

3.6 平面複数型超音波モータ

平面複数型超音波モータについて、回転数及びトルクを測定した。
測定結果を表に示す。

表 4.8 平面複数型超音波モータ実験結果

最大回転数 [rpm]	10
最大トルク [Nm]	30

3.7 軽量サンドイッチ型超音波モータ

軽量サンドイッチ型超音波モータについて、回転数及びトルクを測定した。図 4.43 に回転数—トルク線図を示す。

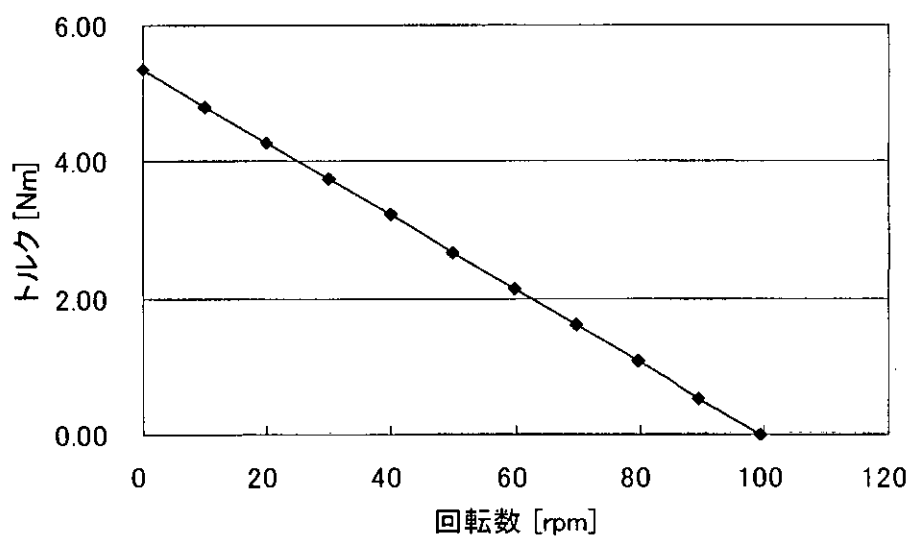


図 4.43 軽量サンドイッチ型超音波モータ回転数—トルク特性

D. 考察

得られた回転数—トルク特性からモータの性能を評価する。先に述べたように今回製作した超音波モータにはフレキシブル基板を貼り付けた。これにより、現時点では電極が剥離するという問題は発生していない。また、フレキシブル基板を圧電素子に貼り付けたことによって、圧電素子の割れということが起こらなかった。

4.1 $\phi 80$ 超音波モータ

すべてのモータに関して最大回転数は約 80rpm が得られるが、最大トルクに関してはバラつきが見られる。特に No.6~No.8 の超音波モータに関してはトルクが 2Nm を超えた付近で、出力を得られなくなる。超音波モータは周波数を変化させていった場合、突然出力を得られなくなることもある。共振周波数の領域から外れるのが一因として考えられる。さらに超音波モータはステータ上に励起するマイクロオーダーの変位の波による摩擦駆動であるため加工状態、特に表面粗さが先の現象の要因として関係していると考えられ、これらを解決する手段は現状ではない。加えて超音波モータは印加する電圧の周波数を上昇させた時と、下降させたときで特性が異なる。そのため、トルク、回転数の特性を正確に把握することは、超音波モータを動作させる上で重要である。

今回製作した $\phi 80$ 超音波モータはこれまでの本研究室で製作した超音波モータに比べ、大きくトルクを向上させることができた。その要因として振動モード、ロータ形状の変更が挙げられる。振動モードは

これまでの本研究室では 9 波のモードが主流であり，トルク向上のために振動振幅の増大にのみ着目していた．今回モデル化により振動振幅以外に振動の波数がトルク向上に関わることに着目し製作した．また，ロータ形状もこれまで一枚の円盤を基本とし，ライニング剤を工夫することが重視されていたが，ロータの共振周波数に注目し形状を変えて再設計した．さらにステータとロータをケースに固定することで押し付け力の固定を図った．これまでのものは超音波モータを駆動する際，状況に応じて押し付け力のある程度変化させるような機構を設けてある．結論から述べると，これら押し付け力の変化を与える機構が逆に押し付け力にバラつきを生じさせる原因になると考えられた．今回押し付け力を固定することも良好な結果を得ることができた要因として挙げられるが，ステータ，ロータ間の押し付け力の分布を調べることが困難であるため，厳密にはどの程度の影響があるのかは限定できない．また，駆動により熱が発生し，ステータ，ロータの熱膨張により押し付け力は変化する．今回は正確なトルク-回転数特性を知るためにモータの温度は室温の状態の時に測定を行った．そのため，実際にパワーアシストスーツに装備して使用する際には，押し付け力に応じて変化する共振周波数を追従するドライバを用いて駆動する必要がある．

以上の結果，検討項目がモータのトルク向上に有効に作用したと考えられる．

パワーアシストスーツに使用する際に重要な事は，モータの性能にバラつきがないことである．図 4.44, 4.45 から特性がほぼ一致するものを完成したサポータタイプのパワーアシストスーツに装備する．

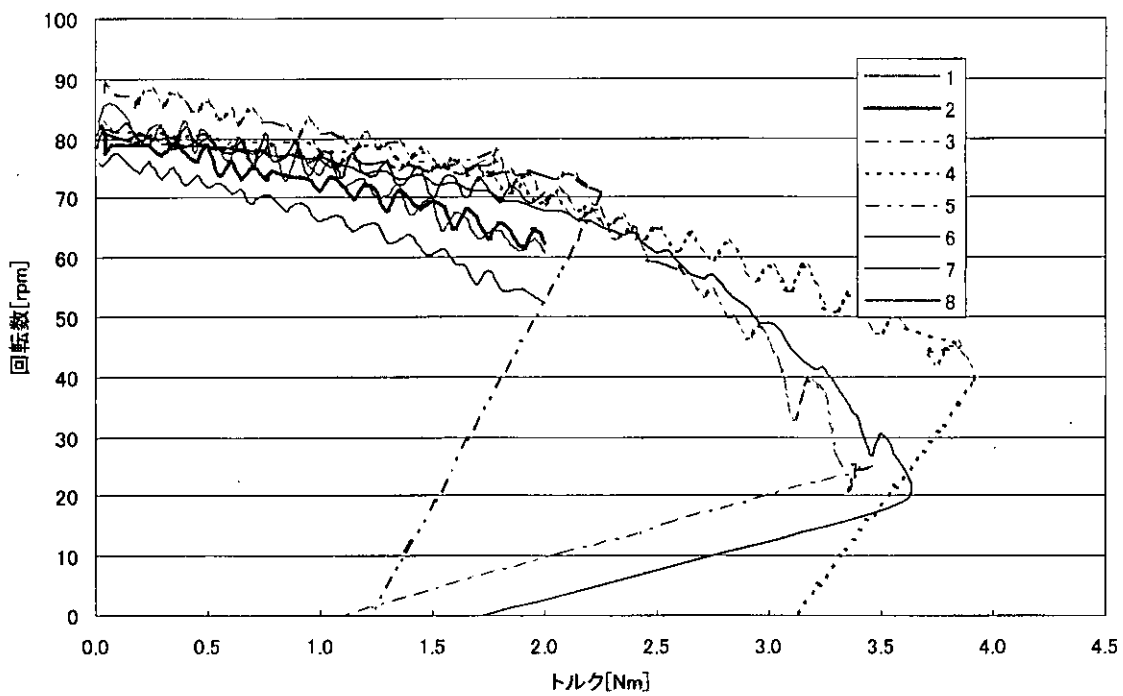


図 4.44 CW 方向トルク－回転数線図

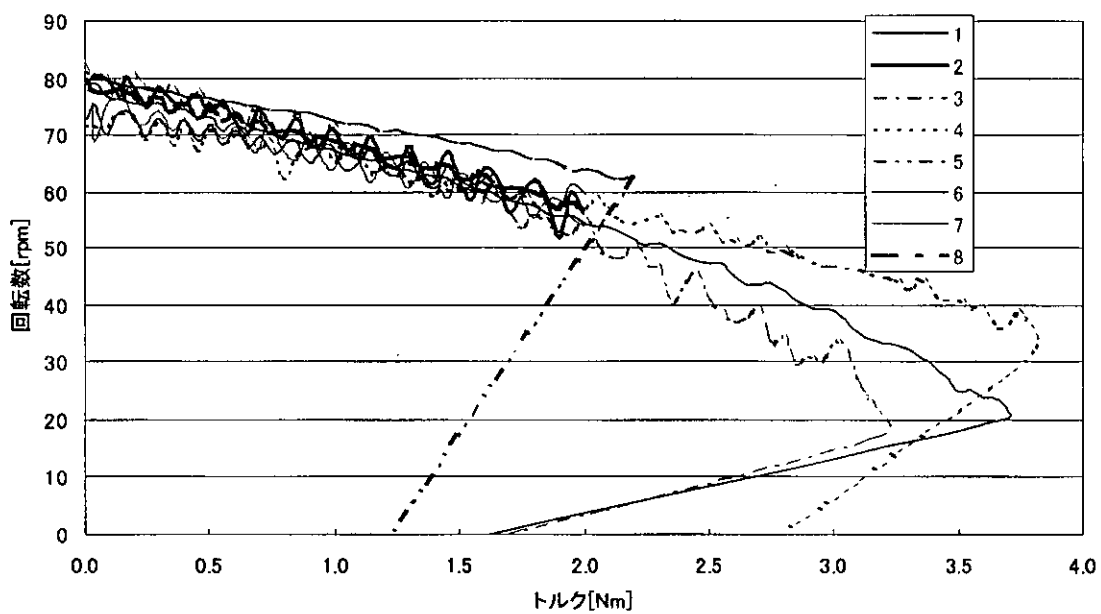


図 4.45 CCW 方向トルク－回転数線図

4.2 $\phi 100$ 超音波モータ

ステータ直径 $\phi 100\text{mm}$ 以上の超音波モータの製作はリフトタイプに装備するための高トルク型超音波モータの開発として行った。 $\phi 100$ 超音波モータは最大回転数 $95[\text{rpm}]$, 最大トルク 4.5Nm が得られた。本研究室ではステータ直径 $\phi 100\text{mm}$ でも 9 波の振動モードを主に研究してきた。 $\phi 100$ 超音波モータに関しても $\phi 80$ 超音波モータの時と同様の検討を行うことでこれまで製作した同直径のモータに比べ良好な結果を得るに至った。リフトタイプのパワーアシストスーツは構造上スーツ重量を装着者の負担とせず, 地面に逃がすことができるためモータに重量があっても対応が可能である。しかし, 先で述べたようにスーツ重量が装着者の動作の妨げになる場合もあるため, そのような動作を行う際にはモータからのサポートも必要になる。ゆえに, モータ出力とモータ重量を検討し, 最終的にリフトタイプ用超音波モータを選択する必要がある。そのため, $\phi 100$, $\phi 120$, $\phi 145$ 超音波モータの三種類について製作を行った。

4.3 ϕ 120 超音波モータ

ステータ直径 ϕ 120mm 以上のものは、過去に製作した経験がなく、設計におけるすべての要素が未知である。4.4 に述べたように径が大きくなるにつれ圧電素子の接着面積が増大し、それによる接着剤の塗布にむらができる可能性がある。圧電素子と弾性体の接着はステータを構成する上で核となる部分であり、ステータ性能に大きく関係する。結果からより、回転数に大きく差が出ていることがわかる。また図 4.46 に示す一次近似によると ϕ 120S 超音波モータの CW 方向の回転以外はほぼ同様の傾きであり、モータの特性としてはほとんど差がないことがわかる。

今回の製作の結果からは ϕ 120 超音波モータを使用する際には圧電素子の幅を大きく取ったほうが回転数、回転方向による性能のばらつきを防ぐことにつながる。

今回実験に使用したトルク計測器が 5Nm までしか計測できなかったため、ばね秤で最大トルクおよびそのときの回転数を測定し、図 4.46 に示す一次近似線上にのるかどうかの確認のみ行った。その結果、 ϕ 120S、 ϕ 120W 超音波モータ共に約 8Nm でトルクを計測することが出来た。また、トルク-回転数はほぼこの一次近似上にのることは確認できた。しかし、8Nm 以上の負荷をモータにかけると停止してしまうため正確なトルク-回転数特性を測定することができない。現在これら 5 Nm 以上のトルク計測に対応したトルク試験機を製作している。完成しだいトルク特性を測定する。

4.4 ϕ 145 超音波モータ

現在、円環状の圧電素子製作の限界が直径 ϕ 145mm であるため、今回ステータ直径の最大を ϕ 145mm とした。さらに、形状が大きくなることから分極数も他のモータ 12 より増やし、15 波の振動モードで製作した。

ϕ 120 超音波モータと同様に測定が 5Nm までしか出来なかったため、ばね秤にて最大トルクの測定を行い、約 10Nm でトルクを確認することが出来たが、同様にそれ以上の負荷をかけるとモータが停止してしまう。

ϕ 120 超音波モータのときは圧電素子幅の差により、回転数に明確な差が現れたが、 ϕ 145 超音波モータに関しては出力性能に関して大きな差が見られなかった。原因として、貼り付け状態と圧電素子の品質が挙げられる。貼り付け状態については ϕ 145W 超音波モータの貼り付け状態が悪く、性能がでていないと考えられる。また圧電素子も同様に大型になるため、材料の特性以下の性能しか発揮できていない可能性がある。今回の結果だけから見ると、 ϕ 145S 超音波モータの方が大型超音波モータの製作において容易であるといえる。

4.5 $\phi 110$ ダブル型超音波モータ

$\phi 110$ ダブル型超音波モータに関しても $\phi 120$, $\phi 145$ 超音波モータと同様にばね秤での測定を行ったが, 5Nm までに得られた特性からの近似とは全く異なる傾向であった. これは, 超音波モータを二段にしているため, モータひとつに比べ特性が異なる事は容易に想像できる. そのため特にダブル構造のモータの特性試験は注意が必要である. 製作した $\phi 110$ ダブル型超音波モータも最大トルクを約 13Nm まで得ることができ, 測定中の回転数は約 10rpm であった. ばらつきのできる要因として二つのモータの特性が異なっていることが挙げられる. 測定時には二つのステータに同周波数の電圧を印加したため, モータの特性の違いがトルクと回転数に大きく影響したと考えられる.

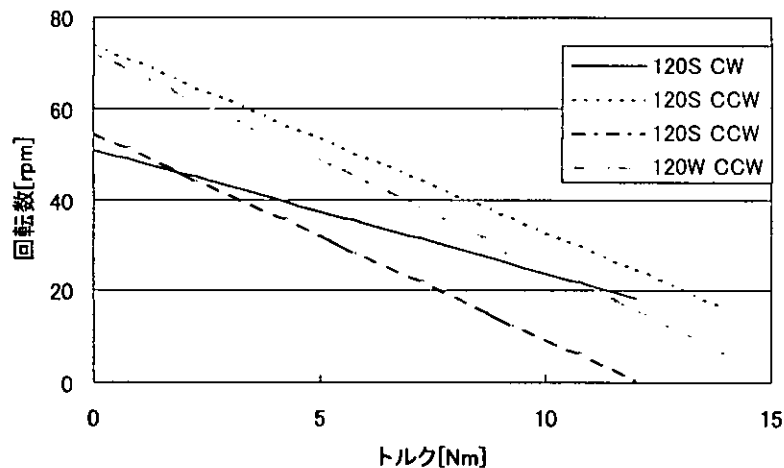


図 4.46 $\phi 120$ 超音波モータトルク－回転数特性一次近似

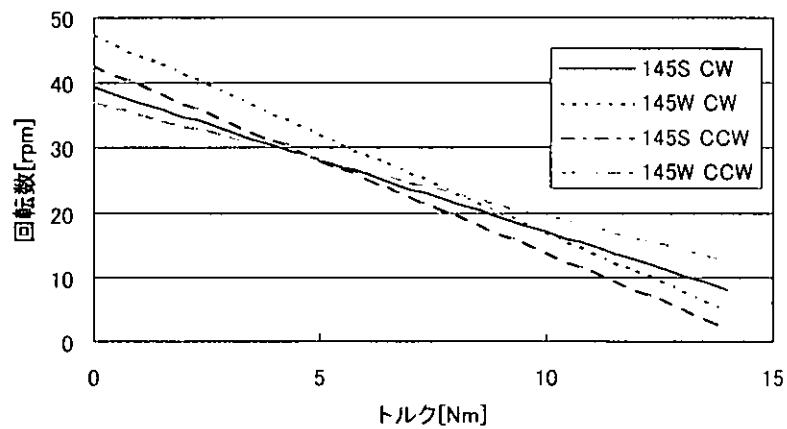


図 4.47 φ145 超音波モータトルク-回転数特性一次近似

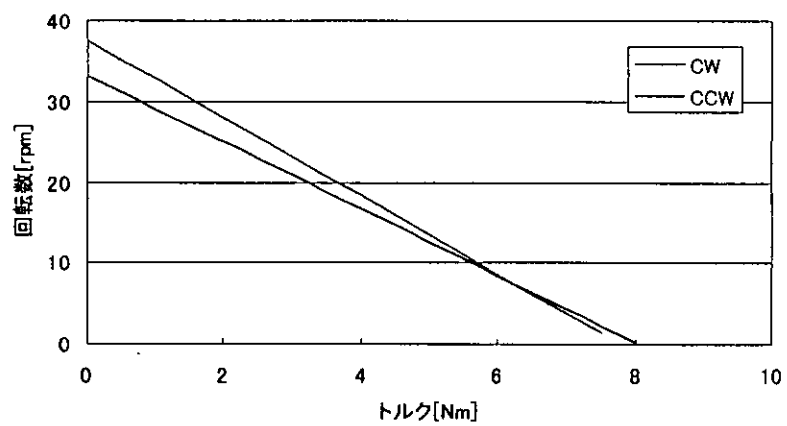


図 4.48 φ110 ダブル型超音波モータトルク-回転数特性一次近似

4.6 平面複数型超音波モータ

今回製作した平面複数型超音波モータは、最大回転数 **10rpm**、最大トルク **30Nm** であった。ステータ及びロータを6個用い、減速機を超音波モータに内蔵することによって、これまでに本研究室で開発した超音波モータの最大トルクを得ることが出来た。また、ステータ及びロータを平面に並列にすることによって同じステータ枚数を使用した超音波モータに比べて薄くすることが出来た。各ステータの出力特性のずれは、減速機によるバックラッシ等によってある程度緩和されるがそれでもずれるため、モータドライバによって出力特性のずれをさらに減少させることによって高出力を得ることが出来たと考えられる。

4.7 軽量サンドイッチ型超音波モータ

今回製作した軽量サンドイッチ型超音波モータは、最大回転数 **100rpm**、最大トルク **5.7Nm** であった。ステータ及びロータに注目し、設計を行ったことによって、大幅なトルク向上になった。これは、ステータの櫛歯数を増やすことによって振動振幅が増加されたこと、ステータ上面に励起される波数を増やしたこと、ロータの共振周波数をステータの共振周波数の約 **1.35** 倍にすることによってトルク向上したと考えられる。また、ステータの枚数を増やしても超音波モータの重量を増やすことなく軽量化にも成功した。トルク向上及び軽量化したことによってよりサポートタイプのパワーアシストスーツに適した超音波モータであると言える。

4.8 リフトタイプ用超音波モータについて検討

今回製作した超音波モータの回転数，トルク測定結果より，リフトタイプのパワーアシストスーツに最適な超音波モータの検討を行う。

リフトタイプのパワーアシストスーツはサポート率を重視するパワーアシストスーツであるため，トルクの大きさが最も重要な要素である。単純なトルクの比較ではステータ二枚を使用しているφ110ダブル型超音波モータが最も大きい。ただ，今回製作したφ110ダブル型超音波モータは大型超音波モータのダブル化に対する試験的な要素が大きく，これまでの研究成果から検討すると，ステータ直径φ145mmをサンドイッチ化したモータがトルク的には最もリフトタイプのパワーアシストスーツに適していると考えられる。サンドイッチ化には複数のモータを同期させて動作させることが重要である。その面から検討するとφ100，φ120W，φ145W超音波モータがCW方向，CCW方向の特性の違いも少なく，適しているといえる。つまり，トルクを重視して判断するならばφ145W超音波モータを使用するのが最も良好な結果が得られると予想される。次にパワーアシストスーツ装備の面から検討する。リフトタイプのパワーアシストスーツはある程度の重さには耐えられるが，重くなった分はモータの出力で補わなければならないことを考えると，φ120超音波モータ程度が適当だと考えられる。また，今回のダブル構造は軽量化を特に考慮していないため，軽量化の余地は十分にある。そのため，φ120超音波モータは単体で1200gを超えているがサンドイッチ構造にした際には今回製作したφ110ダブル型超音波モータと同程度の重量にすることは可能である。また，パワーアシストスーツは人が装備するため安全面での考慮も必

要である。超音波モータは摩擦駆動であるため、長時間使用すると発熱量が大きくなる。また、電流量も大型になるほど大きくなり消費電力の増大につながる。これらが最小のモータはφ100である。

転じて、デザインの面から見るとアクチュエータは小さいことが求められる。製作したモータにはトルク向上、軽量化など改良の余地は多い。これらを考慮すると、リフトタイプのパワーアシストスーツに装備する超音波モータはひとつに限定するのではなく、装備する超音波モータを何種類か用意しておき、状況に応じて交換できるような仕様にしておくことが最も有効であると考えられる。

4.9 サポートタイプ用超音波モータの検討

今回製作した超音波モータの回転数，トルク測定結果よりサポートタイプのパワーアシストスーツに最適な超音波モータの検討を行う。

サポートタイプのパワーアシストスーツは，リフトタイプは開発コンセプトが異なり動きやすさ等を重視したものであるため，トルクも重要な要素であるが，軽量薄型である必要がある。サポートタイプのパワーアシストスーツは，これを長時間装着していても装着者が気にならない必要があるからである。そこで，単にトルクだけで超音波モータを評価するのではなく，トルクを超音波モータ重量では割った値で評価をする。この値が大きいほど軽量で高トルクな超音波モータであると言える。ここで，トルクを超音波モータの重量で割った値を重量トルク比と定義する。表 4.9 にこの重量トルク比の計算結果を示す。ただし，平面複数型超音波モータは，人間の関節の大きさ等からの理由で外した。この計算結果から， $\phi 80$ 軽量サンドイッチ型超音波モータ， $\phi 80$ 超音波モータが高い値を示した。このことから，最もサポートタイプのパワーアシストスーツに適した超音波モータは， $\phi 80$ サンドイッチ型超音波モータであると言える。しかし，サポートタイプのパワーアシストスーツの超音波モータにより適したものにするためには，この重量を保ちトルク向上をする必要がある。それには，ステータとロータの共振周波数関係をより調査し，さらにライニング材について検討することによってトルク向上は可能であると考えられる。

表 4.9 重量トルク比

超音波モータ名	トルク [Nm]	重量 [kg]	重量トルク比
φ80 超音波モータ	3.5	0.5	7.00
φ100 超音波モータ	4.5	0.96	4.69
φ120 超音波モータ	8.0	1.24	6.45
φ145 超音波モータ	10	1.74	5.75
φ110 ダブル型超音波モータ	8.0	1.85	4.32
φ80 軽量サンドイッチ型超音波モータ	5.7	0.34	16.76

E. 結論

今回の製作で強力サンドイッチ型超音波モータについての検討はほぼ終了した。次年度は同性能での更なる小型軽量化を目指す。また、アシストスーツに装備しやすく、仕様用途によって容易に取替えが可能になるようなモータ機構、動力伝達機構も同時に検討する。

謝辞

今回パワーアシストスーツ製作に際し忙しいなか時間を割いて協力いただいた特別養護老人ホーム「つきみの園」の職員の方々には心よりお礼申し上げます。