

Fig.5.4 ロータの設計図

5.1.3 押付け力調整機構

押付け力の調節は、外側のケースにスペーサを挟み込み、スペーサの厚さを調整することで、ステータに取付けられた皿バネを弾性変形させることにより、行なう。スペーサを挟み込むことにより、均等な押付け力がかけられる。

本実験で用いた実験装置の部品写真を、Fig.5.5 に示す。

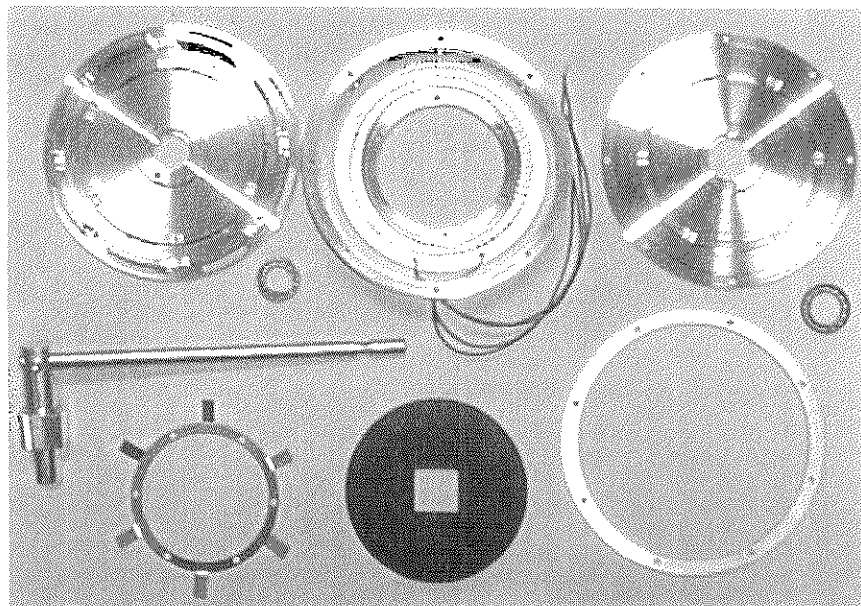


Fig.5.5 部品写真

5.1.4 電力系

ステータに印加する電圧は、波形信号発生器から出される2つの波形を、アンプにより増幅させて得られる。

波形発生器は、ファンクションモードで周波数が最高12.8MHzの任意の波形を出力できる。

以下に、機器の概略を示す。

表 5.1 使用した機器の概要

波形信号発生器	製造元 名称 形式 出力電圧 出力周波数 位相差	東亜電波工業 任意波形発生器 FS-2121 最大 $5V_{p-p}$ サンプルプレート 0.01kHz~25.6MHz $0 \pm 360^\circ$
アンプ	製造元 名称 形式 最大電圧 最大電流 利得	エヌエフ回路設計ブロック 高速電力増幅器 4020 $\pm 150V$ 2 Arms, $5.66A_{p-p}$ (40kHz~200kHz) $\times 20, \times 40, \times 100,$ $\times 200$

5.2 実験内容

試作した超音波モータの基本特性を調べるために、ステータの性能評価を行った。

ステータ単体の評価について説明する。今回試作した両面貼付けステータは、これまで当研究室で開発、使用してきた片面貼付けステータと異なり、2枚の圧電素子が同様の進行波を発生することにより駆動する。このため、ステータ単体で駆動させた場合の性能評価が必要である。性能評価の方法としては、ステータ単体で圧電素子に片方ずつ電圧を印加し、その時の共振周波数とロータの回転方向を確認した。

5.3 実験結果

5.3.1 ステータの性能評価

得られた実験結果を以下に示す。

両面貼付けのステータの単体での性能評価を行なった。ステータは同じ設計のものを2枚用意し、それぞれをST-1, ST-2と表記した。実験は、両面に貼付けた圧電素子の片面にのみ電圧を印加した時の、駆動周波数とロータの回転方向、回転速度と押付け力を測定した。実験はすべて同じ入力を用いている。

表5.2と表5.3にそれぞれのステータの測定結果を示す。表中の空白部分は、駆動しなかったことを意味している。

表5.2 ST-1の結果

	印加電圧 [V]	周波数 [kHz]	回転方向	回転速度 [rpm]	押付け力 [N]
表面	40				0.0
					2.1
					5.5
					7.5
	60	36.75	CCW	3.3	0.0
		36.74	CCW	5.0	2.1
	80	36.79	CCW	6.1	0.0
		36.74	CCW	8.4	2.1
	100				5.5
					7.5
		36.86	CCW	6.7	0.0
		36.83	CCW	7.5	2.1
裏面	40	36.75		3.7	0.0
					2.1
					5.5
					7.5
60	36.74	CCW	6.8	0.0	
	36.73	CCW	5.9	2.1	
80				5.5	
	36.87	CCW	5.6	0.0	
	36.75	CCW	9.0	2.1	
100				5.5	
				7.5	
	36.67	CCW	14.2	5.5	
	36.64	CCW	9.7	7.5	

表 5.3 ST-2 の結果

	印加電圧 [V]	周波数 [kHz]	回転方向	回転速度 [rpm]	押付け力 [N]
表面	40	36.82	CCW	4.6	0.0
					2.1
					5.5
					7.5
	60	36.83	CCW	7.1	0.0
		36.79	CCW	6.3	2.1
					5.5
					7.5
	80	36.82	CCW	10.9	0.0
		36.71	CCW	15.0	2.1
					5.5
					7.5
100	36.77	CCW	15.0	0.0	
	36.59	CCW	40.0	2.1	
	36.54	CCW	30.0	5.5	
	36.62	CCW	30.0	7.5	
裏面	40	36.69	CCW	10.9	0.0
		36.6	CCW	12.0	2.1
					5.5
					7.5
	60	36.71	CCW	15.0	0.0
		36.61	CCW	20.0	2.1
		36.58	CCW	20.0	5.5
					7.5
	80	36.74	CCW	15.0	0.0
		36.54	CCW	40.0	2.1
		36.55	CCW	30.0	5.5
		36.57	CCW	26.7	7.5
	100	36.80	CCW	9.2	0.0
		36.56	CCW	54.5	2.1
		36.56	CCW	48.8	5.5
		36.59	CCW	54.5	7.5

5.3.2 応答速度

Fig.5.6 に印加電圧と回転速度の関係について示す。それぞれのステータの圧電素子に4段階の電圧を印加し、その時の回転速度を測定した。ここでは、ST-1のステータの表面と裏面の圧電素子をそれぞれ、1-A, 1-B, ST-2のステータの表面と裏面の圧電素子をそれぞれ、2-A, 2-Bとする。

実験結果の比較の対象として、これまでに当研究室で開発・使用してきた片面貼付けのステータの、回転速度の値を示す。ステータの外径は、試作したステータと同じ $\phi 100$ [mm]である。

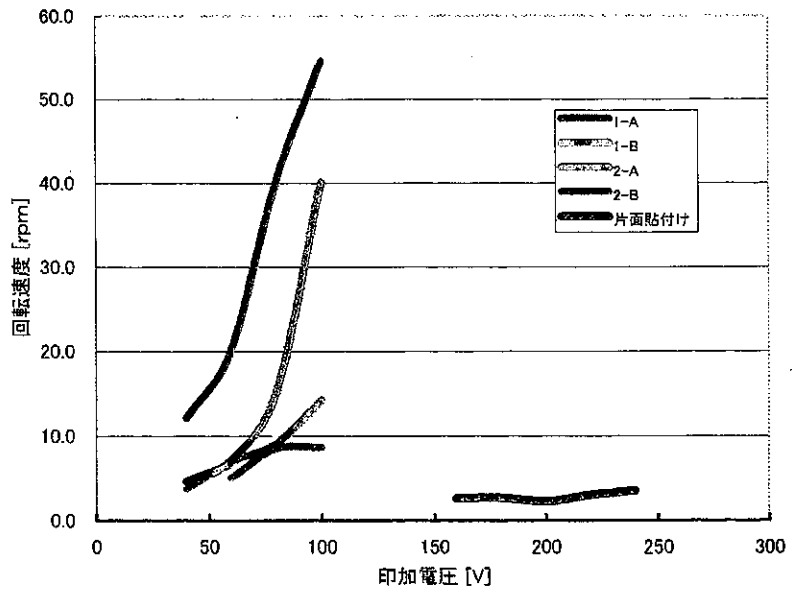


Fig.5.6 印加電圧—回転速度の関係

D. 考察

ステータの性能評価について考察する。表 5.2, 表 5.3 から分かるように, ステータごとの性能に大きな差がある。ステータの金属の弾性体の部分は基本的に同一のものとして考えることができる。そのため, これらの性能差を生じる要因としては, 圧電素子の品質の差と, ステータの金属部分に圧電素子を貼付けたときの接着状態のばらつきが考えられる。圧電素子は粉末を焼結してつくる。そのため, 粉末粒子のサイズのばらつきが常に存在し, 全てにおいて均一な品質の圧電素子を作ることは困難である。これが性能に影響を与える一つの要因であると考え。もう一つの要因として, 圧電素子の接着状態が考えられる。ステータの金属部分に圧電素子を貼付けるときは, 貼付け用治具を用いて均一に押付けて圧着する。現状ではこれを人の手により行っており, 貼付け位置や押付けにも高精度を要求するのは困難である。そのために, 接着層の厚みが均一ではなく, 貼付け位置にもずれが生じる。超音波モータの振動振幅は接着層の厚みよりも小さいため, 接着層の厚さに差があった場合, 振動の伝わり方が変わることが十分に考えられる。安定した一定形状の楕円軌跡が全ての接触面で描かれなければ, ロータとの接触に偏りが生じ, 安定した回転が得られない。以上のことから, ステータの性能にばらつきが生じたと考えられる。

次に, 印加電圧と回転速度の関係について考察する。Fig.5.6 より, ステータによりばらつきがあるものの, 印加電圧が 100V 以下で高い回転数を得られた。試作した膝サポータに用いた DC モータは, 減速機構を用いてトルクを得ているため, 約 47 [rpm] の回転速度まで減速している。DC モータでトルクを得るためには, さらに減速をする必要があるため, 回転速度はこの数値より低くなる。よって今回の試作した両面貼付けのステータの目標値としてこ

の値を設定した。ステータの性能に個体差があるが、結果として高い回転速度が低い印加電圧で得られている。このことから、片面貼付けのステータと比較して、両面貼付けのステータは非常に有効であると考えられる。

E. 結論

本研究では、障害を持つ人々の行動を補助し、自立を促すものとして、アクチュエータを組込んだ膝サポータの開発を行なうことを目的とした。ここで開発を行なうにあたり、組込むアクチュエータとしての超音波モータの低電圧での応答速度の向上を目指した。

以下に得られた結果を示す。

- ・低電圧で高い回転数を得られた。このことから、両面貼付けのステータは低電圧化に対して有効である。
- ・圧電素子により性能に個体差が生じる。

今回の実験では、回転速度に重点を置いたために、トルクの評価が十分ではなかった。今後の方針として、

- ・両面貼付けのステータを用いた、 $\phi 100$ [mm]の超音波モータのトルクの評価を行なう。
- ・圧電素子の個体差の生じる原因の究明と、その改善方法の検討。
- ・超音波モータを用いたアクティブサポータの完成。

が挙げられる。

参考文献

- [1] 見城尚志、指田年生：超音波モータ入門、総合電子出版社、
1991
- [2] トリケップス：新版 超音波モータ、株式会社トリケップス、
1991
- [3] 舟久保熙康、初山泰弘：福祉工学、産業図書株式会社、
1995
- [4] 三好俊郎、白鳥正樹、坂田信二：応用数値計算ライブラリ
有限要素法解析、株式会社朝倉書店、1998

厚生科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）

分担研究報告書

モータ制御に関する研究

研究者 梅田 倫弘 東京農工大学工学部教授

研究要旨

本年は、制御の基本となるモータ特性を中心に研究をすすめた。モータの制御を行う場合には、その制御対象となるモータの特性を十分に把握している必要がある。特に今回の超音波モータは、高トルクを得るためのアプローチがこれまでと異なり、2枚のステータでロータをはさむ構造にし、構造的な面から高トルク化を目指しているため、モータ特性はこれまでのものとは異なっている。

このサンドイッチ型構造の超音波モータを開発し、その特性試験を行った。そのときの超音波モータが示す挙動で、2枚のステータに入力する周波数が同じとき、モータは不安定であり、周波数に差をつけると、うなりを起こすが回転が安定していることがわかった。うなりを起こす原因として、サンドイッチとして組み合わせる2枚のステータのわずかな製作誤差により両者の共振周波数が異なることが挙げられる。このため、ステータの加工精度をあげ、共振周波数ができる限り近いものを選び、組とすることで対処した。さらに、組となる2枚のステータの位相を最適に調節することが重要であり、最適に調節することで、きわめて高トルクを得ることができた。

この実験で得られた結果より、この超音波モータを制御する基礎が得られた。

A. 研究目的

1.1 概要

近年、ロボット技術は様々な分野で応用されている。それに従い、ロボットに用いるアクチュエータには、小型化・高トルク化・多自由度化・高精度等といった様々な要求がされる様になった。

現在、ロボットに用いるアクチュエータとしては、電磁式のモータが広く普及している。しかし、これら電磁式のモータは、使用しているコイルや電束密度により発生トルクが左右される。また一般に小型化すると、高回転・低トルク傾向になり、高トルクを得るには、減速機構が必要になってくる。このため、高出力を必要とするロボットの動力として用いるには、必ず減速機を用いなければならない。このことにより、駆動部分の容積・重量の増大、バックラッシュの累積による位置決め精度の低下、等の問題がある。

本研究の対象である超音波モータとは、超音波領域の機械振動を駆動源とする摩擦駆動モータであり、電磁式のモータとは駆動原理が違う。本研究での超音波モータは進行波型超音波モータと呼ばれるものである。進行波型超音波モータの駆動原理は、弾性体でできたステータに、圧電素子の圧電効果によるたわみ振動を発生させることにより、ステータ表面に進行波を発生させ、その表面にロータを押付けることで、ロータは摩擦力により回転する。

進行波型超音波モータの特徴は、

- 低速時に大きなトルクを発生する
- ブレーキ機構が不要
- 構造が簡単のため、軽量化・小型化が可能でトルク密度も大きく出来る。
- 接触摩擦による駆動であるので慣性負荷を直接駆動できる
- 磁界の作用を受けにくく、また磁気を発生しない。

と言ったものが挙げられる。

1.2 サンドイッチ構造の超音波モータ

平面型超音波モータのトルクを増大させる為に、これまでステータの形状や材質、使用する圧電素子の種類、等研究されてきている。本研究では、それらの方向で高トルク化を考えるのではなく、ステータを2枚用いて、ロータを挟むようなサンドイッチ構造にして、通常の1枚の場合のモータの2倍のトルクを得ることを目的とした。このサンドイッチ構造にした理由は、ステータが1枚のモータと比較して同程度の容積であり、小型であり、またモータの構造が簡単である。サンドイッチ構造の超音波モータの概略図をFig.1.1に示す。

本研究では、特にステータの枚数が1枚駆動のとき、サンドイッチ構造で2枚駆動のときのトルクの比較、またサンドイッチ構造にすることで発生する問題点に注目した。

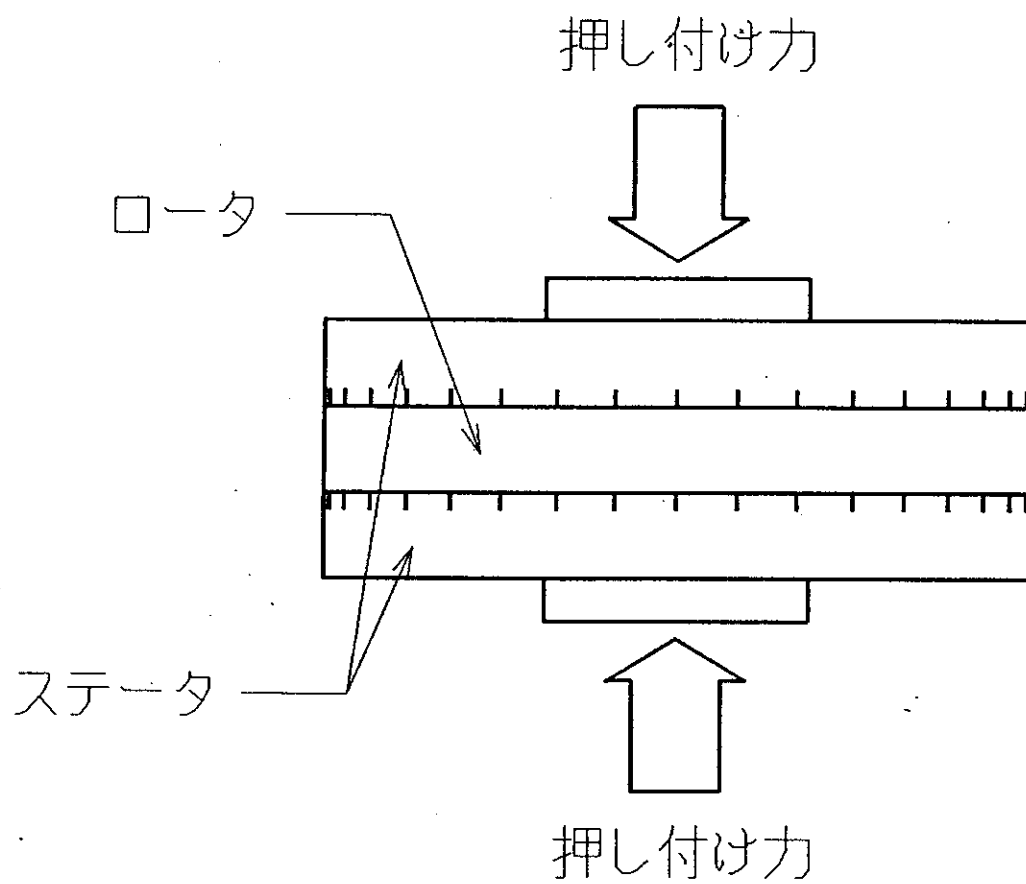


Fig.1.1 サンドイッチ構造の超音波モータ

B. 研究方法

3.1 実験装置

実験装置の概略図、実験装置図、システム構成図をそれぞれ、Fig.3.1, Fig.3.2, Fig.3.3に示す。Fig.3.1に示すように、ロータが2枚のステータに挟まれているサンドイッチ構造になっている。ステータが1枚のときの測定は、2枚のステータのうち1枚を取り出し、そこにスラスト軸受を入れて測定した。

3.1.1 ステータ

ステータの形状はFig.3.4に示す。材質は黄銅である。実験ではステータを2枚使用するが、同じ寸法ものを使用する。ステータの裏に貼り付ける圧電素子はFig.3.5に示す。圧電素子はPZT（ジルコン酸チタン鉛）を使用し、Fig.3.5に示すように、隣り合う部分の分極方向が逆になるように、厚み方向にポーリングが施してある。またそれとは別に、同図に示すC部分は、フィードバック電極とするためのポーリングが施してある。フィードバック電極はステータのたわみ振動を、圧電現象により電極間に生じる電圧の変化から観測するためのものである。圧電体表面には電極として、ステータとの接触面ではポーリングと区分と同じ区分け、もう一方の面には相ごとに、それぞれ銀を蒸着してある。配線は電極面に半田付けにより行なう。圧電素子は、ステータの歯の裏側にあたる部分に、エポキシ系の接着剤で加圧しながら接着されている。

共振周波数は、32.3kHz～32.4kHzである。

3.1.2 ロータ

ロータの形状はFig.3.6に示す。材質はポリカーボネイトである。ステータ1枚のときの実験では、ロータの片面に厚さ5mmの黄銅板を接着して使用した。