

明 細 書

発明の名称 : 加工装置

技術分野

[0001] 本発明は、工具が設けられた工具側が本体側に対して回転される加工装置に係り、特に、工具側に超音波振動子を備え、工具の回転に超音波振動子の振動が重畳される加工装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来から、例えば特開 2 0 0 2 - 2 8 8 0 8 号公報（特許文献 1）や特表 2 0 0 8 - 5 0 4 1 3 8 号公報（特許文献 2）等に記載のように、切削や研削等を行なう加工装置において、本体側に対して回転可能とされた工具側に超音波振動子を設けて、工具に回転運動と超音波振動子による振動を重畳することで、加工精度を向上することが行われている。このような加工装置では、本体側に対して回転される超音波振動子に駆動電力を供給するために、本体側と工具側の回転部分に一次側電力用コイルと二次側電力用コイルを対向配置して、これら電力用コイルの相互誘導作用を用いることによって、本体側から工具側に電力が供給されるようになっている。

[0003] ところで、超音波振動子は、共振周波数を有する電気回路と等価に考えられることが知られており、超音波振動子を効率的に駆動させるために、共振周波数乃至はその近傍の周波数の駆動電力を供給することが行われている。しかし、加工装置においては、超音波振動子周囲の温度変化や超音波振動子自身の温度変化、工具に加わる負荷の変化等により、超音波振動子の共振周波数が変化する。それ故、一定の周波数で駆動電力を供給するのみでは、超音波振動子を効率良く駆動させることが出来ない場合があり、加工精度を低下するおそれがあった。

[0004] そこで、超音波振動子の振動状態を検出する検出手段を工具側に設けると共に、信号用コイルを本体側と工具側に設けて、これら信号用コイルの相互誘導作用を利用して工具側から本体側に検出手段の検出信号を電気信号とし

て伝送し、検出信号から得られた超音波振動子の振動状態に基づいて、供給電力を調節することが考えられる。

[0005] ところが、工具側が本体側に対して回転駆動される加工装置において、本体側と工具側の回転部分に信号用コイルを配設する場合には、本体側の信号用コイルと工具側の信号用コイルとの対向状態を維持するために、電力用コイルと共に、信号用コイルも工具側の回転中心軸と同軸上に配設する必要がある。しかし、電力用コイルと信号用コイルを同軸上に配設すると、特に信号用コイルにおいて、電力用コイルによって生じる磁束が信号用コイルを貫いて、信号用コイルにノイズ起電力が生じ、伝送する電気信号にノイズが混入するおそれがあった。

[0006] このような問題に対処するために、特開平 11-354348 号公報（特許文献 3）や特開平 11-313491 号公報（特許文献 4）では、コイルの磁路を形成するコア部材を大型化することで相互の磁路の干渉を回避したり、コイル間に非磁性材を介在することで相互の磁路の干渉を回避する構造が提案されている。しかし、特許文献 3 や特許文献 4 に記載の構造では、コア部材が大型化して、特に工具側において大型化を招く。工具側は高速に回転されるものであることから、工具側が大型化すると、回転駆動を安定的に実現することが困難となるおそれがあった。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献 1：特開 2002-28808 号公報
特許文献 2：特表 2008-504138 号公報
特許文献 3：特開平 11-354348 号公報
特許文献 4：特開平 11-313491 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 本発明は、上述の事情を背景に為されたものであって、その解決課題は、

工具側が本体側に対して回転される加工装置において、より簡易且つコンパクトな構成で、工具側から本体側への電気信号の伝送を、優れた伝送品質をもって可能にすると共に、工具側に設けられた超音波振動子を、より効果的に駆動させることの出来る、新規な構造の加工装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 以下、このような課題を解決するために為された本発明の態様を記載する。なお、以下に記載の各態様において採用される構成要素は、可能な限り任意の組み合わせで採用可能である。

[0010] 本発明の第一の態様は、交流電圧を出力する給電装置を備えた本体側と、該本体側に対して回転可能とされていると共に工具が連結される超音波振動子を備えた工具側との間において、対をなす一次側電力用コイルと二次側電力用コイルが前記工具側の回転中心軸と同心軸上に設けられており、これら電力用コイルを通じて前記本体側の前記給電装置から前記工具側の前記超音波振動子に駆動電力が供給される加工装置において、前記本体側および前記工具側との間に対をなす信号用コイルが、前記本体側および前記工具側のそれぞれにおいて前記電力用コイルと同心軸上で且つ軸方向に重ねて配設されている一方、前記工具側には、前記超音波振動子の振動状態を検出する検出手段が設けられており、該検出手段による検出信号が前記信号用コイルを用いて前記工具側から前記本体側へ送信可能とされていると共に、前記本体側には、前記検出手段による検出信号に基づいて前記一次側電力用コイルへの給電周波数を制御する給電制御手段が設けられている一方、前記本体側および前記工具側の少なくとも一方の前記信号用コイルが、前記電力用コイルによって生じた磁束の影響で該信号用コイルに生ぜしめられる起電力を相殺するように互いに逆向きの起電力を生じるコイル巻線経路をもって形成されていることを、特徴とする。

[0011] 本態様に従う構造とされた加工装置においては、本体側と工具側に信号用コイルがそれぞれ設けられており、信号用コイルの相互誘導を用いることにより、無接触状態で工具側から本体側に電気信号を伝送することが出来る。

これにより、工具側において、検出手段で検出した超音波振動子の振動状態を、信号用コイルを用いて本体側に伝送することが出来、本体側の給電制御手段によって、受信した検出信号から超音波振動子の振動状態の変化に応じて供給電力の周波数を変化させることが出来る。その結果、超音波振動子の共振周波数の変化に対応したフィードバック制御を行なうことが可能となり、超音波振動子をより効果的に駆動させることが出来て、加工精度の向上を図ることが出来る。

[0012] さらに、本体側および工具側の少なくとも一方の信号用コイルが、電力用コイルからの影響を相殺するコイル巻線経路をもって形成されている。これにより、電力用コイルによって生ぜしめられた磁束が信号用コイルを通過した場合には、信号用コイルに互いに逆向きの誘導電流が生ぜしめられて、相互に相殺される。従って、別途にノイズ抑制用のコイル部材を設けたり、ノイズ起電力を打ち消すための給電制御装置を設けることなく、信号用コイル自身でノイズ起電力を低減することが出来る。その結果、簡易な構成で電気信号の伝送品質を向上することが出来る。

[0013] 加えて、信号用コイル自身でノイズ起電力を低減することにより、電気信号をより速やかに伝送することが出来る。即ち、例えば無線通信の場合には、一般に、受信した電気信号を検波してから増幅し、ノイズを除去して信号を再生するという多段の処理が必要となって、時間を要する。それ故、特に本発明のようなフィードバック制御において、工具側で検出信号が発生してから本体側で再生されるまでに時間を要すると、検出信号の時間的な遅れを考慮する必要が生じ、制御の複雑化を招く。これに対し、本発明によれば、信号用コイルの構造そのものにノイズ低減効果を付与したことにより、より速やかに電気信号を伝送することが可能となり、信号伝達のリアルタイム性を向上することが出来る。

[0014] そして、信号用コイルにおいて、電力用コイルからの影響を低減出来ることから、信号用コイルを、電力用コイルと同心軸上で重ねてコンパクトに配設することが可能となる。その結果、加工装置の小型化、特に工具側の小型

化を図ることが出来、工具の更なる高速回転を実現することが出来ると共に、回転の安定性を向上して、加工精度の向上を図ることが出来る。

[0015] なお、本態様における「重ねて」とは、電力用コイルのコイル巻線と、信号用コイルのコイル巻線が、これらコイルの軸方向の投影視で重なる位置に配設されていることを言うものであって、両コイルのコイル巻線が相互に非接触であることは勿論であり、両コイルのコイル巻線が接触状態にあることを言うものではない。また、電力用コイルのコイル巻線と信号用コイルのコイル巻線は、略全周に亘って重ねられていても良いし、部分的に交差するように重ねられていても良い。

[0016] 本発明の第二の態様は、前記第一の態様に記載のものにおいて、前記互いに逆向きの起電力を生じるコイル巻線経路が、互いに逆向きに巻回された第一の巻線部分と第二の巻線部分を含んで構成されているものである。

[0017] 本態様によれば、第一の巻線部分と第二の巻線部分が互いに反対方向に巻回されていることから、共通磁界に対して、第一の巻線部分と第二の巻線部分において、互いに逆向きの誘導電流が生ぜしめられる。これにより、電力用コイルによる磁束が信号用コイルを通過した場合には、第一の巻線部分と第二の巻線部分に互いに逆向きの起電力が生ぜしめられて相互に相殺される。その結果、信号用コイルに生じるノイズ起電力を低減することが出来る。

[0018] なお、互いに逆向きに巻回された第一の巻線部分と第二の巻線部分の巻回方向とは、電力用コイルの中心回りの方向を言うものであり、本体側に設けられる信号用コイルについては一次側電力用コイルの中心回りの方向、工具側に設けられる信号用コイルについては二次側電力用コイルの中心回りの方向を言う。また、第一の巻線部分と第二の巻線部分の巻数は、第一の巻線部分に生じる起電力と第二の巻線部分に生じる起電力を考慮して任意に設定され、好適には、共通磁界に対して第一の巻線部分と第二の巻線部分に、互いに逆方向で大きさの等しい起電力が生ぜしめられるように設定される。従って、第一の巻線部分の巻数と第二の巻線部分の巻数は、互いに異ならされていても良い。

- [0019] 本発明の第三の態様は、前記第二の態様に記載のものにおいて、前記第一の巻線部分と、該第一の巻線部分から折り返されて該第一の巻線部分に沿って逆向きに巻回された前記第二の巻線部分が、同一平面上に形成されているものである。
- [0020] 本態様によれば、信号用コイルを薄く形成することが出来る。また、信号用コイルを平状に形成できることから、電力用コイルに重ねて配設する等、配設作業を容易にすることが出来る。
- [0021] 本発明の第四の態様は、前記第一～第三の何れか1つの態様に記載のものにおいて、前記本体側と前記工具側の少なくとも一方には、透磁性材からなり周方向に延びる溝部が形成されたポット型コアが設けられており、前記電力用コイルと前記信号用コイルの両方が、前記溝部に收容されているものである。
- [0022] 本態様によれば、ポット型コアを用いて電力用コイルと信号用コイルの磁路を形成することによって、電力および電気信号の伝送効率を向上することが出来る。そして、本発明によれば、信号用コイルに特定形状のコイル巻線経路を採用したことにより、電力用コイルの影響を低減出来ることから、電力用コイルと信号用コイルを、ポット型コアの同一溝部内に收容することが出来、コンパクト化を図ることが出来る。更に、信号用コイルがポット型コアの溝部に收容されることから、信号用コイルを近辺に配設されたモータ等の磁気による外乱から保護することも出来る。
- [0023] 本発明の第五の態様は、前記第四の態様に記載のものにおいて、前記ポット型コアが前記本体側のみに設けられているものである。
- [0024] 前述のように、超音波振動子は、共振周波数近傍において、図26に示す共振回路と等価的に考えられることが知られている。図26に示す等価回路は、機械的振動特性（直列共振特性）を表すコイル分（ L ）およびコンデンサ（ C ）、および機械的負荷を表す抵抗分（ R ）が直列に接続されたLCR回路に、超音波振動子を構成する圧電素子がコンデンサとして働くことによる制動容量（ C_d ）が並列に接続されている。

[0025] そこで、本態様のように、透磁性材からなるポット型コアを本体側のみに設けて、工具側の二次側電力用コイルにはコア部材を組み付けないようにすることによって、工具側の超音波振動子の等価回路におけるインダクタンス（ L ）の増大を回避することが出来る。これにより、共振周波数 $f_r = 1 / (2\pi\sqrt{L \cdot C})$ の大きな変化を回避することが出来る。インダクタンス（ L ）の増大は、一般に、共振周波数 f_r の低下として現れることから、インダクタンス（ L ）の増大を回避することによって、共振周波数 f_r の低下を抑えることが出来る。これにより、超音波振動子の共振周波数を高い位置に維持して、超音波振動子を高い周波数で駆動させることが出来、加工精度の更なる向上を図ることが出来る。また、共振周波数 f_r が大きく変化することを回避できることから、超音波振動子の共振周波数を、工具側の機械的な固有振動数に近づけ易くすることが出来、超音波振動子の振動を工具に効果的に伝達して、工具のストロークをより有効に得ることが出来る。

[0026] また、工具側の二次側電力用コイルにポット型コアを組み付けないことによって、一次側電力用コイルと二次側電力用コイルとの間で積極的に漏れ磁束を生ぜしめて、結合係数を下げることが出来る。これにより、本体側に対する僅かな位置ずれで電力の伝送効率が急激に低下することを回避して、電力伝送の安定性を向上することが出来る。更に、例えば図 27 に示すように、本体側から駆動電力が方形波として発振される場合には、工具側において超音波振動子に入力される電力波形を図 27 に併せ示した超音波振動子の機械的振動である正弦波に近づけることが出来る。これにより、超音波振動子の振動を印加電圧の変化に同調させ易くすることが出来、急激な印加電圧の変化に起因すると考えられる超音波振動子のうねりを低減して、超音波振動子を安定的に振動させることが出来る。それと共に、図 27 に斜線で示す余剰エネルギーの発生を抑えることが出来て、発熱を抑えることも出来る。

[0027] 更にまた、工具側の二次側電力用コイルにポット型コアを組み付けないことによって、工具側を軽量化することが出来て、より高速な回転駆動を実現することが出来る。なお、本態様において、工具側の信号用コイルの鎖交磁

束を調節するために、工具側に透磁性材からなるコア部材を設けて、工具側の信号用コイルをコア部材に組み付けることは可能であるが、好ましくは、ポット型コアを含むコア部材が工具側に一切設けられていない態様が採用される。即ち、コア部材が鉄などの微粒子を焼結して形成されたものである場合には、毎分あたり数万程に高速に回転されると亀裂や破損のおそれが高くなる。そこで、工具側にコア部材を一切設けないことによって、工具側においてコア部材が損傷する問題を回避することが出来る。

[0028] 本発明の第六の態様は、前記第四又は第五の態様に記載のものにおいて、前記第一の巻線部分と前記第二の巻線部分との離隔距離が、前記信号用コイルの両側における前記溝部の壁部との離隔距離よりも大きくされているものである。

[0029] 本態様においては、信号用コイルにおける第一の巻線部分が、溝部の外壁と内壁の一方に接近して配設されていると共に、第二の巻線部分が、外壁と内壁の他方に接近して配設されており、第一の巻線部分および第二の巻線部分が、他方の巻線部分よりも溝部の何れか一方の壁部に近接して配設されている。これにより、第一の巻線部分による磁束と第二の巻線部分による磁束が、溝部のそれぞれの壁部に通し易くされており、第一の巻線部分の磁路と第二の巻線部分の磁路との干渉を低減することが出来る。その結果、信号用コイルによる電気信号の伝送品質をより高めることが出来る。

[0030] 本発明の第七の態様は、前記第一～第六の何れか1つの態様に記載のものにおいて、前記超音波振動子は、複数の圧電素子が積層されたランジュバン型振動子であり、それら複数の圧電素子と共に積層された圧電素子によって、前記検出手段が構成されているものである。

[0031] 本態様によれば、超音波振動子の振動を、検出手段としての圧電素子の圧電効果を用いて電圧として検出することが出来る。これにより、簡易な構造で検出手段を実現することが出来る。更に、検出手段としての圧電素子を、ランジュバン型振動子を構成する複数の圧電素子と同軸上に配設出来ることから、検出手段をスペース効率良く設けることが出来ると共に、工具側の重

量バランスの偏りを抑えて、工具側の回転の安定性を向上することも出来る。

発明の効果

[0032] 本発明においては、一次側電力用コイルと二次側電力用コイルによって、本体側から工具側に設けられた超音波振動子に対して無接触状態で電力を伝送すると共に、本体側と工具側に設けられた信号用コイルによって、超音波振動子の振動状態を電気信号として本体側に伝送するようにした。そして、給電制御手段によって、信号用コイルを通じて得られた電気信号に基づいて超音波振動子への給電周波数を制御可能としたことにより、超音波振動子の共振周波数の変化に応じて供給電力の周波数を調節することが出来て、加工品質を向上することが出来る。更に、本体側と工具側の少なくとも一方の信号用コイルを、電力用コイルによって生じた磁束の影響で生ぜしめられる起電力を相殺するコイル巻線経路をもって形成した。これにより、極めて簡易な構成で、電力用コイルからの影響によって信号用コイルに生じるノイズ起電力を軽減することが出来る。その結果、電気信号の伝送品質を向上することが出来ると共に、信号用コイルを電力用コイルに近接して配設することが可能となり、本体側および工具側のコンパクト化を図ることが出来る。

図面の簡単な説明

- [0033] [図1]本発明の第一の実施形態としての加工装置をモデル的に示す説明図。
[図2]図1に示した加工装置の要部の縦断面説明図。
[図3]本体側伝送ユニットと工具ユニットの斜視図。
[図4]本体側伝送ユニットと、工具ユニットとの、図3とは異なる方向からの斜視図。
[図5]一次側電力用コイル、二次側電力用コイル、信号用コイル、ポット型コアの分解斜視図。
[図6]図5に示した信号用コイルをモデル的に示す説明図。
[図7]本体側コイルヘッドの正面図。
[図8]超音波振動子を備えた振動ユニットの説明図。

[図9]本発明の第一の実施形態としての加工装置に用いられる無接触式電源供給装置を概略的に説明するブロック図。

[図10]超音波振動子のインピーダンス特性を示すグラフ。

[図11]超音波振動子に流れる電流の測定結果を示すグラフ。

[図12]超音波振動子の共振周波数近傍における電圧と電流の測定結果を示すグラフ。

[図13]超音波振動子の共振周波数近傍から外れた周波数域における電圧と電流の測定結果を示すグラフで、方形波の電圧を印加した場合のグラフ。

[図14]超音波振動子の共振周波数近傍から外れた周波数域における電圧と電流の測定結果を示すグラフで、正弦波の電圧を印加した場合のグラフ。

[図15]超音波振動子の共振周波数が変化した場合の電圧と電流の変化の様子を説明するための説明図で、(a)は電流の振幅が変化した場合、(b)は電流の位相が変化した場合を示す説明図。

[図16]信号用コイルに生じる誘導電流の向きを説明するための説明図であり、(a)は電気信号の伝送時、(b)はノイズ発生時を示す。

[図17]信号用コイルに生じる誘導電流の向きを説明するための縦断面図であり、(a)は電気信号の伝送時、(b)はノイズ発生時を示す。

[図18]工具側における検出信号の送信タイミングと、本体側における検出信号の受信タイミングを測定したグラフ。

[図19]工具を振動させつつ回転させて形成した穿孔と、工具を振動させずに回転させて形成した穿孔とを併せ示す写真。

[図20]図1に示した加工装置を構成する、複数の工具ユニットを示す説明図。

[図21]図1に示した加工装置の、コンピュータネットワークへの接続態様を説明するための説明図。

[図22]本発明の第二の実施形態としての加工装置を構成する、検出手段を示す説明図。

[図23]本発明の第三の実施形態としての加工装置を構成する一次側電力用コ

イル、信号用コイル、ポット型コアを示す分解斜視図。

[図24]本発明の第四の実施形態としての加工装置を構成する一次側電力用コイル、二次側電力用コイル、信号用コイル、ポット型コアの縦断面図。

[図25]本発明の第五の実施形態としての加工装置を構成する、信号用コイルをモデル的に示す正面図。

[図26]超音波振動子を説明するための説明図。

[図27]超音波振動子に印加される電圧と、超音波振動子の振動状態を説明するための説明図。

発明を実施するための形態

[0034] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照しつつ説明する。

[0035] 先ず、図1に、本発明の第一の実施形態としての加工装置10をモデル的に示す。加工装置10は、本体側としての装置本体12に設けられた主軸ヘッド14の主軸16に、工具18を備えた工具側としての工具ユニット20が連結された構造とされている。そして、主軸16が回転されることにより、主軸16に連結された工具ユニット20が、主軸ヘッド14に対して回転可能とされている。

[0036] 装置本体12は、土台22に支持されている。土台22において、工具18の前方（図1中、下方）には、加工対象物であるワーク24を着脱可能に保持するテーブル26が設けられている。テーブル26は、土台22に設けられた駆動機構28に支持されており、駆動機構28内に設けられた図示しないガイドレールやサーボモータ等によって、工具18に対して、工具18に対する前後方向（図1中、上下方向）に直交するX軸方向およびY軸方向と、工具18に対する前後方向となるZ軸方向の直交3軸方向で相対変位可能とされている。これにより、工具18が、ワーク24に対して、直交3軸方向に相対変位可能とされている。なお、加工装置10は、例えばテーブル26がX軸方向およびY軸方向の直交2軸方向に移動可能にされると共に、主軸ヘッド14がZ軸方向に移動可能とされるもの等でも良い。

[0037] 図2に、主軸ヘッド14と工具ユニット20の縦断面をモデル的に示す。

主軸ヘッド 14 には、ケーシング 30 内に回転駆動手段としてのモータ 32 が設けられている。そして、モータ 32 の出力軸に主軸 16 が固定されることにより、主軸 16 が、中心軸：0 回りで回転可能とされている。主軸 16 は、ベアリング 34、34 を介してケーシング 30 に支持されていると共に、先端部がケーシング 30 における工具ユニット 20 側の端縁部と略等しく位置されている。また、主軸 16 の先端側において、主軸 16 とケーシング 30 の間にはラビリンスシール 36 が設けられており、ケーシング 30 内に外部から粉塵等の異物が侵入することが防止されている。

[0038] 主軸 16 の先端部には、主軸 16 の先端縁部に向けて拡径されたテーパ状の内周面を有するユニット取付穴 38 が形成されている。主軸 16 の内部には、主軸 16 の軸方向でユニット取付穴 38 の縮径された端部の内側に、工具ユニット 20 に設けられた後述するプルスタッド 106 を把持するプルチャック 40 が設けられている。

[0039] ケーシング 30 における工具ユニット 20 側の端部には、本体側伝送ユニット 42 が取り付けられている。図 3 および図 4 に、本体側伝送ユニット 42 と、工具ユニット 20 を併せ示す。本体側伝送ユニット 42 は、本体側ハウジング 44 に、本体側コイルヘッド 46（図 2 参照）が収容された構造とされている。本体側ハウジング 44 は、略円柱形状の外形を有する中央部 48 の軸方向一方の端縁部に、全周に亘って径方向外方に突出するフランジ状部 50 が形成された、例えばステンレス等からなる一体成形品とされている。中央部 48 には、中心軸上を貫通するロッド挿通孔 52 が形成されている。更に、中央部 48 におけるロッド挿通孔 52 の周囲には、工具ユニット 20 側（図 2 中、下側）に開口して、中央部 48 の中心軸周りで全周に亘って連続して延びる本体側収容溝 54 が形成されている。

[0040] 本体側収容溝 54 には、本体側コイルヘッド 46 が収容されている。図 5 に、後述する工具側コイルヘッド 96 と併せ示すように、本体側コイルヘッド 46 は、一次側電力用コイル 56a と、信号用コイルとしての本体側信号用コイル 58a が、コア部材としてのポット型コア 60 に収容された構造と

されている。一次側電力用コイル 5 6 a は、銅などによって形成されたコイル巻線としてのリード線 6 2 が、所定回数だけ円形に巻回されて形成されている。一次側電力用コイル 5 6 a の大きさおよび巻数は、伝送される電力の大きさ等を考慮して任意に設定され得る。また、本実施形態における一次側電力用コイル 5 6 a は、合成樹脂などによって形成された略円筒形状のボビン 6 4 にリード線 6 2 が巻回されて形成されているが、ボビン 6 4 は必ずしも必要ではない。

[0041] 一方、本体側信号用コイル 5 8 a は、銅などによって形成されたコイル巻線としてのリード線 6 6 から形成されている。図 6 にモデル的に示すように、本体側信号用コイル 5 8 a は全体として円形に形成されており、径方向の外側で巻回された第一の巻線部分 6 8 と、径方向の内側で第一の巻線部分 6 8 と反対方向に巻回された第二の巻線部分 7 0 とが、一本のリード線 6 6 によって形成されている。

[0042] 具体的には、先ず、図 6 中の点 A から、リード線 6 6 が略半周されることで外側巻回部 7 2 a が形成された後に、径方向の内側に折り曲げられて、径方向の内側で外側巻回部 7 2 a と反対回り（図 6 中、反時計回り）に略一周されることで、内側巻回部 7 4 a が形成される。そして、リード線 6 6 が内側巻回部 7 4 a から更に径方向の外側に折り曲げられて、径方向の外側で内側巻回部 7 4 a と反対回り（図 6 中、時計回り）に半周されて点 A に戻ることによって外側巻回部 7 2 b が形成される。以降、これを繰り返すことにより、外側巻回部 7 2 c、内側巻回部 7 4 b、外側巻回部 7 2 d が順に形成される。このようにして、外側巻回部 7 2 a ~ 7 2 d によって第一の巻線部分 6 8 が形成されると共に、内側巻回部 7 4 a、7 4 b によって第二の巻線部分 7 0 が形成されている。要するに、リード線 6 6 が外側で略半周された後に内側に折り返されて、内側で逆向きに略一周される。そして、更に外側に折り返されて残りの外側を半周されることにより、本体側信号用コイル 5 8 a の外側に、一方向（図 6 中、時計回り）に巻回された第一の巻線部分 6 8 が形成されると共に、本体側信号用コイル 5 8 a の内側に、第一の巻線部分 6 8 か

ら折り返されて、第一の巻線部分 68 に沿って第一の巻線部分 68 と反対方向（図 6 中、反時計回り）に巻回された第二の巻線部分 70 が形成される。これを繰り返すことにより、本体側信号用コイル 58 a の巻数を任意に設定することが出来る。なお、理解を容易とするために、図 6 においては、リード線 66 が重ならないように図示しているが、リード線 66 は、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 のそれぞれにおいて重ねられていても良い。

[0043] 本実施形態の本体側信号用コイル 58 a は、一次側電力用コイル 56 a と略等しい大きさの円形状に形成されている。また、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 は、それぞれ略円形に巻回されて、同一平面上で同心軸上に形成されている。なお、本体側信号用コイル 58 a は、図 5 に示したように、合成樹脂等からなる薄肉で円環板形状の保持板 76 にリード線 66 が接着等で固定されることにより、巻線形状が維持されるようになっている。但し、保持板 76 は必ずしも必要ではない。

[0044] これら一次側電力用コイル 56 a および本体側信号用コイル 58 a は、ポット型コア 60 に收容されている。ポット型コア 60 は、例えば鉄やけい素鋼、パーマロイ、フェライト等の透磁性材から形成されている。ポット型コア 60 は、中心軸上を延びる中央孔 78 が貫設された円筒形状を有すると共に、軸方向の一方に開口して中心軸周りを延びる溝部としての周溝 80 が形成されており、周溝 80 が、一次側電力用コイル 56 a と本体側信号用コイル 58 a を收容する收容凹所とされている。なお、ポット型コア 60 の具体的形状としては各種のものが採用可能であり、ポット型コア 60 は、一体成形品でも良いし、例えば周溝 80 の外壁 82、内壁 84、底壁の 3 部品が接着等されて形成された複数部品からなるもの等でも良い。更に、例えば外壁 82 が周方向で複数に分割されていたり、ポット型コア 60 の形成部材が一次側電力用コイル 56 a や本体側信号用コイル 58 a に近接して配置されるもの等でも良い。

[0045] そして、周溝 80 に、一次側電力用コイル 56 a と本体側信号用コイル 58 a が收容されることで、本体側コイルヘッド 46 が形成されている。本実

施形態においては、一次側電力用コイル 56 a、本体側信号用コイル 58 a の順でポット型コア 60 に收容されているが、ポット型コア 60 への收容順序は逆でも良い。これにより、図 2 に示したように、一次側電力用コイル 56 a がポット型コア 60 で囲まれると共に、一次側電力用コイル 56 a と本体側信号用コイル 58 a が、略同心軸上で、互いのリード線 62, 66 (図 5 参照) を軸方向 (図 2 中、上下方向) で重ねた状態で周溝 80 に收容されている。このように、一次側電力用コイル 56 a と本体側信号用コイル 58 a が略同心軸上に配設されることにより、本体側信号用コイル 58 a の第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 が、一次側電力用コイル 56 a の中心に対して互いに逆回りで巻回されている。なお、一次側電力用コイル 56 a と本体側信号用コイル 58 a の間にボビン 64 が介在されることによって、一次側電力用コイル 56 a と本体側信号用コイル 58 a が隙間を隔てて配設されていると共に、互いのリード線 62, 66 の接触が防止されている。

[0046] また、図 7 に示すように、本体側信号用コイル 58 a が周溝 80 に收容されることにより、本体側信号用コイル 58 a の第一の巻線部分 68 が周溝 80 の外壁 82 側に、第二の巻線部分 70 が周溝 80 の内壁 84 側に配設される。ここにおいて、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 は離れて位置されており、ポット型コア 60 の径方向で、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 の離隔距離 : D が、本体側信号用コイル 58 a の外側に形成された第一の巻線部分 68 と外壁 82 との離隔距離 : d_1 、本体側信号用コイル 58 a の内側に形成された第二の巻線部分 70 と内壁 84 との離隔距離 : d_2 の何れよりも大きくされている。即ち、第一の巻線部分 68 が、第二の巻線部分 70 側よりも外壁 82 側寄りに、第二の巻線部分 70 が、第一の巻線部分 68 側よりも内壁 84 側寄りに位置されている。

[0047] このような本体側コイルヘッド 46 が、ポット型コア 60 の周溝 80 が工具ユニット 20 側に開口する向きで、本体側ハウジング 44 の本体側收容溝 54 に收容されて接着や圧入等で固定されている。これにより、本体側コイルヘッド 46 は、例えばステンレス等から形成された本体側ハウジング 44

で外側が覆われており、本体側ハウジング４４がシールド部材として機能することにより、ポット型コア６０からの漏れ磁束が低減されていると共に、特に本体側信号用コイル５８aが、外部のモータ３２等からの磁気による外乱から保護されるようになっている。なお、シールド部材を別途に設けることも可能であり、例えばアルミニウム合金、銅合金、チタン合金、ニッケル合金、セラミックス、合成樹脂材料等の非磁性体からシールド部材を形成して、該シールド部材で外側を覆った状態で本体側コイルヘッド４６を本体側収容溝５４に収容する等しても良い。

[0048] 上述の如き本体側伝送ユニット４２は、フランジ状部５０がケーシング３０に重ね合わされると共に、フランジ状部５０の複数箇所に貫設されたボルト孔８８に固定ボルト９０が挿通されることにより、ケーシング３０に固定的に取り付けられている。

[0049] 一方、図２～図４に示したように、工具ユニット２０は、回転筐体９２に、振動ユニット９４および工具側コイルヘッド９６等が設けられた構造とされている。回転筐体９２は、例えばステンレス等から形成されている。回転筐体９２には、略円柱形状の外形を有するコイルヘッド収容部９８が形成されている。コイルヘッド収容部９８の外径寸法は、本体側伝送ユニット４２の中央部４８の外径寸法と略等しくされている。コイルヘッド収容部９８には、本体側伝送ユニット４２側（図２中、上側）に開口して、コイルヘッド収容部９８の中心軸周りで全周に亘って連続して延びる回転側収容溝１００が形成されている。更に、回転筐体９２には、コイルヘッド収容部９８の中心軸上で、コイルヘッド収容部９８から本体側伝送ユニット４２側に向けて突出するロッド部１０２が形成されている。ロッド部１０２は、本体側伝送ユニット４２のロッド挿通孔５２の内径よりも僅かに小さな外径を有すると共に、ロッド挿通孔５２の軸方向長さ（図２中、上下方向長さ）と略等しい軸方向長さを有する円柱形状とされている。ロッド部１０２におけるコイルヘッド収容部９８からの突出先端縁部には、本体側伝送ユニット４２に向けて更に突出して、主軸１６に形成されたテーパ状のユニット取付穴３８の内

周面に密着する、テーパ状の外周面を備えたシャンク部１０４が中心軸上に形成されている。シャンク部１０４の中心軸上にはネジ孔が形成されており、かかるネジ孔に、ロッド状のプルスタッド１０６が螺着されている。更に、回転筐体９２には、コイルヘッド収容部９８からシャンク部１０４と反対側に突出して中心軸上を延びる略円筒形状の収容筒部１０８が形成されている。収容筒部１０８の外周面上には、図示しない自動工具交換装置（ＡＴＣ：Automatic Tool Changer）のアームに把持される溝状のＶフランジ１０９が形成されている。かかる収容筒部１０８の内部空所が、コイルヘッド収容部９８の中央に形成された空所と連通されることにより、本体側伝送ユニット４２と反対側（図２中、下側）に開口する振動ユニット収容空所１１０が形成されている。

[0050] 振動ユニット収容空所１１０には、振動ユニット９４が一部収容状態で設けられている。図８に、振動ユニット９４をモデル的に示す。振動ユニット９４は、超音波振動子１１２に、工具１８がホーン１１４を介して連結された構造とされている。超音波振動子１１２は、所謂ボルト締めランジュバン型振動子であり、圧電効果を有する例えばセラミックス薄板等から形成された円環形状の複数の圧電素子１１６と、円環形状の電極１１８ａ，１１８ｂがボルト１２０に外挿されて交互に積層されると共に、両側からボルト１２０に螺着された金属ブロック１２２とホーン１１４で締め付けられた構造とされている。１つおきに配設された各電極１１８ａ，１１８ｂ群は、後述する二次側電力用コイル５６ｂと接続されている。なお、圧電素子１１６の積層数は、要求される工具１８のストローク等を考慮して、任意の数に設定される。

[0051] また、特に本実施形態においては、積層された圧電素子１１６を挟む両側となる、金属ブロック１２２と圧電素子１１６の電極１１８ａとの間、およびホーン１１４と圧電素子１１６の電極１１８ａとの間に、絶縁層１２４，１２４がそれぞれ設けられている。これら絶縁層１２４は、弾性変形し難い非導電性材料から形成されており、例えば脆性材料のセラミックス等から形

成されている。これにより、超音波振動子 112 の振動をホーン 114 に効果的に伝達しつつ、感電等のおそれを回避することが可能とされている。そして、ホーン 114 の先端に、コレットや焼ばめ等のチャック機構 125 を介して、工具 18 が取り付けられている。これにより、超音波振動子 112 の振動がホーン 114 で増幅されて工具 18 に伝達されるようになっている。工具 18 は、例えばエンドミルやドリル等、各種のものが採用可能である。また、ホーン 114 の具体的形状や形成材料についても、例えばワーク 24 の材質や工具 18 の振動条件等を考慮して、適宜に設定され得る。例えば、ホーン 114 を複数段から構成しても良いし、単独で構成しても良い。また、ホーン 114 の形状は、例えばステップ型、エキスポネンシャル型、カテノイダル型、コニカル型等、各種の形状が採用可能であるし、ホーン 114 の形成材料についても、例えばチタン、アルミニウム合金、鉄鋼、銅合金、合成樹脂等の非金属等、各種の材料が採用可能である。

[0052] このような振動ユニット 94 が、回転筐体 92 に取り付けられている。例えば本実施形態においては、図 2 に示したように、振動ユニット 94 の超音波振動子 112 側が回転筐体 92 の振動ユニット収容空所 110 内に収容された状態で、振動ユニット 94 に形成されたフランジ状部 126 が振動ユニット収容空所 110 の開口端面に重ね合わされて、フランジ状部 126 に貫設されたボルト孔 128 を通じて固定ボルト 130 が振動ユニット収容空所 110 の開口端面に螺着されることにより、回転筐体 92 に固定されている。但し、振動ユニット 94 を回転筐体 92 に固定する具体的構造は、何等限定されるものではない。これにより、振動ユニット 94 の工具 18 が、回転筐体 92 から突出して、シャンク部 104 やコイルヘッド収容部 98 と同心軸上に配設されている。

[0053] また、図 5 に示したように、工具側コイルヘッド 96 は、二次側電力用コイル 56b と、信号用コイルとしての工具側信号用コイル 58b とを含んで構成されている。これら二次側電力用コイル 56b および工具側信号用コイル 58b は、それぞれ、本体側コイルヘッド 46 に設けられた一次側電力用

コイル 5 6 a および本体側信号用コイル 5 8 a と同様の構造とされていることから、図中に同様の符号を付することにより、その説明を省略する。即ち、工具側コイルヘッド 9 6 は、本体側コイルヘッド 4 6 のポット型コア 6 0 を有さないものであり、ポット型コア 6 0 を除いて、本体側コイルヘッド 4 6 と同様の構造とされている。従って、主軸ヘッド 1 4 には、一次側電力用コイル 5 6 a を囲むコア部材としてのポット型コア 6 0 が設けられている一方、工具ユニット 2 2 には、二次側電力用コイル 5 6 b を囲むコア部材は設けられていない。そして、工具側コイルヘッド 9 6 が、工具側信号用コイル 5 8 b を本体側コイルヘッド 4 6 側に位置して、回転筐体 9 2 におけるコイルヘッド収容部 9 8 の回転側収容溝 1 0 0 に収容されると共に、圧入や接着等によって固定されている。なお、詳細な図示は省略するが、回転筐体 9 2 におけるコイルヘッド収容部 9 8 の底部には、複数のピン挿通孔 1 3 1 (図 4 参照) が周方向で適当な間隔を隔てて貫設されており、これらピン挿通孔 1 3 1 に図示しない周り止めピンが挿通されて工具側コイルヘッド 9 6 と係合されることにより、工具側コイルヘッド 9 6 の回転側収容溝 1 0 0 内での回転が防止されるようになっている。

[0054] このような構造とされた工具ユニット 2 0 は、例えば図示しない自動工具交換装置等によって、図 2 に示したように、シャンク部 1 0 4 側が本体側伝送ユニット 4 2 のロッド挿通孔 5 2 に挿通される。そして、シャンク部 1 0 4 が本体側伝送ユニット 4 2 を貫いて、主軸 1 6 に形成されたユニット取付穴 3 8 に差し込まれると共に、プルスタッド 1 0 6 がプルチャック 4 0 で把持されることにより、工具ユニット 2 0 が主軸 1 6 に固定される。これにより、本体側伝送ユニット 4 2 と工具ユニット 2 0 が、主軸 1 6 の回転中心軸 : O 方向で対向位置される。なお、本体側伝送ユニット 4 2 と工具ユニット 2 0 は、僅かな隙間を隔てた無接触状態で配設されており、本体側伝送ユニット 4 2 のロッド挿通孔 5 2 と、工具ユニット 2 0 のロッド部 1 0 2 との隙間、および本体側伝送ユニット 4 2 の本体側コイルヘッド 4 6 と、工具ユニット 2 0 の工具側コイルヘッド 9 6 との隙間によって、空気流路 1 3 2 が形

成されている。これにより、本体側コイルヘッド 96 が、主軸 16 の中心軸：O 上で、互いに同軸上に配設されると共に、主軸 16 の軸方向（図 2 中、上下方向）で隙間を隔てて対向配置されている。そして、モータ 32 で主軸 16 が回転されることによって、工具ユニット 20 が主軸ヘッド 14 に対して回転されて、工具 18 が回転されると共に、工具側コイルヘッド 96 が、主軸 16 の中心軸：O 回りで本体側コイルヘッド 46 に対して相対回転されるようになっている。このように、本体側コイルヘッド 46 に設けられた一次側電力用コイル 56 a および本体側信号用コイル 58 a と、工具側コイルヘッド 96 に設けられた二次側電力用コイル 56 b および工具側信号用コイル 58 b が、工具ユニット 20 の回転中心となる主軸 16 の中心軸：O と同心軸上で隙間を隔てて対向配置されていると共に、中心軸：O 回りで相対回転可能とされている。

[0055] これら本体側コイルヘッド 46 と工具側コイルヘッド 96 は、例えば、図 9 に示すように、主軸ヘッド 14 が設けられた装置本体 12 側において、一次側電力用コイル 56 a に、直流電源を供給する電源回路 134 がインバータ 136 を介して接続される。電源回路 134 およびインバータ 136 は、装置本体 12 側に設けられている。また、本体側信号用コイル 58 a に、復調回路を備えた通信用回路 138 を介して制御装置 140 が接続されている。通信用回路 138 および制御装置 140 は、装置本体 12 側に設けられている。制御装置 140 は CPU や ROM、RAM 等を備えており、通信用回路 138 から受信した電気信号と、予め定められた所定のプログラムに従って、インバータ 136 の駆動周波数を調節する。

[0056] 一方、工具ユニット 20 側において、二次側電力用コイル 56 b に超音波振動子 112 が接続される。前述のように、超音波振動子 112 は、図 9 に示す共振回路と等価に考えることが出来る。なお、図 9 に併せ示すように、必要に応じて、補正用コンデンサ 142 を超音波振動子 112 と並列に設けて、超音波振動子 112 の制動容量 (Cd) に流れる電流を相殺するようにしても良い。更に、超音波振動子 112 には検出手段としての検出回路 14

4が接続されており、検出回路144が、増幅回路146を介して工具側信号用コイル58bと接続されている。検出回路144は例えばホール素子等を含んで構成されており、超音波振動子112の振動状態として、超音波振動子112に加わる電圧や、超音波振動子112を流れる電流を検出する。これら検出回路144および増幅回路146は、工具ユニット20側に設けられている。

[0057] これら本体側コイルヘッド46、工具側コイルヘッド96、電源回路134、インバータ136、通信用回路138、制御装置140、検出回路144、増幅回路146を含んで無接触式電源供給装置が構成されており、電源回路134とインバータ136を含んで、一次側電力用コイル56aに交流電圧を出力する給電装置が構成されている。

[0058] 本実施形態の加工装置10によれば、本体側としての装置本体12から、工具側としての工具ユニット20に設けられた超音波振動子112に、駆動電力を供給することが出来る。そして、超音波振動子112の振動状態を検出して、超音波振動子112に加わる機械的負荷や温度条件の変化により、超音波振動子112の共振周波数が変化した場合には、超音波振動子112への印加電圧の周波数を変化させるフィードバック制御を行なうことにより、超音波振動子112を効率的に駆動させることが出来る。以下、超音波振動子112への駆動電力の供給と、フィードバック制御の一例を示す。

[0059] 先ず、前提として、複数の圧電素子116から構成された超音波振動子112は、共振周波数近傍において図9に示した回路と等価に考えることが出来る。該等価回路は、図10に示すインピーダンス特性を有することが知られており、インピーダンス(Z)が最も小さくなる周波数が、超音波振動子112の共振周波数 f_r であり、超音波振動子112は、共振周波数 f_r の交流電圧が印加された場合に、最も効率良く振動し、大きな振幅を得ることが出来る。なお、共振周波数 f_r において、超音波振動子112に流れる電圧と電流の位相差は0であり、超音波振動子112に最も大きな電流が流れる。また、インピーダンス(Z)が最も大きくなる周波数が反共振周波数 f_n であ

る。

[0060] そこで、事前準備として、超音波振動子 112 に対して、圧電素子 116 の組成等から或る程度推定される共振周波数を挟む所定範囲に亘って、例えば 0.1 kHz、0.5 kHz、1 kHz 等の所定間隔毎に周波数を少しずつ変化させた交流電圧を印加して、超音波振動子 112 に流れる電流を測定する。例えば、超音波振動子 112 の共振周波数 f_r が 20 kHz 近辺に存すると推定される場合には、10 kHz ~ 40 kHz まで印加電圧を変化させて、超音波振動子 112 に流れる電流を測定する。図 11 に、超音波振動子 112 に流れる電流を測定した結果の一例を示す。得られた測定結果から、最も大きな電流の流れた周波数（図 11 においては、約 23 kHz）の近傍に、超音波振動子 112 の共振周波数 f_r が存すると推定することが出来る。

[0061] なお、上述のように、超音波振動子 112 は、共振周波数 f_r において最も効率良く駆動する。しかし、図 10 から明らかなように、共振周波数 f_r 近傍では、インピーダンス（Z）の変化が急峻であり、共振周波数 f_r から僅かに外れただけで、超音波振動子 112 の振動状態が急激に変化する。そこで、超音波振動子 112 の駆動の安定性を確保するために、本実施形態では、図 10 における共振周波数 f_r から反共振周波数 f_n までの間で、共振周波数 f_r から僅かにずれた位置が駆動周波数 f_d として設定されている。具体的には、電圧と電流の位相差が、 $(\pi/2) \pm (\pi/4)$ の範囲内の電圧が印加されるようになっており、本実施形態においては、図 12 に実測結果を示すように、位相差が $\pi/2$ となる駆動周波数 f_d の交流電圧が印加されるようになっている。なお、図 13 および図 14 に、超音波振動子 112 に対して、共振周波数近傍から外れた周波数域の電圧を印加した場合の実測結果を示す。図 13 は、交流電圧として方形波を入力したものであり、電流の振幅が小さい。一方、図 14 は、交流電圧として正弦波を入力したものであり、電氣的振動が不安定であることから、非共振状態であることが確認できる。

[0062] そして、主軸ヘッド 14 のモータ 32（図 2 参照）が駆動されて、工具ユニット 20 が主軸ヘッド 14 に対して回転された状態で、図 9 に示した電源

回路 1 3 4 の直流電圧が、インバータ 1 3 6 によって高周波電圧に変換されて、一次側電力用コイル 5 6 a に供給される。ここにおいて、インバータ 1 3 6 の駆動周波数は、制御装置 1 4 0 によって制御されており、上記で得られた駆動周波数 f_d の交流電圧が一次側電力用コイル 5 6 a に供給されるようになっている。

[0063] これにより、一次側電力用コイル 5 6 a に、一次側電力用コイル 5 6 a を貫き、出力周波数に応じて変化する磁束が発生する。かかる磁束がポット型コア 6 0 で集束されて、ポット型コア 6 0 から出る磁束が二次側電力用コイル 5 6 b と鎖交される。その結果、一次側電力用コイル 5 6 a と二次側電力用コイル 5 6 b が電磁結合されて、二次側電力用コイル 5 6 b に、相互誘導による誘導起電力が発生する。このようにして、相対回転される一次側電力用コイル 5 6 a と二次側電力用コイル 5 6 b の間で、無接触状態で電力の伝送が可能とされており、二次側電力用コイル 5 6 b に生ぜしめられた高周波電圧が、超音波振動子 1 1 2 に駆動電力として供給される。これにより、超音波振動子 1 1 2 が振動されて、工具 1 8 に、モータ 3 2 による回転と超音波振動子 1 1 2 の振動が重畳されることとなり、ワーク 2 4（図 1 参照）の加工をより高い精度で行なうことが可能とされている。

[0064] ワーク 2 4 の加工時において、超音波振動子 1 1 2 の共振周波数 f_r は、工具 1 8 を介して加わる機械的負荷の変化や温度条件の変化等によって変化する。超音波振動子 1 1 2 の共振周波数 f_r の変化は、例えば、超音波振動子 1 1 2 に印加される電圧の大きさ（振幅）、超音波振動子 1 1 2 を流れる電流の大きさ（振幅）や、これら電圧と電流の位相差の変化として現れる。例えば、図 1 5（a）に I' として示すように、負荷が増大した場合に電流の振幅が小さくなったり、図 1 5（b）に I' として示すように、負荷が増大した場合にそれまでの位相差と異なる位相差を生ずる。そして、本実施形態の加工装置 1 0 によれば、超音波振動子 1 1 2 の共振周波数 f_r の変化に追従的に対応して、超音波振動子 1 1 2 に印加する交流電圧の周波数を変化させるフィードバック制御を行なうことが出来る。

- [0065] まず、超音波振動子 1 1 2 の振動状態が、図 9 に示した検出回路 1 4 4 で検出される。検出回路 1 4 4 には例えばホール素子等が設けられており、超音波振動子 1 1 2 の振動状態として、例えば超音波振動子 1 1 2 に印加される電圧の振幅、超音波振動子 1 1 2 を流れる電流の振幅、これら電圧と電流の位相等が検出される。
- [0066] 検出回路 1 4 4 で検出された超音波振動子 1 1 2 の電圧や電流の振幅、位相等は、検出信号として増幅回路 1 4 6 で増幅されて、工具側信号用コイル 5 8 b に交流電圧として印加される。これにより、工具側信号用コイル 5 8 b を貫き、出力周波数に応じて変化する磁束が発生し、かかる磁束が本体側信号用コイル 5 8 a と鎖交される。その結果、本体側信号用コイル 5 8 a に、工具側信号用コイル 5 8 b との相互誘導による誘導起電力が発生し、検出回路 1 4 4 から発信された検出信号が、通信用回路 1 3 8 によって本体側信号用コイル 5 8 a から取り出される。このようにして、相対回転される工具側信号用コイル 5 8 b と本体側信号用コイル 5 8 a との間で、無接触状態で電気信号の伝送が可能とされている。
- [0067] 本体側信号用コイル 5 8 a から取り出された検出信号は、制御装置 1 4 0 に入力される。制御装置 1 4 0 は、検出信号から得られた超音波振動子 1 1 2 の電圧の振幅や電流の振幅、電圧と電流の位相差等を、検出信号を受信する前の状態と比較して、検出信号を受信する前の状態から変化している場合には、検出信号を受信する前の状態に戻るように、インバータ 1 3 6 の駆動周波数を変化させて、一次側電力用コイル 5 6 a への給電周波数を変化させる。インバータ 1 3 6 の駆動周波数の変更量は、電圧や電流の振幅の変化量や、位相差の変化量に対応する駆動周波数の変更量を予め制御装置 1 4 0 にテーブルとして記憶しておいて、テーブルから検索して設定しても良いし、例えば検出回路 1 4 4 から超音波振動子 1 1 2 における電圧の振幅や電流の振幅、電圧と電流の位相等を受信しつつ、インバータ 1 3 6 の駆動周波数を 0.1 kHz や 0.5 kHz 等、少しずつ変化させることで調節する等しても良い。これにより、超音波振動子 1 1 2 に、変化後の共振周波数 f_r に対応

する駆動周波数 f_d の交流電圧を印加することが出来、図 12 に示した所期の振動状態に復帰させることが出来る。このように、本実施形態においては、制御装置 140 およびインバータ 136 を含んで、給電制御手段が構成されている。

[0068] 本実施形態の加工装置 10 によれば、相対変位される主軸ヘッド 14 と工具ユニット 20 の間で、主軸ヘッド 14 から工具ユニット 20 に設けられた超音波振動子 112 に駆動電力を供給することが可能になる。更に、工具ユニット 20 から主軸ヘッド 14 に向けて、超音波振動子 112 の振動状態を電気信号として伝送することが可能とされており、超音波振動子 112 の共振周波数 f_r の変化に追従的に対応して、超音波振動子 112 に印加する交流電圧の周波数を変化させるフィードバック制御を実現することが出来る。その結果、工具 18 のストロークをより安定的に確保して、より優れた加工精度を得ることが出来る。また、何等かの原因で工具ユニット 20 側に短絡や断線が生じた場合には、超音波振動子 112 における共振条件が変化して印加電圧が共振周波数から外れることで、工具ユニット 20 側に大きなエネルギーが供給されることも防止され得る。

[0069] そして、本実施形態の加工装置 10 においては、本体側信号用コイル 58a と工具側信号用コイル 58b のそれぞれにおいて、互いに逆向きに巻回された第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 が形成されている。これにより、一次側電力用コイル 56a への通電によって生ぜしめられる磁束で本体側信号用コイル 58a や工具側信号用コイル 58b に誘起されるノイズ起電力を低減することが出来、電気信号の伝送をより精度良く行なうことが出来る。

[0070] すなわち、図 16 (a) および図 17 (a) にモデル的に示すように、工具側信号用コイル 58b から本体側信号用コイル 58a に電気信号を伝送する場合には、先ず、工具側信号用コイル 58b に交流電圧が印加されることにより、工具側信号用コイル 58b の第一の巻線部分 68 に電流 i_{s0} が流されると共に、第二の巻線部分 70 に電流 i_{si} が流される。なお、図 17 において

は、紙面の手前側に流れる電流を斜め下方に延びる矢印で、紙面の奥側に流れる電流を斜め上方に延びる矢印で示している。これら電流 i_{so} と電流 i_{si} は同一の電流であり、工具側信号用コイル 58b のリード線 66 内を互いに同方向に流れる。そして、工具側信号用コイル 58b に電流 i_{so} と電流 i_{si} が流れることによって、第二の巻線部分 70 の内側に磁束 b_i 、第二の巻線部分 70 と第一の巻線部分 68 の間に磁束 b_o 、第一の巻線部分 68 の外側に磁束 b_o が生ぜしめられる。ここにおいて、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 が互いに逆向きに巻回されていることから、電流 i_{so} と電流 i_{si} はリード線 66 を外から見た場合には互いに逆回りに流れている。その結果、磁束 b_i と磁束 b_o の磁力線は同一方向に向かう一方、磁束 b_o の磁力線は磁束 b_i および磁束 b_o の磁力線と反対方向となる。

[0071] なお、第一の巻線部分 68 の外側には、第二の巻線部分 70 を流れる電流 i_{si} によって、磁束 b_o と反対方向の磁束 rb_o が生ぜしめられる一方、第二の巻線部分 70 の内側には、第一の巻線部分 68 を流れる電流 i_{so} によって、磁束 b_i と反対方向の磁束 rb_i が生ぜしめられるが、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 が離れて位置されており、第二の巻線部分 70 から第一の巻線部分 68 の外側、第一の巻線部分 68 から第二の巻線部分 70 の内側までは距離があることから、これら磁束 rb_o 、 rb_i は、磁束 b_o 、 b_i に殆ど影響しない程度に小さい。

[0072] そして、工具側信号用コイル 58b によって生ぜしめられた磁束 b_i 、 b_o 、 b_o により、対向する本体側信号用コイル 58a の第一の巻線部分 68 に誘導電流 i_{ro} が生ぜしめられると共に、第二の巻線部分 70 に誘導電流 i_{ri} が生ぜしめられる。これらの誘導電流 i_{ro} 、 i_{ri} は、本体側信号用コイル 58a のリード線 66 内を互いに同方向に流れ、相殺されることは無い。このようにして、工具側信号用コイル 58b から、本体側信号用コイル 58a に電気信号を伝送することが可能とされている。特に本実施形態においては、本体側信号用コイル 58a がポット型コア 60 に組み付けられて、第一の巻線部分 68 がポット型コア 60 の外壁 82 に近接配置されていると共に、第二の巻

線部分 70 が内壁 84 に近接配置されていることから、磁束 b_i 、 b_o を外壁 82 と内壁 84 にそれぞれ集束させることにより、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 のそれぞれに、リード線 66 内で互いに同方向に流れる誘導電流 i_{ro} 、 i_{ri} を効果的に生ぜしめることが出来る。

[0073] 一方、図 16 (b) および図 17 (b) にモデル的に示すように、一次側電力用コイル 56a に交流電圧が印加されると、一次側電力用コイル 56a の内側に磁束 B_i 、外側に磁束 B_o が生ぜしめられる。磁束 B_i の磁力線の向きと、磁束 B_o の磁力線の向きは互いに反対方向となる。これら磁束 B_i 、 B_o が、本体側信号用コイル 58a と工具側信号用コイル 58b のそれぞれにおいて、第二の巻線部分 70 の内側と第一の巻線部分 68 の外側を通過する。これにより、本体側信号用コイル 58a を例に説明すると、第一の巻線部分 68 にノイズ電流となる誘導電流 i_{no} が、第二の巻線部分 70 にノイズ電流となる誘導電流 i_{ni} が生ぜしめられる。磁束 B_i と磁束 B_o が、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 を挟む両側で互いに反対方向に向かうことから、誘導電流 i_{no} と、誘導電流 i_{ni} は、本体側信号用コイル 58a のリード線 66 を外から見た場合には互いに同方向に流れている。そして、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 は互いに逆方向に巻回されていることから、誘導電流 i_{no} と誘導電流 i_{ni} は、リード線 66 内では互いに逆方向の電流であり、第一の巻線部分 68 と第二の巻線部分 70 に、共通磁界に対して互いに逆向きの起電力が生ぜしめられる。その結果、誘導電流 i_{no} と誘導電流 i_{ni} は相互に打ち消し合うこととなり、誘導電流 i_{no} と誘導電流 i_{ni} の大きさが可及的に接近するように、第一の巻線部分 68 および第二の巻線部分 70 の大きさや巻数を調節することによって、一次側電力用コイル 56a によって生じた磁束 B_i 、 B_o の影響で本体側信号用コイル 58a に生ぜしめられる、ノイズとなる起電力を相殺することが出来る。このようにして、一次側電力用コイル 56a の影響によるノイズを軽減しつつ、電気信号の伝送を行なうことが出来る。

[0074] なお、図 16 (b) および図 17 (b) に併せ示すように、工具側信号用コイル 58b においても、同様にしてノイズ起電力を低減することが可能で

あり、本実施形態においては、電気信号の送信側（工具側信号用コイル５８ｂ）および受信側（本体側信号用コイル５８ａ）の両方においてノイズを軽減することが可能とされている。そして、本体側信号用コイル５８ａと工具側信号用コイル５８ｂのそれぞれに上述の如き特定のコイル巻線経路を採用したことにより、何ら特別な制御装置や、ノイズ抑制用のコイル部材を別途に設けることなく、極めて簡易な構成で、電気信号の伝送品質を向上することが出来る。更に、特定形状のコイル巻線経路を用いて逆方向の起電力を発生させて相殺することから、本体側信号用コイル５８ａと工具側信号用コイル５８ｂに影響する磁束の量が変化した場合でも、再チューニング等を要することなく、磁束の量の変化に自動的に対応することが出来、優れたノイズ抑制効果を得ることが出来る。

[0075] そして、一次側電力用コイル５６ａからの影響を相殺できることから、本体側信号用コイル５８ａを一次側電力用コイル５６ａに極めて近接した位置に配設することが可能となるのであり、本実施形態においては、本体側信号用コイル５８ａが、一次側電力用コイル５６ａと共にポット型コア６０の同一の周溝８０に收容されている。このように、従来では、互いの磁路が干渉することから困難であった、互いのリード線６２，６６が重なるように配設することも可能となるのであり、コア部材の大型化や形状の複雑化を回避して、極めて優れたスペース効率を得ることが出来る。また、本体側信号用コイル５８ａをポット型コア６０の内部に收容したことにより、例えばモータ３２等からの磁気による外乱から本体側信号用コイル５８ａを保護することも出来る。

[0076] 更に、本実施形態に従う構造とされた加工装置１０においては、ポット型コア６０が主軸ヘッド１４側のみに設けられており、超音波振動子１１２が設けられた工具ユニット２０側には設けられていない。これにより、超音波振動子１１２の共振回路におけるインダクタンスが大きくなることを回避して、超音波振動子１１２の共振周波数が低下することを回避することが出来る。その結果、超音波振動子１１２を高い周波数で駆動させることが出来、

より優れた加工精度を得ることが出来る。更に、超音波振動子 1 1 2 の共振周波数が大きく変化することを回避して、超音波振動子 1 1 2 の共振周波数を、ホーン 1 1 4 および工具 1 8 を含んだ工具ユニット 2 0 の機械的な固有振動数に合わせ易くすることが出来、チューニングが容易になると共に、工具 1 8 のストロークを有効に得ることが出来る。

[0077] 加えて、本体側信号用コイル 5 8 a と工具側信号用コイル 5 8 b に特定のコイル巻線経路を採用して、本体側信号用コイル 5 8 a と工具側信号用コイル 5 8 b の構造そのものでノイズ起電力を低減出来ることから、特別なノイズ除去処理を要することがなく、工具ユニット 2 0 側から発信された検出信号を装置本体 1 2 側で速やかに再生することが出来る。また、本体側信号用コイル 5 8 a と工具側信号用コイル 5 8 b にノイズ起電力が発生するタイミングは、一次側電力用コイル 5 6 a および二次側電力用コイル 5 6 b への通電タイミング等から明確に制御することが出来る。これにより、工具ユニット 2 0 から装置本体 1 2 への信号伝達のリアルタイム性を向上することが出来て、より応答性に優れたフィードバック制御を行なうことが出来る。なお、図 1 8 に、工具ユニット 2 0 側における検出信号の発信タイミング（図中、送信信号）と、装置本体 1 2 側における受信タイミング（図中、受信信号）を測定した結果を示す。図 1 8 のグラフ下部に ΔX として表示されているように、工具ユニット 2 0 側で検出信号が発信された時刻：X 1 から、装置本体 1 2 側で検出信号を受信した時刻：X 2 までの信号伝達の所要時間は 6 4 . 0 n s であり、極めて速やかな信号伝達が可能であることが確認された。

[0078] さらに、工具ユニット 2 0 側にボット型コア 6 0 を設けないことによって、例えば主軸ヘッド 1 4 と工具ユニット 2 0 の両方にコア部材を設けた場合のように、コア部材の対向面間に一次側電力用コイル 5 6 a からの磁束が集中することが無い。これにより、工具ユニット 2 0 が主軸ヘッド 1 4 に対して僅かに位置ずれしたのみで二次側電力用コイル 5 6 b の鎖交磁束が急激に低下することが回避されており、安定的な電力伝送を行なうことが出来る。

また、一次側電力用コイル56aと二次側電力用コイル56bとの間で漏れ磁束を積極的に生ぜしめることにより、例えば図27に示したように、一次側電力用コイル56aから方形波として交流電力が伝送される場合には、二次側電力用コイル56b側において受信する交流電圧を、超音波振動子112の機械的振動の正弦波に近づけることが出来る。その結果、超音波振動子112の駆動をより安定的に発現させることが出来て、超音波振動子112のうねり等を軽減して、より優れた加工精度を得ることが出来ると共に、余剰電力に起因する発熱等を低減することもできる。加えて、工具ユニット20側にコア部材を設けないことによって、工具ユニット20を軽量化してより高速な回転に対応することが出来ると共に、高速回転でコア部材が損傷する等の問題も回避することが出来る。

[0079] なお、図19に、NC旋盤のヘッド部分に本発明を適用して、工具18を振動させつつ回転してワーク24に形成した穿孔150と、比較例として、工具18を振動させずに回転して形成した穿孔152とを併せ示す。何れの場合も、ワーク24はガラス板であり、工具18は刃具径 $\phi 10\text{ mm}$ のエンドミル、穿孔加工時間は約20秒、回転数は5000rpmの同条件で実施し、工具18を振動させる場合には、数nm～数 $\mu\text{ m}$ の所定の振動ストロークで実施した。図19に示すように、工具18を振動させつつ回転させた場合には、ワーク24を割ることなく、滑らかな穿孔150を形成することが出来た。一方、工具18を振動させずに回転して穿孔152を形成した場合には、ワーク24を割り、滑らかに形成することが出来なかった。

[0080] また、本実施形態の加工装置10は、図20にモデル的に示すように、複数（図20においては、2つ図示）の工具ユニット20，154を備え、例えば図示しない自動工具交換装置を用いたり或いは手作業によって、それら複数の工具ユニット20，154を選択的に主軸ヘッド14に組み付けることも可能である。以下、工具ユニット154において、工具ユニット20と同様の構造については、図中に同一の符号を付することにより、説明を省略する。

[0081] 工具ユニット１５４は、工具ユニット２０の工具側コイルヘッド９６から、工具側信号用コイル５８ｂが取り除かれたものである。即ち、工具ユニット１５４の工具側コイルヘッド１５５は、二次側電力用コイル５６ｂのみを備えており、二次側電力用コイル５６ｂが、超音波振動子１１２に接続されている。また、工具ユニット１５４には、工具ユニット２０における検出回路１４４や増幅回路１４６（図９参照）も設けられていない。従って、主軸ヘッド１４において、工具ユニット１５４が取り付けられた場合には、本体側信号用コイル５８ａは未使用となり、例えば制御装置１４０に予め設定された周波数の交流電圧が工具ユニット１５４に伝送されることにより、超音波振動子１１２が所定の周波数で駆動される。なお、工具ユニット１５４の工具１８は、工具ユニット２０の工具１８と異なるものであっても良いし、同一のものでも良い。

[0082] このようにすれば、各種の工具を備えた複数の工具ユニットを用意することによって、各種の加工を行なうことが出来る。例えば、工具１８の振動状態を検出してフィードバック制御を行ないたい場合には工具ユニット２０を用いる一方、フィードバック制御が不要である場合には、工具ユニット１５４を用いることが出来る。

[0083] さらに、図２１にモデル的に示すように、本実施形態の加工装置１０は、ＬＡＮやＷＡＮ、インターネットなどのコンピュータネットワーク１５６と接続されることにより、遠隔から操作可能とすることも出来る。例えば、装置本体１２に設けられた制御装置１４０にネットワークインタフェース１５７を接続することにより、制御装置１４０を、ネットワークインタフェース１５７を介してコンピュータネットワーク１５６と接続することが出来る。また、コンピュータネットワーク１５６には、コンピュータからなるクライアント１５８とサーバ１６０が接続されている。

[0084] そして、図２１中の矢印 R_1 に示すように、クライアント１５８がコンピュータネットワーク１５６を介してサーバ１６０に接続されると共に、矢印 R_2 に示すように、加工装置１０がクライアントとしてサーバ１６０に接続され

る。これにより、サーバ１６０を介してクライアント１５８と加工装置１０が相互に接続されて、サーバ１６０で双方のデータ packets をバッファリングしてクライアント１５８と加工装置１０に相互に送信するルーティング機構を設けることにより、ファイアウォールで隔離されたネットワーク環境にある加工装置１０をクライアント１５８から遠隔操作したり、加工装置１０における超音波振動子１１２の振動特性等をクライアント１５８で遠隔からモニタリングすることが出来る。また、サーバ１６０内に、加工装置１０における超音波振動子１１２の振動特性や、加工装置１０の運転条件を記憶したデータベース１６２を設けて、加工装置１０からサーバ１６０のデータベース１６２にアクセスして運転条件を決定したり、クライアント１５８からデータベース１６２にアクセスして、得られた振動特性や運転条件に応じて加工装置１０の作動を制御する等しても良い。更にまた、コンピュータネットワーク１５６を介して、加工装置１０の制御装置１４０に記憶された制御プログラムをクライアント１５８やサーバ１６０から遠隔にて更新することも出来る。なお、図２１中の矢印R₃に示すように、例えば加工装置１０の制御装置１４０自体にサーバ機能を設けることによって、サーバ１６０を介することなく、クライアント１５８を加工装置１０に直接に接続する等しても良い。

[0085] 以上、本発明の一実施形態について詳述してきたが、本発明の具体的な実施形態は、上記実施形態に限定されるものではない。以下、本発明の異なる実施形態を幾つか示すが、これらはあくまでも例示であり、本発明が以下の具体的態様に限定されることを示すものではない。また、以下の実施形態において、前記第一の実施形態に相当する部材および部位には、図中に前記第一の実施形態と同一の符号を付することによって、その説明を省略する。

[0086] 先ず、図２２に、本発明の第二の実施形態としての加工装置を構成する検出手段を備えた振動ユニット１７０をモデル的に示す。本実施形態においては、超音波振動子１１２を構成する複数の圧電素子１１６と共に、検出手段としての圧電素子１７２が設けられている。検出手段としての圧電素子１７

2は、電極174a, 174bで挟まれており、これら電極174a, 174bが増幅回路146（図9参照）に接続されている。このような検出手段としての圧電素子172が、超音波振動子112を構成する複数の圧電素子116と同様に、ボルト120に外挿されて、ボルト120の両端に螺着された金属ブロック122とホーン114で締め付けられることによって、超音波振動子112を構成する圧電素子116と共に積層されている。なお、隣接する圧電素子116の118aと検出手段としての圧電素子172の電極174aの間には絶縁材176が介在されて、相互に絶縁されている。

[0087] このような構造によれば、超音波振動子112が駆動された場合には、超音波振動子112の振動が検出手段としての圧電素子172に及ぼされて、圧電素子172に電圧が発生する。この圧電素子172に発生した電圧を電極174a, 174bから増幅回路146を通じて工具側信号用コイル58bに供給して、本体側信号用コイル58aに伝送することにより、本体側の制御装置140において、超音波振動子112の振動状態を電圧の変化として検出することが出来る。そして、本実施形態によれば、簡易な構造で検出手段を実現することが出来る。それと共に、検出手段を超音波振動子112内で同軸上に配設できることから、検出手段をスペース効率良く配設することが出来ると共に、工具側の重量バランスの偏りを抑えて、工具側の回転駆動をより安定的に行うことも出来る。

[0088] 次に、図23に、本発明の第三の実施形態としての加工装置を構成する、一次側電力用コイル56aと信号用コイル180とを備えた本体側コイルヘッド182を分解状態で示す。信号用コイル180は、リード線66が円形に巻回されて第一の巻線部分68が形成された後に、第一の巻線部分68からリード線66が延び出されて、第一の巻線部分68と反対回りに巻回されることによって、第二の巻線部分70が形成されている。そして、ポット型コア60の周溝80に、先ず第一の巻線部分68が収容されて、その後一次側電力用コイル56a, 第二の巻線部分70が順に収容されている。これにより、第一の巻線部分68と第二の巻線部分70が、一次側電力用コイル

56aを軸方向で挟む両側に配設されるようになっている。

[0089] 本実施形態のように、信号用コイル180における第一の巻線部分68と第二の巻線部分70を、異なる平面上に形成することも可能である。このようにすれば、第一の巻線部分68の形成スペースと第二の巻線部分70の形成スペースを各別に大きく確保できることから、第一の巻線部分68および第二の巻線部分70の巻数の設定自由度を向上することが出来る。なお、工具側コイルヘッド96（図5等参照）に本構造を適用することも可能であり、そのような場合には、ポット型コア60を用いることなく、二次側電力用コイル56bを挟む両側に、信号用コイル180の第一の巻線部分68と第二の巻線部分70を配設しても良い。また、本実施形態の信号用コイル180は、本体側と工具側の両方に用いても良いし、何れか一方にのみ用いて、他方については前記第一の実施形態に記載の形状等、異なる形状のものを採用する等しても良い。

[0090] 次に、図24に、本発明の第四の実施形態としての加工装置を構成する信号用コイル190を示す。信号用コイル190は本体側コイルヘッド46に設けられており、ポット型コア60の周溝80に収容されたリード線66がポット型コア60の外部に延び出されて、ポット型コア60の外周面192に巻回されている。そして、外周面192に巻回されたリード線66によって、外周巻線部分194が形成されている。外周巻線部分194の巻線方向は、第一の巻線部分68と第二の巻線部分70の何れか一方と等しい方向に設定されている。

[0091] 本実施形態においては、第一の巻線部分68、第二の巻線部分70、および外周巻線部分194によって、互いに逆向きの起電力を生じるコイル巻線経路が形成されている。このようにすれば、ノイズ低減効果をより精度良く調節することが出来る。なお、第一の巻線部分68および第二の巻線部分70の何れか一方のみと、外周巻線部分194とによって、互いに逆向きの起電力を生じるコイル巻線経路を形成することも可能である。また、本実施形態における工具側コイルヘッド96の信号用コイル196は、一方のみに

巻回された、従来から広く用いられている円環形状とされている。このように、互いに逆向きの起電力を生ぜしめるコイル巻線経路は、本体側と工具側の信号用コイルの少なくとも一方に形成されておれば良い。

[0092] また、図25に、本発明の第五の実施形態としての加工装置を構成する信号用コイル200をモデル的に示す。信号用コイル200は、リード線66が径方向の外側において一周に満たない周方向（本実施形態においては、略1/6周）に延ばされることで外側巻線部分202が形成されると共に、外側巻線部分202から折り返されて、径方向の内側において外側巻線部分202と逆方向で外側巻線部分202と略等しい周方向（本実施形態においては、略1/6周）だけ延ばされることで内側巻線部分204が形成されており、これら外側巻線部分202と内側巻線部分204によって、小ループ部206が形成されている。このような小ループ部206が連続して形成されて、複数の小ループ部206が周方向に並んで形成されている。なお、各小ループ部206における巻数は任意に設定され得る。これにより、各小ループ部206の外側巻線部分202が略同一円周上に形成されて、これら複数の外側巻線部分202によって、第一の巻線部分208が形成されていると共に、各小ループ部206の内側巻線部分204が外側巻線部分202の内側で略同一円周上に形成されて、複数の内側巻線部分204によって、第二の巻線部分210が形成されている。

[0093] このような巻線経路によっても、外側巻線部分202と内側巻線部分204が、信号用コイル200と同心軸上に配設される図示しない一次側電力用コイルや二次側電力用コイルの中心：o回りで、互いに逆向き（図25においては、外側巻線部分202が時計回り、内側巻線部分204が反時計回り）に巻回されており、複数の外側巻線部分202と、複数の内側巻線部分204によって、互いに逆向きに巻回された第一の巻線部分208と第二の巻線部分210を形成することが出来る。そして、本実施形態によれば、各小ループ部206毎に巻数を調節出来ることから、例えば信号用コイル200の周方向における局所的な磁束変化量のばらつき等に応じて、ノイズ起電力

の低減効果をより精度良く調節することが出来る。また、周方向に部分的に延びる環形状の小ループ部206を複数形成することによって、信号用コイル200の形状安定性を高めることも出来る。

[0094] 以上、本発明の実施形態について詳述してきたが、これらはあくまでも例示であって、本発明は、かかる実施形態における具体的な記載によって、何等、限定的に解釈されるものではない。

[0095] 例えば、前記各実施形態においては、本体側のみにコア部材が設けられていたが、本体側と工具側との隙間を大きくしたい場合等、信号用コイルの鎖交磁束を調節したい場合には、工具側の信号用コイルにコア部材を組み付ける等しても良い。そのような場合には、工具側の二次側電力用コイルを囲む外側を避けてコア部材を配設して、二次側電力用コイルのインダクタンスの増大を回避しつつ、工具側の信号用コイルがコア部材に組み付けられることが好ましい。

[0096] また、工具側の超音波振動子の共振周波数の変化に追従的に対応して一次側電力用コイルへの給電周波数を制御する具体的手段としては、CPUによる演算処理に限定されることはなく、例えば位相同期回路（PLL：Phase Locked Loop）を用いたフィードバック手段等、各種の態様が適宜に採用可能である。また、超音波振動子の共振周波数の変化を検出するための検出対象は、前記実施形態の如き電圧や電流等に限定されることはなく、例えば周囲の環境温度等でも良いし、超音波振動子の機械的な振幅や歪等を採用しても良い。従って、超音波振動子の振動状態を検出する検出手段として、温度センサや加速度センサ等を用いることも可能である。

[0097] 更にまた、電力用コイルや信号用コイルの巻線形状は円形に限定されるものではなく、例えば矩形状や楕円形状等とされていても良い。更に、信号用コイルにおける、互いに逆向きの起電力を生じるコイル巻線経路の具体的な形状は、前記実施形態の形状に限定されるものではない。

[0098] また、前記第一の実施形態においては、工具側の信号用コイルから本体側の信号用コイルに電気信号が送信されるようになっていたが、これら信号用

コイルを用いて、本体側から工具側に電気信号を伝送することも勿論可能である。例えば、工具側に超音波振動子の振動状態を検出する検出手段を複数設けて、本体側からそれら複数の検出手段の何れを用いるかを指定する電気信号を工具側に伝送すると共に、指定された検出手段の検出結果を、電気信号として工具側から本体側に伝送する等しても良い。そのような場合には、例えば、一次側電力用コイルから二次側電力用コイルに電力を送信するインバータのスイッチングタイミングを検出して、かかるタイミングに合わせて電気信号の伝達タイミング、即ち、信号用コイルへの電圧の印加タイミングを制御するようにしても良い。また、半二重のシリアル通信を用いることにより、本体側と工具側の一对の信号用コイルを用いて、本体側から工具側への電気信号の伝送と、工具側から本体側への電気信号の伝送の両方を行なうようにしても良い。

[0099] 加えて、一对の信号用コイルを用いて電気信号を伝送するために用いられる変調方式は何等限定されるものではなく、例えば振幅変調（AM）、周波数変調（FM）、位相変調（PM）等のアナログ変調、位相偏移変調（PSK）、2相位相偏移変調（マンチェスタ符号化方式、BPSK）、周波数偏移変調（FSK）等のデジタル変調、パルス幅変調（PWM）等のパルス変調など、各種の変調方式が採用され得る。

[0100] その他、一々列挙はしないが、本発明は、当業者の知識に基づいて種々なる変更、修正、改良等を加えた態様において実施され得るものであり、また、そのような実施態様が、本発明の趣旨を逸脱しない限り、何れも、本発明の範囲内に含まれるものであることは、言うまでもない。

符号の説明

[0101] 10：加工装置、12：装置本体、14：主軸ヘッド、18：工具、20：工具ユニット、24：ワーク、36：ラビリンスシール、42：本体側伝送ユニット、46：本体側コイルヘッド、56a：一次側電力用コイル、56b：二次側電力用コイル、58a：本体側信号用コイル、58b：工具側信号用コイル、60：ポット型コア、68：第一の巻線部分、70：第二の巻

線部分、 94 : 振動ユニット、 96 : 工具側コイルヘッド、 112 : 超音波振動子、 114 : ホーン、 116 : 圧電素子、 120 : ボルト、 124 : 絶縁層、 125 : チャック機構、 132 : 空気流路、 172 : 圧電素子（検出手段）、 176 : 絶縁材

請求の範囲

- [請求項1] 交流電圧を出力する給電装置を備えた本体側と、該本体側に対して回転可能とされていると共に工具が連結される超音波振動子を備えた工具側との間において、対をなす一次側電力用コイルと二次側電力用コイルが前記工具側の回転中心軸と同心軸上に設けられており、これら電力用コイルを通じて前記本体側の前記給電装置から前記工具側の前記超音波振動子に駆動電力が供給される加工装置において、
- 前記本体側および前記工具側との間に対をなす信号用コイルが、前記本体側および前記工具側のそれぞれにおいて前記電力用コイルと同心軸上で且つ軸方向に重ねて配設されている一方、前記工具側には、前記超音波振動子の振動状態を検出する検出手段が設けられており、該検出手段による検出信号が前記信号用コイルを用いて前記工具側から前記本体側へ送信可能とされていると共に、前記本体側には、前記検出手段による検出信号に基づいて前記一次側電力用コイルへの給電周波数を制御する給電制御手段が設けられている一方、前記本体側および前記工具側の少なくとも一方の前記信号用コイルが、前記電力用コイルによって生じた磁束の影響で該信号用コイルに生ぜしめられる起電力を相殺するように互いに逆向きの起電力を生じるコイル巻線経路をもって形成されていることを特徴とする加工装置。
- [請求項2] 前記互いに逆向きの起電力を生じるコイル巻線経路が、互いに逆向きに巻回された第一の巻線部分と第二の巻線部分を含んで構成されている請求項1に記載の加工装置。
- [請求項3] 前記第一の巻線部分と、該第一の巻線部分から折り返されて該第一の巻線部分に沿って逆向きに巻回された前記第二の巻線部分が、同一平面上に形成されている請求項2に記載の加工装置。
- [請求項4] 前記本体側と前記工具側の少なくとも一方には、透磁性材からなり周方向に延びる溝部が形成されたポット型コアが設けられており、前記電力用コイルと前記信号用コイルの両方が、前記溝部に収容されて

いる請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載の加工装置。

[請求項5] 前記ポット型コアが前記本体側のみに設けられている請求項 4 に記載の加工装置。

[請求項6] 前記第一の巻線部分と前記第二の巻線部分との離隔距離が、前記信号用コイルの両側における前記溝部の壁部との離隔距離よりも大きくされている請求項 4 又は 5 に記載の加工装置。

[請求項7] 前記超音波振動子は、複数の圧電素子が積層されたランジュバン型振動子であり、それら複数の圧電素子と共に積層された圧電素子によって、前記検出手段が構成されている請求項 1 ～ 6 の何れか 1 項に記載の加工装置。