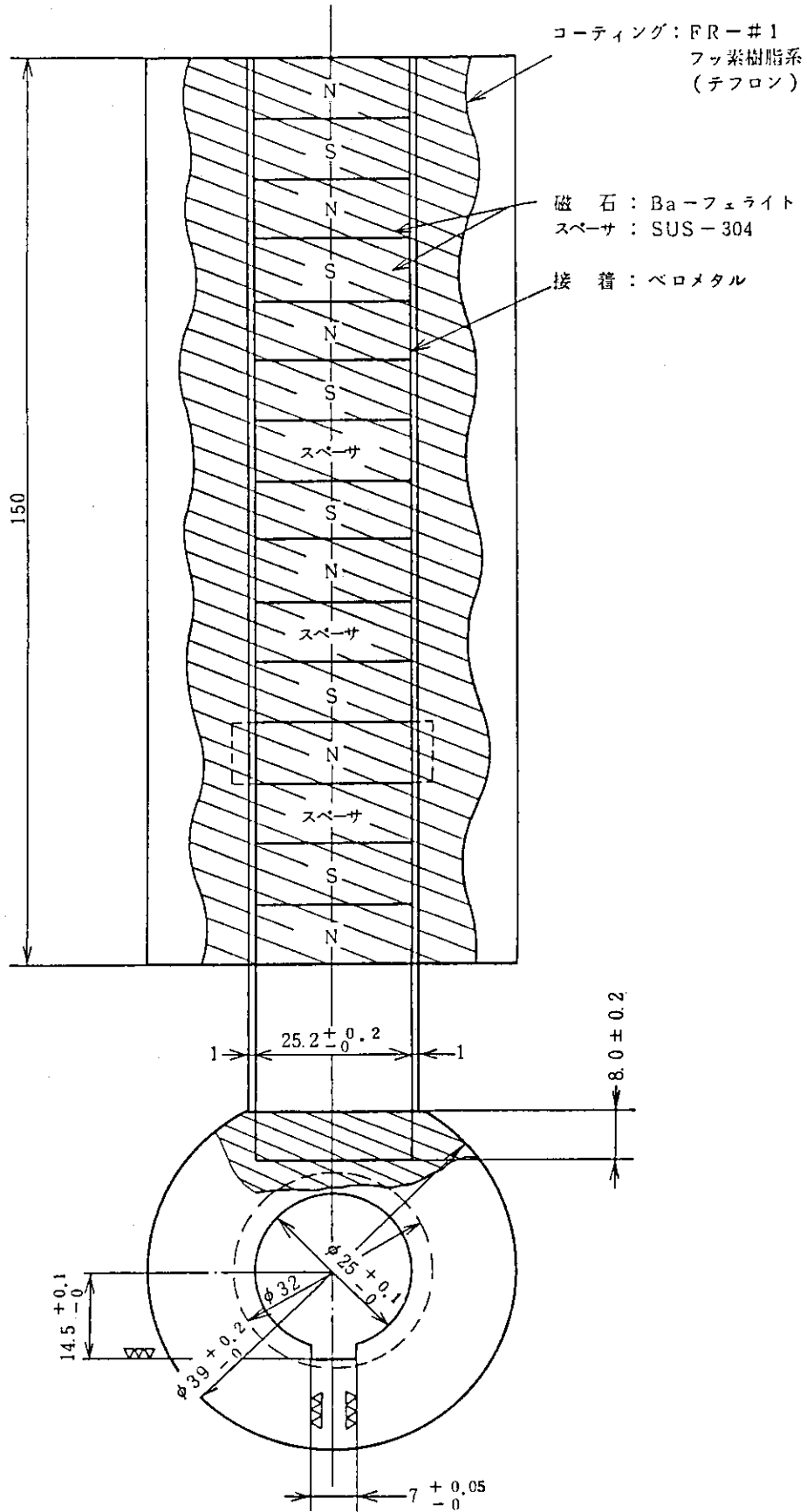
品番	名称	材質	数量
1	シリンダー	SUS316	1
2	駆動軸	SUS316	1
3	マグネット付 金物	SUS316	1
4	ピストン	SUS316	2
5	グランドパッキン	V# 7131	7
6	グレイロック川 ハウジング	SUS316	1



第 12 図 水力シリンダー構造図

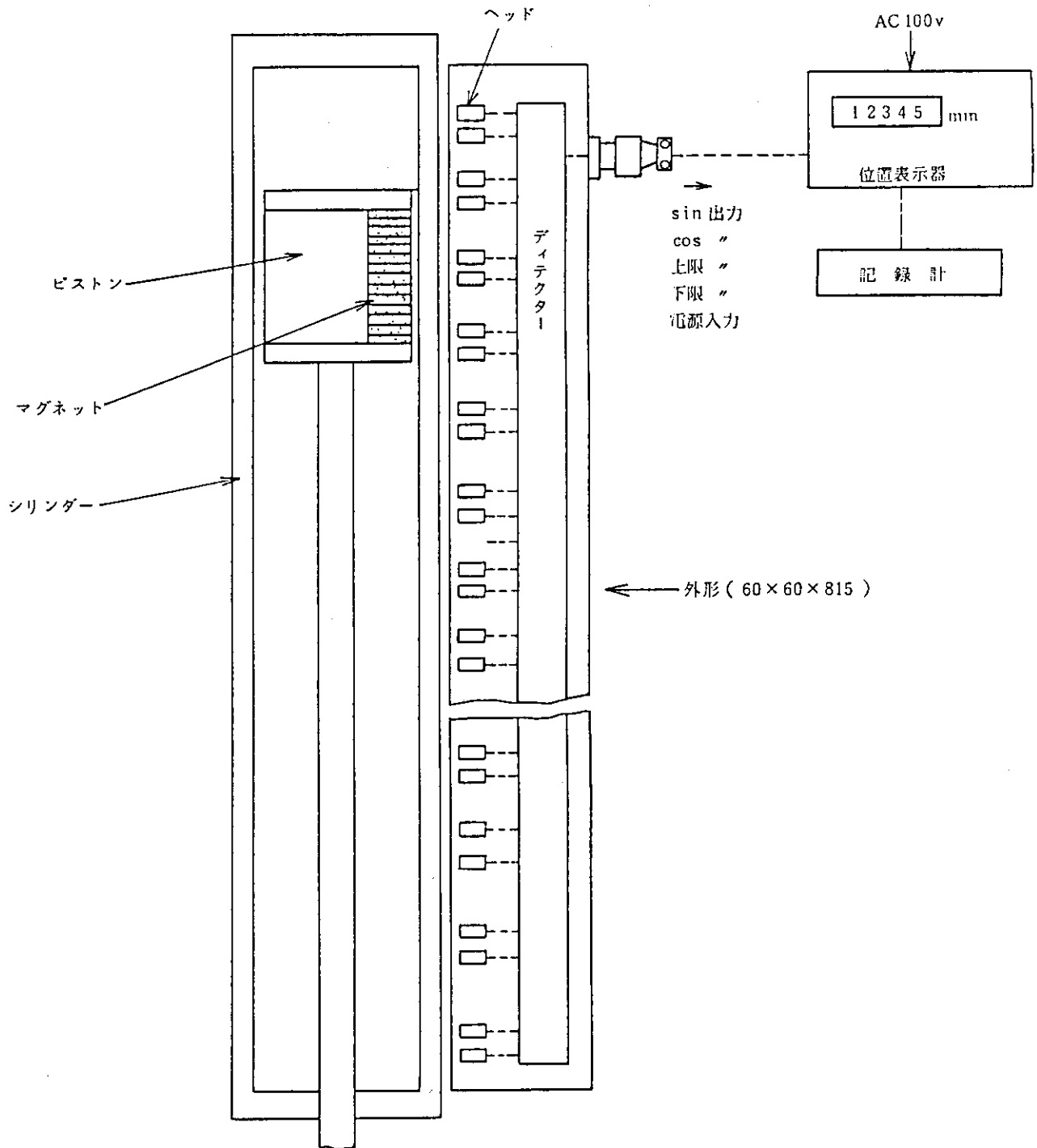


第13図 駆動装置フローシート

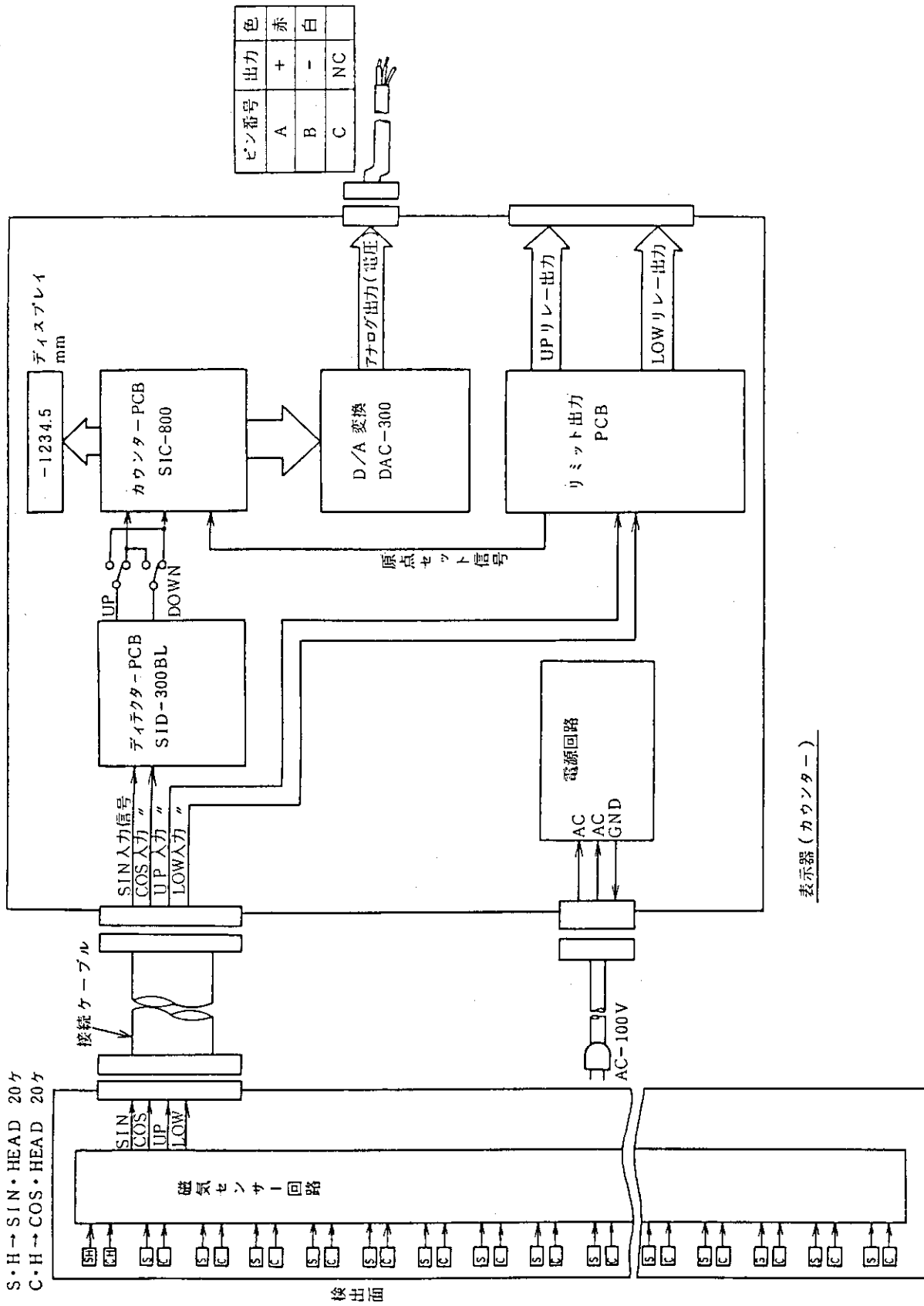


第14図 水力ピストンのマグネット埋込構造

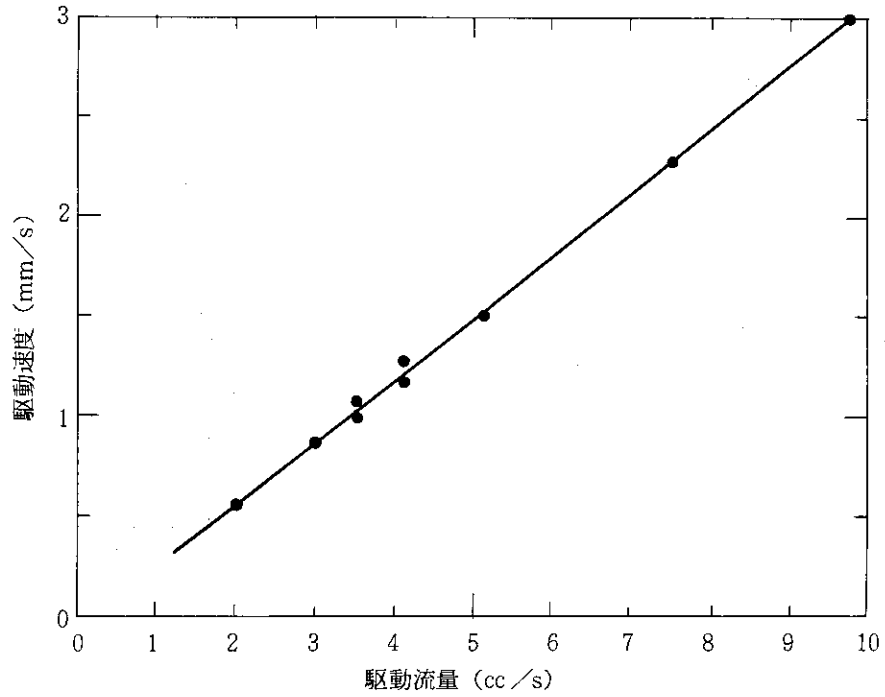




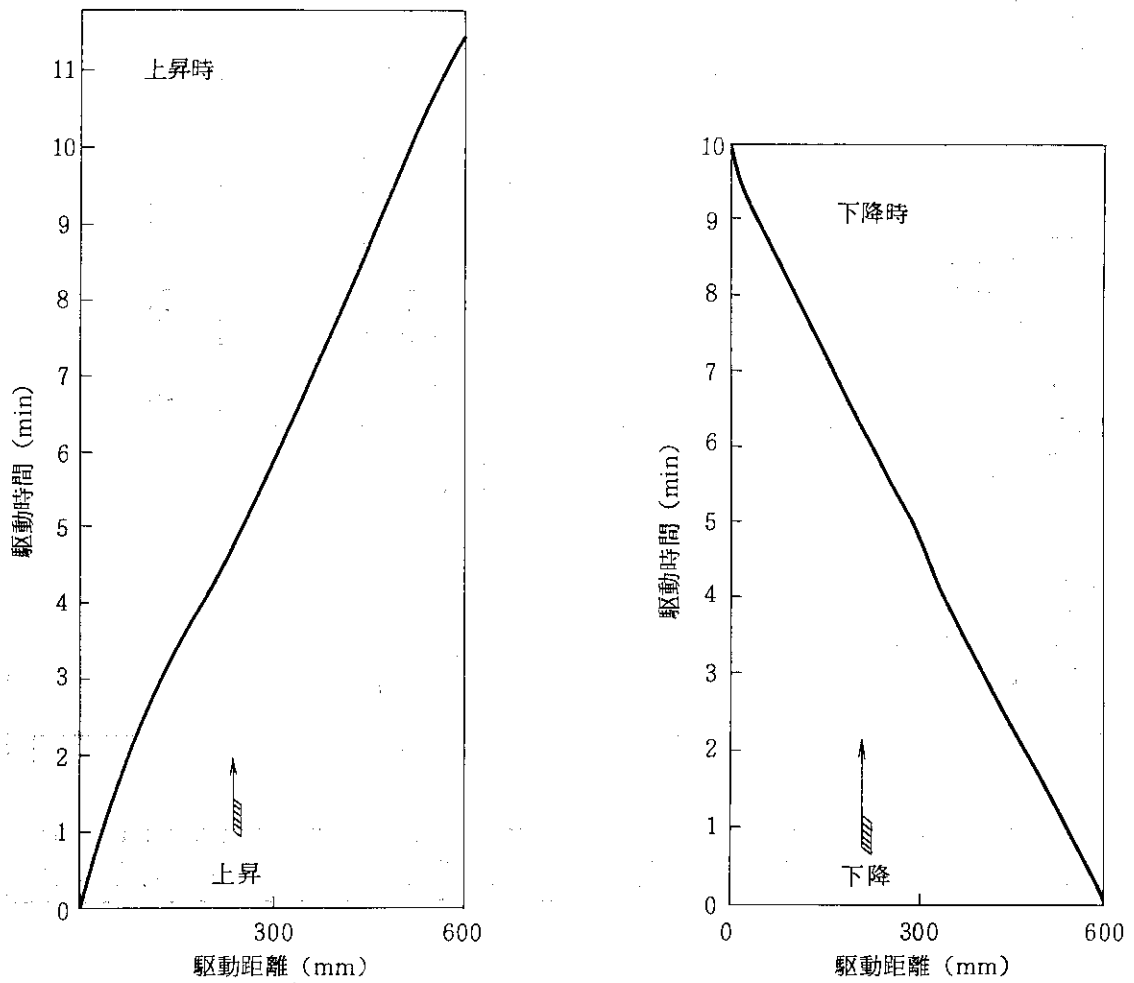
第 15 図 水力ピストン用位置検出器の概略構造



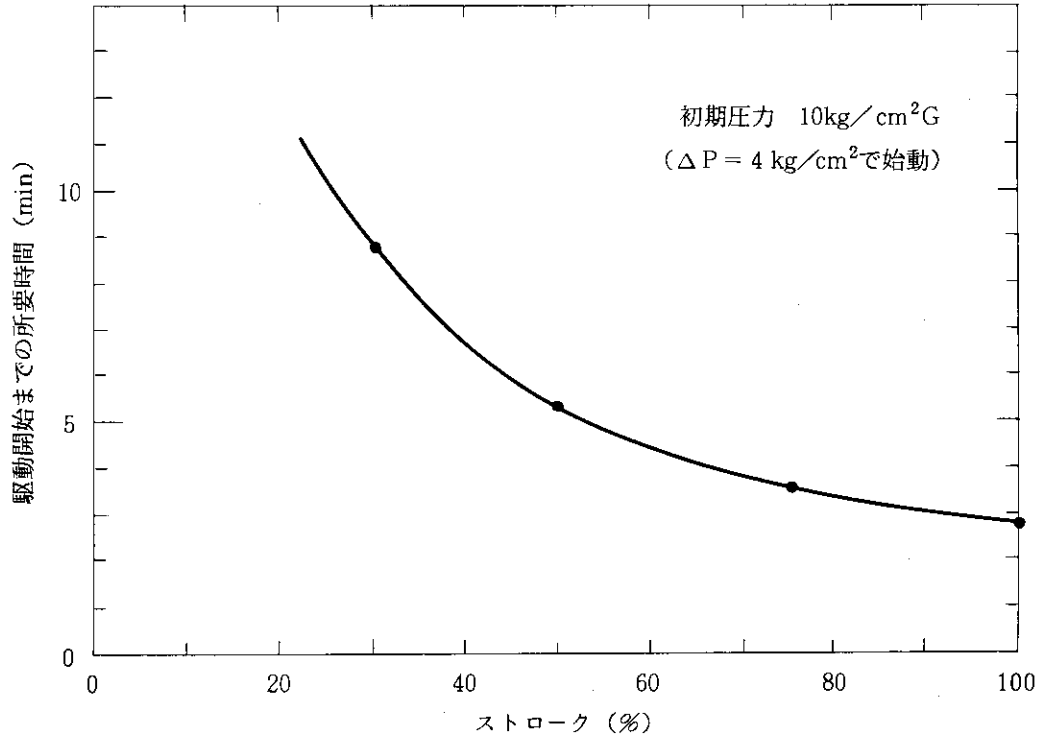
第16図 水力ピストン用位置検出器のブロック図



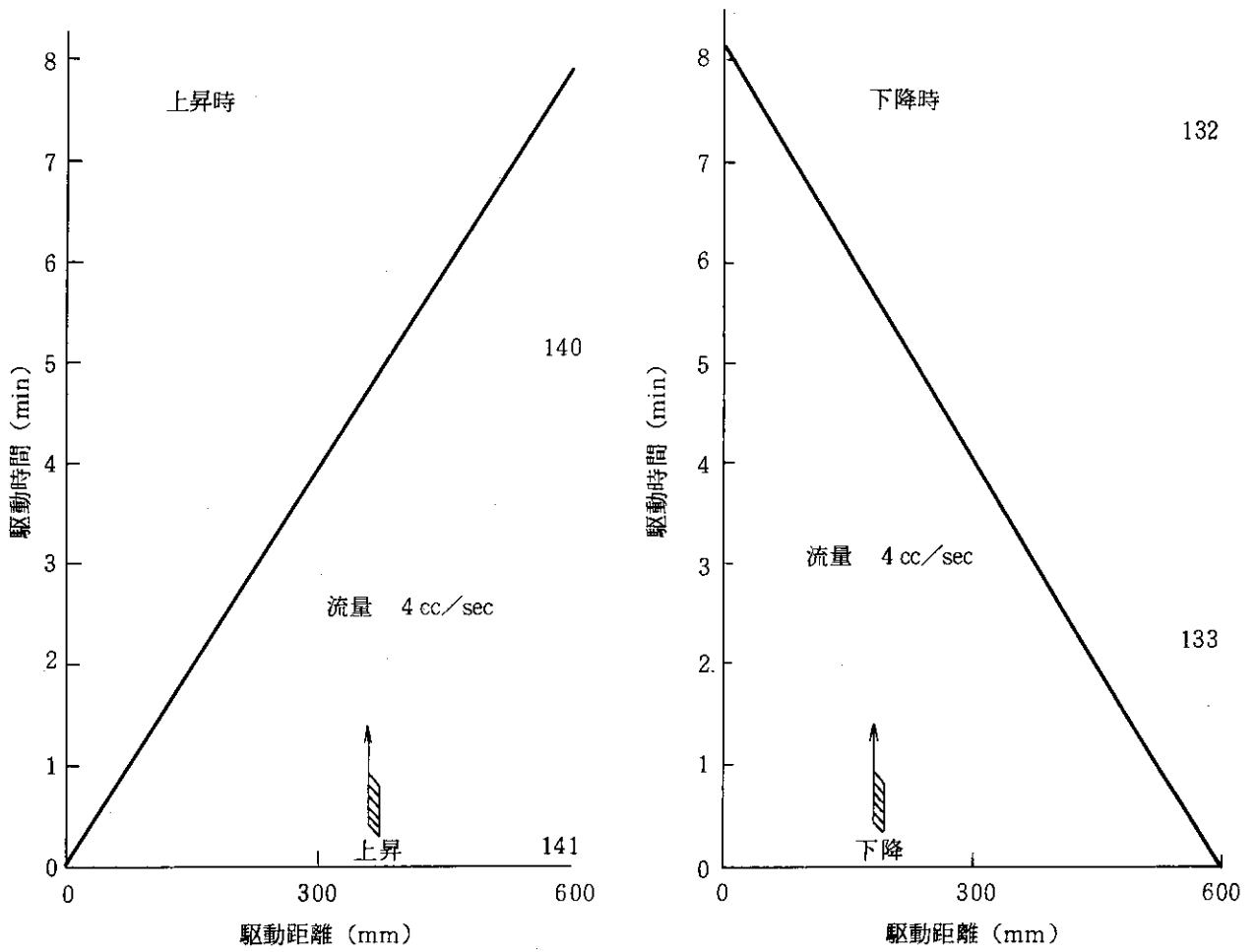
第17図 水力ピストンの駆動流量と駆動速度



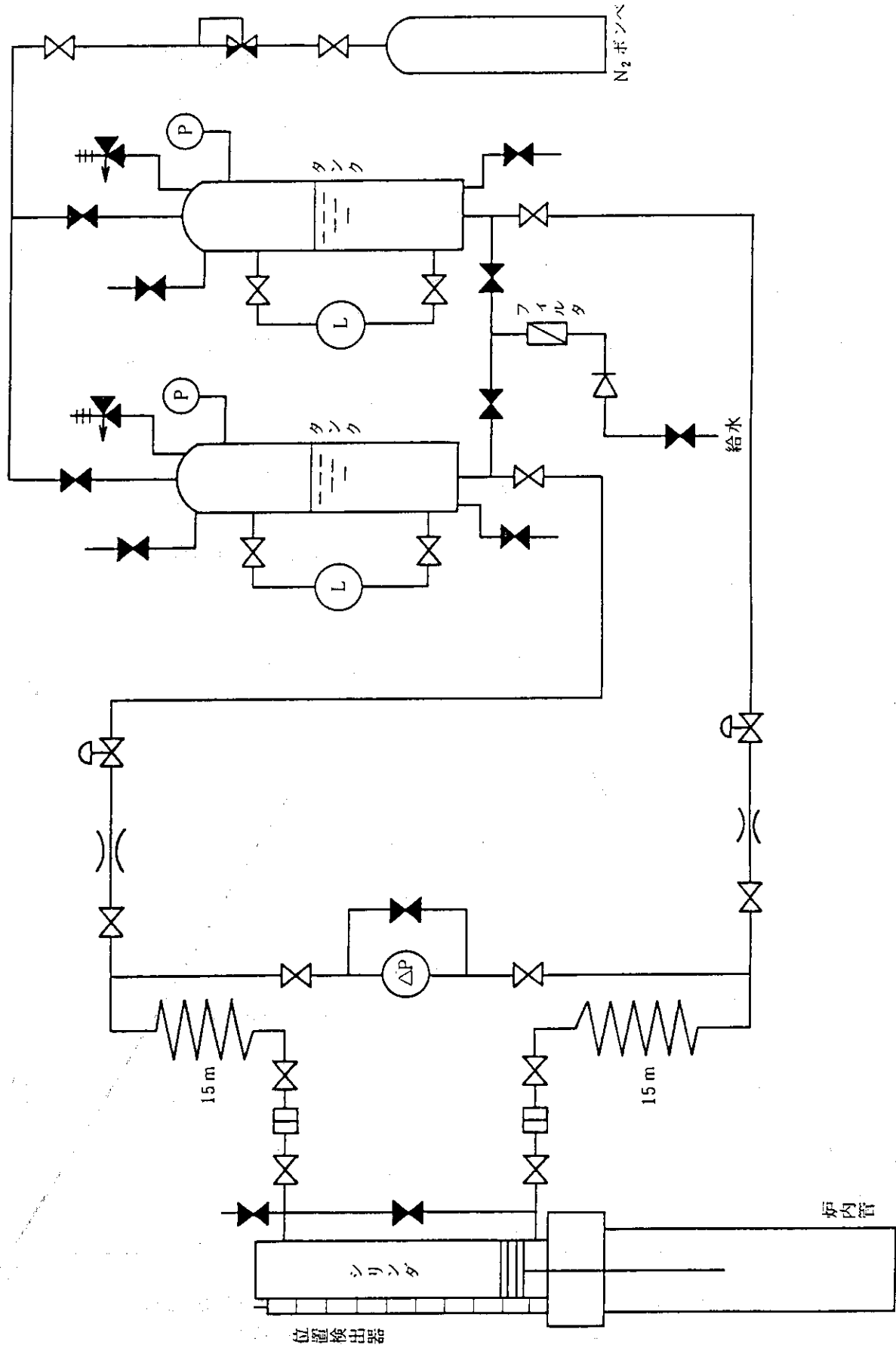
第18図 高圧ポンプによる水力ピストンの移動



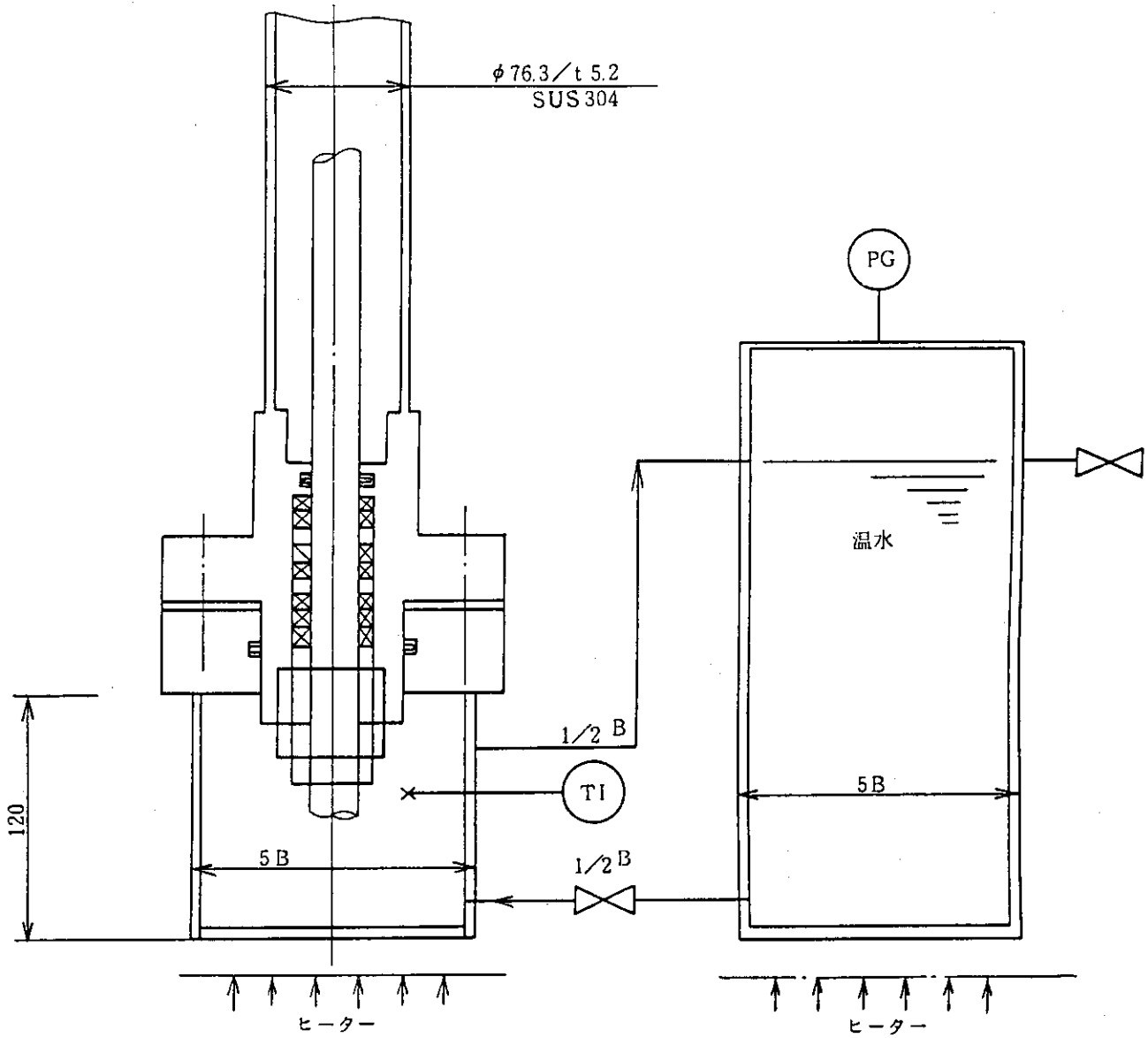
第19図 高圧ポンプのストロークと駆動開始所要時間



第20図 窒素ガス差圧による水力ピストンの移動

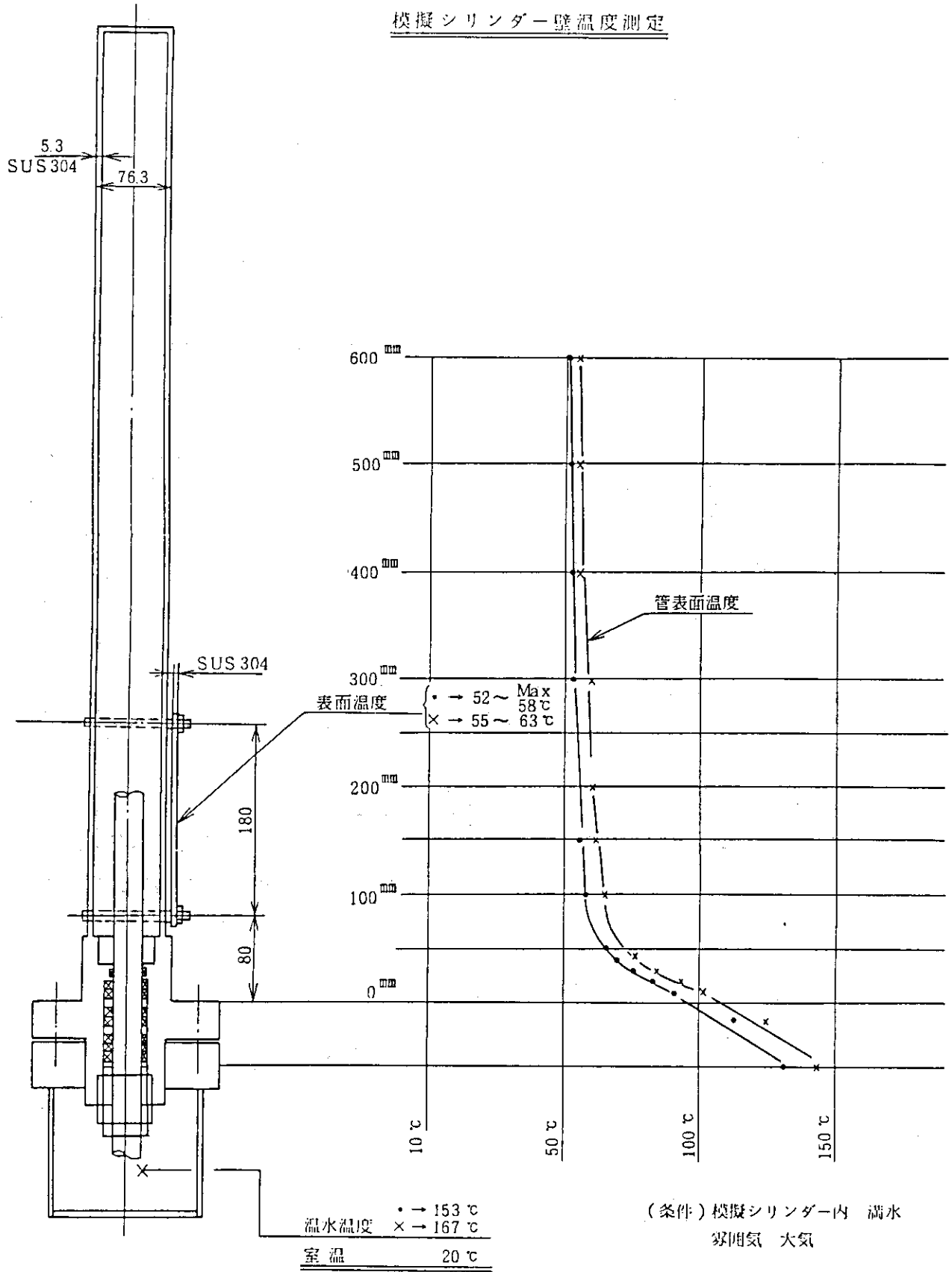


第21図 型駆動装置の改良（フローシート）



第 22 図 水力ピストン用位置検出器の耐熱試験装置

模擬シリンダー壁温度測定



第 23 図 水力ピストン用位置検出器の温度分布