

図 1.1 超音波モータ基本構成

## B. 研究方法

### 共振周波数とヒステリシス

円環型ステータの共振周波数は、主にステータの形状と波長当りの振動部の質量、断面 2 次モーメントにより決定される。共振周波数は、ステータ・ロータ間の押付け力や温度により変動することが知られている。

ステータ・ロータ間の押付け力が大きくなると、ステータの変形は妨げられ圧電素子発生力に対する変形量は減少する。一般に共振周波数は、同質量においてはばね定数の平方根に比例するため、押付け力が増加すると共振周波数は高くなる。

温度が高くなると、ステータは熱膨張を生じ径が大きくなる。また、温度が上がると弾性係数も低下する。更に、ロータ温度も温度上昇に伴い弾性係数が低下するため、ステータの変形を妨げる働きが弱くなる。これらのことから、温度が上昇すると共振周波数は低くなる。

また、ステータに用いている圧電素子はヒステリシスを有しており、印加電圧の周波数を上げている時と下げている時とでは共振周波数は異なる。この共振周波数のずれは、印加電圧周波数の帯域が広いほど大きく、共振周波数付近の狭い帯域では殆どヒステリシスの影響はない。

## 周波数追従制御

進行波型超音波モータでは、圧電素子に電圧を印加し、ステータを共振状態にすることでその表面に進行波を生成している。

超音波モータの圧電素子には、図 1.2 に示すようにフィードバック電極が設けられており、圧電素子の変形に応じて圧電効果により起電力が発生する。振動振幅が大きいほど FB 電極出力電圧は大きくなるため、振幅が最大となる共振点においては FB 電極出力電圧が極大値を取る。この事を利用して、印加電圧周波数を走査する事で FB 出力が極大を取る周波数を探索し、印加電圧周波数を最適な値に制御する。

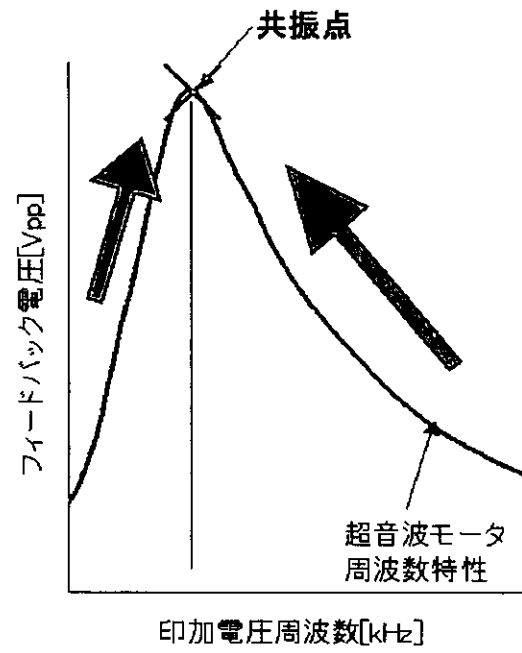
このように印加電圧周波数を共振周波数へ自動追従することにより、従来の超音波モータが抱えていた長時間駆動でのモータ特性の不安定さが解消される。

そのブロック線図を図 1.3 に示す。モータから出力された FB 電圧はコントローラに入力され、過去の FB 電圧と比較する事でより共振周波数に近い印加電圧周波数が得られるよう、ドライバに周波数指令電圧  $V_{vco}$  を出力する。するとドライバではそれに応じた周波数  $f$  の印加電圧を発生させ、モータに印加する。モータの振動振幅は印加電圧周波数  $f$  によって変化し、FB 電圧  $V_{fb}$  として出力され再びコントローラに戻される。

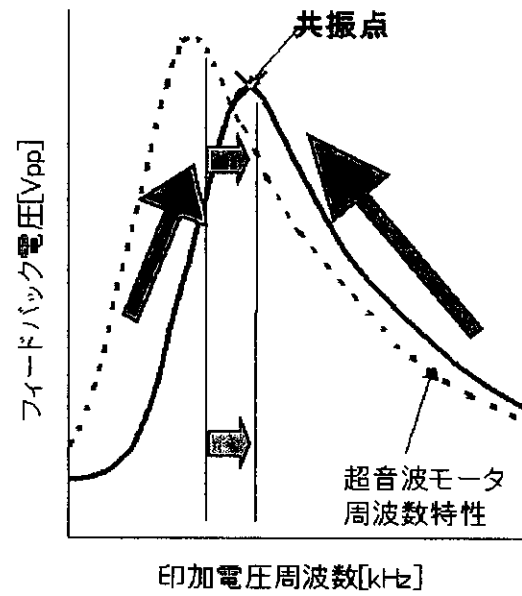
また、制御アルゴリズムを図、表に示す。常に印加電圧周波数は増加若しくは減少している。前回サンプリング時の FB 電圧  $V_{fb_{n-1}}$  と最新サンプリングの FB 電圧  $V_{fb_n}$  を比較し、 $V_{fb_n} < V_{fb_{n-1}}$  であったら印加電圧周波数の変化方向を逆転させる。逆に、 $V_{fb_n} \geq V_{fb_{n-1}}$  であったら、印加電圧周波数の変化方向はそのままに保つ。これを繰り返す事

で、印加電圧周波数は共振周波数に一致するよう追従する。

この制御法では印加電圧周波数を共振周波数に限りなく近づける事が出来るだけでなく、常に極大値を探索しているだけなので、FB電圧の振幅に影響されないという利点を持つ。



(a)



(b)

図 1.2 周波数走査による最大 FB 電圧検出法

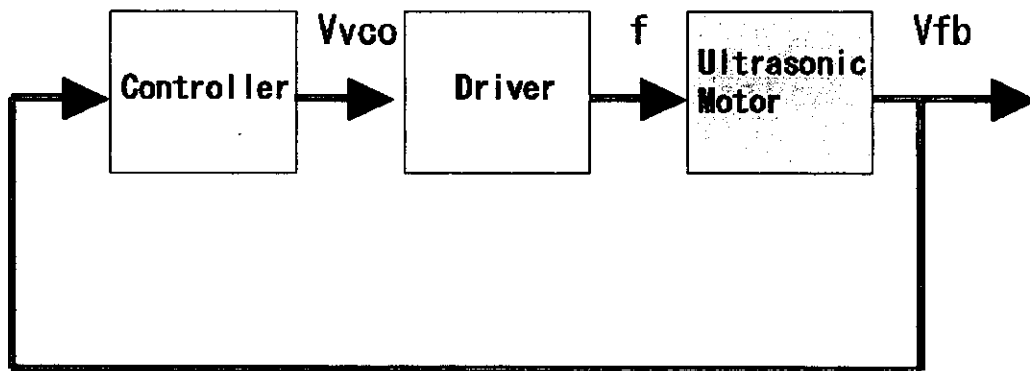


図 1.3 ブロック線図

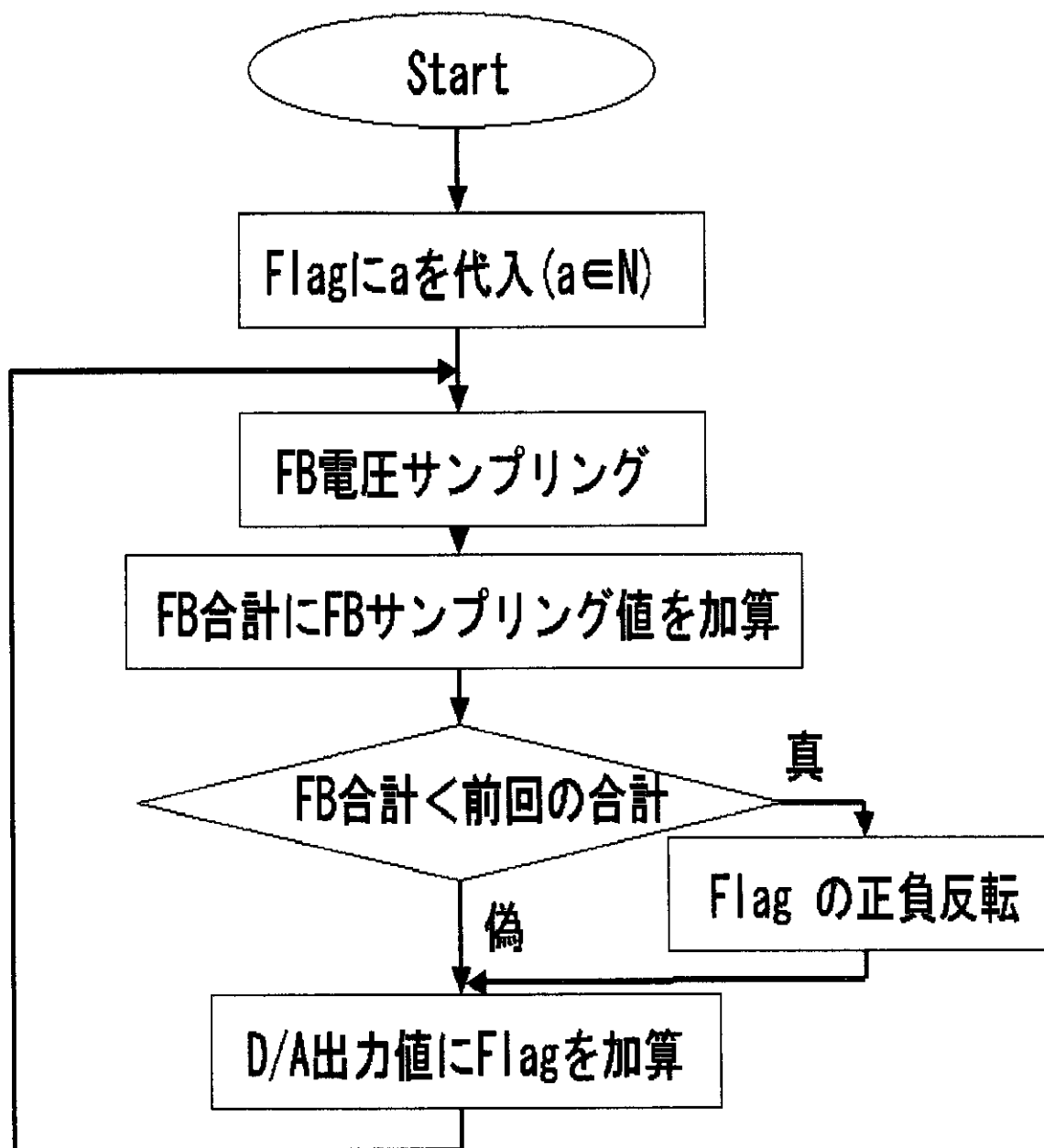


図 1.4 制御アルゴリズム

## 実験装置

実験装置は、モータ、トルク試験器、ドライバ、コントローラからなる。その概要を図 1.5 に示す。

各要素の働きは次の通りである。コントローラである PC からドライバへ、印加電圧の周波数情報と位相差情報が与えられる。ドライバはそれを元に 2 相の交流電圧を発生し、モータの圧電素子に印加する。モータの FB 電圧はコントローラに入力され、コントローラは FB 電圧情報を元に新たな周波数情報をドライバに出力する。また、制御には直接関係ないが、参考値としてトルク試験器よりモータ回転数と起動トルク、ロードセルよりステータ-ロータ間押付け力、サーミスタよりステータ温度を読み取る事が出来る。



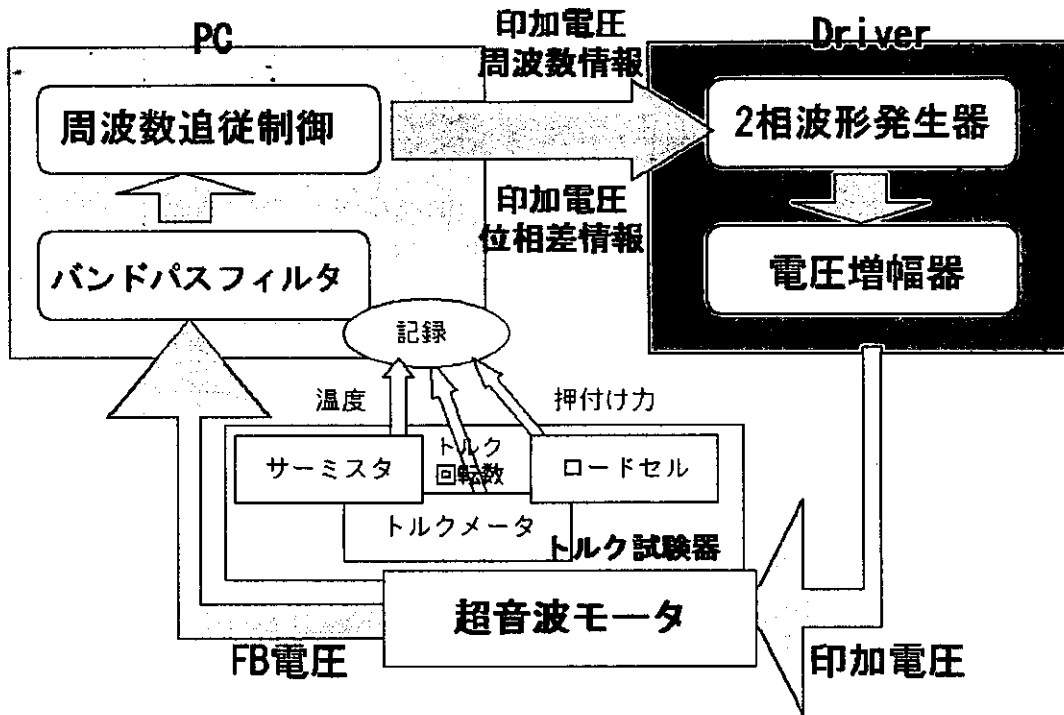


図 1.5 実験装置概要

## モータ

ステータとして、新生工業製超音波モータ **USR30** を球面型超音波モータ用に追加工したものをを用いた。これは、現在当研究室で開発しているロータ径  $\phi 45$  の球面型超音波モータに用いられているもので、追加工は  $\phi 45$  の球に面で接触するようにしたものである。追加工前のモータの仕様を表 1.1 に示す。また、追加工後の図面、外観を図 1.6、図 1.7 に示す。

また、ロータには  $\phi 45$  のポリカーボネイト球を半球状に加工し、軸を取り付けられるようにしたものをを用いた。その外観を図 1.8 に示す。

表 1.1 ステータの仕様（追加工前）

ステータ	製造元	新生工業株式会社
	名称	超音波モータ
	形式	USR30B3
	外径	$\phi 30$ [mm]
	重量	12[g]
	駆動周波数	50[kHz]
	駆動電圧	110Vrms
	定格トルク	0.05[Nm]
	定格出力	1.3[W]
	定格回転数	250[rpm]
	最大トルク	0.1[Nm]
	保持トルク	0.1[Nm]
	応答性	0.1[msec]以下
	耐久時間	2000[Hrs]

表 1.2 ロータの仕様

材料	ポリカーボネイト
直径	45[mm]
質量	hoge[g]
線膨張係数	$7e-5$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]

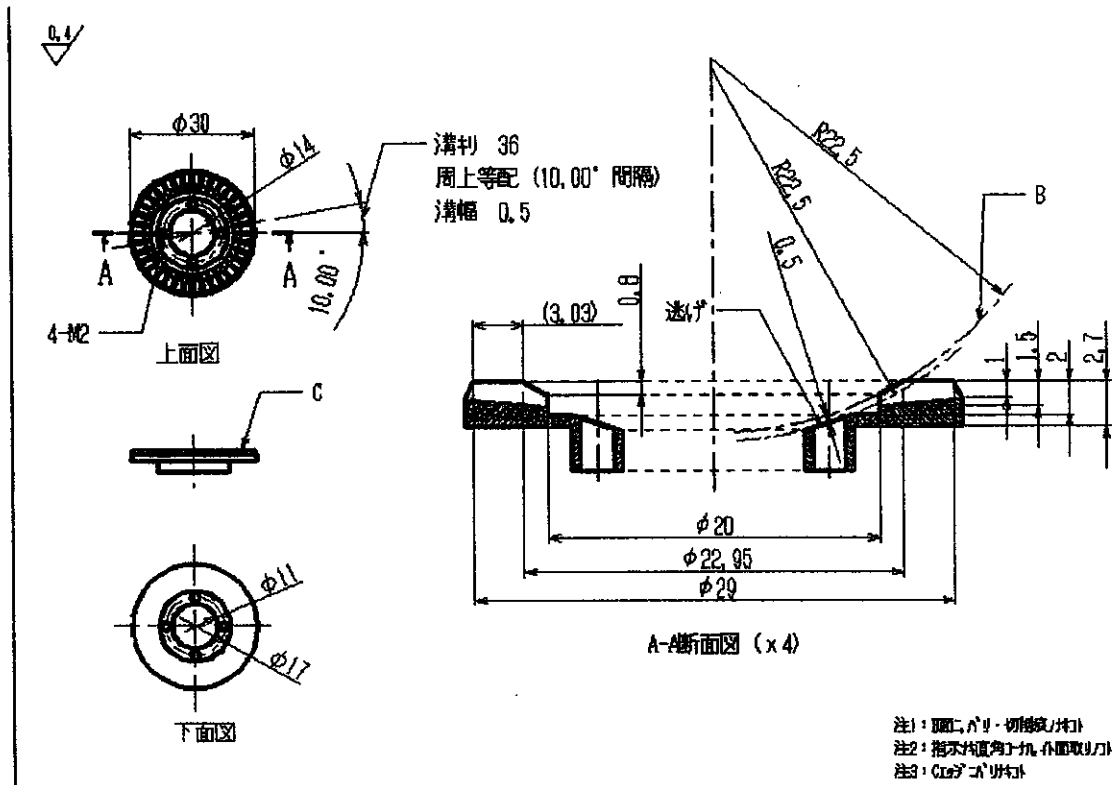


図 1.6 ステータ設計図

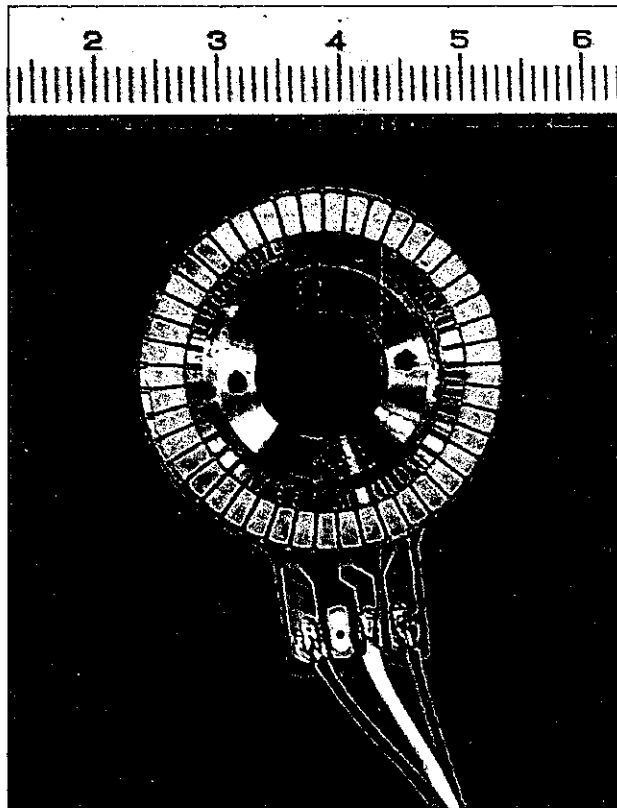


図 1.7 スタータ外観

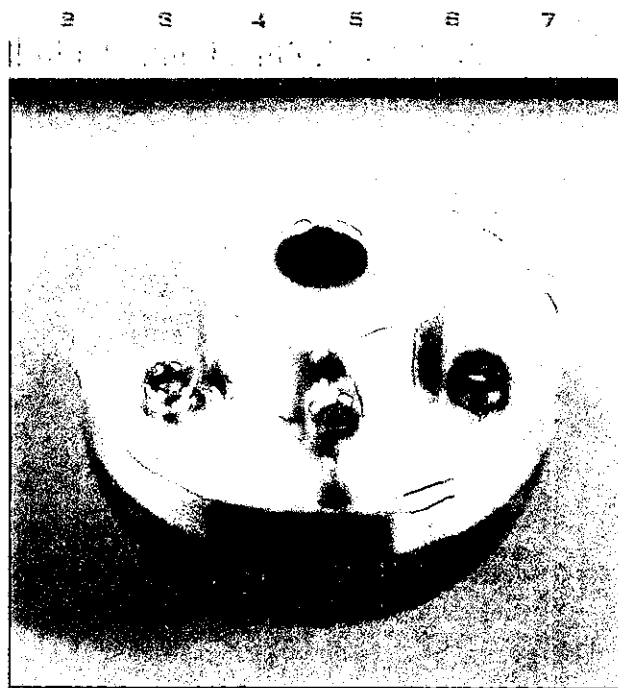


図 1.8 ロータ外観

## トルク試験機

トルク試験器は、小野測器製のトルクメータ MD-104R を中心に構成される。トルクメータ上部には電磁ブレーキが設置されており、軸の回転を拘束する事によってモータの起動トルクを測定する事が出来る。トルク測定部の主な仕様を表 4.3 に示す。また、トルク試験器の構成、外観を図 1.9, 図 1.10 に示す。

モータ下部にはロードセル (図 1.11), サーミスタが組み込まれており、ステータ・ロータ間の押付け力とステータの温度が測定できるようになっている。ロードセル部は押付け機構も兼ねており、ボルトを締める事で押付け力を調整する事が出来る。ロードセル, サーミスタの仕様を表 1.4, 表 1.5 に示す。

表 1.3 トルク測定部の機器の仕様

トルクメータ	製造元	小野測器
	形式	MD-104R
	定格トルク	10[kgfc $\cdot$ m]
	慣性モーメント	145[g $\cdot$ cm <sup>2</sup> ]
	ばね常数	6.18 $\times$ 10 [Nm/rad]
トルク表示器	製造元	小野測器
	形式	TS-3600A
カップリング	製造元	三木プーリ
	形式	ARM-100
電磁ブレーキ	製造元	三木プーリ
	形式	112-04-11
	定格トルク	0.12[kgfm]
	定格電圧	DC24[V]

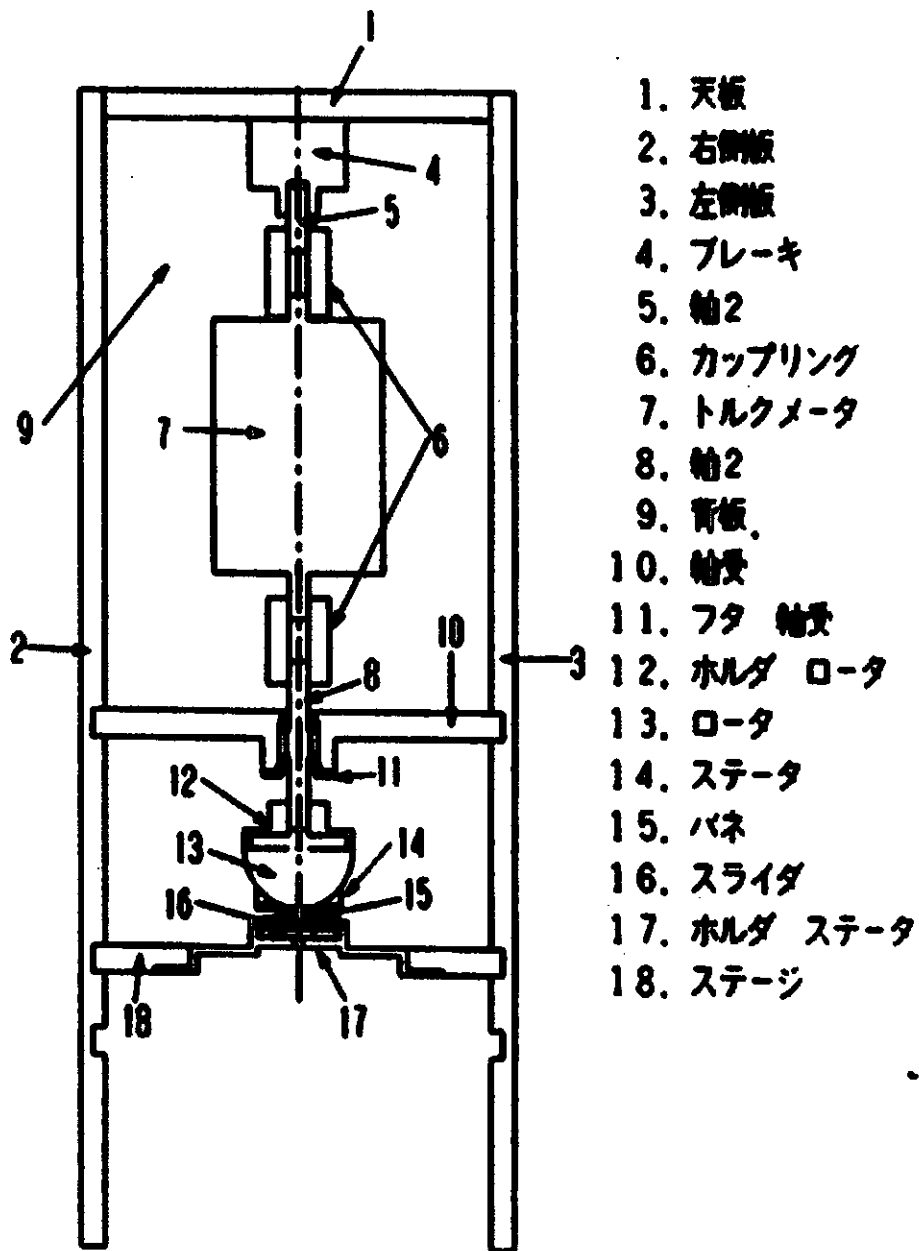


表 1.4 ロードセル仕様

製造元	共和電業
型式	LM-5KA
定格負荷	5[kgf]

表 1.5 サーミスタ仕様

製造元	石塚電子
型式	103JT-025
25℃における公称ゼロ負荷抵抗値	10.0[k $\Omega$ ]
許容差	±1%
使用温度範囲	-50~90[℃]



- 1. 天板
- 2. 右側板
- 3. 左側板
- 4. ブレーキ
- 5. 軸2
- 6. カップリング
- 7. トルクメータ
- 8. 軸2
- 9. 背板
- 10. 軸受
- 11. フタ 軸受
- 12. ホルダ ロータ
- 13. ロータ
- 14. ステータ
- 15. バネ
- 16. スライダ
- 17. ホルダ ステータ
- 18. ステージ

図 1.9 トルク試験器構成

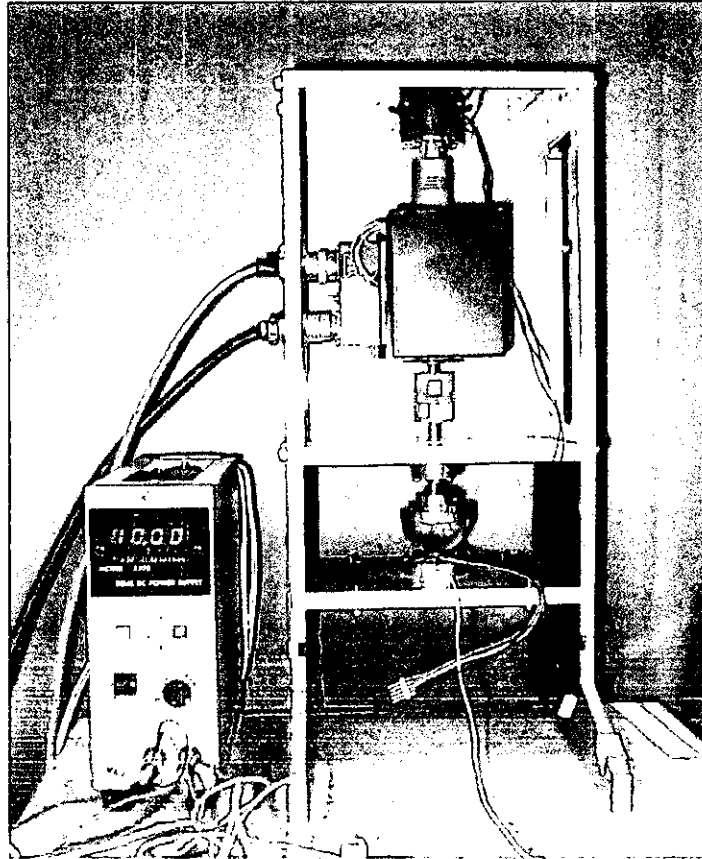


図 1.10 トルク試験器外観

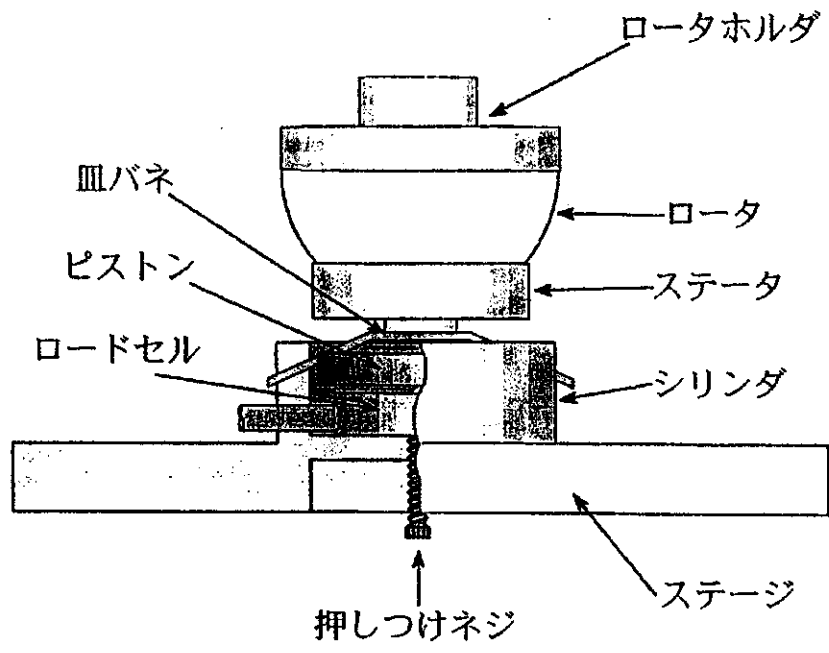


図 1.11 ロードセルと押付け機構