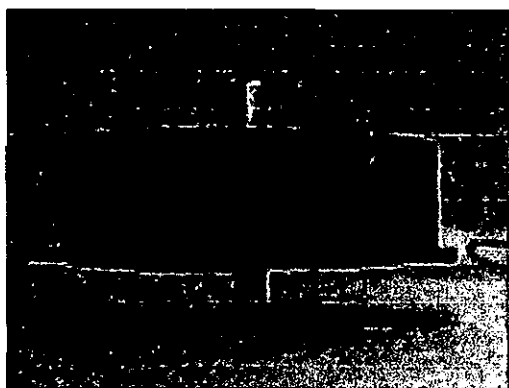


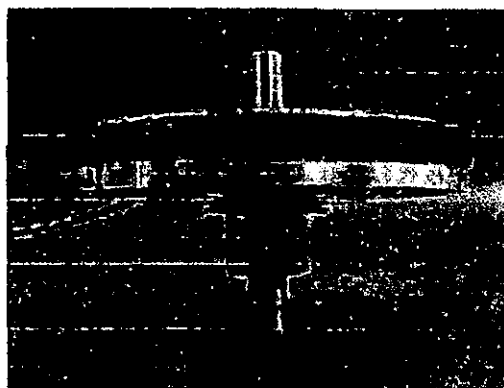
2.1 $\phi 80$ 超音波モータ

製作した $\phi 80$ 超音波モータを図 4.14 に、構成要素及び材質を表 4.1 に示す。これまでに製作してきた超音波モータは、押し付け力を調整するための機構を持っていたが、実際は動作中において押し付け力を変化させることは無い。そこで式(4-30)より最適押し付け荷重を決定し、皿ばねを介してケースをネジで固定することで完全に押し付け力を固定した。しかし、超音波モータ駆動時にはステータによる熱膨張などによって超音波モータ内の環境が変化するため、常に一定の押し付け力であるとは言い難い。動作を安定させる際に、ステータの共振周波数を追従することで押し付け力の変化による動作の不安定化を軽減することが出来る。

ステータ形状に関しては、これまでに本研究室で製作してきた大型のステータと大きく変化はない。ロータには、テフロン系のライニング材を貼り付けてある。このライニング材はステータの超音波振動を効率良く回転力に換える効果が期待できる。ライニング材を貼り付けることによって、超音波モータの動作安定や耐久性の向上が見られた。

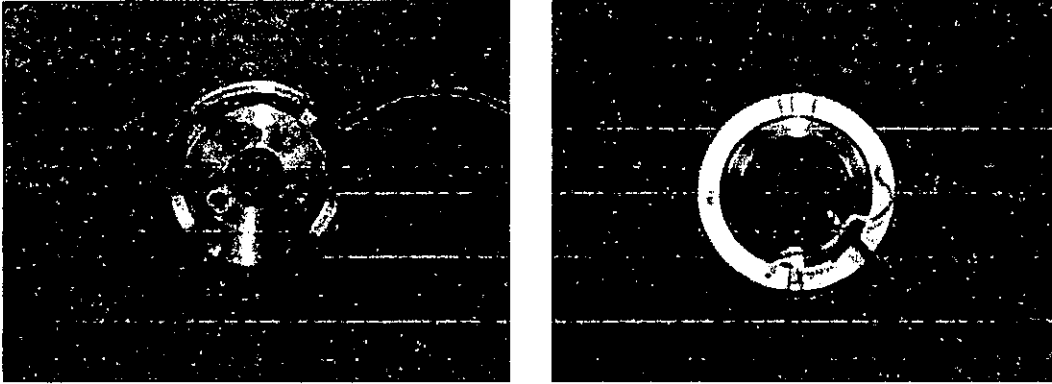


(a) $\phi 80$ 超音波モータ外観



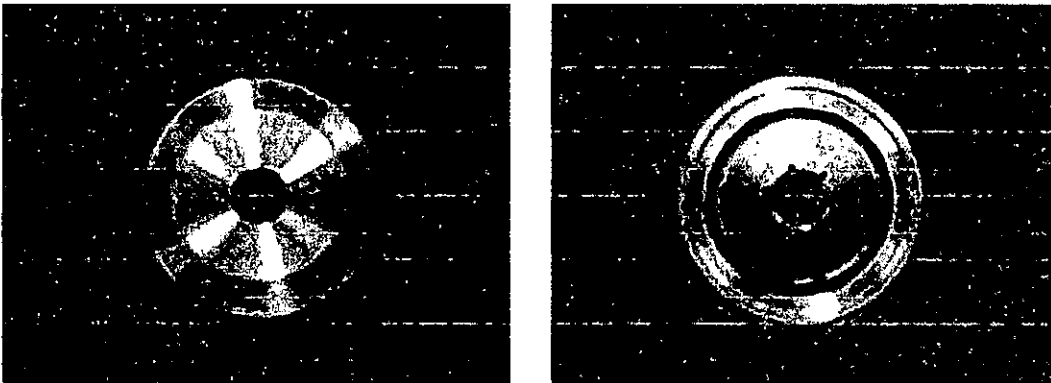
(b) $\phi 80$ 超音波

モータ内部



(c) $\phi 80\text{mm}$ ステータ

図 4.14 $\phi 80$ 超音波モータ



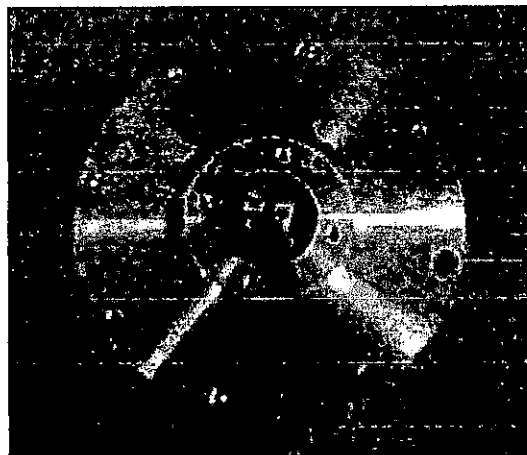
(d) $\phi 80$ 超音波モータ用ロータ

図 4.14 $\phi 80$ 超音波モータ

2.2 $\phi 100$ 超音波モータ

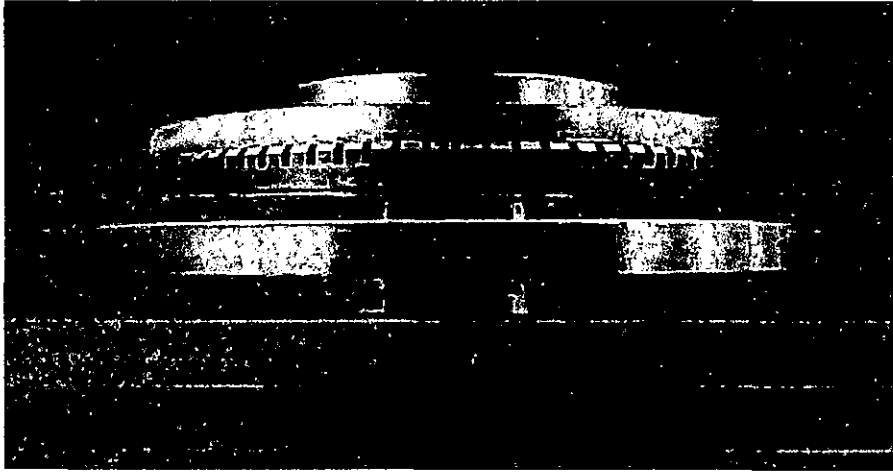
製作した $\phi 100$ 超音波モータを図 4.15 に，構成要素及び材質を表 4.1 に示す．ステータ直径 $\phi 100\text{mm}$ 以上のものは，トルクの増加とともに発熱量も増加してしまう．そこで，モータケースをはずした状態での押し付け力の固定を考案した．ロータをステータに押し付けた状態を図 4.15(b)に示す．この押し付け方法は， $\phi 80$ 超音波モータと同様に式(4-30)より最適押し付け荷重を決定し，皿ばねを介してロータ上部の固定部とステータ固定板（ケース上面）を C リングで固定することで完全に押し付け力を固定した．

これまでに本研究室で製作してきたステータ直径 $\phi 100\text{mm}$ の超音波モータは，ステータ上面に励起される波数が 9 波の振動モードを使用していた．しかし，式(4-30)より波数増大がトルク向上に繋がることがわかった．そこで，12 波の振動モードを用いて設計を行った．



(a) 外観（出力軸側）

図 4.15 $\phi 100$ 超音波モータ

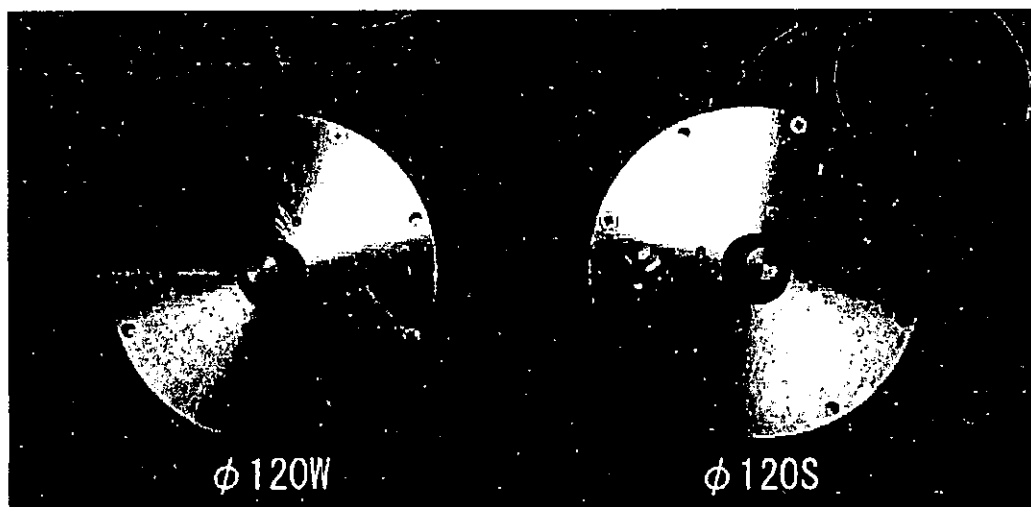


(b) モータ内部

図 4.15 $\phi 100$ 超音波モータ

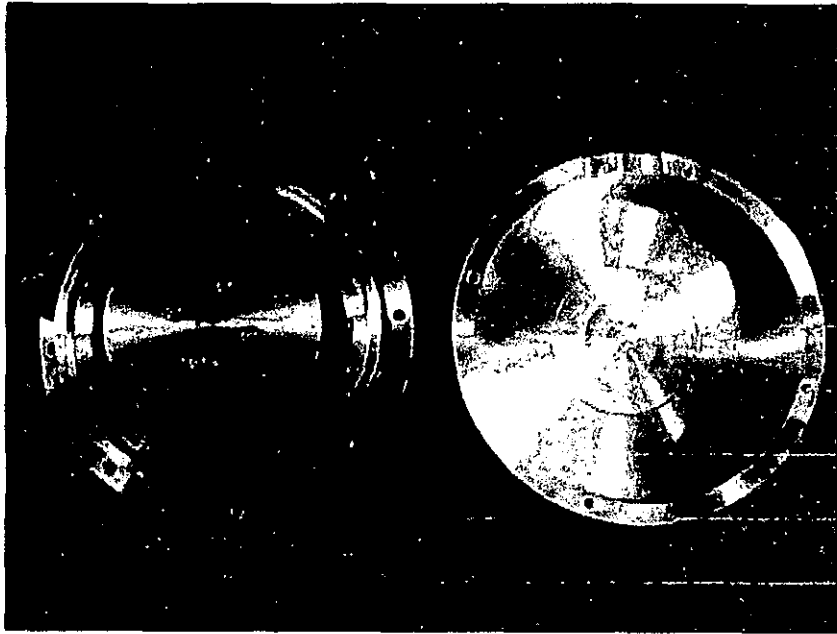
2.3 $\phi 120$ 超音波モータ

$\phi 120$ 超音波モータの構造は、図 4.15(b)、図 4.16(c)に示すように $\phi 100$ 超音波モータと同様な構造を採用した。ステータ直径 $\phi 120\text{mm}$ の超音波モータは、これまでに本研究室では製作したことがないものである。特に圧電素子の貼り付けによる影響が大きくなると考えられる。そこで、圧電素子の影響を検討するために圧電素子の分極数が同一で圧電素子幅が異なるものを用意し、それぞれ貼り付けた。

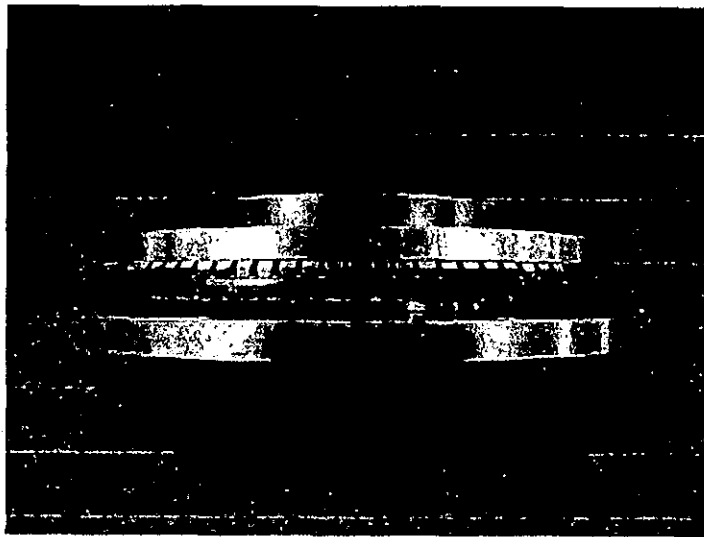


(a) 外観 (出力軸側)

図 4.16 $\phi 120$ 超音波モータ



(b) モータ内部上面

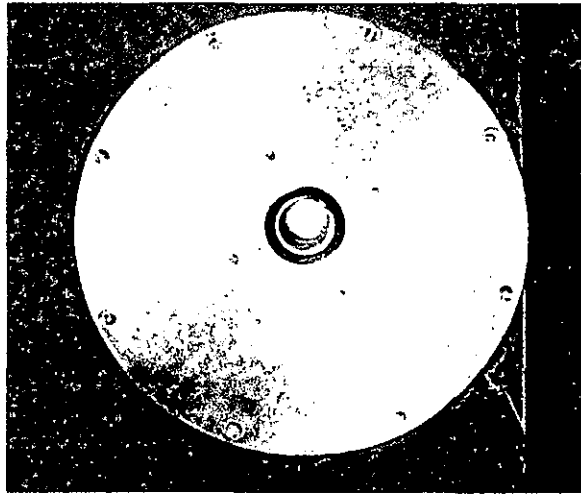


(c) モータ内部側面

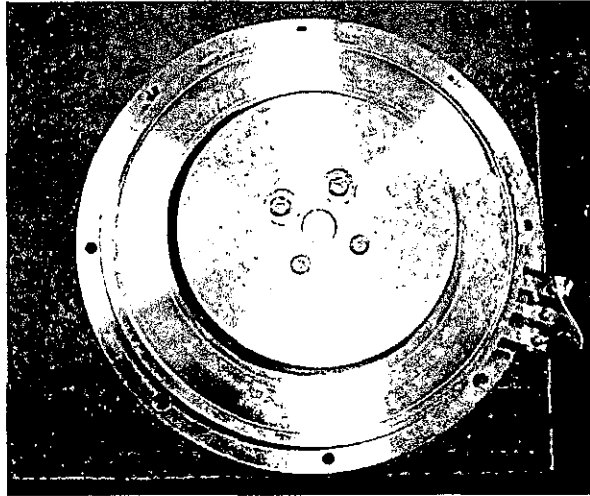
図 4.16 $\phi 120$ 超音波モータ

2.4 $\phi 145$ 超音波モータ

今回製作した中でも最もステータ直径の大きい $\phi 145$ 超音波モータの構造は、 $\phi 100$ 超音波モータと $\phi 120$ 超音波モータのものと同様な構造を採用した。 $\phi 120$ 超音波モータと同様に圧電素子幅の異なるものを2種類用意し、それぞれについてモータ特性を測定し、圧電素子の幅について検討した。また、この $\phi 145$ 超音波モータは、15波の振動モードを採用した。

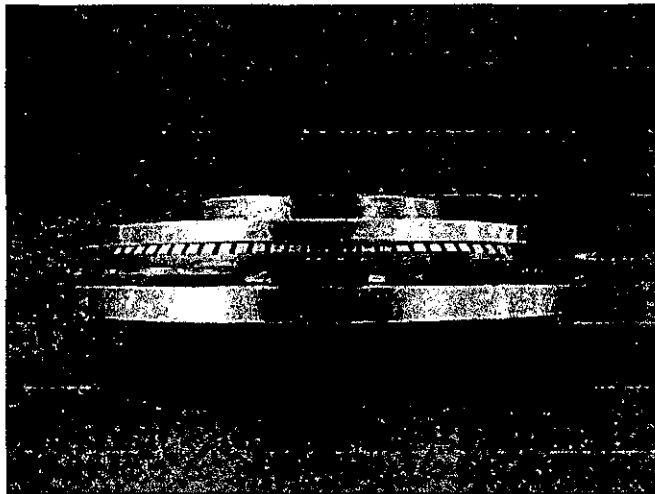


(a) 外観 (出力軸側)



(b) モータ内部上面

図 4.17 $\phi 145$ 超音波モータ

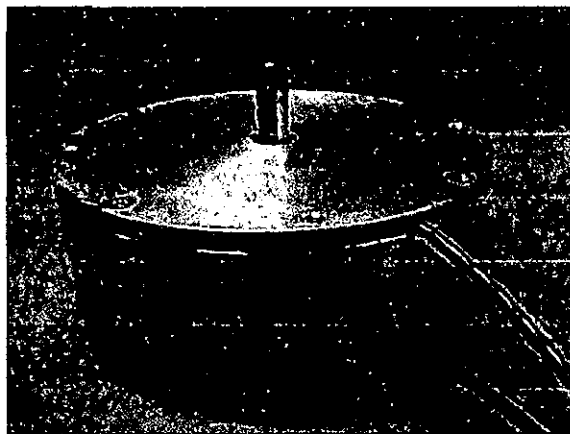


(c) モータ内部側面

図 4.17 $\phi 145$ 超音波モータ

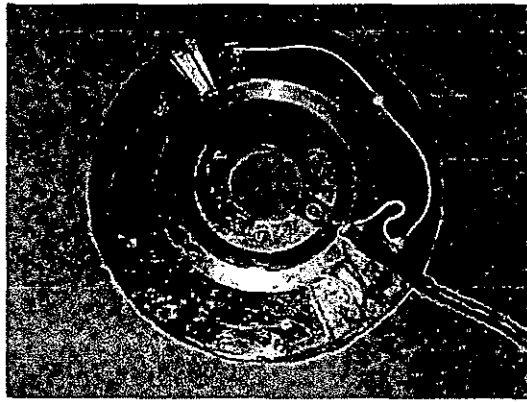
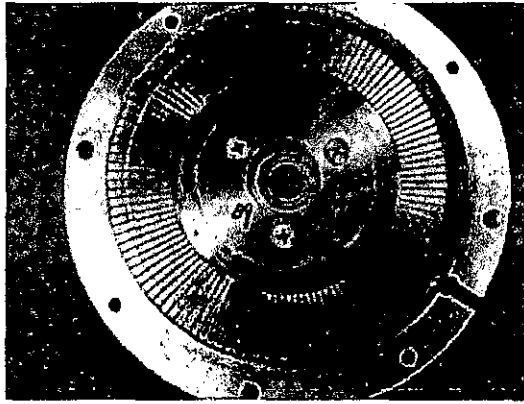
2.5 $\phi 110$ ダブル型超音波モータ

これまでに本研究室では，ステータ直径 $\phi 100\text{mm}$ を使用したサンドイッチ型超音波モータを製作したことがある．今回は，ステータ直径 $\phi 110\text{mm}$ のものを使用し，ステータ 1 枚とロータ 1 枚を 1 組としたときにこれを 2 組用いたダブル型超音波モータを製作した．図 4.18 に $\phi 110$ ダブル型超音波モータの外観を示す．この構造にすることによって，2 個のステータを用いる場合，2 個のステータの同期をとらなければトルクは減少してしまうが，超音波モータの同期を行いやすいようになった．

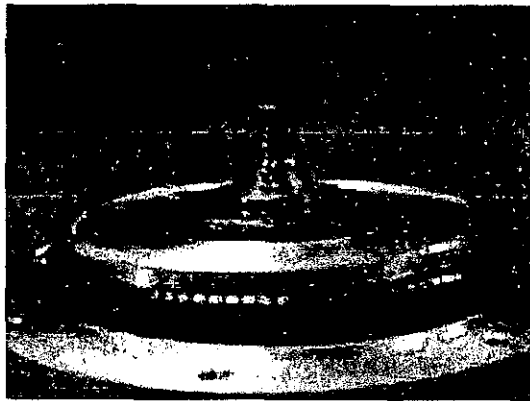


(a) 外観（出力軸側）

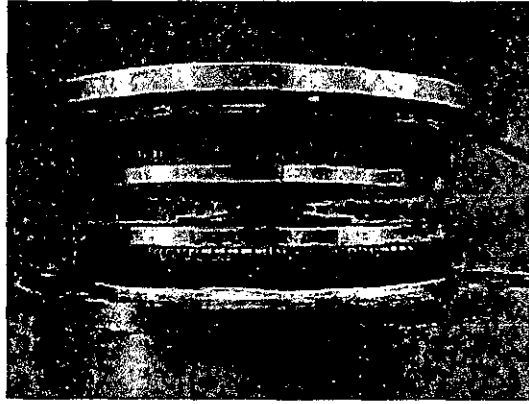
図 4.18 $\phi 110$ ダブル型超音波モータ



(b) ϕ 110mm ステータ



(c) 出力軸部



(d) モーター内部側面

図 4.18 $\phi 110$ ダブル型超音波モーター

2.6 平面複数型超音波モータ

ステータ直径 $\phi 60\text{mm}$ を 3 個並列し、それを積層化した平面複数型超音波モータを製作した。ステータ及びロータを平面に配置したことによって、通常の超音波モータに比べて同程度の厚さであり、積層化した超音波モータに比べて薄く出来る。この平面複数型超音波モータを図 4.19 に示す。ロータの側面に歯を切りロータを歯車にした。歯車化したロータから出力軸に付けた歯車にトルクを伝達させ高出力を得る構造になっている。

複数のステータを使用した場合、全てのステータの特性が同期していなければ、その超音波モータの最大特性を得る事が出来ない。しかし、この平面複数型超音波モータは歯車による減速機を伝わり出力を得るため、減速機によるバックラッシ等によりステータの同期のずれを緩和できる特徴を持っている。

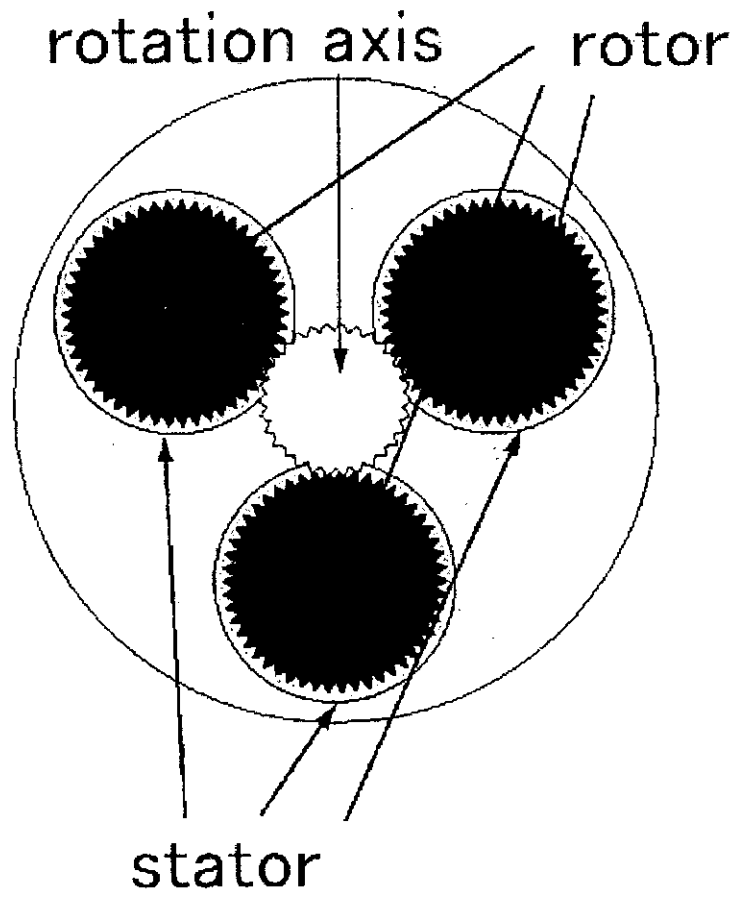


図 4.19 平面複数型超音波モータ

2.7 軽量サンドイッチ型超音波モータ

サポートタイプのパワーアシストスーツに装着する超音波モータの大きさを考慮すると、ステータ直径 $\phi 80\text{mm}$ が適していると考えられる。 $\phi 80$ 超音波モータをよりサポートタイプのパワーアシストスーツにするために軽量化及びトルク向上する必要があると考えられる。ステータの重量は、超音波モータの重量の大半を占める。そこで、ステータの材質を検討し、ステータの軽量化を図った。また、トルク向上させるために図 4.20 に示すようなサンドイッチ型超音波モータの構造を採用した。このサンドイッチ型超音波モータは、1枚のロータを2枚のステータで挟み込むことで構造の簡潔性、軽量性を損なうことなく、従来のモータと比較しまして同程度の容積でありながらも駆動トルクの倍増が期待できる。超音波モータを軽量化することでパワーアシストスーツ全体の軽量化に繋がるため重要な要素である。

2.7.1 ステータ材料

ステータの材料は、アルミ合金 A6061, バネ用リン青銅 C5210, ステンレス鋼 SUS304, SUS420-J2, チタン材料 TP340 の 5 種類について検討を行った。これらの材料の材料特性を表 4.3 に示す。アルミ合金 A6061 は、熱処理型の耐食性合金であり、T6 処理によってかなり高い耐力値が得られる。また、今回の材料の中で最も軽い金属である。バネ用リン青銅 C5210 は、展延性、耐疲労性、耐食性が良い材料である。ステンレス鋼 SUS304 は、代表的なステンレス鋼であり、耐食性、溶接性、機械的性質が良好である。また、ステンレス鋼 SUS420-J2 は、SUS420-J1 より炭素含有量を多くしたことによりより高硬度にしたものである。チタン材料 TP340 は、硬さ等のバランスが良く、汎用チタン材として広く用いられているものである。

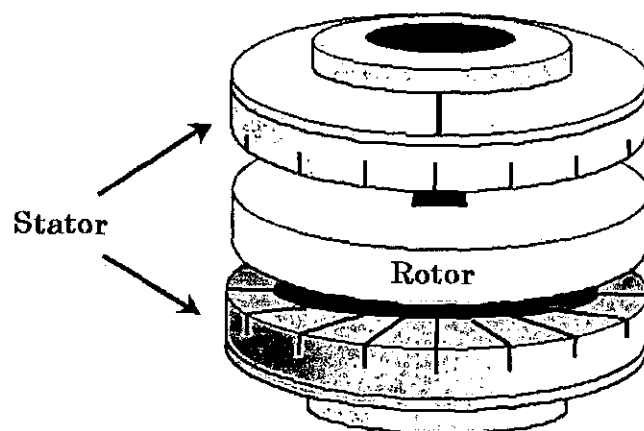


図 4.20 サンドイッチ型超音波モータ概略図

ステータの材質を検討するために各材質でのステータを製作した。
ステータ直径はφ30とし、図4.21に材質検討用ステータの寸法・形状を示す。

表 4.3 材質特性

材質名	ヤング率 [GPa]	ポアソンヒ	密度 [g/cm ²]
A6061	75	0.345	2.7
C5210	110	0.38	8.8
SUS304	193	0.3	7.93
SUS420-J2	200	0.4	7.75
TP340	108.5	0.321	4.51

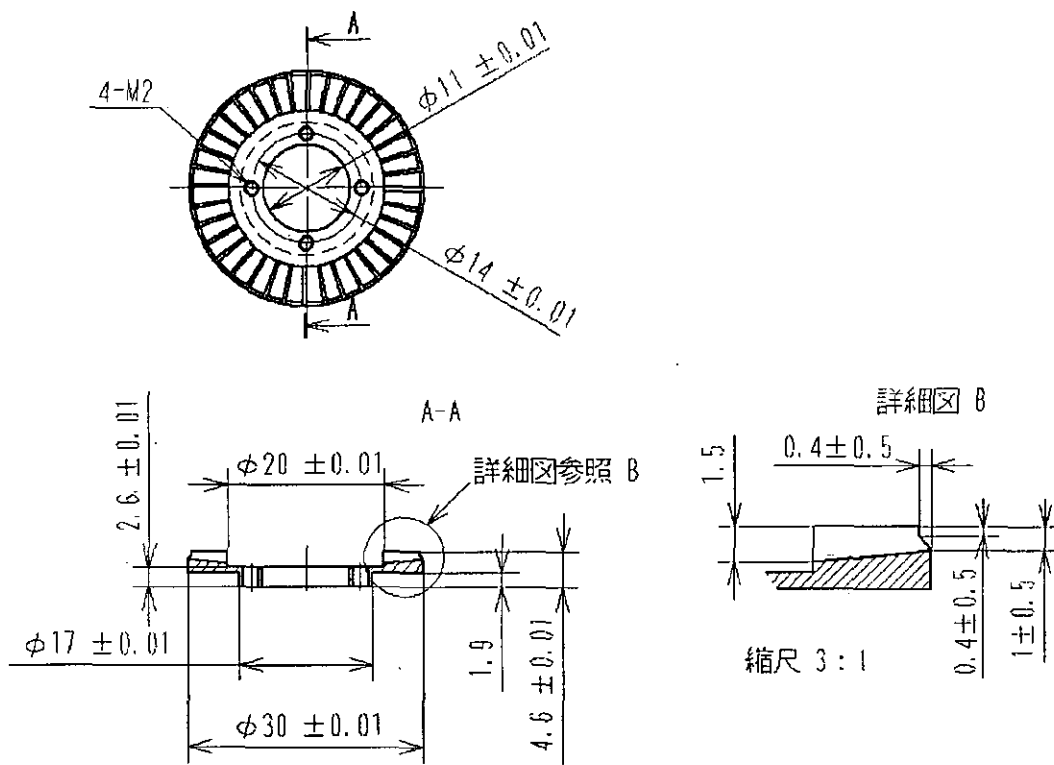


図 4.21 材質検討用ステータ

2.7.2 ステータ解析結果

解析には、4.2.2 で示した方法を用いて行った。このステータ直径 $\phi 30\text{mm}$ で5波発生するステータを製作することを踏まえ、次の解析を行った。まず各モデルに対して固有モード解析を行い、5波発生する振動モードが得られる共振周波数を求める。次に求められた共振周波数において過渡応答解析を行い、ステータ上面に励起される波を評価する。ステータ上面に仮想の進行波を発生させるために圧電素子に $F=\sin(2\pi ft)$ を周期的に入力した。ここで、使用しているパラメータはそれぞれ F : 外力, f : 共振周波数[Hz], t : 時間[sec]を表している。有限要素法解析により、得られた振動モードを図 4.22 に示す。図 4.21 から分かるように5波の進行波が励起されていることが分かり、外周部につれて振動振幅が大きくなっている。この外周部の任意の点における各モデルの共振周波数及び振動変位を表 4.4, 図 4.23 に示す。図 4.23 から全ての材料において、安定した振動状態であると言える。

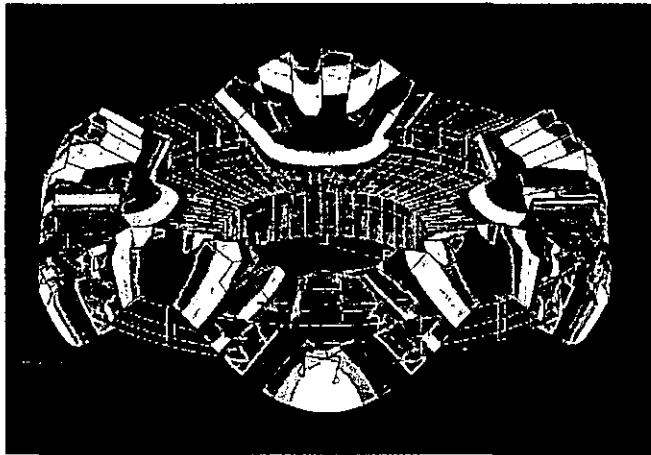
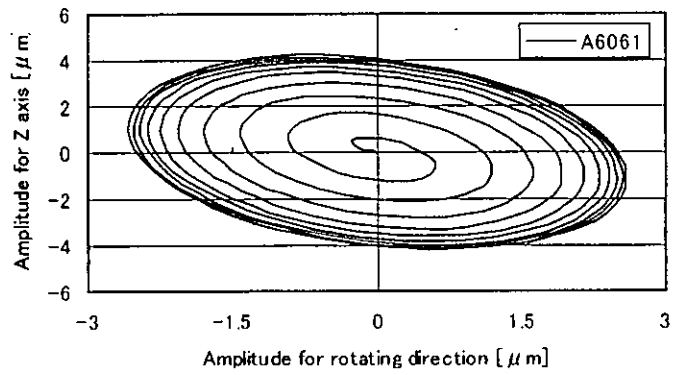


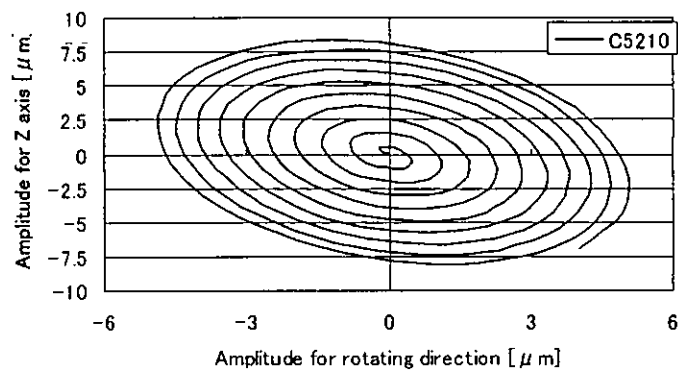
図 4.22 $\phi 30$ 振動モード

表 4.4 有限要素法による共振周波数

材質名	共振周波数 [kHz]
A6061	49.357
C5210	35.971
TP340	46.668
SUS304	45.705
SUS420-J2	49.500



(a) A6061



(b) C5210