

### 4.3.3 超音波モータ表面温度測定

超音波モータは、超音波振動を利用し摩擦によって駆動しているため必然と熱が発生し、超音波モータの出力特性が低下して行き、駆動が停止するという現象が生じる場合もある。ライニング材は、そのような現象を回避する意味でも重要な要素であると考えられる。

超音波モータ表面温度測定システムを図 4.4 に示す。ステータが取り付けられているケース蓋に IC 温度センサを取り付け、外気から影響が受けられないよう接着剤でコーティングした。この温度センサ IC の仕様を表 4.4 に示す。この IC 温度センサの出力は、摂氏温度にリニアに比例する出力電圧を持つものである。IC 温度センサからの出力電圧は、データロガに入力される。入力された信号は、データロガ内で A/D 変換され、1 秒間に 1 回の割合でサンプリングし、データロガ内に記録される。記録されたデータは、シリアル通信でパソコンに転送が可能である。

超音波モータ表面の温度測定実験では、印加電圧を  $180\text{Vpp}$  とし、押付け荷重を  $9.8\text{kgf}$  とした。交流電圧の印加をし、上記のサンプリング周期で 30 分間の温度監視を行った。また、超音波モータへの負荷は、無いものとした。

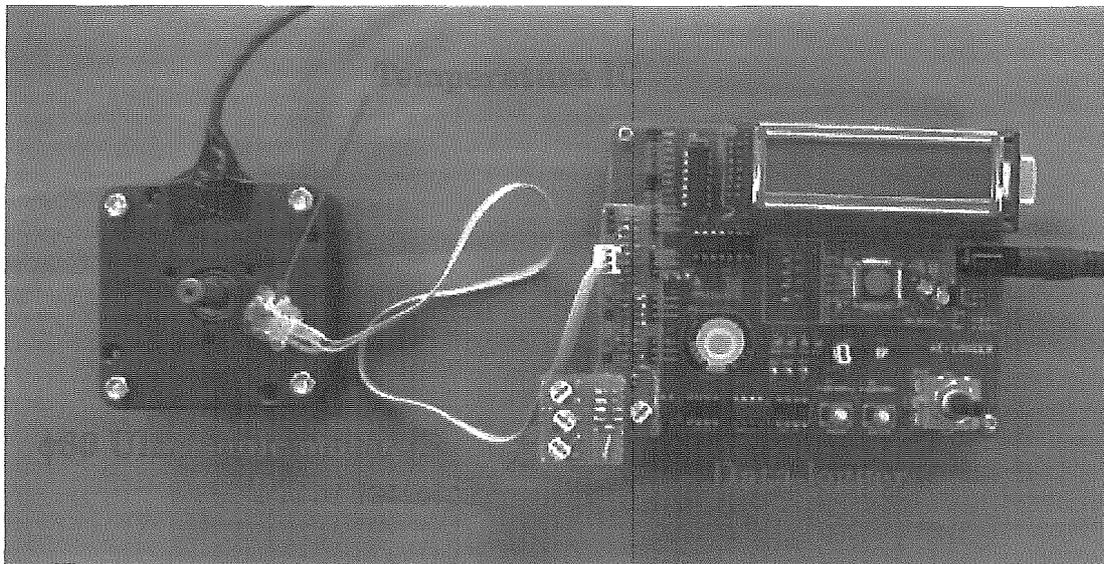


図 4.4 表面温度測定システム

表 4.4 温度センサ仕様

温度センサ	製造元	National Semiconductor Co.
	型式	LM35DZ
	最低温度	0 deg C
	最高温度	100 deg C
	最低起動電圧	4 V
	最高起動電圧	30 V
	ゲイン	10 mV/Deg C

#### 4.2.4 ライニング材の磨耗状態観察

摩擦駆動である超音波モータは、ステータとロータの接触面は磨耗が生じてしまう。ステータ及びロータにライニング材を貼り付けても長時間駆動した場合、ライニング材が磨耗による損傷を受け、超音波モータの出力特性が低下してしまう。そこで、本研究では、各種ライニング材を貼り付けたものを組み合わせて連続駆動を行い、ライニング材の磨耗状態を観察した。観察結果から、磨耗損傷状態を把握し、ライニング材の検討を行った。超音波モータの磨耗状態観察実験では、印加電圧を **180Vpp** とし、押付け荷重を **9.8kgf** とした。交流電圧の印加をし、**30** 分間の連続駆動を行った。また、超音波モータへの負荷は、無いものとした。ステータ及びロータの表面の磨耗状態を観測するために、デジタル顕微鏡で計 4 箇所について観察を行った。

### 4.3 軽量サンドイッチ型超音波モータの改良

#### 4.3.1 軽量サンドイッチ型超音波モータ概略

本年度は、昨年度までに開発した軽量サンドイッチ型超音波モータに前節までに得られた結果を反映し、軽量サンドイッチ型超音波モータの出力特性等の向上を図った。

超音波モータのトルクに押付け力が大きく影響を与える。そのため、過去に製作されたサンドイッチ型超音波モータや球面超音波モータでは、押付け力の調整をケースに取り付けたネジで直接行っていた。しかし、この構造では、超音波モータの熱や磨耗状態による変化に対応することが出来ず、ステータとロータの接触状態が悪化し、出力特性の低下が見られた。そこで、本研究では押付け力を与えるものとして、皿ばねを採用し、超音波モータの特性変化に対応し

た. 更に、押付け力を調整できるようにケースにネジ部を設け、任意の押付け力を与えられるようにした.

前節で選定したステータ材料によるステータ及びライニング材を貼り付けたロータの再設計を行った軽量サンドイッチ型超音波モータの完成図を図 4.5 に示す. 今回製作した軽量サンドイッチ型超音波モータは、サポートタイプのパワーアシストスーツに装備するものであり、モータ重量は、350gfである.

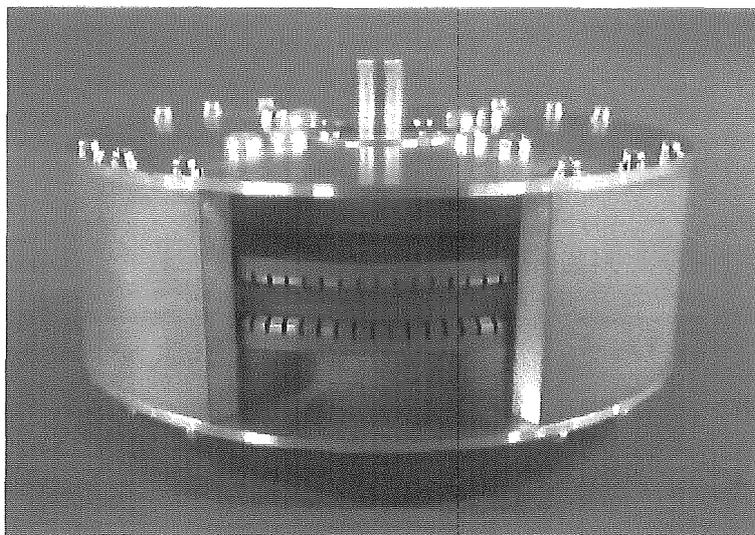
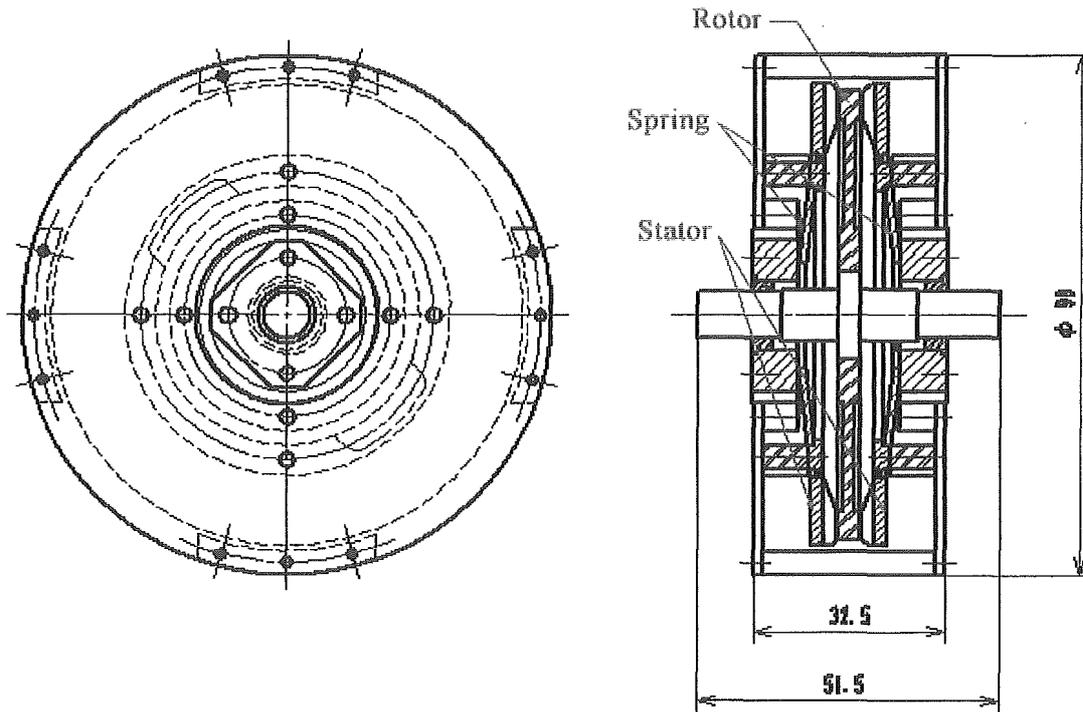


図 4.5 軽量サンドイッチ型超音波モータ

### 4.3.2 駆動試験

サンドイッチ構造による超音波モータの出力特性の向上を確認するために、単体の超音波モータとサンドイッチ型超音波モータそれぞれの回転数 - 駆動トルク特性を把握するために、図 4.6 に示す回転数・トルク試験機を用いて測定した。このトルク試験機は、押付け荷重測定用ロードセル、トルク測定用のトルク検出器及びトルクメータ、回転数測定用ロータリーエンコーダ、出力に負荷を与えるヒステリシスブレーキ等で構成されている。トルクメータからは発生したトルクに比例したアナログ電圧が出力されるため、そのアナログ電圧を A/D 変換ボードに入力し、記録した。また、ロータリーエンコーダからの信号をカウンタボードに入力し、回転数を記録した。

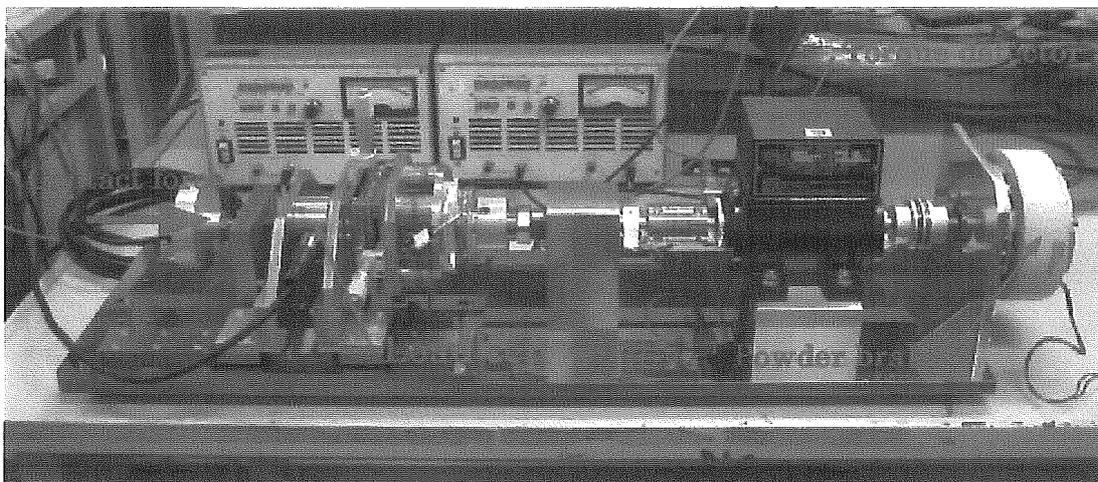


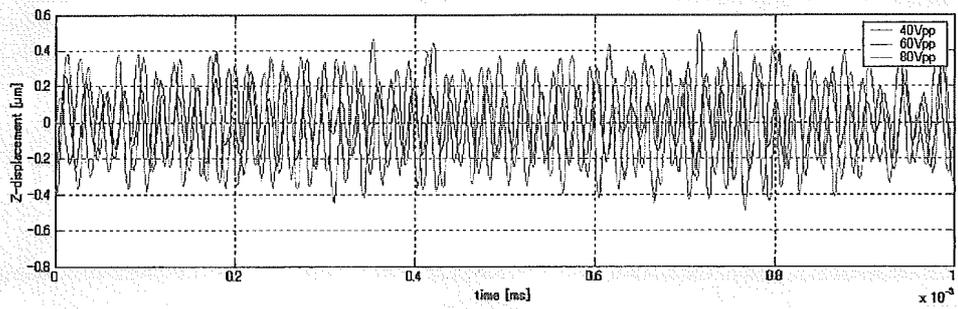
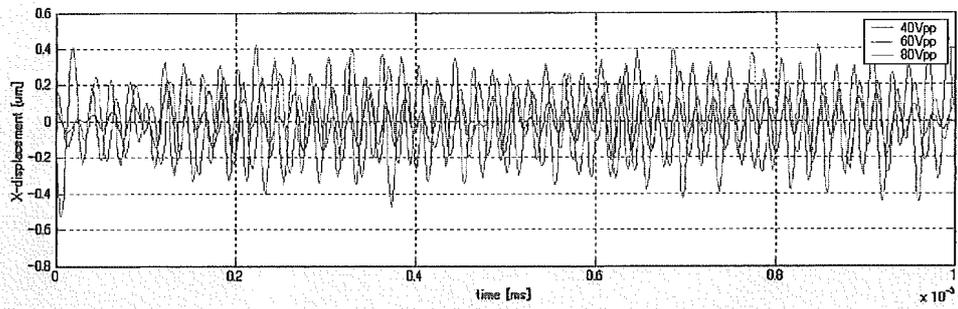
図 4.6 大型トルク試験機

## C. 研究結果

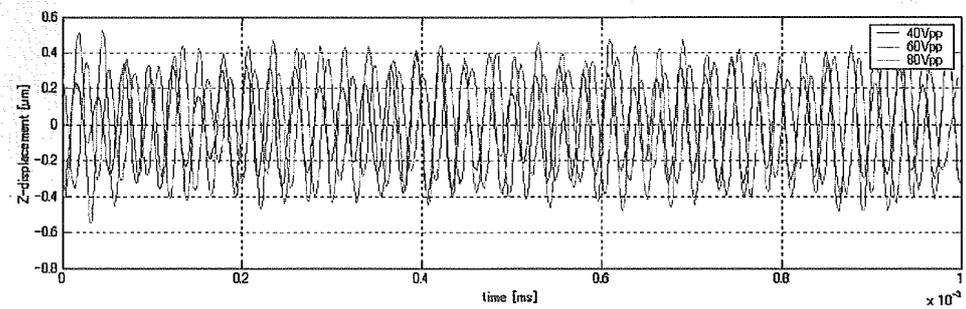
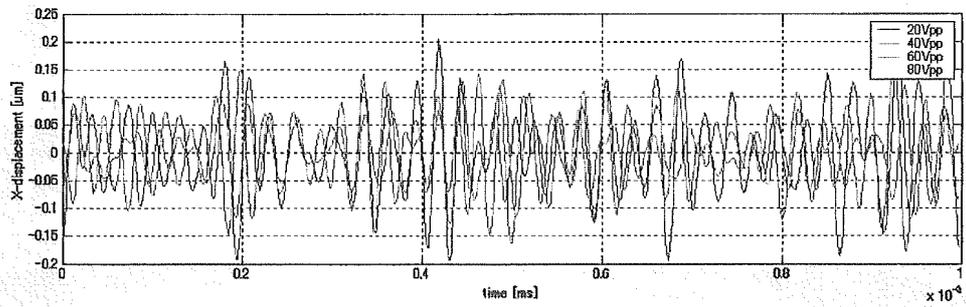
### 4.4 ステータ材料の検討

#### 4.4.1 ステータ振動振幅測定結果

各ステータの振動振幅の測定結果を図 4.7 に示す。図 4.7 中の Z-displacement、X-displacement はそれぞれ鉛直方向、円周方向の変位である。また、横軸は時間[msec]である。振動振幅測定結果から、各材料の最大振動振幅変位を比較した場合、鉛直方向変位に関して SUS420-J2 が最も大きく TP340 が最も小さい結果になった。円周方向変位に関して A6061 が最も大きく C5210 が最も小さい結果になった。また各材料において、円周方向変位が印加電圧に対する変化が顕著に表れなかった。そして、各材料の振動状態を比較した場合、C5210 が最も不安定な結果であった。

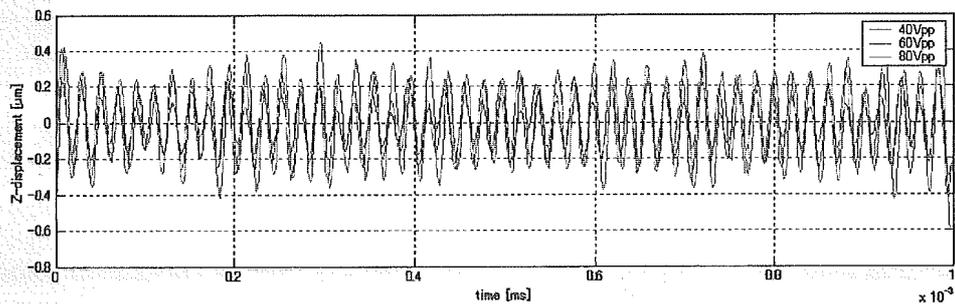
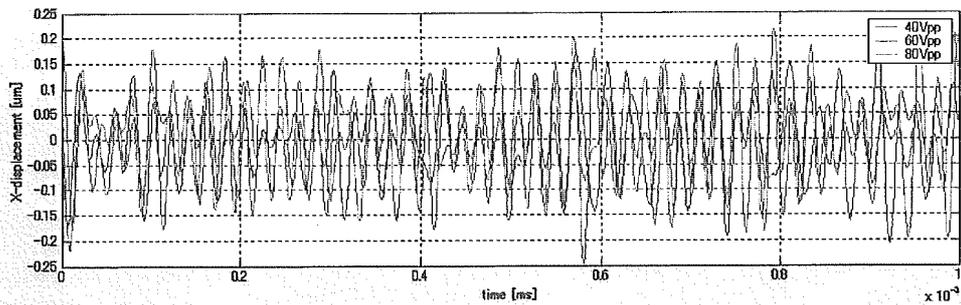


(a) A6061

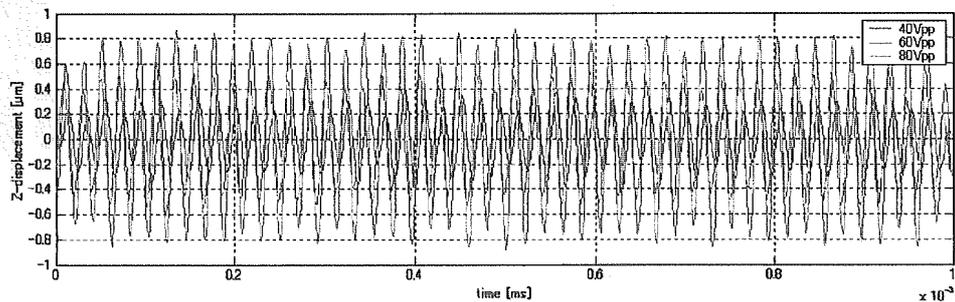
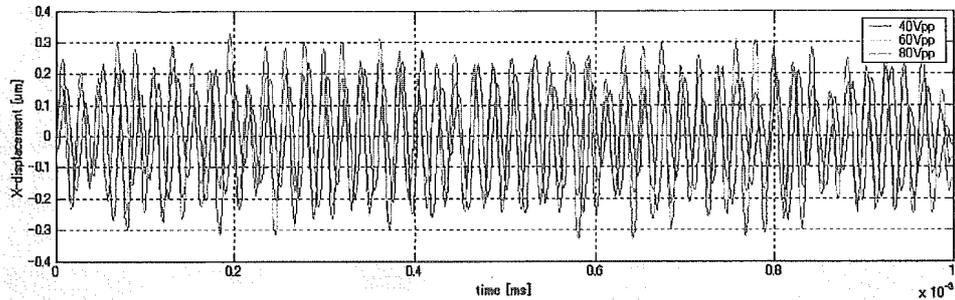


(b) C5210

図 4.7 φ30 ステータ振動振幅測定結果



(c) TP340



(d) SUS420-J2

図 4.7 φ30 ステータ振動振幅測定結果

#### 4.4.2 駆動試験結果

各ステータに対して行った回転数—駆動トルク試験結果を図 4.8-4.11 に示す。各ステータの回転数—駆動トルク特性より、駆動トルクは押付け力を 26.46N まででは大きくなるが、さらに押付け力をあげた場合、低下してしまった。また、回転数は押付け力と反比例の関係が見られた。各ステータの起動トルクを比較した場合、SUS420-J2 の 0.71Nm が最も大きく、TP340、C5210、A6061 と低下していった。また、駆動トルクが最も大きい押付け力 26.46N 時における最大回転数について比較した場合、SUS420-J2 の 200rpm が最も大きく、他の材料は駆動トルクと同様な結果になった。

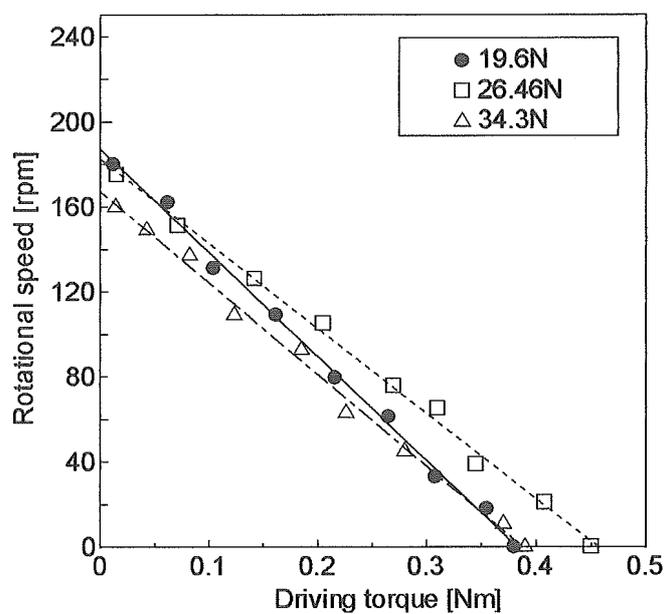


図 4.8 A6061 ステータ回転数—トルク特性

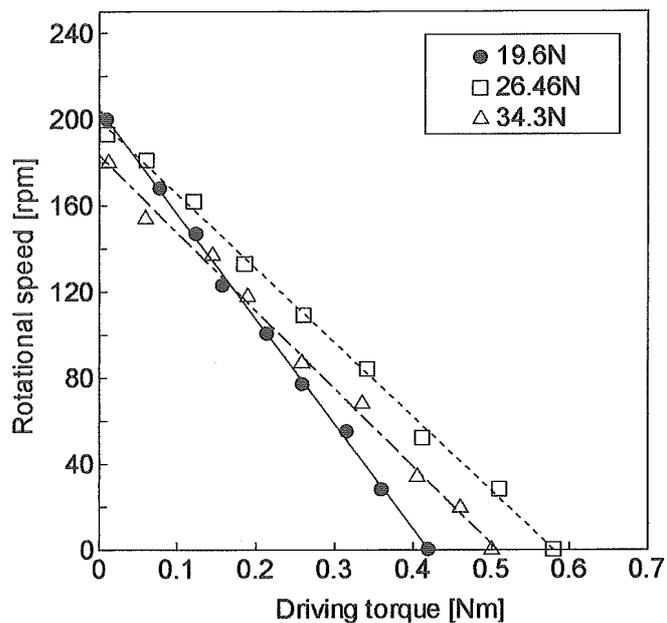


図 4.9 C5210 ステータ回転数ートルク特性

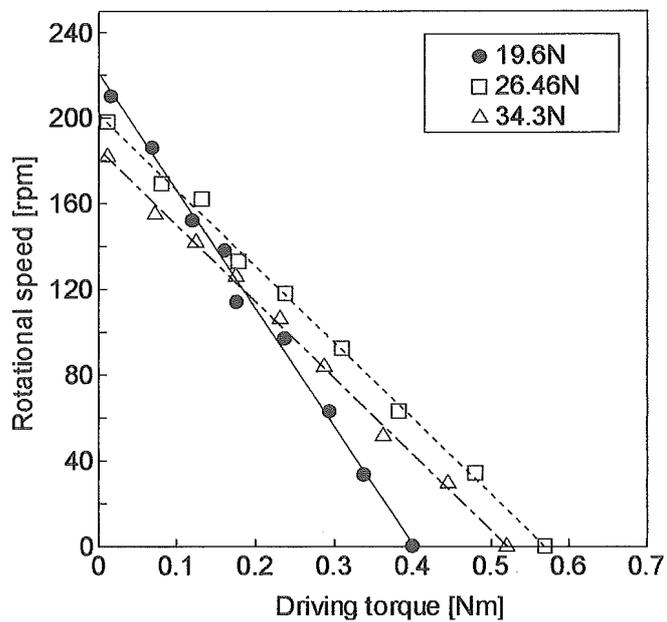


図 4.10 TP340 ステータ回転数ートルク特性

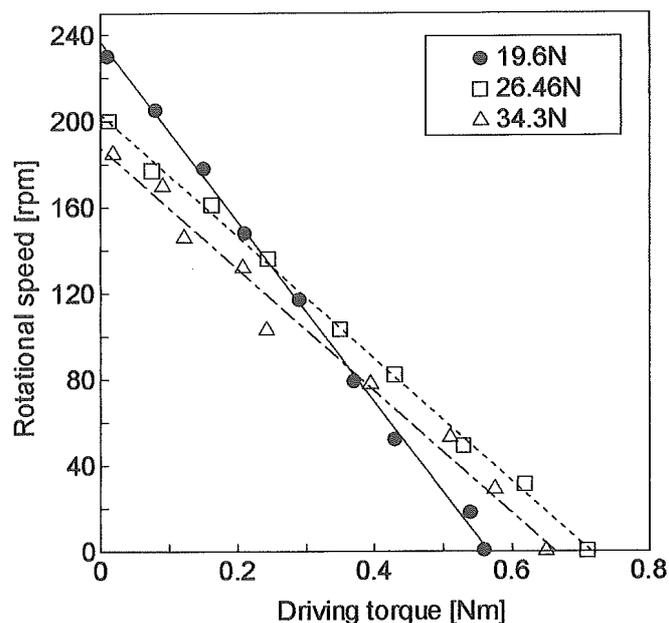


図 4.11 SUS420-J2 ステータ回転数-トルク特性

## 4.5 超音波モータの安定化

### 4.5.1 起動トルク測定結果

それぞれのライニング材による起動トルク - 印加電圧特性を図 4.12-4.23 に示す。各ライニング材の起動トルク - 印加電圧特性から最も大きいトルクを出力したのは、ステータ及びロータにライニング材を貼り付けていないものであった。

各ライニング材において、押付け力が大きいほど起動トルクが大きくなった。しかし、C2700 ステータ - Aluminum ロータに関しては、押付け力が 10.2kgf より 9.8kgf の方が大きいトルクを得ることが出来た。

ステータに貼り付けたフッ素樹脂系ライニング材の起動トルクを比較した場合、PTFE-GC の起動トルクが PTFE、PTFE-S の起動トルクより大きくなった。同様にロータに貼り付けた熱硬化性フェノール樹脂系ライニング材の起動トルクを比較した場合、PL-PEM、PL-FLM 共に全てのステータにおいて起動トルクに顕著な差は見られなかった。

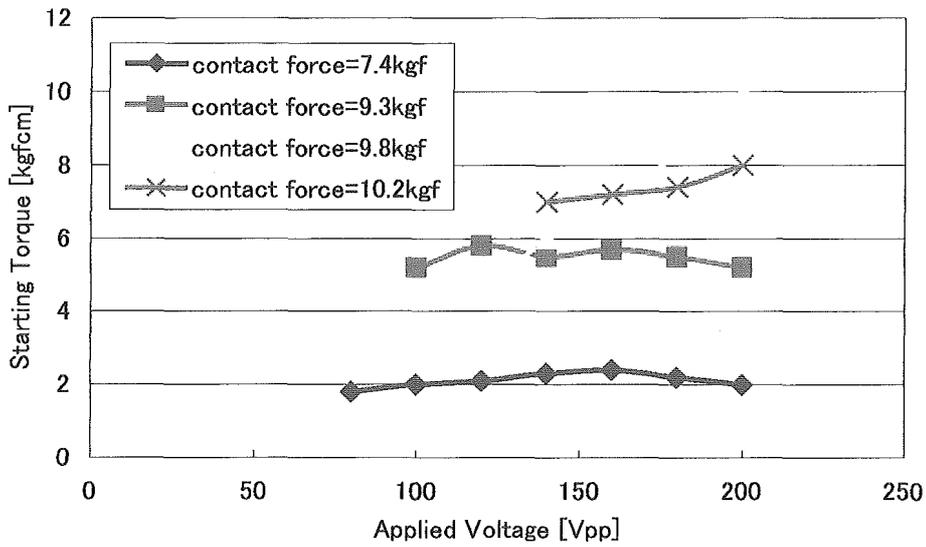


図 4.12 C2700 ステータとアルミロータ起動トルク測定結果

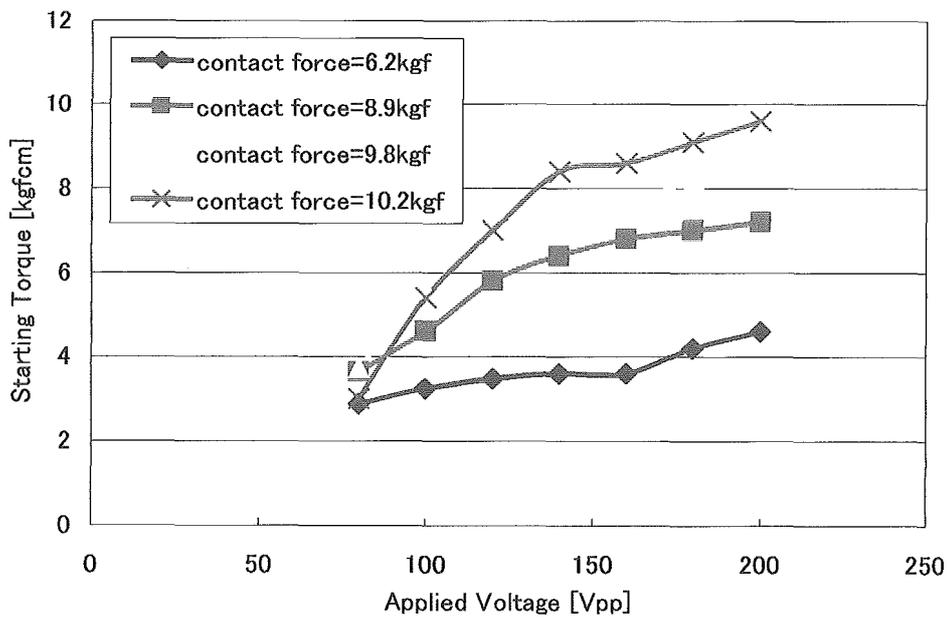


図 4.13 C2700 ステータと PL-PEM ロータ起動トルク測定結果

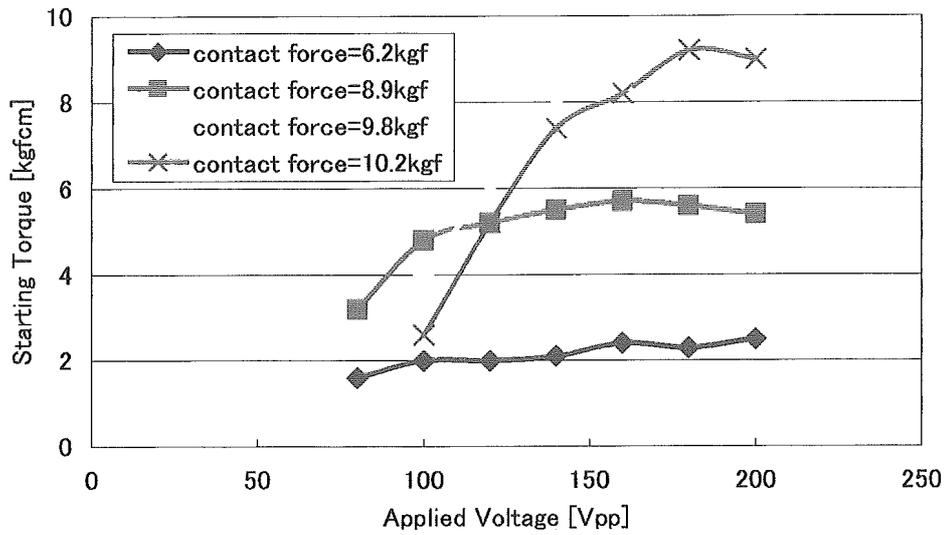


図 4.14 C2700 ステータと PL-FLM ロータ起動トルク測定結果

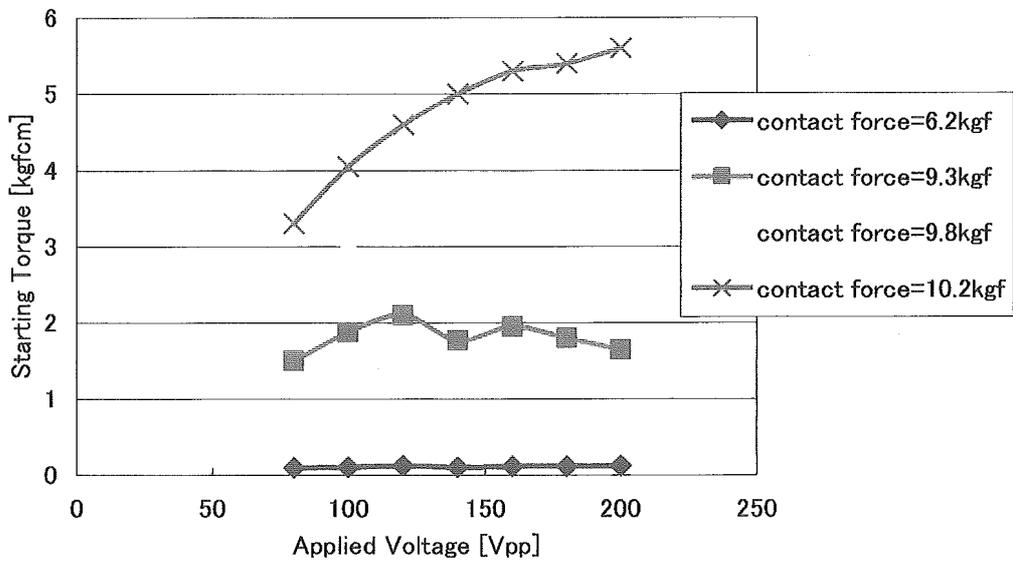


図 4.15 PTFE ステータとアルミロータ起動トルク測定結果

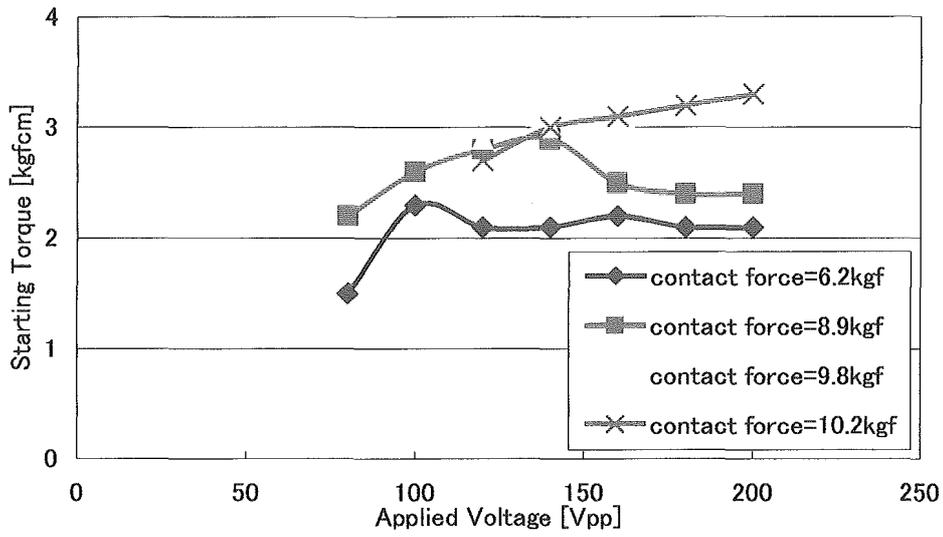


図 4.16 PTFE ステータと PL-PEM ロータ起動トルク測定結果

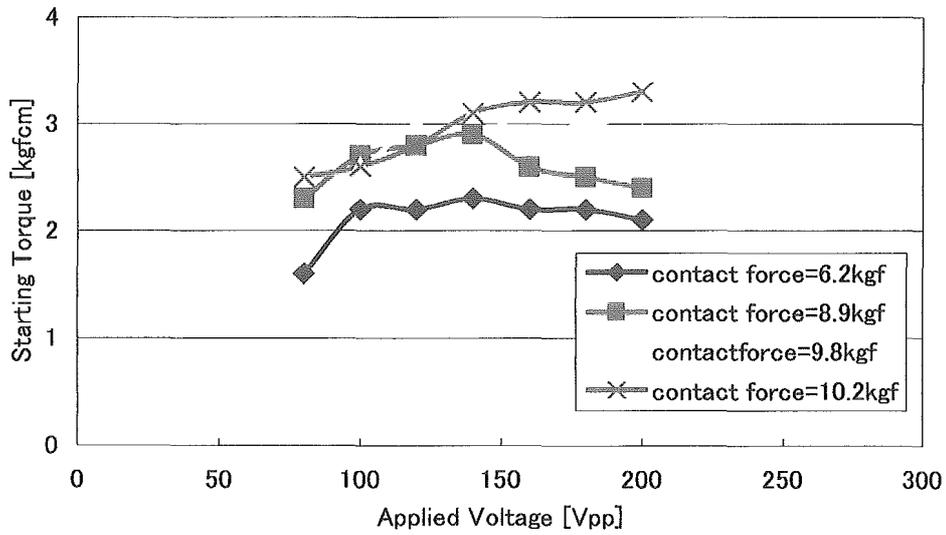


図 4.17 PTFE ステータと PL-FLM ロータ起動トルク測定結果

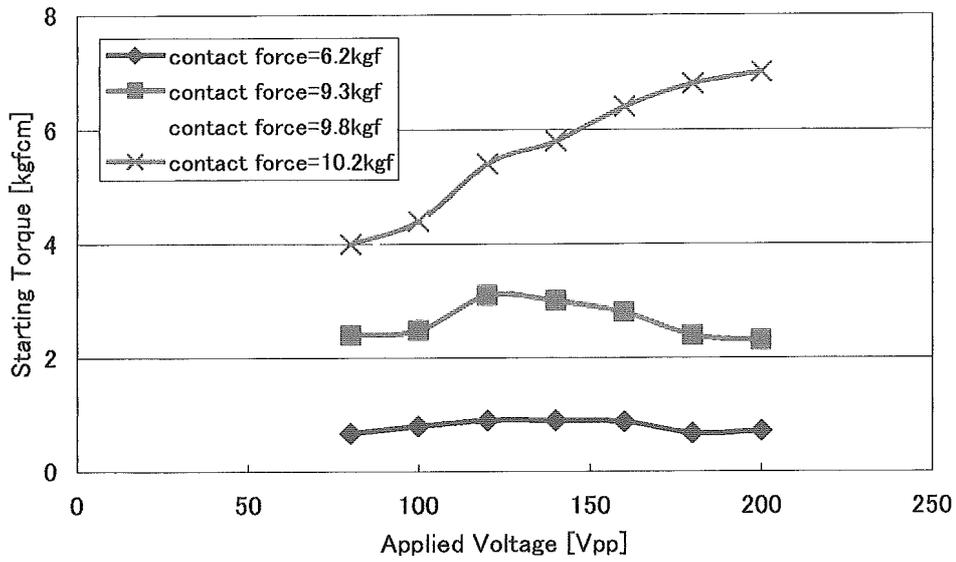


図 4.18 PTFE-S ステータとアルミロータ起動トルク測定結果

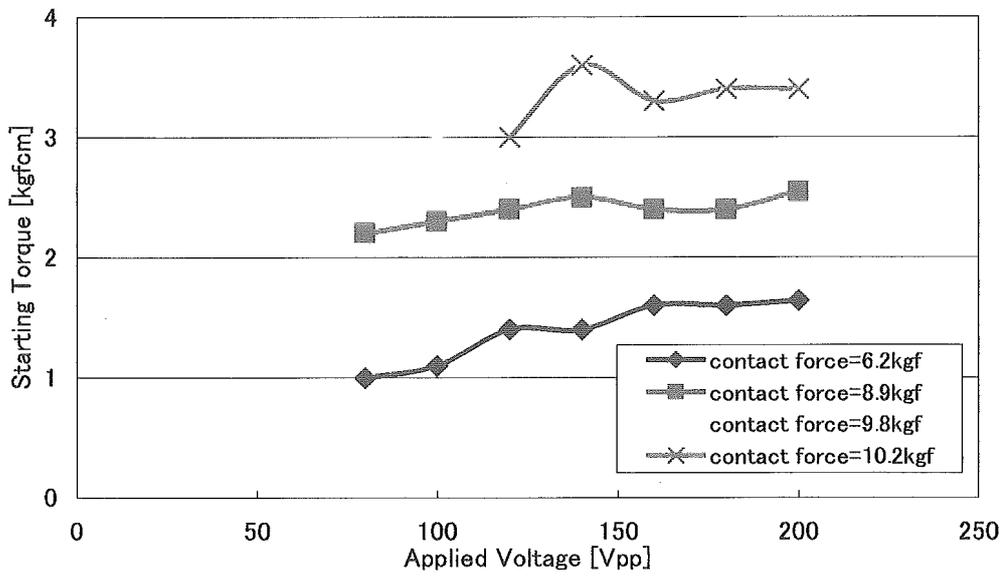


図 4.19 PTFE-S ステータと PL-PEM ロータ起動トルク測定結果

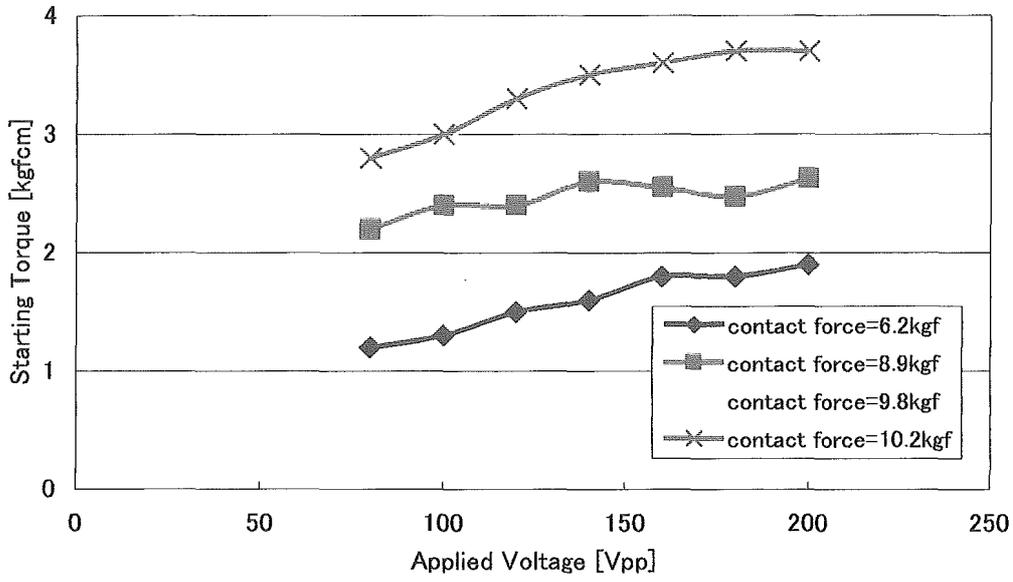


図 4.20 PTFE-S ステータと PL-FLM ロータ起動トルク測定結果

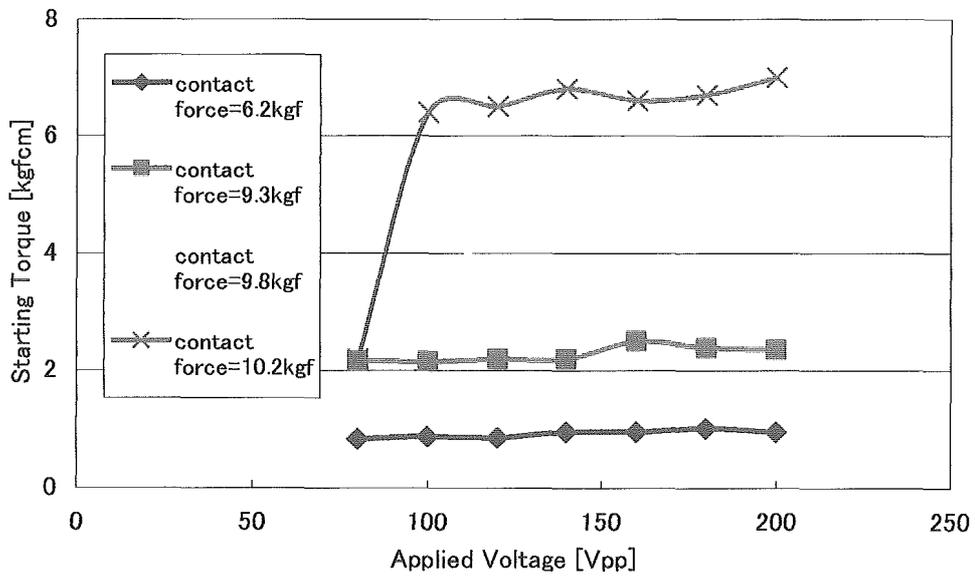


図 4.21 PTFE-GC ステータとアルミロータ起動トルク測定結果

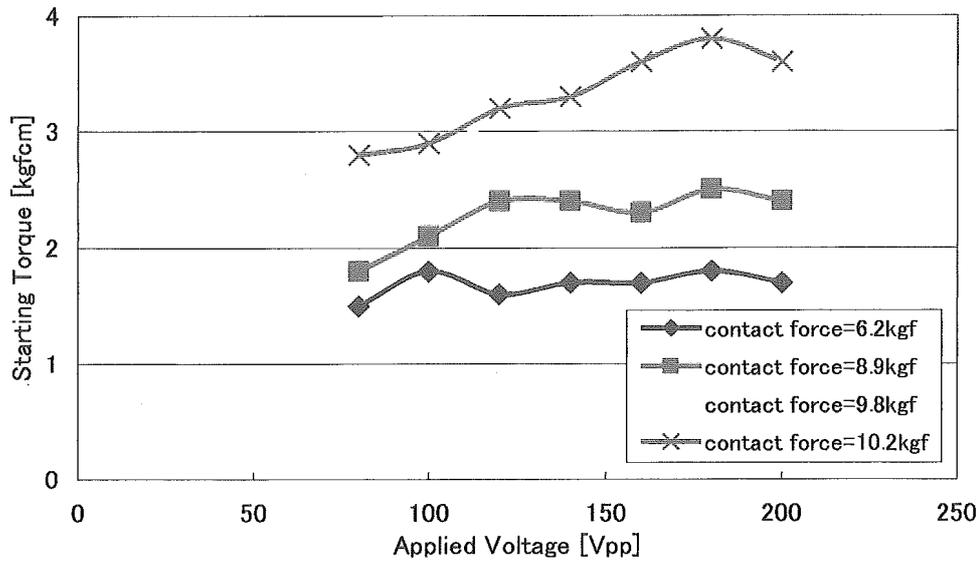


図 4.22 PTFE-GC ステータと PL-PEM ロータ起動トルク測定結果

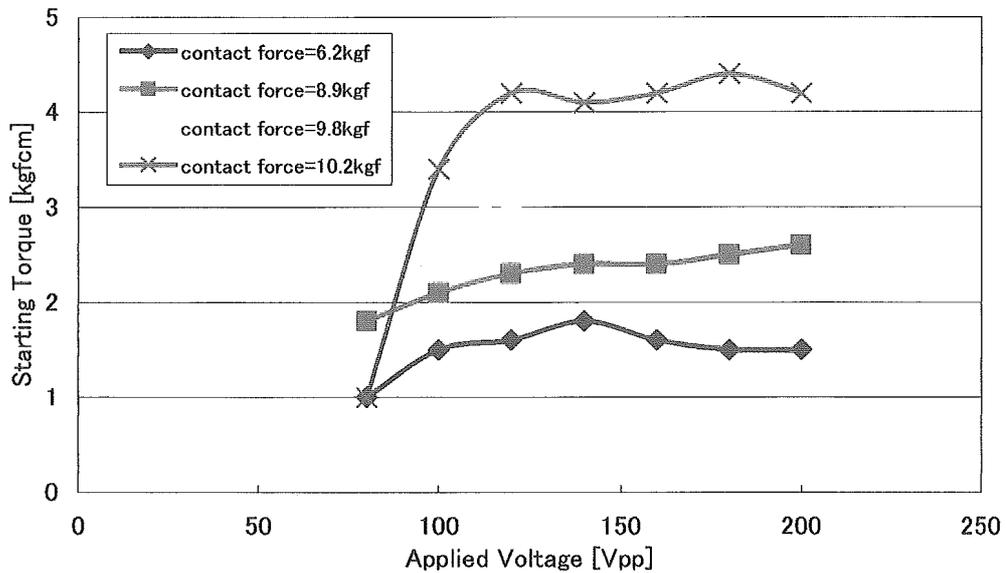
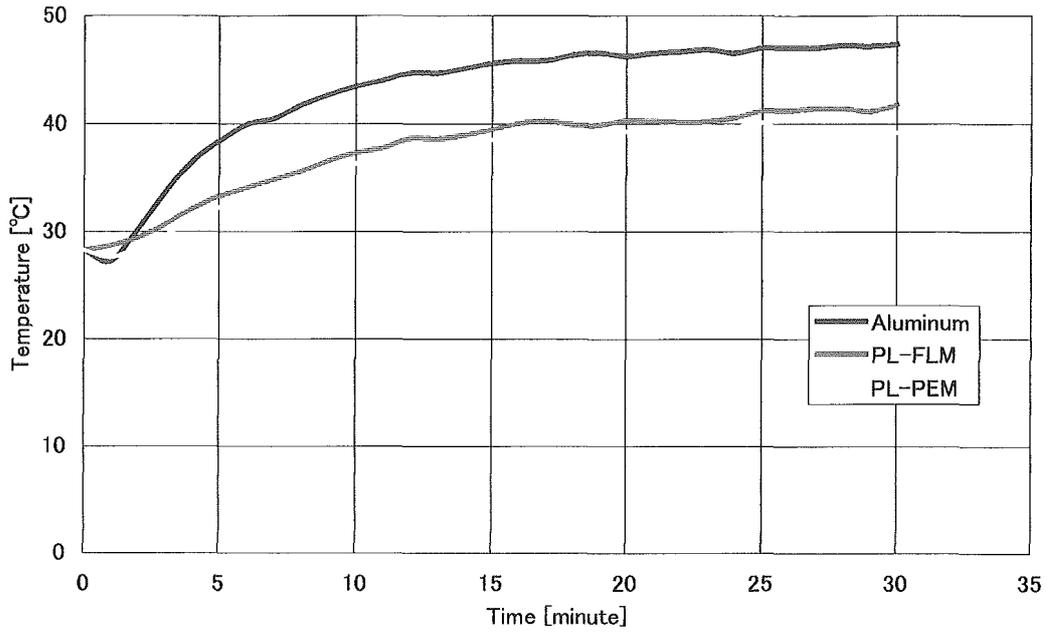


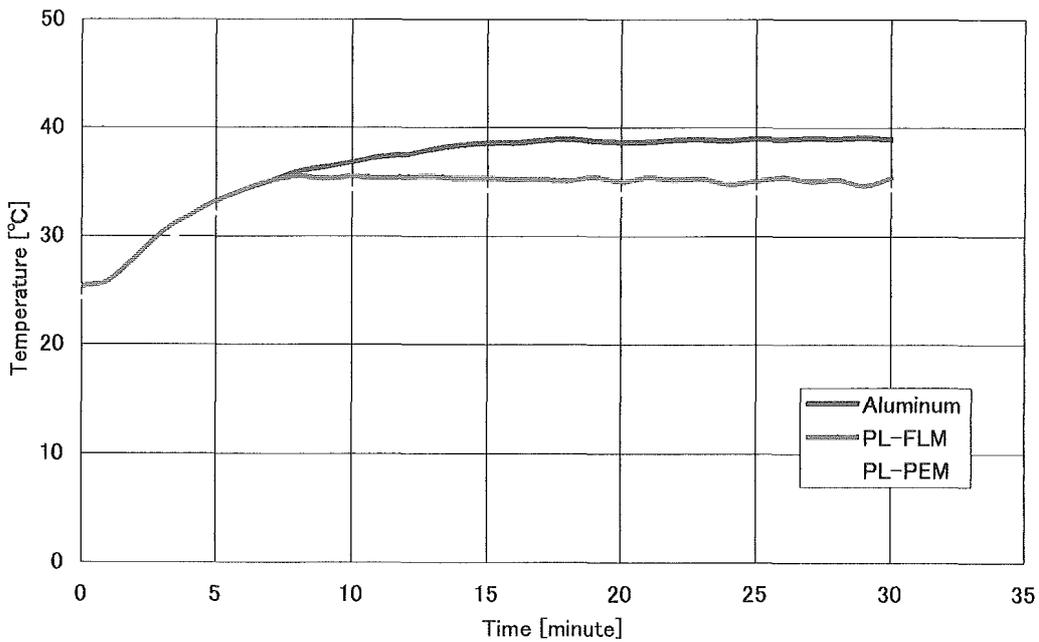
図 4.23 PTFE-GC ステータと PL-FLM ロータ起動トルク測定結果

#### 4.5.2 超音波モータ表面温度測定結果

それぞれのライニング材における超音波モータの表面温度測定結果を図 4.24 に示す。ステータに貼り付けた各ライニング材について比較した場合、ライニング材による超音波モータの表面温度に顕著な差は見られなかった。また、ロータに貼り付けた各ライニング材について比較した場合、PL-PEM、PL-FLM で表面温度に顕著な差は見られなかった。

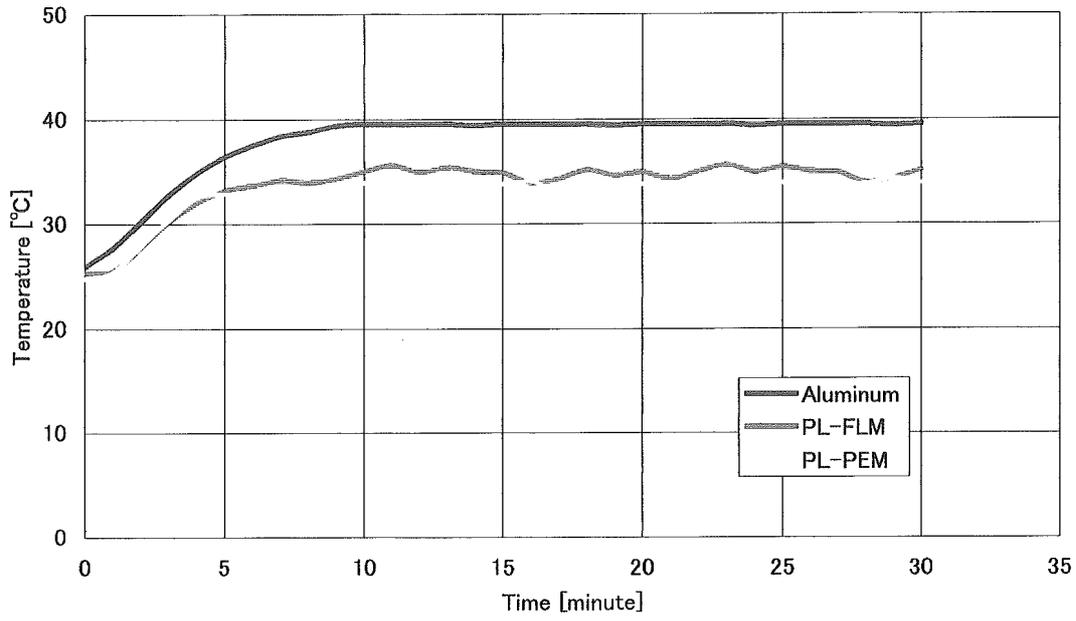


(a) C2700 ステータ

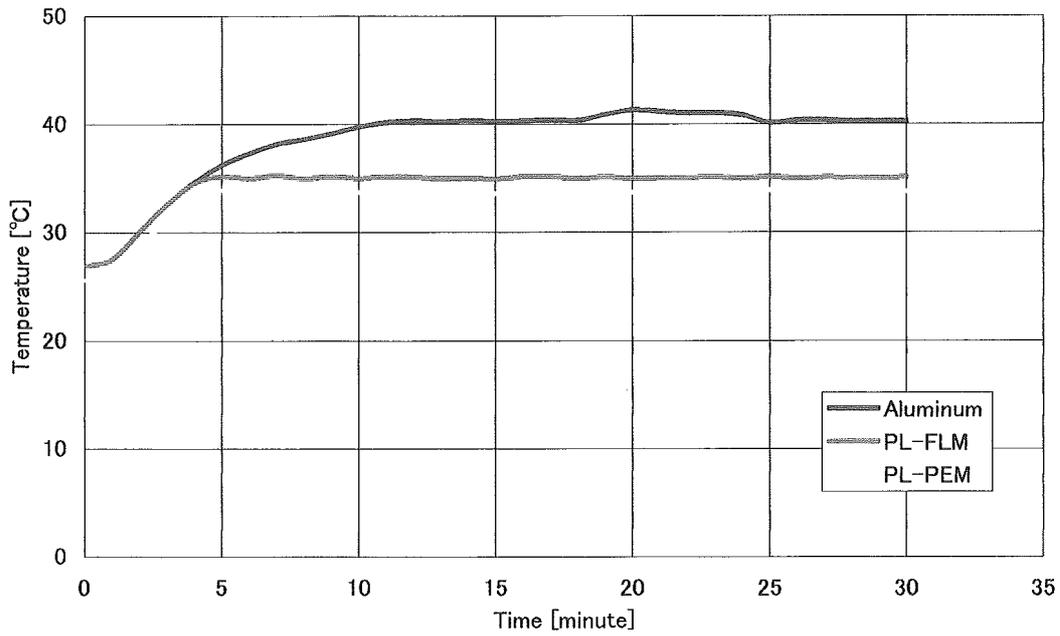


(b) PTFE ステータ

図 4.24 超音波モータ表面温度測定結果



(c) PTFE-S ステータ



(d) PTFE-GC ステータ

図 4.24 超音波モータ表面温度測定結果

### 4.5.3 ライニング材の磨耗状態観察結果

それぞれのライニング材について 30 分間の連続駆動を行い、ライニング材表面状態を顕微鏡で観察した結果を図 ure4.25-4.31 に示す。

図 ure4.29 の C2700 ステータにおいて、各ロータに対する磨耗状態を比較した場合、Aluminum ロータとの組み合わせは、櫛歯表面全体に磨耗痕が見られたが、PL-PEM、PL-FLM ロータとの組み合わせでは磨耗痕が見られなかった。

また、C2700 と組み合わせたロータのライニング材全てに磨耗痕が見られた。図 ure4.30、4.31 の PTFE、PTFE-S ステータにおいて、C2700 ステータと同様に Aluminum ロータとの組み合わせにおいて、ライニング材表面に凹凸が見られた。また、PL-PEM、PL-FLM ロータとの組み合わせにおいても PTFE、PTFE-S の櫛歯表面の円周方向に薄く磨耗痕が見られた。PTFE、PTFE-S ステータと組み合わせた PL-PEM ロータのライニング材に、C2700 ステータより薄い磨耗痕が確認された。また、磨耗痕が C2700 ステータ時に比べて薄く磨耗状態が一定に保たれたため、駆動中に停止することがなかった。

図 ure4.32 の PTFE-GC ステータにおいて、磨耗痕は確認されなかった。また、ロータのライニング材全てに磨耗痕が確認されなかった。

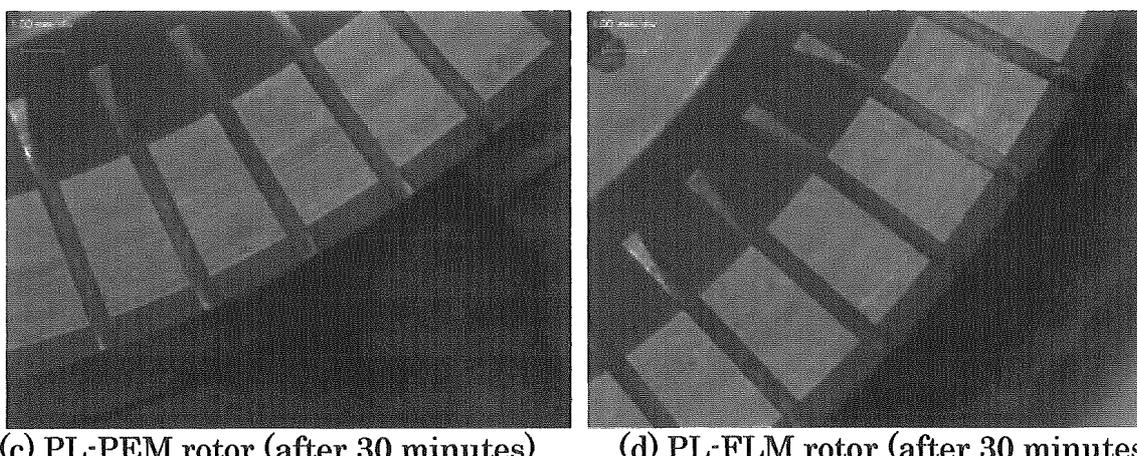
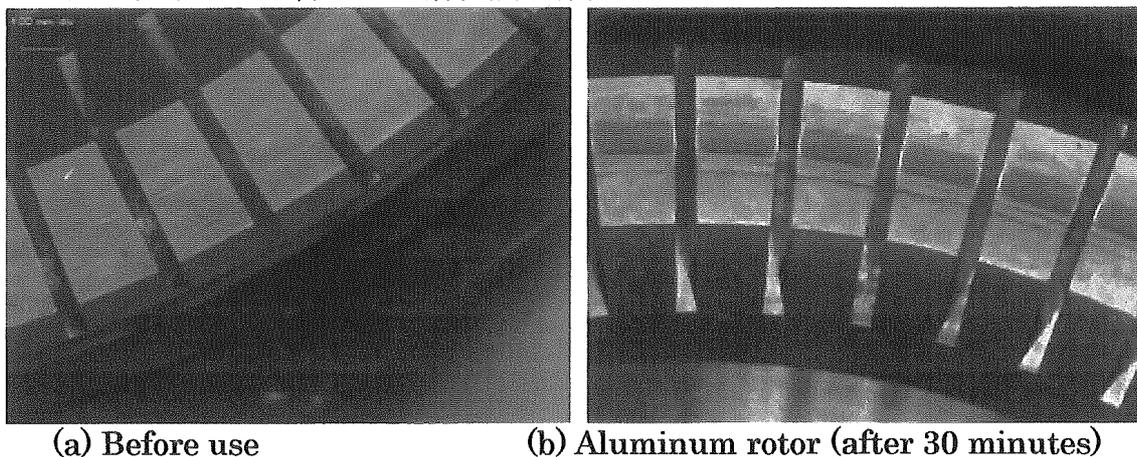
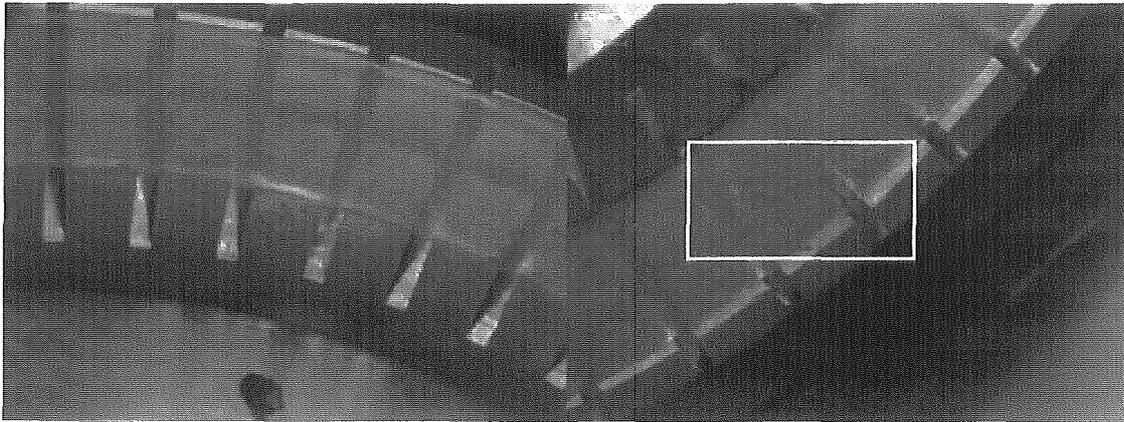
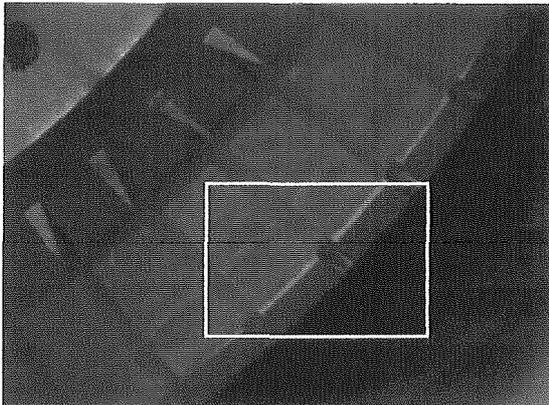


図 4.25 C2700 ステータ接触面状態

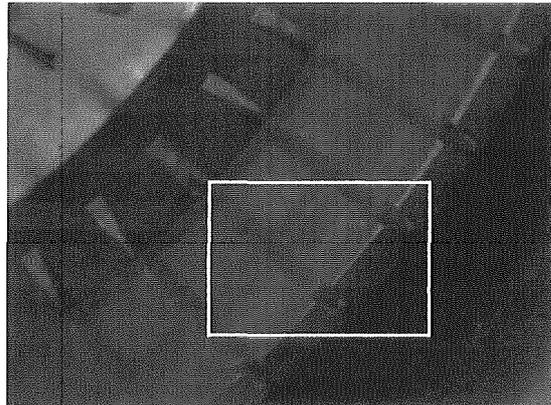


(a) Before use

(b) Aluminum rotor (after 30 minutes)

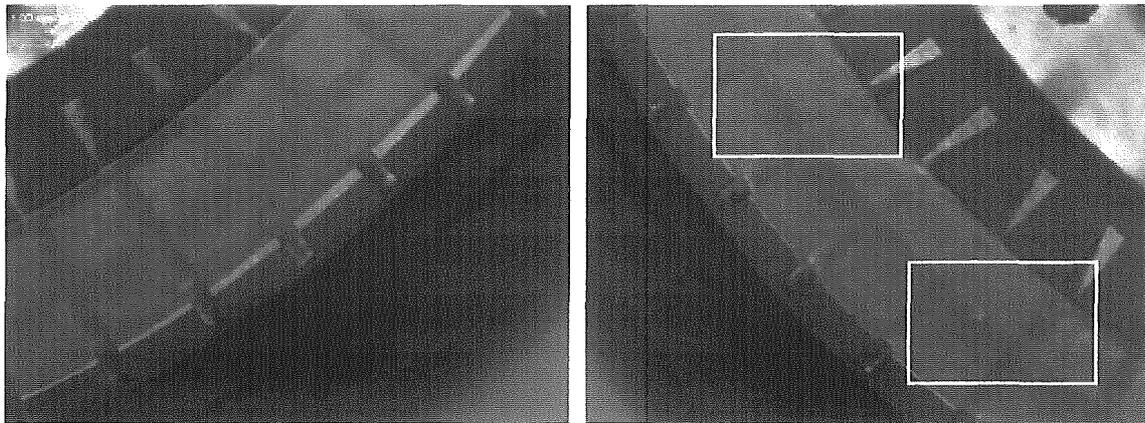


(c) PL-PEM rotor (after 30 minutes)



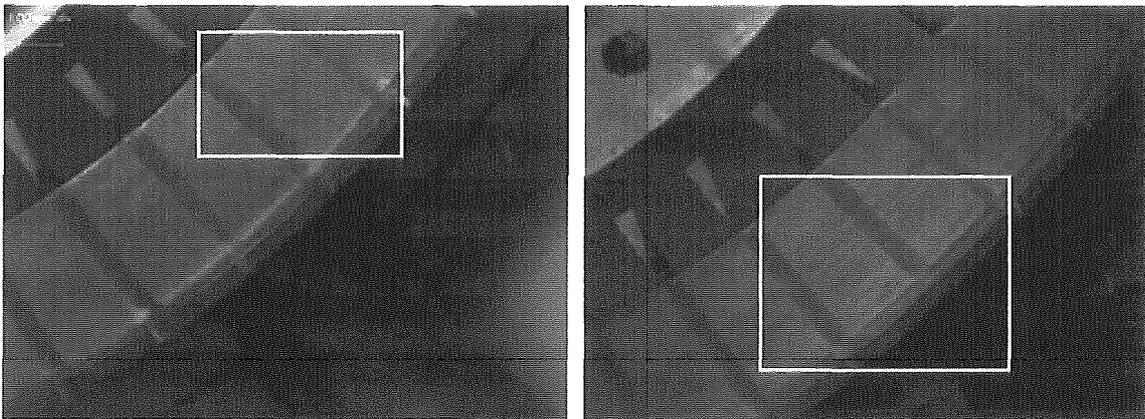
(d) PL-FLM rotor (after 30 minutes)

図 4.26 PTFE ステータ接触面状態



(a) Before use

(b) Aluminum rotor (after 30 minutes)



(c) PL-PEM rotor (after 30 minutes)

(d) PL-FLM rotor (after 30 minutes)

図 4.27 PTFE-S ステータ接触面状態