

## 測定データ

### スティック線図

今回測定を行った、歩行、階段昇降、椅子からの立ち上がりの運動における、体  
躯の動きを表したスティック線図を図 4.2～図 4.5 に示す。

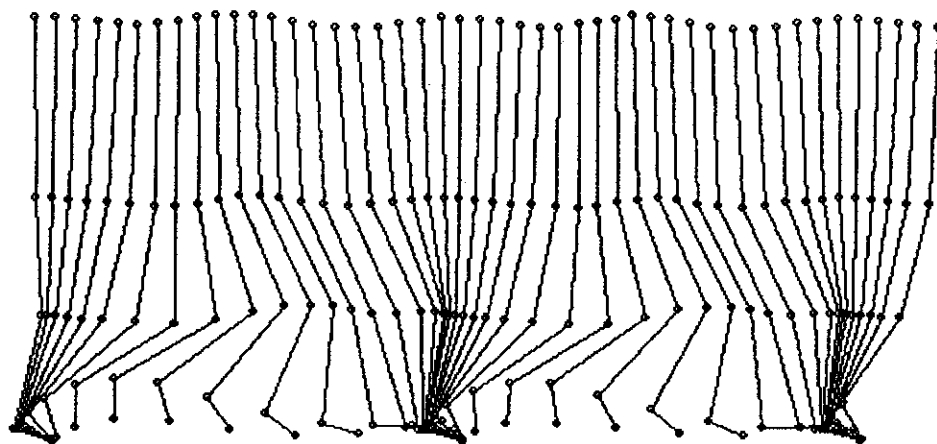


図 4.2 歩行運動のスティック線図

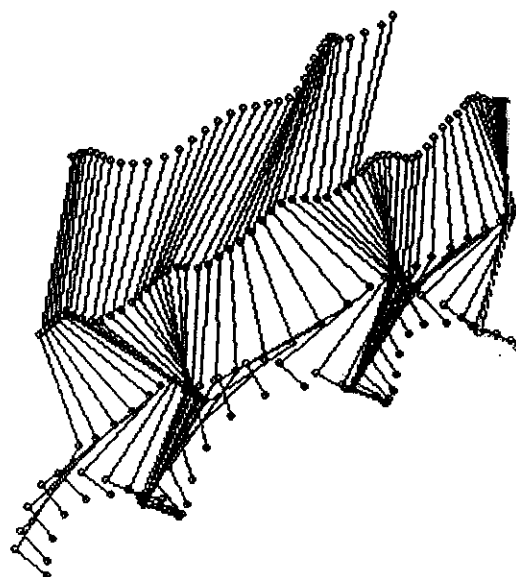


図 4.3 昇段運動のスティック線図

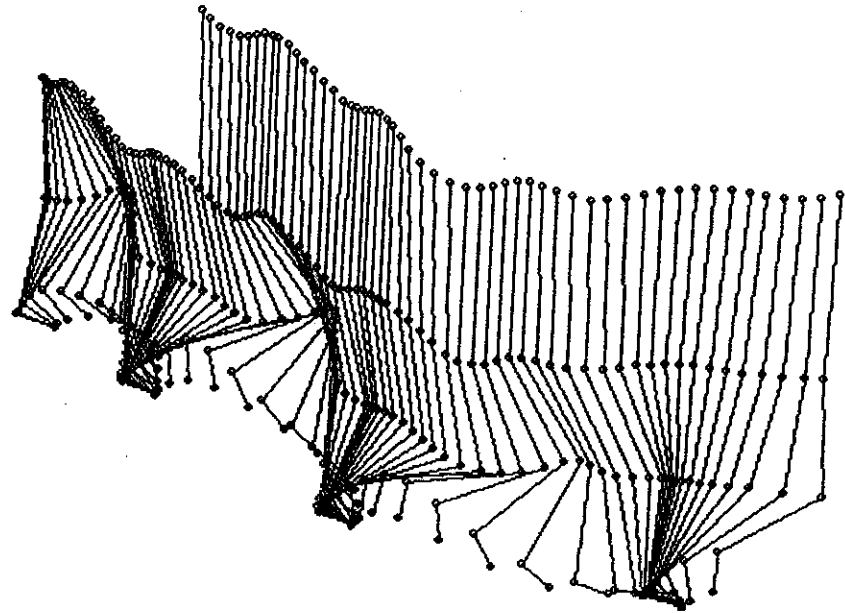


図 4.4 降段運動のスティック線図

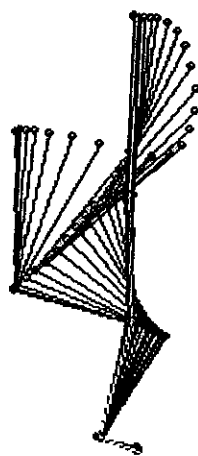


図 4.5 椅子からの立ち上がり運動のスティック線図

## 床反力・角度データ

今回の運動測定の結果より、床反力と膝の角度のデータを、歩行、階段昇降、椅子からの立ち上がりのそれぞれの運動について図 4.6～図 4.9 に示す。このうち、歩行時と階段昇降時の運動パターンはよく似ており、椅子からの立ち上がり場合は、運動パターンが大きく異なる。

これらの結果より、運動は周期的なものであり、床反力と膝の角度データを検出することにより運動の転換期が判定できる。この運動の転換期にあわせてモータを駆動させれば運動の補助をおこなうことができると考えられる。

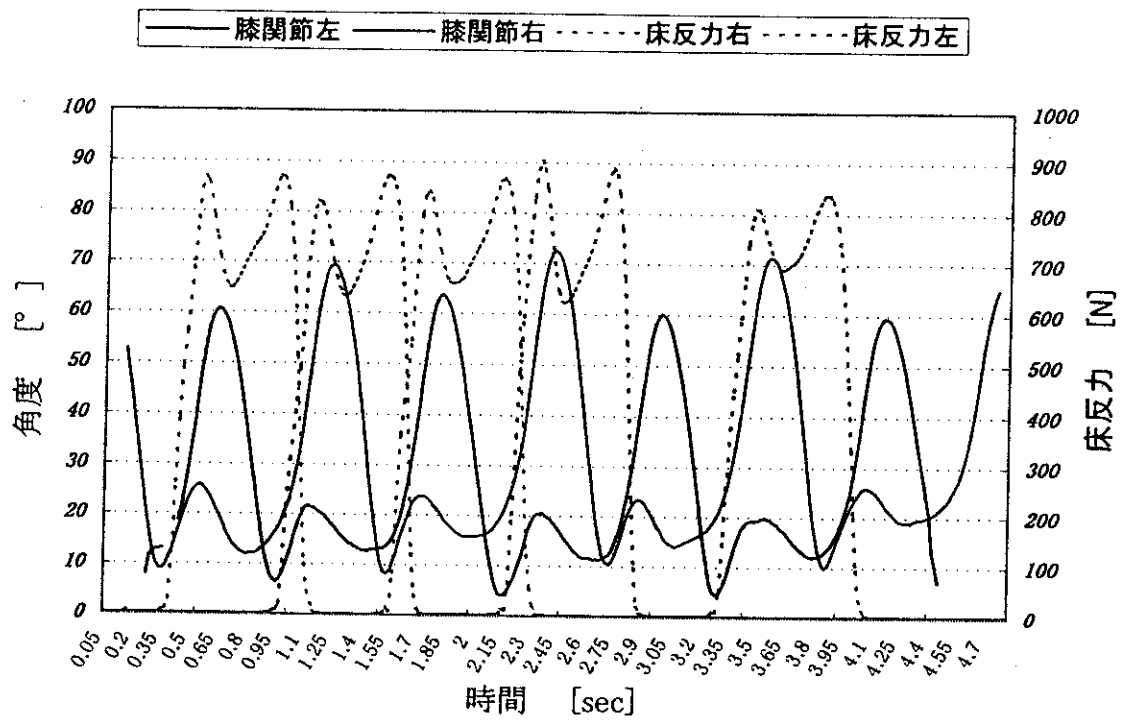


図 4.6 歩行運動

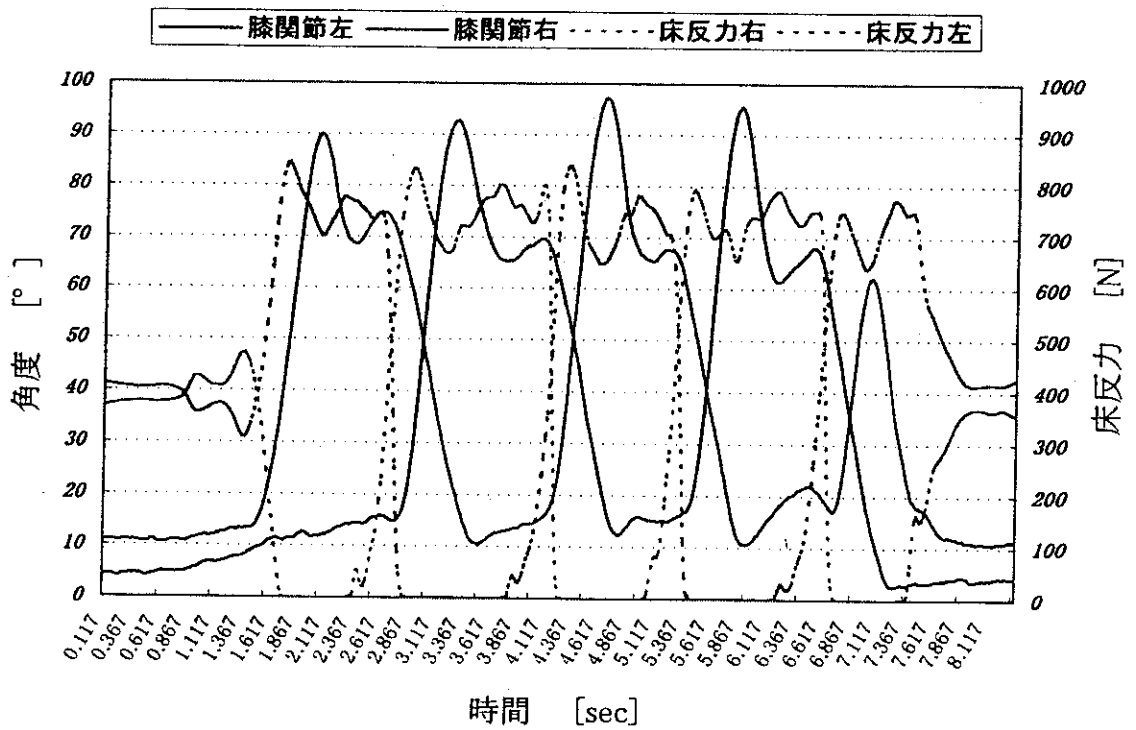


図 4.7 階段昇段

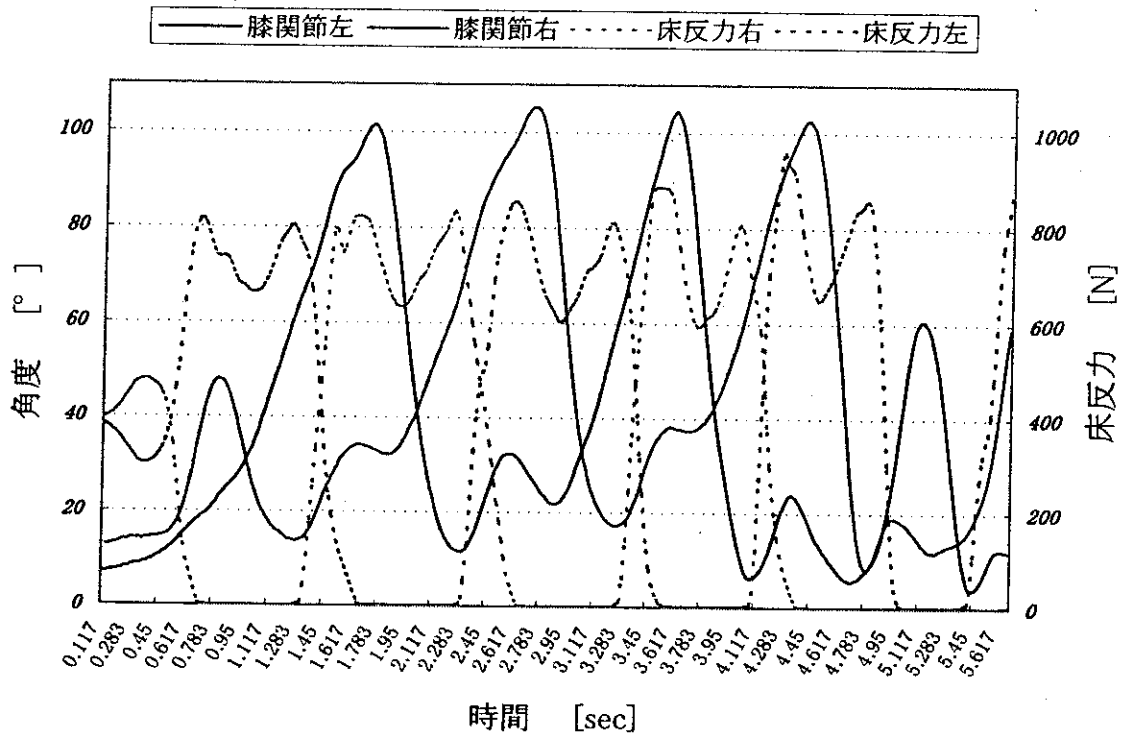


図 4.8 階段降段

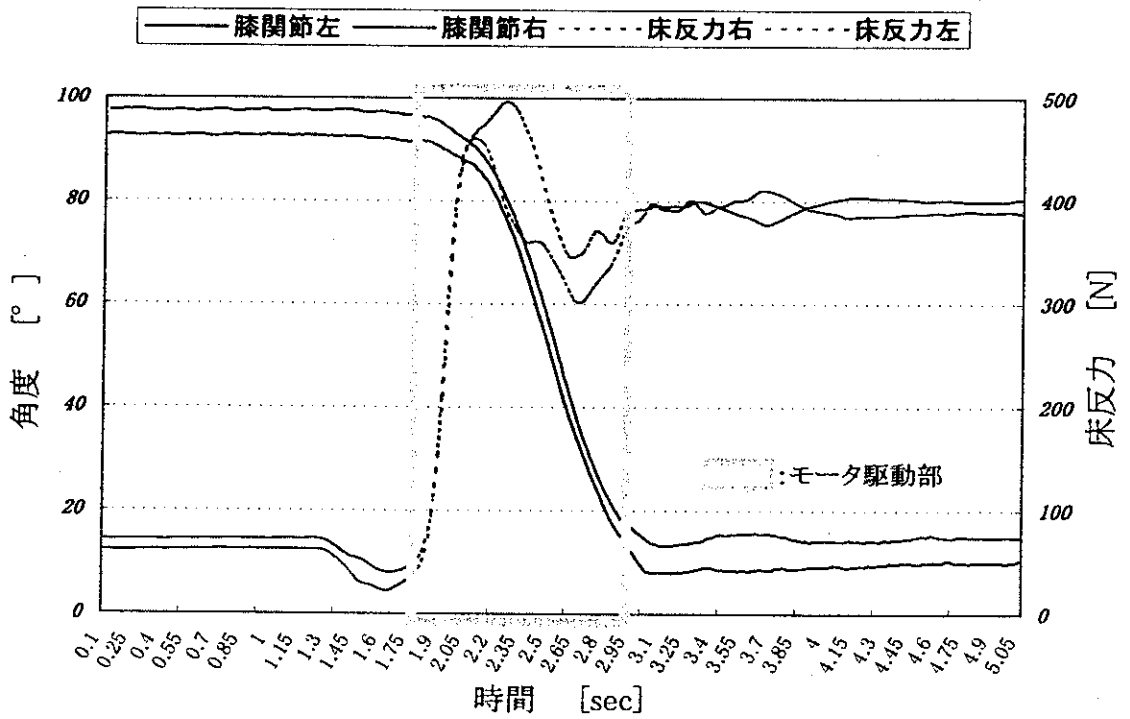


図 4.9 椅子からの立ち上がり

## 動力学シミュレーション結果

機構解析シミュレータ（AIMOTION）による動力学シミュレーションの結果と計測による結果との比較を示す。解析結果のうち、床反力、膝関節モーメントについての結果に注目した。ここで解析に用いたドライバは、計測により得られたデータより作成している。ここでは、上下方向に運動のある階段昇降運動についての比較結果図 5.1～図 5.8 に示す。

床反力  
昇段運動

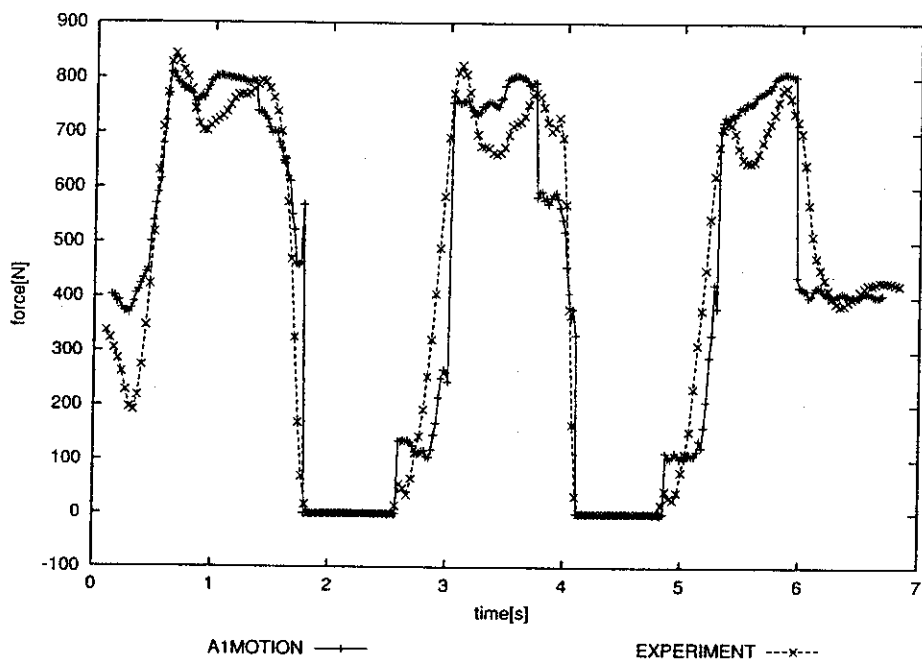


図 5.1 左脚床反力 (昇段)

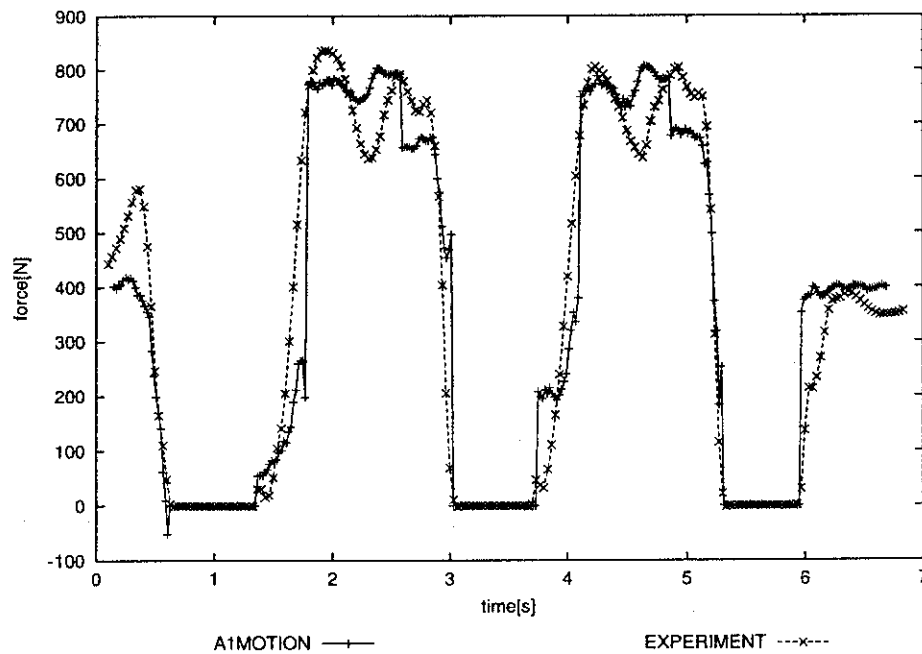


図 5.2 右脚床反力 (昇段)

## 降段運動

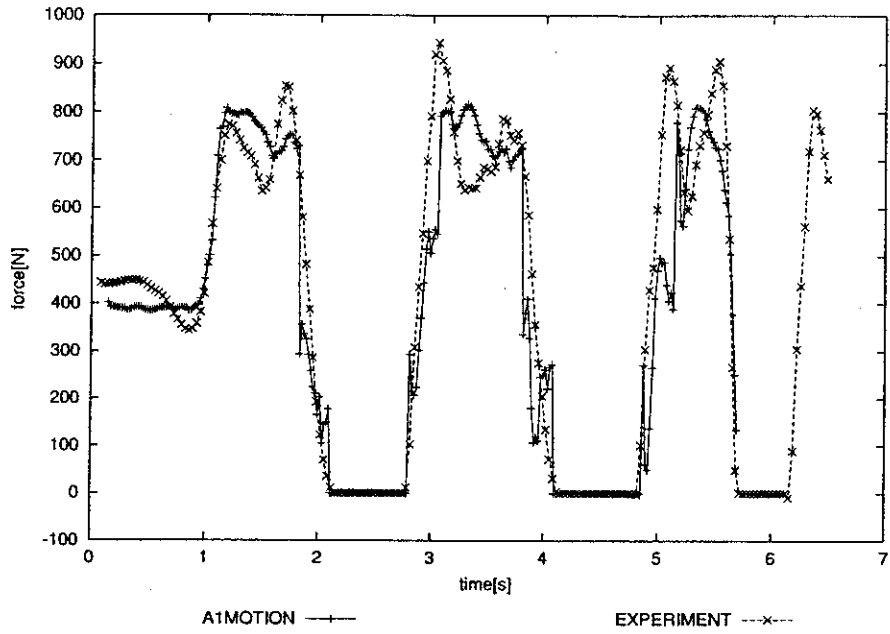


図 5.3 左脚床反力 (降段)

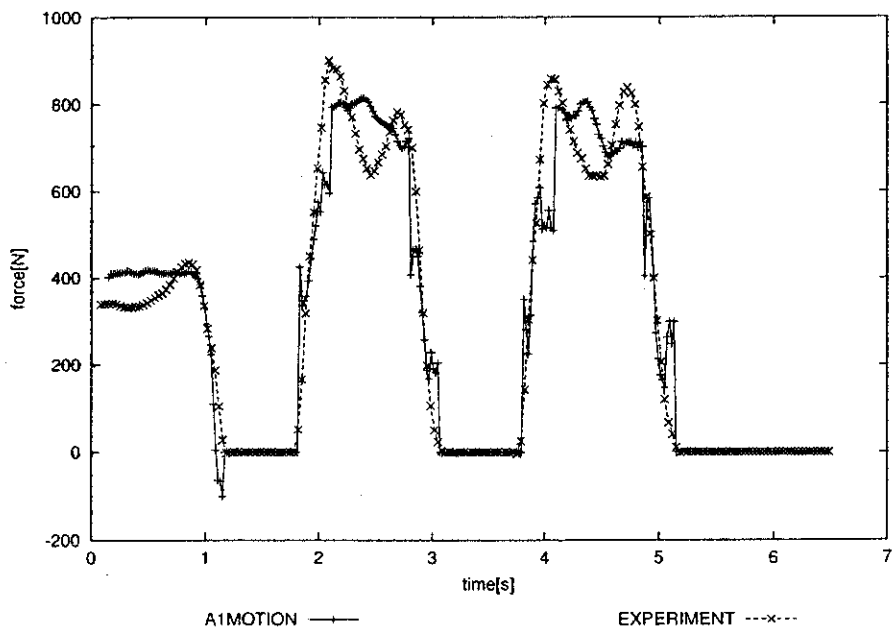


図 5.4 右脚床反力 (降段)



# 膝関節モーメント

## 昇段運動

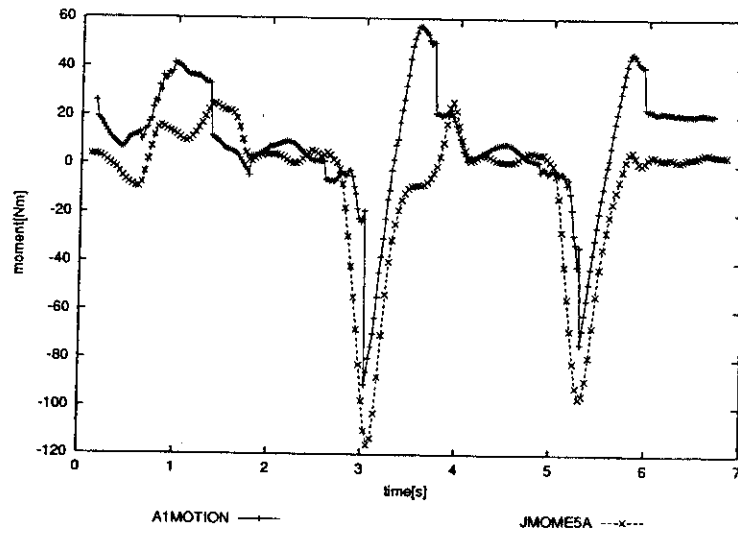


図 5.5 左膝関節モーメント (昇段)

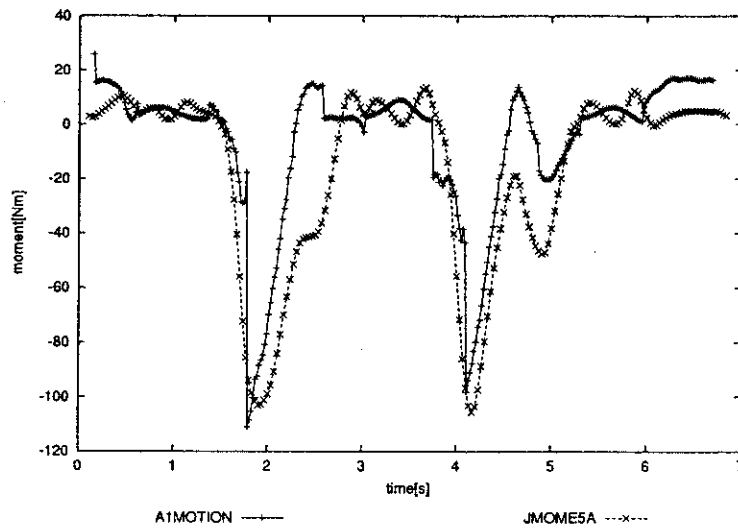


図 5.6 右膝関節モーメント (昇段)

## 降段運動

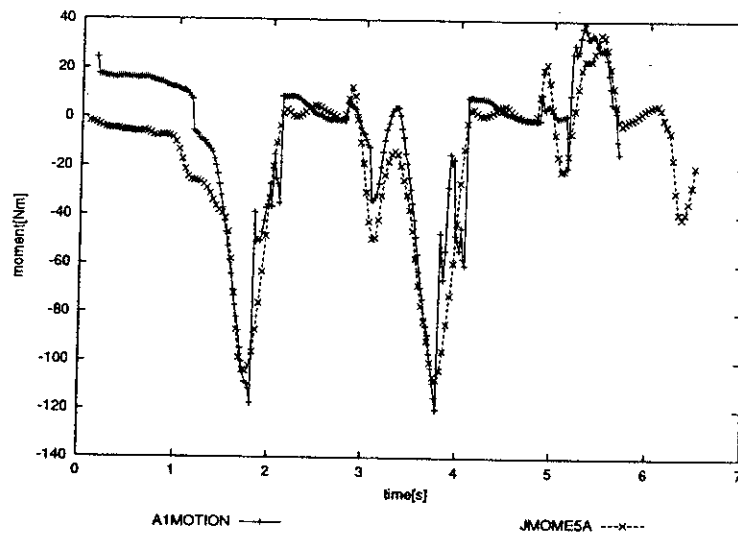


図 5.7 左膝関節モーメント (降段)

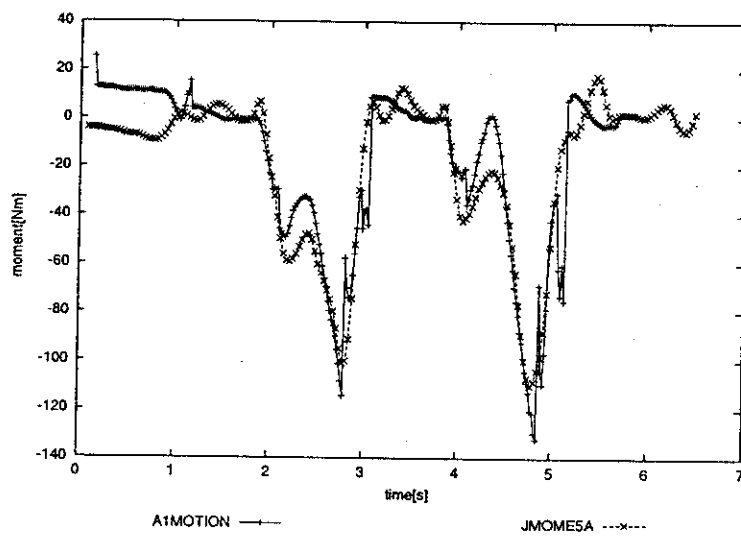


図 5.8 右膝関節モーメント (降段)

解析結果と測定結果との比較を行うと、よく似た傾向を示しており、数値的にも近い値が得られている。多少の誤差はある物の、この人体モデルを用いることによって、様々な体型の被験者の解析を行うことができると考えられる。

ここで、計測値との誤差ができた原因を考察してみる。モデルは左右対象の剛体で構成されているが、実際の人体は対象ではなく、体節の長さに差がある。また、実際は床からの衝撃力が作用していると考えられるが、モデルは剛体であるためにこの衝撃力が考慮されていない。上に挙げた実際との違いを考慮するモデルを作成すれば、より実際の値に近い結果が得られるはずである。しかしながら、今回作成したモデルでも良好な結果が得られているために、このモデルは妥当であると言える。

#### D. 結論

本研究では、3次元動作解析による運動測定と運動パターンの解析、そして動力学シミュレーションを行うための人体モデルの作成を目的とした。3次元動作解析を行うことにより、人体の歩行、階段昇降、椅子からの立ち上がりについての運動パターンを把握することができ、この結果より超音波モータを駆動する駆動パターンの生成が可能となった。

また、動力学シミュレーションを行うための人体モデルの作成を行い、妥当な人体モデルを作成することができた。このモデルにより、今後実験することなく様々な体型の被験者のデータを生成することが可能となった。

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

超音波モータのさらなる高出力化に関する研究

研究者 桑原 利彦 東京農工大学工学部助教授

研究要旨

サンドイッチ型超音波モータは高出力に適した構造であるが、さらに軽量高トルク化が望まれている。本年もさらに両面貼り付けステータの開発をすすめ、大きな押しつけ力にも駆動できるステータを開発した。このステータは従来の片面貼り付けのものより低電圧でも大出力トルクを発生し、圧電素子を2枚用いているため基本的に1枚のものの倍のトルクを生む。実験では200Vppで140kgfcmを得た。

また、ロータ材をかえた実験も行った。昨年までに66ナイロンにグラスファイバーを充填したものがよいとしていたが、今回の詳細な実験では、材料の弾性率と硬度のバランスが重要であることもわかった。すなわち、この比が一定であればよく、大きなトルクを出すことができる。しかし、一般に高出力用では、両者とも大きな値の材料がのぞましいこともわかった。モータの押しつけ力もすでに160kgfを超え限界に近く、今後は多層化などで高出力化を目指すことが必要である。

## A. 研究目的

前年度までに高出力に適したサンドイッチ型超音波モータを開発してきたが、さらなる軽量、高トルク化が望まれている。人体に装着して使用する目的から、軽量であればあるほど良く、また高出力であれば余裕をもたせた駆動を行う事ができる。

本研究では、さらなる高出力化を目指すために新たにステータの設計を行い、多数のロータ材から高出力を実現できる材料の評価を行卯ことを目的とした。また、ロータ材の持つ材料定数から、高出力を実現するために有効な材料を選定する際の評価方法の検討を目的とした。

全体として低電圧で高出力を発生することを目的とする。

## B. 研究方法

新たにステータを設計するにあたり、トルクの取り出し部である櫛歯部を外周部から内側に設ける構造を提案した。これは外周部に押付けをかけると振幅は大きく減衰してしまうことがわかり、櫛歯部を内側に設けたほうが高出力化に適していると判断したからである。また、モータの出力は、圧電素子の径が大きいほど大きくなるので、圧電素子を外周部に持ってくる構造にも適しているからである。これまでのように有限要素解析を用いてステータの振動解析を行い、新たなステータを作成し、その評価を行う。

ロータ材を選定するにあたり、これまでの実験で良好な結果を得られた66ナイロンにグラスファイバを充填した物を基準と、弾性率及び硬度に注目して材料の選定を行い、実際に駆動実験を行って、ロータ材の評価を行った。さらに、この結果より、高出力を実現できる弾性率と硬度の関係を検討した。

## C. 研究結果及び考察

### ステータの設計

ステータの内側のみで櫛歯に接触し、外側に圧電素子を貼り付け、振動振幅を発生させやすくした。また、圧電素子を表面と裏面の両面に貼り付けることで、圧電効果により発生する力を増加させ、出力トルクの向上をさせるようにした。

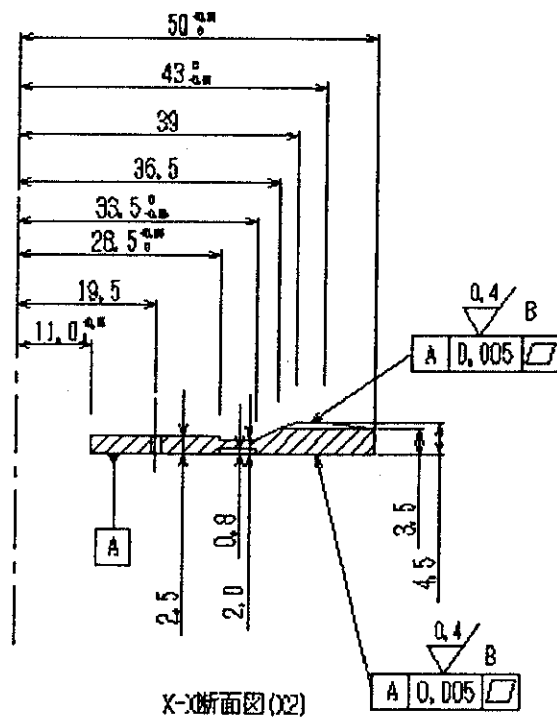
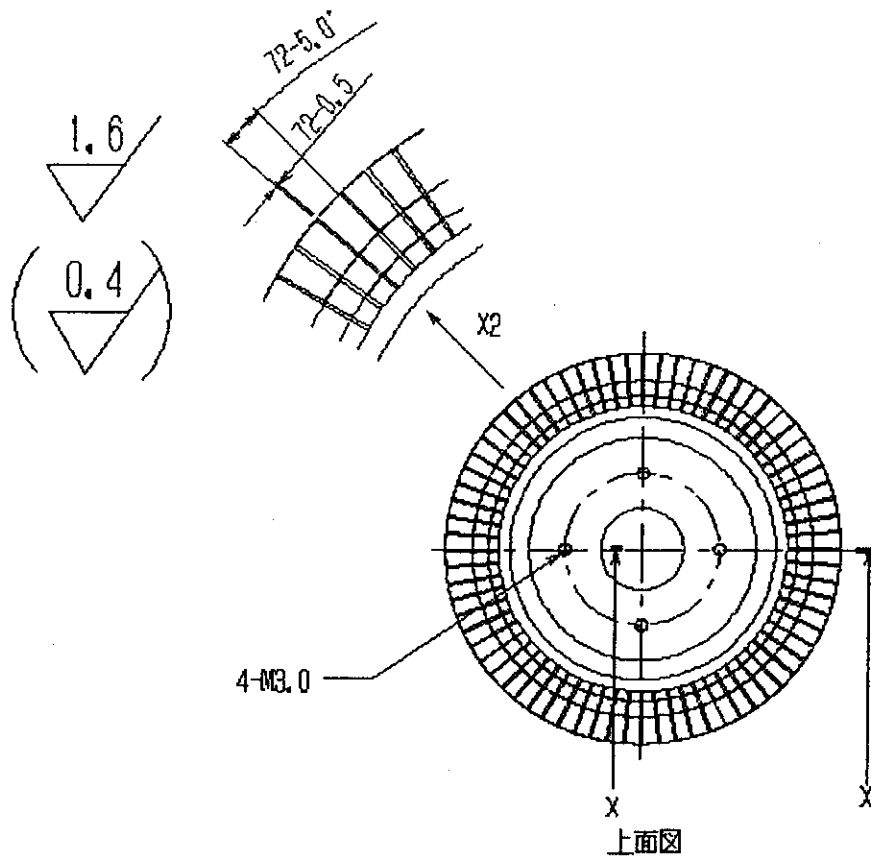
これまで使用したステータをタイプ1とし、今回、新しく設計したステータの裏面だけに圧電素子を貼り付けたものをタイプ2とし、両面に圧電素子を貼り付けたものをタイプ3とする。タイプ2、タイプ3のステータの設計図をそれぞれ図3.1、図3.2に、また、それぞれの写真を図3.3、図3.4に、圧電素子の設計図を図3.5にそれぞれ示す。圧電素子の厚さは0.3[mm]である。

タイプ2のステータは先に説明したように、ロータと櫛歯の接触面を内側に限定し、外側の裏面だけに圧電素子を貼り付けたものである。ロータと接触している櫛歯の外側から、ステータのディスク部の外周に傾斜をつけ、進行波が櫛歯の外側で分離しないようにした。

タイプ3のステータもタイプ2のステータと同様に接触面を内側に限定したものであり、外側の表面と裏面の両面に圧電素子を貼り付けたものである。圧電素子は表面と裏面の励起する振動が相殺しあわないよう、+極性の向かい側には-極性がくるように留意して貼り付けた。また、圧電素子を両面に貼り付けることにより、圧電効果により発生する力が大きくなり、ステータに伝達する力が大きくなる。そのため、振動振幅が大きくなり、圧電素子を破壊する恐れや、圧電素子の振動速度が大きくなり圧電効果の低下の原因になるため、ステータのディスク部を厚くした。しかし、ディスク部が厚すぎるとステータの剛性が上がり、共振周波数が高くなってしまい、ステータの

発熱原因の1つになり、圧電素子の破壊や圧電効果の低下、分極破壊、接着剤の劣化の恐れがある。そのため、共振周波数を30~40[kHz]を考慮に入れ、ディスク部の厚さを決定した。

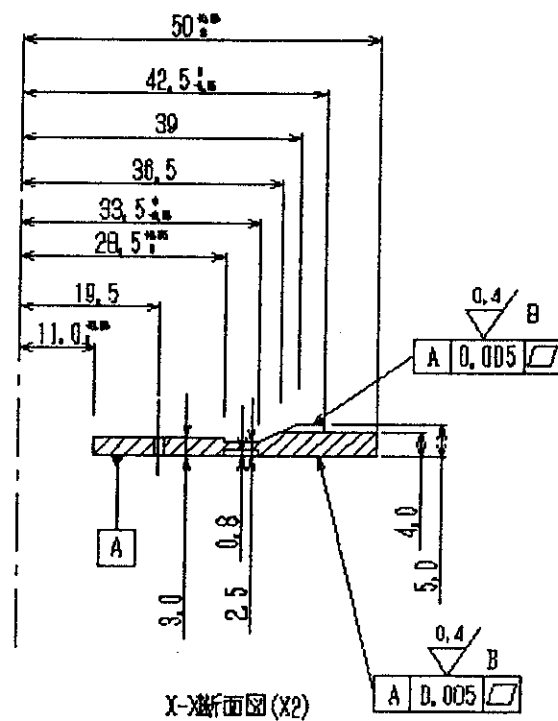
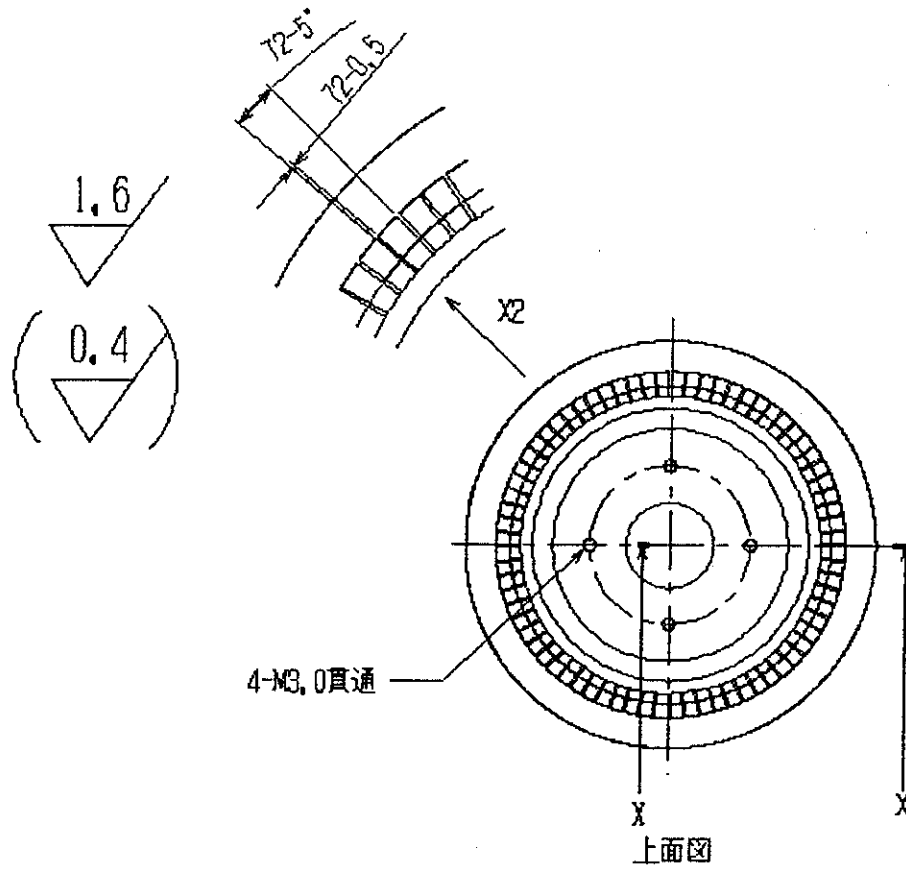
ステータの径は全てφ100[mm]で、材質はSUS420Jである。



- 注1) B面ニバリ・切削痕ノナキコト  
 注2) 指示無キ直角コーナハイト面取りノコト

図 3.1 タイプ 2 のステータの設計図





- 注1) B面ニバリ・切削痕ノナキコト  
 注2) 指示無キ直角コーナハイト面取りノコト

図 3.2 タイプ 3 のステータの設計図

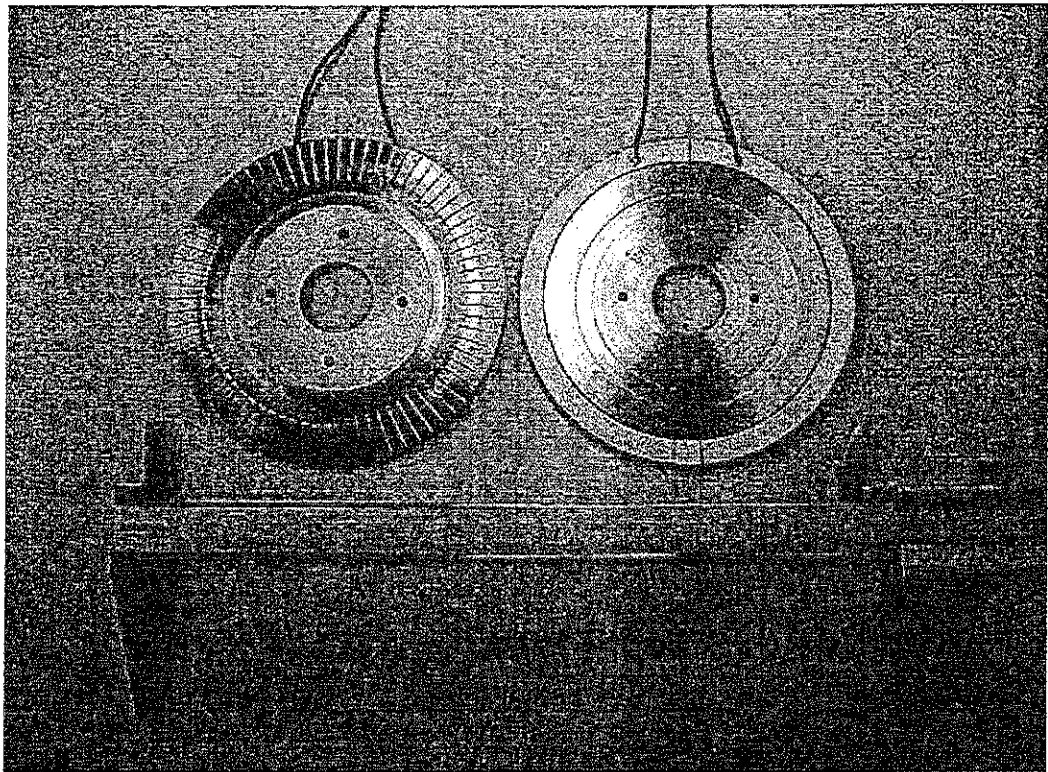


図 3.3 タイプ 2 のステータ

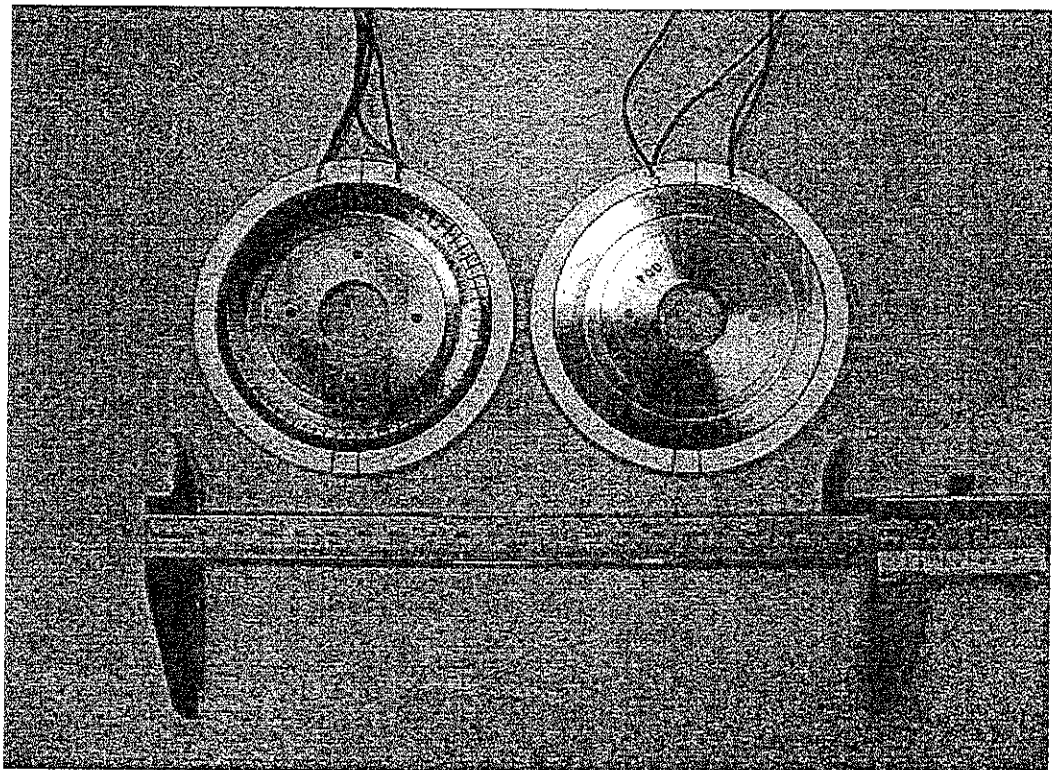
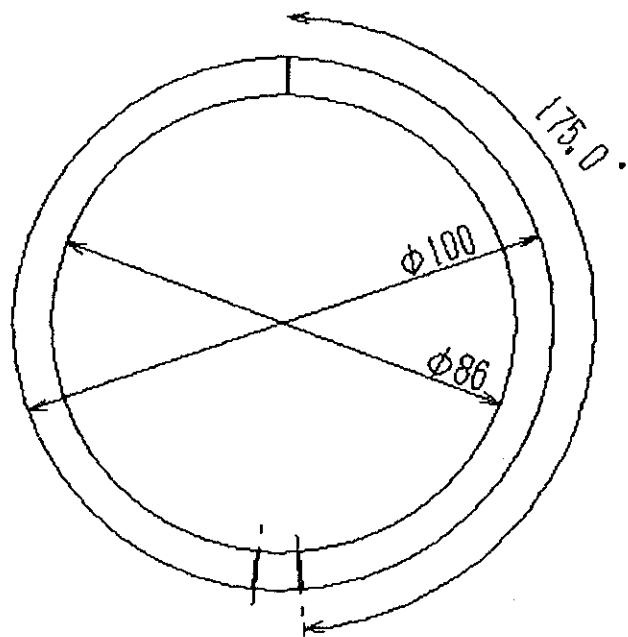
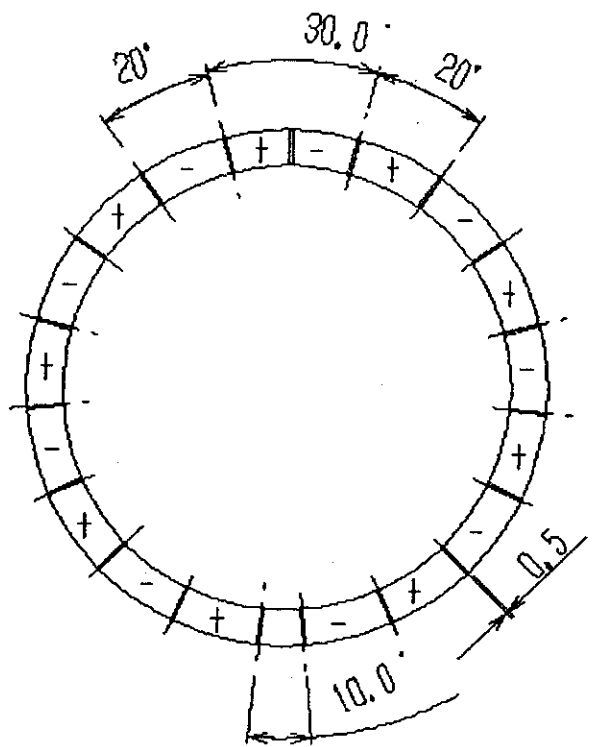


図 3.4 タイプ 3 のステータ



注：厚さ0.3 [mm]

図 3.5 タイプ 2、3 の圧電素子の設計図

## 起動トルク実験

今回、実験で使用した実験装置は新しいステータの開発にともない、これまでの物よりも軽量化、及びロータとステータの片あたりをを少なくするようにケースの一体化をするため、新たに制作したものを使用した。また、押し付け力を変化することができるようにするため、皿バネとステータの間にスペーサをはめ、押し付け力の変化をできるようにした。図 3.6 に実験に使用したモータを示す。

## 実験方法

ロータには N66GF30( $\phi 85$ [mm])を使用した。各タイプのステータの起動トルクー押し付け力特性、起動トルクー印加電圧特性を測定した。

## 実験結果及び考察

タイプ 1~3 までの各実験結果を図 3.7~図 3.12 に示す。

各タイプのステータの起動トルクー押し付け力特性から、印加電圧が一定であると、ある押し付け力の値で下がるか、一定になりそれ以上起動トルクが上がっていかないことが分かる。これは、印加電圧が一定であるとき押し付け力を上げるとステータの進行波が発生しにくくなったり、発生しなくなったりするためである。そこで、タイプ 1 のステータを基準に、タイプ 2 のステータは印加電圧が 200[Vpp]のときはタイプ 1 とそれほど違いは見られないし、最高起動トルク値も若干タイプ 2 の方が低いけどほとんど変わらないことが分かる。しかし、タイプ 2 は印加電圧が 180[Vpp]以下ではほとんど起動トルクは上がらない。この原因として、タイプ 1 の圧電素子に比べタイプ 2 の圧電素子の直径方向が短くなり、入力エネルギーである電力が低くなったためと考えられる。

次にタイプ 3 のステータはタイプ 1 のステータに比べて、最高起動トルク