

いことを考えると、 $\phi 120$ 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、 $\phi 120$ 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 $\phi 110$ 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 $\phi 100$ 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。

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2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、新しい技術や理論などの提案すなわち、ブレークスルーが必要であると考えられる。

表2 重量トルク比

超音波モータ名	重量トルク比
$\phi 80$ 超音波モータ	7.00
$\phi 100$ 超音波モータ	4.69
$\phi 120$ 超音波モータ	6.45
$\phi 145$ 超音波モータ	5.75
$\phi 110$ ダブル型超音波モータ	4.32
$\phi 80$ 軽量サンドイッチ型超音波モータ	8.82

以下に、この研究に関する結論を列挙する。

- ・ 圧電素子にフレキシブル基板を貼り付けることによって、電極が剥離すると言う問題は発生しなくなった。
- ・ 様々な状況に対応するために数種類製作したφ100、120、145 超音波モータは、CW 方向、CCW 方向の特性の違いも少なく、リフトタイプのパワーアシストスーツに適しているといえる。
- ・ 超音波モータを高出力化するために、ステータの櫛歯に注目し、櫛歯数を増やすことによって、ステータ振動部の円周方向の剛性を低下させ、軽量化することによって振動振幅の増加を達成した。
- ・ ステータに励起する進行波の波数に注目し、波数を増やすことによって、ステータとロータの衝突時の力積、接触点を増やすことによって、超音波モータの駆動トルクの向上に成功した。
- ・ ステータの共振周波数及び振動モードに対して、ロータの共振周波数及び振動モードを調整することによって、超音波モータの出力特性の向上に成功した。また、ステータとロータの共振周波数に関係があることが分った。
- ・ ステータ材料、ライニング材の検討結果を元に製作した軽量サンドイッチ型超音波モータの出力特性は、過去に制作された超音波モータと比較した場合、極めて良好な出力特性・小型軽量性であり、サポートタイプのパワーアシストスーツに適している。

厚生労働科学研究費補助金(長寿科学総合研究事業)
分担研究報告書
小型アンプの開発

研究者 エコ プルワント

研究要旨

進行波形超音波モータは、圧電素子に交流電圧を印加することでステータを共振状態にし、その表面上に進行波を発生させる。この共振周波数はステータ・ロータ間の押し付け力、温度により変化する。そのため、超音波モータ用小型アンプには最大フィードバック電圧検出による周波数走査で常に最適共振周波数での駆動が可能となるような機能が必要である。また、超音波モータの制御を考慮すると、印加電圧の位相差を調整が可能な機能も必要となる。

これらを考慮し、アシストスーツ用に小型で、高機能な超音波モータ用ドライバを開発する。

A 研究目的

進行波型超音波モータは弾性体に圧電素子を貼り付けた振動子(ステータ)と、回転子(ロータ)からなる。この超音波モータ駆動のためには、圧電素子に設けてある A・B 相に二つの位置的・時間的に $1/4\lambda$ 位相のずれた正弦波状の交流電圧を印加し、ステータに進行波を発生させなければならない。この正弦波を作り出し、超音波モータに印加するものがドライバである。このドライバは駆動時における超音波モータの温度上昇、それに伴うステータ、ロータの熱膨張による接触状態の変化に左右されず常に安定した駆動を得るシステムが必要であり、完成したシステムを組み込み大型の超音波モータの駆動にも適応させる。さらに、超音波モータの駆動制御を考慮し、外部から印加電圧の位相差を操作することができ、アシストスーツの動作を検出するセンサからの入力も行うことができる小型ドライバの開発を行う。

B 研究方法

今までに開発・使用してきたドライバの問題点を踏まえ、今までの技術の統合、そしてφ60以上の大型の超音波モータへの対応を行うために新しいドライバの開発を行ってきた。

PCよりUSBを通して日立製マイコンH8/3052Fへ位相差の情報(−90°～90°)を送る。3052Fではその位相差情報を6°ごとに30分割し、5bit情報としてロジック部であるALTERAに送る。ALTERA内ではクロック分周と位相操作を行い一つの超音波モータに対し、4つの定在波を生成する。これをFETとトランスに通し、増幅する。この4つの定在波を合成し、位相のずれた2つの進行波を生成し、超音波モータのA相・B相に印加する。これにより超音波モータは駆動する。次に駆動した超音波モータのステータよりFB電圧を取る。そのFB電圧のゲインを下げ、FB追従制御部であるH8/3664Fに送る。この中でAD変換を行い常に最大振幅を得るよう出力値をリアルタイムで変える。この出力はI²Cバスにより行き、MAX5250(AD変換)に送る。ここでDA変換し、出力電圧をHC4046(VCO)に送る。VCOは入力電圧に応じて出力クロックを変える。この出力クロックをALTERAに返すことで再び超音波モータが共振状態を得る周波数の定在波を生成してFET、トランスに送っている。このようにして超音波モータは駆動し、共振状態を保っている。

ドライバ回路の中で超音波モータの大きさが変わった場合、変えなければならないのはFETとトランスである。今までは超音波モータの大きさごとにドライバ全てを変えていた。つまり超音波モータの大きさごとに専用のドライバが必要であった。これでは複数の大きさの超音波モータを用いる場合、それに対応したドライバ回路を複数用意しなければならない。今回はその無駄を省くべく制御部とドライブ部を分けることにした。このように二つの基盤に分けることで、大きさの違う超音波モータを駆動させる場合、制御基盤は共通で使用することができ、ドライブ基盤のみを変えることで様々な大きさの超音波モータを駆動できるようになる。

制御基盤にはUSB通信部、センサ部、FB追従制御部である日立製マイコンH8/3664F、そして制御の中心となる日立製マイコンH8/3052Fとロジック部であるALTERAが搭載されている。一方、ドライブ基盤にはFETと駆動する超音波モータにあったトランスが搭載されている。センサに関してはホールセンサとホールICを排他的にさらにロータリーエンコーダ用回路を搭載している。そのデータをH8/3052Fで処理し、USBを用いてPCにその情報を返すことができるようになっていいる。また電源に関して、制御基盤ではAC100VからAC/DCコンバータを通して、12Vと5Vを生成している。5V必要であるH8/3052Fやセンサに関してはAC/DCコンバータで生成された12Vをレギュレータで5Vに落とし安定させ、供給している。AC/DCコンバータで生成された5Vは他のレギュレータで3.3Vに落としALTERAに供給されている。一方、ドライブ基盤ではバッファ用ICに5Vまたトランスには別のAC/DCコンバータより12Vが供給されている。

C 考察および結論

パワーアシストスーツに搭載する超音波モータは肘・肩・腰・膝の 4 箇所、左右にあり、全体で 8 個である。PAS の将来像としてはどんな場所でも装着し、介護動作を行わなければならないため、バッテリー、ドライバ回路などは全て背負わなければならない。このため、ドライバの省スペース化はパワーアシストスーツの機構設計による軽量・小型化と同じく重要なものである。

ドライバの小型化、及び制御性能の向上を受け、制御動作に関しても大幅な精度向上が望め、小型化したことによりパワーアシストスーツへの装備を考慮に入れた設計も容易に可能となった。