

■1 群 (信号・システム) - 10 編 (超音波信号処理)

7 章 強力超音波

■1 群 - 10 編 - 7 章

7-1 強力超音波の発生

(執筆者:中村健太郎) [2010年9月]

強力超音波の発生には圧電セラミックスが広く使われている。長さないし厚さを半波長あるいはその整数倍とし、共振現象を用いて大きな振動振幅を発生させる。強力超音波の工業応用のほとんどは 10 kHz から 1 MHz の周波数で行われている。厚さを半波長とした圧電セラミックス板、あるいはそれに半波長の厚さの金属板を接着したものが 100 kHz から 1 MHz の高周波で利用される。圧電セラミックス素子の両端に金属ブロックを接続して共振させるランジュバン形振動子が 100 kHz までの低周波で用いられる。本節では、強力超音波用の圧電振動子の基本的構成法について述べ、発生した超音波振動の伝送系についても説明する。

7-1-1 圧電セラミックス振動子

これまで、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) が高性能な圧電セラミックスとしてもつばら使われてきている。図 7・1 のように、厚さ方向 (z 方向) に分極された素子の両面に電極をつけ、電圧を印加すると主に厚さ方向に変位する。この変位量は 10 V に対して数 nm と小さいが、厚さが半波長となる周波数では共振現象により強力な縦波が得られる。圧電セラミックス中の縦波音速は約 4000 m/s であるので、厚さ 2 mm の圧電セラミックス板は約 1 MHz で共振する。この振動子の片面に厚さが半波長のステンレス鋼板などを表面保護のために接着して高周波洗浄器、霧化器などに応用される。一方、図 7・1 左図で、素子の横手方向 (x 方向) の長さが半波長となるよう、印加する交流電圧の周波数を変更すれば、この周波数で x 方向に大きな振動が得られる。このように分極方向 (電圧印加方向) と直交方向に振動させる動作を行うとき、これを特に横効果振動子ということがあり、低周波超音波を発生することができる。

圧電セラミックスの疲労破壊応力限界は 40~70 MPa であり、最大応力がこれを越える振動は発生できない。これを振動子端部の振動速度に換算すると 1~2 m/s である。実際の動作では、振動による機械損失や誘電体損失による発熱のために、最大振動速度は 0.3~0.5 m/s に制限されることが多い。

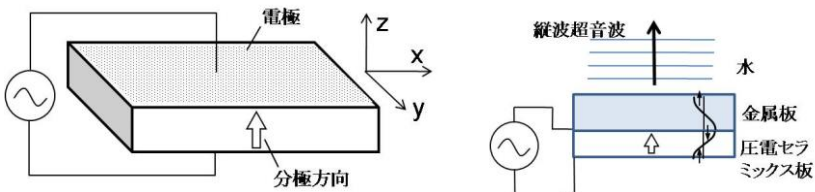


図 7・1 圧電セラミックス振動子の基本構造 (左) と金属板を張り合わせた振動子の水中への放射 (右)

7-1-2 ランジュバン形振動子

100 kHz 以下で動作する振動子として、厚さ方向に分極した円環形の圧電セラミックス素子を、その両端から二つの金属ブロックではさみ込んだランジュバン形振動子が強力超音波用としてよく使われる。金属ブロックを含めた全長で共振するように長さを設計する。図 7・2 のように中央の貫通ボルトで圧電素子を締め付けた構造のものが市販されている。引っ張り応力に弱い圧電セラミックスに圧縮方向のバイアス応力がかかり、堅牢で高出力な振動子である。振動子の体格によるが、100 W～数 kW までの電気入力が可能である。金属ブロックのねじ穴を使って負荷やほかの振動系とねじ接合して使用する。

100 kHz 以下の強力超音波応用では縦振動だけではなく、ねじり振動、たわみ振動も利用されることがあるので、そのための特殊な圧電素子を用いたランジュバン形振動子も開発されている。ねじり振動の励振には円周方向に分極した円環形圧電素子（図 7・3 上）を、たわみ振動には半分ずつ分極方向を反転した素子（図 7・3 下）を利用する。これらの特殊な素子は、小片に分けて分極したものを組み合わせて製作される。

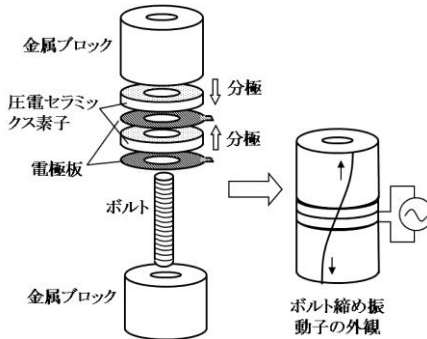


図 7・2 ランジュバン形振動子図

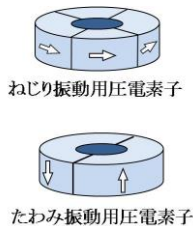


図 7・3 特殊な分割形の圧電素子

7-1-3 振動変成ホーンと振動方向変換

強力超音波応用で必要な振動変位振幅や振動速度を得るために、図 7・4 に示すようなホーンと呼ばれる振動体をランジュバン形振動子に接続して用いる。ホーンは振動子と同じ共振

周波数をもつよう長さが定められている。ステップ・ホーンでは振動の節で直径がステップ的に変化しており、出力端の振動変位は面積の逆比倍になる。指数関数などで面積を変化させることで応力集中を抑え、変位の変成倍率を高く取れるようにしたホーンも利用される。ホーンは機械的なトランスと考えることができ、振動子のインピーダンスと負荷のインピーダンスを整合させ、振動子を効率よく動作させるという役割も有している。

また、図 7・5 のように、十字形の振動体を用いて 90° 方向にも振動を伝送することが行われる。これは弾性体のポアソン比による横方向への結合を利用したもので、その結合を考慮した共振設計を行う。複数の振動子のパワーを合成するのにも用いられる。

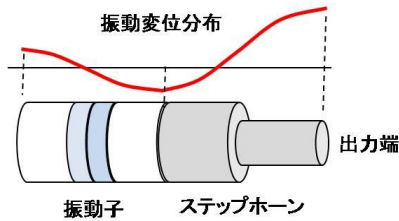


図 7・4 振動を変成するホーン

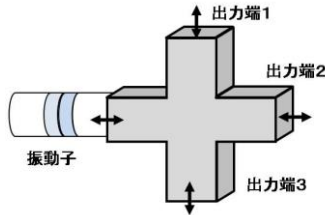


図 7・5 振動方向変換体

■1 群 - 10 編 - 7 章

7-2 超音波洗浄

(執筆者:高橋典久) [2009年3月]

“超音波洗浄市場”のすそ野は極めて広い。プレス部品や加工部品などの脱脂洗浄（油の洗浄）から、シリコンウェハや液晶ガラス基板に付着する目視では判別不可能なほど小さなパーティクル洗浄（ $1\mu\text{m}$ 以下）まで、様々な分野に“超音波洗浄”が用いられている。

7-2-1 超音波洗浄機の構成

超音波洗浄機は一般的に発振器と振動子に大別される。発振器は所定の周波数の電力を発生させ、振動子はその電力を振動に変換させている。なお、振動子は既存の洗浄槽に穴を開けてネジなどで取り付け使用する「振動板型」、洗浄槽と振動素子が一体となった「洗浄槽型」既存の洗浄槽に沈めて使う「投入振動子型」に分類される（図 7・6）。

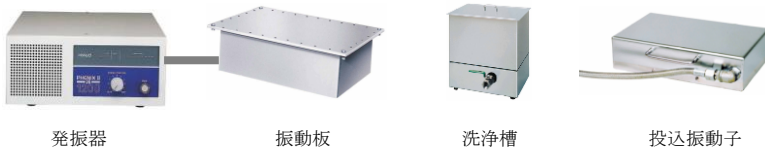


図 7・6 超音波洗浄機の構成

7-2-2 超音波発振器

超音波発振器は超音波振動子を駆動する電力を発生させる。振動子の共振周波数は液深や液温の変化などで変わるため、発振器の作動周波数を振動子の共振周波数に合わせなければならない。従来は手動による同調であったが、近年は洗浄効果の向上を狙い、周波数自動追尾回路及び定出力回路が搭載されるようになった。発振方式は連続発振方式のほか、AM 変調方式及び FM 変調方式、多周波発振方式などがある。なお発振器の出力は $600\text{W}\sim 1200\text{W}$ 程度、出力段は FET の D 級増幅が多く使われている。

7-2-3 超音波用振動素子

超音波振動子内には振動素子を取り付けられている。振動素子は一般的に BL 型振動子（ボルト締めランジュバン型、BLT もいう）、フェライト振動子、PZT（ジルコン酸チタン酸鉛）が使われている（図 7・7）。各振動子の超音波入力電力は、BL 振動子及びフェライト振動子を用いた振動子は $0.3\sim 1\text{ W/cm}^2$ 程度、950 kHz に使用している PZT 素子を用いた振動子は最大約 5 W/cm^2 である。

また振動素子は一般的にエポキシ系の接着剤を用い、ステンレスの振動板に取り付けられている（図 7・8）。

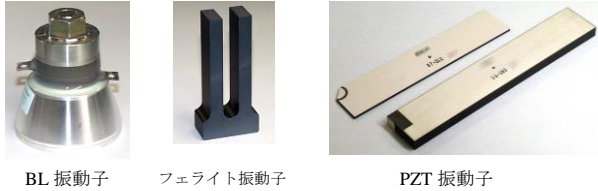


図 7・7 各種振動素子



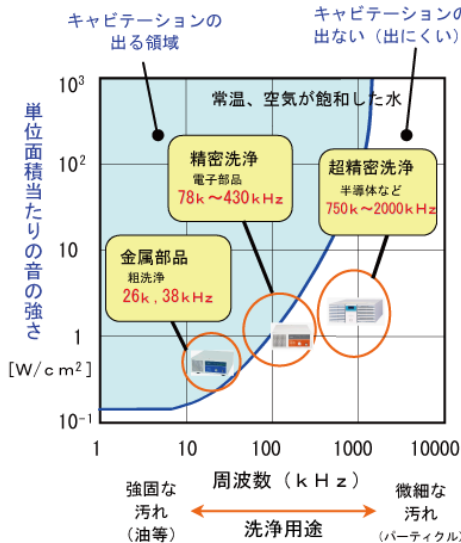
図 7・8 振動板への振動素子接着

7-2-4 超音波洗浄機の種類/用途

油污れなどの金属部品の洗浄は 26 k~38 kHz が主に使われている。

一方、半導体ウェハや液晶ガラスなどに付着しているパーティクルといわれている微細な汚れの除去には 750 k~950 kHz が多く使われている。なお、0.5 M~5 MHz の帯域は「メガソニック」と呼ばれている。このほか、油污れとパーティクルの中間の汚れが付着している HDD 部品などの精密部品は、78 k~430 kHz の周波数がよく用いられている (表 7・1)。

表 7・1 超音波洗浄機の種類/用途と水のキャビテーションしきい値¹⁾



7-2-5 超音波洗浄原理

超音波洗浄の原理は大きく分けるとキャビテーション、加速度、物理化学的作用に分けられる。この三つが相互に作用しあい、洗浄が行われていると考えられている。

このなかでキャビテーションを如何に使うかが超音波洗浄の基本となっている。キャビテーションは汚れ除去の主要因となっているが、逆にダメージの元ともなる。なお、キャビテーションの発生程度は周波数により異なる(表 7・1)。

油污れはこのキャビテーションが発生しないと取れない。一般的に周波数が低いほど液中に強力なキャビテーションが発生し油污れを落とす。

一方、半導体ウエハや液晶ガラスなどはダメージを嫌うため、キャビテーションの発生が少ない 1 MHz 近傍の周波数が使われる。この帯域は超音波振動の加速度・音響流・水の OH ラジカル化などにより洗浄されると考えられている。なお、加速度の大きさは 28 kHz の場合 10^3G 、950 kHz の場合は 10^5G 程度となる。

物理化学的反応促進作用は、キャビテーションの気泡の圧壊や振動による攪拌などが相乗して化学反応が促進すると考えられている。

7-2-6 超音波用洗剤、洗浄工程

超音波洗浄に用いる洗浄液は水を代表とする液体となる。また、より良い洗浄を行うには洗剤が必要になる。金属加工用の洗剤はアルカリ系や炭化水素系が主に使われている。洗剤は洗浄力のほか、人体/環境への影響、価格、排液処理などを総合して選定している。

洗浄工程は一般的に予洗、超音波洗浄、リンス、乾燥工程が必要となる。予洗やリンス工程にも超音波洗浄を用いると、更に効果的な洗浄が可能となる。また各工程とも、求める精浄度から、洗う時間や洗剤濃度、洗浄回数を決める。

7-2-7 使用上の注意

超音波洗浄機はほとんどの物を洗えるが、材質や形状により洗浄不良やダメージが出る場合がある。べっこう、象牙、真珠などを超音波洗浄すると光沢がなくなり、防水仕様の腕時計でも内部に水が入ることがある。また、洗浄液を入れずに超音波洗浄機を作動させると短時間で故障する場合がある。

■参考文献

- 1) 超音波便覧編集委員会編，“超音波便覧，”丸善(株)，pp.305～312，1999.

■1 群 - 10 編 - 7 章

7-3 超音波加工

(執筆者: 神 雅彦) [2009 年 8 月]

7-3-1 概要

超音波加工 (Ultrasonic machining) は、強力な超音波振動を発生させ、その振動エネルギーを機械的加工に利用する技術である。超音波振動する工具により被加工材に断続的な衝撃力を作用させ、除去加工や変形加工を行う。使用する周波数は 20 kHz~100 kHz 程度であり、機械的振動系において共振状態を形成することにより、効率よく大振幅を発生させ、大きな振動エネルギーを得ることを特徴とする。

1960 年頃より、超音波砥粒加工が国内で工業的に利用されて以来、切削加工、研削加工、切断加工、あるいは塑性加工などに展開されている。超音波加工の利用は特殊な加工に限定されており、特に高硬度脆性材料、難加工金属あるいはプラスチックの加工、微小穴あけや溝加工、あるいは超精密切削用途に不可欠な加工とされている。

現在、商業ベースになっている技術は一部であり、多くは個別に開発され企業内生産技術として利用されている。研究ベースの技術も多い。

7-3-2 要素技術¹⁾

超音波加工における要素技術は、超音波振動子、超音波発振器及び工具及び振動伝送系に大別できる。

(1) 超音波振動子には、Ni やフェライトによる磁歪振動子とチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) による電歪振動子が主として利用されている。電歪振動子の一種であるボルト締めランジュバン型振動子 (BLT) は利用が簡便で電気効率が良く最近ではよく利用されている。

(2) 超音波発振器は、超音波振動子に電力を供給する機器であり、振動子及び振動系を機械的に共振させて使用する。超音波加工に多く利用されている発振方式は、主発振電力増幅 (MOPA) 方式であり、発振回路で微小な高周波信号を発振させ、ドライブ回路と出力回路により電力を増幅し、インピーダンス整合回路を通して超音波振動子に電力を供給する。

(3) 工具及び振動伝送系は所定の振動数と振動モードで共振するように設計される。振動モードには、個体の縦振動、たわみ振動及びねじり振動などの振動モードが利用される。振動伝送系は超音波振動ホーン (Ultrasonic horn) と呼ばれ、振幅の拡大・縮小や方向変換、機械装置への固定部としての役割をもつ。

7-3-3 超音波切削加工

(1) 超音波 (砥粒) 加工 (Ultrasonic abrasive machining)

図 7・9 に加工原理を示すように、凸型工具を超音波振動させ、砥粒と加工液との混合液 (スラリー) を供給して、超音波振動のエネルギーにより砥粒を被加工材に衝突させて、被加工材を微小破壊させながら、所定の凹型形状を被加工材に転写していく加工法である。半導体用途のセラミックス、宝石、伸線用ダイヤモンドダイへの微細穴あけ加工などに多く用いられている。

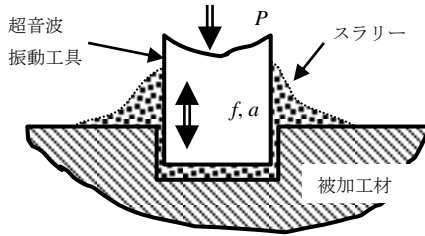


図 7・9 超音波（砥粒）加工の原理

(P: 荷重, f: 振動数, a: 振幅)

(2) 超音波研削加工 (Ultrasonic grinding)

固定砥粒を用いる研削加工に対して超音波振動を援用する加工法である。特に、半導体用セラミックス、ガラス、超硬合金あるいは焼入鋼などの微細孔あけや形状加工における加工精度や加工能率向上に寄与する。図 7・10 に加工装置例を示すように、専用の回転主軸を用いて、研削砥石に超音波振動を与える方式、超音波振動テーブルを通じて被削材に超音波振動を与える方式、あるいはハンドラッピング用砥石に超音波振動を与えてみがき加工する方式などがある。

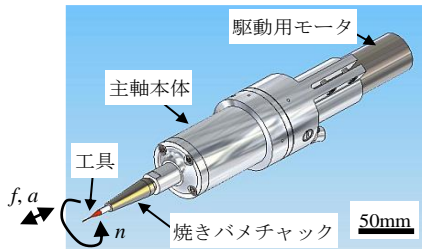


図 7・10 超音波研削加工主軸例 (n: 回転数)

(3) 超音波切削加工 (Ultrasonic cutting)

図 7・11 に加工例を示すように、切削あるいは切断加工に対して超音波振動を援用する加工法である。用途は広く、工業用途には、旋盤加工用バイト、フライス加工用主軸、あるいは各種の切断刃に超音波振動を援用する加工などが行われている。

旋盤加工用バイトやフライス加工用主軸には、専用装置が市販され利用できる。主として、難削材料や難加工形状の金属や樹脂の切削やレンズ金型の超精密切削などに利用される。切断加工においては、CFRP などの樹脂の切断、ケーキや寿司などの食品の切断、医療用の超音波メス、歯科用スケーラーなどに利用される。一部は市販の専用装置が利用できるが、生産機械として個別に開発されるケースも多い。研究開発段階のテーマも多数ある。

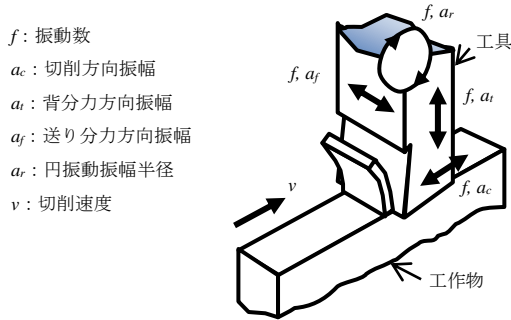


図 7・11 超音波切削加工の原理

7-3-4 超音波塑性加工

(1) 超音波引抜き加工 (Ultrasonic drawing)

図 7・12 に加工原理を示すように、伸線あるいは伸管用ダイに線引き方向あるいはダイ半径方向に超音波振動を作用させながら引抜き加工を行う方法である。特に、細線や薄肉管の引抜き抵抗低減、表面精度向上、管引抜きにおけるびびり防止、あるいは異形断面線や管の断面形状精度向上などに効果が得られる。多くは、生産加工用設備として、個別に開発されている。

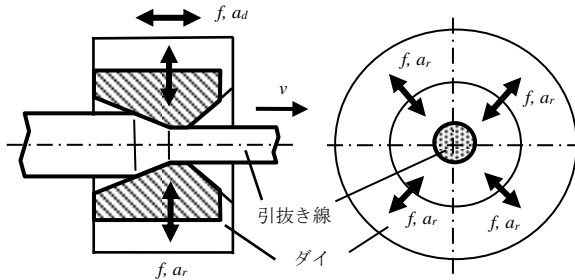


図 7・12 超音波引抜き加工の原理

(a_d : 引抜き方向振幅, a_r : ダイ半径方向振幅)

(2) 超音波プレス加工 (Ultrasonic press working)

打抜き、深絞り、しごき、張出し、鍛造あるいはコイニングなどの各種プレス加工において、パンチ、板押さえあるいはダイに超音波振動を作用させながらプレス加工を行う方法である。特に、加工抵抗の低減、深絞りにおける絞り比の向上、鍛造やコイニングにおける表面精度や加工精度向上などに効果が得られる。引抜き加工と同様、生産加工用設備として個別に開発されるが、まだ研究開発段階の技術であるともいえる。研究開発用の超音波プレス加工金型を図 7・13 に示す。

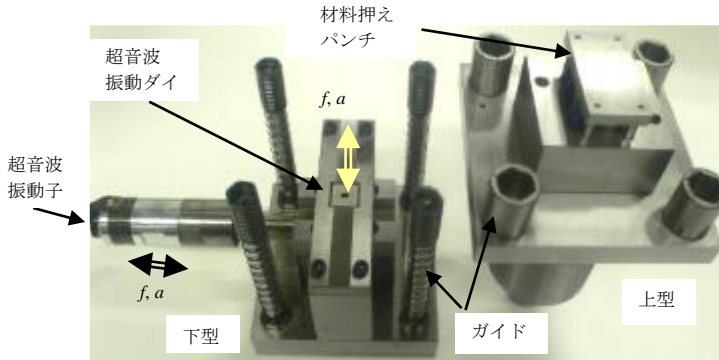


図 7・13 超音波プレス加工用金型例

7-3-5 まとめと今後の動向

国内で実用化されてから約 50 年間、振動エネルギーを有効利用して、大きな普及はないが、ピンポイントな特殊技術として、生産加工の一翼を担ってきた技術であるといえる。今後は、微細で精密な往復／回転振動のより効果的な利用法、自然原理の共振振動を有効利用した省エネルギー化、あるいは加工点での物理化学現象の詳細な解明などの進展とともに、特殊、微細・超精密な加工分野に深く進展していくものと考えられる。

■参考文献

- 1) 超音波用語辞典編集委員会・超音波工業会共編，“超音波用語辞典，”工業調査会，p.201，2005.

■1群 - 10編 - 7章

7-4 超音波溶接

(執筆: 渡辺裕二) [2009年7月]

超音波溶接は、強力超音波の代表的な応用分野の一つである。2種類の材料の界面に静圧を加え、更に超音波振動を加えることにより、界面が接合状態に至る。接合強度は主として、振動の振幅、静圧力、振動の印加時間に影響される。超音波溶接には、(1)装置の構成が比較的単純である、(2)同種だけでなく、異種材料の接合が可能である、(3)超音波振動の影響が接合界面近傍に限定され、更に、短時間で接合が完了するため消費電力が少ない、(4)接合界面の清浄度は必要とされない、などの特長がある。主として用いられる周波数は19~60kHzである。熱可塑性高分子材料や金属の接合に広く利用されており、プラスチックウェルダやワイヤーボンダーなどの製品が、一般によく知られている。更には、金属とセラミックの接合やセラミックどうしについても、接合例が示されている。

7-4-1 超音波溶接装置の基本構成

図7・14は、縦振動子を用いた超音波溶接機の構成である。振動系(振動子、ホーン、接合工具)と振動子支持架台、それらを材料に押しつけるための加圧装置(エアシリンダなど)、受け台及び発振器と電力増幅器からなる。振動子はボルト締めランジバン形振動子(BLT)が用いられる。図7・14(a)は、接合界面に垂直な方向から縦振動を印加する方法であり、溶接機の典型的な構成である。図7・14(b), (c)は、接合界面に対し、面に沿った方向の振動を与える方式である。図7・14(b)は、縦振動する一様棒(1波長)の側面を利用する方法であり、プラスチックフィルムや薄い金属板の溶着などに適している。図7・14(c)は、縦振動棒の先端を接合工具として利用するものであり、主として金属溶接に用いられている。

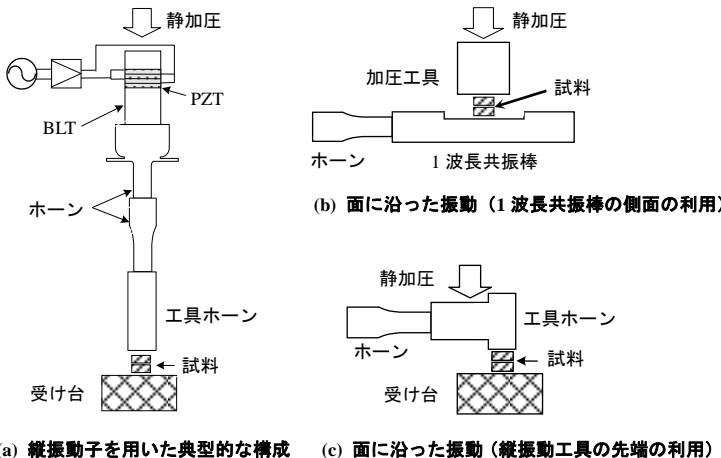


図7・14 超音波溶接装置

接合工具は共振体として、振動子と同じ周波数で設計する必要があり、工具先端は、被接合面全体にわたって様な振動が要求される。また、超音波溶接では一般に、接合界面の状況が振動の印加によって大きく変化するため、振動子への負荷も短時間で大きく変化する。更に、接合材料の内部にも振動が伝わるため、実際の超音波溶接では、接合工具だけでなく材料の形状や材質も考慮した総合的な設計が必要である。

7-4-2 溶接方法

超音波プラスチック溶着では、振動応力-歪み間のヒステリシスにより発熱し、溶融する。溶接時間はほとんどの場合 1 秒以下である。異種材料の溶着も可能であり、多くの組合せが接合可能である。プラスチック溶着には、接合工具の直下で溶着する直接溶着のほかに、材料内を振動が伝搬し、接合界面だけが衝突して発熱溶着する伝達溶着という便利な方法がある。伝達溶着は、硬くて厚い材料に対して用いられる。なお現在では、接着剤が適用できない PTFE (ポリテトラフルオロエチレン) や熱硬化性樹脂の PI (ポリアイミド) のフィルムも接合状態が得られており、超音波プラスチック溶接の適用範囲が拡がりつつある²⁾。

超音波金属溶接では、通常は溶融が見られず、また異種金属間も接合可能である。金属溶接の分野では固相接合法の一つとされている³⁾。加熱を併用する場合はサーモソニック接合法と呼ばれている。接合界面に平行な振動を与えることにより、表面の付着物や酸化皮膜は、振動による加速度や摩擦により除去され清浄となり、接合に至る。ハンダなどが不要となるため、接合部の変質・劣化の問題も軽減されるとともに、製品の軽量化に寄与している。

なお、接合界面に平行な振動を与える方法としては、ねじり振動する共振体の先端や、たわみ振動共振棒の先端を用いる方法もある。更に、複数の方向の振動や、複数の周波数の振動による複合振動系を用いた溶着も試みられており、その振動軌跡の効果により、接合強度が向上することが分かっている⁴⁾。

7-4-3 より高い周波数を用いた超音波溶接

最近では、より高い周波数を利用した超音波接合法が試みられている。その利点は、プラスチックに対しては、(1) 振動応力と歪み間のヒステリシス損により発熱するため、単位時間当たりの繰り返し数の増加により短時間で溶着できる、(2) 粘性による超音波吸収係数は周波数の自乗に比例することが分かっており、高い周波数では短時間で溶着する、(3) 振動振幅が小さくなるため、被溶着物の損傷が少なく、また常に材料と接しているため温度上昇のコントロールが容易になる、などである。金属溶接においても、LSI や CCD 素子の高密度化に伴い、面内に配置された端子と配線を精密に溶接する方法が必要となっている。現在、弾性表面波素子を利用した固体振動体による MHz 帯の超音波接合の検討が進められている⁵⁾。

■参考文献

- 1) 辻野次郎丸, “超音波溶接技術,” 電子情報通信学会誌, vol.72, no.4, pp.452-457, 1989.
- 2) 渡辺裕二, “超音波接合における接合界面の微細構造,” 成形加工, vol.20, no.11, pp.808-812, 2008.
- 3) 溶接学会編, “溶接・接合便覧,” 丸善, pp.501-502, pp.512-520, 1990.
- 4) 辻野次郎丸, “金属および高分子材料の超音波溶接について,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J80-A, no.10, pp.1597-1616, 1997.
- 5) K. Naruse, K. Mori and Y. Watanabe, “Ultrasonic Joining of Au Foil using a 2.5MHz Surface Acoustic Wave Device,” J. Appl. Phys., vol.47, no.5, pp.4305-4308, 2008.

■1 群 - 10 編 - 7 章

7-5 超音波モータ

(執筆: 黒澤 実) [2009年8月]

高周波電力を超音波振動へ変換し、更に、摩擦力を介して超音波振動を直流的駆動力へと変換して、回転もしくは直動としての機械出力を得るのが超音波モータである。高周波電力を機械振動に変換するために、主に圧電材料を用いた電気音響変換器が利用される。変換器は共振周波数で動作することにより、効率よく大電力を超音波振動へと変換している。駆動周波数としては、数十～数百 kHz 程度が用いられる。また、弾性表面波を用いる場合は、10～100 MHz が用いられている。

超音波振動から直流的な駆動力へ変換する方法については大きく分けて二つの方法がとられている。一つは、振動体を伝搬する進行波を用いる方法で、進行波伝搬により振動体表面粒子が楕円軌跡を描いて振動し、波動の山と谷において駆動面が被駆動面と接触／離脱の分布を形成することで、一方向の駆動力を伝達する。もう一つの方法は、振動体内の定在波振動を用い、振動子が周期的に被駆動体と接触／離隔を繰り返して一方向の駆動力を伝達する。

固体振動と摩擦駆動を用いることで、剛性が高く応答性の優れたモータが得られる。圧電素子の発生力が大きいという特長を生かすことで、推力もしくはトルクが高く、比較的低速（速度もしくは周速度が 0.1～1 m/s 程度）のモータが実現されている。また、停止時には最大トルク（もしくは推力）以上で静止状態となる。重量当たりの推力と機械出力が大きい。

7-5-1 進行波型回転モータ

円形振動体の周縁部を伝搬するたわみ波を利用したモータの例を図 7・15 に示す。ステータには円環状の薄い圧電素子が接着されていて、この図の例では、円周部に 9 波長分の 9 次のたわみ波が励振される。圧電素子は厚み方向に分極されているが、分極方向は半波長ごとに交互に入れ替わっていて、べた電極で所望のモードが励振されるようになっている。右側の電極と左側の電極は、四分の一波長と四分の三波長の隙間をもって配置されていて、互いに 90 度時間位相差をもつ電源により共振周波数で駆動される。二つの定在波の重ね合わせにより、円周に沿った進行波が励振される。

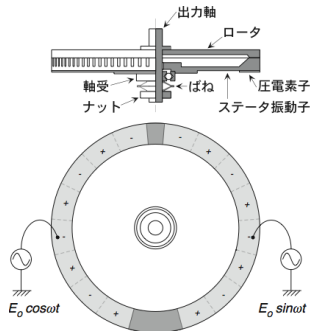


図 7・15 進行波型回転モータの概略図

進行波の励振により図 7・16 のような波動が励振されるので、波頭付近でのみロータとステータは接触することとなり、波頭付近の粒子がもつ振動速度成分の方向にロータが駆動される。この図では左向きに波動が伝搬すると、ステータ突起表面粒子は時計回りに振動するのでロータは右向きに駆動される。予圧の大きさをばねで調整でき、ロータとステータの接触範囲をある程度大きくすることで、速度は低下するがトルクを高くすることが可能である。

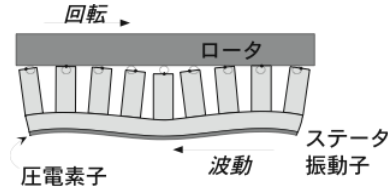


図 7・16 進行波型モータの原理

7-5-2 定在波型リニアモータ

二つのボルト締めランジュバン型振動子を用いた超音波モータ用トランスデューサの例を図 7・17 に示す。振動子を互いに直交配置して先端部で結合することにより、2 方向の振動成分を励振できるようにしている。トランスデューサ先端に接着した摩擦駆動面となるセラミックスの部分は、2 組の圧電素子を同相で駆動すると駆動面に垂直な方向に振動し、逆相で駆動すると駆動面に水平方向に振動する。2 組の圧電素子を 90 度位相差で駆動すれば、セラミックス駆動面は楕円軌跡を描いて振動することとなる。駆動面をスライダへ押し当てることで、スライダと間欠的な接触／分離を行い、一方向への駆動力へと変換される。モータとしたときの駆動特性例を図 7・18 に示す。電気入力からモータとしての機械出力への変換効率として最大 50% が得られている。

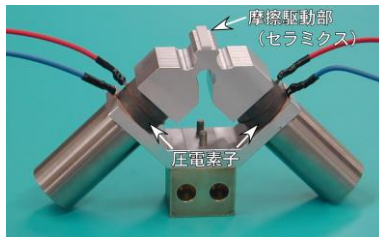


図 7・17 定在波型モータ用トランスデューサの例

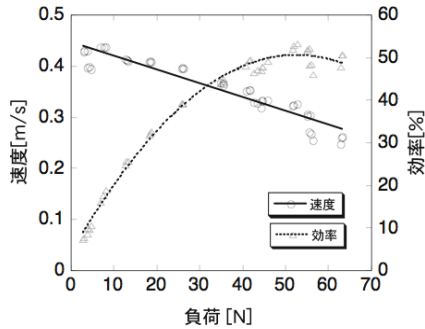


図 7・18 定在波型リニアモータの特性例

■参考文献

- 1) S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa and K. Nakamura, “Ultrasonic Motors -Theory and Applications-“, Oxford University Press, 1993.
- 2) 前野隆司, 黒澤 実, “超音波モータ”, アクチュエータ工学, アクチュエータシステム技術企画委員会編, pp. 93-106, 養賢堂, 2004.