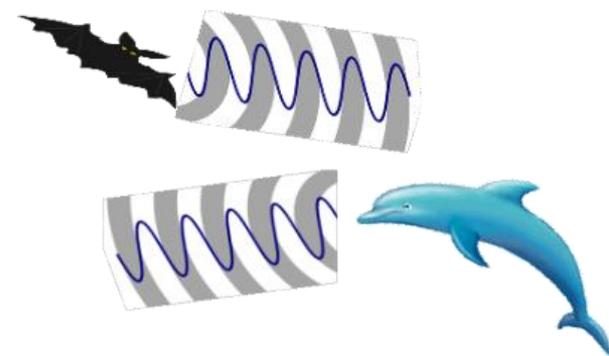


超音波



こうもりとイルカのエコーロケーション

音波特性

超音波 (Ultrasound) : 人間の耳には聞こえない高い振動数(周波数)をもつ音波の一種。振動する物体(媒質)が何もなければ(たとえば真空中では)音波は伝搬しない

音波: 音を出す物が振動することにより、その周囲に伝わる波動。人間の耳に聞こえる可聴周波数は、おおよそ30Hz~20kHz

超音波: これより高い周波数で人間の聴覚では捉えられない周波数の高い音波

低周波: 可聴周波より低く人間の聴覚器官では捉えられない周波数の音波

広義の意味の超音波は、「人間の耳で直接聞くことを目的としない音波」のこと ③

JISの定義: 正常な聴力を持つ人に聴感覚を生じないほど周波数(振動数)が高い音波(弾性波)

気体・液体では縦波(伝搬方向と振動方向が同一)のみであるが、固体では縦波と横波(伝搬方向と振動方向が直角)、さらにはねじり波や表面波なども存在する

超音波は指向性が高く、高解像度な探知に使えるため、産業用各種センサー類、医療用、非破壊検査、魚群探知、各種寸法測定などに使用。音圧を比較的容易に上げられるため金属やプラスチックの加工、殺菌、洗浄、小さなモータ、リモコンなどの通信、建築物の破壊音探知等の各種用途に利用。コウモリ、イルカなども生活に超音波を利用している。近年、有機化学合成で反応促進効果に注目

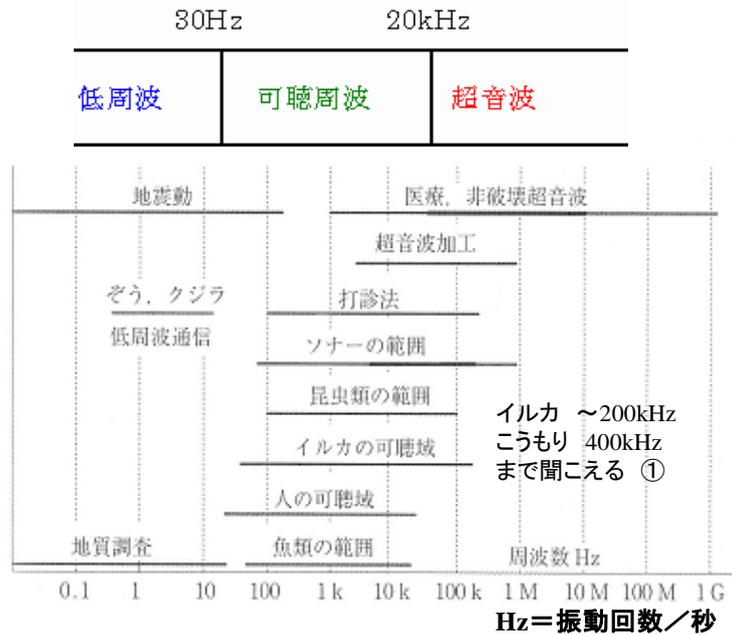


図54-1 音響周波数とその関係 ①

- 応用分野**
- 運輸
 - 製造業
 - 化学・石油・ガス
 - 建築・土木
 - 農林水産
 - 食品・薬品
 - 医療・福祉
 - 生活・家電
 - 電子

- 使用技術(具体例)**
- 計測(距離、数量、速度、流量、厚さなど)
 - 感知(車両検知、障害物、防犯、ソナーなど)
 - 検査(探傷、モレ検査、医療診断、魚群探知など)
 - 洗浄(機械・電子部品、フィルタ、野菜など)
 - 機械部品(切削、研磨、プレス加工、破碎、溶着など)
 - 超音波モータ(車両、ロボット、カメラなど)
 - 化学反応(燃料改質、VOC除去、抽出など)
 - 霧化(消臭、除菌、化学分離、加湿、酒造など)
 - 電子回路(水晶振動子、遅延素子、フィルタ)

図54-3 超音波応用分野と使用技術 ⑥

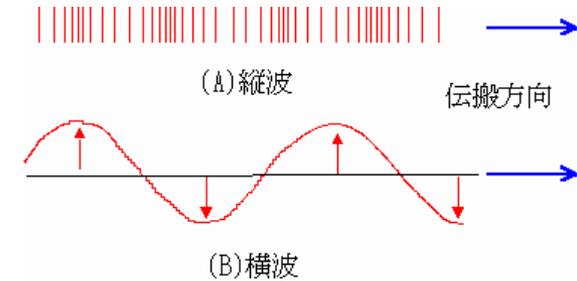


図54-2 縦波(音波)と横波 ③

伝 搬

超音波は音源の振動で発生し伝搬する。この振動は圧電素子に電圧を印加して発生。伝搬性の良し悪しは、音響インピーダンスと呼ばれる物質の特性により決まる

音響インピーダンス: 抵抗と逆で大きいほど超音波の伝搬性(伝搬速度、到達距離など)が良くなる ⑤。
一般的に超音波の伝搬速度は「気体<液体<固体」の順で伝搬効率が高くなる傾向にある

減衰—超音波の伝搬効率には媒体による音速や音響インピーダンス特性が大きく関与する。これにより、超音波の到達距離なども変化する

指向性—超音波は波長が短かく、拡散がなく、一定方向にビーム状に伝搬する。つまり、「指向性が鋭い」。拡散によるエネルギーの分散がなく、超音波による測深など距離計測には重要な特長 ②

距離の測定—超音波は光に比べ伝搬速度が遅くて距離測定には便利。一般には、超音波を発射し、反射波が帰ってくるまでの時間により距離を計測。 **応用例**: 超音波厚み計(鉄板などの厚みを測定)、積雪計、車のクリアランスソナー、道路の車両感知器、海底までの測深器、レベル計、ソナーなど ③

超音波式厚み計: 探触子からの発信波が裏面で反射して戻ってくる時間から測定物の厚さを算出

超音波式レベル計: レベル計から超音波パルスを発信し、液面で反射され、戻るまでの時間を計測

流量計: 配管外部から超音波伝搬時間差を計り、容易に流量計測が可能

表54-1 代表的な物質の音響インピーダンス ⑤

物質	音響インピーダンス	密度	縦波音速m/s	横波音速m/s
鋼	46, 02	7, 8	5, 900	3, 230
アルミニウム	16, 9	2, 69	6, 260	3, 080
水(20℃)	1, 48	1, 0	1, 480	存在しない
空気	0, 0004	0, 0013	340	存在しない

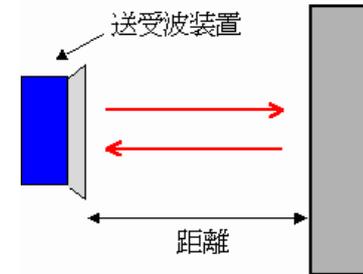


図54-4 超音波による距離の測定 ③

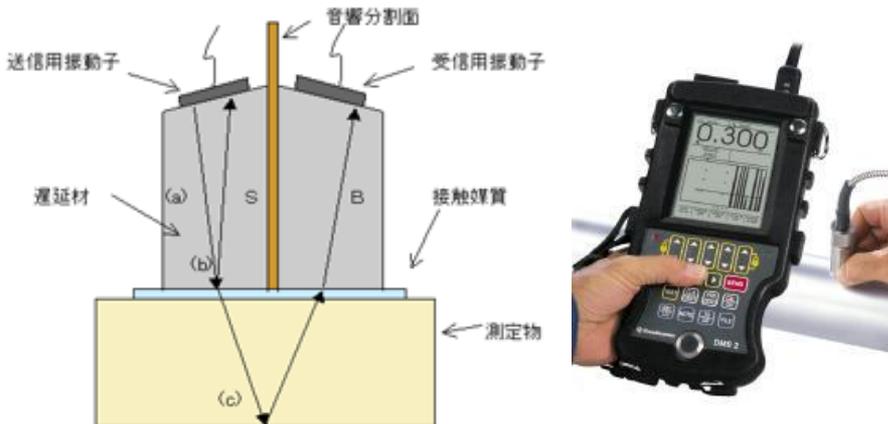


図54-5 厚み計の原理 (JFEアドバンテック)



図54-6 超音波厚み計 (ポニー工業)



図54-7 厚み計使用例 (JFEアドバンテック)



図54-8 レベル計の原理 (ノーケン)

反射・屈折

超音波は音響インピーダンスの異なる媒質境界面で**反射**する。この時、媒質間で固有音響インピーダンス値差が大きいほど境界面における反射が強い。また媒質の境界に斜めに入射した超音波は**屈折**する

超音波は山彦と同じように物質の境界面で反射する性質がある。振動子(探触子)から送信された超音波は物質の表面で反射し、反射した音波は振動子に当たって発生したときと同じ原理で電圧に変換され、受信器に信号となって取込まれる ⑤

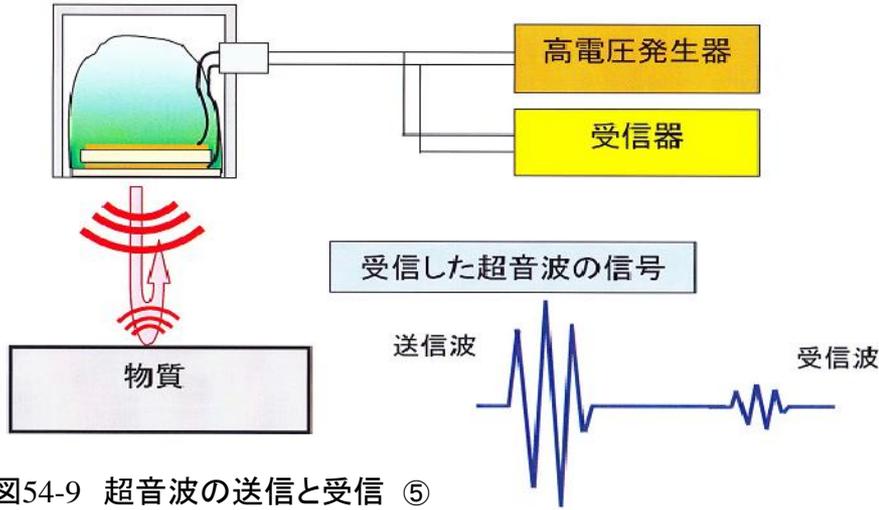


図54-9 超音波の送信と受信 ⑤

超音波は二つの物質の境界面で一部が反射し、残りは通過する。超音波探傷では水や油を塗布して被検査体内部に多くの超音波を通過させる。振動子と被検査体の間に空気層があるとほとんどの超音波は表面で反射して、内部に入射することができなくなる ⑤

超音波は物質に斜めに当たると、入射角度と同じ角度で反射する成分と屈折して入射される成分に分かれる。この原理を使った探傷法を斜角探傷といい、被検査体の裏面縦割れ検査などに使用 ⑤

超音波ビームが音速の異なる媒質間の境界に斜めに入射すると光と同様に屈折する。超音波が屈折するこの特性を利用して分解能の向上を図ったり、超音波診断装置にも利用

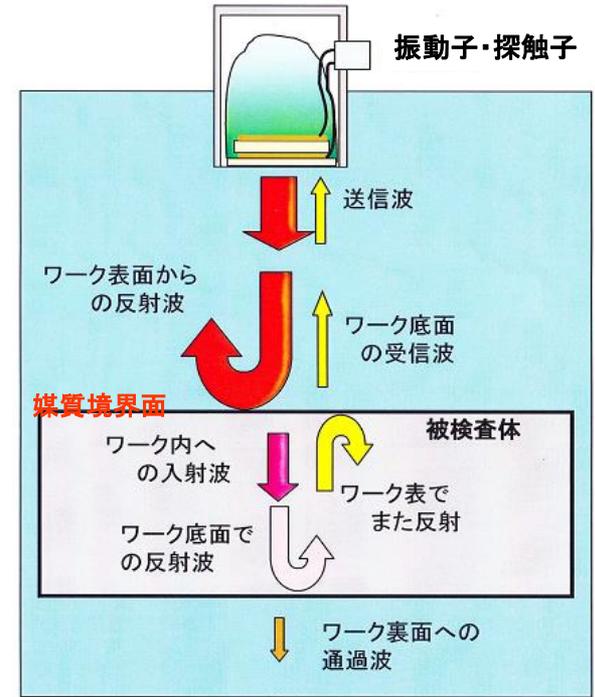


図54-10 超音波の反射と通過 ⑤

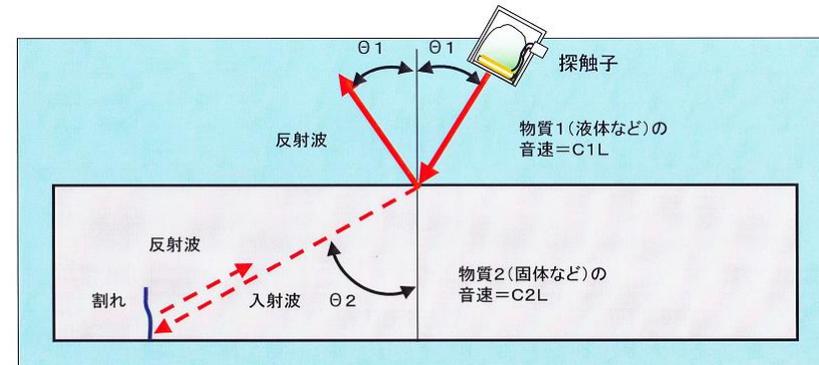


図54-11 斜め入射の屈折 ⑤

圧電素子

圧電素子: 超音波を発生・受信する重要な部分。圧電素子の両側に電極を貼り付けて、電圧を加えると素子が伸縮を繰り返し振動し、超音波が発生する。一方で圧電素子に外部から超音波振動が加わると電圧が発生する

圧電素子は超音波を発生する**振動子**と受信する**探触子**があり、検査用としては両者共通で機能を合わせて**探触子**と呼ばれることも多い

圧電効果: ある特殊なセラミクスに電圧を印加すると歪みを生じる現象で、交流電圧を印加すれば、その周波数でセラミクスが歪み、超音波振動が励起される

磁気歪み効果: ある特殊なセラミクスに磁界を印加すると歪みを生じる現象で、交流磁界を印加すれば、その周波数でセラミクスが歪み、超音波振動が励起されることになる ③

素子の厚さを薄くすると高い周波数の振動が発生する ⑤。超音波振動子は産業機器用(加工機・洗浄機・ボンダー装置)や治療装置用(歯科:スケーラー、外科:手術用メス、結石破壊)などの幅広い分野に採用されている

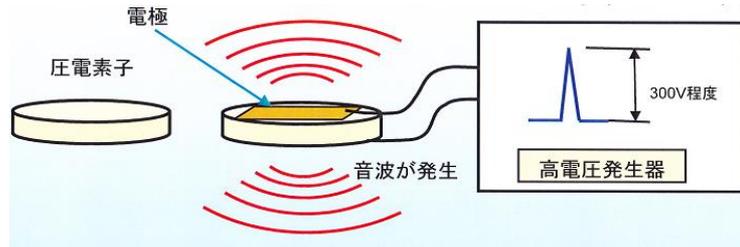


図54-13 超音波の発生原理 ⑤

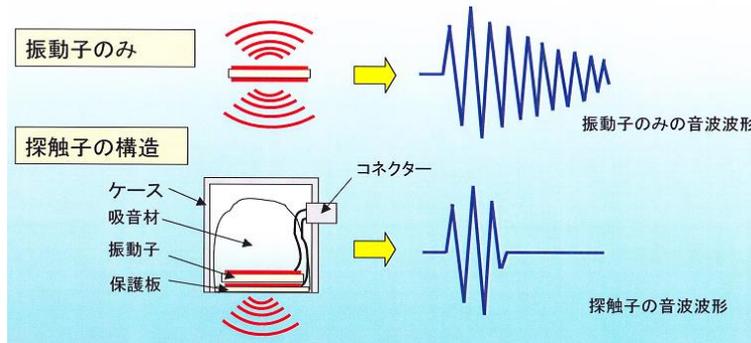


図54-14 超音波探触子の原理 ⑤

超音波センサ(探触子): 探触子は超音波発生器(振動子)の逆の原理を活用。探触子は振動子に吸音材と保護板を貼り付けてケースに挿入して作る。超音波は探触子の保護板側にもみ発生すると同時に音波の余震が少なくなり、超音波センサとして使用できる状態になる ⑤

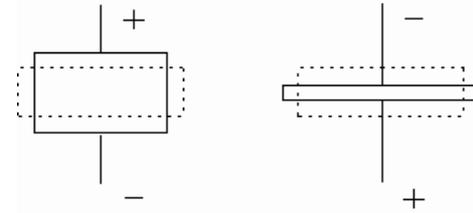


図54-12 圧電効果 ③

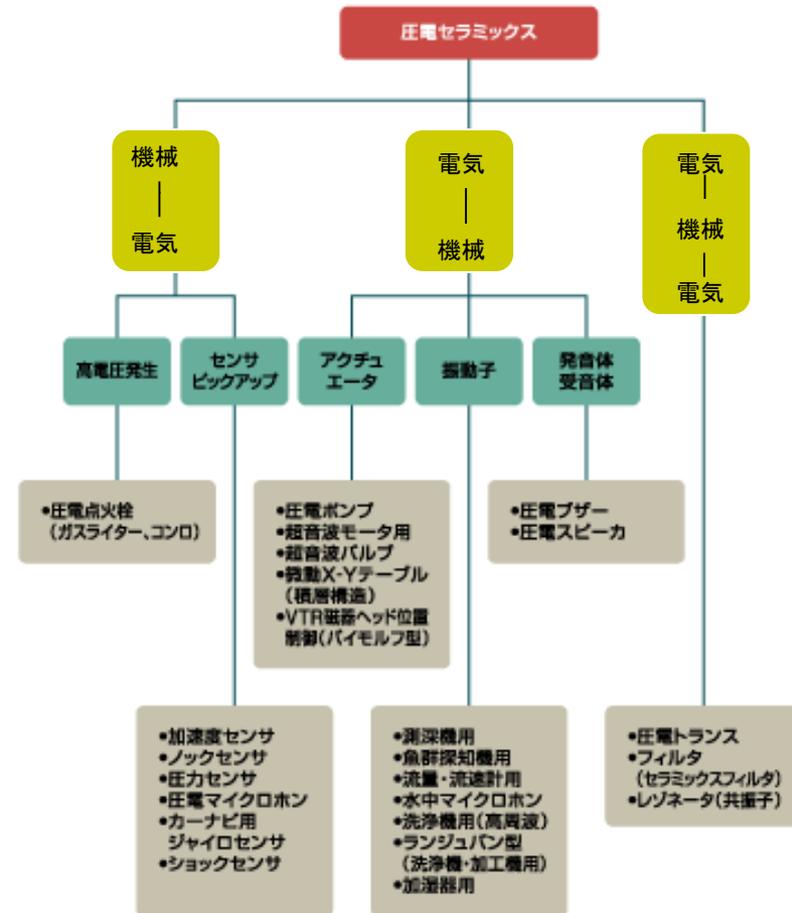


図54-15 圧電セラミクスの応用分野 (本多電子)

音超音波非破壊検査(UT)

UT: 固体などの内部欠陥を探す方法。固体内部に超音波を発射し、内部に欠陥などがあると、超音波が反射する。この反射波のありなしや時間などで、キズの有無や位置を測定する。道路、トンネル、発電設備、港湾等 社会インフラの劣化対策、船体、原子炉など大型機器での重要な欠陥検査法 ③

超音波探傷の欠陥検出性能は、探触子の周波数と傷の形状や傾きに左右される。通常、欠陥の検出限界寸法は波長の1/4~1/8。小さな欠陥検出には、周波数を高めて波長を小さくする ⑤

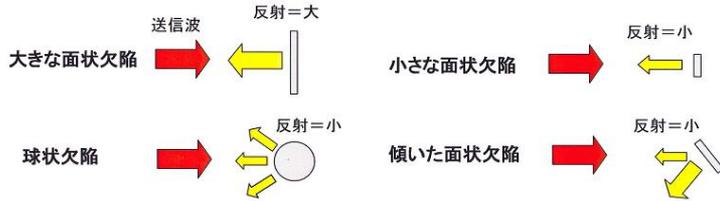


図54-17 欠陥の検出性能 ⑤

金属材料のUTでは超音波の反射の際にモード変換が生じて伝搬速度が異なる縦波と横波が混在し、鮮明な画像構築が困難 ⑦。UTの弱点である結果表示のわかりにくさの対策としてTOFD (Time of Flight Diffraction)、フェイズドアレイなど探触子の位置情報と波形情報を組合わせて断層画像として出力する技術がある

TOFD: 大きく広がる超音波を使ってその伝搬時間差を表示することで、断面でのキズの位置関係を表示

フェイズドアレイ: 細かく分断して配列した振動子のそれぞれを振動させるタイミングを電子的に制御して、試験体に伝搬させる超音波の形を変え、送信場所をずらしてスキャンさせる。医療分野では多用されている

国土交通省は2009年度から長さ30m以上のコンクリート橋について超音波による音速測定を義務付け、コンクリート劣化の評価を導入

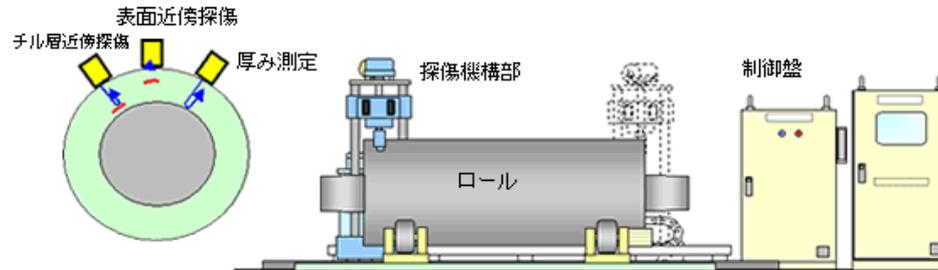


図54-19 圧延ロール超音波探傷装置 ⑤

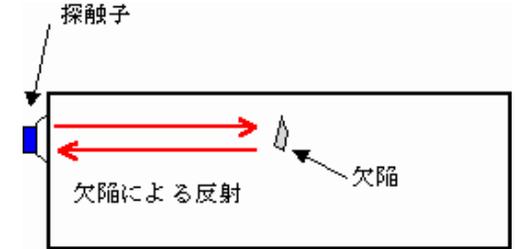


図54-16 超音波探傷 ③

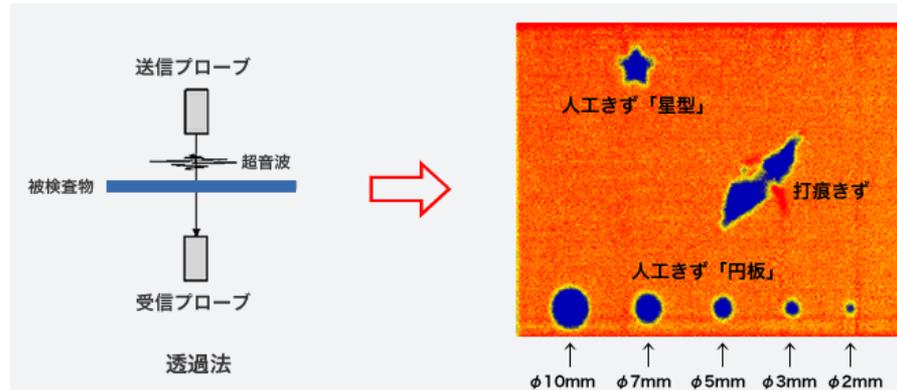


図54-18 透過法によるCFRP板の画像 (ジャパンプローブ)



溶接・加工・切断

超音波は小さい振動変位で高い音圧と強いパワー密度をもっているため、エネルギーとしても利用できる。振動体でワークを加圧することによって、瞬時に摩擦熱を発生させて熱可塑性樹脂を溶融し、また金属を接合、加工、切断することが可能

溶着・溶接—振幅数 μ から数 10μ の超音波振動による接合面の摩擦や材料自体の繰り返し圧縮で、その内部が発熱して温度上昇し、さらに超音波の衝撃力により材料が軟化、溶融して溶着される。接着剤が不要で、また、短時間で溶着・溶接される。プラスチック同志の溶着や、ICのリード線のボンディング、自動車部品、医療機器、家電製品、電気電子機器類、OA機器、日用雑貨などで採用

加工機—超音波振動させた工具ホーンと加工物の間に、砥粒を混濁させた混合液を介在させ、工具を適当な圧力で加工物に押しつけて超音波による衝撃的な破壊力を利用し、徐々に工具ホーンを加工物にめりこませていく加工法。セラミクス加工に多用 ③

超音波カッター—刃物に超音波振動を与えると、刃物と切断物との摩擦力が少なくなり、極端に切れ味が向上する。また、超音波メスなどもある ③。切断面が美しく商品価値が向上するので電気・電子(シリコン材料)、繊維(布地)、食品(パン、ケーキ)、包装(フィルム、段ボール)、医療(手術用メス)など各業界で活躍している

有害化学物質の分解、分離、霧化—地下水等の微少な含有量の有害物質、PCB、環境ホルモンなどに超音波照射してキャビテーションを発生させ、無害化、霧化、分離させる。酒に超音波振動を加えるとアルコール分子が分裂分散され、その味がうまくなるといわれる ⑥

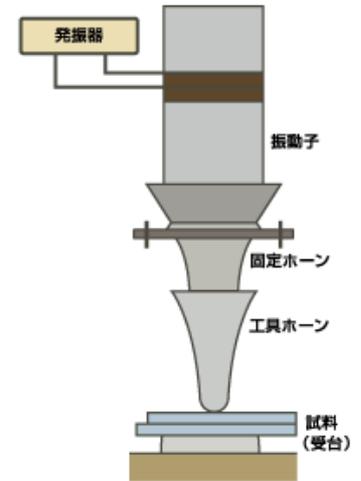


図54-20 超音波溶着装置 ⑥



図54-22 超音波による有害物質の分解、分離 ⑥



図54-23 超音波霧化による酒の製造 ⑥

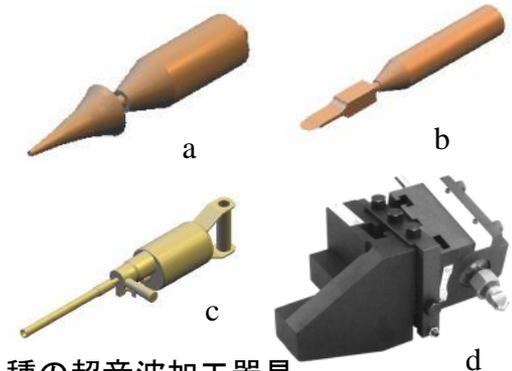


図54-21 各種の超音波加工器具
a.溶着、b.切断、c.穴あけ、d.切削
(多賀電気)

洗 浄

超音波によるキャビテーション、振動加速度、直進流等の効果などにより、物の表面の汚れを取る方法。加工した部品の洗浄や、メガネ屋さんでメガネの洗浄によく使われている

超音波洗浄器：洗浄する物体を容器に入れ、超音波を伝導する液体（水または有機溶媒）に洗浄する物体を浸す。水で洗浄する場合は、表面張力を打ち消すために界面活性剤を入れる。超音波の発生装置は器具に内蔵されているか、液体中に入れて使う。卓上型、加温機能付、シャワーリング機能付、減圧式など各種バリエーションがある

洗浄のメカニズム：微細な泡の発生と破裂（**キャビテーション**）に伴うエネルギーによるものであり、泡が破裂すると物体の表面から汚れが浮き上がる。超音波の周波数がより高いほど、泡の発生するポイントが多くなり、より高精度の洗浄ができる

超音波洗浄の**特長**—汚れの種類に応じて適切な洗浄液を選定 ①

1. 洗浄液に浸漬するだけで洗浄可能
2. 細孔など複雑形状のものも洗浄可能（孔加工内の残留切粉など）
3. 洗浄品質の均一化が容易
4. 自動化、省力化が容易
5. 短時間の洗浄が可能
6. 大粒径～サブミクロンの広範囲の径の粒子除去

洗浄対象：工業的に使われる超音波洗浄器は、機械部品、電子機器、自動車、スポーツ用品、印刷、海事、医療、製薬、電気めっき、技術開発、軍事産業など。民生用としては、宝石、レンズなどの光学製品、コイン、時計、食品・化粧品等の容器、歯科及び外科治療で使われる器具、万年筆などの洗浄に用いられる

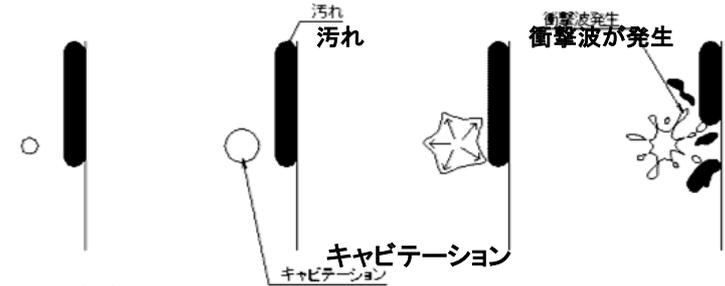


図54-24 洗浄のメカニズム（東京超音波技研株式会社）

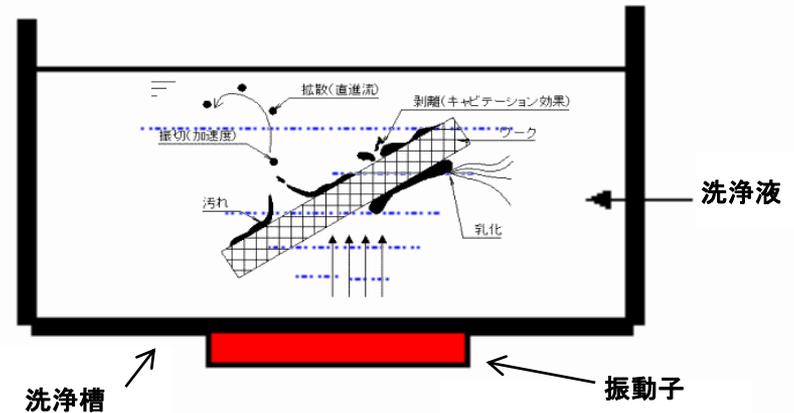


図54-25 超音波洗浄器（東京超音波技研株式会社）



図54-26 食品・製造用超音波洗浄機（東京超音波技研株式会社）



図54-27 工業用洗浄機—揺動機構付き（東京超音波技研株式会社）

超音波モータ

超音波モータ (USM / Ultrasonic Motor) : 超音波振動を利用しロータあるいはリニア被駆動体(直進)を駆動する方式のモータ

ステータと呼ばれる振動体に進行波振動を励振すると、ロータと接触しているステータのある点の振動軌跡は楕円を描く。超音波モータはこの楕円振動のある成分のみを利用して摩擦力を介してステータを移動させる。低速・高トルクで動作するため、ギア等による減速機が不要。また、非常に静かに動作する。カメラのオートフォーカス機構、ロボットアクチュエータ、MRIアクチュエータ、旋回台アクチュエータ、自動車パワーウィンドウ、腕時計などに使用。棒状、リング型、多自由度型などの種類がある

超音波モータの特徴 (「一般の電磁モータ」との対比)

1. 低速高トルク
 2. 応答性、制御性に優れ、微小な位置決めが可能
 3. 無通電時に保持トルク
 4. 磁気の影響を受けない
 5. 静粛性に優れる
 6. 小型軽量
 7. 摩擦・摩耗大
 8. 電源、複雑な駆動回路が必要
- (前野隆司 / 日本ロボット学会誌 2003.1)



図54-29 超音波モータの例 (フコク)



リング状超音波モータ

棒状超音波モータ

図54-30 交換レンズ内の超音波モータ
(日本セラミックス協会)

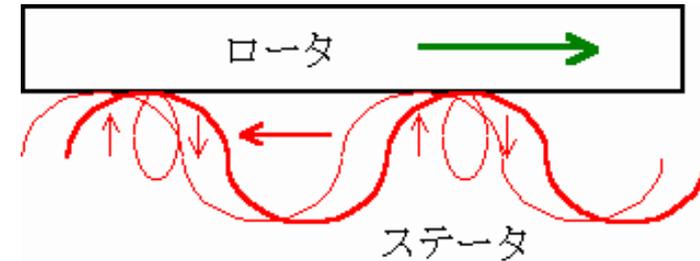


図54-28 超音波モータの原理 ③

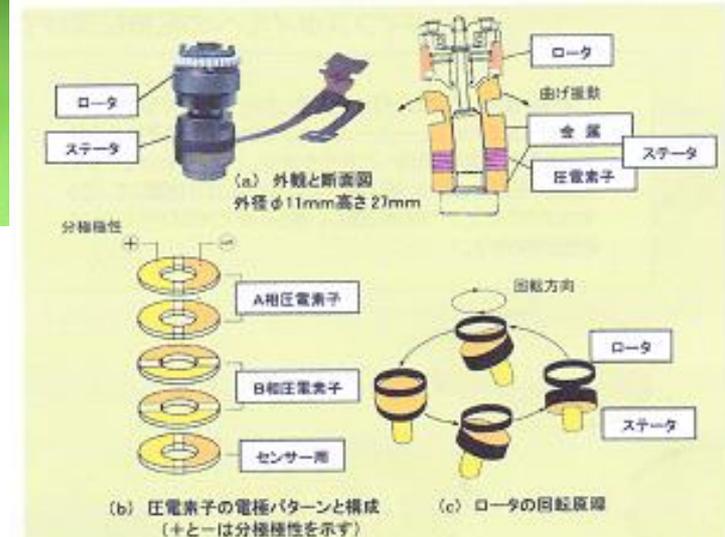


図54-31 棒状超音波モータ
(日本セラミックス協会)

医療

超音波診断: 反射波の様子によって対象物(臓器など)がどうなっているかを測定。医療測定装置の**エコー診断装置**など超音波による検査は害がないことから、腹部や心臓の診断、産科、小児科でも広く使われている

人体は音響インピーダンスではほとんど「水」と同等だが、骨、脂肪、血管壁、腫瘍組織などで僅かな差があるところでの反射を利用 ②

医療用超音波プローブの基本構造は、「圧電素子(振動子)」・「パッキング材」・「音響整合層」・「音響レンズ」から成り立っている。通常3.5MHzの超音波を使用

腹部超音波検査: おもに、肝臓、膵臓、胆のう、腎臓、脾臓、膀胱、前立腺(男性)、子宮、卵巣(女性)の観察を行う。小さな癌は自覚症状が少なく、この検査で偶然発見されることも少なくない。被曝などの体への悪影響もなく、全く痛みのない検査

心臓超音波検査: 超音波で体の表面から心臓の形、大きさ、動きを見る検査。さらに血液の流れに異常がないかを調べる。心筋梗塞、心不全、心臓弁膜症、心筋症、先天性心臓病などの診断に役に立つ

医療用検査機器は材料の非破壊検査装置より販売数が多いため画像構築などの開発により多額の費用がかけられる ⑦

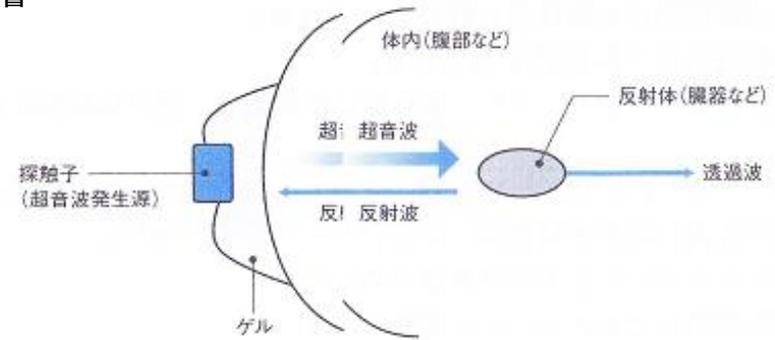


図54-32 超音波診断装置の原理 (センサーが一番わかる)

表54-2 超音波診断装置でキャッチできる病気 (社団法人八日会)

頭～首	脳腫瘍などの疾患、眼・眼窩の疾患、耳下腺腫瘍、甲状腺の疾患(甲状腺腫・リンパ節腫大・甲状腺炎) など
胸部	乳腺(乳腺症・乳がん・のう胞)、肺(胸水の有無)、心臓・大血管(心室中隔欠損・心内膜症欠損・左房肥大・左室拡張障害・肥大型心筋症) など
腹部	肝臓(うっ血肝・慢性肝障害・転移性腫瘍・血管腫・肝がん・肝腫瘍性疾患・閉塞性黄疸)、胆のう・胆管(胆のう結石・肝内胆管結石・総胆管結石)、すい臓(膵頭部がん・膵のう胞)、脾臓(脾腫)、胃腸(胃がん・直腸がん)、腹部大血管(腹部大動脈瘤) など
泌尿器	腎臓(腎結石・腎のう胞・腎がん・腎腫瘍)、副腎(褐色細胞腫)、膀胱(膀胱がん)、前立腺(前立腺肥大症・前立腺がん) など
その他	女性性器疾患(妊娠子宮・前置胎盤・卵巣腫瘍・双角子宮 など)、手足の血管、リンパ節肥大 など

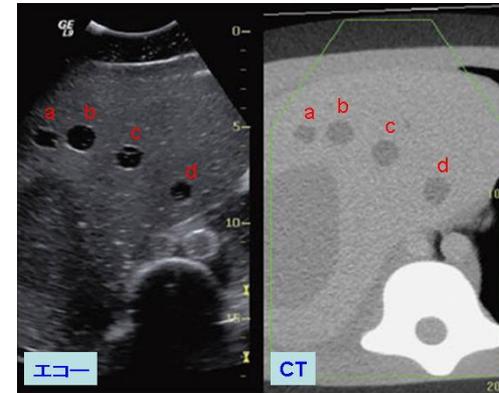


図54-33 超音波診断装置(上)とモニタ画像(左)の例 (札幌新川駅前内科)

ソナー

ソナー（超音波探信儀／SONAR=Sound navigation and ranging）：水中超音波を使って水上船舶や潜水艦、水中の物体を捜索、探知、測距船舶航法装置で、音波発信装置と聴音装置の組み合わせた探知システム全体を指す（Wikipedia）

アクティブ・ソナーではやまびこと同じで、自分から音を出し、その音が反射して戻って来る音をキャッチ。水晶振動子で発生する超音波を水中に放射して、物体に当り反射して戻って来た超音波を振動子で受信することで、発信から受信までの時間差と水中での伝播速度から、物体までの距離を算定

パッシブ・ソナーとは水中聴音機のことで軍用のものが多い。敵艦の存在が不明の場合は、超音波発信機を使用せずに聴音機だけを使用して警戒する。潜水艦はアクティブ・ソナーでは自身の隠密性を損なうため、パッシブ・ソナーに頼ることが多い

空中とは異なり、水中超音波は長距離まで届く。垂直方向でも深くまで届き、海底面では波は反射され、水中の浮遊物でも比較的小さなものでまで反射される

魚群探知：ソナー（超音波）で水中や水底を測定する**魚群探知機**（鰐ーうきぶくろが標的）にとって、周波数は重要で、50、83、200kHzなどが広く採用されている。**低い周波数**は、貫通力が強くソナーが遠くまで伝達される。深い水深や広い範囲の感知測定が可能。**高い周波数**は浅い水深・狭い範囲における詳細・繊細で精度の高い測定に威力を発揮する

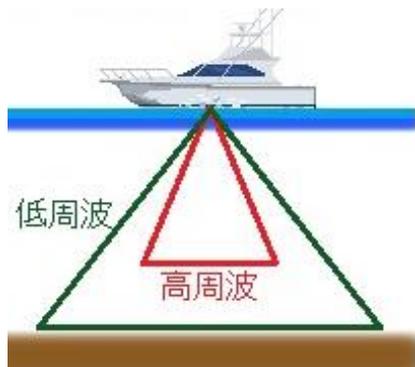


図54-36 指向角度のイメージ（Wikipedia）

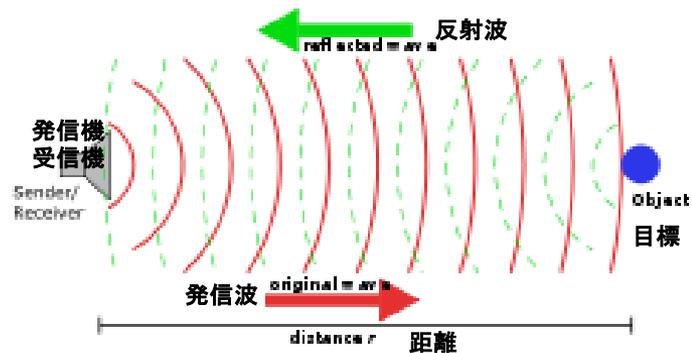


図54-34 ソナーの原理（Wikipedia）

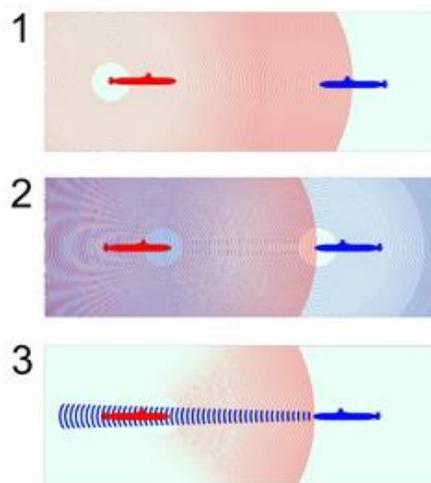


図54-35 3種類のソナー
1.パッシブ 2.アクティブ(広域捜索)
3.アクティブ(狭域探知)（Wikipedia）

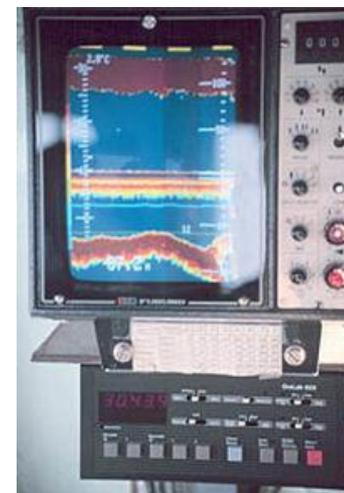


図54-37 魚群探知機の表示画面（Wikipedia）

関連団体 超音波工業会、（社）日本非破壊検査工業会、（社）日本非破壊検査協会、日本産業洗浄協議会、（社）日本超音波検査学会

その他、（社）日本超音波医学会、日本脳神経超音波学会、日本心エコー図学会、（社）日本超音波骨軟組織学会、日本整形外科超音波研究会などの各種団体がある

課題

超音波応用製品(超音波の通信的応用)	パルス状の超音波を水中や空中に放射して、反射(透過)してくる信号を計測する場合の信号は、微弱で広帯域が求められるため、振動子の構造が動力的応用の場合とは大きく異なる。通信的応用では連続音波発信ではなくパルス応答性の高い振動子の要求が高く、PZTセラミックス(チタン酸ジルコン酸鉛)と樹脂の複合材料から成る振動子の開発が進められている。より高度な測定に向けた新しいセンサが次々と開発されてくるとされる ⑥
環境分野への応用	環境分野への応用として、地下水に含有されているppm/ppbオーダの極めて低濃度有害化学物質、有害汚染物質として、PCB、ダイオキシンなどの環境ホルモン、トリクロロエチレンなど分解、分離は難しいのが現状。超音波照射によって水中にキャビテーションを発生させ、そのエネルギーを利用して無害化する手法、および、超音波霧化器を用いてトリクロロエチレン等の揮発性の高い物質を分離、回収する手法が検討中 ⑥
新しい超音波診断法	現在の超音波診断装置は断層像を定性的に見る機械として発展してきた。しかし、最近の信号処理技術やコンピュータ技術の発展と共に、超音波エコーの複雑な情報を解析することで、生体の組織的変化まで表現する診断にも可能性が拓けてきている。硬くなった癌組織を体表から観察する超音波エラストグラフィや、心筋梗塞の場合に心臓内に生じる渦流を観察できるエコーダイナモグラフィが次世代医用超音波技術として注目 ⑥

キーワード

キャビテーション	液体に超音波を照射すると、液体が激しく揺さぶられて局所的に圧力が高い部分と低い部分が出てくる。圧力が低い部分では液体中に小さな真空の空洞ができ、これをキャビテーションという。再び圧力が高くなり、この空洞が押しつぶされるとき、液体中に衝撃波を発生させ、この衝撃波が、固体表面に付着していた汚れを剥離させる (東京超音波技研)
超音波顕微鏡	超音波を用いて物質の微細な部分を観察する装置。100MHz以上の超高周波超音波を高精度に加工された超音波レンズで集束して、10 μ m以上の高分解能で表面下の観察を可能にするもの。試料各点からの音響情報をとらえながら観察点を移動し二次元像を作る走査型顕微鏡の一種である (コバンク、計測自動制御学会)
エコーロケーション(反響定位)	イルカなどは高い周波数をもつパルスを出し、物体に当たり跳ね返ってくる反響をキャッチして物体までの距離や、方向、大きさ、硬さなどの情報を得る。これにより衝突回避、エサの捕獲が行われる
強力超音波	超音波のエネルギーを利用して物体、物質の処理をする動力的応用を行なう超音波。キャビテーション、霧化、脱気、乳化、分散、凝集、攪拌、拡散、発熱、化学反応促進、機械的破壊など広範囲の応用例がある ④