

以上の解析結果より、ステータの厚さの共振状態に与える影響について検討した。ステータの厚さは、厚くなるほど高さ方向変位は小さくなる。これは、ステータ全体の剛性が高くなり、振動しにくくなったためであると考えられる。

反対に、ステータの厚さを薄くすると高さ方向変位は大きくなるが、Fig.4.7からわかるように、きれいな楕円軌跡を描かない。超音波モータは、進行波の波頭の楕円運動にロータを押付け、その時の摩擦により駆動している。そのために、駆動部の楕円軌跡が安定していることが、高いトルクに結びつく。

ここで楕円軌跡に注目すると、Fig.4.8は軌跡が安定してきてはいるものの、Fig.4.9の方がより安定した一定形状のきれいな楕円軌道を描いている。両者の高さ方向変位はほとんど変わらないため、ステータ厚さが4[mm]の方が安定した駆動状態をもたらすと言える。またステータの強度は、断面形状を梁と同様に考えた場合、鉛直方向の厚みの3乗に比例する。この寸法サイズの超音波モータは押付け圧が大きいため、薄いステータにロータを押付けた場合、ステータが変形してしまう事が考えられる。ステータが押付け圧により変形すれば、理想とする振動が得られない。

以上のことから、設定条件下のステータにおいては、ディスク部の剛性が重要で、これを十分に確保することが必要である。

これらの解析結果より、試作するステータの厚さを4[mm]とした。

4.2.2 分離帯の長さの影響

次に、分離帯の長さによる共振状態への影響を検討してみた。分離帯とは、ステータの固定部と振動部の間に設けることにより、波の固定部への伝播を防ぐ目的を持たせたものである。ステータの寸法は分離帯の長さ以外をすべて一定とし、長さを4段階に変更し、9波の振動が発生する周波数を、静解析を用いて解析した。その後、その共振周波数での動解析を行い、ステータの櫛歯部上の任意の一点での変位を解析した。

解析に用いたモデルを Fig.4.11 に示す。解析に用いた分離帯の長さ L は、0.5[mm]、1.5[mm]、2.5[mm]、4.5[mm]である。

動解析により得られた駆動部の高さ方向変位の時間変化と、円周方向変位と高さ方向変位からなる、駆動部の楕円運動の軌跡を Fig.4.12～Fig.4.19 に示す。

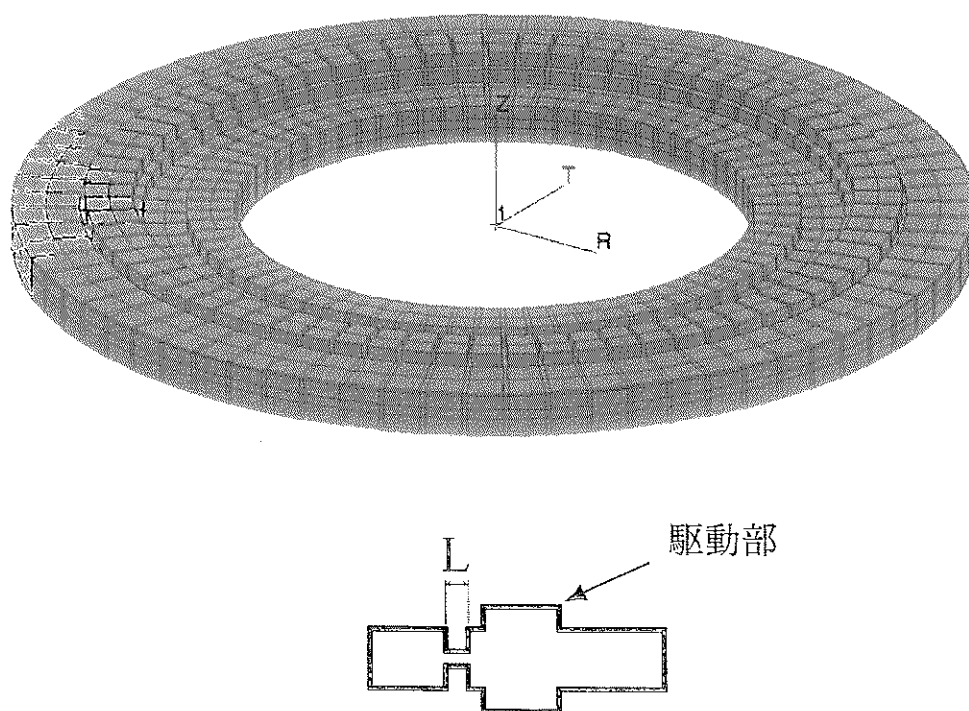


Fig.4.11 ステータの解析モデル2

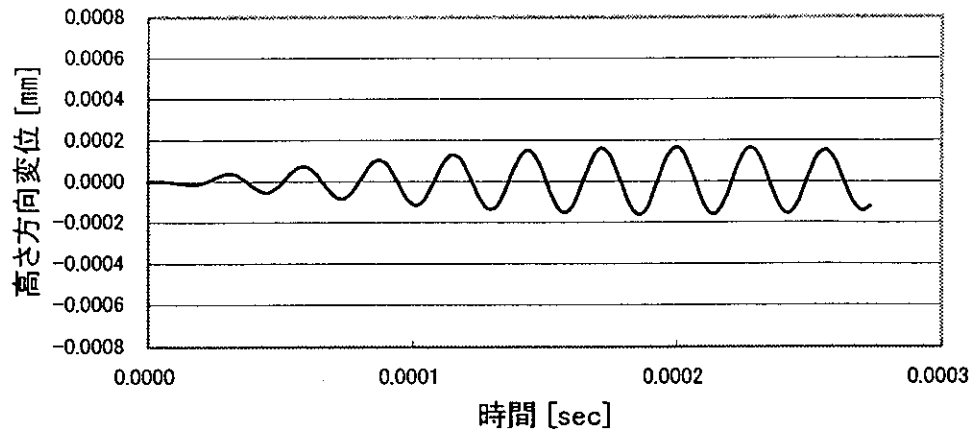


Fig.4.12 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯長さ : 0.5 mm)

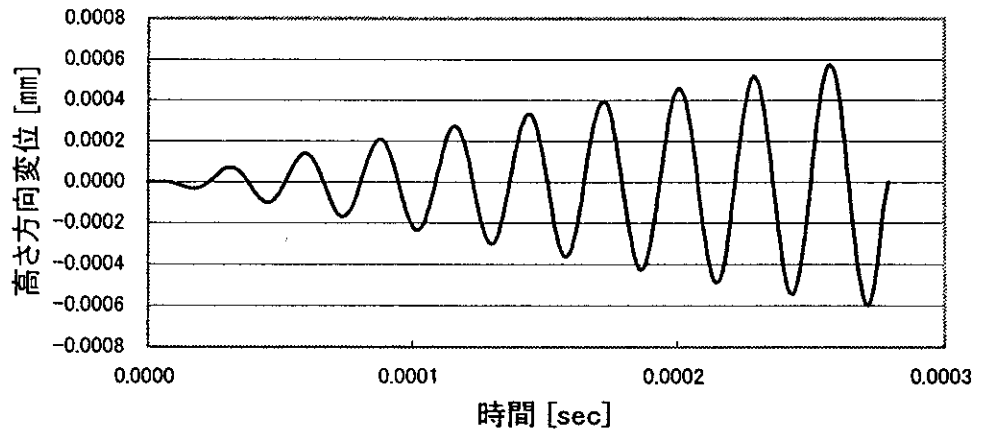


Fig.4.13 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯長さ : 1.5 mm)

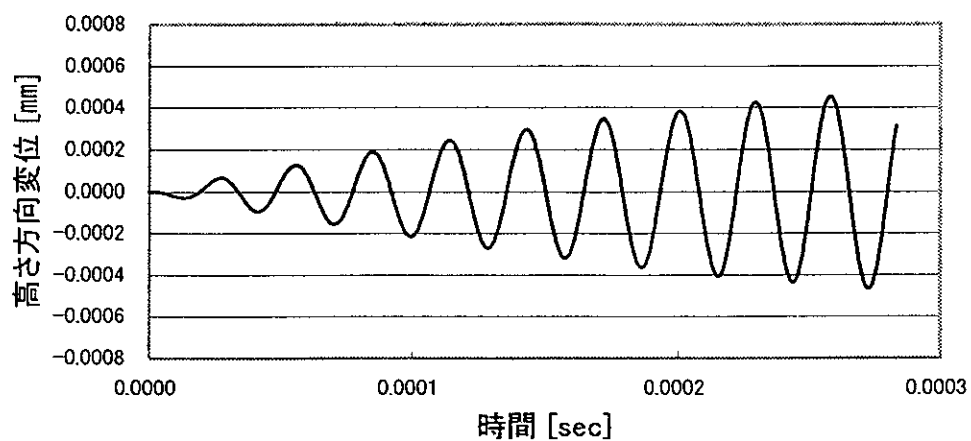


Fig.4.14 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯長さ : 2.5 mm)

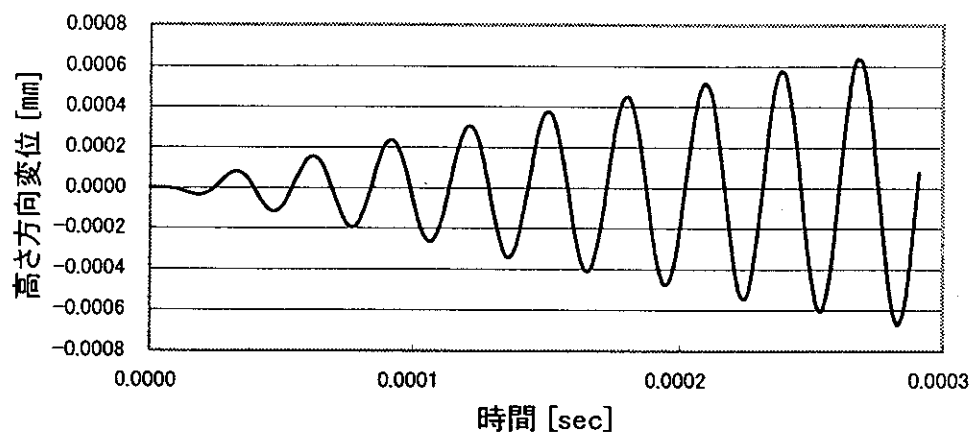


Fig.4.15 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯長さ : 4.5 mm)

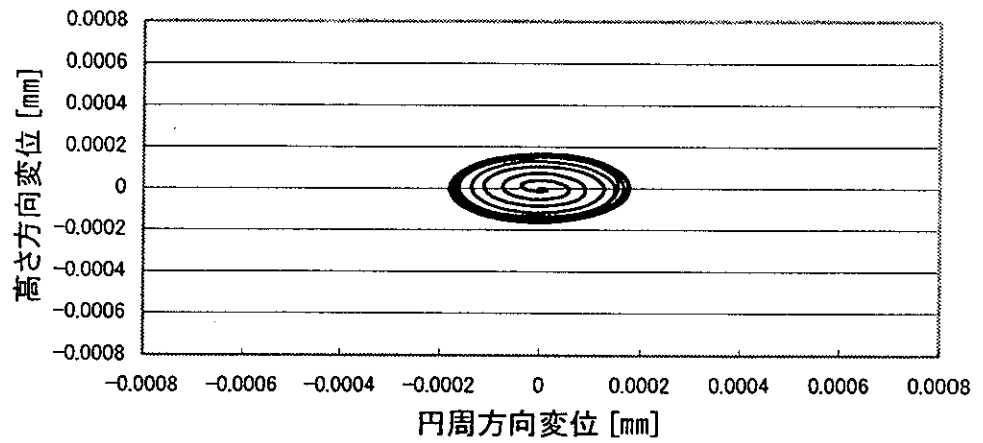


Fig.4.16 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯長さ：0.5 mm）

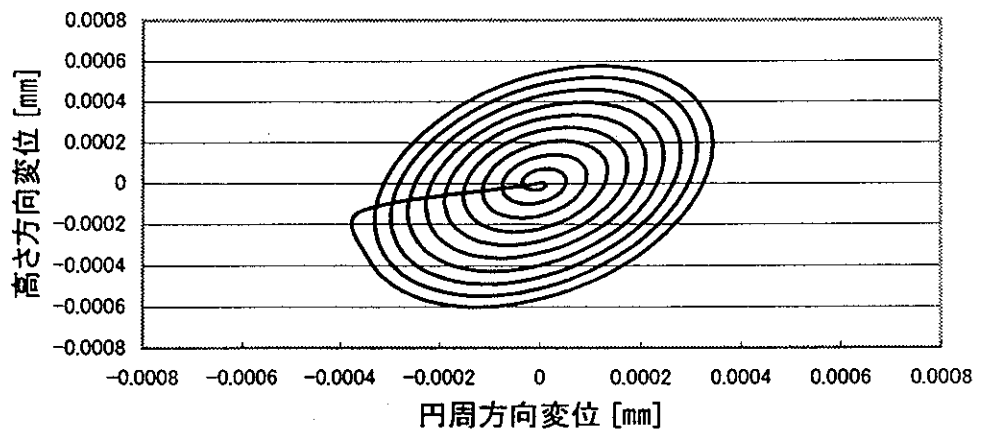


Fig.4.17 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯長さ：1.5 mm）

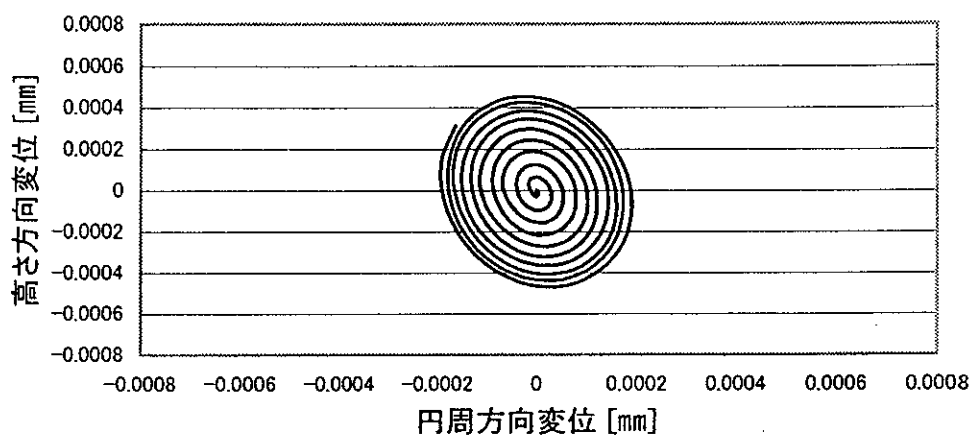


Fig.4.18 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯長さ：2.5 mm）

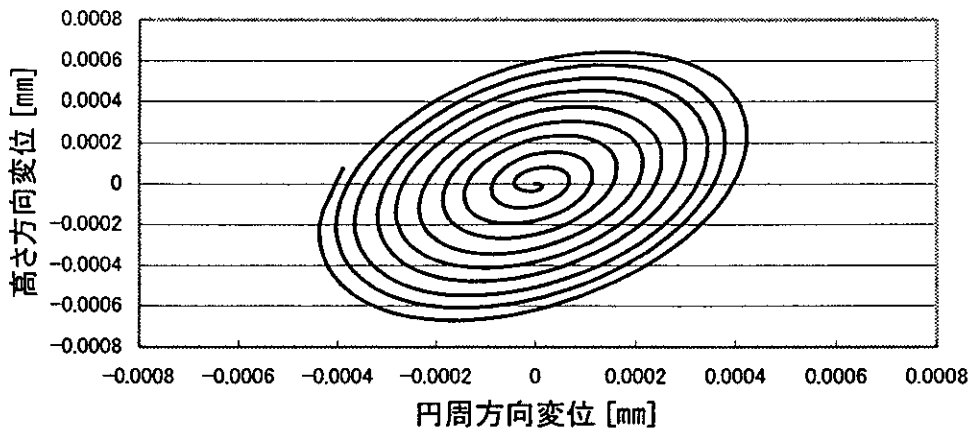


Fig.4.19 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯長さ：4.5 mm）

以上の解析結果より、分離帯長さの共振状態に与える影響について検討した。分離帯の長さが長くなるほど、高さ方向変位は大きくなる傾向にあると言える。しかしながら、分離帯の長さが2.5 [mm]のときに高さ方向変位は小さくなっている。

また、Fig.4.18 からわかるように、駆動部の楕円軌跡が、他の長さの解析結果と比べたときに、逆向きになっている。このことから、進行波の進む方向が逆になり、その時に駆動部の高さ方向変位が小さくなったと考えられる。

これまでの研究により、超音波モータは押付け力や温度の変化によって、共振周波数がずれることがわかっている。これは、温度による圧電素子のヤング率の変化等からくる、超音波モータの特性である。押付け力に関しては、基本的に押付け力を高くすると、共振周波数は高くなる。この共振周波数のずれにより、他の振動モードが出現することがある。そのために、共振周波数の前後2 kHzには他の振動モードが存在しないことが望ましい。Fig.4.20 に分離帯の長さが2.5 [mm]の時の共振周波数近傍に存在するモードを示す。このようなモードが9波のモードの近傍にあると、押付け力を上げて共振周波数が変化した時に出現する可能性があり、実際にステータを試作するにあたり、このモデルは適さない。

これらの解析結果を比較すると、Fig.4.13 と Fig.4.15 では、ほぼ同じ振幅を得られている。また、共に安定した一定形状の楕円軌道を描いている。実際にステータを試作するにあたり、内径円を大きくし分離帯の長さをできる限り短くすることで体積を減らすことができ、ステータを軽量にすることができる。

また、分離帯の長さが長ければ、固定部から自由端となる振動部までの距離が長くなり、押付けによる振動部のたわみが大きくなる。振動部が押付けによ

り変位してしまうことは、必要以上の押付け圧を加えることになり、強度の面からみても好ましくない。このことから、同程度の振幅が得られるならば、分離帯の長さは可能な限り短くした。

以上のことにより、設定条件下のステータにおいては、分離帯の半径方向の剛性が重要であり、目的とする振動モードの近傍に、別モードが存在しないようにするためにも、分離帯としての機能を持ったうえで、十分な剛性を確保することが必要である。

これらの解析結果より、試作するステータの分離帯の長さを1.5 [mm]とした。

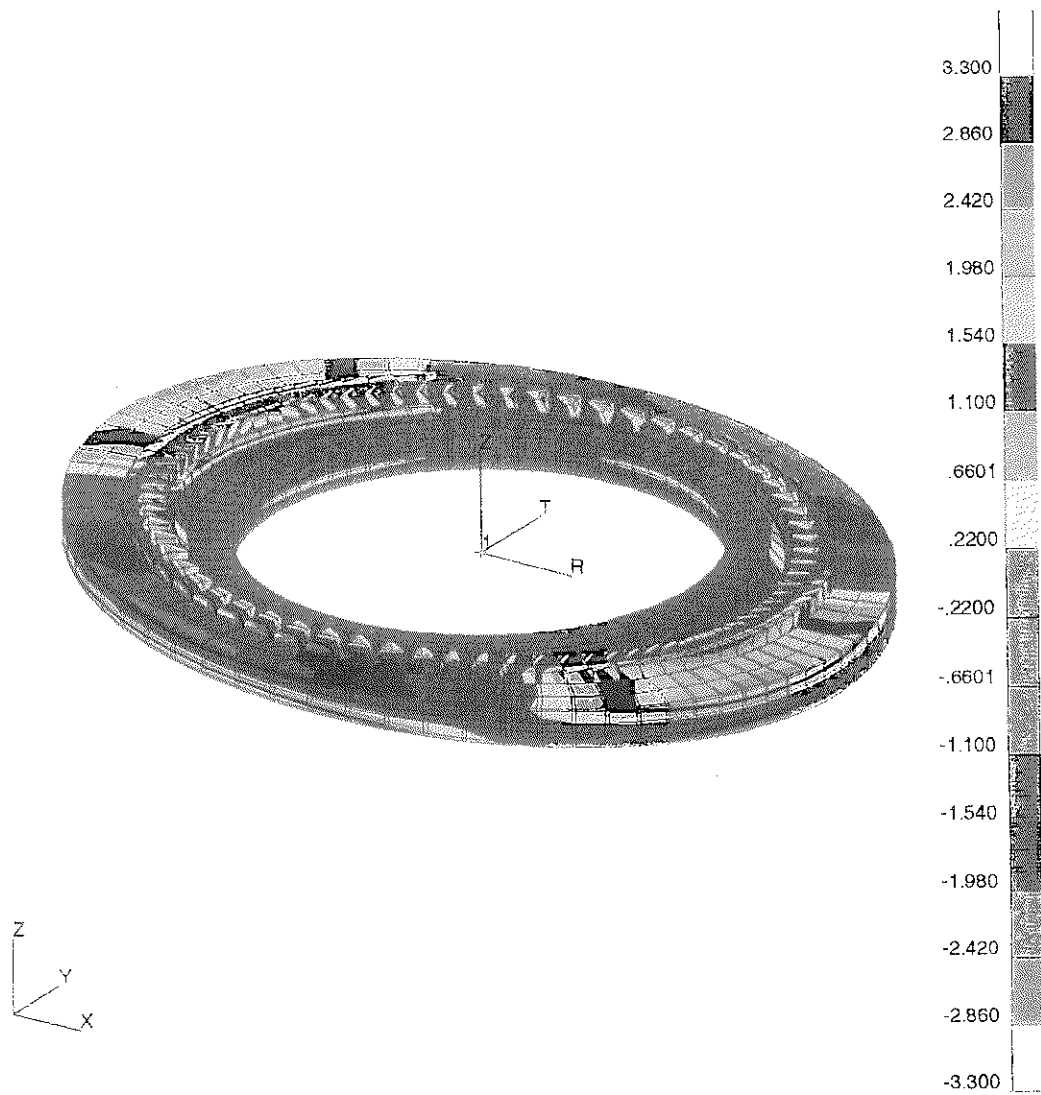


Fig.4.20 共振周波数の近傍に存在するモード

4.2.3 分離帯の厚さの影響

次に、分離帯の厚さによる共振状態への影響を検討してみた。ステータの寸法は分離帯の厚さ以外をすべて一定とし、厚さを4段階に変更し、9波の振動モードが発生する周波数を、静解析を用いて解析した。その後、その共振周波数での動解析を行い、ステータの櫛歯部上の任意の一点での変位を解析した。

解析に用いたモデルを Fig.4.21 に示す。解析に用いた分離帯の厚さ t は、0.5[mm]、1.0[mm]、1.5[mm]、2.0[mm]である。

動解析により得られた駆動部の高さ方向変位の時間変化と、円周方向変位と高さ方向変位からなる、進行波の楕円運動の軌跡を Fig.4.22～Fig.4.29 に示す。

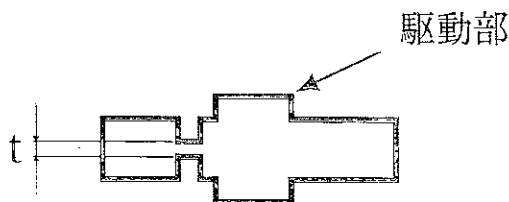
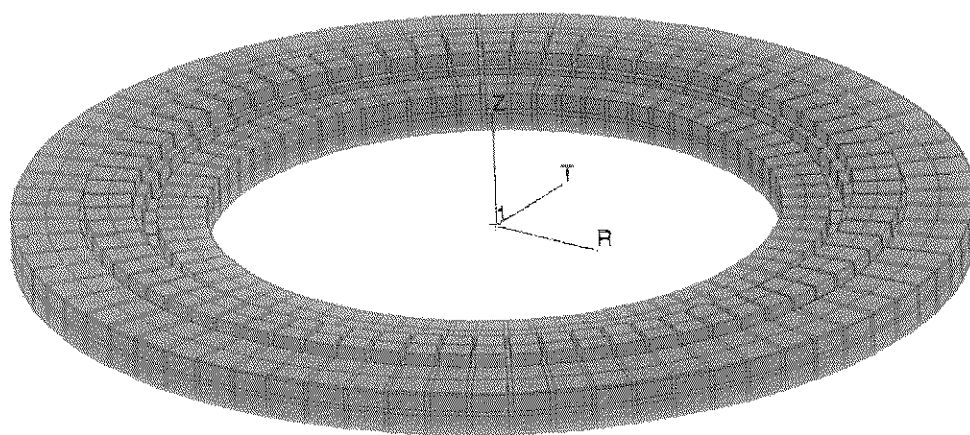


Fig.4.21 ステータの解析モデル3

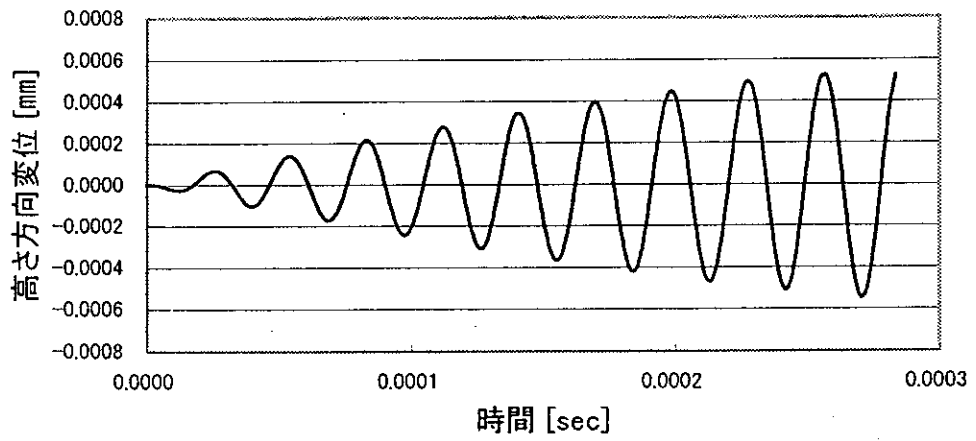


Fig.4.22 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯厚さ : 0.5 mm)

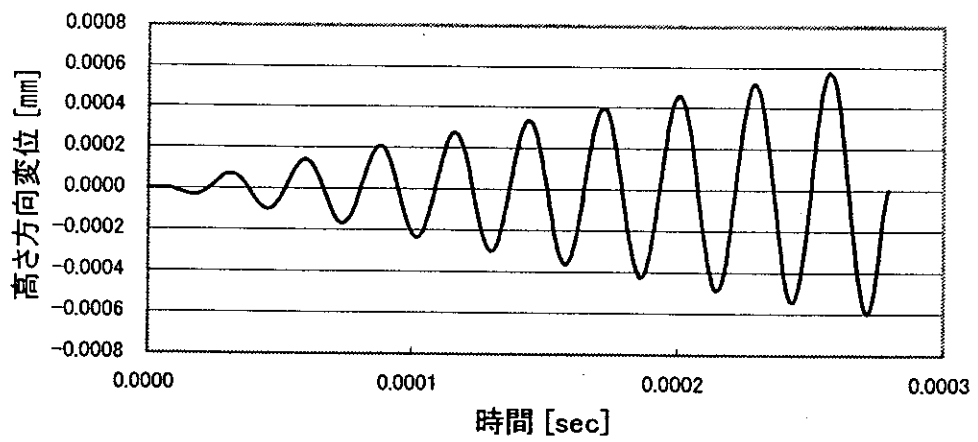


Fig.4.23 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯厚さ : 1.0 mm)

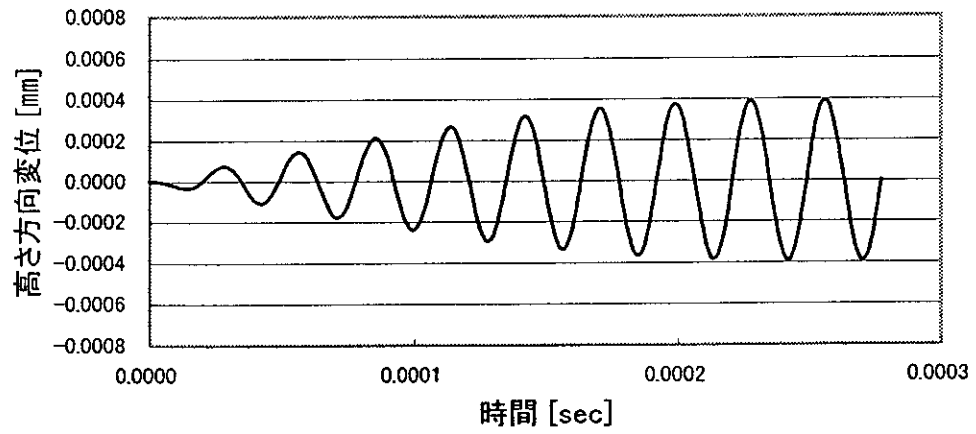


Fig.4.24 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯厚さ : 1.5 mm)

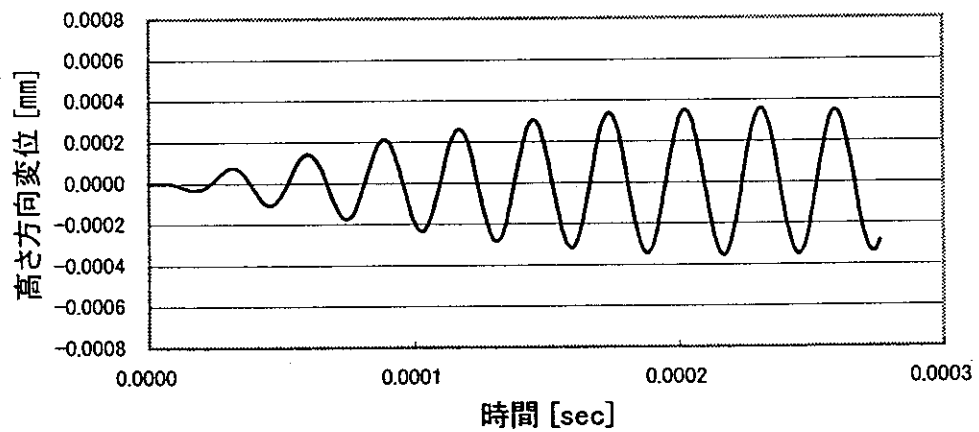


Fig.4.25 櫛齒の高さ方向変位の時間変化 (分離帯厚さ : 2.0 mm)

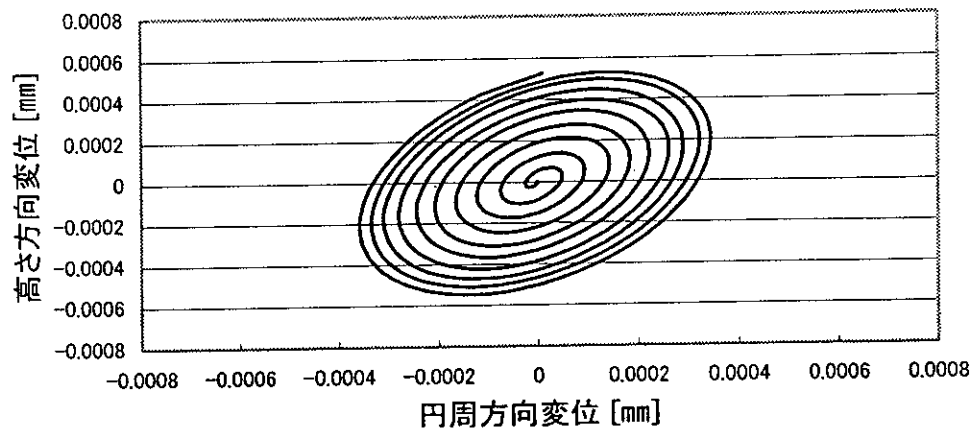


Fig.4.26 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯厚さ：0.5 mm）

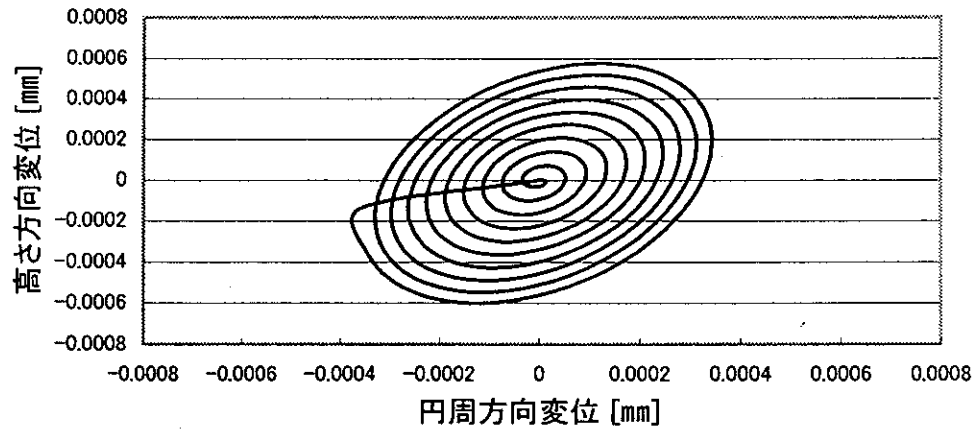


Fig.4.27 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯厚さ：1.0 mm）

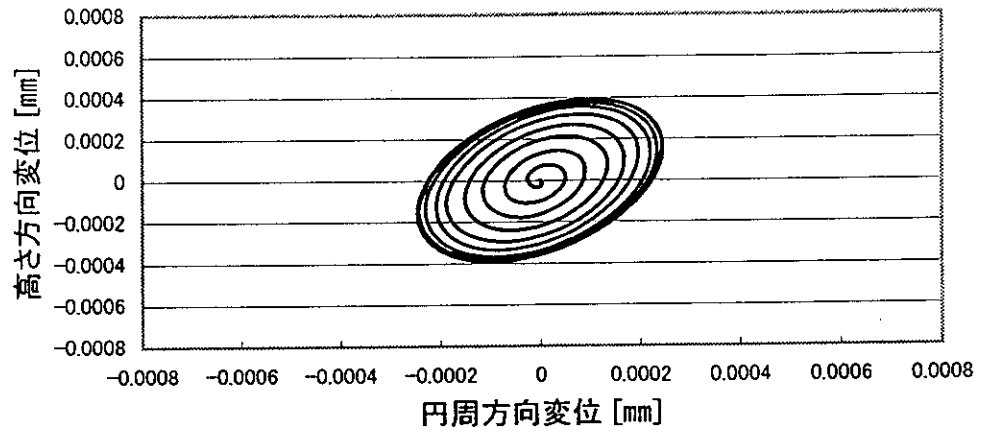


Fig.4.28 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯厚さ：1.5 mm）

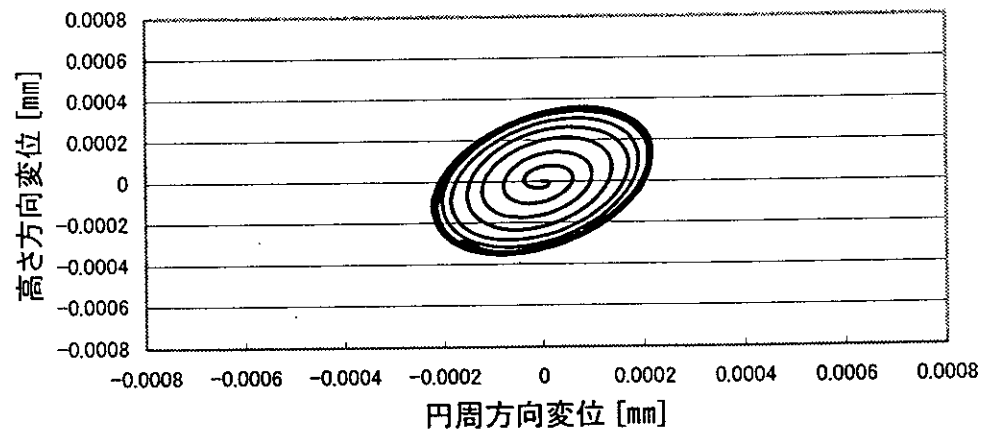


Fig.4.29 駆動部の楕円振動軌跡（分離帯厚さ：2.0 mm）

以上の解析結果より、分離帯厚さの共振状態に与える影響について検討した。分離帯の厚さが厚くなるほど、高さ方向変位は小さくなる傾向にある。これは、鉛直方向の剛性が高くなることで、変形しにくくなるからである。次に、駆動部の楕円軌跡に注目すると、どの解析モデルにおいても、安定した一定形状の楕円軌跡を描いているのがわかる。このことから、分離帯の厚さは薄いほうが大きな高さ方向変位を得られると言える。しかしながら、解析を行なった分離帯の厚さの異なる4種類のモデルの中で、最も高さ方向変位が大きかったのは、厚さが1.0 [mm]の時であった。

以上のことにより、設定条件下のステータにおいては、分離帯部の剛性が重要で、この部分の剛性をある程度まで低くすることが必要である。

これらの解析結果より、試作するステータの分離帯の厚さを1.0 [mm]とした。

4.3 ステータの設計

以上の解析結果から新しくステータの設計を行なった。

実際に試作したステータの設計図を Fig.4.29 に示す。

試作したステータの緒言を以下に示す

表 4.1 試作したステータの緒言

ディスク部	ステータ外径	$\phi 100$ [mm]
	ステータ内径	$\phi 60$ [mm]
	ステータ厚さ (H)	4.0 [mm]
分離帯部	分離帯長さ (L)	1.5 [mm]
	分離帯厚さ (t)	1.0 [mm]
櫛歯部	櫛歯高さ	1.5 [mm]
	櫛歯長さ	5.0 [mm]
	櫛歯個数	72 [個]

1.6 / (0.4 /)

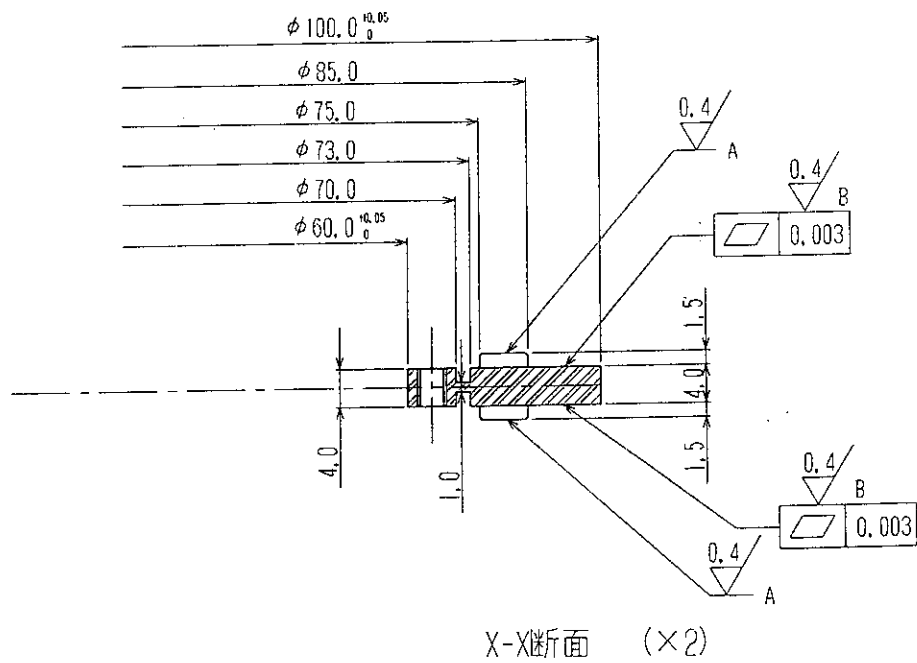
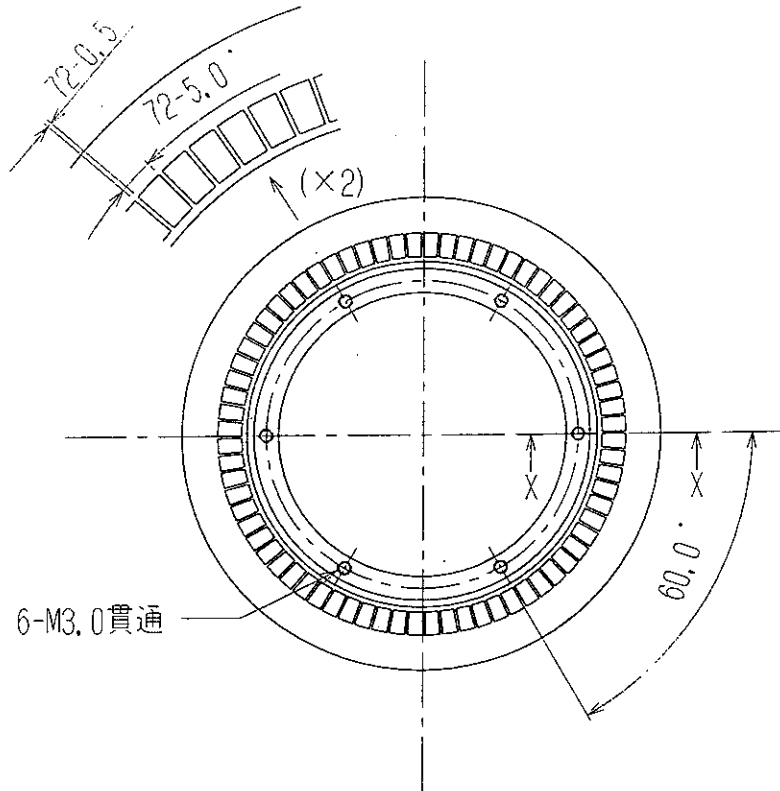


Fig.4.29 試作したステータの設計図

C. 研究結果

第5章 実験

本研究で実際に制作した試作ステータの性能試験を行なった。

5.1 実験装置

本研究で使用した実験装置を Fig.5.1 に示す。

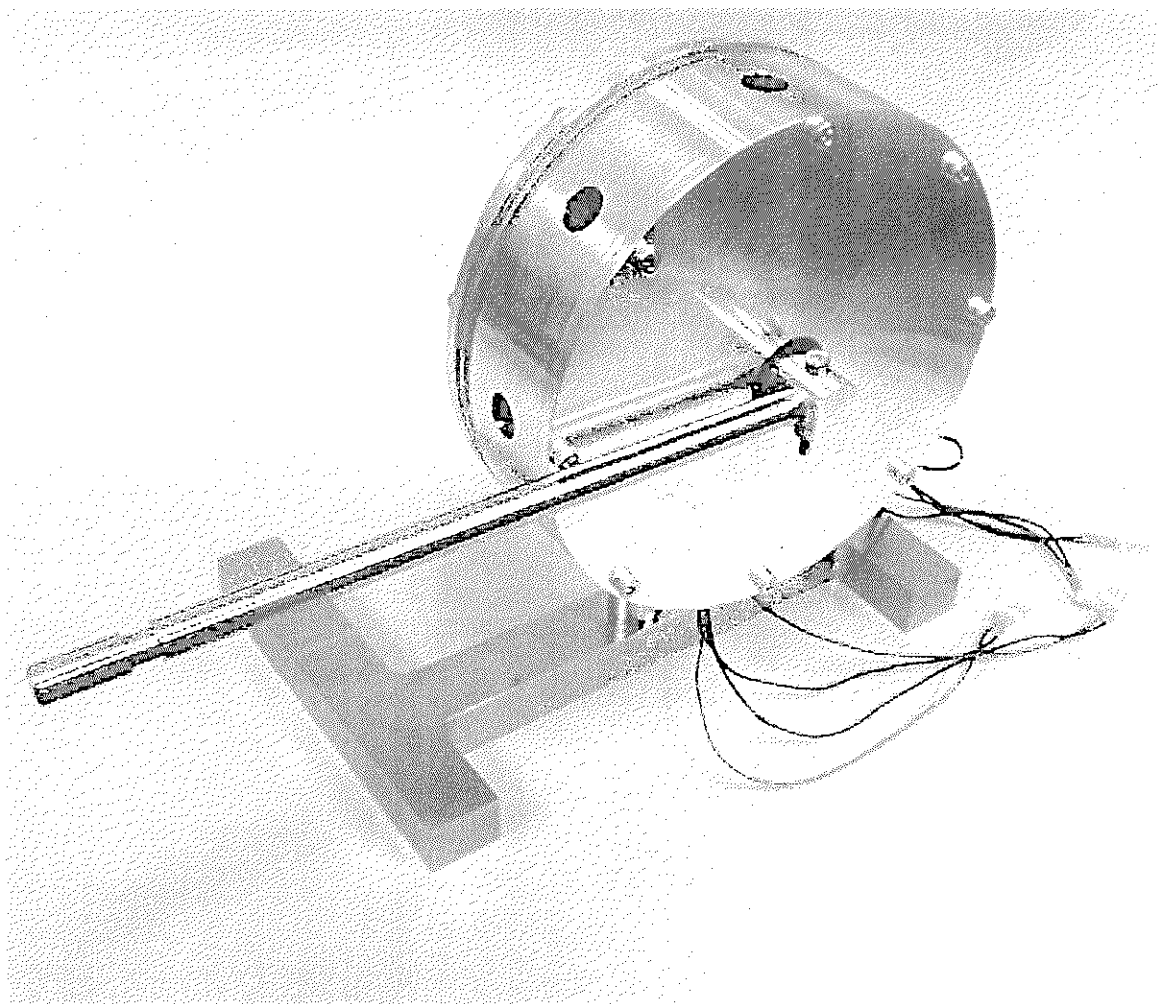


Fig.5.1 実験装置

5.1.1 ステータ

本研究で試作した $\phi 100$ [mm]の両面貼付けのステータと、これまで本研究室で開発、使用してきた $\phi 100$ [mm]の片面貼付けのステータの形状を Fig.5.2 に示す。材質は共にSUS420を使用している。

ステータに貼付けた圧電素子の設計図を Fig.3.4 に示す。圧電素子は Fig.3.4 のように分極されており、ステータの両面で位相を合わせて、接着剤で加圧しながら接着されている。

ステータの共振周波数は $36.5 \sim 36.8$ [kHz]である。

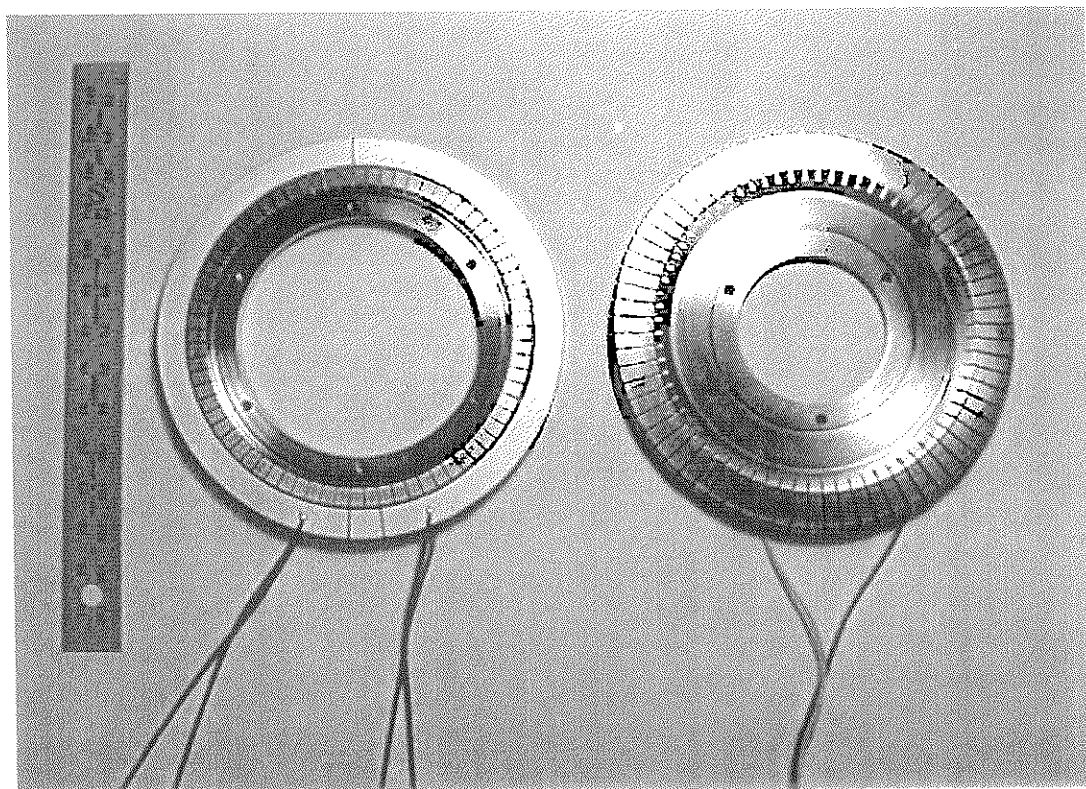


Fig.5.2 ステータ形状

5.1.2 ロータ

本研究で使用したロータの形状を Fig.5.3 に示す。材質は66ナイロンにグラスファイバを30%混合したものである。

ロータの設計図を Fig.5.4 に示す。

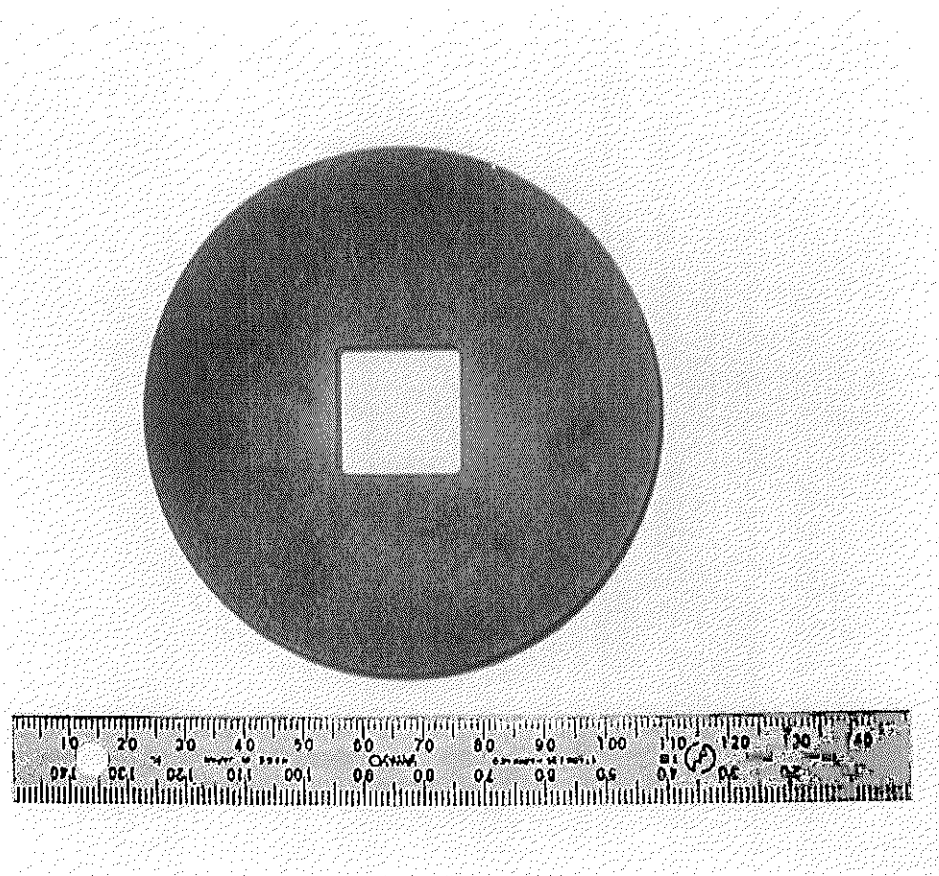


Fig.5.3 ロータの形状写真