

聞
こ
え
な
い
音
の
世
界

超音波ハンドブック



本田電子株式会社

HONDA ELECTRONICS CO.,LTD.

超音波

聞こえない音の世界

超音波
ハンドブック

はじめに

ごあいさつ

私達は1956年創業以来、不思議な技術・超音波に携わってまいりました。

今日では、超音波の特長を活かしたユニークな技術が、漁業・医療・工業をはじめ、広い分野で活用されています。更には、人類共通の課題である新エネルギーの製造や、環境改善にも有効的な技術であるとして、大きく期待されています。

私どもは、超音波技術の無限の可能性を、一人でも多くの方々に知って頂きたく、本書を作成いたしました。

本書をお読み頂く皆様とのコラボレーションで、社会に貢献できる新しい技術やマーケットが生まれることを心より願う次第です。

本多電子株式会社 代表取締役社長
本多 洋介



CONTENTS

はじめに 2

この本の便利な使い方 10



第1章 超音波とは

1-1 超音波の正体 14
超音波の世界への招待状

1-2 生き物に学ぶ 16
動物のすごい能力を探る

1-3 超音波を出すには 18
超音波ってどうやって出すの？

1-4 反射を利用する 20
“ヤッホー”で距離がわかる

1-5 振動エネルギーを利用する 22
振動を使ってみよう、超音波の動力的応用

1-6 超音波応用の広がり 24
超音波は身近な製品にも



第2章 図解！産業別超音波マップ

超音波マップ 28

産業別イラスト 32



第3章

超音波技術紹介

※超音波の技術紹介であり、当社で対応していないものも含まれます。

3-1 計る 距離計測 44
通信的応用の基本

3-2 量る 液量計測 48
波が伝われば量れないものはない！

3-3 量る 堰(せき)流量計測 50
流れ出す水を量る、堰にも超音波

3-4 計る 水処理管理 52
水のあるところ、超音波あり！

3-5 計る 水深測定 54
音は海底にも届く

3-6 観る 湖底・海底観測 56
暗い底に堆積する湖底のなぞを追え

3-7 計る 三次元計測 58
立体を音で見ろ！

3-8 計る 厚み計測 60
断面なんて必要なし！切らずに厚さ測定！

3-9 計る ボルト軸力計 62
ボルトの締め付け力だって超音波で管理

3-10 計る 眼軸長測定 64
体に優しい、目に優しい超音波

3-11 観る 超音波音速顕微鏡 66
医療最前線。音速の違いで細胞の状態把握







3-12 計る 速度計測 70
音でスピード測定

3-13 計る 流量計測 72
どの位流れているの？教えて超音波！

3-14 計る 濃度測定 76
濃さを答えます

3-15 計る 粘度測定 80
粘度もわかる超音波

3-16	計る	音圧測定……………82 音の大きさ、わかります
3-17	数える	交通管制システム……………84 交通量調査。あなたの車を超音波が見ています
3-18	数える	魚数カウンタ……………86 水中でも空中でも場所を問わない数える超音波
3-19	感じる	検知・検出……………88 見えないものは音で探る
3-20	感じる	気泡検知センサ……………92 小さな泡も見逃さない
3-21	聞く	聴音……………94 微かな音で異常検知
3-22	聞く	消音……………98 波+波=0!
3-23	探る	超音波探傷……………100 大きな割れから小さなキズまで。超音波で探る
3-24	探る	材料境界検知……………104 境界を見抜く、確かな音
3-25	観る	材料観察・評価……………108 違う目で見る、超音波で見る
3-26	診る	医療診断……………112 透けて見える、新しい命
3-27	観る	肉質評価……………118 肉のおいしさを超音波で
3-28	探る	魚群探知……………120 漁師の勘と技術の目。海を見る目は超音波!
3-29	見る	撮像(超音波カメラ)……………124 見えない世界を音で見る
3-30	探る	水中探査……………128 光届かぬ海底へ…光射す技術、超音波!
3-31	探る	地中探査……………130 地中の異なる物体を探します
3-32	伝える	パラメトリックスピーカ……………132 あなただけに届けます
3-33	伝える	水中通信……………134 通信方法数あれど、水中では超音波!
3-34	伝える	海洋生物テレメトリー……………136 海洋生物の行動調査も超音波にお任せ!
3-35	洗う	超音波洗浄……………138 音で洗う、そのメカニズム
3-36	動かす	超音波モータ……………146 物をも動かす、振動のパワー
3-37	動かす	粉体フィーダ……………148 適量を運ぶ振動。超音波のママなお仕事
3-38	浮かす	超音波浮揚……………150 浮かせる、非接触、非破壊運搬
3-39	震わす	付着防止……………152 付かない工夫、超音波にあり
3-40	震わす	振動ふるい……………154 超音波振動ふるい。その効果は如何に?
3-41	震わす	塑性加工……………156 振動が加工を助ける!
3-42	震わす	はめ合い加工……………160 あれ、入らないの? あら不思議、超音波マジック!
3-43	切る 削る	切断……………162 切れるものはきっちり斬ります。見よ! これが超音波切断だ!
3-44	切る 削る	切削・研削……………166 超音波で精密加工
3-45	砕く	材料粉碎……………170 細かくしたい…小さくしたい…超音波で粉々に!
3-46	砕く	結石破碎……………172 体の石はどうするの? 体には超音波
3-47	砕く	微生物・細菌駆除……………174 ボウフラ・アオコをやっつける! 超音波のダメージ
3-48	くっ ける	接着・溶着……………176 今度は接着? 溶着する超音波の不思議
3-49	くっ ける	超音波はんだ付け……………180 もう付かないなんて言わせない

3-50	 発電	182
	無駄な振動を価値ある電気へ	
3-51	 温熱治療	184
	超音波で温熱治療、癌治療	
3-52	 化学反応(ソノケミストリー)	186
	音で化学? 進出ケミストリー分野!	
3-53	 浸透	190
	3日寝かせたあの味。超音波グルメ紀行	
3-54	 超音波骨折治療器	192
	超音波で折れた骨が治る?	
3-55	 美容	194
	効果を高める超音波の促進能力!	
3-56	 抽出	196
	何が出る? 超音波で出してみよう!	
3-57	 脱泡・脱気	198
	真空を作る。超音波は泡を抜く?	
3-58	 泡生成	200
	小さな泡でもその可能性は∞	
3-59	 攪拌	202
	混ざらないものが混ざっていく? 水と油の関係って?	
3-60	 霧化・加湿・薬液噴霧	204
	霧を作ってマイナスイオン	
3-61	 成膜	206
	薄い膜を作ります! 霧化技術応用	
3-62	 超音波霧化分離	208
	お酒好きの技術者のこだわり	
3-63	超音波の安全性	210
	超音波は人体に安全!?	



第4章 圧電セラミックス

4-1	圧電体	214
	超音波技術の核!	
4-2	振動子と超音波応用製品	222
	超音波が拓く、産業開拓時代へ	



第5章 本多電子の活動

5-1	こだわり続けた60年	228
	小さな一歩は、超音波という波を起こした	
5-2	研究開発に特化	230
	魚群探知機専業メーカーから研究開発型企業へ	
5-3	新しい市場を創る	232
	お客様の期待の数歩先へ	
5-4	お客様と共に	234
	感動のエネルギーこそ、原動力!	

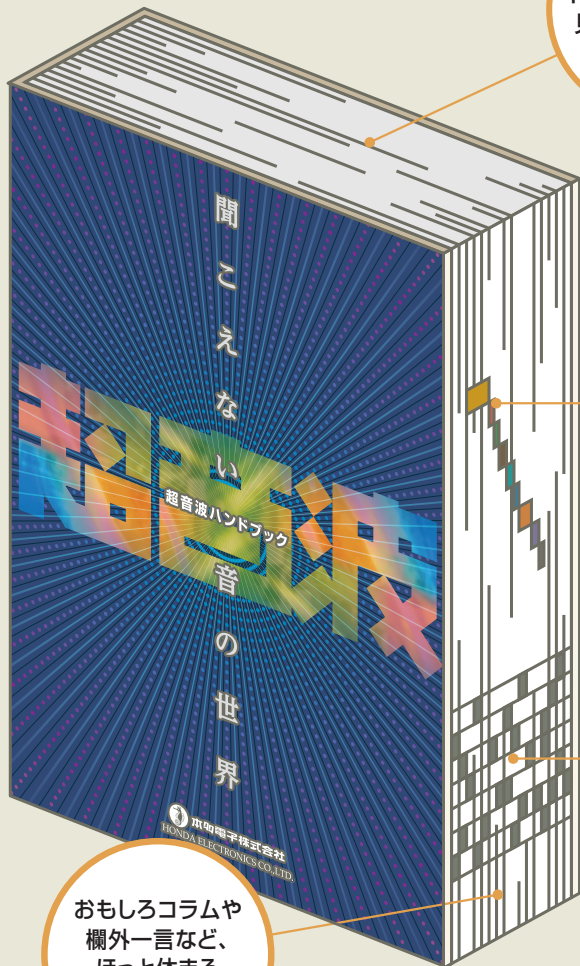
用語集	238
音速データ	244
超音波の発展にかかわった偉人	246
索引	248
参考文献リスト	258



この本の便利な使い方

■この一冊で超音波がまるわかり。

フルカラーでイラストを多用し、見やすい内容にしました。



目的別で色分けされた調べやすい見出し

産業別で区分された見出しも追加し、業種によっても調べられます。

おもしろコラムや欄外一言など、ほっと休まるコンテンツ満載。

欄外一言アイコン



挑戦者たちの失敗談



超音波豆知識



起業者の教え

超音波の使い方が一目で分かる超音波マップ(第2章)

超音波マップ 超音波技術の広がり

用途・目的	運輸	製造業	化学・石油・ガス	建築・土木	上下水道	農林水産	食品・薬品	医療・福祉	生活・娯楽・家電	
目録 (目次)	-超音波センサ -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-液面レベル計 -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム
目録 (目次)	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム
目録 (目次)	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム
目録 (目次)	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム	-超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム -超音波計測システム

「超音波でこんなことができる」が一目瞭然。産業別、目的別でとっても見やすい超音波マップ。

●マップはHPからダウンロードすることができます。



最新情報は、本多電子(株)HPにてご確認ください。

<https://www.honda-el.co.jp/>

A graphic illustrating ultrasound waves. It features a horizontal line that transitions into a series of concentric circles on the right side, representing the propagation of waves. A jagged, pulse-like waveform is overlaid on the horizontal line, indicating the electrical signal of the ultrasound. The background is a gradient of blue and green.

超音波とは

超音波の正体

超音波ってなんだろう？

超音波は音の一種

一般に音とは、空気の振動をいいます。物が振動すると、その周りの空気も同じように振動します。その振動が広がり、音として伝わるのです。人間は、のどにある声帯を震わせることで空気を振動させ、音を出しています。声帯で発生した音は、のどで反響し、声として発声されます。人間は、300 Hzから4 kHzの周波数を声として発し、20 Hzから20 kHzの周波数の音(可聴音)を聞くことができます。図1-1①は人間が聞くことのできる音の範囲を示しています。

超音波とは、一般に20 kHzを超える「人間の耳に聞こえない音」とされています。もう一つの定義として、「聞くことを目的としない音」があります。本書では、主に前者の定義「人間の耳に聞こえない音」として説明します。

超音波の特性

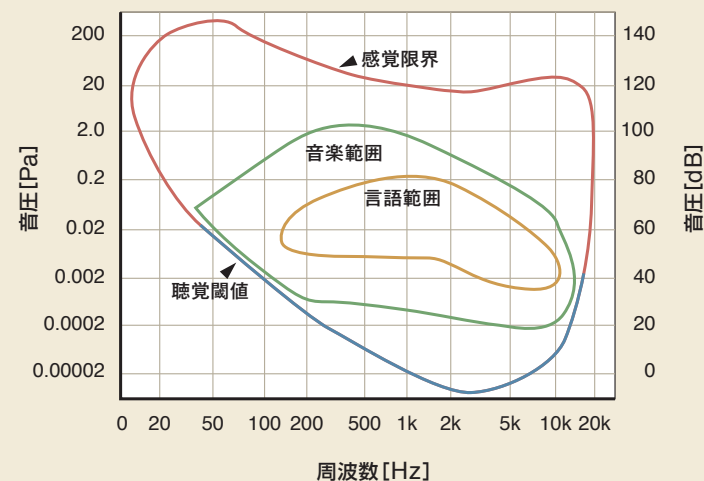
超音波は、気体、液体、固体などの媒体中を伝搬しますが、真空中には伝わりません。超音波は光の通らない媒体中でも伝わります。媒体により伝わりやすさが違い、気体<液体<固体の順で伝搬効率が高くなり、音速も速くなる傾向があります。空気中の音速は約340 m/sですが、水中では約1,500 m/sです。

また、超音波は減衰します。周波数が高いほど減衰率が高くなり、これは媒体によっても変化します。

超音波は音速が異なる媒体との境界面で反射します。この性質を、魚群探知機や超音波診断装置で応用しています。

超音波は可聴音に比べ指向性が鋭く、周波数が高いほどより鋭くなります。

1-1 人間が聞き取れる音の範囲



◎転載文献:「エンジニアのための人間工学」(横溝克己、小松原明哲/日本出版サービス/1991)

● 超音波の定義

- 20 kHzを超える音
- 聞くことを目的としない音
(聞こえる音でも聞くこと以外に利用すると超音波です。)

● 超音波の特徴(可聴音と比較)

- 指向性が鋭い
- 波長が短い
- 減衰が大きい



海上実験で酔わない方法① 魚探振動子設計者

魚群探知機の設計者は性能評価で海上実験を行います。なれない海の上でいかに酔わないようにするかが設計者たちのもう一つの課題です。ある時、漁師さん曰く、「船に乗る前に酒を飲めば酔わないよ!」…酒で酔ったら実験にならないのでは…。

生き物に学ぶ

超音波を効果的に使う動物がいます。

コウモリのエコーロケーション

コウモリが暗い洞窟の中で、壁などの障害物にぶつからずに飛べるのは、超音波を利用しているからです。コウモリは、喉から超音波を出し、周辺から反射して来た超音波から、以下に示す様々な情報を得ます。これをエコーロケーションと呼びます。

●距離

超音波を発してから、反射して聞こえるまでの時間で、対象物までの距離を測ります。

●方向

反射してきた超音波の角度から、対象物の方向を認識します。

●速さ

対象物が動いている場合、ドブラ効果により、周波数が変化します。その情報から、対象物との速度差を知ることができます。

●大きさ

反射波の大小から、対象物の大きさが分かります。小さなものは面積が小さいため、反射強度が小さくなります。

●動き

反射波の振幅や周波数の変化から、蛾の羽ばたきなどの動きを検知します。

イルカのエコーロケーション

イルカも超音波を利用する動物です。超音波を発信、受信する体の仕組みを持っています。

●発音器官

呼吸器の途中にあるヒダに空気を送り込むことで、超音波を発生します。

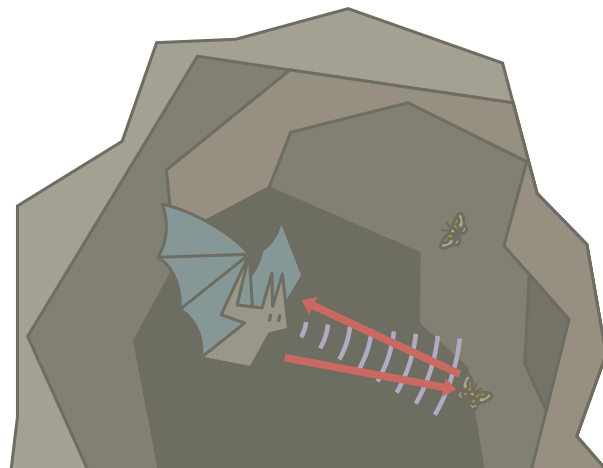
●メロン器官

イルカのおでこにある脂肪のかたまりを「音響レンズ」として、超音波を集束します。

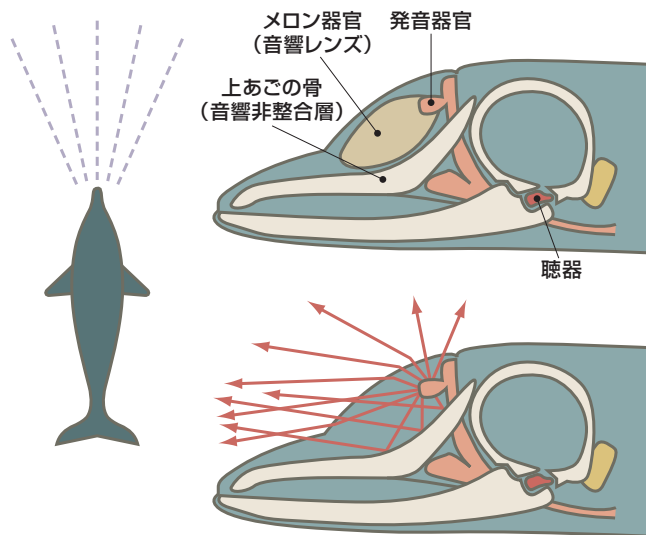
●上あごの骨

パラボラアンテナ状の骨が、音を前方に反射します。

●コウモリのエコーロケーション



●イルカのエコーロケーション



超音波を出すには

超音波ってどうやって出すの？

超音波を出すには…

●振動により超音波が発生します

“音”は物が振動することによって発生します。例えば、スピーカは、プレーヤの電気信号をアンプで増幅し、振動板に振動を与え、その振動が空気に伝わることで音を出しています。周波数の高い超音波を出すには、スピーカの代わりに、『圧電セラミックス』を用います。

圧電セラミックスとは？

●電圧によって伸びたり縮んだりする特殊なセラミックス

圧電セラミックスは、酸化チタン・酸化バリウム等の原料を高い温度で焼き固めたセラミックスです。特定の組成のセラミックスには圧電性があり、力を加えると電荷を発生し(圧電効果)、逆に電界を加えると極性に応じて伸び縮みします(逆圧電効果)。この圧電性を利用した振動体を振動子と呼びます。圧電効果を利用するとマイクロホンとなり、逆圧電効果を利用するとスピーカとなります。

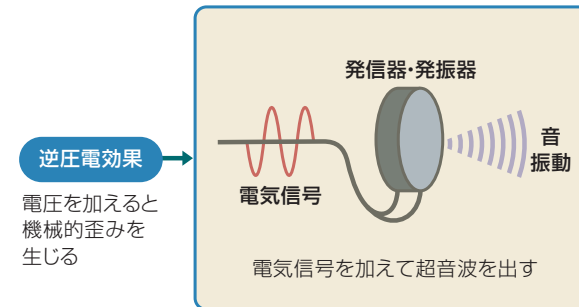
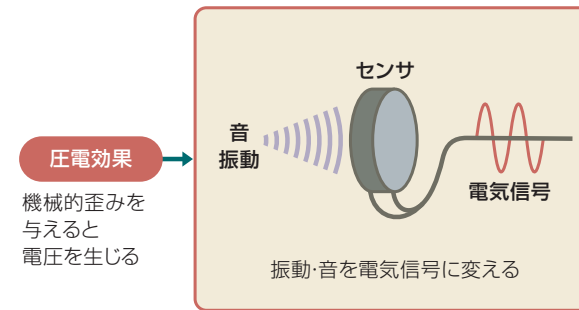
圧電セラミックスを用いて超音波を出す

●圧電セラミックスに交流電圧を加えると…

圧電セラミックスの両端に付けた電極でコンデンサ構造を構築します。その電極間に1000Vを加えると、一般的なPZTは約 $0.3\mu\text{m}$ 変位します。直流電圧を加えても伸びるか縮むのどちらかで振動しませんが、交流電圧を加えると伸び縮みを繰り返すことで振動し、超音波を発生します。しかし、1000V_{p-p}の交流電圧を加えても、その振幅が約 $0.3\mu\text{m}$ では小さな音の超音波しか出ません。

圧電セラミックスに大きな振動を与えるためには、共振現象を利用します。振動子には振動しやすい周波数、共振周波数があります。圧電セラミックスの場合、振動子の共振周波数と印加する交流電圧の周波数を一致させることで、大きな振動を発生させます。共振周波数は形状によって決まるため、目的とする周波数になるように振動子の形状を加工して使用します。スピーカの場合、音を出すことができる周波数はある程度可変ですが、超音波の場合、共振現象を利用するため、ほぼピンポイントの周波数以外では超音波が発生しません。また、受信も同様、振動子の共振周波数以外の周波数では、受信感度が極端に低下します。

●圧電効果と逆圧電効果



海上実験で酔わない方法② 魚探振動子設計者

魚群探知機の評価で海上実験に行ったときに実際に試した方法です。ある社員から「船に乗る前に梅干しを食べると酔わないよ」と言われて実際に食べてみました。食べる量が少なかったのか結果は散々でした。今度は1パック全部食べてみようと思います…。

反射を利用する

音は反射する性質を持っています。

雷雲までどのくらい？

雷が光ったとき、音が遅れて聞こえた経験があると思います。音の速さが光に比べ遅いため、このようなことが起きます。音の伝わるスピード(音速)は空気中で約340 m/sです。

雷が光ってから5秒後に音が聞こえたとすると、

$$340 \times 5 = 1700 [\text{m}]$$

つまり、雷は約1.7 km先で鳴ったということがわかります。

「やまびこ」の原理で距離を測る

音が遅れて聞こえてくる現象といえば、やまびこが有名です。これはどういう仕組みでしょう。山の上から向かいの山に「ヤッホー」と叫ぶと、遅れて「ヤッホー」と返事が返ってきます。これは自分の出した「ヤッホー」という音が、向かいの山に当たって跳ね返ってくるために起こるのです。このときの音は、自分と山との間を往復しています。

「ヤッホー」と叫んでから5秒後にやまびこが返ってきたとすると、

$$340 \times 5 = 1700 [\text{m}]$$

この距離は往復の距離なので、山までの距離はこの半分で、

$$1700 \div 2 = 850 [\text{m}]$$

です。音を使うことで、こちらの山から向かいの山までの距離を測ることができました。

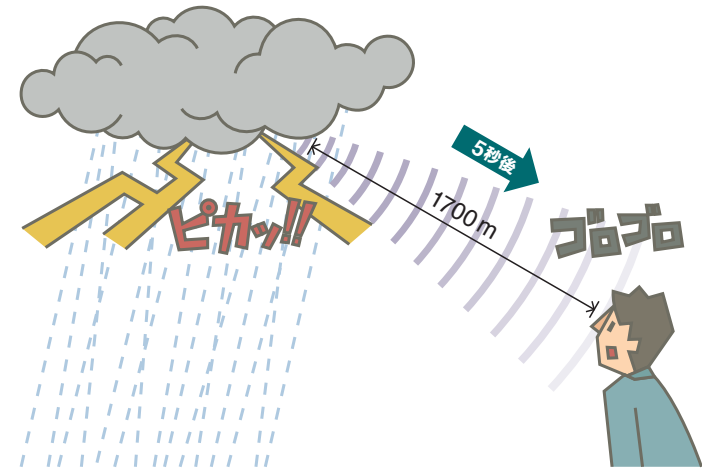
この計測では、「ヤッホー」という短い音がポイントです。音が帰ってくる間に次の音を出すことでどの音が帰ってきたかわからなくなります。

超音波を反射させると

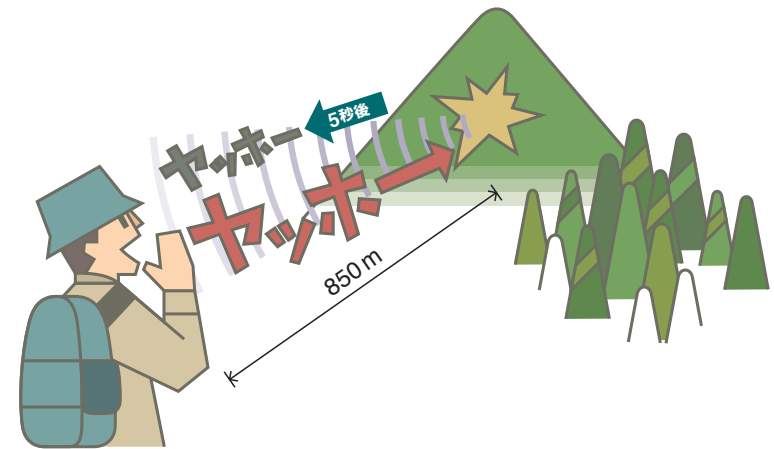
超音波でやまびこを起こすとどうなるでしょう？

超音波は可聴音と同じ音速で、さらに指向性が鋭いので、やまびこを利用するのに大変都合が良いのです。超音波のやまびこ(反射)では、反射する対象が比較的狭く、ピンポイントでの距離計測が可能です。超音波の反射を使った計測は大変便利です。例えば、超音波は人間には聞こえないため、声のやまびこのように大きな音が周りには聞こえません。光や電波が伝わりにくい水中でも超音波であれば伝搬するため、深い海や液体の中でも計測することができます。また、超音波は光や電波に比べてスピードが遅いため、数センチメートルから数キロメートル程度の距離を容易に計測できます。

●雷雲までどのくらい？



●「やまびこ」の原理で距離を測る



振動エネルギーを利用する

空気の振動が音。その振動エネルギーを直接利用すると・・・

振動エネルギーを利用すると

超音波洗浄、乳化処理、超音波溶着加工では、超音波の振動エネルギーを利用して、超音波の持つ振動エネルギーを液体、固体に放射し、洗浄、分散、乳化、溶着などの処理を行います。また、超音波振動を工具に伝えることで、超音波加工、超音波カッターなどを実現しています。

この目的の振動子の振幅は、数マイクロメートルから数十マイクロメートル程度です。目に見えないような、小さな振幅でも高い音圧、大きな振動加速度を持ち、比較的パワー密度が高く、振動エネルギーとして利用することができます。

振動エネルギーの応用

振動エネルギーの応用(超音波の動力的応用)例を右の表に示します。私たちに身近なものもあります。

超音波の動力的応用の代表的なものとして、洗浄(第3章-35)、霧化(第3章-60)、溶着(第3章-48)、切断(第3章-43)があります。

●洗浄

超音波を液中に照射し、その振動により汚れを落とします。

●霧化

超音波で液体を振動し、ミクロナ霧を生成します。

●プラスチックの溶着

プラスチックを超音波振動によって擦り合わせ、摩擦熱で接合します。

●切断

カッターの刃先を超音波振動することで切断効果を向上します。



海上実験で酔わない方法③ 魚探振動子設計者
魚群探知機の評価で海上実験に行ったときの話です。ある先輩社員に言われました。「酔いしれてきたら海に飛び込むと一発で醒めるぞ!」...実験の前に溺れてしまうんですが...

●超音波の動力的応用の例

名称と方法	用途
1 液体粒子の液中への分散	乳化液の製造
2 固体粒子の液中への分散	顔料の分散、チョコレート、印刷インキ、電気抵抗などの製造、顕微鏡試料の調製
3 洗浄:汚物などはく離、破壊、分散	機械部品、電子部品、半導体材料などの洗浄、しみ抜き
4 細胞膜の破壊	細菌などの毒素、酵素などの抽出
5 液体中の微粒子の集合	液中の微粒子の集合、沈降、原油中の水分の分離
6 気体中の微粒子の集合	排気ガス中の固体、液体粒子の集合、沈降(資源回収、公害防止)
7 電気めっき、過電圧状態の防止	めっき作業の改良、厚いめっき、電解、電鍍の促進
8 化学反応の促進: 接触反応面における拡散促進など	染色、結晶の析出、成長の促進、液相-液相間、液相-気相間、液相-固相間
9 金属表面の酸化皮膜の破壊	はんだ付け、酸洗いなど
10 金属凝固時の微細化	アルミニウム合金、銅合金、特殊鋼、その他の熔融金属
11 脱気:液中に溶けた気体の除去	写真感光液中の気泡の脱去、ビールの封入作業など
12 乾燥:水蒸気の拡散促進	粉体、紙、織物、食品など
13 硬脆材料の加工:衝撃の繰り返し	ゲルマニウム、ルビー、水晶、ステアタイトなどの結晶、焼結体、ダイヤモンドダイスの孔あけ、超硬質合金などの加工
14 超音波振動切削:衝撃の繰り返し	旋盤、ドリル盤、フライス盤、その他バイトによる切削加工
15 超音波塑性加工	金属線、管、棒の引抜き加工、押し出し加工、深絞り加工、金属箔、細線、薄板、異種金属などの溶接
16 金属の溶接:接合面における摩擦発熱	箔、細線、薄板、異種金属などの溶接
17 プラスチックの溶接: 接合面における塑性流動発熱	各種熱可塑性プラスチック類の溶接、金属のプラスチック中への植込み
18 疲れ試験	金属、セラミックスなどの高速疲れ試験
19 超音波モータ: 摩擦を介してトルクの発生	直線形モータ、回転形モータ
20 霧の発生:液体の微粒化	乾燥の軽減、液表面積の増大による接触反応の促進
21 医療器:生体の内部発熱と振動による新陳代謝	神経痛などの慢性病、外傷後遺症などの治療
22 集束超音波による治療: 焦点における機械作用、熱作用	大脳などの非切開手術、癌腫の撲滅
23 超音波メス:細胞の吸引、破砕作用、切れ味の増大	老人性白内障の手術、各種手術
24 細胞のはく離促進	子宮内壁、胃内壁の粘膜細胞のはく離促進 ⇒癌の早期診断

◎転載文献:「はじめての超音波」(超音波工業会/工業調査会/2004)

超音波応用のひろがり

超音波の多目的利用は・・・

超音波の使い方

超音波は、その使い方から

1. 情報信号を利用する通信的応用
 2. 振動エネルギーを利用する動力的応用
- に大きく分類されます。

通信的応用は、第1章-4に示した距離計測に代表されるように、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手法です。一方の、動力的応用は、第1章-5に示した振動エネルギーを利用することで実現されます。

応用例

右の図に、代表的な超音波装置を示します。通信的応用例として、魚群探知機、空中レベル計、超音波診断装置、超音波顕微鏡などがあります。また、動力的応用例では、超音波ウェルダ、超音波カッター、超音波洗浄機、超音波霧化器などが分類されます。第2章では、通信的応用、動力的応用に分け、超音波マップとしてより多くの例を示し、第3章にて、詳細の超音波技術を紹介します。また、第4章にて、超音波振動子を紹介し、その使い方についても説明します。





図解！産業別超音波マップ

超音波マップ

超音波技術の広がり

赤色文字：当社にて製品実績有り

用途 目的		産 業 分 野								
		運輸	製造業	化学・石油・ガス	建築・土木	上下水道	農林水産	食品・薬品	医療・福祉	生活・娯楽・家電
計測 (計る)	距離 (位置)	<ul style="list-style-type: none"> 車間センサ・車高調整装置 洗濯機用超音波センサ ガソリンタンクレベル計 モノレール衝突防止装置 水中翼船ハイトセンサ 大型船舶の接岸装置 波高計・波浪計・潮位計 	<ul style="list-style-type: none"> 液面レベル計 厚さ計 ボルト軸力計 三次元計測 三次元位置特定システム 	<ul style="list-style-type: none"> ガソリンタンクレベル計 灯油タンク残量計 プロパン残量計 厚さ計 検査ロボット位置検知 三次元位置特定システム 	<ul style="list-style-type: none"> 対向型距離計 積雪計 湖沼底泥測定装置 測深器 厚さ計 超音波側壁測定装置 海底地形探索 	<ul style="list-style-type: none"> 空中レベル計 液面レベル計 堰／配管流量計 界面レベル計 	<ul style="list-style-type: none"> 湖沼底泥測定装置 コンバイン用刈り高さセンサ 飼料残量計測 ソナー ダイバー用測深機 波高計・波浪計・潮位計 ネットソナデ (漁網モニタ) 三次元位置特定システム 	<ul style="list-style-type: none"> 液面レベル計 薬液タンクレベル計 液面レベル計 (棒レベル計) 	<ul style="list-style-type: none"> 血液タンクレベル計 身長計測 眼軸長測定装置 角膜厚さ測定装置 	<ul style="list-style-type: none"> 電子メジャー ペン座標 三次元動作解析 ダイバー位置測定装置 ダイバー用測深機 
	数量	<ul style="list-style-type: none"> 信号制御用センサ 駐車場管理システム 交通管制システム 	<ul style="list-style-type: none"> ATM用紙幣計数 				<ul style="list-style-type: none"> 魚数カウンタ 	<ul style="list-style-type: none"> 粉体センサ 		<ul style="list-style-type: none"> パチンコ玉カウンタ
	速度	<ul style="list-style-type: none"> 超音波ドブラ速度計 油種判別装置 車両速度計 	<ul style="list-style-type: none"> 弾性表面波速度計測 超音波音速顕微鏡 		<ul style="list-style-type: none"> 超音波潮流計 超音波風向流速計 沿岸波浪計 超音波波高計 	<ul style="list-style-type: none"> 超音波ドブラ速度計 	<ul style="list-style-type: none"> 作業車速度計 (ドブラ) 超音波潮流計 超音波風向流速計 		<ul style="list-style-type: none"> 骨密度 (踵骨音速) 測定 ドブラ診断装置 超音波音速顕微鏡 	<ul style="list-style-type: none"> 球速計
	比重	<ul style="list-style-type: none"> 液体比重測定 (燃料電池 / メタノール) 	<ul style="list-style-type: none"> 液体比重測定 	<ul style="list-style-type: none"> 液体比重測定 (燃料電池 / メタノール) 				<ul style="list-style-type: none"> 液体比重測定 		
	濃度	<ul style="list-style-type: none"> 超音波顕微鏡 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度計 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度計 	<ul style="list-style-type: none"> 生コンスラッジ濃度計 濃度計 (汚泥) 			<ul style="list-style-type: none"> 濃度計 		
	硬度		<ul style="list-style-type: none"> 硬度計 						<ul style="list-style-type: none"> 皮膚の柔軟性 / 硬さ測定 	
	粘度		<ul style="list-style-type: none"> 粘度計 					<ul style="list-style-type: none"> 粘度計 		
	音圧		<ul style="list-style-type: none"> 音圧計 						<ul style="list-style-type: none"> 血圧計用ピエゾセンサ 	<ul style="list-style-type: none"> 超音波スピーカ
	流量	<ul style="list-style-type: none"> 配管用流量流速計測 	<ul style="list-style-type: none"> 配管用流量流速計測 カルマン渦 / 超音波流量計 流量コントローラ 	<ul style="list-style-type: none"> 配管用流量流速計測 気体流量計 	<ul style="list-style-type: none"> 流速計測 気体流量計 開水路流量計 	<ul style="list-style-type: none"> 配管用流量流速計測 		<ul style="list-style-type: none"> 配管用流量流速計測 	<ul style="list-style-type: none"> 血流検知器 血液ドブラ流速計測 	<ul style="list-style-type: none"> ガスメータ
	用	感知 (感じる)	<ul style="list-style-type: none"> 車両検知 バックセンサ コーナーセンサ ゴルフカート衝突防止 パケット車用バリア ヘリコプター用障害物センサ 	<ul style="list-style-type: none"> 車両検知 (ドア開閉) 人追尾センサ (スボットクーラー用) コンベア物体検出 ボルト・キャップの締め具合 気泡検知センサ 	<ul style="list-style-type: none"> 車両検知 (ドア開閉) 防犯センサ クレーン用バリア 自動ドアセンサ (人検知) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動手洗い器用センサ ガラス破壊センサ (集音) 	<ul style="list-style-type: none"> 障害物センサ 果樹への無人薬剤散布 サメ探知 		<ul style="list-style-type: none"> 視覚障害者補助センサ 安全杖 血液タンク気泡検知センサ 入浴監視センサ 尿失禁防止装置 	<ul style="list-style-type: none"> 視覚障害者補助センサ 防犯センサ (バリア) 人感知センサ付玩具 紙検出センサ ガラス破壊センサ (集音)
聴音 (聞く)		<ul style="list-style-type: none"> 潜水艦 / 船舶ソナー ノイズ相殺 	<ul style="list-style-type: none"> エア漏れ検知器 超音波マイクロホン 	<ul style="list-style-type: none"> エア漏れ検知器 白蟻食音検知 木柱腐朽診断器 		<ul style="list-style-type: none"> 木柱腐朽診断器 				
探査 (探る)		<ul style="list-style-type: none"> レール探傷 スキャンニングソナー 金属の溶け込み深さ測定 電車架線探傷 テトラポット設置確認 	<ul style="list-style-type: none"> 金属丸棒探傷 - 内部探傷 アコースティックエミッション 断熱材 / 合板 / 煉瓦空隙検査 樹脂インゴットの空隙探傷 硬化焼入深さ測定装置 超音波顕微鏡・溶着溶接検査 超音波CCDカメラ 超音波可視化装置 超音波原子間力顕微鏡 材料表面検査測定装置 弾性率内耗測定装置 超低膨張ガラス評価装置 	<ul style="list-style-type: none"> 内部探傷 アコースティックエミッション 高圧タンク刻印読取 インピーダンス顕微鏡 超音波顕微鏡 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート亀裂探知 タイル剥離診断 埋設管腐食チェック 地中探査 水中探査 断熱材 / 合板 / 煉瓦空隙検査 	<ul style="list-style-type: none"> 木材中電線探査 壁内空隙検査 	<ul style="list-style-type: none"> 魚群探知機 動物用診断装置 超音波顕微鏡 サーチライトソナー 超音波カメラ インピーダンス顕微鏡 牛肉の肉質評価 	<ul style="list-style-type: none"> インピーダンス顕微鏡 超音波顕微鏡 	<ul style="list-style-type: none"> 人工骨欠陥探傷 体内三次元動態可視化 エラストグラフィ 眼科用画像診断装置 皮下脂肪測定器 血管壁組織性状診断 医用超音波顕微鏡 インピーダンス顕微鏡 骨髄炎装置 妊娠診断装置 超音波診断装置 	<ul style="list-style-type: none"> 魚群探知機 ガラス割れ / 傷検知 超音波CCDカメラ 超音波指紋認識装置 
通信 (伝える)	<ul style="list-style-type: none"> 路車間通信 	<ul style="list-style-type: none"> 骨伝導通信機器 		<ul style="list-style-type: none"> パラメトリックスピーカ 水中通信システム 		<ul style="list-style-type: none"> 水中通信システム 海洋牧場 / 栽培漁業 イルカ / シャチ忌避 海洋生物テレメトリ ハットディテクタ 鳥獣忌避 / 防除 蚊 / ダニの退治 (防除) 		<ul style="list-style-type: none"> 聴覚障害者用骨伝導通信機器 	<ul style="list-style-type: none"> 圧電プザー・超音波楽器 超音波リモコン パラメトリックスピーカ 蚊 / ダニの退治 犬 / 猫侵入防止器 ゴキブリ / 鼠防除 	

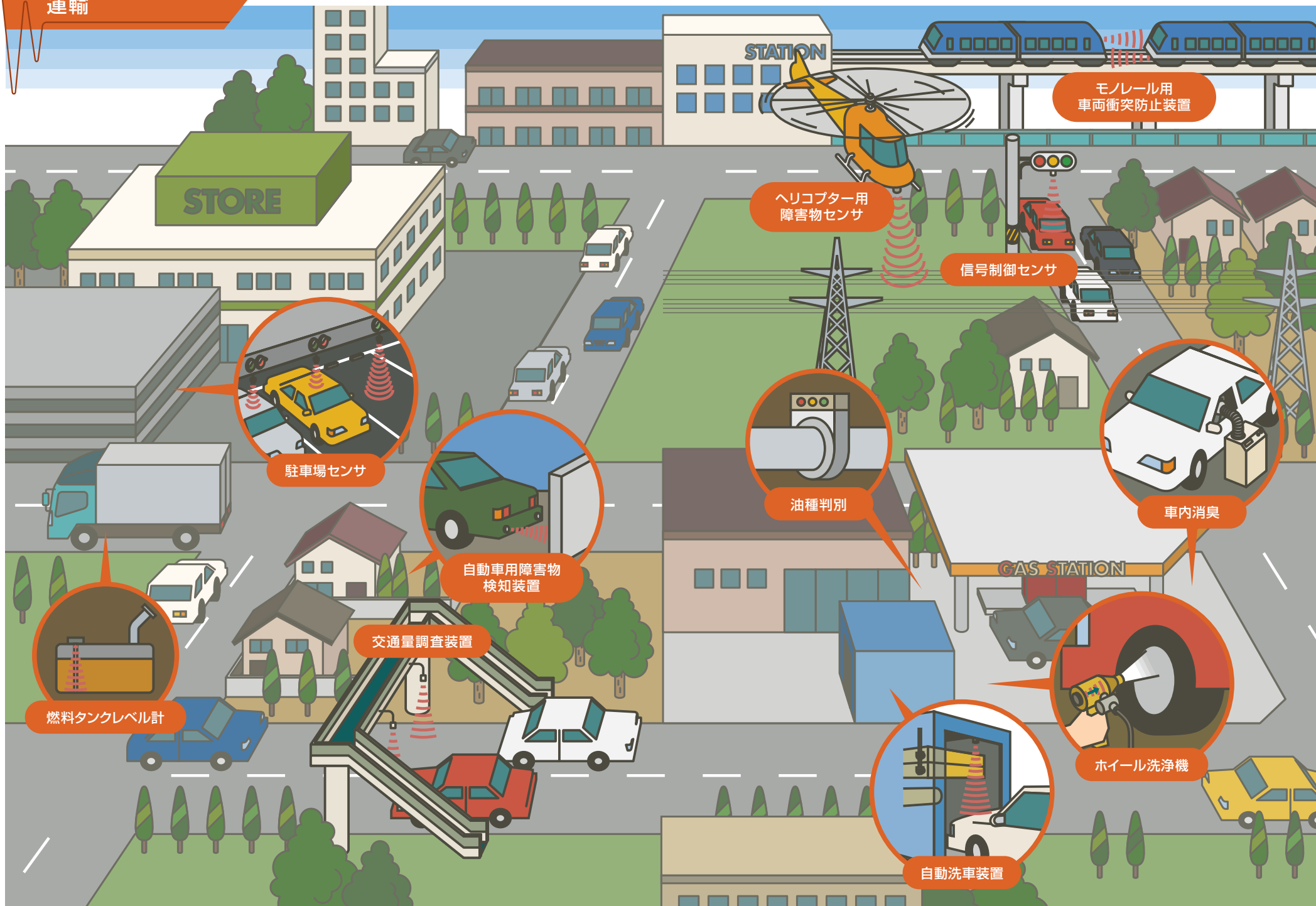
超音波マップ

超音波技術の広がり

赤色文字：当社にて製品実績有り

用途 目的	産 業 分 野									
	運輸	製造業	化学・石油・ガス	建築・土木	上下水道	農林水産	食品・薬品	医療・福祉	生活・娯楽・家電	
洗浄 (洗う)	<ul style="list-style-type: none"> ・タイヤホイール洗浄 ・部品のメッキ前洗浄 ・噴射ノズルの洗浄 ・部品の洗浄 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウェーハエッジ洗浄 ・CMP洗浄 ・フィルター洗浄 ・メタルマスク洗浄 ・液晶ガラス洗浄 ・パルスジェット付ダイシングソー ・塗装前洗浄 ・フープ材洗浄 ・HDD部品洗浄 ・化学繊維ノズルの洗浄 ・精密部品真空洗浄 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶剤タンクの洗浄 ・メッキ前洗浄 ・塗装ノズルの洗浄 ・理化学実験器具洗浄 	<ul style="list-style-type: none"> ・排水パイプの洗浄 		<ul style="list-style-type: none"> ・野菜の洗浄 ・噴霧器の洗浄 	<ul style="list-style-type: none"> ・もやしの根の洗浄 ・食器 / 器具の洗浄 ・うす / きねの洗浄 ・アンプルの洗浄 	<ul style="list-style-type: none"> ・手術用器具洗浄機 ・スリッパ洗浄除菌装置 ・真空超音波洗浄機 ・バイオピン洗浄 ・胃カメラケーブル洗浄 ・手の洗浄 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンタクトレンズ洗浄 ・家庭用シンク洗浄機 ・流水式野菜洗浄機 ・エアコンフィルタ洗浄 ・めがね洗浄機 ・レンジ台洗浄 ・カーテン洗濯 ・しみ抜き機 	
動力 (動かす)	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波モータ ・パウダーフィーダ ・ステアリングの上下 ・ヘッドレストの昇降 ・ペーパーフィーダ 	<ul style="list-style-type: none"> ・原料供給用粉体フィーダ ・積層型アクチュエータ 	<ul style="list-style-type: none"> ・粉体フィーダ 				<ul style="list-style-type: none"> ・粉体フィーダ 		<ul style="list-style-type: none"> ・超音波モータ ・圧電ファン用 ・バイモルブ型アクチュエータ ・圧電ポンプ ・圧電トランス ・カメラレンズ焦点 	
浮遊 (浮かす)	<ul style="list-style-type: none"> ・浮遊搬送 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波搬送装置 ・超音波集塵器 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波マニピュレーション 							
振動 (震わす)	<ul style="list-style-type: none"> ・マフラーの拡管 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波フィーダ ・金属パイプの拡管 ・粉末冶金金型挿入 ・加工機テーブル振動 ・搬送ダクトの詰まり防止 ・成型金型分離 ・超音波ふるい器 	<ul style="list-style-type: none"> ・トナーのふるい 	<ul style="list-style-type: none"> ・防藻 ・可溶性促進 ・ホッパーの付着防止 		<ul style="list-style-type: none"> ・防藻装置 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホッパーの付着防止 ・超音波苔抑制装置 ・薬品のふるい 		<ul style="list-style-type: none"> ・水垢 / 湯垢付着防止 ・超音波歯ブラシ 	
切削 (切る・削る)		<ul style="list-style-type: none"> ・基板のパターンカット ・切削バイト振動体 ・ワイヤー被覆切断 ・金型の研磨 ・刻印器 ・スチロールのカット ・粘土の穴あけ 	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂のバリ取り 	<ul style="list-style-type: none"> ・模型作り用カッター 		<ul style="list-style-type: none"> ・ホタテの糸切断 	<ul style="list-style-type: none"> ・POP作り用カッター ・ハンディーカッター ・冷凍食品のカット ・ケーキカッター 	<ul style="list-style-type: none"> ・ギブスカッター ・バイオブシメス ・超音波メス ・歯科技工用カッター ・スクレーラ ・マウスピースケース開封 	<ul style="list-style-type: none"> ・プラスチック模型カット ・帆船模型カット ・めがね試作品カット 	
破碎 (砕く)		<ul style="list-style-type: none"> ・コーティング材の微分化 	<ul style="list-style-type: none"> ・染色物質の粉碎 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート破碎装置 ・汚泥の可溶性 ・超音波可溶性処理 		<ul style="list-style-type: none"> ・超音波破碎器 ・アオコ駆除 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホモジナイザ 	<ul style="list-style-type: none"> ・水晶体吸引装置 ・結石破壊・細菌駆除 ・ドラッグデリバリーシステム 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボウフラ駆除 	
接合 (くっつける)		<ul style="list-style-type: none"> ・不織布の溶着 ・化繊布仮止め ・超音波ミシン ・超音波はんだ付け ・接着剤硬化促進 				<ul style="list-style-type: none"> ・花ポットラベル溶着 	<ul style="list-style-type: none"> ・バック溶着 ・納豆バック溶着 ・ビニール袋溶着 ・お茶バックの溶着 	<ul style="list-style-type: none"> ・薬包の溶着 ・チューブの溶着 	<ul style="list-style-type: none"> ・エクステンション取り付け ・バック溶着 	
発電 (電気を作る)	<ul style="list-style-type: none"> ・発電 			<ul style="list-style-type: none"> ・発電 					<ul style="list-style-type: none"> ・発電 	
化学反応 (変える)	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料改質用装置 	<ul style="list-style-type: none"> ・ソノプラズマ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ソノリアクター ・ソノプラズマ ・ソノケミストリ 	<ul style="list-style-type: none"> ・VOCの無害化 		<ul style="list-style-type: none"> ・VOC土壌汚染浄化 				
浸透 (染み込ませる)	<ul style="list-style-type: none"> ・フロントガラスリペア 	<ul style="list-style-type: none"> ・繊維の染色 						<ul style="list-style-type: none"> ・超音波なべ 	<ul style="list-style-type: none"> ・検体への薬液浸透 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波炊飯器
促進 (早める)		<ul style="list-style-type: none"> ・接着剤硬化促進 				<ul style="list-style-type: none"> ・水の改質 	<ul style="list-style-type: none"> ・漬物材料の脱塩 ・酒の改質 	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクログラブル選択分解 ・超音波骨折治療器 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波美容機 	
分離 (分ける)		<ul style="list-style-type: none"> ・塗料の脱泡 ・加工機用冷却水の脱泡 ・ウルトラファインパブルの生成 				<ul style="list-style-type: none"> ・香料の抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ・乳化 ・超音波洗浄機 ・ビール泡生成 		<ul style="list-style-type: none"> ・薬草の抽出 	
攪拌 (混ぜる)		<ul style="list-style-type: none"> ・液晶のスペーサ 	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクログラブルの攪拌 	<ul style="list-style-type: none"> ・流動酸化促進装置 	<ul style="list-style-type: none"> ・(アオコ処理) 			<ul style="list-style-type: none"> ・スクレーラ 	<ul style="list-style-type: none"> ・レジオネラ菌の分散 	
霧化 (霧にする)	<ul style="list-style-type: none"> ・車用加湿器 ・車両消臭霧化 	<ul style="list-style-type: none"> ・消臭剤噴霧 ・金属酸化膜薄膜形成 ・FTO膜形成 ・ZnO成膜装置 ・静電気防止 ・IPAの再生 ・酸化物との除去 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波分離装置 ・アルコール燃料濃縮 ・バイオマスからのエタノール抽出 ・ガソリンのオクタン価改善 	<ul style="list-style-type: none"> ・消臭除菌 		<ul style="list-style-type: none"> ・薬剤散布 ・キノコ栽培 ・加湿器 (乾燥防止) 	<ul style="list-style-type: none"> ・回転寿司乾燥防止 ・野菜販売時乾燥防止 ・酒の濃縮 ・アルコールの霧化分離 	<ul style="list-style-type: none"> ・院内感染防止霧化器 ・老人介護用消臭霧化 ・演出用霧化器 ・ネブライザ ・タラソテラピー ・消臭剤霧化 	<ul style="list-style-type: none"> ・アロマ芳香器 ・除菌消臭 ・演出用霧化器 ・消臭 ・加湿器 ・エステ用スチーマー 	

計測
感知
聴音
探査
通信
洗浄
動力
反応
霧化
運輸
製造業
化学・石油・ガス
建築・土木
上下水道
農林水産
食品・薬品
医療・福祉
生活・娯楽・家電



モノレール用
車両衝突防止装置

ヘリコプター用
障害物センサ

信号制御センサ

駐車場センサ

油種判別

車内消臭

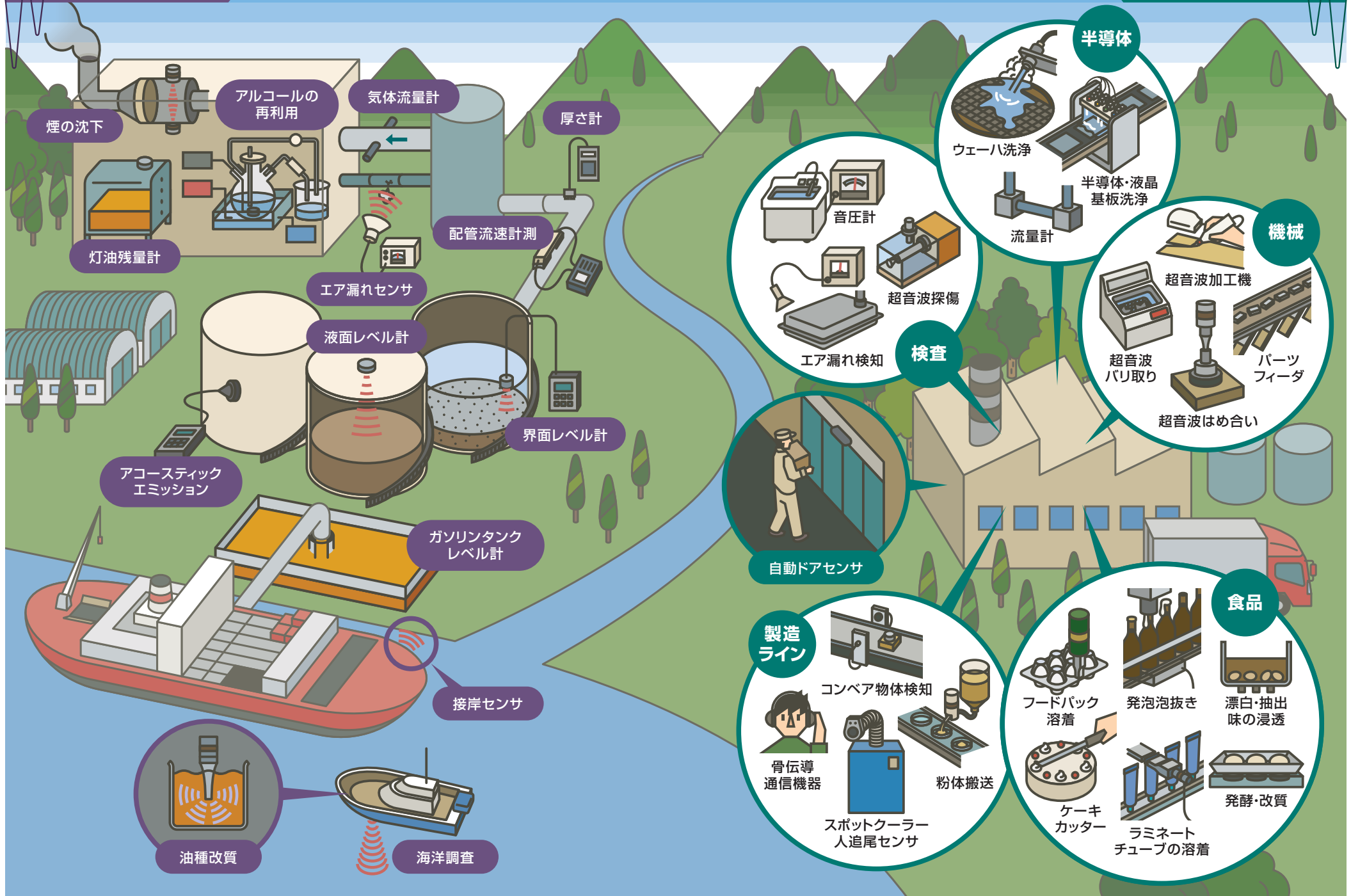
自動車用障害物
検知装置

交通量調査装置

燃料タンクレベル計

ホイール洗浄機

自動洗車装置



煙の沈下

アルコールの再利用

気体流量計

厚さ計

灯油残量計

配管流速計測

エア漏れセンサ

液面レベル計

界面レベル計

アコースティックエミッション

ガソリンタンクレベル計

接岸センサ

油種改質

海洋調査

半導体

ウェーハ洗浄

半導体・液晶基板洗浄

流量計

機械

超音波加工機

超音波バリ取り

パーツフィーダ

超音波はめ合い

音圧計

超音波探傷

エア漏れ検知

検査

自動ドアセンサ

製造ライン

コンベア物体検知

骨伝導通信機器

粉体搬送

スポットクーラー
人追尾センサ

食品

フードパック溶着

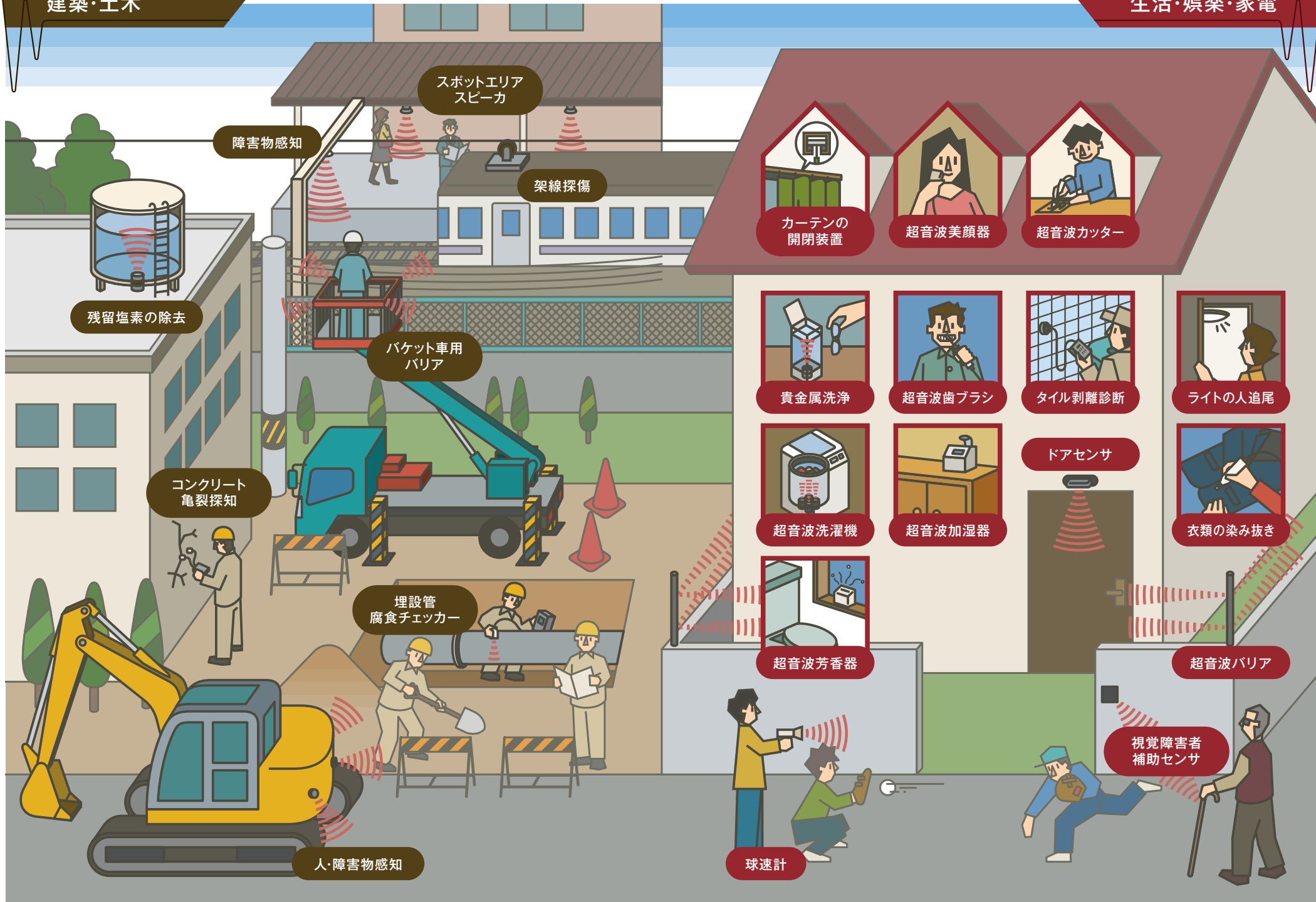
発泡泡抜き

漂白・抽出味の浸透

ケーキカッター

ラミネートチューブの溶着

発酵・改質



障害物感知

スポットエリア
スピーカ

架線探傷

残留塩素の除去

バケット車用
バリア

コンクリート
亀裂探知

埋設管
腐食チェッカー

人・障害物感知

カーテンの
開閉装置

超音波美顔器

超音波カッター

貴金属洗浄

超音波歯ブラシ

タイル剥離診断

ライトの人追尾

超音波洗濯機

超音波加湿器

ドアセンサ

衣類の染み抜き

超音波芳香器

超音波バリア

球速計

視覚障害者
補助センサ



飼料タンクレベル計

果樹への無人薬剤散布

動物用診断装置

湖沼底泥測定装置

農業集落排水
汚泥界面レベル計

食品のSの検知機

刈り高さセンサ

魚数カウンタ

除菌・消臭

アオコ除去

超音波洗米機

ドブラ速度計

パック溶着

液面タンク
レベル計

超音波洗浄機

流量計・流速計

車検知
自動ドアセンサ

海洋生物テレメトリー

魚群探知機

サメ探知

測深器

波高計・潮位計

カキや藻の付着防止

海洋牧場・栽培漁業

手術室

超音波洗浄機

超音波メス

超音波手洗器

治療室

ぬり薬の吸収促進

超音波ネブライザ

超音波ギブスカッター

病室

血液タンク
気泡検出センサ

入浴監視センサ

アラーム通告

平常時

異常発生

待合室

除菌・消臭

診察室

妊娠診断装置

骨観察装置

超音波診断装置

超音波歯石除去

眼軸長測定

保育ルーム

芳香

超音波リモコン

人感知センサ付玩具



超音波技術紹介

※超音波の技術紹介であり、
当社で対応していないものも含まれます。

距離計測

距離計測は超音波計測の基本。どうやって距離を測るのだろう？

超音波による距離計測

●距離を測るには？

距離を測るときに使う道具は何でしょうか？定規やメジャーを思い付く人が多いでしょう。しかし、物体までの距離を知りたい場合には、メジャーの端を揃えて目盛りを読み取らなくても、超音波を当てて跳ね返ってくるまでの時間を計るという方法で、距離を計測することが可能です。人が入るには危険な場所での計測や、タンク内の液量を連続的に計測・管理する場合などに超音波距離計測は有用です。空中でも液中でも金属の中でも、音が伝わる環境ならば、超音波による距離計測が可能です。

超音波による距離計測の原理

●距離=速度×時間 音速と伝搬時間から距離が分かる

超音波を対象物（液面、固体等）に向け発信すると、境界面で反射して超音波が戻ってきます。音速が分かれば、超音波が戻って来るまでの時間を計測することで、対象物までの距離を知ることができます。対象物までの距離 L は、音速を C 、発信から受信までの時間を t とすると

$$L = C \times t / 2$$

で求められます（図3-1①）。

ところで、音（超音波）の速度は、空気中や水中など、音を伝える媒体によって異なります。また、空気中の音速は約340 m/sですが、厳密には温度、湿度によって変化します。例えば、温度が高いほど音速が速くなる傾向があり、乾燥空気の温度を T [°C]とした場合、音速 C [m/s]は次の式で表されます。

$$C = 331.5 \times ((273 + T) / 273)^{\frac{1}{2}}$$

または実用式として

$$C = 331.5 + 0.6T$$

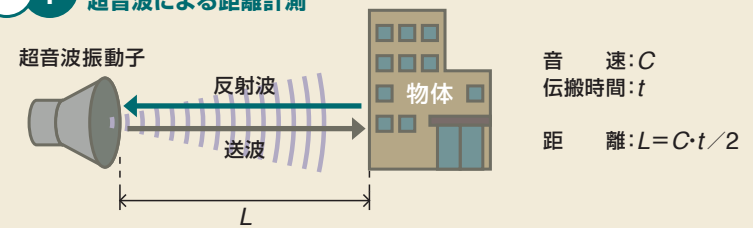
このため、超音波送受信器に温度センサを内蔵して、温度補正を行うことが一般的です。



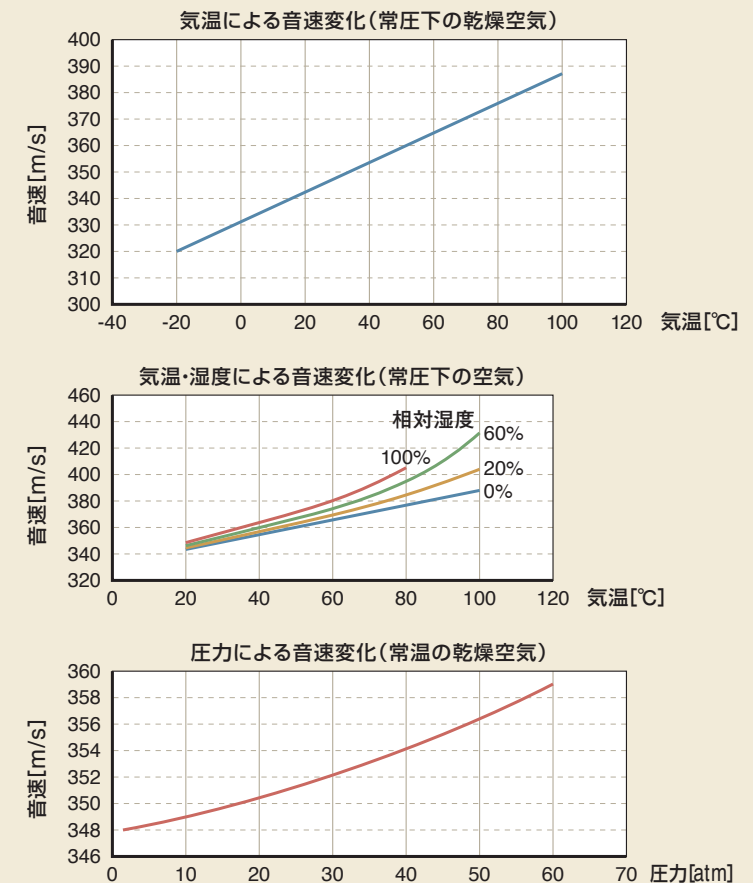
仕事中に病気発見！

医療機器を検査している時に、自分の体で見ながら微細な調整をしていた生産担当者が、いつもと違う白い影を見つけました。病院で診察すると、なんと石ができていたという驚愕の事実が…！早期発見、早期治療で、無事に現在も医療機器の品質をチェックしています。

3-1 ① 超音波による距離計測



3-1 ② 温度・湿度・圧力による空気中の音速変化



距離計測用の超音波振動子

●重要なのは超音波の指向特性と到達距離

超音波の送受信には超音波振動子を使用します。超音波振動子は、超音波の発信機でもあり、受信センサの役割も果たします。したがって、送受信を一つの超音波振動子で行う場合、音を出している間(振動子駆動時間の間)は受信できないことになります(この時間を不感帯といいます。)距離計測用の超音波の周波数は、20 kHzから400 kHzが使用されますが、周波数の選定は、以下の理由から超音波の指向特性と到達距離により決定されます。

- ① 周波数が低い(波長が長い)ほど、減衰が小さく、遠くまで届く
- ② 周波数が高い(波長が短い)ほど、距離分解能が高い

以上より、長距離用には低周波の超音波振動子を、近距離用には高周波の超音波振動子を用います。図3-1③に、超音波の周波数と空気中における距離計測の目安を示します。また、図3-1④に示すように、計測対象の材質によっても反射損失が変わってくるため、この点も考慮する必要があります。

超音波による距離計測の特徴

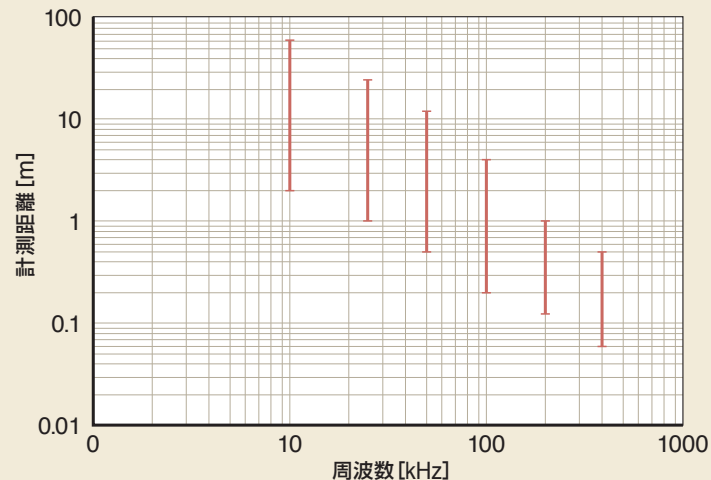
●超音波は速度が遅く、波長が短いから精度が良い

波動による距離計測としては、超音波の他に、光波、電磁波等が利用されています。いずれも直進性、反射、干渉などの波動の性質を利用したのですが、伝搬速度、波長の違いから、それぞれに得手不得手があります。超音波による距離計測の特徴としては、

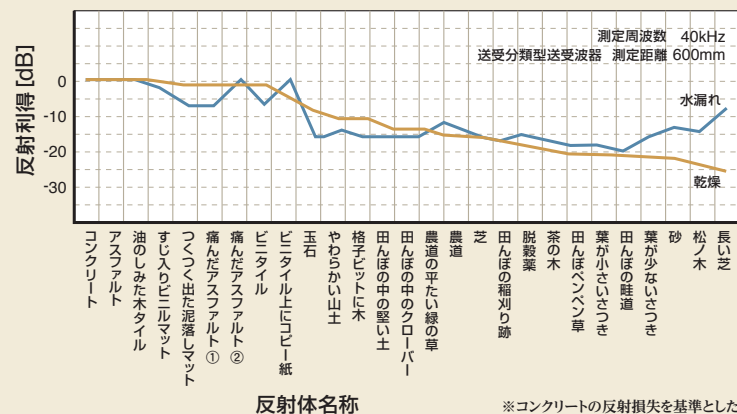
- ① 電磁波、光波に比べて伝搬速度が遅かに遅いことから、計測に要する時間軸が長く、精度良く測定できます
- ② 電磁波に比べて波長が短いため、分解能が高く、精度良く測定できる
- ③ 人体への安全性が高く、環境にも優しい
- ④ 比較的安価である
- ⑤ 光の透過度の悪い液体や固体中での距離計測や、光が反射しない透明な物体までの距離計測に有利である

といった点があります。逆に、気泡を含んだ液体中など、減衰が大きくなってしまような条件下での計測には、超音波は不向きです。また、ピンスポットの微小領域の変位を知りたい場合には、指向性が強い光学式のほうが有利です。

3-1 3 超音波の周波数と空気中における距離計測の目安



3-1 4 超音波の反射利得特性



ここにも観葉植物が!

超音波ドアセンサ販売の話。近づく人に反応し静止した人間も検知できることから、焦電型よりも自動ドアの開閉において高い安全性が確保できると期待された超音波自動ドアセンサでした。しかし、日本では自動ドア近傍に観葉植物を置かれることが多く、静止した人との区別ができないために普及に至りませんでした。

液量計測

こんなところでも、超音波による距離計測が使われています。

超音波による液量管理

●タンク内の液量管理も、原料の残量管理も超音波センサで!

超音波レベル計では、超音波が液面で反射することを利用して、超音波センサから液面までの距離を計測しています。この技術を用いると、タンク内の液量管理や、原料の残量管理などを行うことができます。

液量管理では、超音波センサからタンク底面までの距離(L)をあらかじめ与えておいて、液面までの距離(l)の計測結果を元に液量を算出します。計測方法としては、図3-2①に示すように気中から液面での反射を利用する方法と、図3-2②に示すように底面から超音波を送信して気体との境界面での反射を利用する方法とがあります。工場、プラントでは、液面の上昇・下降をリアルタイムに計測して、タンクへの流入量・流出量を制御するといった活用がされています。

また、液面と同様に、粉体の場合でも超音波の反射信号が検出できるため、原料等の残量管理にも使用することができます(図3-2③)。粉体は超音波の反射損失が液体に比べ大きいので、液体のレベル計の半分くらいの距離レンジで使用されるのが望ましいとされています。

槽内の界面レベル計測

●タンク槽内の界面レベル計測にも応用しています

同じ技術を用いて、タンク槽内で2層分離しているような場合の界面レベルの判定も可能です。界面レベル計として商品化されており、槽内の界面状態の監視や、分離した液体のそれぞれの量の把握、污泥の沈降状態の把握などに利用されています(図3-2④)。



製品紹介

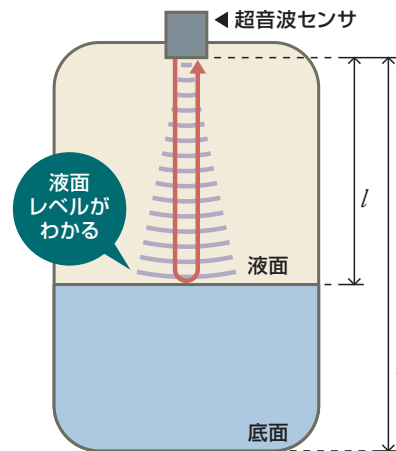
本多電子関連ページ



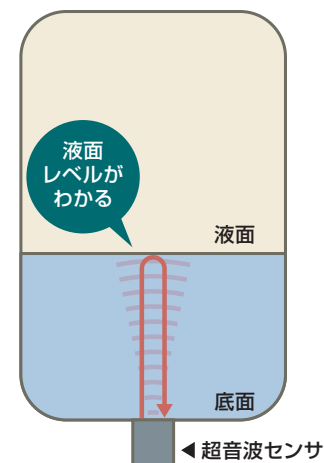
超音波の天敵は蜘蛛?

飼料タンクにつけたレベル計からの通信情報でエコーが取れなくなる不具合が発生しました。確認し現場に行ったら、飼料タンクの上部につけた超音波センサのホーン内部になんと、蜘蛛が巣を作っていてエコーが取れなくなっていました。これはホーン前面に網を張ることで解消しました。

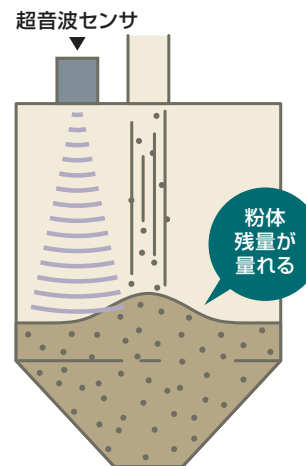
3-2 ① タンク内の液量管理



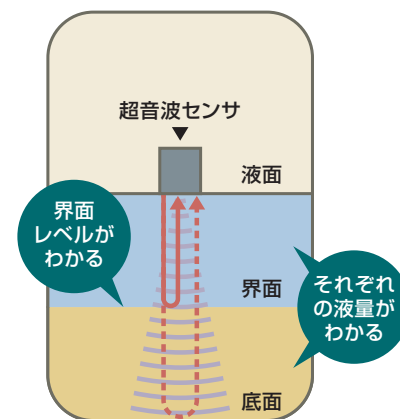
3-2 ② タンク内の液量管理



3-2 ③ ホッパー内の原料残量管理



3-2 ④ 界面レベル計測



せき 堰流量計測

堰を越えて流れる水量も、超音波で量れます。

計測

感知

聴音

探査

通信

洗浄

動力

反応

霧化

堰式流量計とは？

●堰を超える水位から流量が分かる

水路の途中や末端に仕切板(堰板)を設けて、堰板の頂部を越えて流水が溢れ出す状態とした時、その流量と堰板の上流側水位との間には一定の関係が成り立ちます。この関係を用いて流量を算出する流量計を堰式流量計と言います。堰式流量計は、開水路用の流量計の代表であり、水処理施設や工場・生活排水、ダムなどで広く用いられています。古くは、目視により、堰に刻まれた目盛りを読み取っていましたが、現在では、水頭のレベル検出に超音波レベル計が使用されるケースが増えています。

超音波レベル計を用いることのメリットとしては、

- 流量の連続監視が可能
 - 通信処理を行うことで、監視現場に行かなくても流量を知ることができる
 - 外部制御機器等に制御信号を出力することができる
- といったようなことが挙げられます。

堰式流量計の流量式

●堰形状により流量式が決められています

堰の形状によって、三角堰、四角堰、パーシャルフリューム、パーマボラスフリューム等と呼ばれ、それぞれに流量の計算式が異なります。堰の形状と流量式についてはJIS等で定められているように、

$$Q = Kh^{\frac{5}{2}}(\text{三角堰}) \quad Q = Kh^{\frac{3}{2}}(\text{四角堰})$$

といった式から、水頭の水位 h から流量 Q を求めることができます。ここで K は堰の形状や流体の動粘性係数などによって決まる係数です。当社の超音波堰流量計では、堰形状に合わせて上記の計算をソフト上で処理して流量を表示させており、複雑な計算は不要です。

◎参考文献:「計装エンジニアのための流量計測AtoZ」((社)日本計量機器工業連合会/工業技術社/1996)



製品紹介

本多電子関連ページ



イッシー探検

十数年前、池田湖のイッシー探検に行く事になりました。冗談半分での探検でしたが、なんと、予想外に大きなエコーが確認され、探検といいながら見つかった時のことを考えていなかったため、探査員全員が恐怖してしまい慌てて逃げ出す羽目になりました。

計測

感知

聴音

探査

通信

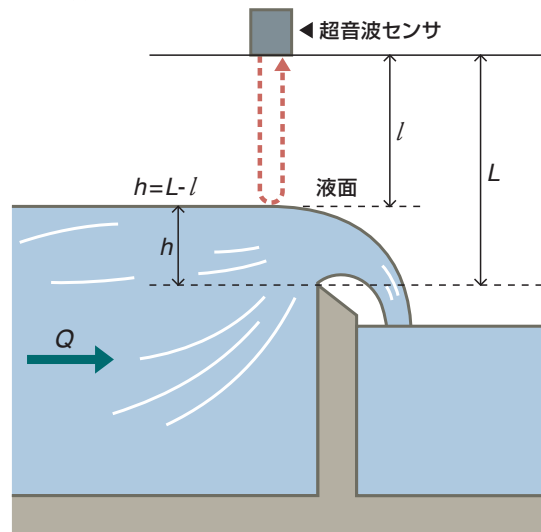
洗浄

動力

反応

霧化

●堰式流量計



●堰式流量計の設置例



運輸

製造業

化学

石油・ガス

建築・土木

上下水道

農林水産

食品・薬品

医療・福祉

生活・娯楽

家電

水処理管理

水処理の管理に超音波は使われているの？

水処理システムと超音波

●システムの自動化に一役買っています

水中を伝わりやすく、水面、界面での反射が得られる超音波は、その特徴から、水処理の現場でも幅広く利用されています。例えば、空中レベル計を用いて槽の液量管理が可能です。また、超音波センサを沈殿槽に入れると、槽内の汚泥の沈殿状態などの把握が可能です。

近年、環境保護、水資源の有効利用から、水処理施設の整備、合理化の需要が高まる中、システムの連続監視、自動制御を実現する上で、超音波計測の活躍の場が広がっています。

水処理管理で使用されている超音波応用製品の実例

●液量管理から濃度計測、槽内監視まで、様々な応用がなされています

図3-4①に示すように、一般的な水処理システムにおいて、超音波センサは、以下に挙げるような場面で利用されています。

- ① 槽の液量計測(レベル計)⇒第3章-2
- ② 配管や堰の流量計測(流量計)⇒第3章-3
- ③ 沈殿した汚泥の界面深さや浮遊物の観測(界面計)⇒第3章-2
- ④ 汚泥の濃度計測(濃度計)⇒第3章-14
- ⑤ 汚泥の沈降速度の計測(汚泥沈降計)

これらの計器による測定データから、槽への薬剤投入、流入量・流出量の制御、温度管理などを行うことで、効率的な水処理システムが構築されます。また、最近では、現場データを遠隔地で監視・管理するシステムも導入されており、現場巡回員の削減や、蓄積データの解析による水処理の効率化が図られています。

用語辞典

【好気処理】酸素を必要とする微生物による分解処理。

【嫌気処理】無酸素下で生存する微生物による分解処理。

【脱水ケーキ】下水汚泥などの液中混濁物質から液体成分を脱水して得られる固形物。脱水汚泥。



製品紹介

本多電子関連ページ



名機HE767も使い次第

HE767シラスセクターを甲斐漁港のとある船で試験した時のことです。現れたすばらしい反応に一番網を投網したところ、なんとクラゲの大群！網は使用不能となり、やむなく漁は終了。幸い、後日の漁で本領発揮したHE767のお陰で新規開拓は成功しましたが、怖い船頭さんの顔を忘れることはありません。

計測

感知

聴音

探査

通信

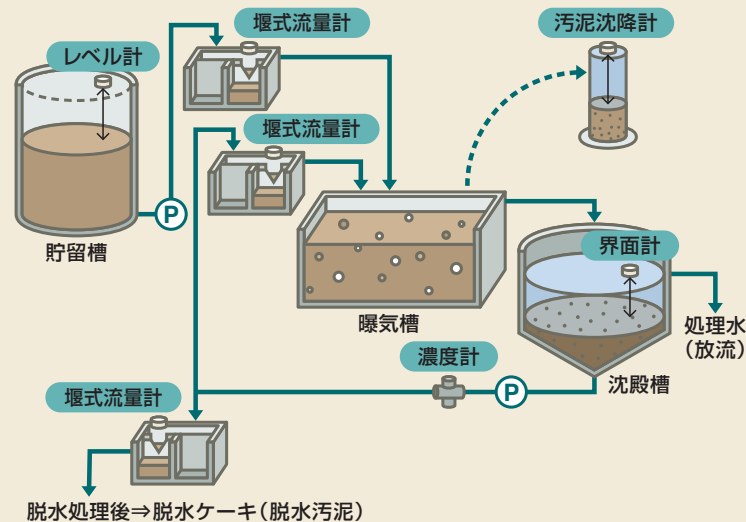
洗浄

動力

反応

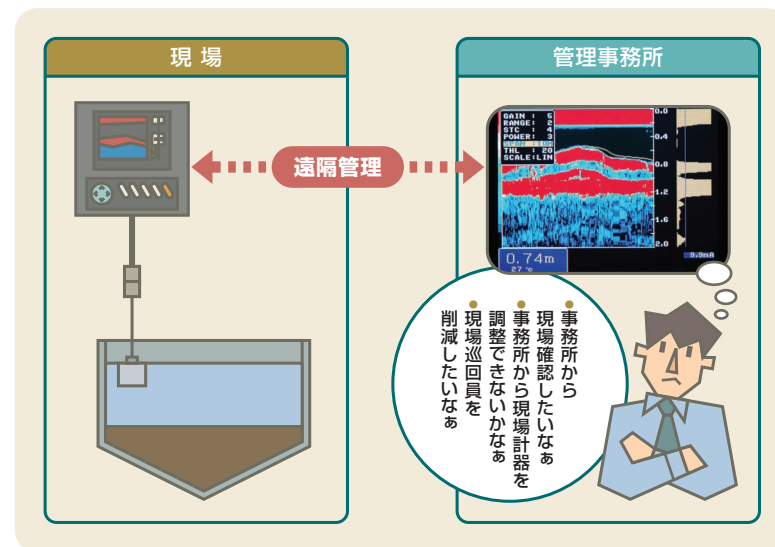
霧化

3-4 ① 水処理現場で用いられている超音波(好気処理の例)



脱水処理後⇒脱水ケーキ(脱水汚泥)

- 産業廃棄物(焼却、埋め立て)
 - 資源化利用(焼結レンガ、コンポスト肥料)
 - エネルギー化(生物発酵メタンガス、バイオマス発電)
- ※嫌気処理の場合



●事務所から現場確認したいなあ
●事務所から現場計器を調整できないかなあ
●現場巡回員を削減したいなあ

運輸

製造業

化学

石油・ガス

建築・土木

上下水道

農林水産

食品・薬品

医療・福祉

生活・娯楽

家電

水深測定

懐中電灯？ いえ、海底、湖底までの距離が分かるんです。

水深測定とは？

●超音波を利用して、海や湖沼の深さが分かります

測定原理は魚群探知機と同様で、超音波の伝搬時間による距離計測ですが、水深測定機では、底質の硬さや魚群の情報を処理する必要がないため、それほど複雑な回路も必要無く、小型化が可能となっています。ディスプレイや紙に記録を残すもの他に、水深がデジタルで表示されるだけの簡単なものもあります。

また、船に取り付けて使用するものだけでなく、手に持って使用できる小さなものもあり、スキューバダイビングなどに使用されています。

水深測定の用途

●レジャーや土木工事で使われています

主な用途として、釣りをするときのボートや岸壁からの水深を測ったり、ヨットなどで自艇が通れる水路を探したりできます。また、川や湖の建設作業現場での調査、研究等にも適しています。

ポータブルタイプのものでは、スキューバダイビングのときに海底、湖底までの深さを測ったり、水面までの距離(自分の現在深度)を測ることができます。また、前後左右の障害物や目標物までの距離を測ることもできます。

コラム

「魚探実験で逮捕!」

消防署からも引き合いが来る魚群探知機。湖や港での事故などで沈んだ人や車などを探すのに利用されています。

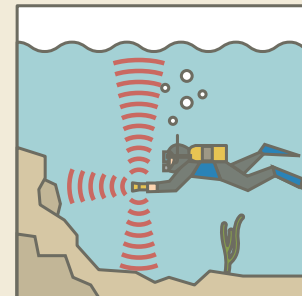
引き合いが来た当初は、人が見えるかどうかの実験をしようということで、ある川でマネキンを沈めてテストをしていました。それを見た方が、死体を捨てていると思い、警察に通報。事情聴取となりました。そんな苦労があって、今では多くの消防署で利用されています。



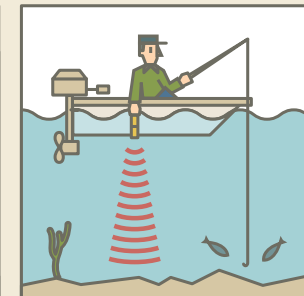
製品紹介

本多電子関連ページ

●水深測定機の一例



スキューバダイビング



釣り



PS-7

PS-7FL



超音波が体をリラックスさせる?

CDを聞いていて疲れることはありませんか?それに比べて、レコードはゆったりした気持ちで聞き入ることができますよね。その理由は、CDは可聴音域(20~20kHz)のみでクリアな音を再生するからです。レコードは、針の振れによって高調波である超音波領域の音も一緒に出しているのです。

湖底・海底観測

光が届きにくい湖底や海底も、超音波なら見えます。その原理は？

超音波による湖底・海底観測

●湖底の深さや、ヘドロの堆積状況が分かります

湖底や海底を観測する場合、透明度が良ければ50 m以上見られることもあります。1000 mを超えるような深海や、浅くても汚泥やヘドロ等により濁っている場合は、光を利用した通常のカメラでは観測不可能になります。超音波を利用すれば、そのような透明度の悪い条件であっても、湖底や海底の観測が可能になります。応用例として、海底地形図の作成が挙げられます。

湖底・海底観測機の原理

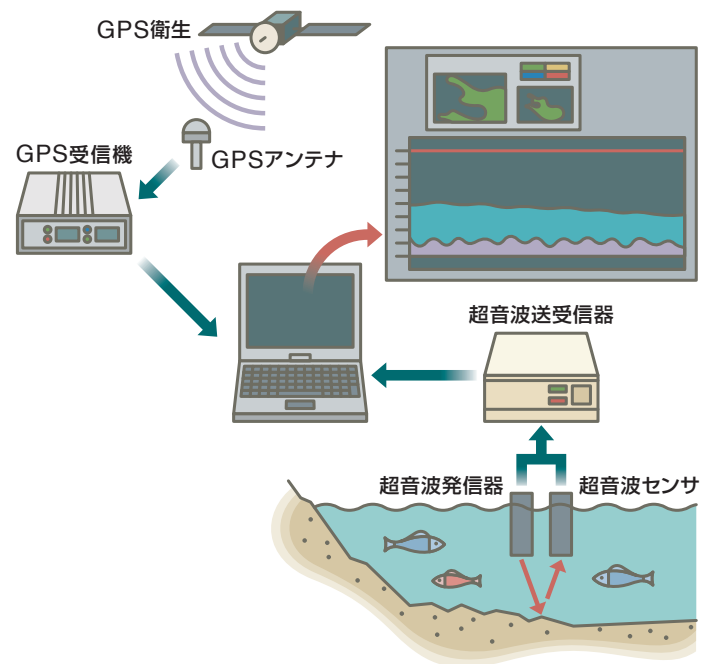
●基本原理は魚群探知機と同じですが、特別な工夫があります

超音波を利用した水中観測と言えば「魚群探知機」が身近で一般的です。超音波湖底・海底観測機も水中を見るという基本原理は魚群探知機と同じです。しかしながら、魚ではなく、水底を見るためにさまざまな工夫がなされています。

まず、目的に応じて周波数を選択します。また必要に応じて異なる周波数を数種類組み合わせることで観測を行います。超音波には、低い周波数だと硬い底質でも超音波が良く通り、逆に高い周波数だと柔らかい底質でも良く反射するという性質があります。この性質を利用すると、例えば柔らかいヘドロが堆積している場合に、低い周波数であれば、表面をすり抜け、ヘドロの奥にある本来の底で音が反射してきます。これに対し、高い周波数であれば、柔らかいヘドロの表面で音が反射します。従って、ヘドロの表面で少し反射するような適当な周波数で、ヘドロの表面および硬い底質での反射を観測できれば、ヘドロの堆積状況を観測することができます。また、複数の周波数を組み合わせることにより、更に詳細に水底の様子を観測することが可能になります。この周波数は目的によって異なりますが、ヘドロ層観測の場合は、12 kHzから400 kHzまでの可聴域から超音波領域までの音を利用します。

また、超音波には、周波数が低くなると距離分解能が低下するという性質がありますが、低い周波数でも距離分解能を向上させるために、超音波をバースト波でなく、パルスで発信させるという手法を用いたりします。

●湖底・海底観測装置システムの概念図



三次元計測

空間や立体形状の計測、三次元位置特定にも超音波が利用できます。

超音波による三次元計測

● 距離計測を応用すると三次元計測ができます

超音波による距離計測(第3章-1)を応用すると、三次元位置特定が可能になります。

① 発信方位の2軸制御と距離計測で三次元計測

方位と距離が分かると三次元計測が可能です。発信部を2軸制御し、指向性の強い超音波を対象物体に向けて発信することにより三次元計測ができ、地下空洞の形状や体積の測定などに利用できます。

② マルチアレイセンサによる三次元計測

二次元平面にマトリクス状に配置した複数のセンサにより垂直方向の距離を同時計測すると物体の立体像が得られます。センサの信号処理は複雑になりますが、複数のセンサを用いるので、①の方法に比べ、短時間に立体像が得られます。

③ 3方位の距離計測による三次元位置特定

3方位に向けて超音波を送受信することで、それぞれの方位の障害物(壁や天井)までの距離が分かります。この情報を総合すると三次元空間内の位置を特定することが可能です。また、壁や天井に複数個の受信センサを設置することで、音源の三次元位置特定ができます。人や物の位置情報を把握、管理するのに利用されています。

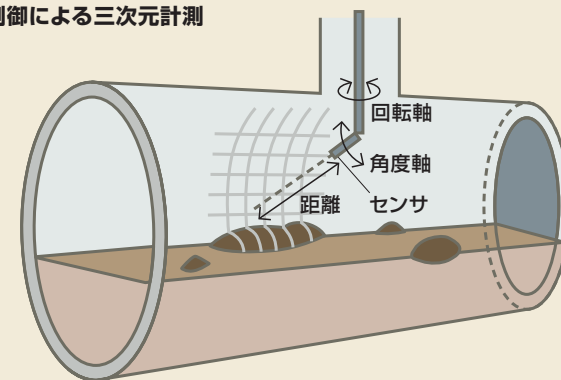
超音波による三次元計測の特徴

● 安全、無公害。濁った液体中でも計測できます

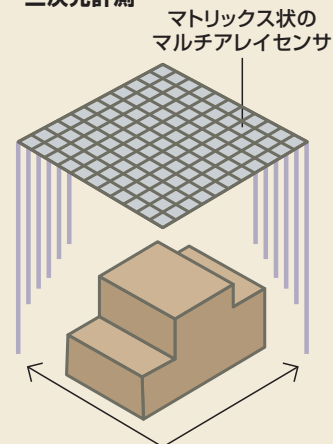
三次元計測としては、超音波式のほかに光学式、電磁波式等がありますが、超音波式の特徴として、次のようなことが挙げられます。

- ① 光の届かない透明度の低い液体中でも計測できる
- ② 対象物が光を透過するような透明な物体の場合でも計測できる
- ③ 人体に安全、環境に優しく無公害
- ④ 音速は光、電磁波よりも遅いので、処理速度は劣る
- ⑤ 光学式、電磁波式に比べて解像度は劣る

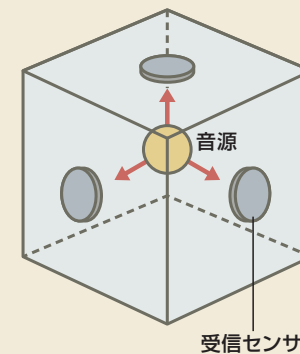
● 2軸制御による三次元計測



● マルチアレイセンサによる三次元計測



● 3方位の距離計測による三次元位置特定



パイプカッター

純水フィルターなどの中空糸のようなパイプ状のものはひとつひとつの径の大きさが重要となります。押し切りのようなものでカットすると濡れがちとなります。そこで登場するのが超音波カッターです。振動した刃を当てると強く当てることなく簡単に切れます。超音波カッターにはこのような使い方もあります。

厚み計測

切らなくても超音波で厚みが分かる!

超音波による厚み計測

●厚みを測るには?

タンクや配管の厚み、平面でない物体の厚み等は簡単に測ることができません。ところが、超音波を用いるとタンクや配管の外からセンサを接触させるだけで、容易に厚みを計測することができます。そのため、工場等の配管劣化による事故を未然に防ぐ定期検査や、工業製品の厚み管理などに利用されています。

原理は、距離計測(第3章-1)と同様ですが、測定対象物の中で超音波を伝搬させ、物体の端で超音波が反射することを利用して厚みを計測します。(図3-8 ①)

超音波厚さ計の特徴

●裏面が見えなくても厚みが分かる

超音波で厚みを測る機器は、一般的には、超音波厚さ計という名称で販売されており、0.5~30 MHzの超音波を使用して、さまざまな種類の材料の厚みを測ることができます。(図3-8 ②)

超音波厚さ計は、以下のような長所・短所があります。

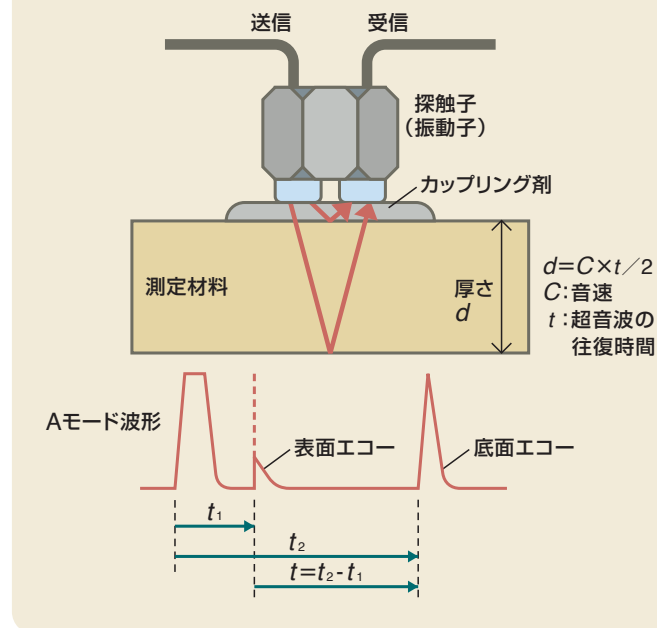
●長所

- 操作が簡単である
- 配管の厚みが測定できる(裏面が見えなくても測定可能)
- 製品の全数検査が可能である

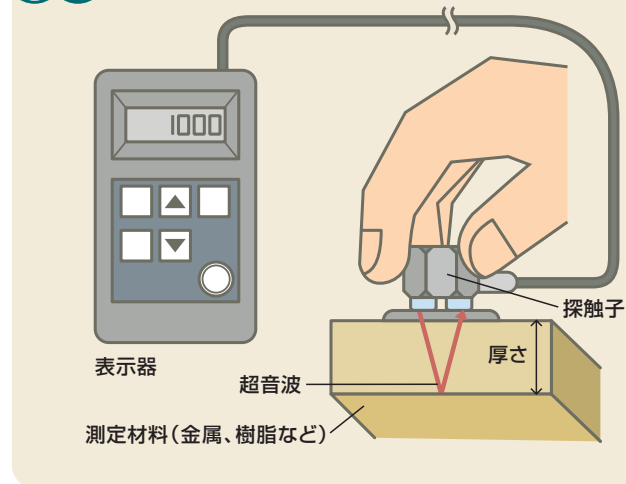
●短所

- センサと測定物を接触させる時に、グリセリン、水、オイル等の超音波伝搬媒体を使用する必要がある
- 測定物材質、温度の影響を受けやすい
- 測定面の仕上げ状態による影響を受けやすい

3-8 ① 厚み計測の原理



3-8 ② 超音波厚さ計



ボルト軸力計

超音波でボルトの締め付け状態が分かる!

超音波ボルト軸力計とは?

●ボルトの締め付け力

ボルトとナットは、各種構造物の締結手段として広く利用されています。このボルトとナットが締め付け不良の状態で使用されると、構造物に重要な故障が発生する恐れがあります。ここでボルトの締め付け状態が良好であるかどうかを知るために必要となる数値が、ボルトの締め付け力(軸力)です。

超音波ボルト軸力計は、超音波を使用して軸力の変化によるボルトの軸方向の変化量(軸方向の長さの変化・縦波と横波の音速比変化・超音波の透過量の変化等)を計測することによりボルトの締め付け状態の計測を行うことができます。

超音波ボルト軸力計の原理

●伝搬時間差から軸力が分かる

ボルト端面に探触子を当て、超音波パルスを発信させて他端面からの反射信号を捉え、締め付け前後の超音波の伝搬時間差からボルトの伸び量を計算します。

$$\text{ボルト長} = \text{伝搬時間} \times \text{音速} / 2$$

$$\text{伸び量} = \text{伝搬時間差} \times \text{音速} / 2$$

(伝搬時間差 = 締め付け後伝搬時間 - 締め付け前伝搬時間)

伸び量と軸力は比例関係にある為、伸び量を計測する事により軸力を求めることができます。

超音波ボルト軸力計の特徴

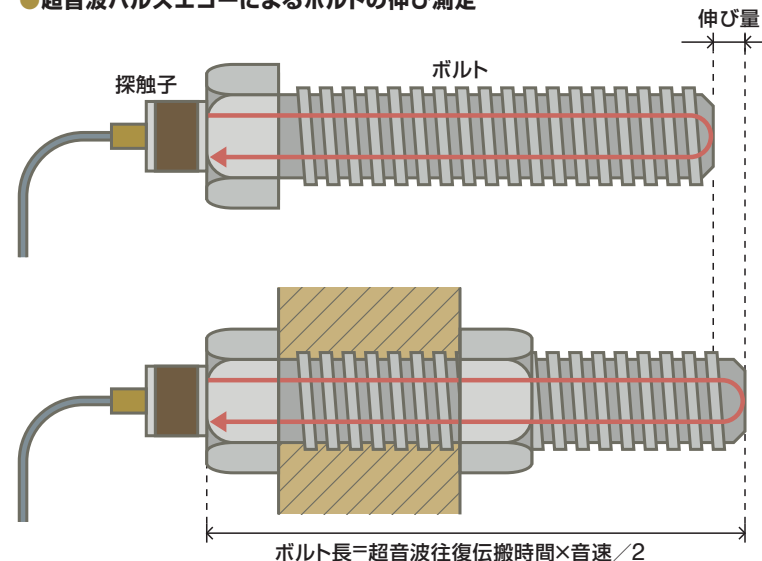
●特長

- ボルトに対して特殊な加工が不要で、ボルト頭部、底面から検査可能
- 締め付け時に生じる摩擦抵抗の影響を受けない
- 測定が容易で、ボルトの全数管理が可能

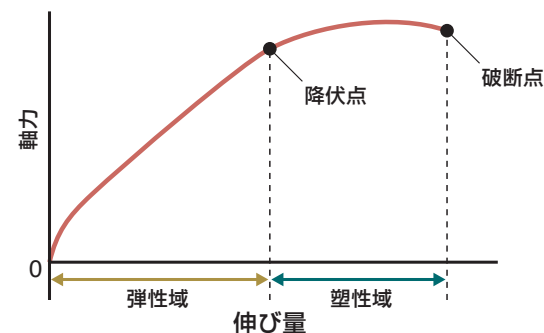
●短所

- 超音波伝搬媒体を使用する必要がある
- ボルト材質、温度の影響を受けやすい
- ボルト頭部、底面の仕上げ状態による影響を受けやすい
- 伝搬時間差計測の為、締め付け前の測定を行う必要がある(一般的な超音波軸力計について述べていますので、これらの短所は日々改良されています)

●超音波パルスエコーによるボルトの伸び測定



●ボルト伸び量と軸力の関係



眼軸長測定

生体にやさしい超音波で、目の中を精密計測。手術前検査として広く使用。

眼軸長測定とは？

●眼軸長測定の目的

眼軸長とは、眼の角膜前面から網膜前面までの眼軸径を言います(角膜、前房、水晶体、硝子体の組織の軸長を含んだものです)。白内障手術では、濁った水晶体を小さな切開創からカプセル(水晶体囊すいしょうたいのう)一枚を残して超音波で破砕して除去します。摘出した水晶体の代わりにアクリル系樹脂でつくられた眼内レンズ(IOL)を挿入することで、視力を矯正します。正確で簡便に測定できる超音波眼軸長測定装置では、眼内レンズ挿入手術の術前検査として、距離を計測するだけでなく、挿入される眼内レンズ(IOL)の屈折度数計算も可能です。我が国では1980年代に白内障手術が急速に普及し、それに伴って超音波眼軸長測定装置も広まっていきました。その後、装置の進歩や測定精度の向上、眼軸長測定用プローブ形状等の多様化が進んでいます。

超音波眼軸長測定の原理

●超音波距離計測応用商品。測長精度は小数点以下のミリ単位

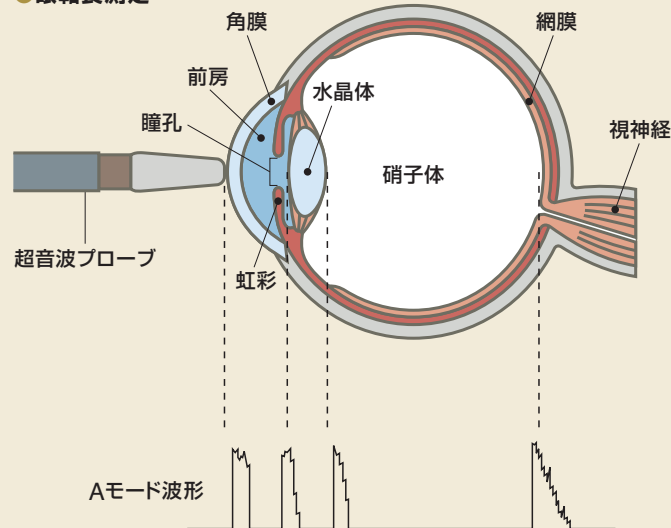
超音波プローブを角膜表面に接触させ、パルスエコー法によって、水晶体前面、後面、網膜前面までの距離をエコーの伝搬時間から求めることで、眼軸長と同時に水晶体厚も計測できます。主にAモード表示が用いられます。測長精度は数百マイクロメートルの精度が要求されるため、10 MHzを超える周波数が用いられます。

超音波方式の長所と短所

●光学方式と超音波方式

光学式は非接触で高精度計測できるメリットがありますが、眼軸長以外の、角膜厚、前房深度や水晶体厚の同時計測ができないことや、白内障混濁の影響を強く受ける問題点もあるため、超音波式が広く使われています。

●眼軸長測定



コラム

画質評価は昼飯前!

超音波診断装置の設計中の試作機や、製品検査の画質評価では、最終的に担当者が自分の腹部などを映し出して微妙な差異を確認します。でも、食後すぐは胃や腸が膨らんで臓器の位置がずれたり、ガスが含まれたりして画像がいつもの状態と変わるので、画像評価は食事前が最適です。また、内臓脂肪が多いと超音波が体内を透過し難しくなります。だから、画質の評価担当者はいつも体形維持に心掛けています。では、評価担当者のコンディションによって製品の画質が変わってしまうの?いえ、標準試料による検査も行っていますので、品質はご安心ください。

超音波音速顕微鏡

超音波の顕微鏡。染色不要で、迅速診断。

超音波音速顕微鏡とは？

●超音波式は染色不要、組織切片の内部も含めて観察

医学生物学用超音波音速顕微鏡は、生体組織の硬さを超音波で測定し画像化する、新しいタイプの顕微鏡です。光学式顕微鏡による組織診断では、生体試料を染色し、染まり具合で病変を判断していました。しかし、染色には手間がかかり、また使用する薬品の選択にも専門知識が必要となるため、確実な組織診断を下すためには短くて1時間、長い場合は数日を要します。この超音波音速顕微鏡は、超音波を生体試料に当て、跳ね返ってくる際の音速を測定することで組織の硬さを測定、画像として表示する仕組みです。染色工程を省いて簡便に診断できる点、光学顕微鏡では見えない部分も画像化できる点、また操作性に優れ取扱いも容易な点がメリットとして挙げられます。

パルス励起型とは？

●パルス励起型では、短時間で安定したデータ取得が可能

超音波顕微鏡は、図3-11①に示すように厚さ数マイクロメートルの組織切片をガラス基板に固定して計測します。パルスエコー法を用い、組織表面と基板(組織背面)の2箇所からの反射波の合成波を検出します。これを、組織を置かない基板のみからの直接反射と比較し、両者の位相差を調べます。試料厚さを仮定すれば位相差から音速が分かりますが、厚さは測定点によって異なるため、正確な測定のためには周波数を変化させた測定結果から試料厚さと音速を計算する必要があります。従来の測定では、パースト波を使用していたので、周波数を変更しながら何度も測定していました。そのため、広い範囲を計測するには、1時間以上必要でした。新しいパルス励起型では、広帯域パルスを送信波形に採用したことで、受信信号をフーリエ変換し、基板からの直接反射と比較することで、1回の送受信で同時に強度と位相スペクトルを得ることができます。従来型の超音波顕微鏡では、1点に対して約20回の測定が必要でしたが、パルス励起型では、1点に対して1回の計測で済みますので、計測時間を短縮できます。

用語辞典

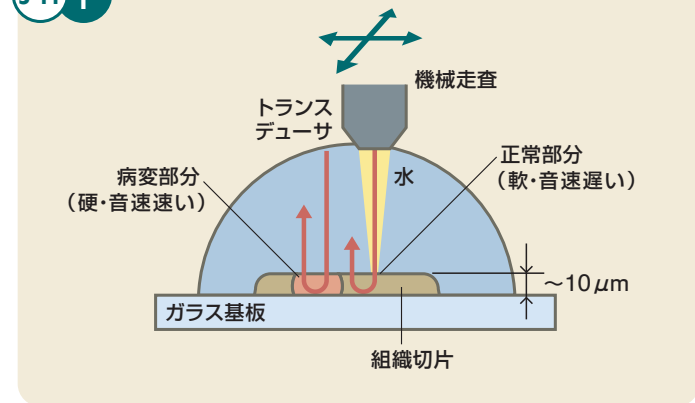
【フーリエ変換】時系列の波(強度-時間)を周波数域の関数(位相-周波数、強度-周波数)に変換すること。



製品紹介

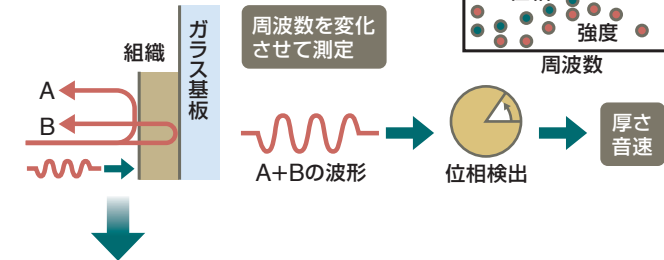
本多電子関連ページ

3-11 |



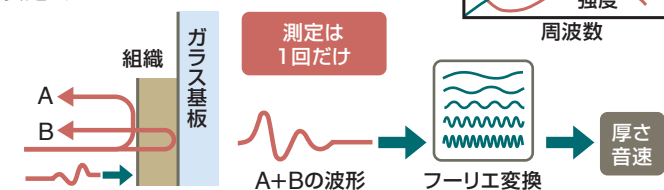
従来の測定方法

- 1点に対して約20回測定するので時間が必要⇒1時間以上
- 操作に熟練を要する
- 何度も測定すると、その間に条件が変わってしまう



提案する新しい測定方法 パルス励起型

- 1点に対して1回だけ測定するので時間が短縮⇒目標5分以内
- 簡単操作
- 安定したデータがとれる



音速測定の実理

この測定で得られた信号強度の極小点または極大点の周波数を f_m 、そのときの位相を ϕ_m とすると、組織表面と背面からの反射は極小点では逆位相、極大点では同位相となっています。すなわち、極小点においては組織表面からの反射は背面からの反射より $(2n-1)\pi$ 進んでいます。 n は自然数、組織の厚さ d 、組織の音速 C として、

$$2\pi f_m \times \frac{2d}{C} = (2n-1)\pi \quad (1)$$

一方、 $2d$ の距離を組織音速 C で通過した波と水の音速 C_0 で通過した波の位相差が ϕ_m ですから、

$$2\pi f_m \times 2d \left(\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C} \right) = \phi_m \quad (2)$$

となります。

信号強度の極小点になる f_m 、と ϕ_m が計測できれば、(1)式と(2)式から、

$$d = \{ \phi_m + (2n-1)\pi \} C_0 / 4\pi f_m \quad (3)$$

$$C = \left(\frac{1}{C_0} - \frac{\phi_m}{4\pi f_m d} \right)^{-1} \quad (4)$$

組織厚さ d 、組織音速 C が求められます。こうして求めた音速は次式のように硬さに関するパラメータであるため、音速像は組織の硬さの分布を表しています。

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

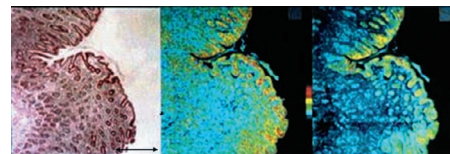
$$Z = \rho C$$

(C :音速、 K :体積弾性率、 ρ :密度
 Z :固有音響インピーダンス)

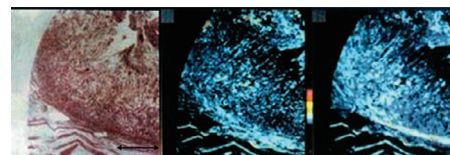
実際の測定例

東北大学加齢医学研究所で測定した症例の一部を右ページに紹介します。

光学写真 音速像 減衰像



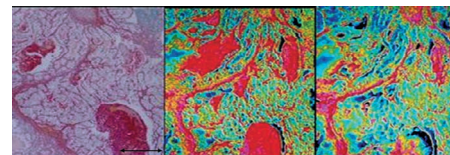
高分化型管状腺癌



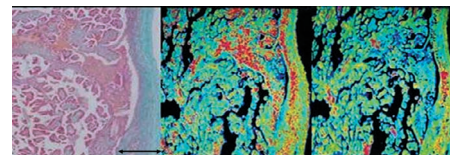
印環細胞癌

組織の種類	減衰 [dB/mm/MHz]	音速 [m/s]
正常粘膜	1.0 ± 0.5	1619 ± 21
高分化型管状腺癌	2.1 ± 0.3	1667 ± 17
中等度分化型管状腺癌	1.4 ± 0.1	1600 ± 5
低分化型腺癌	0.7 ± 0.1	1557 ± 5
乳頭状腺癌	1.1 ± 0.1	1610 ± 22
印環細胞癌	0.5 ± 0.1	1523 ± 9

光学写真 音速像 減衰像



明細胞型腎細胞癌



顆粒細胞型腎細胞癌

組織の種類	減衰 [dB/mm/MHz]	音速 [m/s]
正常皮質	1.2 ± 0.2	1624 ± 34
正常髓質	1.1 ± 0.2	1582 ± 12
明細胞型腎細胞癌	0.4 ± 0.1	1530 ± 13
顆粒細胞型腎細胞癌	0.5 ± 0.2	1534 ± 12

速度計測

超音波を使って自動車や船の速度が測れます。

超音波による速度計測

●測定原理はドブラ効果

救急車がサイレンを鳴らしながら通過するとき、聞こえる音の高さが変化した経験があると思いますが、これはドブラ効果による現象です。超音波による速度測定にはドブラ効果を用います。ドブラ効果とは、音源とセンサが相対的に近づくときには相対運動がないときに比べて周波数が高く感知され、またこれらが遠ざかるときには周波数が低く感知される現象のことであり、次の関係式が成り立ちます。

$$f/f_0 = (C-u)/(C-V)$$

ここで、 f はセンサで受信された周波数、 f_0 は音源の発信周波数、 C は音速、 u はセンサの移動速度（音源から遠ざかる方向を+、近づく方向を-とする）、 V は音源の移動速度（センサに近づく方向を+、遠ざかる方向を-とする）です。この関係式を利用することで、センサと音源の相対速度を測定することが可能です。つまり、センサが静止しているときには動く物体の速度を、物体が静止しているときはセンサの移動速度を、センサが受信した超音波周波数の変化から求めることができます。

超音波による速度計測の応用例

●水中での速度計測に有効

この測定方法は、野球やテニスで球速を測定するのに用いるスピードガンや、自動車の速度測定器に応用することができます。ドブラ効果は波動的性質を持つ電波や光にも共通した物理現象であり、空中計測では、超音波に比べて減衰が小さいマイクロ波や赤外線を用いるのが一般的です。しかし、水中では電波や光は超音波に比べて著しく減衰します。そのため、船の対地速度を測定するためには、超音波のドブラ効果を応用したドブラ・スピードログが用いられます。ドブラ・スピードログは、大型船の着岸時に重宝されており、GPS（衛星を利用した全世界的な測位システム）やARPA（衝突予防装置）と並んで、船の安全を支える重要な装置の一つになっています。

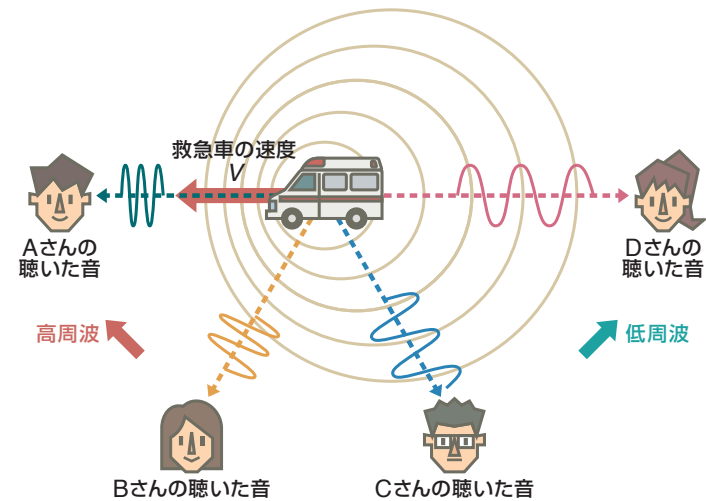
●潮の流れを計測することも可能

ドブラ・スピードログは海底を基準として船の動きを検出します。潮流計は同様の原理を利用して、船を基準として水中の潮の流れ（方向とスピード）を観測します。二枚潮^{※1}の強い海域で漁網を使うと、網が水中で期待どおりに広がらず漁獲量が低下してしまいます。これを避けるために潮流計が利用されています。

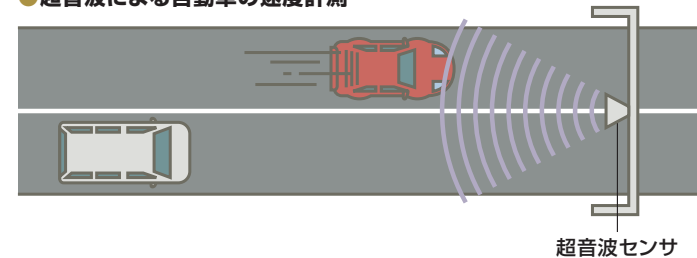
※1 二枚潮とは…水中の潮の動きは一律ではなく深度によって流れが異なる場合があります。このような状況を二枚潮と言います。

◎参考文献:「海運雑学ゼミナール」(社)日本船主協会/WEBページ

●ドブラ効果で救急車の音の周波数が変化する現象

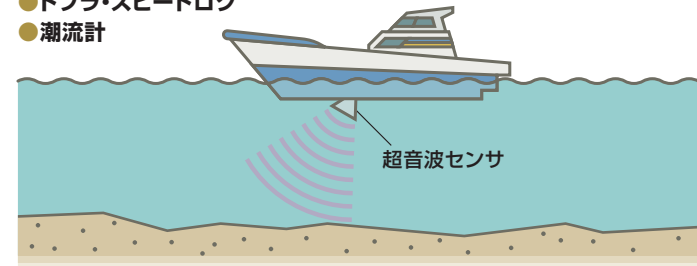


●超音波による自動車の速度計測



●ドブラ・スピードログ

●潮流計



電熱器までの距離を測るのは

電熱器の電源が入っている時は、電熱器までの距離を超音波では測るのが難しいです。空気中の温度ムラから超音波伝搬路の音速差が大きく、超音波が屈折し何処かに曲がってしまい、センサに戻って来ないからです。

流量計測

超音波で、液体・気体の流速が測定できます。

超音波流量計とは？

●音が伝搬する媒体ならば、流量計測が可能

超音波流量計は、超音波を利用して流体の流速を計測し、その流速から流量を計算するものです。流速を計測する方法には、伝搬時間差法、シングア라운드法、ドブラ法等があります。

超音波流量計の特徴は、

- 超音波センサが計測する流体に非接触
- 配管内に構造物が無いため、圧力損失が無い
- 低流速（秒速数センチメートル）から高流速（秒速数十メートル）までの広範囲を計測可
- 計測精度を上げるためには、前後に直管部が必要等があります。

なお、伝搬時間差法、シングア라운드法は、超音波の伝搬を利用するため、気泡や浮遊物の少ない（超音波の減衰が小さい）流体の測定に適用しており、逆にドブラ法では、気泡や粒子からの反射を利用するため、これらが存在する流体の測定に適用しています。

伝搬時間差方式の超音波流量計の原理

●超音波の伝搬時間から流速を算出

伝搬時間差方式の超音波流量計の原理は、流れの上流側と下流側に超音波センサを設置し、上流側から発信した超音波を下流側で受信したときの伝搬時間と、下流側から上流側への伝搬時間を計測し、その時間差から流速を計算し、流量に換算するものです。

流速を V 、上流側から下流側、下流側から上流側への伝搬時間を T_{AB} 、 T_{BA} 、伝搬路長を L 、流体中の音速を C 、流路と超音波伝搬路のなす角を θ とした場合、

$$T_{AB} = L / (C + V \cos \theta), T_{BA} = L / (C - V \cos \theta)$$

となります。ここから、

$$V = (L / 2 \cos \theta) \cdot (1 / T_{AB} - 1 / T_{BA})$$

として流速を求め、流量を Q 、配管径を D とすれば、

$$Q = (\pi D^2 / 4) \cdot V$$

となり、流量が求められます。

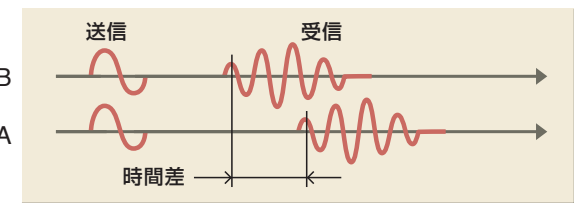
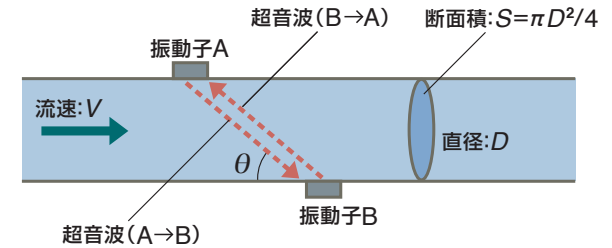


製品紹介

本多電子関連ページ

3-13

超音波流量計(伝搬時間差法)の原理



●順方向(振動子A→B)の伝搬時間: $T_{AB} = L / (C + V \cos \theta)$

●順方向(振動子B→A)の伝搬時間: $T_{BA} = L / (C - V \cos \theta)$

上流側と下流側から超音波を伝搬させ、流れによって生じる伝搬時間差から流速を測定。清浄な液体に適している。



超音波を使う動物たち

コウモリの多くの種は口から超音波を発するのに対し、キクガシラコウモリなど鼻葉と呼ばれるひたのある鼻を持つ種は、そこから超音波を発します。

ドプラ方式の超音波流量計の原理

●超音波の周波数変化から流速を算出
ドプラ方式の超音波流量計は、液体中に超音波を送信し、液体中の気泡や粒子等の反射体からのエコーの周波数が流速によってシフトすることを利用して流速を測定するものです。図3-13②に示すように、振動子Aから超音波を流体中に送信すると、超音波は流体中の粒子や気泡に当たって散乱しますが、この散乱した超音波を振動子Bで受信します。その受信周波数 f_B は、送信周波数を f_A 、流体中の音速を C 、流路と超音波伝搬路のなす角を θ とした場合、

$$f_B = f_A \times (C + V \cos \theta) / (C - V \cos \theta)$$
 となります。ここから、

$$V = (C / 2 \cos \theta) \cdot (f_B - f_A) / f_B$$
 として流速 V を求め、流量を Q 、配管径を D とすれば、

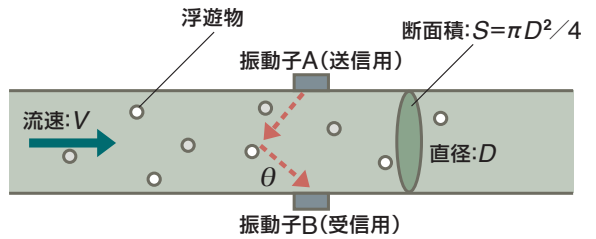
$$Q = (\pi D^2 / 4) \cdot V$$
 となり、流量が求められます。

超音波流量計の用途

- 水処理施設や工場での流量管理に利用されています
 - 伝搬時間差方式…半導体製造装置の薬液の流量管理
河川の流量調査
 - ドプラ方式……………下水処理施設における汚泥の流量管理
工場排水の流量管理

① 超音波を使うヒーロー①
 デビルマン(デビルアロー)…頭の2本の角を共振させて強力な超音波を発生し、あらゆる物を破壊します。
 少年ジェット(ミラクルボイス)…「ウー、ヤー、タァ〜」という気合いと共に超音波による衝撃波を発生。
 ゴッドマン(ゴッドマン超音波)…胸の前で腕をクロスさせて繰り出す超音波攻撃?(と思われる)。

3-13② 超音波流量計(ドプラ法)の原理



超音波を送信し、液体中の気泡や粒子からの反射エコーの周波数が流速によってシフトすることを利用して流速を測定。懸濁した液体に適している。

コラム

「ナイン博士」

超音波を専門とした研究・開発企業のマスコットであり、当社を象徴するプロフェッショナルマンです。
 この「ナイン博士」は、2005年に開催された「愛知万博」への出展に伴い、「研究所で遊ぼう!」「超音波遊園地で遊ぼう!」のマスコットとして、考案されました。



意匠：登録第4955415号

「超音波には九つの作用」があり、「ナイン」を示します。(①洗う、②加工(切る・彫る・溶着)、③化学・促進、④計る・量る・測る、⑤見る・視る・診る、⑥霧化(飛ばす)、⑦振動(回す・動かす)、⑧発熱、⑨通信・制御)
 これに精通した当社の専門企業としての「顔」を表し、活動する社員面々の姿をとらえ「博士」としてデザインしました。

濃度測定

超音波で濃度が分かる。

計測

感知

聴音

探査

通信

洗浄

動力

反応

霧化

超音波濃度計の種類

●音速測定方式と超音波減衰方式の2方式

濃度計は、液体・気体中の含有物や浮遊物の濃度を測定するもので、用途に応じて様々な方式があります。超音波濃度計は、電磁波やレーザーを用いるものよりも安価であること、引火性液体などの場合でも反応の危険がないことなどの特長があります。超音波濃度計には次の2種類の方式があります。

①音速測定方式…浮遊物が無い液体

原理：溶液濃度と超音波伝搬速度（音速）の相関を利用して測定する方式
用途：半導体製造工程におけるエッチング液の濃度管理

食品製造ラインにおける溶液の濃度管理

②超音波減衰方式…浮遊物が有る液体

原理：液体中の浮遊物の濃度を、超音波の減衰によって測定する方式
用途：下水処理場、浄水場における汚泥濃度管理

各種プラントにおける排水処理工程の濃度管理

音速測定方式の超音波濃度計の原理

●溶液の濃度と音速の関係により測定

2種類の音速の違う物を混ぜ合わせた液体は、その濃度によって音速が変化します。例えば、塩と水を混ぜ合わせると、塩分のない水は20℃で約1485 m/sですが、海水に近い4%塩分濃度水は約1500 m/sの音速を示します。このように濃度に応じて音速が変化するので、あらかじめ検量をしておけば、測定した値から濃度を求めることが可能です。しかし、音速は温度によっても変化します。例えば、0℃から30℃に温度が変化すると100 m/s音速が変化します。このように音速は大きな温度依存性があるので、精密に温度を測定して補正する必要があります。

音速測定方式の超音波濃度計は、図3-14①のような構成となっています。超音波振動子から超音波を発信し、定距離に設けた反射板からの反射信号が返ってくるまでの時間を計測することにより、音速を測定します。また、音の伝搬している場所の近くに温度計を設置して、あわせて温度の補正を行います。本体にマイコンを組み込み、温度と音速により予め検量しておいた検量線から濃度を割り出します。

運輸

製造業

化学
石油・ガス建築・土木
上下水道

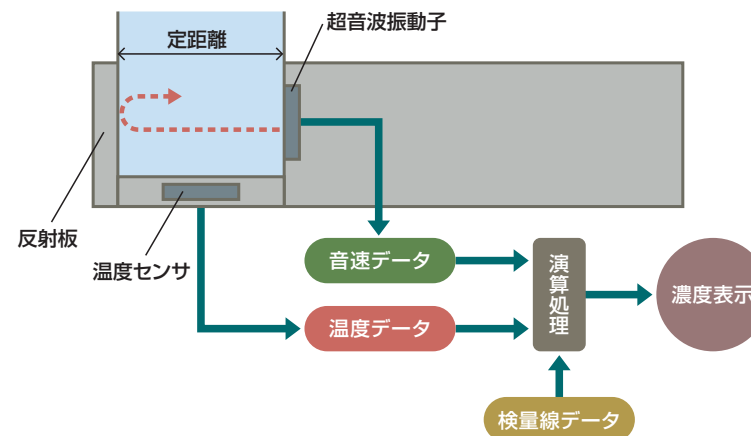
農林水産

食品・薬品

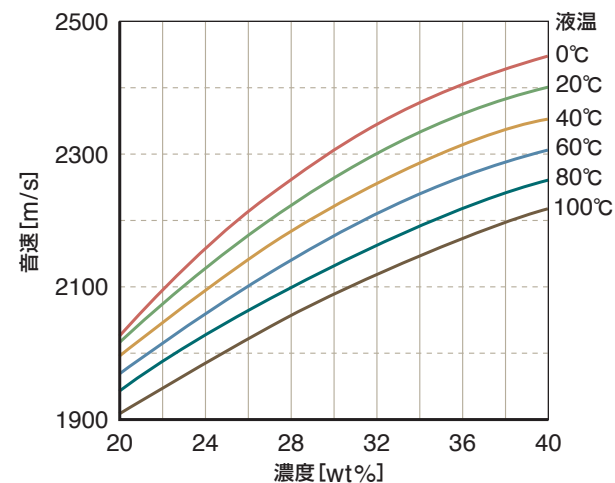
医療・福祉

生活・娯楽
家電

3-14 ① 音速測定方式の超音波濃度計の計測システム構成



3-14 ② 濃度と音速の検量線データ例（水酸化ナトリウム）



◎転載文献：富士工業株式会社 超音波液体濃度計(FUD-1シリーズ)カタログ



超音波を使うヒーロー②

勇者ライティーン(ゴッドボイス)…搭乗者の聞の声を超音波に変換して相手に叩きつけ、粉砕します。あと、平成版モスラ、ロフロス(バビル2世)、バットマンも超音波を使うようです。その他、ゴレンジャーに始まるスーパー戦隊シリーズでも度々超音波が登場します。黄金バットも超音波を使いそうですが未確認です。

計測

感知

聴音

探査

通信

洗浄

動力

反応

霧化

運輸

製造業

化学
石油・ガス建築・土木
上下水道

農林水産

食品・薬品

医療・福祉

生活・娯楽
家電

濃度測定

超音波減衰方式の超音波濃度計の原理

●浮遊物濃度と超音波の減衰量の関係から測定

超音波は、液体中を伝わりやすい性質を持っていますが、液体中に浮遊物や浮遊ガスが存在する場合、超音波がそれらによって反射されて、減衰が大きくなります。超音波減衰方式の超音波濃度計では、この関係を利用して浮遊物の濃度を計測します。

代表的な構成として、図3-14③のように、液体中において送信センサと受信センサを対向させて設置した場合について説明します。清水(浮遊物が無い状態)において測定した超音波の受信強度を基準[0 dB]とし、これに対して汚泥を測定した場合の超音波の受信強度から減衰量[dB]を求め、浮遊物濃度[%]に換算します。

減衰量と浮遊物濃度は比例しますが、浮遊物の種類等によって係数が異なるため、あらかじめ分光分析等により既知の濃度の試験液体で校正をしておく必要があります。また、音速測定方式にも共通することですが、超音波方式では気泡混入を嫌うため、測定対象によっては気泡対策が必要となる場合があります。

例として、図3-14④に石灰および石膏の水溶液濃度と超音波減衰率の関係を示します。

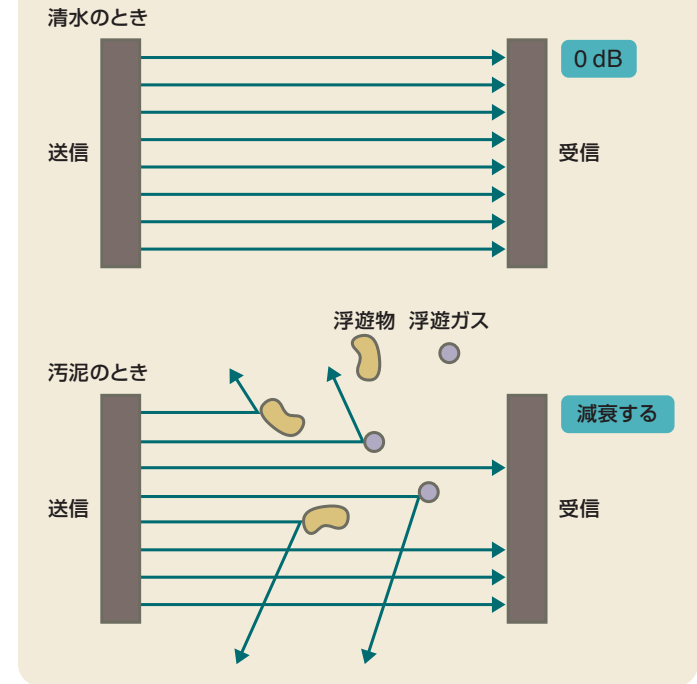
コラム

SFの中の超音波

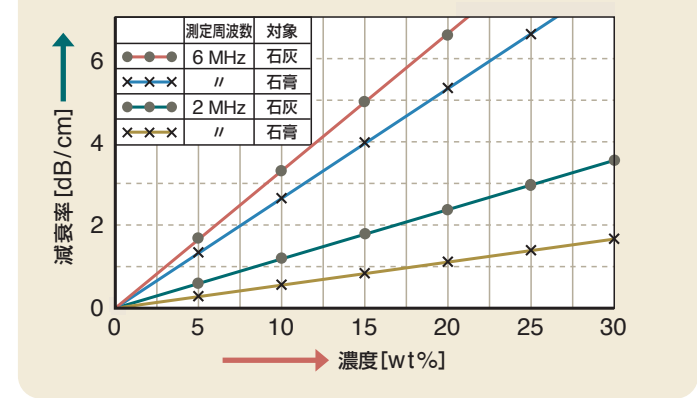
SF映画・ドラマの中では超音波がどのように登場するのだろうか?よく出てくるのが超音波銃・超音波砲などの兵器としての超音波です。

しかしよく考えてみよう。超音波の特性として宇宙空間では伝搬しないのはもちろん、空気中では速度が340 m/s(ちなみに弾丸は280~1000 m/s)であることや、距離が離れるほど減衰すること、また当て続けないと効果が少ないことなどを考慮すると動く物体に対しての兵器としてはあまりふさわしくありません。こんな超音波の特性を考えながらSF映画をみるとおもしろいかもね。

3-14 3 超音波減衰方式の超音波濃度計の原理



3-14 4 石灰および石膏の水溶液濃度と超音波減衰率の関係



◎転載文献:「超音波計測」(丹羽/超音波工業/昭晃堂/p.61/1989)

粘度測定

超音波で粘度も分かる。

超音波粘度計とは？

● 振動振幅抑制力を測定して粘度算出

液体中に振動体(粘度センサ)を入れて振動させると、センサの振動振幅は、液体粘度が大きくなるに従って、その粘性抵抗により抑制され、低下します。

定振幅回路により、この抑制される力に打ち勝ち定振幅を維持するように入力電力(振動子駆動電流)を増加させます。このときの入力電力量を測定することにより、液体の粘度を測定することができます。

超音波粘度計の原理

● 超音波振動子の振動エネルギーと粘性抵抗の関係

粘性係数は国際単位系では粘度と呼ばれますが、その定義は運動している流体内に生ずる剪断ひずみ η の時間的変化を表す剪断ひずみ速度

$$\eta = \theta \eta / \theta t [s^{-1}] \quad (1)$$

と、剪断応力 $q [N/m^2]$ との関係として表され、粘度は

$$\mu = q / \eta [Pa \cdot s] \quad (2)$$

と表され、単位は[P(ポアズ)]=0.1 [Pa·s]です。これは剪断運動に対する粘性抵抗を表す係数であり、流体の密度 $\rho [kg/m^3]$ には無関係ですが、液体の場合、温度の上昇とともに減少します。

粘性が実際に運動に及ぼす影響は μ / ρ の形となり、動粘度と呼ばれています。単位は[m²/s]です。

剪断運動の場合に、粘性によって消費されるエネルギーは

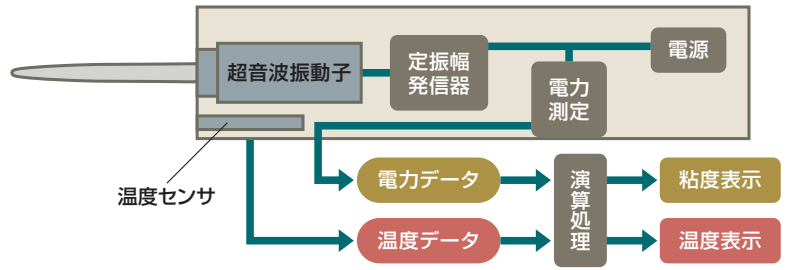
$$W = q \eta = \mu \eta^2 [W] \quad (3)$$

となり、剪断歪み速度を一定とすると消費エネルギーと粘度が比例します。そこで定振幅運動を行い、その消費電力を測定すれば粘度が測定できます。また、右表のように粘度は温度に依存するので、粘度を測定するには同時に温度も測定します。



ゴジラと超音波
ゴジラシリーズでもよく超音波が登場します。「ゴジラ」(1984)でのストーリー。ゴジラが静岡県、伊原原子力発電所の核エネルギーを吸収するもの、渡り鳥の群れに導かれるように去っていく。「もしかしてゴジラには帰巢本能があるのでは？」確信した林田教授は、特殊な超音波でゴジラを三原山火山に誘導する計画を実行する。

● 超音波粘度計の構造



● 各種液体の温度と粘度

物質名	粘度 [cP]=10 ⁻³ [Pa·s]				
	0℃	10℃	20℃	40℃	80℃
アセトン	0.395	0.356	0.322	0.246	
イソブチルアルコール	8.3	5.65	3.95	2.12	0.78
エタノール	1.78	1.46	1.19	0.825	0.435
o-キシレン	1.10	0.93	0.81	0.62	0.411
酢酸			1.22	0.90	0.56
トルエン	0.768	0.667	0.586	0.466	0.319
1-プロパノール	3.85	2.89	2.20	1.38	0.63
2-プロパノール	4.60	3.26	2.39	1.33	0.52
ヘキサン	0.397	0.355	0.320	0.264	
ヘプタン	0.517	0.458	0.409	0.332	0.231
ベンゼン	0.91	0.76	0.65	0.492	0.316
メタノール	0.734	0.715	0.611		
水銀	1.71	1.61	1.56	1.46	1.30
水	1.792	1.307	1.0020	0.6527	0.3546

◎転載文献:「化学便覧 基礎編II」(日本化学会/丸善)

音圧測定

音の大きさ「音圧」を測ろう。

音圧測定とは？

●音の大小を測る物差しです

日頃私たちは、音が大きい、小さいと言いますが、音の大小は音圧(媒質中の音波の強さ)によって決まります。音は媒質の振動を伴い、振動によって媒質内の圧力が増大しますが、この変化分が音圧([Pa]=[N/m²])です。

音圧測定は、次のような用途で利用されています。

- 環境の騒音レベルの調査
- 水道管の漏水の検出
- 超音波洗浄機の槽内の音圧分布調査

音圧の測定

●通常、音圧の測定は、音圧マイクロホンを用いています

圧電セラミックスに交流電圧を加えると、電気信号に応じてセラミックスが歪んで音が発生しますが、音圧マイクロホンは、ちょうど、これと逆の反応を利用しています。すなわち、圧電セラミックス等の振動板に伝わった音波による振動により、音圧に比例した電気出力を取り出し、その電圧振幅から音圧を測定します。振動板(振動膜)の一方を密閉し、他方に音圧を与えることにより実現されます。

音圧計による超音波洗浄機の維持管理

●音圧は洗浄効果の指標になります

超音波洗浄機では、槽の形状、液体の種類、量、使用する周波数等により、槽内で音圧分布を生じています。被洗浄物へのダメージや洗浄効果を把握・管理する上で、音圧は有効な指標になります。

絶対音圧を測定するものではありませんが、音圧変化に伴って起きる媒体の変位量に応じた電気信号を出力する簡易的な音圧計もあり、超音波洗浄機の維持管理等に利用されています。

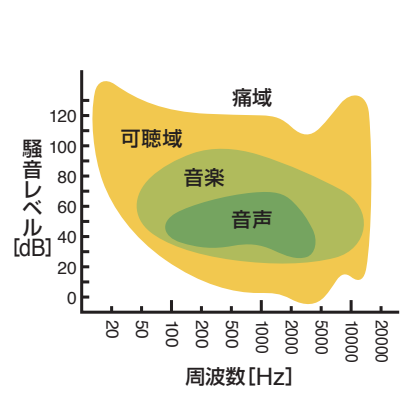


製品紹介
本多電子関連ページ

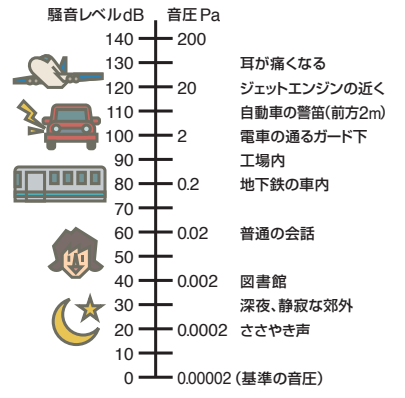


人造人間キカイダー
設定に超音波が効果的に使われている物に人造人間キカイダーがあります。キカイダー=ジローは犯罪組織ダークに拉致された光明寺博士がダークを倒すため、密かに造った人造人間。人間の姿の時(ジロー)の「良心回路」が不完全で、敵側のギル教授やハカイダーの超音波の笛の音が鳴ると苦しみます。

●人間が聞き取れる音の範囲

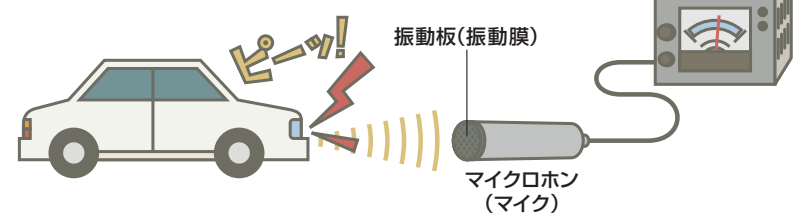


●騒音レベルと対応する1kHzの音圧

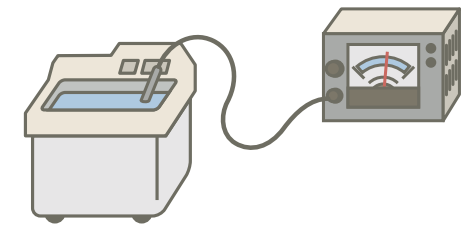


◎参考文献:「エンジニアのための人間工学」(横溝克己、小松原明哲/日本出版サービス/1991)

●音圧マイクロホン



●音圧計による超音波洗浄機の維持管理



交通管制システム

超音波で車両感知。交通の円滑化に貢献しています。

交通管制システムと超音波センサ

● 交通管制システムの普及に貢献した超音波センサ

超音波センサによる超音波距離測定を応用すると、道路を走行する車両を計数することができます。また、車両までの距離を連続的に監視することにより、車両台数のほか、道路占有率や、特定車種の判定なども可能になります。

超音波式の車両感知システムが開発されたのは、1970年頃のことです。従来のループアンテナ式に比べ設置コストは高いですが、道路に非接触であり保守も容易である超音波車両感知器の出現により、交通管制システムは日本国内に広く普及することとなりました。今日では、交通の円滑化を目的とし、車両の進入により信号機を自動的に切り替える地点感应や広域交通管制、高速道路の渋滞予測、バス優先道路の管制等に利用され、交通の円滑化に貢献しています。

交通管制システム用の超音波センサ

● 用途に応じて振動子にもノウハウがあります

- 隣の車両を感知しないように狭い指向角にする必要がある
- 高周波ほど音波の吸収減衰が大きいため、要求される計測距離を考慮して最適な周波数を決定する必要がある
- 四季及び気象に対応した全天候性の構造とする必要がある

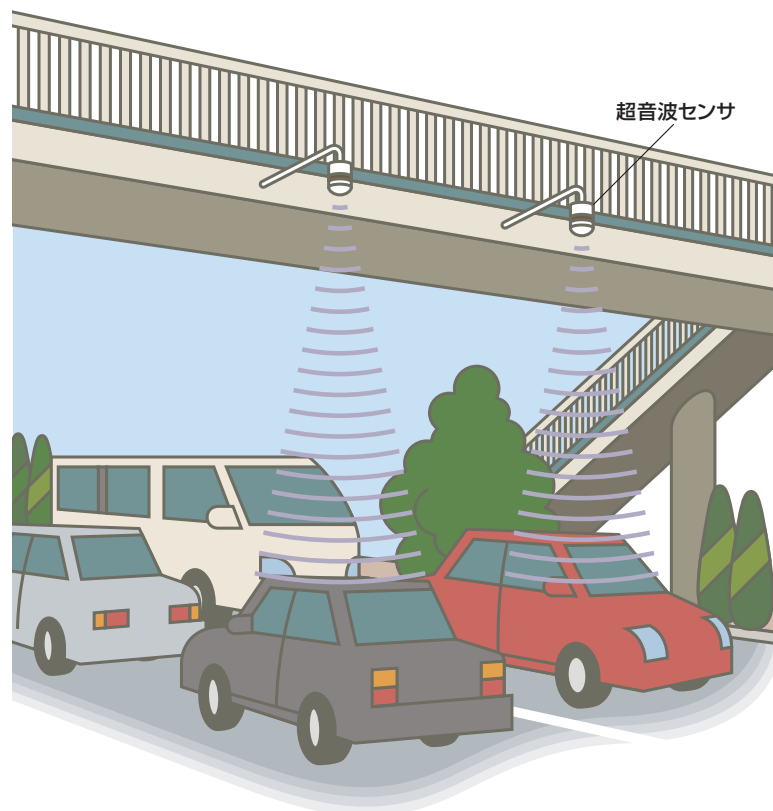
課題

● 信頼性の向上を

様々な形状の車両があり、フロントガラスやリアガラスなど様々な角度に超音波が当たるので、受波波形も様々です。このような場合でも計数不良にならないような処理方式が求められます。

また、全天候性に対応し、信頼性の高いシステムの提供が求められています。

● 交通管制システムにおける超音波センサ



コウモリの超音波を感じると死んだふり(擬死)をする蛾

夜行性の夜蛾に属するガの仲間には、天敵であるコウモリの超音波に反応して擬死するものがある。コウモリの発する超音波のうちFM音と呼ばれる餌の捕獲のために出す超音波を探知するといきなり羽を閉じ地上へと落下しはじめ、死んだふりをし難を逃れるそうです。

魚数カウンタ

通過した魚は何匹? 魚の数を自動計数。

超音波を用いた数量計測

● 反射信号の解析処理で数量計測

体長が20 cmを超えるような魚であれば、魚群探知機の映像に1匹単位で魚影として画像表示されます。この表示された魚影数をカウントすることで、超音波を用いた数量計測が可能となります。

実施例

● 魚数自動計測システム…昼夜問わず計測が可能

超音波振動子を多数配列したセンサユニットを川の深さ方向(縦向き)に設置して、川底～水面のいずれかを通過する魚を探知します。モニタ画面横方向には、それぞれの超音波振動子(川底～水面)を対応させ、モニタ画面縦方向には時間的にスクロール表示させる装置を考えます。普段の映像としては何も映っていませんが、センサユニットの前を魚が通過するとその部分だけに反射が得られるため魚影が表示されます。その反射映像を画像処理計数装置でカウントすることで、魚数自動計測システムを実現できます。さらに、周波数等の条件を最適化することにより、体長5 cm程度の魚も認識できるようになります。

魚道を遡上する魚を計数するには、目視でカウントする方法や、ビデオカメラで撮影してカウントする方法等が採られています。夜間や水が濁っている場合の計測ができないという問題があります。超音波を用いた魚数自動計測システムでは、昼夜を通しての計測が可能という長所があります。

ただし、現場に合わせた装置開発が必要であり、実用化するにはまだ多くの課題が残っています。

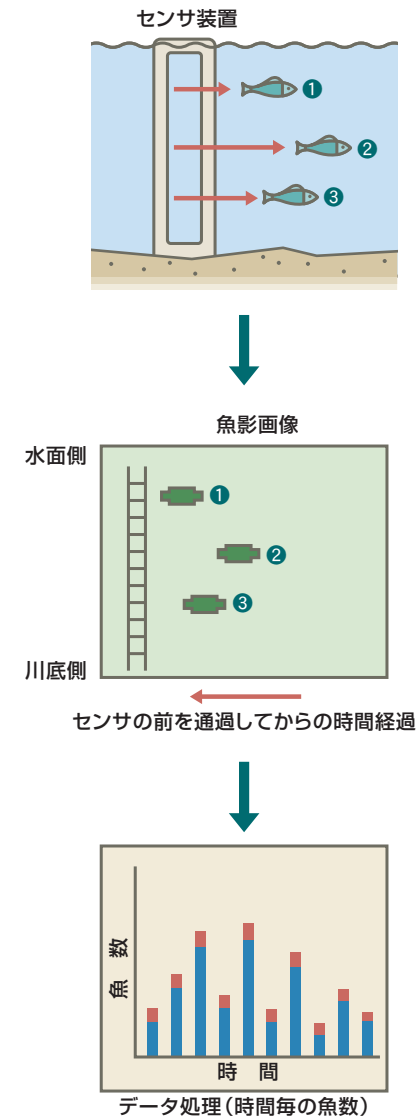
◎参考文献:「魚道の設計」(財)ダム水源環境整備センター/山海堂/pp.332-335/1991)



カエルも超音波

コウモリやイルカだけでなく、カエルにも、超音波を使って会話する仲間がいるそうです。このカエルは「カクレミミヤセガエル」。中国の有名な景勝地・黄山の急流に住んでいて、水の音などに邪魔されずに会話をするために、超音波を利用しているらしい。

● 超音波センサによる魚数自動計測システム



検知・検出

意外に身近な超音波センサ、どんなところで使われているのだろう？

超音波センサの原理

- 音速と伝搬時間で分かる障害物との距離
超音波センサから発信された超音波は、障害物に当たって反射し、超音波センサに戻って受信されます。そして、超音波の空気中を伝わる速さ（音速）と送受の時間（伝搬時間）の半分との積から、障害物までの距離を求めることができます。（第3章-1）
- ドブラ効果による動き感知
ドブラ効果を用いて超音波で速度計測ができますが（第3章-12）、この技術を使うと人や物の動きを感知することができます。

実生活で活かされる超音波センサ

- 人や車の位置や動きを検知します
私たちの日常生活のいろいろな所で、超音波技術が使われています。例えば、ドアの前に立っただけでドアが開いた、トイレに入ると自動的に照明がついた、蛇口に手をかざすと水が出た等の経験をされたことがあると思います。これらの人検知センサの中には、超音波技術を利用したものがああります。また、駐車場の天井に設置されている駐車場センサも、超音波で駐車車両を検知し、駐車スペースの有無を知らせてくれます。このように、超音波技術は私たちが快適な生活を送るための手助けをしてくれているのです。

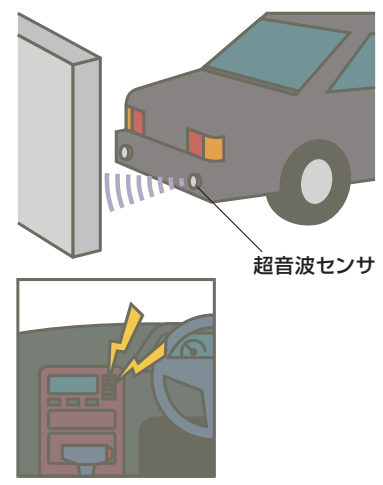
超音波センサの応用例

- 人体に無害で、環境に優しい超音波は広く応用が可能です
- 自動車・輸送機械の障害物感知・衝突防止装置
- 自動ドアや自動手洗い機などの検知センサ
- 駐車場や踏み切りでの自動車検知
- コンベアの物体検出
- 動き感知センサによる入浴者の無事の監視

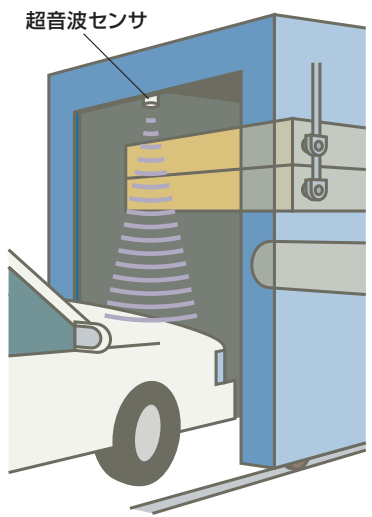


超音波着メロ
イギリスで超音波を利用して作った「子供達にだけ聞こえる超音波着メロ」が、子供達の間で大流行だとい
います。授業中にその着メロがなると、子供達は聞こえるのだが、年を取った先生には聞こえないために、
それがおかしくてクラス中がクスクスと笑い始めるのだそうです。

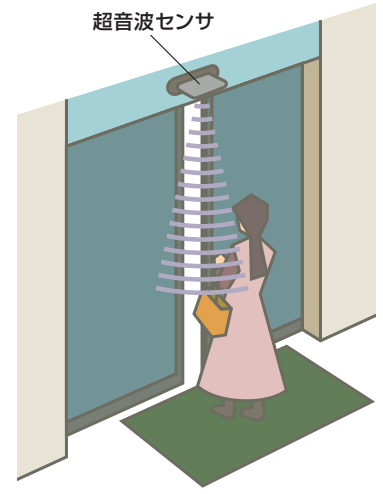
自動車で障害物検知装置



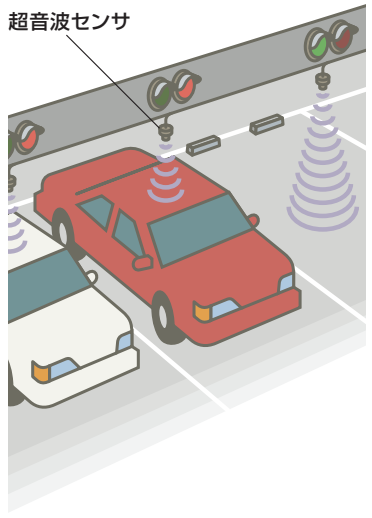
自動洗車機用超音波センサ



超音波式自動ドアセンサ



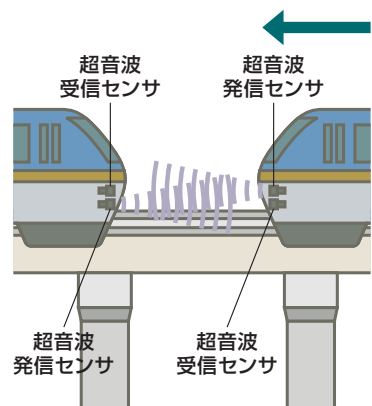
駐車場管理システム用超音波センサ



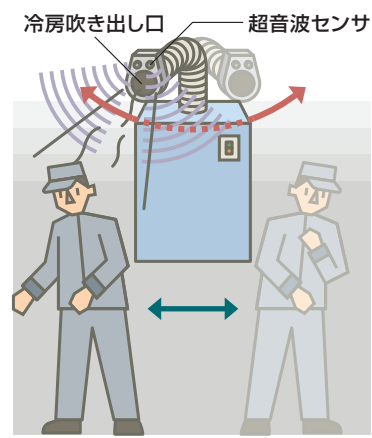
ゴルフカート衝突防止装置用超音波センサ



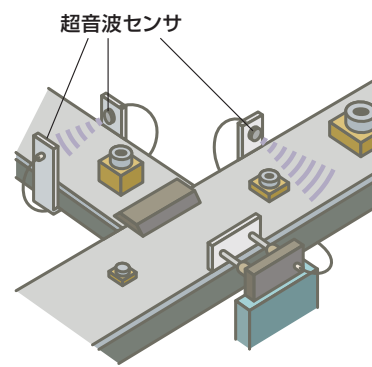
モノレール用車両衝突防止装置



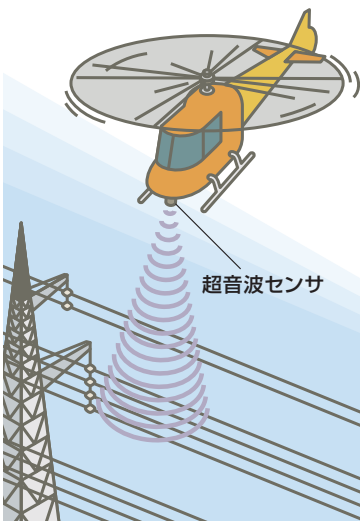
スポットクーラー用 人追尾センサ



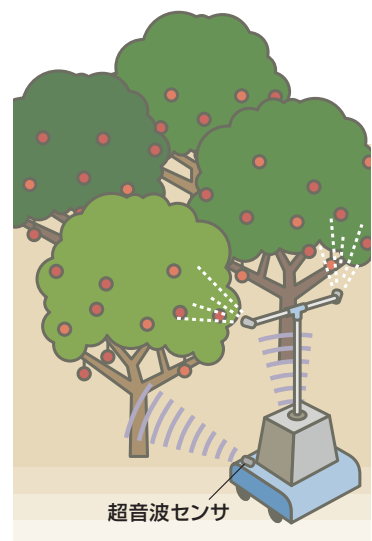
コンベア上の物体検出



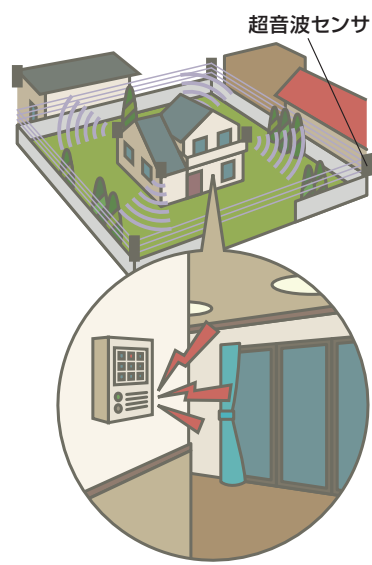
ヘリコプター用障害物センサ



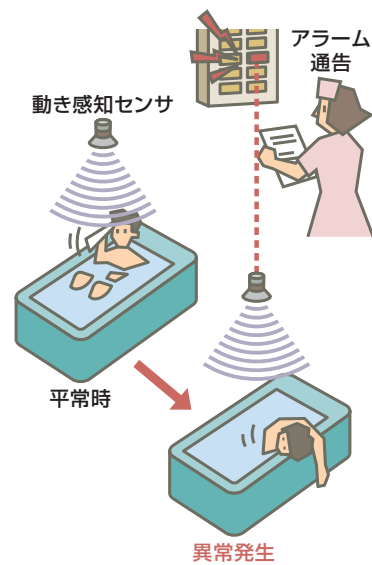
果樹への無人薬剤散布



超音波バリア



入浴監視センサ



計測
感知
聴音
探査
通信
洗浄
動力
反応
霧化

計測
感知
聴音
探査
通信
洗浄
動力
反応
霧化

運輸
製造業
化学
石油・ガス
建築・土木
上下水道
農林水産
食品・薬品
医療・福祉
生活・娯楽
家電

運輸
製造業
化学
石油・ガス
建築・土木
上下水道
農林水産
食品・薬品
医療・福祉
生活・娯楽
家電

気泡検知センサ

送液チューブ内の気泡を検知します。

気泡検知センサとは？

●チューブ内の気泡を検知

気泡検知センサとは、液体移送を行う配管・チューブ内に気泡が混入したことを検知するセンサです。医療現場や製造ラインにおいては気泡の混入が重大な不具合を招くことがあり、それを避けるために使用されています。超音波式の気泡検知センサは、光学式のように光を通す透明な配管・液体である必要がありません。

気泡検知センサの原理

●超音波の伝播変化で検知

超音波センサを2個用いて、チューブを挟み込む形でセンサを対向させます。片方のセンサからチューブ内に超音波を送信し、チューブを伝搬した超音波を反対側のセンサで受信し、受信強度を連続的に観測します。超音波は、液体中と空気中で伝搬効率が異なります。チューブ内に液体しかない時は十分に超音波が伝搬しますが、そこに空気(気泡)が通ると、超音波が空気に遮断されるため、超音波の受信強度が弱くなります。超音波式の気泡検知センサは、この関係を利用して気泡検知を行います。また、チューブ内に溜まっていた液体が無くなると超音波が遮断されるので、液体の有無を検知することができ、液切れセンサとして使用することができます。気泡が大きいほど、超音波が遮断される割合が大きくなり受信強度も大幅に低下するため、受信強度の変化の具合から大よその気泡サイズもわかります。ただし、気泡サイズが小さくても、気泡の数が多ければ伝搬効率も低くなるため、使用用途によって検証が必要です。

気泡検知センサの用途

●医療事故の低減に

輸液ポンプで薬剤を体内に投与する際、誤って気泡が血管内に入らないよう、輸液チューブ内の気泡を検知するために使用されています。

●気泡を避けたい生産工程にも

気泡の混入が品質に悪影響を及ぼす生産工程において利用されることもあります。

●液切れにも

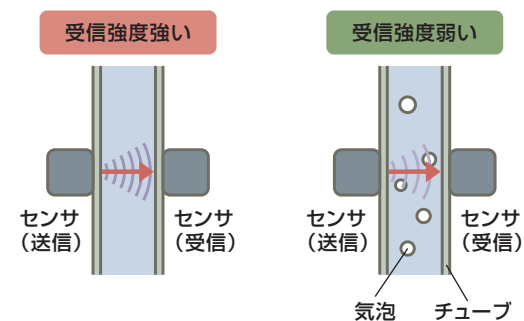
液体を供給する設備で、供給する液体が無くなったことの検知にも利用できます。



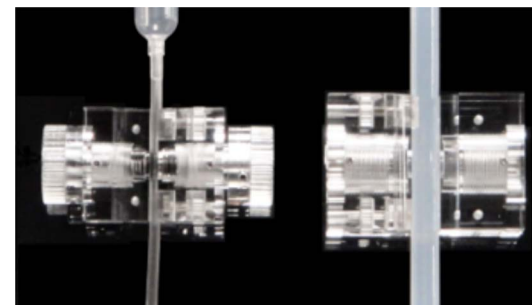
製品紹介

本多電子関連ページ

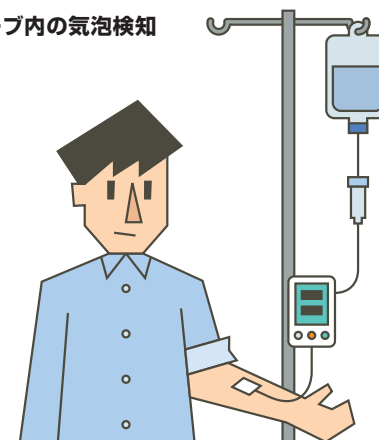
●気泡検知センサの原理



●気泡検知センサの取付例



●輸液チューブ内の気泡検知



聴音

耳を澄ませば、何かがわかる？

音波診断(聴音)

●工場内のメンテナンスに

工場設備において、各種機器からの異常振動や異常音(各種摩擦やガス漏れ・コロナ放電による音など)を検出する音波診断は、メンテナンスに欠くことができない手段です。

特に金属材料にとって大きな問題となる繰り返し負荷による金属疲労の検出には音波診断が威力を発揮します。この外観検査ではなかなかわからない金属疲労も音波診断で検出できることが多く、工作機械や配管などの破壊を予知し、事故を未然に防ぐことが可能となります。

また、工場内の空気・蒸気を初めとした各種ガスの配管や輸送管からの漏洩も、安全面や効率面から重要な問題ですが、この検出にも音波診断が使われています。配管からのガス洩れは、検査対象範囲が広い上に、無色透明なガスが多いので肉眼での検出が難しく、離れた場所から漏洩箇所を特定できるエア漏れ検出器(音波診断器)が重宝されています。

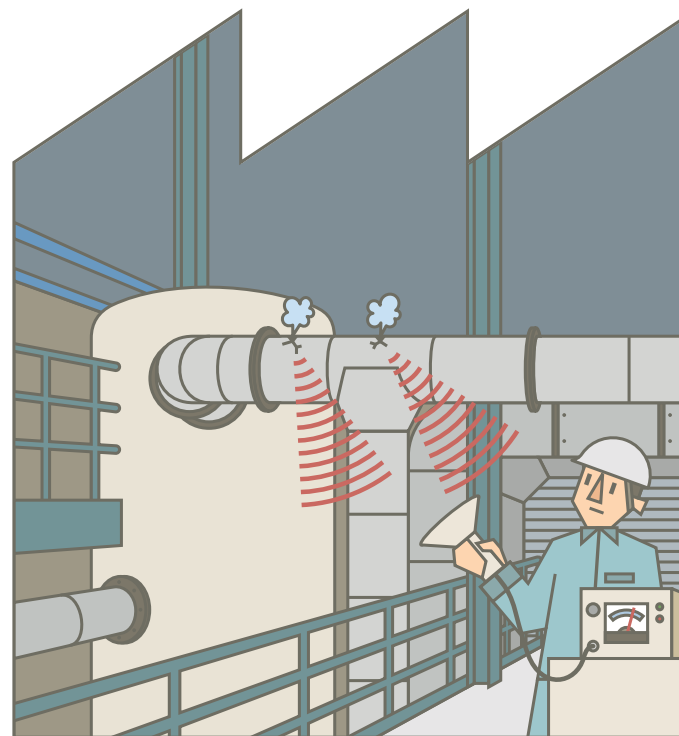
音波診断の原理

●物体が変形する時に出る超音波を拾います

物体が変形、または壊れる時に貯えられたエネルギーが弾性波(音や振動)に変換され発生します。この現象をアコースティック・エミッション(AE)と言い、発生した弾性波をAE波と呼びます。この規模の大きなものが地震ですが、物体に取り付けたAEセンサでAE波を検出する(数千ヘルツ～数メガヘルツ)のが音波診断です。3つ以上のセンサを使用することで、各々のセンサが検出したAE波の時間差からAE波が発生した箇所(傷や欠陥)を特定することもできます。

小さな孔からガスが放出される場合、広い帯域にわたって音が発生します。特にピンホールの場合、可聴音以上の高い周波数の成分(超音波)が多くなるので、超音波を検出できるエア漏れ検出器(主に40 kHz近辺を受信する)が使われています。エア漏れ検出器は、パラボラ(放物面)反射体などの集音器を備えており、感度や指向性を高めています。検出器の向きや位置を変えることで、非接触で音源位置(エア漏れ箇所)を特定できます。

●工場内の音波診断



テレビから超音波？

古いブラウン管テレビの電源を入れると、キーンと高い音が聞こえる時があります。この音は水平同期用の16kHzの信号により、昇圧用のフライバックトランスから発生する音です。周波数的に超音波に近い為、不快に感じる人も多いと思います。

その他の聴音

●シロアリが木材をかじる音

家屋に重大な被害をもたらすシロアリの食害を知る方法として、木材の表面に針状のセンサを突き刺し、シロアリが木材をかじる時に発生するAE波を検出する方法があります。この場合も複数のセンサの使用で、検出音の時間差から発生箇所を特定することができます。しかし、建築物には断熱材や遮音材が用いられることが多く、これらの吸音材の影響でAE波の検出が難しくなってしまいます。

●防犯センサ(ガラスが割れる音)

ガラスに加えられた衝撃による破壊音を検知する防犯センサ(音波診断器)があります。このガラス破壊センサには、ガラスに貼り付けて直接AE波をとらえるタイプと、天井などに取り付けて空中に放射された音をとらえるタイプがあります。どちらも、昨今のホームセキュリティに欠かせないセンサの一つとなっています。

●素粒子衝突の音

素粒子ニュートリノがプール内に入れた水と衝突して発生するチェレンコフ光という微弱な光を捕らえて観測する事がスーパーカミオカンデで行われていますが、同様に、発生する超音波を観測しようとする試みもあります。

用語辞典

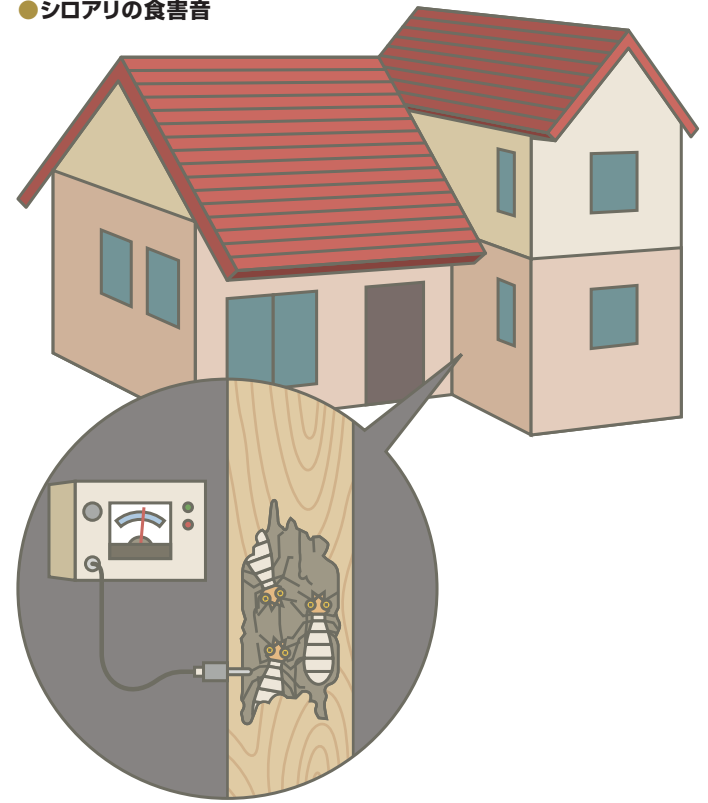
【スーパーカミオカンデ】東京大学宇宙線研究所 福岡宇宙素粒子研究所施設の観測装置。地下1000 mに設置された巨大な水槽に5万トンの純水をたたえている。

コラム

強力な超音波は怖い

強い超音波を聞くと不快に感じますが、強力な超音波を長時間あびると精神状態に異常(一種の昏迷状態)を来たすと言われています。作家・松本清張が、『砂の器』でこれをとりあげています。また1988年、イギリスのロイヤル・アスコット競馬場において、超音波銃を使って競走中の馬を驚かす事件(受けた超音波の強さはそれ程のことはなかったでしょうが)が起きています。

●シロアリの食害音



超音波怪獣ギャオス
超音波を一躍有名にした怪獣が超音波怪獣ギャオスです。1967年「大怪獣空中戦 ガメラ対ギャオス」で初登場した怪獣で、口からは何でも切断する3MHzの超音波メスを発射するという設定になっていました。あらゆる物を超音波メスで真っ二つにし、超音波の威力を見せつけました。

消音

音に音を重ねると、音が消える!?

騒音公害の現状

●騒音は公害です

騒音公害の苦情件数は年間1万件以上で、年々増加傾向にあり、近年、低周波の音による不眠、頭痛、イライラ感など人体への悪影響も指摘されています。

パッシブ消音の原理と特徴

●吸音材や反射板で音を低減

パッシブ消音は、吸音材や反射板により音を反射・吸収させる技術で、自動車のマフラー等を始め、広く用いられています。この方法は、波長が短く直進性がある高周波の音に対しては効果的ですが、波長が長い低周波の音では、吸音材の減衰効果が低く、また、反射板を回り込んで音が伝わるために効果を得にくいという欠点があります。また、吸音材や反射板を設置できない開放的空間内に音源がある場合には利用できません。

アクティブ消音の原理と特徴

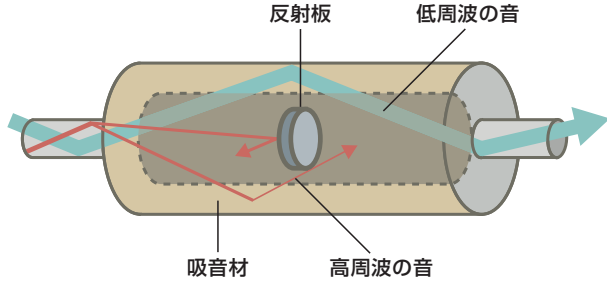
●重ね合わせの原理

アクティブ消音は、騒音に音を重ねて消す技術です。その原理は、ある騒音の波形に、その騒音の波形と逆位相の波形を重ねることで、山と谷とを相殺して音を消すものです。つまり、波形の山(空気の密度が高い)と谷(空気の密度が低い)を重ね合わせると、空気の密度が均一化されて、音にならなくなります。この方法は、低周波の音や開放的空間でも効果が得られます。

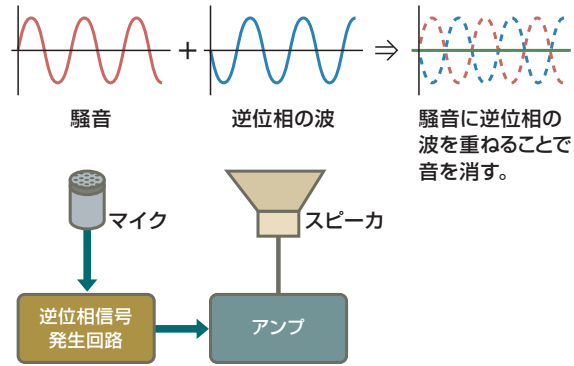
【用途例】

- 冷蔵庫など家電製品の消音
- 自動車の騒音対策
- 工事現場の騒音対策
- 工場、コンサートホールの騒音対策
- 船のエンジン音の消音

●パッシブ消音の基本原理



●アクティブ消音の基本原理



ねずみの超音波
 ハムスターなどのげっ歯類は80kHz位まで聞くことができます。これまでの研究で、ねずみ同士の殆どのコミュニケーションは超音波で交わっているのではないかとされています。実際に、求愛行動、敵対行動、不意の刺激等の場面で色々な超音波を発しているようです。

超音波探傷

電子部品や金属内部の傷や構造を超音波で観ることができる!

超音波探傷とは?

● 超音波が固体中を伝搬、傷の境界面から反射情報あり

超音波には下記のような、いくつかの特性があります。

- ① 金属等の固体中を伝搬しやすい
 - ② 直進性が強い
 - ③ 物質中を伝搬する際、物体の端や、違う材質の境界に当たると反射する
- これらの特性を利用して超音波を送受信し、物体内部の傷や鬆(す)(小さな空洞)を調べるのが超音波探傷です。

超音波探傷試験の概要

● 反射エコーの分析で探傷情報を得る

図3-23①のように試験体の内部に赤で示すような構造欠陥が存在している場合について考えてみます。探触子から発射された超音波は、試験体中を直進し、内部欠陥が存在しなければ試験体底面で反射して戻ります。試験体内部に傷や鬆、異材部などの内部欠陥が存在している場合には、超音波はその境界面で一部または全部が反射されます。超音波探傷機では、これらの反射波による受信(エコー)波形を観測することにより試験体内部の欠陥情報を得ています。

反射エコー強度(アスコープ)と呼ばれる受信波形に含まれる情報としては、表面エコー「S」、底面エコー「B」、そして内部欠陥からの反射エコー「F」がありますが、これらは、超音波の伝搬距離の違いから到達時間が異なります。アスコープにおける「S」と「B」の到達時間差は試験体厚みに相当し、「S」と「F」の到達時間差は試験体表面から内部欠陥までの距離に相当します。また、「F」の反射強度の情報から、内部欠陥の種類や大きさを判断します。さらにこの図にあるように探触子をX方向に移動しながら傷からの反射波形「F」の変化を観察することで、試験体内部の傷の全体像を把握することができます。

超音波探傷映像装置

● 波形を画像に変えて、容易な探傷判断

超音波探傷機は、反射エコー強度(アスコープ)を表示するものであり、取り扱いは容易ですが、その波形から試験体内部の欠陥や寸法を判断するには、複雑な計算や熟練した技能が必要となります。こうした問題を解決するために、アスコープに加えて直観的にわかりやすいBスコープ像や、Cスコープ像で表示したものが超音波探傷映像装置です(図3-23②、③、④参照)。

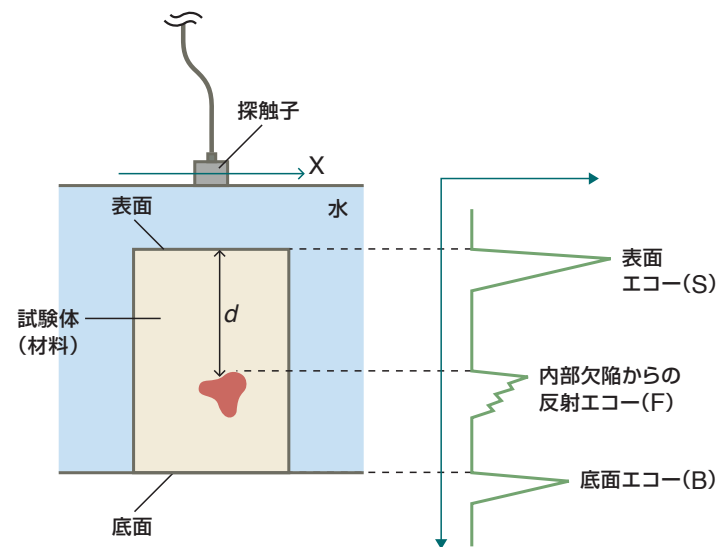


製品紹介

本多電子関連ページ

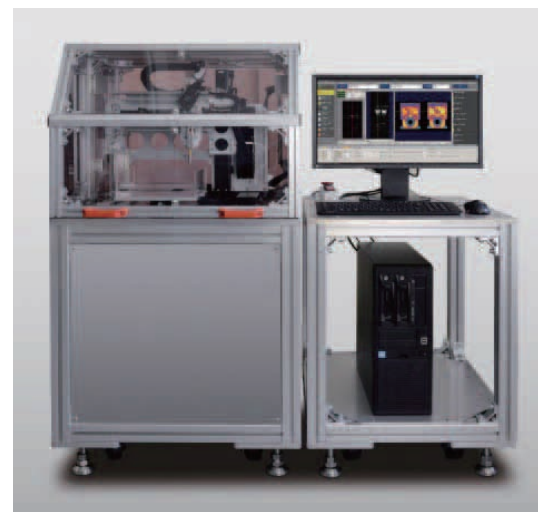
3-23

超音波探傷試験状態と受信(エコー)波形



3-23

2 超音波探傷映像装置外観



超音波探傷

各種スコープ像と走査方法

●Aスコープ

一般的な探傷器の表示波形。超音波探触子における受信エコー強度(波形)と超音波の伝搬時間(距離)とを直角座標上に表示させたものです。

●Bスコープ

試験体の「断面像」。Aスコープ波形を輝度変調(又は色変調)して線で表し、試験体上での超音波探触子の位置と超音波伝搬時間(距離)とを直角座標にとったものです(XZ平面)。異常部の存在・分布状態・深さを直観的に把握できます。

●Cスコープ

試験体内のある深さの「スライス画像」。光学顕微鏡像と同じで超音波探触子におけるある深さの受信エコー強度を輝度変調して、試験体上における位置に表示したものです(XY平面)。平面的な異常の広がり分布等が容易に把握できます。

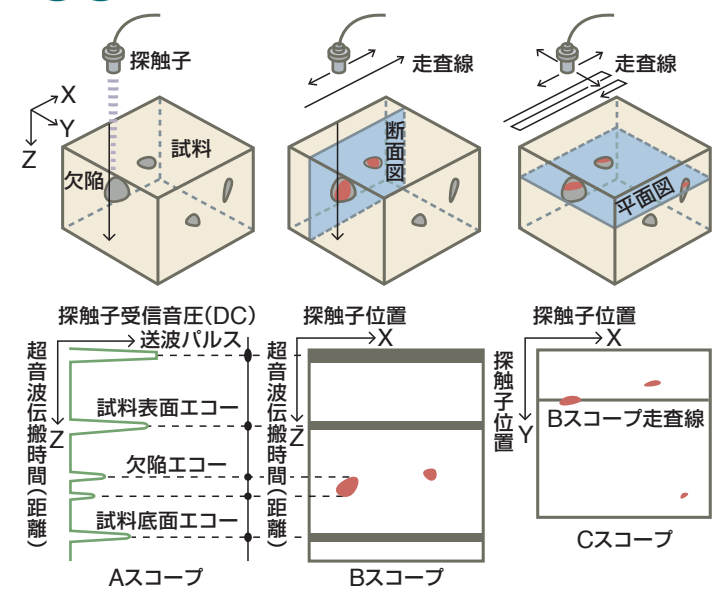
コラム

「超音波以外にこんな商品」

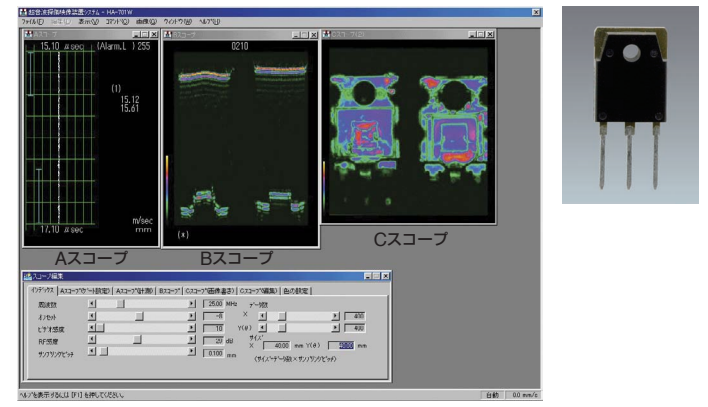
超音波専門の当社で、波形を観測するオシロスコープを作っていた頃があります。

某メーカーの方が、アメリカで当社の液晶魚探を見て、「これだ!」とひらめき、液晶を使ったポータブルのオシロスコープの開発依頼が当社に舞い込みました。ご縁があり、当社で開発、製造を行うことになり、計測機器としての品質水準を考えるきっかけになりました。

3-23 3 Aスコープ・Bスコープ・Cスコープ



3-23 4 探傷映像装置画像例



蚊撃退機能付き携帯電話
 2003年、韓国大手の携帯電話会社が、携帯電話を利用した蚊の撃退サービスを開始しました。血を吸う雌の蚊は雄に近づかない習性を応用し、雄の羽音に近い超音波を携帯電話から発生させています。撃退音のダウンロード料は3,000ウォン(約300円)。

材料境界検知

材料境界検知???超音波は反射する。

超音波の反射?

●超音波が反射するというけれど

「均一な液体中では超音波は反射しない」当たり前のことみたいですが、これが超音波の特徴のひとつを良く表しています。超音波は、均一な物質(固体、液体、気体)内部では反射しません。超音波は、異なる物質の材料境界で反射します。

水の中に厚さ20 mm程度のアルミ板を置いて(図3-24①)、超音波診断装置で見ると、図3-24②の様に、アルミ板の上面、下面しか反射を観察できません。水の中の反射も、アルミ板内部からも超音波の反射はありません。超音波の反射は、材料の境界部分で起きているのです。水中のアルミ板を考えると、水/アルミ板/水となり、材料の境界部であるアルミ板の上面、下面だけで反射が起こったのです。

超音波の反射原理

●音響インピーダンス

音響インピーダンス: $Z = \rho C$ (ρ :密度、 C :音速)で表されるパラメータが重要な鍵を握っています。材料境界では、材料の持つ音響インピーダンスの差で反射と透過の度合いが決まります(図3-24③)。

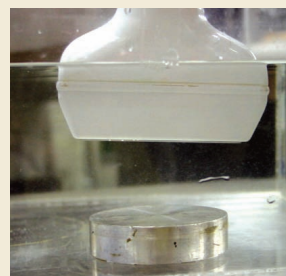
$$\text{反射率: } R_i = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

$$\text{透過率: } T_i = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

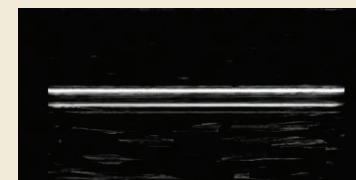
$$R_i + T_i = 1$$

材料境界で音響インピーダンスが合致したとき反射率はゼロ、送った超音波がそっくり隣の材料に(反射なしに)伝わるのです。水の Z は $1.5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ 、アルミニウムは $1.73 \times 10^7 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ であり、約70%が反射することになります。ちなみに空気は、 $4.08 \times 10^2 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ であり、水から空気へは、ほぼ全反射され、空気側へは超音波が伝達しません。スポンジのような複雑な形状をしたものでは、水とスポンジの境界が多数存在するため、境界ごとに反射があり、図3-24④のようにスポンジの形状が観察できます。また、水の中に、微粒子が分散している場合(気泡も含む)、水中に分散する微粒子が画像化されます。

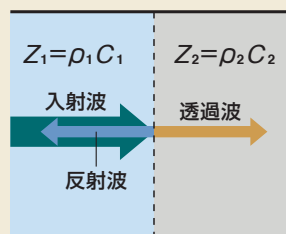
3-24 1 水中のアルミ板



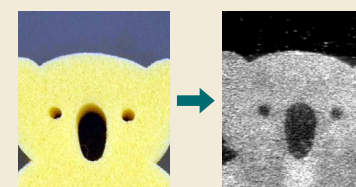
3-24 2 超音波診断装置で観察したアルミ板(断面)



3-24 3 反射の原理(垂直入射)



3-24 4 超音波診断装置で観察した水中に入れたコアラ型スポンジ



マッコウクジラの超音波

マッコウクジラの頭の中には脳油という油の詰まった巨大な器官があります。そしてこの脳油機構が発達しているため、音波を絞り込み、強力な爆発的超音波を発することができると言われています。それにより深海に泳ぐ10m超もある巨大なダイオウイカをも仕留めることができると言われています。



応用

●ガスボンベ刻印読取

高压ガスボンベに印字された刻印は、年月とともに印刷がかすれ読取りにくくなります。当社では、刻印読取装置を試作しました。超音波診断装置(第3章-26)と似た構造のリニアプローブを用いて、刻印部をなぞると刻印された窪んだ文字を検出し、モニタ上に表示できます(文字高さ14 mm、ボンベ直径220 mmでテスト)。

●レーザ溶接部の深さ測定

鋼材のレーザ溶接部の検査に超音波が利用できます。図3-24⑤に示すようにプローブを横から当て、レーザ溶接された部分を観察します。プローブを上下させながら反射強度を調べると、溶接部(探触子位置1)と未溶接部(探触子位置2)では、反射の程度が異なります。溶接部は金属がつながっている状態、未溶接部は金属板の隙間に空気がある状態であり、空気の反射強度は金属の境界反射と比べて大きく、容易に溶接深さを計測できます。また、反射強度をAモード波形で表すと、溶接部では溶接された板2枚分の厚さに相当する多重反射が見られますが、未溶接部では振動子が接触している板の厚さに相当する多重反射が観察されます。

Aモード波形を利用すれば、スポット溶接部に探触子を押し当てるだけで溶接の程度を評価できる検査装置を作ることができます。多重反射の位置、多重反射の波形の形、多重反射の継続程度(減衰量の評価)から、ナゲット径、溶接の程度を評価します。

●ガスボンベ液面計

液化ガスボンベの底に超音波の振動子をつけ、ボンベ内の残量を測定しているものがあります。当社では、懐中電灯のような形状の簡易液面レベル計(レベルスイッチ)を開発しました。ガスボンベの側面に装置を押し当てるだけで、液のある部分、液のない部分の確認ができます。

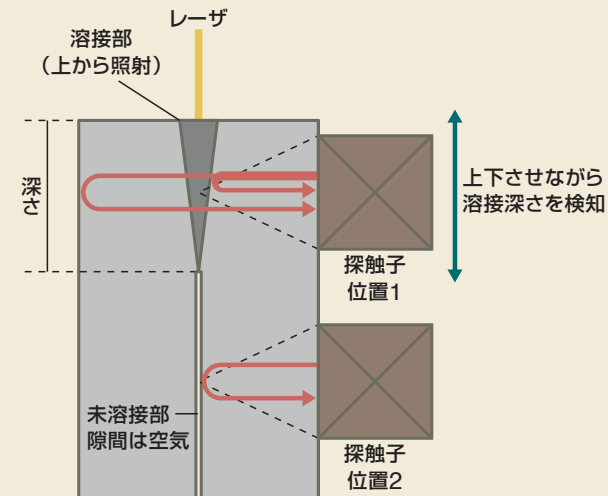


マグマ大使と超音波

特撮テレビ番組「マグマ大使」でマモル少年がマグマ大使を呼び出すときに吹く笛は、特殊な「超音波笛」という設定になっていました。笛を1回吹くと息子のガムが、2回で妻のモルが、3回吹くとマグマ大使が召喚されました。ちなみに息子の名前がガムなのは放映当時の提供がロッテだったから。

3-24 5

溶接部模式図(断面) 探触子を上下に移動しながら波形観察



3-24 6

簡易液面レベル計(レベルスイッチ)



©本多電子(株) 超音波科学館

材料観察・評価

超音波で材料の弾性的性質が観えます。

材料計測装置(弾性率測定装置と直線集束ビーム超音波計測装置)

●超音波を利用した新しい材料評価指標です

音波を利用した材料観察や評価が、光や電磁波(X線含む)と同じように広く行われています。これは、音波が光や電磁波と異なり、物質の弾性的性質や内部情報を提供してくれるからです。

弾性率測定装置は、固体材料の縦波音速と横波音速を計測し、ヤング率をはじめとする各種弾性率を求めるもので、研究関係だけでなく製造現場での品質管理にも使われています。また、直線集束ビーム(Line Focus Beam:LFB)を用いた材料解析は、各種電子基板材料の音響特性評価(100 MHz~1 GHz)に使われていますが、最近、各先端技術分野で必要とされている超低膨張ガラスにおいて、その超低膨張係数を実現するための材料特性・均一性を左右する化学組成分布を高精度に計測できることから注目されています。

直線集束ビーム超音波計測装置の原理

●超音波を集束させ、局所的な弾性表面波の音速を測定します

超音波顕微鏡(Acoustic Microscope)や直線集束ビーム超音波計測装置では、図3-25①のように音響レンズで超音波を一点(LFBでは線状)に集束させた超音波ビームを被検体材料(試料)に照射しますが、集束超音波ビームの焦点を試料面の垂直方向(Z軸)に移動させながら圧電膜トランスデューサからの出力波形を観測すると、図3-25②に示すような周期的な落込みのあるV(z)曲線と呼ばれる曲線が得られます。これは、試料の弾性的性質を反映した試料特有の波形で、試料表面でそのまま反射された波(#1)と試料表面を伝搬した後再放射されてきた波(#2)との干渉によるものです(図3-25③参照)。この再放射されてきた波は、試料に対して臨界角 θ_{lsaw} で入射した波が漏洩弾性表面波(Leaky Surface Acoustic Wave:LSAW)などとして試料表面を伝搬しながら、 θ_{lsaw} 方向の水中に再放射した縦波のひとつでB点から再放射された波です。V(z)曲線は、試料をZ軸方向に移動した時に、この2つの波の伝搬路長変化が異なるために起こるもので、材料特有のディップ周期 ΔZ を持ちます。

ここで、水中の縦波音速を V_l 、弾性表面波の位相速度を V_{lsaw} とおくと、

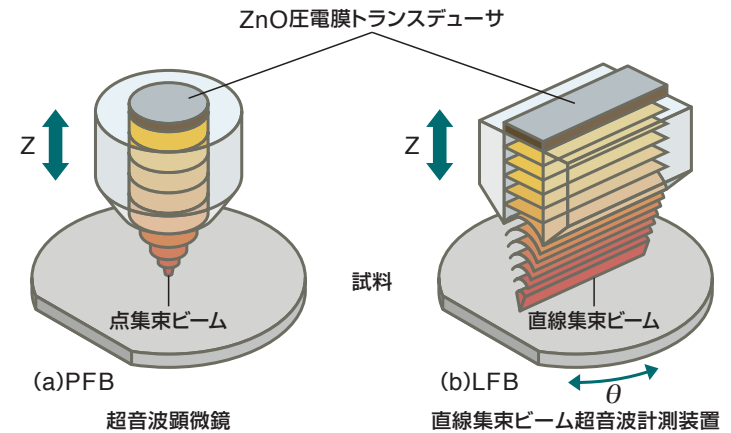
$$\theta_{lsaw} = \text{Asin}(V_l / V_{lsaw})$$

なる関係があり、漏洩弾性表面波の音速 V_{lsaw} は、次式によって求められます。

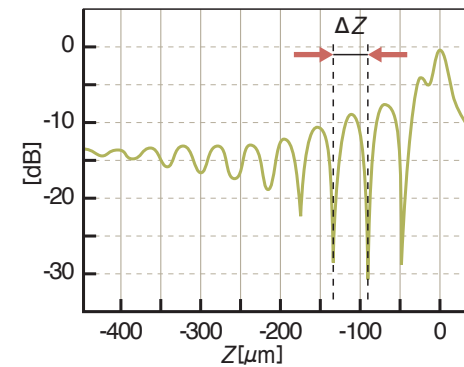
$$V_{lsaw} = V_l / (1 - (1 - V_l / 2f / \Delta Z)^2)^{1/2}$$

f:トランスデューサ駆動周波数

3-25 1 超音波顕微鏡と直線集束ビーム超音波計測装置のトランスデューサ



3-25 2 V(z)曲線



用語辞典

【ZnO(酸化亜鉛)】圧電性を有するセラミックス。薄膜の成膜ができることから高周波用の圧電振動子として利用されている。

集束ビーム超音波計測の留意点

● 試料のアライメントと温度管理が重要

LFBを用いることで試料表面上における弾性表面波の伝搬方向を限定できるため、材料の異方性を計測できます。また、LFBを用いた測定においては、試料平面とLFB超音波トランスデューサを正確にアライメント(試料と平行に保つ)すること、計測系の温度を一定に保ち高精度で温度計測することが重要です。

● 超音波顕微鏡でも漏洩弾性表面波を利用

点集束ビーム(Point Focus Beam:PFB)を用いた超音波顕微鏡で固体材料を観察する場合においても、コントラストのよい画像を得るために試料を集束超音波ビームの焦点よりレンズ側に近づけ、水と固体表面の境界面に漏洩弾性表面波を励起させることをしています。

その他の超音波を利用した顕微鏡

● 光音響顕微鏡

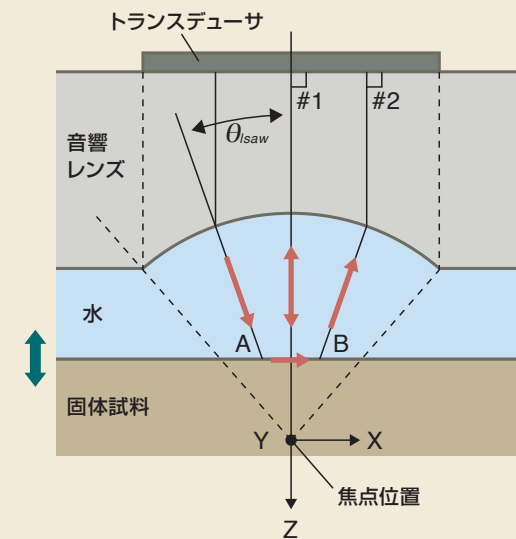
超音波を励起するのに圧電素子ではなく、レーザなどの光を用いた光音響顕微鏡(Photo Acoustic Microscope)があります。これは試料に照射された光エネルギーの一部が熱エネルギーに変換され、熱歪から音エネルギーに変換されることを使ったもので、周期的に強度変調したレーザを照射することで、その周期を持った超音波を発生できます。光音響顕微鏡では、試料の光学的、熱的、音響的な性質を総合的に評価できるため、内部欠陥の検出やエッジ効果など、多方面への応用がなされています。

● 超音波原子間力顕微鏡

また、表面形状を非常に高い分解能で計測できる原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope)と組み合わせることで、音響レンズでは得られない高い分解能で試料表面の弾性特性を画像化することができる超音波原子間力顕微鏡の研究も行われています。

◎参考文献:「超音波技術とその応用」[超音波顕微鏡の最新成果]
(菅沼/本多電子/電子材料 11月号/p.102/工業調査会/1992)

3-25 3 V(z)曲線発生原理



本図は、試料を集束超音波ビームの焦点よりレンズ側に近づけた状態を示しています。



コウモリに超音波を当てるとどうなる?

窓から侵入してきたコウモリ、追い回してもなかなか出て行ってくれません。そこで、試作中の空中レベル計で超音波を照射してみました。コウモリは部屋中を飛び回り壁にぶつかり落下。ぐったりしたコウモリを外に逃がしてやるとフラフラ飛び去って行きました。

医療診断

エコーの名前で知られる超音波診断装置。おなかの中の赤ちゃんにも安全。

超音波診断装置とは？

●人にやさしく、リアルタイムに体内を表示する装置

超音波診断装置は、おなかの中の赤ちゃんに使用しても安全で、心臓の動きが観察できるリアルタイム性を兼ね備えた、他に置き換えのできない診断装置です。体表にプローブを当てるだけで、体内の1断面をリアルタイムで観察することができます(図3-26①)。プローブの角度を変えながら断面観察すれば、三次元の構造も理解でき、心臓の動き、肝臓、腎臓などを観察して、生活習慣病の早期予防、腫瘍の発見等、幅広い医療分野で使用されています。X線検査とは異なり、放射線被ばくの問題が無いため、超音波検査室だけでなく診察室や病室でも使用できます。

超音波診断装置の表示方法及び走査方式

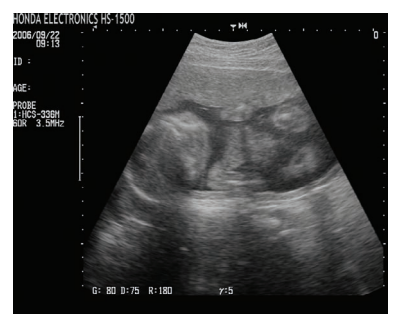
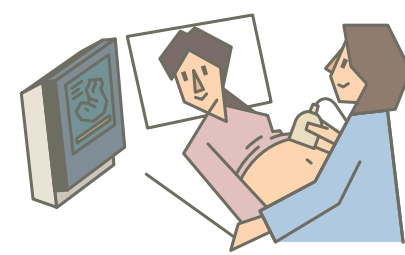
●リアルタイム表示

プローブは、短冊状の超音波振動子を一次元配列状に並べた構造になっています。端から順番に発信される超音波が、生体内を伝搬中に異なる組織の境界面で反射し、その反射エコーを受信します。素子を切り替えながら1画面で200回ぐらいの送受信を繰り返して画面にBモード画像を表示します。この繰り返しスピードが速ければ、プローブ下の1断面をリアルタイムに観察することができます。

●電子走査と電子フォーカス

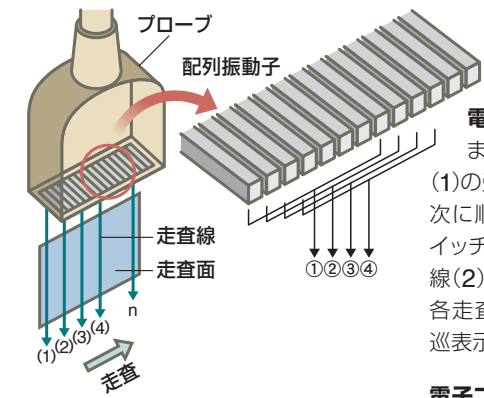
しかし、1素子から発信した超音波は広がる性質を持つため、実際には、複数個の振動子群を使用し、電子フォーカスすることで分解能の高い画像を得ています。各振動子は、分離されていて、ばらばらに動作できる構造になっています。振動子群の端部の振動子を先に発信し、中央部の振動子のタイミングを遅らせて発信すれば、振動子群の中心軸付近に集束波のビームを作ることができます。受信も同様に振動子群の各振動子で受信しますが、時間をずらしながら合成することで、焦点付近で分解能の高い画像を得られます。振動子を直線的に配列したリニアプローブだけでなく、振動子を扇状に配列したコンベックスプローブを用いることで、視野の広い画像を得ることができます。

3-26 | 超音波診断装置による診察



コンベックス走査による超音波画像例(Bモード画像)

3-26 2 電子走査と電子フォーカス

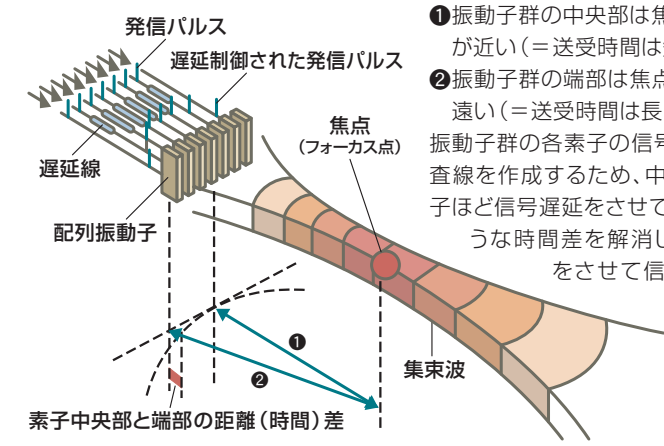


電子走査(左図参照)

まず振動子群①で送受信し、走査線(1)の受信データを得る。次に順次振動子群②③④...を電子スイッチで切り替えながら送受信し、走査線(2)、(3)、(4)...の受信データを得る。各走査線の受信データを走査面内で1巡表示させて、Bモード画像を表示する。

電子フォーカス(下図参照)

①振動子群の中央部は焦点までの距離が近い(=送受時間は短い)
②振動子群の端部は焦点までの距離が遠い(=送受時間は長い)
振動子群の各素子の信号合成をして走査線を作成するため、中央部に近い素子ほど信号遅延をさせて上記①②のような時間差を解消し、位相の同期をさせて信号合成をする。



 **製品紹介**
本多電子関連ページ

超音波診断装置に用いられる技術

●ドプラ法

ドプラ法を用いて、血流の観察を行います。ドプラ法は以下の4つに分類されます。

①カラードプラ法

プローブに近づく血流が赤系統、遠ざかる血流が青系統の色で表示され、血流の方向、流速を観察できます。

②パワードプラ法

ドプラシフト信号の強度を表現します。遅い血流を表示することで、腹部の末梢血管のような、蛇行した血管や細い血管の観察に利用されます。

③パルスドプラ法

血流速を波形で表現します。血管の狭窄、弁の異常などの診断に用いられます。

④連続波ドプラ法

心臓内部の血流のような、高速な血流の観察に用いられます。

●ハーモニクイメージング

送信周波数に対してその高周波成分が戻ってくることを利用した方式です。受信した高周波成分を映像化すると従来の超音波画像と比較して、ノイズ成分を軽減した画像が得られます。また、マイクロバブルにより高周波成分を増強することで血腫等を観察できるようになります。

●三次元表示・体内三次元動態可視化(リアルタイム三次元表示)

連続的に収集されたBモード画像を元に三次元表示を行ないます。専門的な知識を持たない患者さんへの病状の説明、子宮内の赤ちゃんの成長の紹介に利用されています。またリアルタイムで三次元観察を行なうと、心臓内の弁の開閉の状態を立体的に観察します。

●超音波エラストグラフィ

組織の硬さを色で表現し、Bモード画像と重ね合わせて表示します。圧力による組織のひずみを検出する方法と、せん断波の伝わる速さを検出する方法があります。乳癌検査や、肝臓の観察に用いられます。

●携帯型小型診断装置

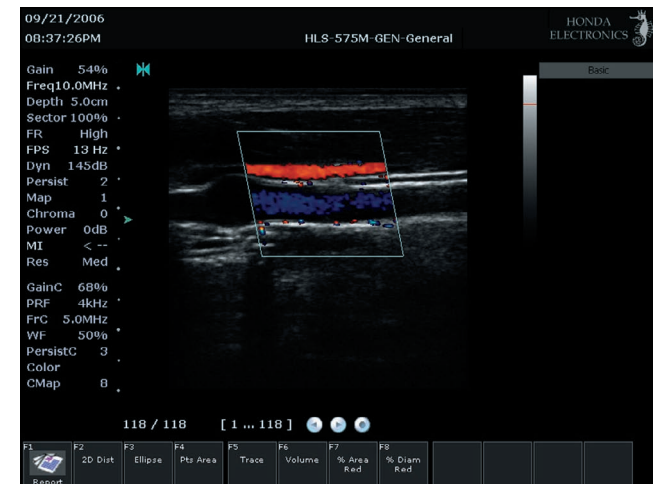
小型でも高性能な診断装置を使用することで、聴診器のように気軽に持ち運びができるようになります。いつでも、どこでも利用する事が可能になります。

●高周波診断装置

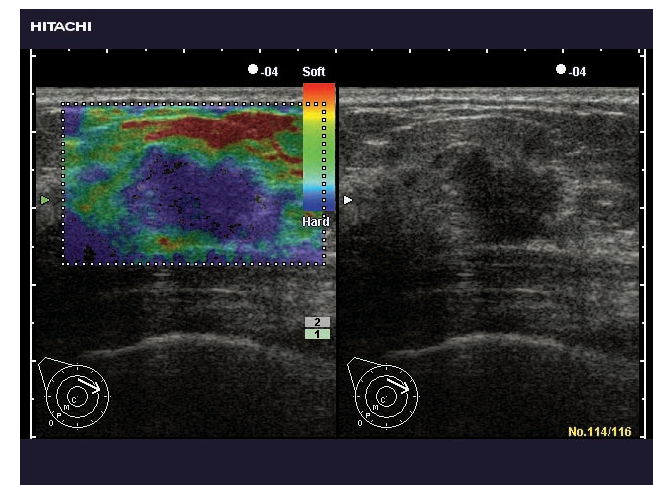
15 MHzを超える高周波超音波は、表在組織を優れた解像度で得ることができます。高周波超音波を利用することで、乳癌や甲状腺の診断に適しています。

- ◎参考文献：●「超音波観察法・診断法」(大井川宏明/東洋出版/1997)
●「はじめての超音波」(超音波工業会/工業調査会/2004)

ドプラ診断装置画像例



超音波エラストグラフィ



◎資料提供:「株式会社日立メディコ」



トムクルーズ法

俳優のトムクルーズさんが妊娠した婚約者のため、自宅用に超音波診断装置(2,300万円)を2台購入したことが問題となり、超音波診断装置を医療関係者以外に販売することを禁じる法案がアメリカで可決されました。これが「トムクルーズ法」と呼ばれているそうです。医学会は「診断装置は金持ちのおもちゃではない」と批判。

超音波診断装置の実用例

●超音波診断装置を使った穿刺

医療現場では、体に針を刺して検査や治療を行う場面が多くありますが、穿刺操作は医師の知識や経験を頼りに行われていました。最近では、安全確実に検査や治療を行うため、超音波診断装置を使って体内と針の様子を見ながら行うのが主流になりつつあります。

また最近では、患者の負担を軽減するため、大きく切開せずにカテーテルを血管に挿入して行う治療も盛んになってきており、その際にも超音波診断装置が使われるようになってきています。

●災害現場でのエコノミークラス症候群診断

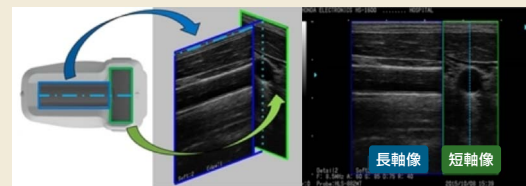
近年、災害時の避難所において、エコノミークラス症候群の発症が問題となっています。エコノミークラス症候群は、足の静脈に血栓ができ(深部静脈血栓症)、その血栓が肺静脈の細い血管まで流れて詰まる(肺血栓塞栓症)ことで発症します。災害現場では、被災者の運動量が減ること、また水分を十分に摂取しないことで、血流が悪くなり血栓ができやすいため、エコノミークラス症候群の発症者数が増加します。

超音波診断装置は軟部組織の観察が可能のため、血栓の有無を診断するのに用いられています。また災害現場においては、小型で携帯できる診断装置を避難所へ持ち運び、その場で診断することも可能なため、被災者に病院へ来院させることなく、迅速に診断・処置を行うことを可能にしています。

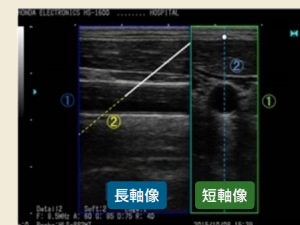
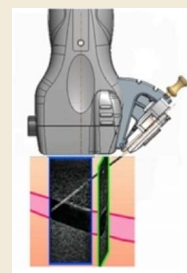
●野球肘検診

野球肘とは、小中学生の成長期の野球投手に多く発生するスポーツ障害です。肘の軟骨の下の骨が剥がれてしまう障害で、自覚症状が出た時には手術が避けられない場合が多いです。超音波診断装置は骨および軟骨の観察が可能であり、野球大会等に持参できるので気軽に受診する事ができ、早期発見に期待されています。

●T型プローブ



- ① 穿刺対象を直交2断面で同時に観察可能。
(血管の短軸/長軸像を同時に観察できる)

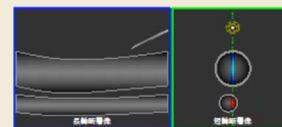
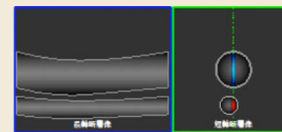
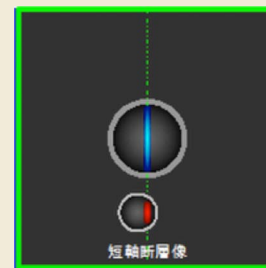


- ① 直交2断面の表示(短軸/長軸像を同時観察)
② 穿刺ガイドラインの表示

- ② 穿刺ガイドに沿って針を挿入。

- ③ 超音波画像を確認しながら、目的的位置まで針を挿入し、針先を留置して施術。

●ワンラインドブラ



短軸断層像側の画面中央にカラーフロー表示
“穿刺して針先を血管内に留置する際も邪魔にならない”

肉質評価

超音波を使って肉牛の質を評価する

超音波診断装置を用いた肉質評価

●超音波診断装置は畜産の分野にも利用されています

肉牛の飼育を行う畜産分野では、牛肉の価値は肉質に大きく左右されます。一般的な肉質の評価方法は、切り落とされた肉の断面からサシ(霜降り)の入り具合等を見ることで、品質の良し悪しを判断していました。このように、肉質評価は牛肉に加工された後でなければできないものですが、超音波を利用することにより、生体の牛に対しても、筋肉や脂肪の状態を超音波画像の変化として表示することが可能になります。超音波診断装置は、牛が生きたままの状態での肉質評価を行う判断材料として、活用されています。

応用例

●経過把握がより良い品質に繋がります

肉牛の肥育(育てる)過程において、筋肉や脂肪の付き具合を超音波画像の観察により、経時的に把握することができます。これにより、飼料を給与するプログラムの改善などに活用されています。その他に、超音波による牛肉のシコリの検出も期待されています。シコリとは、筋肉や脂肪が硬く変質したものです。シコリの発生原因は不明確であり、牛肉の品質を落とす原因となります。また、牛肉に加工するまでシコリが発生しているかわかりません。超音波診断装置を利用することでシコリなどの生体内の異常を判別する研究が進んでいます。



本多電子関連ページ

●切り落とされた肉の断面図



●超音波診断装置を用いて肉質を観察する様子



●肉牛の超音波画像例



◎資料提供:宮崎大学 助教 徳永忠昭氏

魚群探知

もはや、漁船の必需品。スポーツフィッシングでも大活躍。その原理は？

魚群探知機とは？

●魚群探知機は超音波を利用した魚センサ

魚群探知機では、超音波の反射によって、水中の魚群の存在や量・種類などを分析することができます。その研究は、1950年頃に始まり、海洋漁業の近代化に貢献してきました。現在では、GPS機能付きで地図表示可能なタイプや、データ通信機能を持った装置も存在します。また、バスフィッシングやワカサギ釣りなど、レジャー向けの利用も広がっています。

魚群探知機の原理

●魚群探知機の原理は山びこと同じ

超音波振動子から発信された超音波は、水中の魚群や海底で反射され、再び振動子で受信されます。魚群探知機では、超音波の発信から受信までの往復時間を距離に換算し、深度(深さ)として表示します。

また、反射波の強弱により、魚群の大きさや密度、あるいは海底の形状や底質を画像に色別で表示します。例えば

- 魚群の密度が高いほど、魚群からの反射波が強い
 - 魚群が大きいほど、広範囲から反射波が返ってくる
 - 岩場など底質が固い(ハードボトム)ほど、海底からの反射波が強い
- といった具合です。ただし、深度によって、超音波の減衰量や探知領域が変わるため、反射波強度と深度とを総合的に判断して情報処理を行うことが必要です。

魚群探知機の見え方

●魚群探知機が見ているのは船の真下

魚群探知機の画面は、画面右端が船(振動子)の真下となり、超音波を発信するたびに1ラインずつ画面右端に表示し、直前の表示画面を左方向に移動することによって画面が構成されます。したがって、画面の右端の1ラインの反応以外はすべて過去の画像になります。



本多電子関連ページ

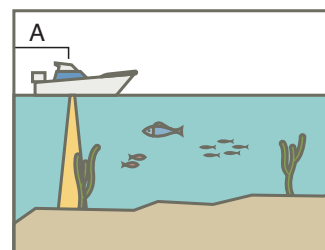


猫は周波数何ヘルツの音まで聞こえる？

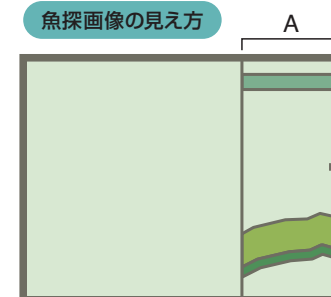
答えは100,000Hz。人は20,000Hzまで、犬は40,000Hz。我々には何も聞こえないのに、猫が聞き耳を立てていることがあるが、これはこの可聴域の違いからくるものです。猫にはちゃんと聞こえているのです！ちなみに猫の獲物であるげっ歯類の多くは、20,000~90,000Hzで鳴きますが、猫は、これをしっかりキャッチできるのです。

●魚群探知機画像の見え方

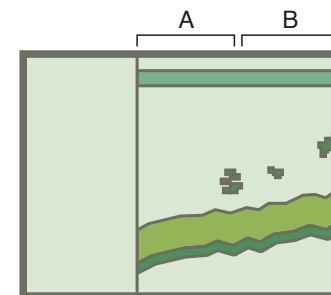
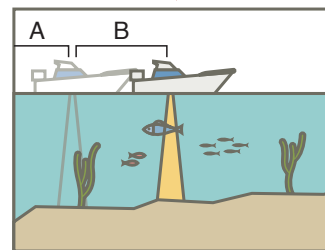
船の移動状態



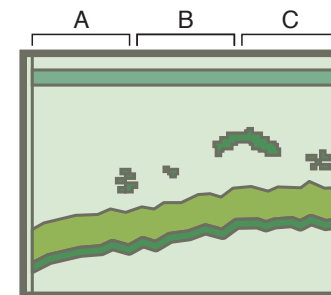
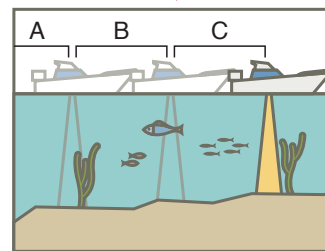
魚探画像の見え方



魚探画面ではBの情報が増えた分、Aの画像が左に移動する。



魚探の情報は、右から左へと進む。つまり過去のデータはどんどん左へ移動し、最右は最も新しい情報が映し出される。



Cの情報が増えた分、A、Bの画面が左に移動し、最も新しいCの情報が最も右に映し出される。

魚群探知

魚群探知機用の超音波振動子

● 広範囲探知の低周波、高精度探知の高周波

面積が等しい2種類の振動子(50 kHzと200 kHz)を使用したとき、50 kHzの低い周波数は超音波の広がりは大きくなり、広範囲に探知できます。一方、200 kHzの高い周波数は、50 kHzに比べ超音波の広がりが小さいためポイントの位置を正確に把握できます。

【低周波の特徴】

- 広い指向角により、広範囲の探知が可能
- 深い場所まで探知が可能
- 硬い底質を判断材料となる多重反射(振動子から発振された超音波が海底で反射し、再度水面と海底で反射してきた超音波の画像)が現れやすい
- ポイントの位置を正確につかむ事が難しい

【高周波の特徴】

- 狭い指向角により、正確な地形の把握が可能
- 解像度が高く、小魚などの小さな反応も表示される
- 深い場所まで探知が難しい

これからの魚群探知機

● 魚種の特定

振動子の改善や、ノイズ除去等のデータ処理技術の向上により、高精細な魚群探知機の開発が進められています。将来、魚種や量の特定ができるようになると考えています。

● 釣果データの蓄積と分析

GPSによる位置情報の表示、記録、潮汐データ、気象データなども参照可能な機種が既に登場しています。釣果記録をこれらのデータとともに蓄積し、データ分析が行える魚群探知機が今後の主流になると考えられます。

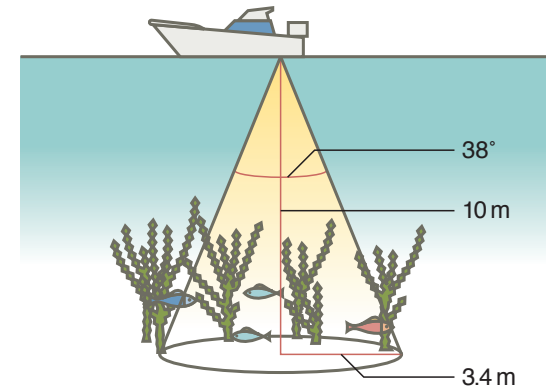
● 通信機能

漁船間や、陸上との通信機能により、釣果データの蓄積や、複数漁船の情報共有化が可能になり、より多角的な分析が可能になると考えられます。

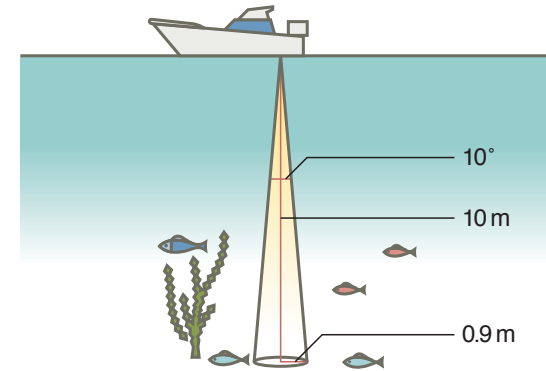
● インターネットサービスの充実

衛星通信により、海上・湖上でのインターネット接続が可能になっています。釣果に直結する船上でのインターネット情報サービスの充実が必要と考えられます。

● 低周波の概念図



● 高周波の概念図



● 超音波の周波数と探知距離

	高周波 周波数200 kHz		低周波 周波数50 kHz	
	出力 600 w	出力 3 kw	出力 600 w	出力 3 kw
浅				
深				

撮像(超音波カメラ)

超音波診断装置と同じ方法で海の中を見てみよう。その効果は？

超音波撮像とは？

●超音波でとらえた情報を画像化します

超音波でとらえた情報をどのように表示すれば分かりやすいでしょうか。もともと超音波による情報は目で見えません。これをいかに人間が理解し易いように表示するか、すなわち画像化が重要になります。例えば魚群探知機(第3章-28)や超音波診断装置(第3章-26)などの表示方法は長年のノウハウの蓄積があります。表示方法としてはA、B、Cモード(第3章-26)などがありますが、重要なことは、どのような画像化方法が私たちにとって分かり易いかにあります。

超音波カメラ

●超音波カメラは魚の形を見るセンサ

ここで超音波撮像の一例として超音波カメラを見てみましょう。超音波カメラは超音波診断装置で海の中を見てみようという発想で生まれました。海の中に診断装置を持ち込めば、泳いでいる魚がそのまま見られるはず。図3-29①は、水深12 mの海中を遊泳する魚の画像です。浮き袋の様子がはっきり見えます。自然の姿で泳いでいる魚の超音波画像を撮ることができました。

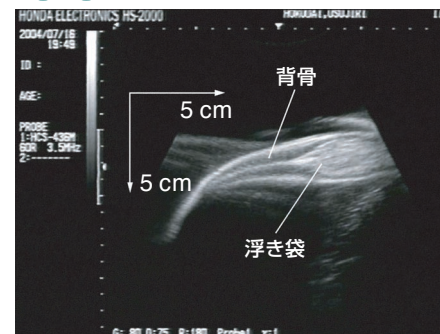
レンズを切り替えることで少し遠くまで見ることができます。図3-29②は、計測距離を2 mくらいに設定したときで、魚一匹一匹の大きさが分かります。魚群探知機はAモードと呼ばれる表示ですが、超音波カメラは超音波診断装置と同じBモード表示です。魚の形状が分かる魚群探知機として使える可能性を持っています。

魚の診断装置

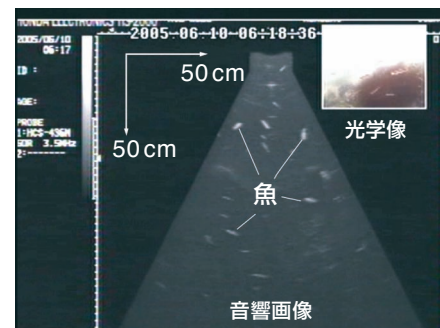
●養殖魚に超音波カメラを使います

超音波カメラによるもう一つの撮像の例を紹介します。超音波カメラを図3-29③に示すモータドライブに装着し、光学カメラによる画像と音響画像を同期して表示します。光学カメラとの比較で、今どの部分を観察しているのかよく分かります。超音波カメラによって撮った画像をパソコン上で三次元画像に編集します。家畜用の超音波診断装置は普及していますが、養殖魚などに対する超音波診断は行われていません。魚の卵の成熟度なども測定可能で、今後、魚の診断装置への応用が期待されます。

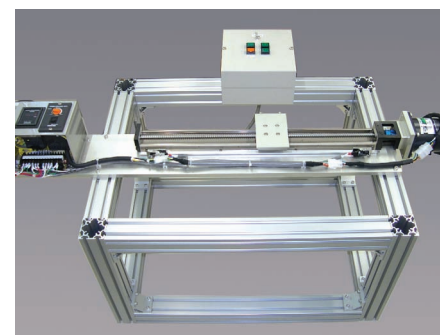
3-29 1 超音波カメラによる魚の撮像例



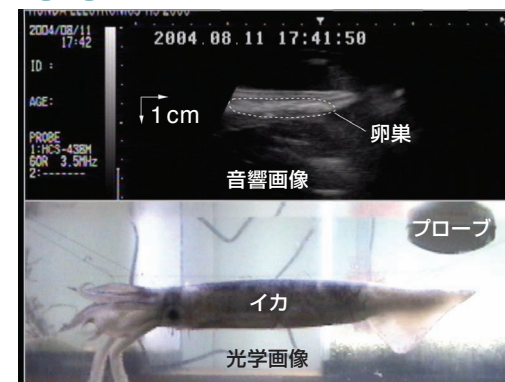
3-29 2 超音波カメラによる魚探



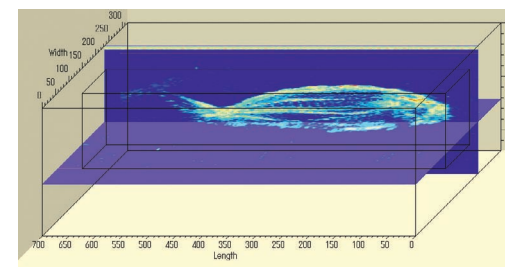
3-29 3 モータドライブ装置



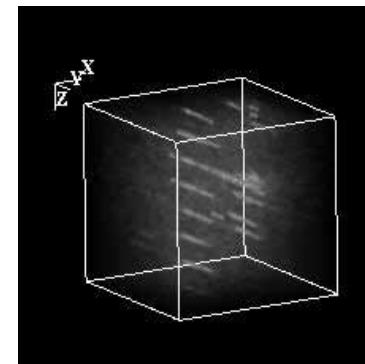
3-29 4 イカの撮像例



3-29 5 魚の三次元表示例



3-29 6 三次元超音波撮像例



撮像(超音波カメラ)

三次元画像構成

●ソフト上で三次元画像を構成します

三次元表示には、超音波で得られた二次元のBモード情報を加工して立体画像化する技術が使われています。この方法は何枚もの(Bモード)画像が必要なため、画像撮りに時間がかかります。図3-29⑤に何枚もの画像から構成した三次元表示例を示します。この問題点を解決するために、同時に複数の超音波ビームを出すことが行われています。

●ビームの符号化することによる三次元画像構成

同時に、何本ものビームを送受して画像を構成すれば、瞬時に三次元情報が得られます。この方法の一つに、超音波ビームをあらかじめ符号化しておいて、どの振動子から出された超音波か区別が付くようにした技術があります。どの振動子から出た超音波が分かれば、後から反射した位置が計算で求まります。ちょうどフラッシュをたくように一度に超音波を出し、その後、受信信号から計算で画像を構成する技術です。超音波撮像方法としてはとても有望な技術です。

図3-29⑥はこの方法で撮像した、超音波診断装置の評価に使うファントム(模型)の表示例です。埋め込まれたストリングス(線材)が確認できます。現時点では、解像度および表示速度が実用化段階に達していませんが、超音波による三次元撮像の可能性を示すものとして期待できます。

- ◎参考文献: ●K.Iida, et al., "Observation of Marine Animals Using Underwater Acoustic Camera", Jpn. J. Appl. Phys., 45, 4875, (2006).
●N.Okada, et al., "Two-Dimensional Pb(Zr_{1-x}Ti_{1-x})O₃ Ceramics Arrays for High-Speed Three-Dimensional Imaging System Using Coded Wavefront", Jpn. J. Appl. Phys., 42, 3289, (2003).



白内障手術って知っていますか？

厚生労働省の統計では年間160万人も手術が行われています。なんと、この手術は目の中にある水晶体の袋の中身を、超音波で砕いて吸い取ってしまい、その代わりに新しい眼内レンズを入れてしまうものなんだそうです。もう、25年間の歴史がありますが、以前は、「とんでもない手術!」と言われていたそうです。

水中探査

海底地図の作成や、水難救助にも超音波が利用されています。

超音波を用いた水中探査

●魚群探知機の原理で、水中の様々な情報を探知します

水中に超音波を発信し、魚群からの反射を捉えて、魚群までの距離や量を探知するのが魚群探知機ですが、これと同じ原理を用いると様々な水中情報の探査が可能です。

- 魚群の回遊行動や生息分布など、水産資源の調査
- クラゲの検知
- 海底・湖底地形情報の把握
- 水難事故、水難救助における探査

●海洋・土木事業での浚渫(しゅんせつ)工事、埋め立ての作業状況把握
超音波による水中探査は、水上から探査できるという簡便さから広く利用されています。

超音波による水中探査システム

●マルチビームによる効率的な探査システム

魚群探知機では超音波振動子により船の真下の情報を得ていますが、水中探査システムでは、連続的な定点観測よりも、むしろ広範囲を効率的に探査することが求められます。そこで、機械的に振動子を走査する方法や、複数の振動子を用いたマルチビームにより、同時に広範囲を探査できるような工夫がなされています。

●GPSによる位置情報の把握

GPSと組み合わせることで、水中探査情報を位置情報と併せて記録するシステムも可能になります。三次元の海底地図や海洋生物の生息分布図など、位置情報を含めたデータ解析に利用されています。

●マルチ周波数による分析

超音波の周波数による特長を利用して、低周波から高周波の複数の周波数について反射レベルの分析をすると、物体の性質やサイズ、より正確な底質判別なども可能になります。

●魚群探知機による水中探査

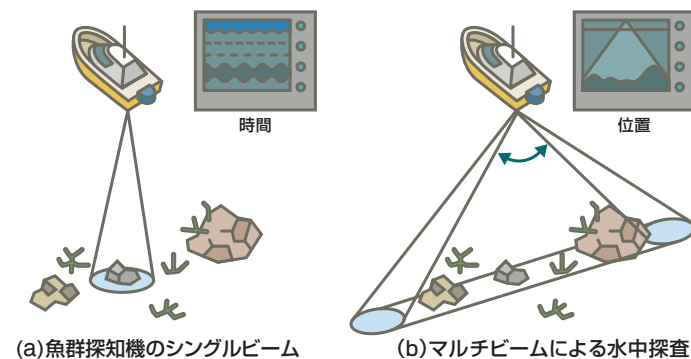
上記は、広範囲のデータ収集に用いられる複雑なシステムですが、最も簡易な方法は、魚群探知機を搭載したボートで水上を移動しながら探査するという魚群探知機そのものです。高度な解析は出来ませんが、水難救助等の地域防災で多くの実績を上げています。



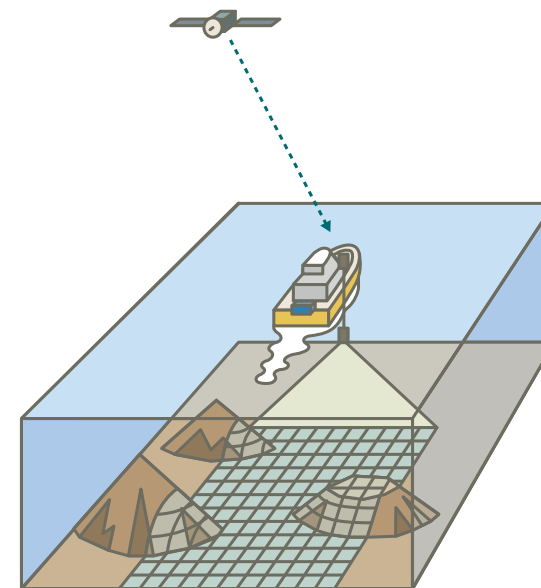
魚探講座

本多電子関連ページ

●マルチビームによる水中探査と魚群探知機の比較



●GPSと組み合わせた水中探査システム



地中探査

地層や地質の調査にも超音波が利用されています。

超音波を用いた地中探査

●埋設物や地層、空洞の探査に

地中でも超音波が伝わることから、水中探査と同様に地中の探査も可能です。しかし、周囲に線路や機械などのノイズ源がある場合に外乱を受けること、地表を伝わる表面波と地中からの反射波との分離が困難である点などから、現状では電磁波による地中レーダ探査が一般的で、超音波の利用は比較的深い位置(数十メートル以上)に存在する地層や空洞の調査など一部に限られています。

これから期待される技術

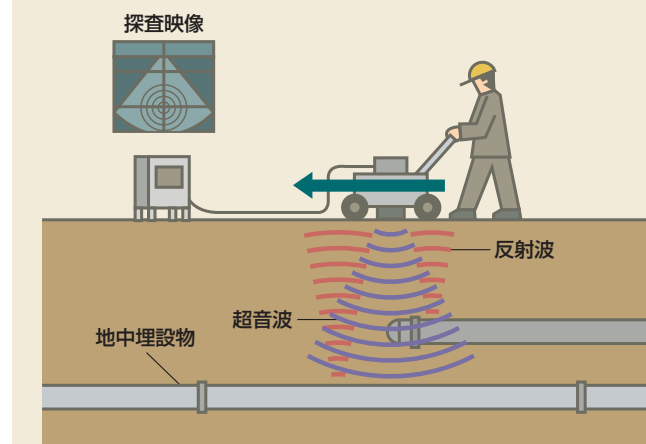
●音響解析技術の向上が鍵

地下埋設物や遺跡調査では、電磁波探査や電気探査が用いられることが多いのですが、これらの方法は、電解質を多く含む地質では調査が困難です。また、地雷探査において、近年増加しているプラスチック製の地雷には、従来の金属探知機では対応できないため、その他の方法による探査が熱望されています。このような理由から、超音波を用いた新しい地中探査技術の研究が各所でなされており、横波音波を用いた浅層地中探査技術¹⁾などの報告があります。

今後、音響解析技術が向上すると、超音波による地中探査においても応用の幅が広がると考えられます。

◎参考文献:1)「埋蔵文化財探査用地中ソーナ—横波音波による浅層地中映像—」
(杉本恒美/日本音響学会誌 Vol.58, No.9, pp605-610/2002)

●超音波による地中探査



パラメトリックスピーカ

ピンポイントに音を届けるスピーカです。

パラメトリックスピーカとは

●狙った方向だけに音を伝えるスピーカ

パラメトリックスピーカは、従来のスピーカに比べて音が広がらないスピーカです。静かな空間が望まれる美術館で、絵の前だけに解説が流れるパラメトリックスピーカを利用した場合、その絵の前に立った人には解説が聞こえ、絵から少し離れた人には音が聞こえません。このように、パラメトリックスピーカを使用し、狙った方向だけに音を伝えることができます。

パラメトリックスピーカの原理

●空中超音波用の振動子を利用

空中超音波で利用する超音波は、40 kHzといった高い周波数を使うため、人間の耳では聞くことができません。しかし、40 kHzと42 kHzの差音(2 kHz)の音は聞くことができます。

超音波信号を音声信号で変調します。例えば、40 kHzの超音波を音声信号でAM変調(図に示す超音波の包絡線を可聴音で変調)してスピーカから出します。放射された超音波は空中で伝搬するうち非線形効果で波形が歪み、歪んだ信号には差音成分が含まれます。一般に、空中で非線形歪が生じるには120 dBといった高い音圧が必要です。複数の空中超音波用の振動子を密集してアレイ状に並べることで、高い音圧を実現しています。

そして、ある程度の伝搬距離にわたって高音圧となる中心経路でしか非線形現象が生じないことから、細い超音波ビームの極端に狭い範囲だけで音が聞こえることになるのです。

非線形歪は、瞬時音速が音波の振幅に依存して変化するパラメトリック効果に由来します。

パラメトリックスピーカの応用

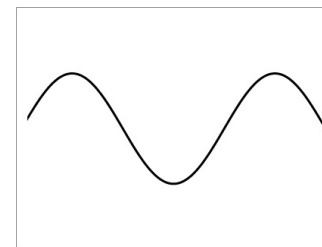
美術館、博物館等での利用はすでに始まっています。駅のプラットフォームや、改札口で案内を示すだけでなく、広い応用が期待されます。

また、パラメトリックスピーカを利用して、車の中で運転手だけにカーナビから情報を与えたり、人それぞれで違う音楽を流すなどということも検討されています。パラメトリックスピーカが、音声だけでなく生活環境音の構築に役立つ技術の一つになるかもしれません。

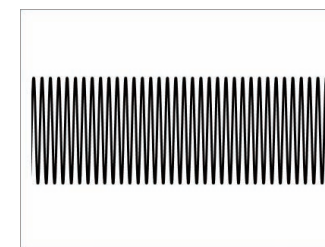
●参考文献: ●鎌倉友男、酒井新一、日本音響学会誌、62 (2006) 791。

●Don A. Webster and David T. Blackstock, J. Acoust. Soc. Am., 62 (1977) 518。

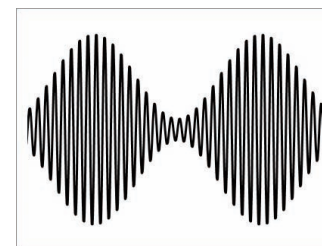
●パラメトリックスピーカ原理



2 kHz音声



40 kHz超音波



2 kHzで変調した超音波

●パラメトリックスピーカ(試作品)



水中通信

超音波で情報伝達、通信はできるか？

超音波を用いた情報伝達

●超音波も波動なので、通信に利用できます

テレビ、ラジオや携帯電話などのように、離れたところに情報を伝達する手段として電波や光が利用されています。超音波も電波や光と同じく波動であるため、通信に利用することができます。

どんなところで利用されているか？

●超音波を用いた情報伝達は海中で利用されています

真空中や空気中ではよく利用されている電磁波ですが、海中では減衰が大きくて、うまく利用することができません。海中では超音波を利用した情報伝達が研究、利用されています。

超音波を用いて通信を行う場合、次のような問題があります。

- ① 振動子が共振を利用するものであるため、周波数帯域が狭い
- ② たくさんのデータを送ることが難しく、時間がかかる
- ③ 海中には外来ノイズが多く、それらの影響を受けやすい

これらの問題点を解決して実用化されているものには、次のようなものがあります。

① ダイバー用水中通話機

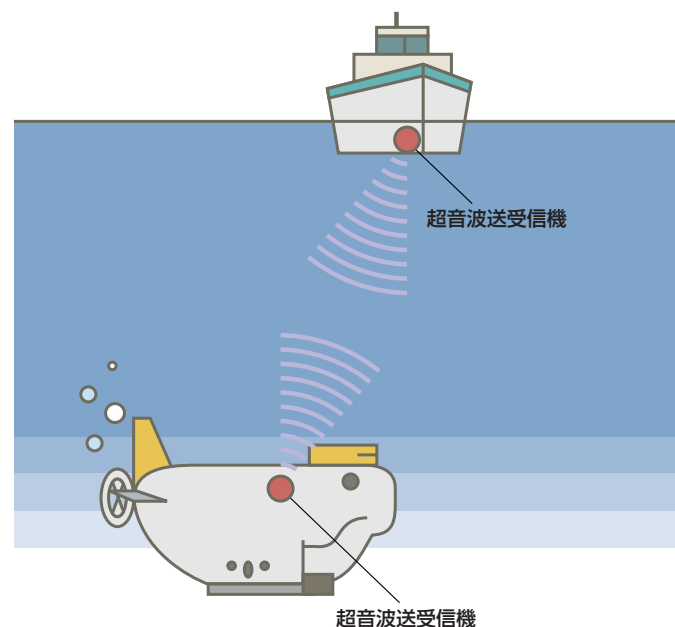
水中作業（ダイバー）の安全確保のため、作業指示などのために開発され、利用されています。

② 水中画像伝送装置

「しんかい6500」の撮影した水中画像を海上の母船に伝送するために開発され、成果を上げています。

- ◎参考文献：●「ダイバー用通信機の原理」（島田理化学工業／日本工業出版刊 超音波TECHNO VOL8 No.3 / pp.54-60 / 1996）
●「長距離高速デジタル通信」（海洋科学技術センター／日本工業出版刊 超音波TECHNO VOL8 No.3 / pp.49-53 / 1996）

●超音波による水中通信



コラム

「私は狙われている!」～超音波に対する「誤解」～

「ご相談があるのですが…」こんな電話が掛かってきます。「耳鳴りがする」「不快な振動を感じる」「家の中を監視されている」等々で、「『超音波』が原因ではないでしょうか?」といったものです。ご本人にとって非常に深刻で、誰かに相談に乗ってほしい、という気持ちが痛いほど伝わってきます。こういった場合には、超音波の性質などを説明し、原因としての可能性は低い旨のお話をさせていただいています。

- 空気中では減衰が大きく、長距離まで届きません。
- 壁やガラス、カーテン等が間にあれば、ほとんど反射か吸収されます。
- 熱を発生させるには、相当な圧力が必要です。
- そもそも超音波は人間には聞こえない音です。

この本をお読みいただき、超音波への「誤解」を解いて頂きたいと願います。

海洋生物テレメトリー

魚類の回遊行動、水産資源の管理、魚類生息環境調査を行う技術。

超音波によるテレメトリーとは

●テレメトリーとは

テレメトリー (Telemetry) とは、遠隔測定という意味です。漁業資源の調査や海洋生物の研究では、動物や魚などの生態や回遊範囲などを正確に知る必要があります。魚の情報を得る方法として超音波を用いたテレメトリー方式があります。

●生物に超音波発信機を取り付けて位置を知ることができます

魚の体に超小型の超音波発信機を取りつけて超音波パルス信号を発信させます。さらに船の舷側に水平方向に回転する高感度の超音波受信機を設置して、受信音が最大になる方向を測定します。そして同じ装備をとりつけた他の船の情報と合わせて魚の位置を決定します。超小型超音波発信機の装着方法は、サケの場合、胃のなかに挿入する「のみ込み型ピンガ」と背ビレの前に鞍をかけるようにした「鞍かけ型ピンガ」、ブリの場合は腹ビレに吊下げる「曳航型ピンガ」が用いられています。図3-34②では、アカアマダイに超音波発信機を取り付けた実験です。天然魚は、昼間に超音波が受信され夜には受信されない日周パターンを示していますが、養殖魚では活動リズムの異なる個体が存在しています。このように、超音波テレメトリーは海洋生物の生態調査に活用されています。

今後の動向

●テレメトリーの目的

テレメトリーは産卵場所の調査、資源量、海洋環境の変化を把握することにより環境を守ったり、海洋資源を存続させることが大きなテーマです。したがって、国際的なプロジェクト作りが望まれます。

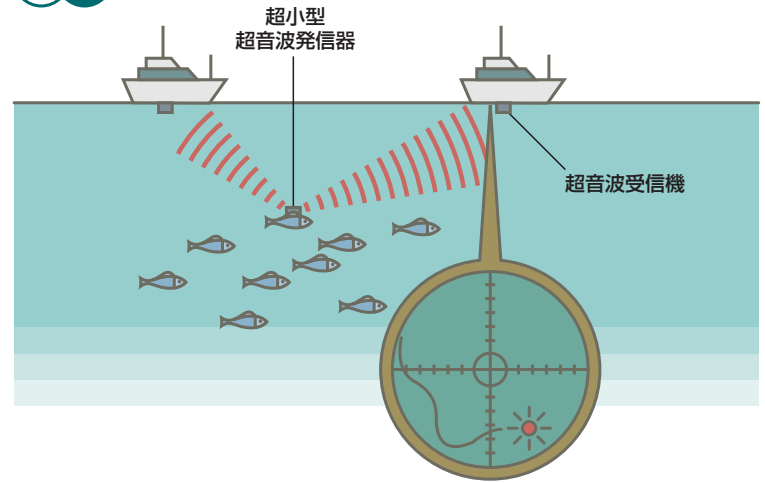
◎参考文献: 「超音波の世界」(本多敬介著/NHKブックス)

- 京都大学大学院 情報学研究科 生物圏情報講座(WEBページ)
- 独立行政法人 水産総合研究センター(WEBページ)

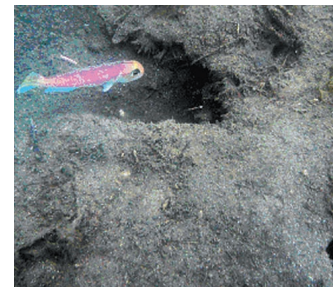


頭の中に問題意識の引き出しを持って
同じ実験現場でも、宝の山が現場にあるのに判らない人がいる。何時も好奇心を持って鋭い問題意識をもっている人は成功率が高い。

3-34 | 海洋生物テレメトリー

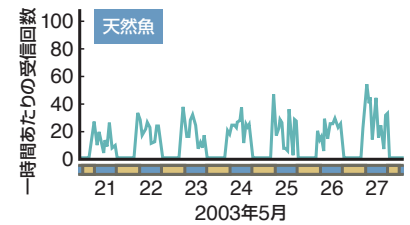


3-34 2 超音波テレメトリーによるアカアマダイの調査

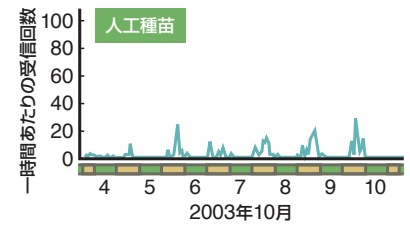


◎資料提供: 独立行政法人 水産総合研究センター

●設置型受信機に記録された受信頻度の日周リズム



●人工種苗1尾に見られた昼夜が反転した日周リズム



◎転載文献: 京都大学大学院 情報学研究科 生物圏情報講座(WEBページ)

超音波洗浄

“超音波洗浄”は工業製品の品質向上において不可欠な技術です。

超音波洗浄とは

●工業製品の品質を高める超音波洗浄

超音波洗浄は、水や溶剤を超音波により振動させ、被洗浄物に付着した微細な塵・汚れなどを洗浄する技術です。身近なところでは眼鏡やアクセサリーの洗浄といった民生用から機械部品や半導体部品の洗浄といった産業用まで幅広い用途で利用されており、工業製品の歩留まり向上、品質向上に大きく貢献しています。

超音波洗浄の原理

●超音波の効果は、物理的作用と化学反応促進

超音波洗浄は、超音波の“物理的作用”と洗浄液の“化学的作用”を組み合わせることによって、洗浄効果を得ています。

①物理的作用

キャビテーション、振動加速度、直進流などが、汚れを剥離、分散、乳化

②化学的作用

洗浄液による化学的作用と、超音波による化学反応促進作用が汚れを溶解、分解

●キャビテーションによる洗浄(数十キロヘルツから百キロヘルツで顕著)

液体中に超音波を照射すると減圧と加圧が交互に発生し、減圧時の圧力によって空洞すなわち気泡が生じます(この現象がキャビテーションです)。気泡内部は液体蒸気や液中に溶存した気体ですが、圧力の変動に伴って気泡が成長、圧壊し、この時の衝撃圧で表面の汚れを除去します(図3-35②)。図3-35③にキャビテーションを発生させるための超音波強度と周波数の関係を示します(これ以上の強度で発生)。低周波ほど低い強度でキャビテーションが発生します。

●振動加速度による洗浄(数百キロヘルツからメガヘルツ帯で顕著)

超音波によって洗浄液が振動し、その加速度によって表面の汚れを振り切ります。周波数が高いほど、その2乗に比例して加速度が大きくなるため、高周波ほど顕著となります。

●直進流による洗浄

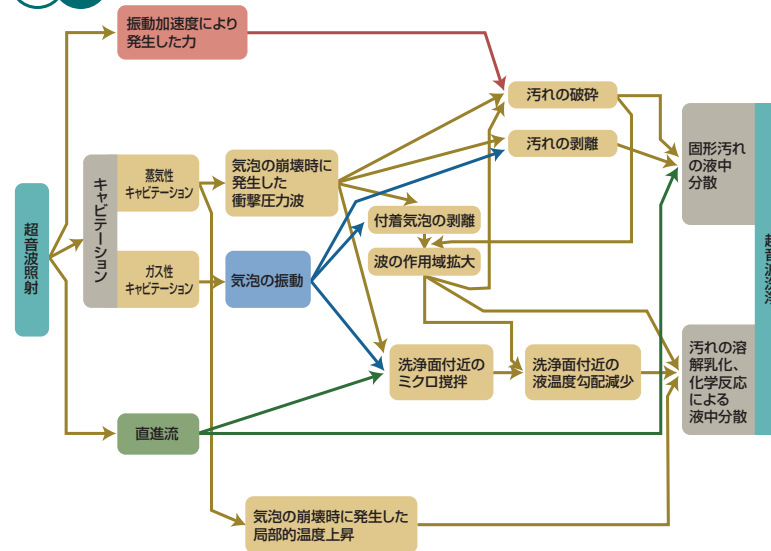
超音波により洗浄液に直進流が発生し、その流れによって表面の汚れを剥ぎ取ります。直進流も高周波ほど発生しやすくなります。



製品紹介

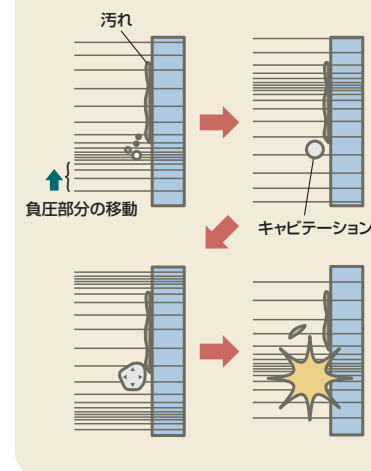
本多電子関連ページ

3-35 1 超音波洗浄のメカニズム

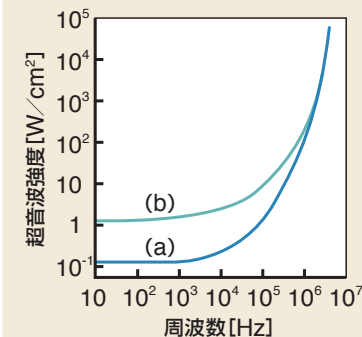


◎転載文献:「超音波工学」(社)日本電子機械工業会/コロナ社/p.233/1993

3-35 2 キャビテーションの被洗浄物への作用



3-35 3 キャビテーションを発生させるための超音波強度の閾値



(a) 空気飽和した水
(b) 脱気した水

◎転載文献:「超音波便覧」(超音波便覧編集委員会/丸善/p.306/1999)

超音波洗淨

超音波の周波数と洗淨作用

●“一般洗淨”に適した低周波帯での洗淨作用

低周波帯での洗淨は、キャビテーションを利用しており、以下の特徴があります。

- ① キャビテーションによる衝撃圧が頑強な汚れの洗淨に有効
 - ② 波長が長いため1/2波長ごとに表れる定在波の音圧の強弱が洗淨ムラの原因になりやすい
 - ③ 振動放射面のエロージョン(浸食)が顕著になる
- したがって、ダメージを嫌う精密洗淨には不向きですが、頑固な汚れのある金属・機械加工部品の切粉除去洗淨、脱脂洗淨やプリント基板のフラックス除去などの“一般洗淨”に適しています。

●“精密洗淨”に適した高周波帯での洗淨作用

高周波帯での洗淨は、振動加速度、直進流を利用しており、キャビテーションによるダメージがなくサブミクロンサイズのパーティクル除去が可能のため、半導体用シリコンウエーハや液晶ガラス基板、ハードディスクドライブの部品などの“精密/超精密洗淨”に適しています。集積回路の高密度化、高集積化に伴い、除去対象パーティクルサイズの微細化やパターンダメージがMHz洗淨でも問題となってきており、今後さらに音圧分布の均一化、低出力化、高周波化の検討が必要になってくると思われます。また、周波数が高くなると超音波の指向性が鋭くなるので、被洗淨物の陰となった部分には超音波が当たりにくいことに注意が必要です。

●力強さと精密洗淨性を兼ね備えた中周波帯洗淨

低周波帯と高周波帯の中間に属する100~500kHzの中周波帯洗淨は、低周波帯洗淨の力強さと、高周波帯の精密洗淨性を兼ね備えたものとしてMHz帯では洗淨できないやや大きなパーティクル除去を目的に多用されており、主にガラスマスク、液晶ガラス、磁気ヘッド等の洗淨に用いられています。

超音波洗淨機の構成

●構成方法

超音波洗淨機は主に超音波発振器と超音波振動体(圧電振動子+音響放射体)、洗淨槽から構成され、超音波発振器より供給される高周波電力の電気エネルギーを圧電振動子の機械振動エネルギーに変換し、振動体に接する媒質中に音響エネルギーとして放射します。表3-35 ④に低周波帯の“一般洗淨”と高周波帯の“精密洗淨”で区分した主な超音波洗淨機の構成一覧を示します。

3-35 ④ 超音波洗淨機の構成

区分	構成		特徴	洗淨用途	洗淨液
“一般洗淨” 低周波帯 (数十kHz~ 数百kHz)	ホーン 放射 タイプ	乾式	接触または非接触洗淨	微粉除去	—
		湿式	振動板型の約10倍以上の振動振幅で強力洗淨	・布の染み抜き ・フィルター洗淨 ・バリ取り洗淨	・純水 ・水系 (アルカリ性、 中性酸性) ・炭化水素系 ・アルコール系
	振動板 放射 タイプ	振動板型	振動板の交換が可能	・金属・機械加工部品の切粉・研磨粉の除去、脱脂洗淨 ・プリント基板のフラックス除去 ・塗装前の洗淨 ・メッキ前の洗淨	
		投込み型	交換・設置が容易		
		槽型	交換の際、槽全体を交換しなければならない		
	“精密洗淨” 高周波帯 (数百kHz~ MHz帯)	バッチ式	直接照射槽 (ステンレス槽 or 石英槽)	・複数枚同時に処理できる ・基板の大型化に伴い、装置寸法の増大、再付着の問題がある	・シリコンウエーハのパーティクル、重金属不純物、有機不純物、自然酸化膜などの除去
内外二重槽 (石英槽+ ステンレス槽)					
枚葉式		スポット型 流水ノズル	バッチ式に見られるパーティクルの再付着がなく、サブミクロンのパーティクル除去率が高い	・ハードディスク部品のパーティクル除去	
		ライン型 流水ノズル		液晶ガラス基板のパーティクル除去	

コラム

「爆発洗淨!」

当社の超音波洗淨機の商標で、爆洗(ばくせん)という名前があります。異なる周波数を高速に切り替える事によって、洗淨力をアップさせる超音波洗淨機につけられています。

これは、実験中にフロンを入れた時に、爆発するように、液剤が飛び散るほどの洗淨力というところを見て、名前がつけられました。

応用例①【低周波洗浄】卓上型洗浄機

●導入が容易な卓上型洗浄機

卓上型の超音波洗浄機は、内部に収納された超音波発振器と洗浄槽より構成されています。眼鏡や宝石、指輪の洗浄から、小型部品、実験器具等の洗浄に広く利用されています。

応用例②【低周波洗浄】工業用強力超音波洗浄機

●各種発振モードの利用

図3-35⑥は金属・機械部品の研磨粉や切粉の除去洗浄、脱脂洗浄やプリント基板のフラックス除去など一般産業向けの強力な超音波洗浄機です。単周派発振に加え、多様な発振モードにより用途に合わせた洗浄や、ムラの少ない洗浄が可能です。

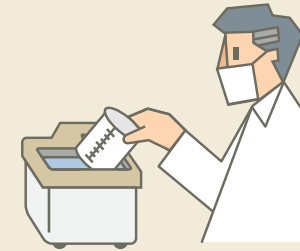
- ① 2周波同時発振モード“ダイナショックモジュレーション(DM)方式”
 - トータルパワーが一定のまま同一振動子から2周波を同時に発振する方式
 - 2周波の周波数成分比率をコントロールできるため、ソフトな洗浄からハードな洗浄まで、用途に合わせた最適な洗浄力が得られる。
- ② 2周波切替発振モード“ダイナショック方式”
 - 周波数切替により定在波位置を移動させて洗浄ムラを解消する
 - キャビテーション発生位置が変化するため、ワークへのダメージを軽減できる
 - ポンピング効果があり、細管内部やスルーホール基板の洗浄に適している
 - 気体性キャビテーションの停留が抑制され遠方まで超音波を伝搬できる
- ③ F.M.発振モード
 - 周波数変調により定在波位置を移動させて洗浄ムラを解消する
- ④ パルス変調発振モード
 - 断続的発振により脱気を促進させて、超音波の減衰を抑え、強力な洗浄ができる

応用例③【高周波洗浄】バッチ式洗浄機

●半導体ウェーハのバッチ処理洗浄

図3-35⑦は半導体ウェーハをMHz帯の超音波洗浄槽に入れて複数枚同時に洗浄する方式です。この方式は、(1)洗浄液が比較的少なくすむ、(2)薬液の使用が容易、(3)液管理がしやすいなどの理由から数多く使われています。半導体ウェーハは金属イオンを嫌うため、石英槽が多く用いられます。バッチ式洗浄機では、装置が大きくなること、汚れの再付着が課題です。

3-35 5 卓上型洗浄機



実験器具等の洗浄



3-35 6 工業用強力超音波洗浄機

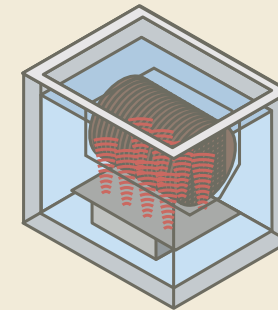


(a) 超音波発振器



(b) 各種超音波振動子ユニット

3-35 7 半導体ウェーハのバッチ処理洗浄



応用例④【高周波洗淨】ポイントタイプ流水式洗淨機“パルスジェット”

●本多電子が世界で初めて開発した流水式超音波洗淨方式

本方式は1986年、世界で初めて当社が開発したもので、図3-35⑧に示すようにノズル先端から放射させた流水にMHz帯の高周波超音波を重畳させて被洗淨物を精密洗淨する方式です。放射された流水は超音波の伝搬と同時に超音波作用で剥離した汚れの輸送媒体として機能します。この方式は洗淨物を1枚ずつ洗うため枚葉式洗淨と呼ばれています。流水式のためパッチ式に見られるパーティクルの再付着がなく、サブミクロンのパーティクル除去率が高いという特長があります。HDD部品、シリコンウェーハや液晶ガラス基板などの精密洗淨に使用されており、高い評価を得ています。

応用例⑤【高周波洗淨】ラインタイプ流水式洗淨機

●液晶ガラス基板の洗淨に適した方式

図3-35⑨の方式は液晶ガラス基板を洗淨するために、流水式ノズルを長尺化しカーテン状の洗淨液流水に高周波超音波を重畳させてパーティクルを洗淨するライン型の流水式超音波洗淨機です。この方式もポイントタイプと同様に、パーティクルの再付着がなく、サブミクロンのパーティクル除去率が高い方式になります。

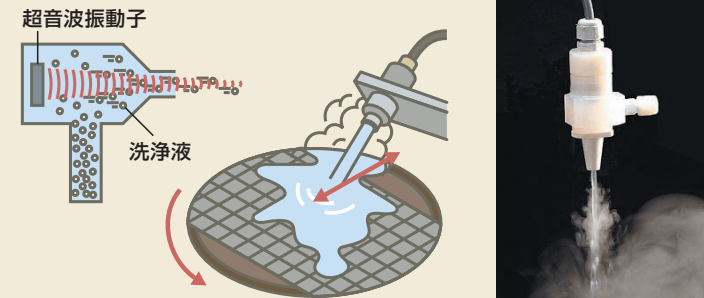
応用例⑥【高周波洗淨】石英振動体型洗淨機

●低ダメージ、高クリーン度を実現する次世代洗淨方式

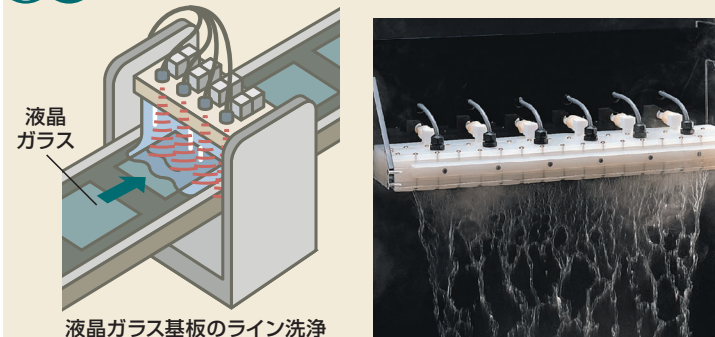
図3-35⑩は、2006年に本多電子が開発した世界初となる石英振動体型超音波洗淨ユニットです。本方式では種々の形状の石英ホーンに超音波を重畳させて半導体ウェーハを洗淨します。流水式に比べて薬液使用量を削減できること、接液部が石英のみでパッキン等のゴム材を使用していないためクリーンであることなどの特長があります。また、石英振動体の形状設計により低ダメージ洗淨や大面積洗淨、落ちにくいベベル(端面)やノッチ(結晶方位を示す溝)部分の洗淨など、ニーズに応じた効果的な洗淨を行うことが可能になります。

- ◎参考文献：「超音波工学」(社)日本電子機械工業会編/コロナ社/pp.230-255/1993)
 ●「超音波便覧」(超音波便覧編集委員会編/丸善/pp.305-306,669-677/1999)
 ●「超音波洗淨の現状とこれからの技術」(橋本芳樹/日本音響学会誌61巻3号/pp.160-165/2005)
 ●「メガソニック洗淨と今後」(都田昌之/日本工業出版刊 超音波TECHNO/VOL.12No.9/pp.2-9/2000)
 ●「振動方向変換ホーン型振動子を用いた強力超音波応用」(渋谷 青木 山森 宮本/本多電子/日本工業出版刊 超音波TECHNO/VOL.15No.2/pp.95-100/2003)
 ●「流水式超音波洗淨機」(山本武司/本多電子/日本工業出版刊 超音波TECHNO/VOL.3No.6/pp.46-48/1991)

3-35 ⑧ ポイントタイプ流水式洗淨機“パルスジェット”



3-35 ⑨ フラットパネルディスプレイ用ガラス基板の流水式超音波洗淨



3-35 ⑩ 石英振動体型洗淨機



石英振動体による
半導体ウェーハ洗淨

超音波モータ

超音波振動でどうして動くのだろう？

動力への応用

わが国で超音波の動力への応用例が発表されたのは1980年頃です。現在では、超音波アクチュエータ、超音波モータとして、様々な身近な機器に組み込まれ利用されています。

動作原理

● **動力源となる圧電セラミックスって超音波で動くの？**
超音波で動くわけではありません。超音波周波数の振動が動力源です。電圧を印加すると圧電セラミックスに歪が発生し、力・変位に変換されるので、この機械的変位を利用します(図3-36①)。圧電セラミックスは超音波帯域の周波数で効率よく振動します。この振動運動を一方方向の運動、すなわち動力として取り出します。超音波周波数の振動が駆動源であることより、超音波モータと呼ばれています。

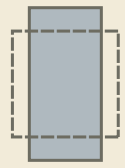
動作方式

- **バイモルフ方式**
2枚の圧電セラミックスを貼り合わせ、一端を固定して交流電圧を印加すると先端が変位します(図3-36②)。
- **定在波方式**
ねじり振動体と摺動体間の接触部の摩擦力を介し振動体の振動エネルギーを摺動体の運動に変換します。運動は回転、リニアともに実現できます(図3-36③)。
- **進行波方式**
振動体に、たわみ振動の進行波を励振します。これに回転体を接触させると回転運動が取り出せます(図3-36④)。

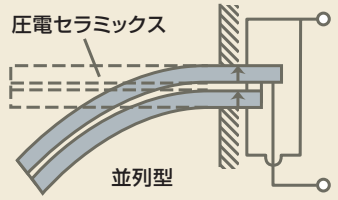
電磁モータと比較した利点と欠点

- **長所** / 応答性がよい
 - 磁力線が発生しない
 - 停止時に保持力がある
- **欠点** / 出力伝達部の磨耗が大きい
 - 連続動作に不向き
 - 駆動回路が複雑

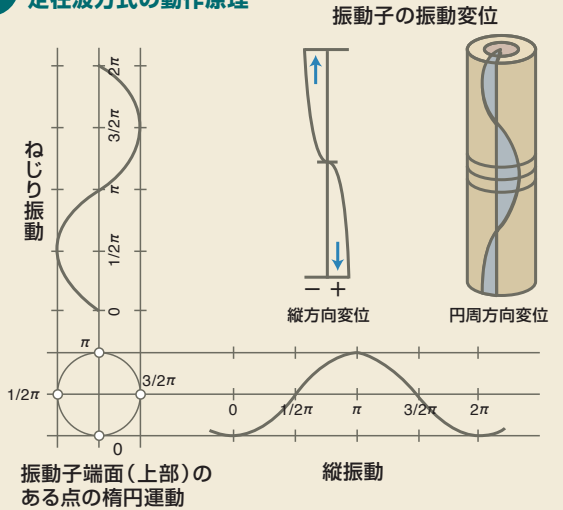
3-36 ① 圧電セラミックスの伸縮



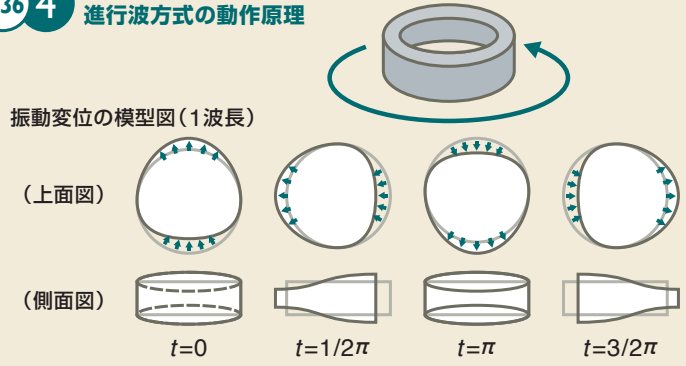
3-36 ② バイモルフの動作原理



3-36 ③ 定在波方式の動作原理



3-36 ④ 進行波方式の動作原理



粉体フィーダ

超音波振動で粉が動く。安定した粉体フィーダになります。

超音波による材料搬送

●超音波モータの原理で定量搬送

液体を定量搬送するディスペンサーのように、粉体を高精度で定量供給できるシステムは、工業・化学・薬品・食品分野より強く望まれる技術です。

超音波リニアモータの原理を用いることで、供給粉体を高精度に定量供給することができます。従来のギヤ式（機械式）による供給システムに比べて、流量変動が小さく供給量が安定する、応答性が良いといった特長があり、例えば自動車産業で焼結金属の定量供給などに利用されています。

超音波モータ式粉体フィーダの原理

●超音波による楕円振動により粉体が移動する

超音波モータ式粉体フィーダは、ボルト締めランジュバン型リニアモータ振動子を利用し、そのリニアモータ振動子の一端に金属パイプを圧入して、パイプ内に超音波の楕円振動を発生させるシステムです。

超音波発振器より振動エネルギーを与えないと粉体はパイプ内に静止し、振動エネルギーを与えるとパイプ内の楕円振動に伴いパイプ内部の粉体が移動します。

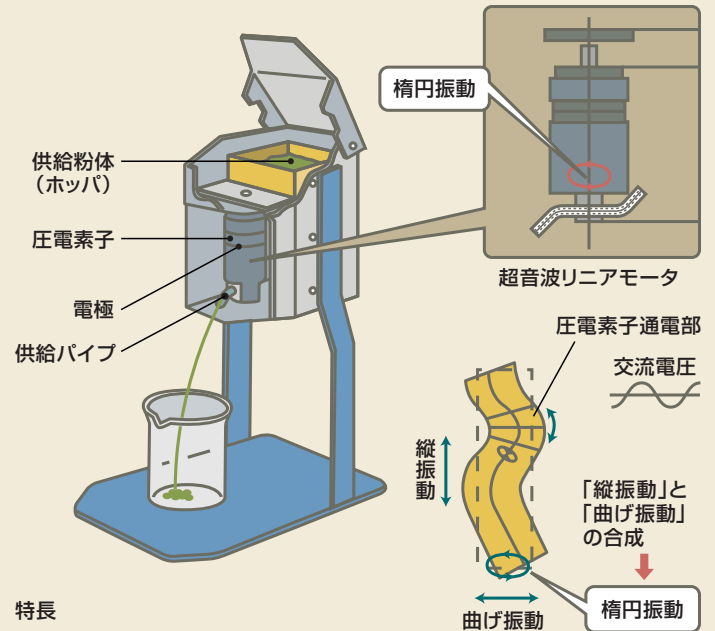
粉体とパイプに高い摩擦力を持たせることで、応答性が良く、制御性の良い粉体フィーダが実現できます。

今後の課題

●汎用性が今後の課題

現在搬送可能な粉体は、ある粒径と硬さを持った材料に限られていますので、将来あらゆる粉体への対応が期待されています。

●超音波粉体フィーダ



特長

- ① 小型・軽量で供給部近くへの設置が可能
- ② 流量変動が小さく、供給量が安定
- ③ 粉体の吐出、停止の応答性が良く粉体のロスが少ない
- ④ 吐出量を計測しながら供給することで高精度な供給が可能



必ず出来ると言う信念を持って!!

人間は素晴らしい能力を持っている事を忘れるな。必ず出来ると言う確信の大きさで、成功率は決まる。

超音波浮揚

超音波で物が浮く。傷を付けずに搬送できます。

超音波浮揚とは？

● 超音波を利用した不思議な非接触浮揚

浮揚とは、物体が宙に浮くことを言います。リング状の磁石のN極(S極)同士を重ねて棒に通すと磁石が浮くといった理科実験に覚えがあると思いますが、それが浮揚です。この場合は、重力と釣り合う上向きの反発力によって浮揚するわけですが、超音波の音響放射圧を利用して同様の浮揚現象を起こすことができます。(図3-38 ①)

現状では、研究段階の技術ですが、電磁式のように材質に制限されることがなく、気流式や静電気式等に比べて低コストであるなどの利点から、シリコンウェーハやガラス基板の浮揚搬送技術として期待されています。

超音波浮揚の原理

● 定在波による気体の疎密

音源である振動子と反射板を平行に配置して定在波音場を形成すると、定在波の節の位置に物体が浮揚します。その応用として図3-38 ②に示すように、定在波の位置を変えることで、捉えた粒子を移動させることができます。

● 音響放射圧による浮揚

たわみ振動モード(もしくは縦振動モード)の振動板の上に、底面が平面の形状を持つ物体を平行に乗せると、音波の伝搬を遮る物体底面に音響放射圧が生じ、物体の自重と釣り合った位置で浮揚します。浮揚距離は波長の10分の1程度ですが、底面全面に音響放射圧が掛かるので、比較的重い物体の浮揚が可能です。(図3-38 ③)

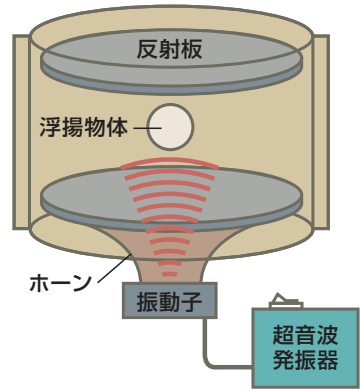
超音波浮揚の可能性

● 様々な工業的応用の可能性を秘めています

超音波浮揚に関しては、上述した基板の浮揚搬送の他、浮揚させた物体の加工や、液滴の反応実験、スペースシャトル内など重力の小さい空間における定在波による浮揚位置制御など、工学的応用を目指して多くの研究がなされています。液体中の微小物体を音圧の節に捉えることができます。さらに音場を制御することで捉えた微小物体を移動させるなど操作することができます。応用として液体に含まれるゴミなどを集めて移動させ分離回収することができます。

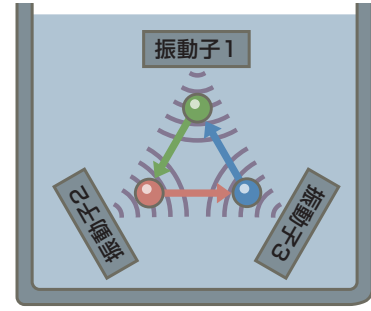
◎参考文献:●「定在波型近距離場音波浮揚非接触搬送装置の保持力改善に関する研究」(小此木淳史/東京工業大学修士論文/指導教官 上羽貞行教授/2001)
●「日本機械学会論文集」(小塚 晃透/辻内 亨/三留 秀人/新井 史人/福田敏男/(C編)、67巻、657号(2001))

3-38 1 定在波による浮揚

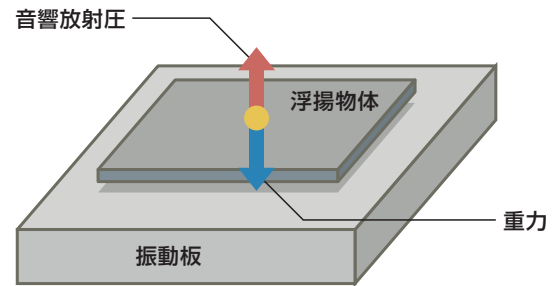


◎本多電子(株) 超音波科学館

3-38 2 マニピュレーション



3-38 3 音響放射圧による浮揚



他人のマネはするな!!
同じものと同じ値段で作って売れるはずがナイ、絶対に他人のマネをするな!!

付着防止

苔の抑制やミラーの雨滴除去など、付着防止にも役立ちます。

超音波による付着防止

●発想は経験から

当社では、創業より魚群探知機の開発、製造、販売を行っていますが、当時より、魚群探知機のセンサである超音波振動子には、フジツボや藻などの海中の生物が付着しにくいということが経験的にわかっていました。これをヒントに、船底、水中構造物にフジツボや藻が発生付着しないようにすることができるのではないかと発想で、超音波を利用した実験を行ってきました。

原理

●超音波振動が表面に作用します

被付着構造物(構造物)に1秒間に数万回の超音波振動を伝搬させることにより、構造物表面も超音波振動を発生します。これにより構造物表面は、低摩擦状況になるとともに、超音波による剥離作用、キャビテーション作用が発生し、有機物が付着しにくい状況になります。似た原理を応用した例で、自動車用ドアミラーの雨滴除去のために超音波を利用したものがあります。これは、超音波振動子と振動板をミラーに接合して、超音波を印加させることで、ミラー表面と雨滴面にキャピラリー波が発生し、波頭が液滴となって霧化、飛散し、ミラー表面に雨滴が残りにくい状態を作り出すものです。

技術分野別の付着防止技術

●超音波による付着防止は物理的な作用です

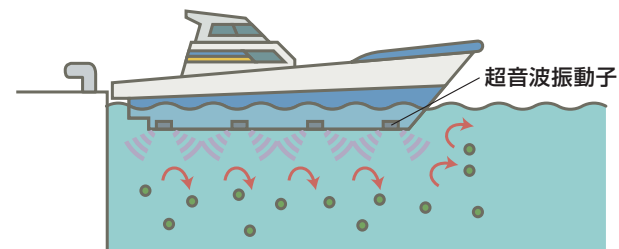
付着防止技術としては化学的に薬剤によって除去するもの、機械的に取り除くものなど、以下のような技術が挙げられます。超音波による技術は、自然界の汚染がなく、ランニングコストも比較的安価であるなどの利点があります。

化学的—防汚塗装、塩素注入、過酸化水素水注入

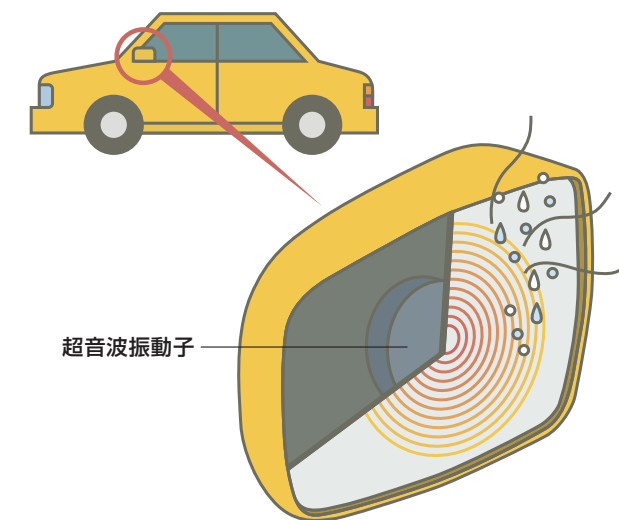
機械的—清掃ロボット、除貝フィルター

物理的—紫外線照射、温水処理、超音波

●超音波によるフジツボや藻の付着防止



●ドアミラー雨滴除去装置



実践実行が一番

文献を読むだけ、議論をするだけ、考えるだけ、の人間はいらない。実験をやれ!! 目で見て、耳で聞いて、手でさわって、それから考えよ。

振動ふるい

超音波振動でふるい分けの効率が向上!

超音波振動ふるい機とは?

● 超音波で目詰まり防止、不純物の混入も最低限に

ふるい機は、ふるいに振動を与えて粉体の粒子サイズを分級(ふるい分け)する機械です。一般的な振動ふるい機は、ふるい効率を上げる為にブラシやタッピングボールによりメッシュの目詰まりを防止しながら分級を行います。しかし、メッシュの目開きが50 μm以下になると、これらを用いても分級が困難になります。超音波振動ふるい機では、メッシュ枠に超音波による高周波振動を付加することで目詰まりを防止し、従来の振動ふるい機では分級不可能であった微細なパウダーを分級する事が可能になります。

また、今まで医療・化学分野で問題になっていたブラシ、タッピングボールからの残留異物の混入を防止する事もできます。

従来技術との比較

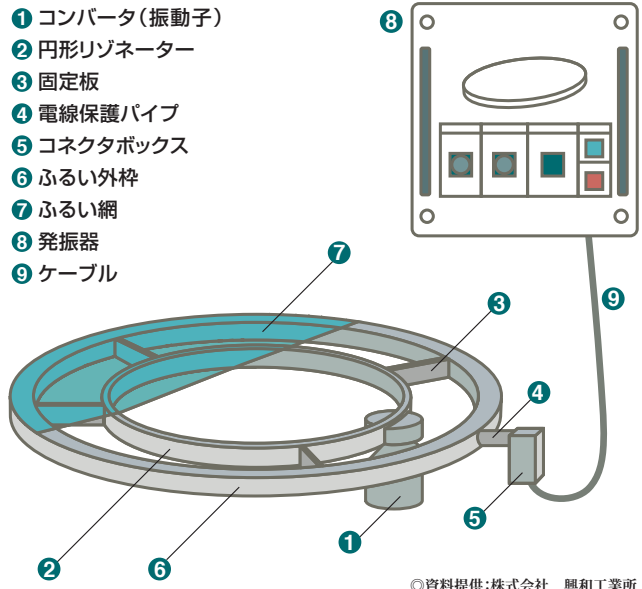
	一般的な振動ふるい機	超音波振動ふるい機
分級可能な粒径	50 μm度*1が限界	20 μm程度*1までの分級が可能
分級効率		分級効率が約3~5倍と高い
メッシュの寿命	ブラシ、タッピングボールによる磨耗、衝撃によって劣化する	ブラシ、タッピングボール等を用いないため、メッシュの寿命が向上する
異物の混入	ブラシ、タッピングボールからの残留異物混入有り	ブラシ、タッピングボールからの異物混入がない。食品、医療、分析用途に適している
清掃	清掃のためのクリーニング補助装置が必要	超音波振動により自然清掃ができるので、クリーニング装置が必要ない

*1 機種・粉体によっても違いがあります。

● 超音波振動ふるい機



- ① コンバータ(振動子)
- ② 円形リジネーター
- ③ 固定板
- ④ 電線保護パイプ
- ⑤ コネクタボックス
- ⑥ ふるい外枠
- ⑦ ふるい網
- ⑧ 発振器
- ⑨ ケーブル



◎資料提供:株式会社 興和工業所

塑性加工

加工コストを低減する超音波振動の効果!

超音波振動塑性加工とは

●力を加えて変形させる

塑性加工において、被加工材料に超音波振動を印加することにより、加工に必要な力が低減する、加工限界が向上するといった効果が得られます。また、焼付きや割れ、カズリが低減するとともに、金型・工具の長寿命化も期待できます。

この様な超音波への期待感より、深絞り加工、引き抜き加工、圧延加工、鋳造加工などへの応用が検討されていますが、現在のところ、一部の応用にとどまっています。

塑性加工には15 kHz～28 kHzの周波数の超音波が多く用いられています。また加工内容にもよりますが、出力は200 W～20 kWが多く用いられています。

超音波振動塑性加工の原理

●振動が加工を助ける

超音波振動を付加することにより、金型と材料、または工具と材料とが接触している界面において潤滑状態が改善され、摩擦低減効果が得られます。

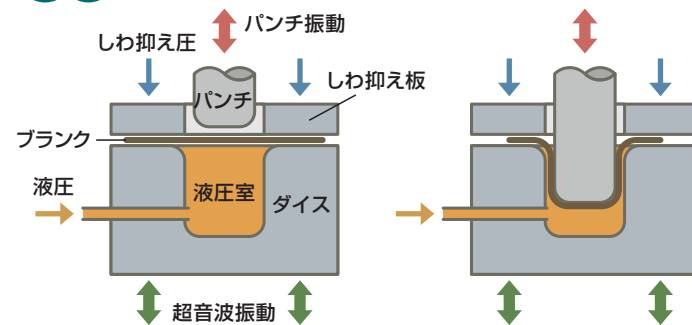
また、超音波振動によって被加工材料へ高速繰返し衝撃加重を加えられるという効果もあります。これはハンマリング効果と呼ばれ、周波数の2乗に比例した加速度が工具より被加工材料に振動応力として加わります。

これらの効果により、加工の省力化、時間短縮などの効果があります。

用語辞典

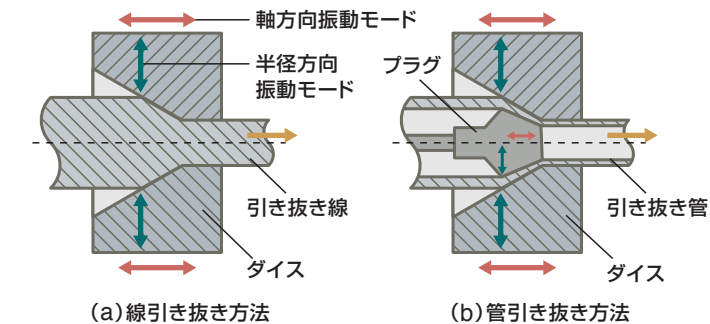
【塑性加工】 塑性加工とは、材料に力を加えて変形させることにより目的とする形状に加工することです。他の加工方法より加工時間が短く、材料のロスが少ないため、広く用いられています。塑性加工には鍛造加工、プレス加工、押し出し加工、圧延加工、引き抜き加工などがあります。

3-41 1 振動・液圧絞り加工法



◎参考文献:「超音波応用加工」(社)日本塑性加工学会/森北出版/p.58/2004

3-41 2 超音波引き抜き加工



◎参考文献:「超音波応用加工」(社)日本塑性加工学会/森北出版/p.58/2004



科学は面白い

科学はもともと貴族のお遊びからスタートした事を忘れるな。難しい問題を抱えたときに「面白い!」と思って実験する人と、頭を抱え込んでしまう人では大違い。

応用技術として

塑性加工応用技術として、図3-41②に示す超音波引き抜き加工への応用があります。

常温では塑性変形がないとされるタングステン線の場合、通常、400～600℃に加熱して引き抜きを行います。超音波振動を付加することにより、冷間引き抜きが可能になります。

また、コイル引き加工、ドローベンチ加工への応用があります。コイル引き加工においては、図3-41③に示すR-L変換方式にて超音波振動をダイスに付加しています。ドローベンチ加工においては、マンドレルを通してプラグに直接超音波を付加しています。

今後の展開として

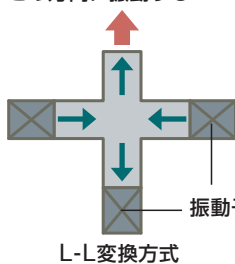
超音波振動塑性加工において、従来の加工システムに安易に超音波を付加したのみで有効性を判断し、使用を断念している事例が多くあります。振動系としての超音波振動子の取付け方法、工具・金型の負荷に対応した発振器のパワー設定などが重要です。

振動子一個の超音波出力には限度があり、より大きな超音波出力を要望する場合は、図3-41③に示すL-L変換方式、R-L変換方式を用います。

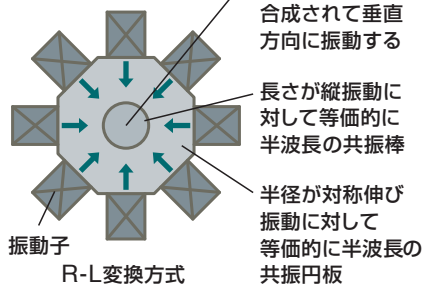
今後、益々強力な発振器・振動子が開発されるとともに、設計応用展開が容易になり、付加価値の高い高品質な加工部品の供給が可能となると考えられます。

3-41 ③ L-L変換方式・R-L変換方式

3個の振動子の出す振動パワーが合成されてこの方向に振動する



8個の振動子の出す振動パワーが合成されて垂直方向に振動する



長さが縦振動に対して等価的に半波長の共振棒

半径が対称伸び振動に対して等価的に半波長の共振円板

◎参考文献:「超音波工学」(社)日本電子機械工業会/コロナ社/p.183/1993

コラム

超音波で虫・ねずみを撃退!?

超音波を利用して、害虫・小動物(ネズミ)を撃退する機器がホームセンターなどで販売されています。

これらの機器は害虫・小動物の嫌う高周波の波長帯を利用して空中に連続的または間欠的に照射し、目的とする害虫・小動物を撃退するものです。機器としての殺傷力はありません。一時的に害虫・小動物を寄せ付けられない程度の効果です。

なお、これらの現象は害虫・小動物だけでなく、大型動物・鳥・魚などにも効果があると言われていました。当然使用する周波数、パワーは異なり、また、その影響力・症状も異なります。

害虫・小動物が嫌う周波数は、蛾40kHz、蚊7kHz、ネズミ20～30kHzスイープと言われていました。

当社においても、超音波メーカーとしての探求心(遊び心!)と外部の要望により、今まで多くの実験を行って来ました。ネズミ・ゴキブリ・蚊・コウモリ・カラス・鳩・魚などに各周波数の超音波を照射し、その影響力を確認しました。

結果から言うと、ゴキブリは照射の始めは音源を避けるが、慣れてくると音源回路の暖かさを求めて集まって来てしまった。

ネズミは超音波よりも餌が最優先であり、逃げたネズミが長く超音波の照射エリアに滞在していました。

カラス・鳩・コウモリにおいても照射した時は逃げるが、すぐに戻って来てしまいました。特にヒナのいる親鳥には効果が認められませんでした。

魚は餌の食いが良くなった程度で変化は認められませんでした。

我々も実験で色々な周波数・パワーの超音波を扱う際に、20kHz以下ですと耳栓をしますが、それ以外は慣れてしまい他の仕事をしていても気にならない状況です。

思うに、殺傷力・影響力・症状が見えないものは、生活・習慣をつかさどる事が優先となり、耐え慣れてしまうものではないでしょうか!

はめ合い加工

超音波により、はめ合い作業で「こじれ」を防止できる？

超音波によるはめ合い

●振動で摩擦抵抗を低減します

近年、加工分野における高精度な加工技術がますます進む状況のなか、はめ合いのクリアランス精度は、数十マイクロメートルから数マイクロメートルと高まり、部品同士の接触による摩擦力の増大による「こじれ」の発生頻度は、非常に多くなっています。さらに、自動化での組立作業に至っては、はめ合い作業における「こじれ」がラインの停止に繋がるため、大きな問題となっています。数マイクロメートル程度のすき間を有する穴と軸とのはめ合いを行う際に、一方の部品に超音波振動を付加しながら挿入することにより、穴と軸との接触による摩擦力の増大による「こじれ」の発生が抑えられて、穴を軸に円滑に挿入することができます。

また、穴径が軸径より数マイクロメートル小さくても、超音波振動を付加することで、容易に挿入することが可能である(締めばめ)ため、抜け防止の手段の一つとして用いることができます。

超音波はめ合いの原理

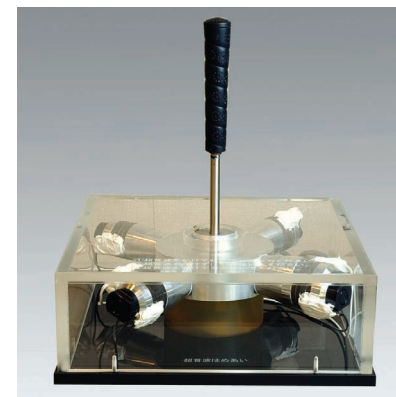
●見かけ摩擦の低下と寸法クリアランスの一時的拡大作用

超音波振動がはめ合いを円滑にする現象として、次のことが考えられます。

- ① 超音波振動する物体の表面における見かけ摩擦の低下現象
- ② 超音波振動の伸縮運動に伴うポアソン効果による寸法クリアランスの一時的拡大作用

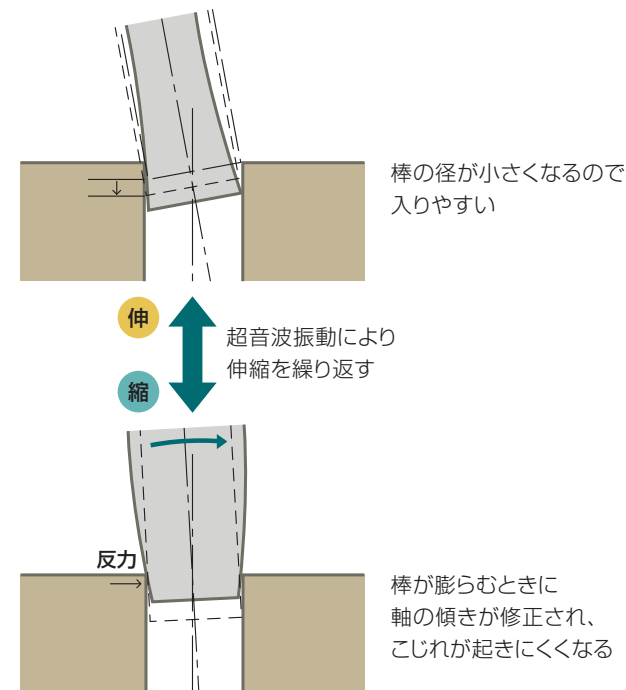
はめ合い加工に利用される超音波の周波数帯は、15~40kHzが一般的です。また発振器の出力は、はめ合いの内容により変わりますが、10W~数キロワット程度が多く用いられています。

●超音波振動を用いたはめ合い挿入装置



◎本多電子(株) 超音波科学館

●超音波はめ合いの原理(軸に超音波振動を付加した場合)



◎参考文献: 斉藤 長男、豊田工業大学、超音波テクニク 55-60、Vol.3 No4、1991、日本工業出版



失敗をせよ

失敗を恐れるな!!失敗の数が多い程、真実が視えてくる。失敗の経験が多いエンジニアこそ本物のエンジニアである。

切断

超音波で刃先を細かく振動させると、軽い力で切れます。

超音波切断

●超音波の振動を刃に伝えて切断

超音波で刃先を振動させることで、普段、カッターやナイフで切断している物を、より軽い力で切ることが可能になります。

超音波切断機、超音波カッターと呼ばれているものは、以下のような物があります。

- 超音波ナイフ
- 超音波メス
- 超音波包丁
- 超音波スライサー
- 超音波布生地切断装置
- 超音波のこぎり

いずれも刃に振動を付加しています。

超音波切断の原理

●振動子が刃を細かく震わせませす

超音波切断の原理は、簡単に言うと「刃物に超音波振動を与えることにより、切断効果を向上させる」と表現できます。

現在、超音波カッターに使用される周波数は17~60 kHz、刃の振動振幅は5~30 μmが多く使われています(周波数とは1秒間に振動する回数、振動振幅は振動の大きさを表します)。

超音波切断の代表的な振動方式として、以下の4つがあり、使用目的によって使い分けられています。

- ①縦振動
- ②たわみ振動
- ③ねじり振動
- ④複合振動



本多電子関連ページ

●超音波カッター



ZO-41



ZO-80

●超音波カッターの振動方式の種類

振動の種類	長 刃	丸 刃	その他
縦 振 動			
たわみ振動			
ねじり振動			
複 合 振 動			

◎参考文献:「超音波カッターの振動方式と応用」
(橋本芳樹/日本工業出版刊 超音波TECHNO VOL.5 No.7/p.29/1993)



素直な奴程出世する
面白いもので、世の中見渡しても、頑固な人で出世した人は少ない。素直な人は、自己否定が出来る程強い男だ。だから自分自身が良く見える。己を知った素直な男は強い人です。

切断

超音波切断の特徴と用途

●超音波切断の特徴

- 切断抵抗が少ない
 - 切れ味が優れているので柔らかいものも押しつぶすことなく、きれいに切れる
 - 刃が長持ちする
 - 油分が刃に付着しにくい
- 一秒間に数万回も刃を振動させるため、被切断物と刃との間に生じた摩擦熱で切断部分を溶かしながら切ることも可能であり、熱可塑性の樹脂の切断にも利用できます。

●使用業界

- 電気電子業界：基板のパターン切断、シリコン原料、粘土の切断
- 繊維業界：布生地などの切断
- 包装業界：シート、フィルム、紙、段ボールなどの切断
- 食品業界：パン、寿司、ケーキ、洋菓子、油揚げ、サンドイッチ、アイスクリーム、冷凍ケーキなどの切断
- 医療業界：手術用メス、石膏などの切断

超音波切断の注意点

●摩擦熱が発生

刃の振動による摩擦熱は、化学繊維のような物の場合は切りながら断面を溶かすため、切断面の糸のほつれがないという利点があります。しかし紙の場合は刃の摩擦熱が伝わって断面が焦げてしまうことがあります。また、樹脂の場合は、切った断面が摩擦熱で溶けてしまうため、再び付いてしまうことがあります。切断対象物と刃の形状、切断スピード、超音波のパワーのバランスを取ることが重要です。

●超音波で切るわけじゃない

超音波カッターを使うといろいろな物がよく切れます。しかし、主役は「刃」であり、超音波はその手伝いをしているだけです。ですから、通常、刃で切れない物は超音波を加えても切れるようにはなりません。

●超音波カッターの使用例



●超音波カッターの例



小型カッターナイフの替え刃利用タイプ



工業用カッターナイフの替え刃利用タイプ

切削・研削

工具に超音波振動を与えると加工効率が向上します。

超音波切削・研削

バイトやドリルなどの工業用切削工具や研削砥石、または被加工物へ超音波振動を与え、効率を良くします。

原理

● 切削

工作機械における刃物を切削方向に超音波振動させ、刃物と工作物との瞬間的な衝突によって小刻みに切削します。

● 研削

研削砥石あるいは工作物に超音波振動を付加しながら金属表面などを細かく振動して加工します。

超音波切削・研削の特徴

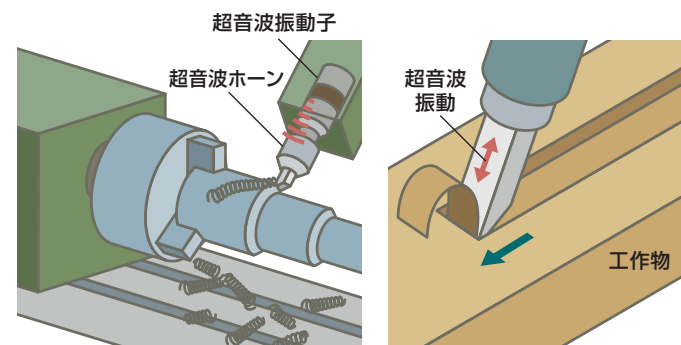
● 超音波振動切削の特徴

- 切削抵抗が非常に少ないため、摩擦熱が少なく熱的なひずみの影響が少ない
- 刃先の寿命が長い
- 薄膜円筒や円盤、細長い丸棒の精密切削ができる
- 脆弱性や軟質材、融点の低い素材の精密切削が可能
- 通常の押し切り切削の場合に発生する微少なクラックが発生しない

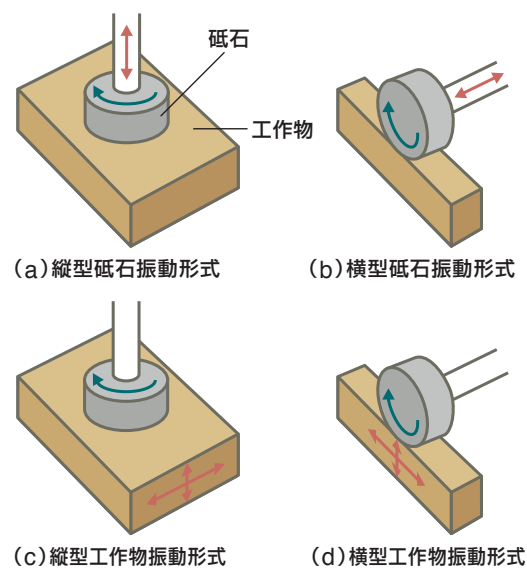
● 超音波振動研削の特徴

- 振動の伸長時に被加工物に衝撃加工力が加わり、加工力が増す
- ダイヤモンドホイール(研削工具)のセルフドレッシング効果がある
- 超音波振動の収縮時に加工面とわずかな隙間が生じるので、研削液の浸入が容易になり、冷却効果が増す
- 切削屑の排出がよく、加工接触面近くの研削液のキャビテーション発生により、ホイール加工面での超音波洗浄効果が期待できる
- 研削抵抗が減少し、ダイヤモンドホイールの寿命を延ばすことができる加工時に研削抵抗で砥石主軸や工作物が逃げたり、工具が変形しやすい細穴加工、溝加工および内面研磨などに適しています。

切削加工



研削加工



超音波切削・研削の課題

● 切削

- 切削速度の制限があり、一般的な切削に比べて1/10程度に低下してしまう
- 切削工具が特殊なものとなり、汎用性に乏しい
- 断続切削機構になるため、特殊条件により工具欠陥が発生することがある
- 切削抵抗は非常に少ないが、多くの場合に切削液が必要となり、切削液の処理が必要になる

● 研削

- 工作物の取り付けが難しい
- 小物部品や、薄物部品などのように、通常、工作物の形状・寸法に制限が伴う
- 砥石を振動させる場合は、砥石の形状・寸法に制限が伴う
- 工作物が大きすぎると、それを加振するのに大きなパワーを必要とする
- 共振状態の維持が難しく、工作物に振動を伝達することが非常に困難になる
- 共振の状態を維持するために、工具系の設計・生産を厳密に行う必要があり、コストアップ要因となる

一長一短があるので作業目的に応じて適切な方式を決定することが重要です。

超音波切削・研削の今後

切削・研削加工では、高速化の追求から高品質、環境対応、省エネルギーへと需要の多様化が進んでいます。現在の加工技術に超音波を付加することにより、品質の向上や、工具の長寿命化、加工コストの低減などが期待されます。また、超精密加工・微細加工や、ダイヤモンド工具による鉄鋼材料の切削加工といった慣用切削・研削が苦手とする特殊な加工では、超音波切削・研削加工が有望と考えられています。

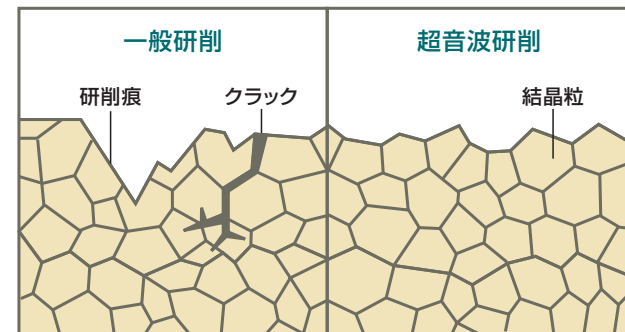
- ◎参考文献：●「超音波応用加工」(社)日本塑性加工学会／森北出版／2004)
●「超音波研削加工」(杉山昌／日本工業出版刊 超音波TECHNO VOL.3No.4／pp.32-36／1991)



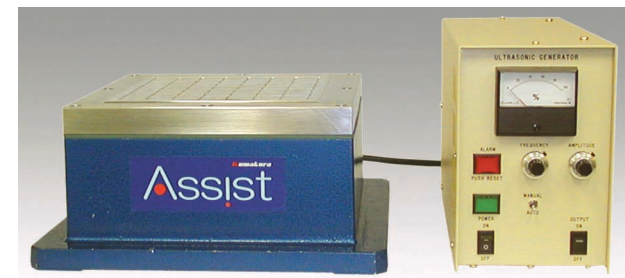
人の故(せい)にするな

仕事があまくいかない時に、人の故にする奴がいる。人の故にして問題が解決する筈がない。全てを自分の故にすると面白いよ。困難な問題が素早く解決する。一度やってみたらどうだい。

● 超音波研削と一般研削の表面形状(イメージ)



研削用振動テーブル



◎資料提供:株式会社 クマクラ

材料粉碎

超音波のエネルギーで様々なものを粉碎できます。

超音波粉碎

●超音波で砕く

超音波粉碎は、超音波により強力な音場を液中および空中に発生させ、その振動面近傍の物体を粉碎・微粒化する技術です。医学分野・工業分野・環境分野・化学分野などで幅広く利用されています。

- 医療分野：結石の粉碎
- 工業分野：粉末の粉碎・溶融金属の微細化
- 環境分野：汚泥の可溶化
- 化学分野：ホモジナイザ・細胞破碎機

超音波粉碎の原理

●振動を衝撃に

ボルト締めランジュバン型振動子にジュラルミン製、またはチタン製の振動拡大ホーン(使用目的によってはホーン先端に工具を付ける)を装着し、超音波発振器の電気エネルギーを振動エネルギーに変換して強力な振動音場を形成します。

一般的には15 kHz~60 kHzの周波数帯で使用され、超音波出力は、数ワットから数キロワットにおよび、特にホーン先端・工具先端は数マイクロメートル~数十マイクロメートルの大きな振動変位を持ちます。

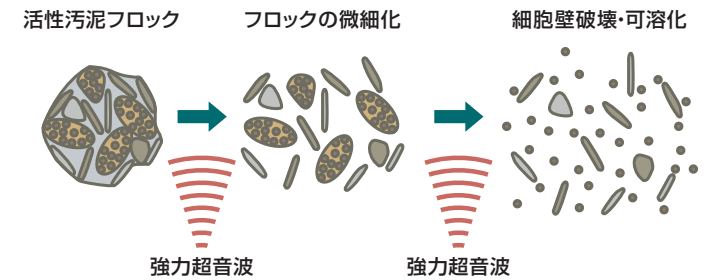
今後の課題

●幅広い用途で

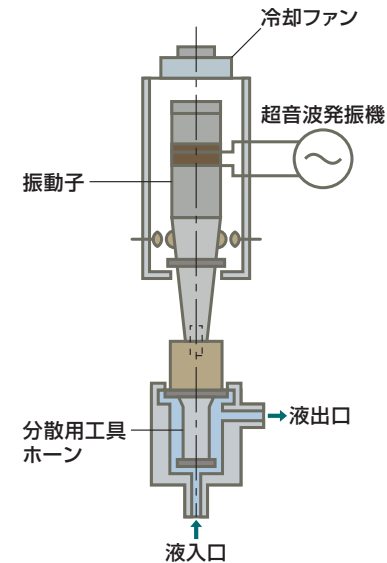
超音波粉碎は、すでに広く市場で利用されていますが、超音波の強度や周波数など、それぞれの用途に適した設計が必要です。

今後、最先端の技術分野や各種工業分野にも応用の裾野を広げ、さらに幅広く活用されるものと思われます。

●汚泥の可溶化



●超音波ホモジナイザ



◎参考文献:「超音波工学」(社)日本電子機械工業会/コロナ社/1993)

結石破碎

超音波のエネルギーを利用して結石を破壊。

結石破碎装置とは？

●結石の治療

胆石や尿石などの結石治療は、ひと昔前まではメスで尿管や膀胱等を切り開いて、結石を取り出す方法しかありませんでした。しかし近頃では、内視鏡で結石を確認しつつ、超音波などで砕いてつまみ出す方法や、体外で発生させた衝撃波を結石に当て、体内で細かく砕いて体外に放出させる方法などが行われるようになりました。この体外で発生させた衝撃波を結石に集中させて破碎する装置のことを「体外衝撃波結石破碎装置」(ESWL)と呼び、現在、尿路結石の治療の90%以上がこの方法により行われています。体外衝撃波とは耳なれない言葉ですが、その研究の歴史は古く、第二次世界大戦の旧ドイツ海軍の兵器開発までさかのぼります。当時、水中で発生させた衝撃波を凹型反射板で一点に集束させ、焦点の目標物を破壊しようという研究が行われ、魚雷にかわって艦船を攻撃する兵器として開発が進められました。兵器開発は失敗に終わりましたが、戦後、この原理が生体に応用され、1980年に、旧西ドイツのミュンヘンで体外より衝撃波をあてて腎結石を破碎する事に成功してから、瞬く間に世界中に広がり、尿路結石の治療法を変えてしまいました。

体外衝撃波結石破碎装置の原理

●結石の破碎方法

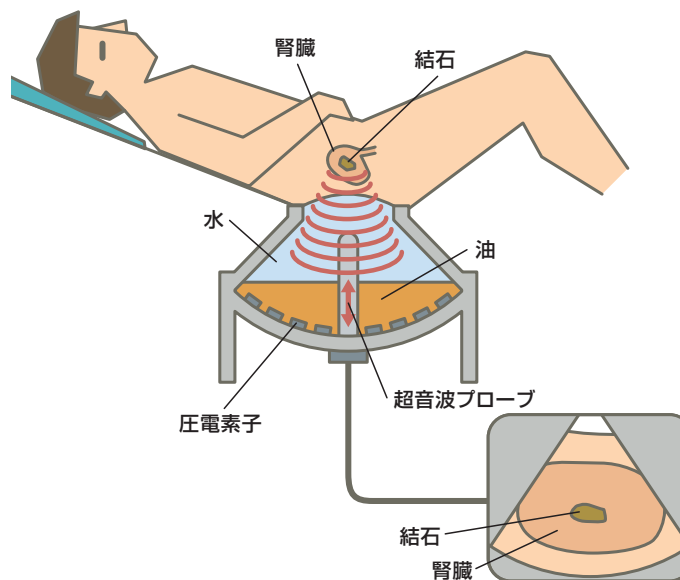
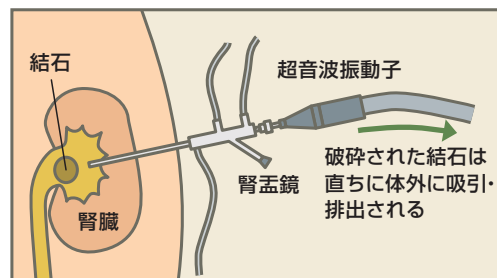
音速ジェット機や爆発などによって発生する大きな粗密波を衝撃波といいます。衝撃波が音響インピーダンスの異なる相に達すると進入面と脱出面に圧縮波と膨張波が生じ、機械的破壊が起こります。この性質を利用して衝撃波を一点に集束させ結石を破壊します。

衝撃波を発生させる方法の一つとして、圧電セラミックスによる変位を利用した圧電(ピエゾ)方式があります。そして発生した衝撃波(超音波)を集束させる方法としては超音波振動子を球殻状に配置する方法や、音響レンズを用いて集束させる方法などがあります。

圧電方式の利点は、

- ① 超音波は集束させることが容易であり、焦点領域を小さくできる。よって疼痛が軽度で、無麻酔で治療できる。
 - ② 焦点領域が小さいため、結石は周辺より細かく破碎され、碎石片が尿管内に残りにくい。
- 一方、欠点としては、
- ③ 破碎力が弱く、比較的大きな結石の場合では、複数回の治療が必要と、指摘されています。しかし、現在では圧電セラミックスを積層して出力を上げ、パワーの弱さも克服しつつあります。

●体外衝撃波結石破碎装置



◎参考文献:「ナースのための新ME機器マニュアル」(小野哲章、渡辺敏/JINスペシャル No.63/医学書院)

用語辞典

【腎盂じんう】腎臓の門部にある嚢状の部分。腎臓で生成された尿は先ずここに集まり、ついで尿管を経て膀胱に注ぐ。

微生物・細菌駆除

ボウフラやアオコを超音波で退治できるの？

生物に対する超音波のダメージを利用して

●超音波で細胞を破壊？

超音波で水中の生物や微生物に大きなダメージを与えて破壊するといったことが考えられています。大きな生物、例えば魚に対して超音波で直接ダメージを与えるのは非常に難しいと言えますが、もう少し小さい、例えばボウフラやアオコのようなもの、さらに小さい大腸菌のような菌類であれば超音波でダメージを与えることが可能です。

特にアオコのように、細胞内に空気泡を持つものであれば、超音波の圧力変化で細胞内の空気泡がダメージを受けることが知られており、細胞そのものを破壊することなく生体にダメージを与えることができます。この効果を使って、ボウフラやアオコの処理装置の開発が進められています。図3-47 ①に、超音波によるアオコ処理前後の写真を、図3-47 ②に、超音波照射によるボウフラ駆除の実験データを示します。

●細胞を強力超音波で破壊する

また、更に強力な超音波を水中内の細胞に集中的に与えることで、細胞組織の破壊、抽出を行うことができます。超音波ホモジナイザは攪拌、抽出等に用いられる機器ですが、強力な超音波が発生することから、微生物・細菌駆除にも応用が可能です。

応用展開

●環境問題、感染症の予防に

超音波による微生物・細菌の駆除は、研究段階の技術ですが、感染症の媒介をする蚊の駆除や、環境汚染となる微生物駆除による環境浄化など、これから期待される超音波技術の一つとして、継続的な研究が望まれています。



人生を面白く
どうせ自分の人生を送るのだ。苦しいときに難しい顔をして送るよりも、明るい顔をして心を豊かに人生を面白く生きたほうがよっぽど得だ。

3-47 ①

超音波によるアオコの処理



処理前

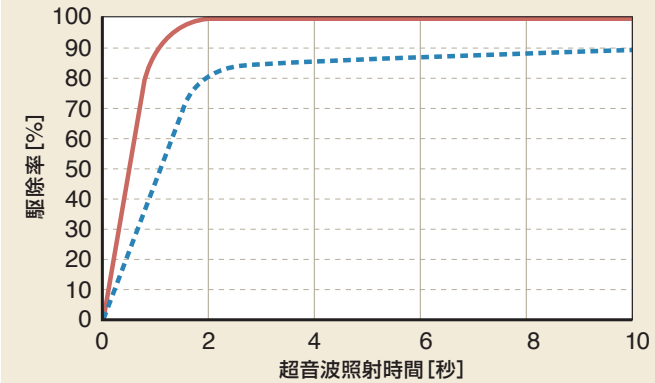


処理後

周波数60 kHz、出力20 W

3-47 ②

超音波照射によるボウフラ駆除の実験データ



— 周波数20 kHz、出力60 W、距離300 mm
- - - 周波数20 kHz、出力30 W、距離300 mm

●香川大学医学部 国際医動物学講座、本多電子(株)実験データ

接着・溶着

超音波でなぜ接着や溶着ができるのでしょうか？

接着・溶着とは？

●接着と溶着の違い

物と物を接合する際、接着剤を介して化学的・物理的に接合することを接着と呼び、接合面を溶融させて接合することを溶着と呼びます。

超音波を使用すれば、それらを効率よく行うことができます。

●超音波接着

熱硬化タイプの接着剤の硬化には時間がかかりますが、超音波により接着時間の短縮を行うことができます。

図3-48①に示すように、接着剤を試料の間に挟み、超音波振動子を試料に押し当てると超音波により摩擦熱が発生し、接着剤の硬化が促進されます。

●超音波溶着

2枚のプラスチック板を接合する場合(図3-48②)、プラスチック同士が摩擦熱で溶け合うことで接着剤なしでも溶着することができます。

超音波振動による摩擦熱で試料自体が溶融する場合には、接着剤なしで接合できます。プラスチックは低温で溶融する為、超音波溶着がよく用いられています。

●超音波を用いるメリット

- 接着時間の短縮
- 試料全体が熱くならないため安全
- 工具に触れても火傷をしない
- 試料全体に熱をかける必要がないため、恒温槽等の設備が要らず省エネ
- 予備加熱の必要がなく、電源を入れた瞬間から使用可能
- 外観の熱変形が少ない
- ホチキス針等が不要の為、異物が食品に混入しない

超音波溶着の原理

●超音波の振動エネルギーを利用しています

超音波溶着器は、ランジュバン型の超音波振動子にホーンを取り付けた構成となっています(図3-48①)。ホーンは超音波振動を増幅させる役割を持っています。毎秒3万回(30 kHzの場合)の振動を与え、摩擦熱が発生します。

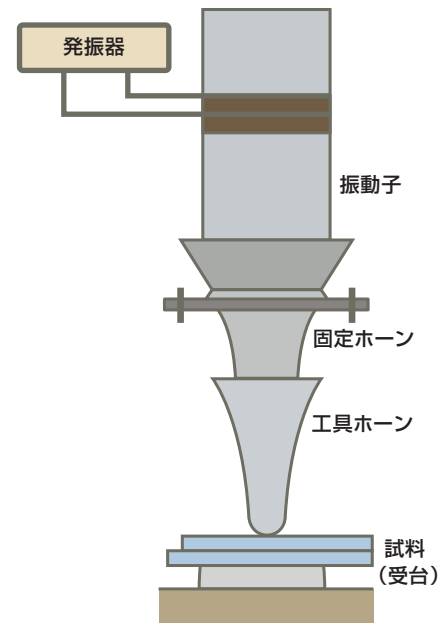
工具ホーンを取り換えることでスポット溶着からシール溶着まで対応できます(図3-48②)。



製品紹介

本多電子関連ページ

3-48 1 超音波接着・溶着器の構成例



3-48 2 超音波溶着用工具ホーンの形状



スポット溶着用

シール溶着用(3.5×16 mm) シール溶着用(5×55 mm)

応用事例

●省電力、安全、異物混入がない

超音波溶着は、省電力、安全、異物混入がないという特長から、食品パックなどのプラスチック製品に幅広く利用されています。

●食品関係

卵パックなどの食品パックの溶着、野菜ネットの溶着、木製弁当箱の接着

●薬品関係

プラスチックチューブの溶着、不織布製品(マスク等)の溶着

●プラスチック製品

クリアファイルの溶着、プラスチックリベット

文具、玩具、ライター、自動車部品、疑似餌(釣り用ルアー)

●メタルウェルダ

リチウムイオンバッテリーのケースの接合、IC等のワイヤボンディング

超音波接着・溶着の注意点

●溶着物の多様性に対応するには

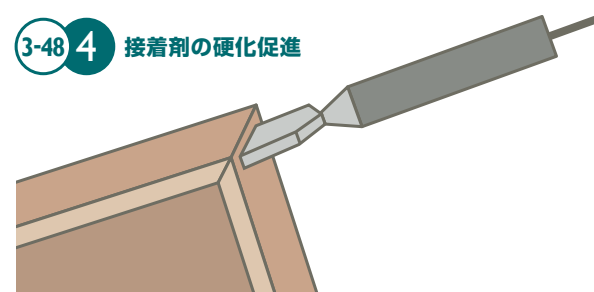
溶着しにくい(発熱が起こりにくい)材質の場合、振動子のハイパワー化や、様々な溶着物に対応できる各種の溶着ホーンのアプリケーションが必要です。

被溶着物の種類と形状(厚さ、大きさ)、溶着形態等により溶着方法を選定する必要があります。また、溶着能力、時間、加圧力、冷却時間などの要素により溶着強度や溶着仕上がり、風合い等が大きく変わるため、被溶着物の種類と形状(厚さ、大きさ)、溶着形態等により溶着方法を選定する必要があります。

3-48 3 食品パックの溶着



3-48 4 接着剤の硬化促進



コラム

超音波科学館

「文献には色々書いてあるけれど、本当のところ超音波って何だろう?」そんな疑問に答えてくれる場所が、本多電子社内に用意されています。「超音波科学館」と命名されているこの場所には、魚群探知機、超音波診断装置、並びに洗浄機といった実際の製品になったものから、超音波の原理を体感していただくために用意された特別な装置まで幅広く展示されています。

「超音波で身長が測れるって本当?」

「魚群探知機ではどのように魚群とそれ以外を見分けるの?」

「超音波カッターの切れ方って、普通のカッターとどう違うの?」

全て答えはここにあります。実際に見て、触れて、聞いて、感じていただく事で、文献では得られなかった、超音波の鼓動が聞こえてくるかも知れません。

ご予約いただければ、誰もが無料でこの超音波科学館を見学する事ができますので、お誘い合わせの上、是非ご来場下さい。

超音波はんだ付け

超音波のエネルギーを利用してはんだ付け

超音波はんだ付けの原理

●超音波の力で酸化膜を破壊

アルミニウムは表面に強固な酸化膜が形成されており、はんだ付けが困難な材料の一つですが、超音波を用いることではんだ付けを行うことができます。

超音波振動によるキャビテーションがアルミニウム表面の酸化被膜を除去し、はんだのぬれ性を向上させます。

超音波はんだ付けの応用例

●超音波はんだごて

アルミニウムだけではなく、従来の方法では酸化膜が除去しづらいガラス・セラミックス・ステンレスなどへのはんだ付けにも応用されています。例えば図3-49①ではガラスにはんだ付けができています。この時使用したはんだごては、図3-49②に示すように超音波振動子が取り付けられています。

●超音波はんだ槽

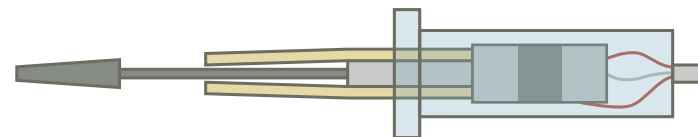
はんだを溶融した槽に超音波振動を与えるディップ槽タイプもあります。母材をディッピングするだけで、金属はもちろんガラスやセラミックスなど、はんだがぬれにくいものも短時間ではんだ付けができます。

◎参考文献：●川勝一郎、津田徹：軽金属，29，83（1979）

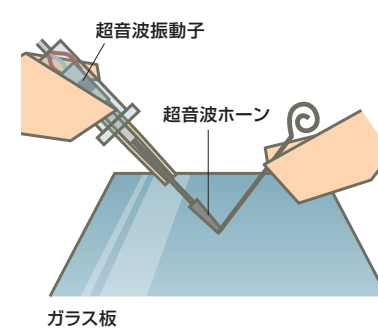
3-49 1 ガラス基板へのはんだ付け



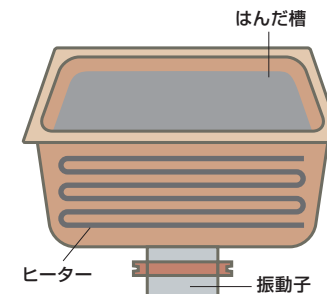
3-49 2 超音波振動子を装着したはんだごて



3-49 3 超音波半田コテ



3-49 4 超音波はんだ槽



発電

振動エネルギーで発電もできます。

振動発電の原理

●圧電素子が力を電気に変換

圧電素子の「力を加えると電圧が発生する」性質を利用し、振動を圧電素子によって電気に変換します。身近なものでは、ガス器具の点火装置が同じ原理です。

振動発電への期待

●実用化が期待される技術

振動発電は、水力・風力・太陽光など既存の発電方式に比較して発電能力が劣りますが、日常の様々な場面に存在する振動・音を発電に使えるという点で利用価値が大きく、近年盛んに研究が行われています。IoT（物のインターネット）時代において、振動発電はセンサの電源を近くの振動源から得られる為、実用化への期待が高まると予想されます。

振動発電の用途例

●発電床

駅の改札など、人間の通路の床に圧電素子を敷き詰め、歩行による振動を電気に変換する試みがあります。また、停電時に発電床によって、避難経路をLED表示させるものが実用化されています。

●リモコン

リモコンのボタンを押す振動を電気に変換する開発が行われています。

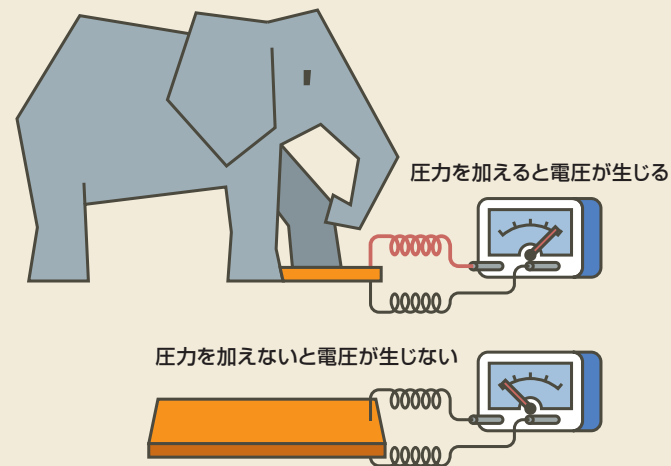
●雨を用いた発電

傘に圧電素子の一種であるポリフッ化ビニリデン(PVDF)膜を組み込むことで、雨が当たる振動を電気に変換し、LEDを点灯させる開発が行われています。電池が不要なので、夜間の歩行者の安全性向上に繋がります。

●靴

靴に圧電素子の一種であるポリフッ化ビニリデン(PVDF)膜を組み込むことで、歩く振動を電気に変換し、LEDを点灯すれば、夜間の歩行者の安全性向上に繋がります。

3-50 1 振動発電の原理



3-50 2 振動発電の用途例



温熱治療

熱を加えることによる、健康増進・がん治療。

温熱治療の種類

●熱を加える方法はたくさんあります

現在では下記のような方法が用いられています。

- 燃焼(温灸)
- 熱線—可視光線・赤外線(近・遠)
- レーザ光線(単一波長光)
- マイクロ波
- 蒸気
- 超音波

温熱治療とは?

●熱を加えるとなぜ治療効果があるの?

熱を加えると交感神経が刺激され、血管が拡張し血流が増加します。これによって老廃物が洗い流されるのと同時に、新しい養分や酸素などが組織に行きわたり、新陳代謝を促進することができます。また、熱刺激を受けることでHSP(Heat Shock Protein)が増加することにより、体の修復を促したり免疫力を高めたりすることができる、とも言われています。

さらに超音波の場合は、超音波が体の内部に伝達される際に、高速の振動として伝えられます。1秒間に数百万回の振動が微細なマッサージ効果を発揮し、身体内部に手によるマッサージの数倍の効果を与えることができます。

超音波温熱治療の原理

●振動は体内で熱に変わる

超音波は生体内を進行するとき、その振動が生体組織により吸収され、減衰していきます。超音波振動が組織に吸収される際には、ジュール熱と呼ばれる熱が発生します。このジュール熱が、温熱作用を発生させます。ジュール熱は体の深部に進行しながら発生するため、表面だけでなく深部に対して効果的に温めることができます。

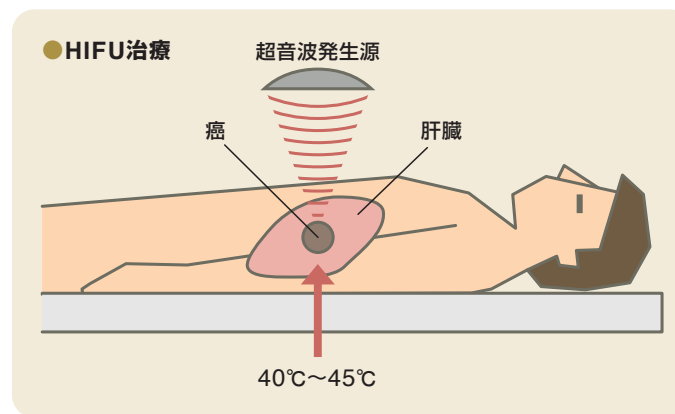
高密度焦点式超音波治療法(HIFU)

●癌細胞は熱に弱い

高エネルギーの超音波を収束させて体内の癌病巣に照射すると、超音波振動による発熱作用により癌細胞が加熱されます。病巣の位置を正確に把握して照射位置制御を行うことで、正常組織に損傷を与えないように癌細胞を焼灼することができます。

この集束した超音波を高密度焦点式超音波治療法(High Intensity Focused Ultrasound:HIFU)と呼び、主に1 MHzの高い周波数を用いて、高い収束性と精密な位置制御を実現しています。集束域では熱だけでなく、キャビテーションも発生するため、キャビテーションが発生しないようにフォーカス点を可変する照射方法などが提案されています。

現在、国内では前立腺癌の治療に主に使用されていますが、乳癌をはじめ、肝臓癌、腎臓癌などへの応用が検討されています。直接針を刺す経皮的エタノール注入療法やラジオ波焼灼療法(Radiofrequency ablation:RFA)に比べ、癌組織に直接触れないメリットが期待されるこれからの治療技術です。



用語辞典

【焼灼しょうしゃく】病組織を焼いて破壊する外科的療法。

ソノケミストリー

ソノケミストリー???そうです!超音波で化学反応がおきるのです。

ソノケミストリーとは?

●超音波による局所高温・高圧場の化学

液体や溶液に超音波を照射すると、キャビテーション気泡と呼ばれる微小気泡ができます。この気泡の内部は、ある瞬間には数千度、千数百気圧にも達します。このような超音波に由来する局所高温・高圧の反応場を利用した研究・応用分野をソノケミストリーと呼んでいます。

ソノケミストリーの原理

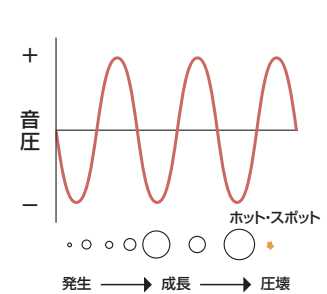
●ラジカル種や燃焼による反応

水溶液に超音波を照射した場合の気泡発生の様子を図3-52①に示します。数サイクルの時間内で、ある大きさまで成長した気泡は力学的に不安定となり急激に収縮します。気泡の大きさは、超音波周波数や超音波強度に大きく依存し、一般には気泡半径は数十マイクロメートルまで成長し、数マイクロメートル程度に減少します。気泡の圧縮過程が断熱的に進むと仮定すれば、気泡が最小となる瞬間に図3-52②に示すように5,000 K以上、千数百気圧以上の局所高温・高圧の場が発生していることになります。この高温・高圧の場は、ホットスポットと呼ばれています(図3-52②)。気泡の周囲から数百ナノメートル程度離れるとバルク液体の常温・常圧に近づき、気泡内は 10^{10} K/s程度的高速発熱急冷場になっています。

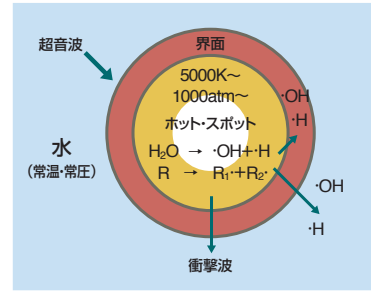
気泡の内部には蒸発した水分子、溶存気体分子を含んでおり、水分子は容易に分解し、H・やOH・ラジカルを生じます。超音波の化学作用の多くは、これらラジカルによるものです。ルミノール水溶液に超音波を照射すると、ルミノールがラジカルにより酸化され、励起一重項状態の3-アミノフタル酸になり、失活するときに図3-52③に示す発光現象を生じます。また、揮発性溶質を含んだ溶液中では、この溶質分子も気泡内に取り込まれ燃焼します。図3-52④に初期濃度 $100 \mu\text{mol/L}$ のクロロベンゼン水溶液に超音波を照射した場合の分解率の時間変化を示します。急速に高温になり、急冷される特徴を持つため、有害な中間化合物を生成しない分解が可能です。

◎参考文献:吉田 仁、野村 浩康、名古屋大学工学部分子化学工学科卒業論文、1997

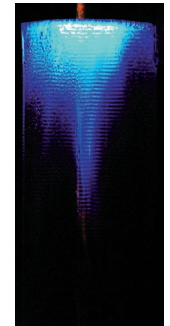
3-52 1 超音波の音圧変化と気泡の大きさの変化



3-52 2 ホット・スポット

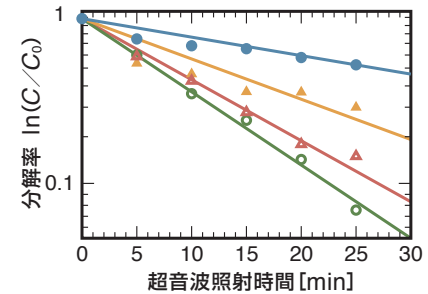


3-52 3 ルミノール発光



(490 kHz 超音波照射)

3-52 4 クロロベンゼンの超音波分解



(512kHz)、超音波強度 I_{TTPS} : 0.043 (●)、0.10 (▲)、0.17 (▲)、0.28 (○)

◎資料提供:名古屋大学大学院 工学研究科物質制御工学専攻 香田研究室



事実の正しい認識を!!
何か困った時、悩んだとき、何もしないで苦しむよりも、情報を集める。現場にいけ。草の根体験をすること、そうすれば問題の半分以上は解決さ。

ソノケミストリーの応用

● ナノ材料の合成、有機合成

酸化、還元によるナノ金属粒子、ナノセラミックス粒子、フラーレン、カーボンナノチューブの合成への応用が試みられています。図3-52⑤に20 kHzと500 kHzの超音波を使用し、AuCl₄から還元法により合成した金微粒子のTEM画像と粒度分布を示します。

● 有害物質の分解

ラジカル、燃焼による分解。有害中間物質が生成しません。

● 殺菌

衝撃波、ラジカルによる殺菌。薬剤を使用しないことが特徴です。

● 高分子鎖の切断

バイオマス資源の有効利用として、反応開始剤を使用しない超音波による高分子鎖の切断をします。図3-52⑥にメチルセルロース水溶液に超音波を照射した場合の重量平均分子量の時間変化を示します。

● 遺伝子導入

ウィルスを使用しない、超音波キャビテーションによる細胞内への遺伝子導入ができます。

- ◎参考文献：●鈴木 立也、香田 忍、名古屋大学工学研究科物質制御工学専攻修士論文、2004
●田口 君彦、香田 忍、名古屋大学工学部分子化学工学科卒業論文、2004
●R.Ogawa,T.Kondo,H.Honda,Q.L.Zhao,S.Fukuda and P.Riesz, Ultrasonics Sonochemistry,9,197-203. (2002)

ソノケミストリー用の反応装置(ソノリアクター)

● ソノリアクターのタイプ

大きな粒子速度(変位)を得るためには20 kHzから40 kHzのホーン型が使用されます。高い周波数では、底面または側面に振動子を付け、定在波を利用する洗浄機型(バス型という場合もある)が使用されます。

● 化学反応の定量化

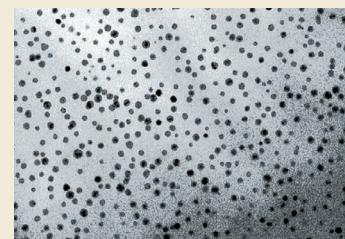
KI法、フリッケ法、Weissler法、テレフタレート法、フェノールフタレイン法、分解法などがあります。KI法が簡便なため多く使用され、KI法とカロリメトリーによるソノリアクターの定量化が行われています。

● 周波数依存

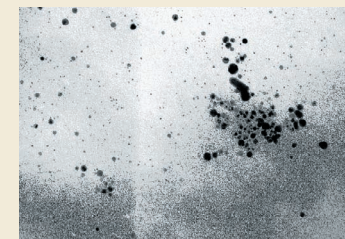
超音波キャビテーションによる化学反応には、200 kHzから500 kHzの周波数が有効であると報告されています。

- ◎参考文献：●S.Koda,T.Kimura,T.Kondo and H.Mitome,Ultrasonics Sonochemistry, 10,149(2003)
●Y.Asakura,M.Maebayashi,and S.Koda,Journal of Chemical Engineering of Japan,38,1008(2005)

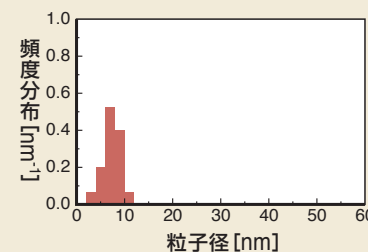
3-52 5 金微粒子の合成



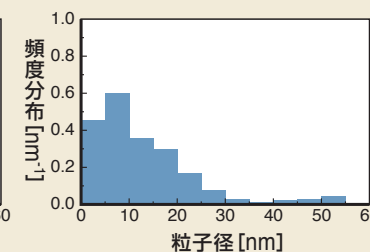
(1) TEM画像(500 kHz)



(2) TEM画像(20 kHz)



(3) 粒度分布(500 kHz)

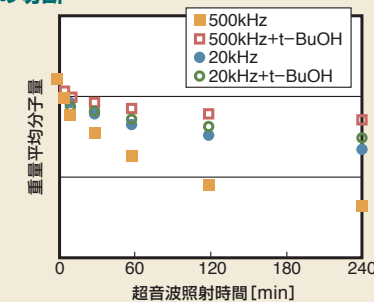


(4) 粒度分布(20 kHz)

3-52 6 超音波照射による高分子鎖の切断



(1) キャビテーションによる分子鎖の切断



(2) 超音波照射によるメチルセルロースの重量平均分子量の時間変化

◎資料提供：名古屋大学大学院工学研究科物質制御工学専攻 香田研究室

用語辞典

[K] ケーアイ ヨウ化カリウム水溶液

[TEM] テム 透過型電子顕微鏡

浸透

超音波で浸透させてみよう。

超音波による浸透の原理

●浸透させるには？

溶液中にある物質に超音波を照射することで、「キャビテーション破壊時の圧力」「脱泡作用」「物質の振動による毛細管現象の促進」などの効果で浸透を促進することができます。

超音波による浸透の応用例

【産業】

- 超音波の浸透作用を利用することで、接着剤をガラスの亀裂に浸透させることが可能です。自動車用ガラスの補修として利用されます(図3-53①)。
- 病理検査で使用される検体に薬液を浸透させる際、超音波を使用することにより浸透を促進させることができます。これにより、病理検査にかかる時間を短縮できます。

【食品】

- おでんや煮物を作るとき、超音波を照射しながら煮込むと、超音波の浸透作用により、短時間に食品の中に味がしみ込みます(図3-53②)。
- 漬物の漬け込み処理時間が短縮されます。

【繊維】

- 繊維などの染色工程で超音波を利用することにより、短時間で均一な染色が可能です(図3-53③)。

【美容】

- 美容液などを微弱超音波と併用して直接肌へ照射することにより、肌への浸透が促進されます(図3章-55)。

超音波浸透の課題

●浸透させる液体・対象物に応じて条件設定が必要

超音波による浸透は、超音波を照射すれば確実に効果が得られるというものではありません。浸透させる液体や対象物によって、超音波のエネルギーや周波数、さらには、温度、圧力といった処理条件の最適化が必要となります。美容や食品など、現在利用されている技術においても、処理の効率化や浸透の均一性を高めることが課題です。

超音波振動子の仕様選定には、様々なノウハウが必要ですが、超音波による浸透促進は、新しい応用の可能性がある技術の一つです。



失敗を恐れるな

考えるだけで、行動をしない奴は人生の敗残者と知れ。見返りを求めず、只ひたすら実践をすることで道は開けるもの。

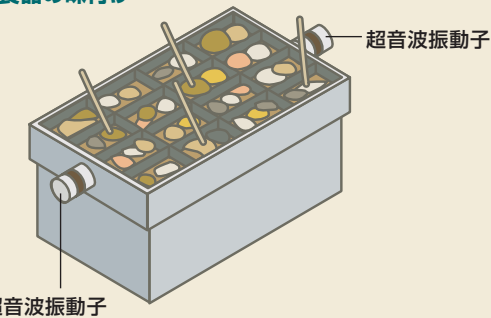
3-53

1 フロントガラスリペア



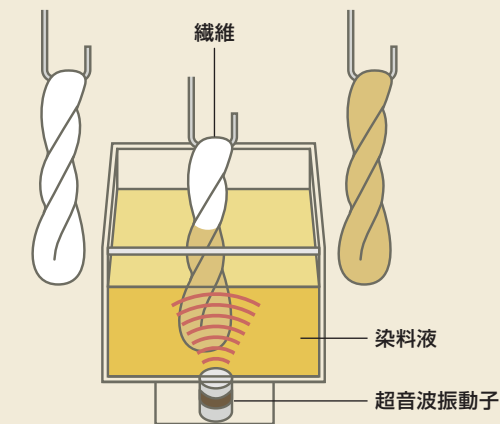
3-53

2 食品の味付け



3-53

3 繊維の染色



超音波骨折治療器

超音波で骨折治療効果の促進!?

超音波骨折治療器とは?

超音波骨折治療器は、骨折した骨に超音波を照射することで、骨の治癒を促進するものです。

一般的に骨は外部からの物理的な刺激を受けることで、その強度を維持・増強することができると言われています。微弱な超音波を断続的に骨折箇所を与えることが外部からの物理的な刺激となって、骨の治癒を促進していると考えられています。健康な若年者に比べて骨折治療に時間がかかる高齢者や健康状態が良くない患者において、治療促進が期待されています。

超音波骨折治療器の概要

治療に使用される超音波は非常に微弱な出力(30 mW/cm²)です。1秒間に1000回というバースト状の超音波(バースト波)を、骨折箇所に20分間照射し続けます。超音波の周波数は1.5 MHzという高い周波数を使用します。照射した超音波は拡散せずビーム状に直進します。よって、体表より深い骨折箇所に超音波を照射する時は、照射角度のずれが無いように行います。

実用例

超音波骨折治療は、毎日骨折箇所に超音波をあて続ける必要がある治療法です。最近の超音波骨折治療器は小型・軽量且つバッテリーで駆動する事ができるので、超音波骨折治療器を貸し出し、患者の自宅で治療を行うことも可能になっています。

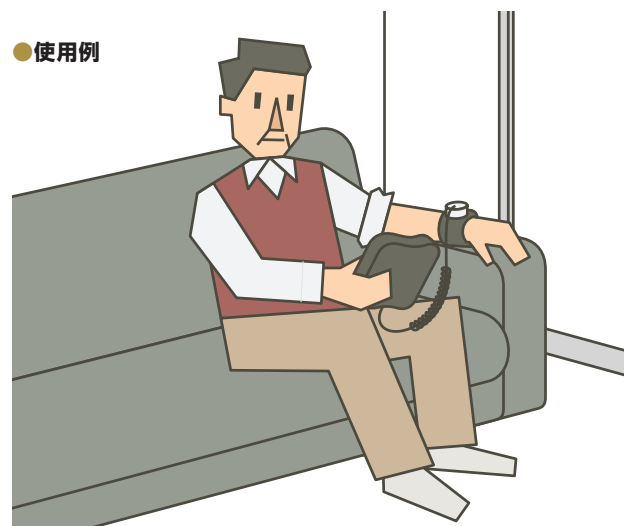
◎参考文献:水野耕作ほか、超音波骨折治療の現況、整・災外 43:213-223, 2000

●超音波骨折治療器



◎資料提供:「日本シグマックス株式会社」

●使用例



美容

効果を高める超音波の促進能力!

超音波による促進作用

●効果を高める力

促進とは、超音波の照射によりさまざまな効果を早めたり高めたりすることです。具体的には、超音波を照射することで化学反応を早めたり、細胞を活性化させたりします。さらに水や酒などに微弱超音波を照射することによる液体の改質、人体に超音波を照射することによる治療、美容、痩身の効果促進などがあります。

超音波による美容、痩身の原理

●超音波できれいになる?

人体の表皮に直接超音波を照射すると肌の深部まで超音波振動が伝わり、ハンドマッサージでは行えない肌深部のマッサージが行えます(図3-55①)。また、超音波の振動エネルギーが表皮から皮下組織に吸収され、そこで組織を構成している分子間で激しい摩擦を起こします。このように振動エネルギーが摩擦による熱エネルギーに変換されることで、新陳代謝が促進されます(図3-55②)。この熱エネルギーは他にも体内の脂肪燃焼につながり痩身効果があるともいわれています。

治療器、美容器の構成

●振動子と発振器にノウハウがあります

超音波振動を発生させる圧電セラミックスを接着した金属製の振動子ヘッドを人体に当て、超音波を照射します。振動子ヘッドは、超音波振動を効率よく照射させる為に、圧電セラミックスの固有周波数特性に合わせた厚みに設計されています。また、超音波振動の制御には発振器を用いますが、人体への安全性に配慮して、無負荷時(振動子ヘッドに肌が触れていない状態)に振動子ヘッドの表面温度が上昇しないように出力を停止させるなどの保護機能が必要になります。

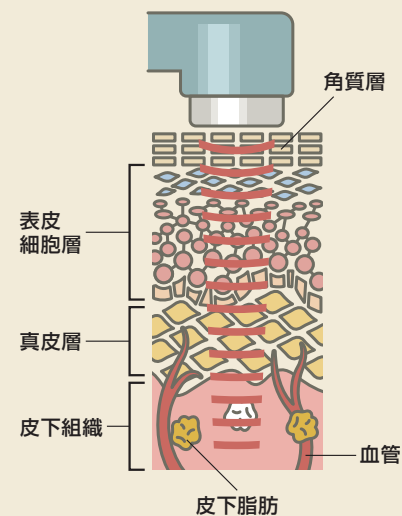
将来の展望

将来的には、脂肪の厚み、肌のキメ、ハリ等の情報を測定、数値化することにより、さらに効果的に美容、痩身を促進させることができるようになるでしょう。

3-55

マッサージ効果

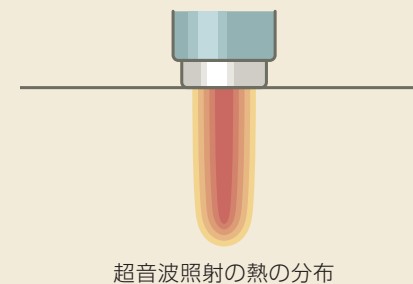
毎秒100万回に及ぶ超音波振動のマイクロマッサージが皮膚表面、皮下深部に作用し、素肌ハリ、ツヤを与えます。



3-55

2 温熱効果

超音波振動エネルギーが表皮→真皮→皮下組織(筋肉、脂肪)で吸収されて熱エネルギーに変換されることにより、血行が良くなり新陳代謝が促進されます。



超音波照射の熱の分布

抽出

超音波には有効成分を抽出する効果があります。

超音波抽出とは？

● 超音波の力で有効成分を取り出す

超音波洗浄機(第3章-35)で昆布から、だしが取れます(図3-56①)。また、お茶のカテキンも抽出できることが報告されています。超音波には有効成分を取り出す作用があります。

抽出の原理

● キャビテーションによる破碎と振動・攪拌

超音波は物体を振動させます。また、キャビテーションという現象がマイクロなジェット流を起こします。このキャビテーションジェットは、細胞膜などに穴をあけることが知られています。これらの作用が相まって、抽出ができると考えられます。

超音波抽出は、超音波という非熱作用を利用しているので、加熱により変質してしまうような成分の抽出にも活用できます。

一方、食品に醤油を浸透させるといった味付けは、超音波を使って早めることができます(第3章-53)。このように超音波は、抽出・浸透において有用成分をうまく移動させるのを助けていると考えられます。

超音波鍋

● 熱と超音波の相互作用

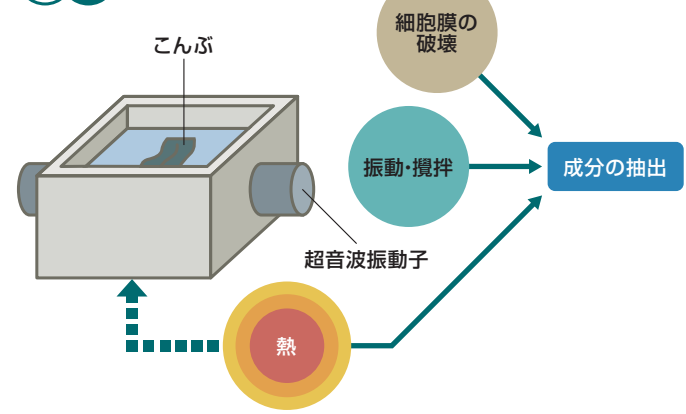
抽出の場合、煮ながらだしを取ることが知られています。では、熱と超音波を同時にかけたらどうなるでしょうか？この発想から超音波鍋が生まれました。実際に鍋を作製して実験してみると、熱だけによる煮出しより、うまみ成分が抽出できていることが数値でわかりました(図3-56②)。また鶏のスープだしの抽出でも効果があることが確認されました。

◎参考文献: ●「昆布出し汁の浸水法に及ぼす超音波照射の影響」(木村友子他/日本家政学会誌、47、453/1996)
●「昆布だしの加熱抽出法における超音波照射の効果」(木村友子他/日本調理科学会誌、29、178/1996)

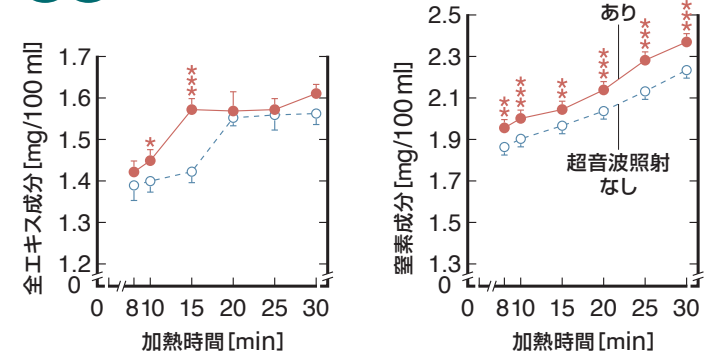


他人の叱責は神様の声と思え
自分の欠点を他人から指摘されて、怒る奴がいる。若し素直に他人の意見に従うと、自分の性格が是正されて、ますます皆から尊敬される。素直に他人の意見を聞ける人は、本当に強い男だ。

3-56 ① 超音波+熱による抽出



3-56 ② 超音波鍋による昆布だし抽出のデータ



◎転載文献:「昆布だしの加熱抽出法における超音波照射の効果」(木村友子他/日本調理科学会誌、29、178/1996)

脱泡・脱気

簡易的な脱泡・脱気に超音波洗浄機が使用されています。その原理は？

超音波による脱泡・脱気

●液体中のガスを除去できます

液体中に溶存する気体＝ガス(二酸化炭素、酸素、窒素など)を取り除くことを脱泡、または脱気といいます。

通常、脱泡・脱気するには、煮沸する手法や減圧する手法がありますが、これらの方法に比べて超音波では、液体の温度変化が小さいといった特長があります。また、超音波では、照射した直後より効果があり、簡便に脱泡・脱気を行うことが可能です。

超音波による脱泡・脱気の原理

●超音波により圧力差を生んで脱気する

液体中には、気体がガス状のままで混合されています。一般的に溶存酸素等といわれる物です。この液体中に超音波を照射すると、液体中に高圧部と低圧部が交互に存在することになりますが、低圧部では溶存していた気体が膨張し、その気体が圧力の低い部分にさらに集まることとなり、互いにぶつかりながら大きくなっていきます。この気泡が目に見える大きさに成長すると液面に浮いてきます。この方法では通常、超音波の数分間の照射で「脱泡・脱気」効果が得られます。

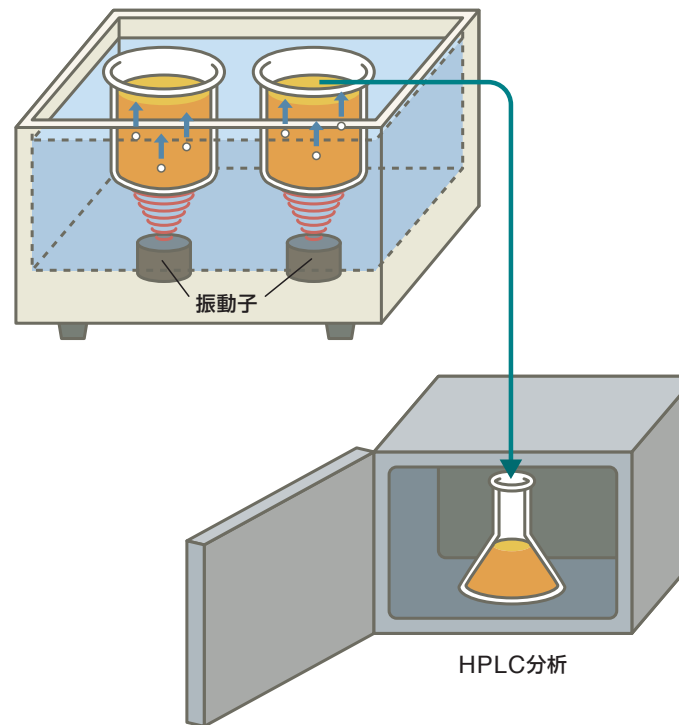
また、加圧または減圧(真空)と超音波とを併用することで、さらに脱泡・脱気効果が高まる傾向があります。なお、超音波式に限ったことではありませんが、粘度が高いと脱泡が困難になります。

使用例

●工業分野で広く利用されています

- 液体クロマトグラフィー(HPLC)分析前の有機溶剤⇒分析精度の確保
- 感光材⇒塗膜のピンホール防止
- 工作機械装置の冷却水(クーラント液)⇒冷却効果の向上
- 塗料(ピアノの塗料など…粘度100 cps以下)⇒塗装後の気泡付着防止

卓上洗浄機を用いた脱泡・脱気



人の為に仕事をするな!!

己の為に、己に恥じない仕事を 己の為に、いい仕事をやれ、それが人の為になる事である。

泡生成

超音波で作るきめ細かい泡

超音波による泡生成の原理

●超音波により気泡を細かく

液中に浸漬した振動ホーンの先端に気体を供給し(図3-58①)、超音波をかけると直径1 μm 以下のきめ細かい泡(ウルトラファインバブル)ができます(図3-58②)。生成状況は超音波の振幅と周波数によって影響を受け、周波数20 kHzでは、振幅6 μm でバブルに表面波(キャピラリー波)が立って曇って見え始め、振幅20 μm になると表面波が大きくなり、気泡が弾けて分裂してウルトラファインバブルになります。

ウルトラファインバブルの利用価値

●長時間壊れない泡

ウルトラファインバブルは小さな気泡であるため、水中で長時間保持されます。図3-58③に示すように気泡表面がマイナスに帯電していることで界面活性など多くの効果を生み出します。応用は洗浄分野、水耕栽培などの農業、養殖などの水産業、食品分野で注目を集めています。

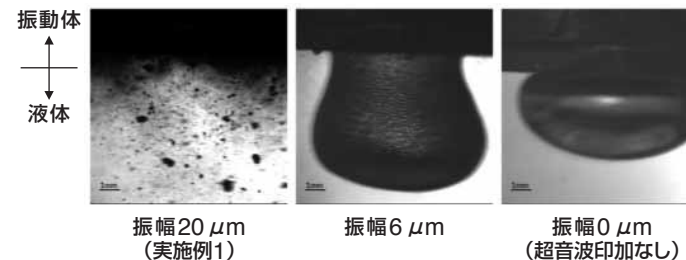
●ビールの泡にも

超音波できめの細かなビールの泡を立てることができます。コップの下に敷くコースターや、コップの横から超音波振動を伝える方式(図3-58④)があります。注ぎ口に取り付けられるタイプもあります。

3-58 1 | ウルトラファインバブル発生装置の構成

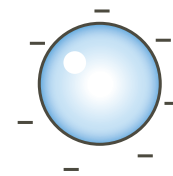


3-58 2 | 超音波によるウルトラファインバブル形成メカニズム

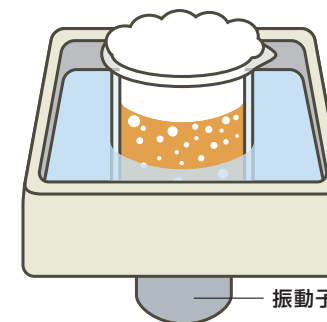


◎資料提供:山形大学大学院 理工学研究科 機械システム工学分野 准教授 幕田寿典 氏

3-58 3 | ウルトラファインバブルの構造



3-58 4 | ビールの発泡



攪拌

超音波でかき混ぜられるの？

超音波による攪拌とは？

攪拌とは流体を物理的にかき混ぜる操作のことです。その用途は多岐にわたりますが、主に以下を目的として行われます。

- 温度の均一化
- 液体の混合・均一化
- 固形成分・エマルジョンの分散・微細化・均一化
- 物質移動・反応の促進

攪拌機は通常、機械式が中心です。液中に攪拌翼によって流れを作り、攪拌目的に対応して、強制的に剥離渦を作り出す方法です。これに対して、超音波による攪拌は、振動振幅とキャビテーションによる衝撃波により液滴が微粒化することを利用します。例えば、図3-59①に示すように、水と油のように混合しにくい2液相系に強力な超音波を照射すると、短時間で分散乳化液を作ることができます。

用途

- 乳化：マヨネーズ、オレンジオイル・ローション、樹脂加工液
- 分散：顔料・炭酸飲料・重油の改質
- 微粒化：インクジェット、金属の微粒化

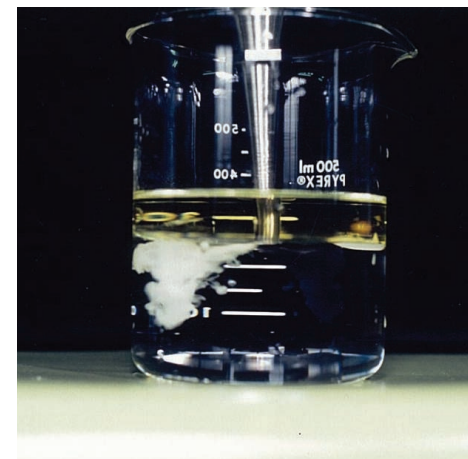
また、類似技術として下記の応用もあります。

- 破碎：動物・植物の組織や細胞の破碎、バクテリア、酵母の破碎、DNA・RNAの破碎、菌糸の切断

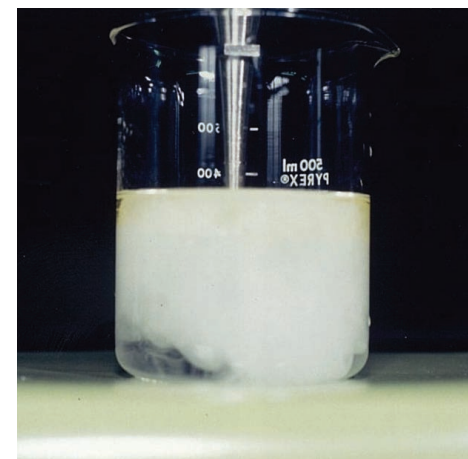
バイオディーゼル

最初のディーゼルエンジンでは植物油が使われました。現在、家庭で使われたてんぷら油などの廃油がディーゼルエンジンの燃料として再利用されています。油が生物由来であることからバイオディーゼルと呼ばれています。この製造過程において、超音波による乳化作用を使うことが可能です。廃油をメタノールと混合して乳化させ、その後、燃料とグリセリンに分離します。分離工程に超音波を使うことも可能です。

3-59 | 超音波による水と油の乳化実験



超音波照射中



超音波照射後



大いに遊べ

遊びの下手な人程、働く事も、学ぶ事も下手。大いに遊べ!!大いに働け!!大いに学べ!!

霧化・加湿・薬液噴霧

液体が瞬時にミクロの霧になる。そのしくみは？

超音波による加湿とは？

●超音波加湿器(超音波霧化器)

冬場の乾燥した部屋やスーパーの野菜売り場などでは、超音波加湿器がよく使われています。超音波によって霧状になった水分は、水蒸気と異なり粒子が細かく、気化熱を持たないため、部屋や野菜を濡らさずに加湿することが可能です。

超音波式の加湿器の欠点は、水道水に含まれるカルキなど、液体に含まれる成分を一緒に飛ばしてしまうことです。ご使用に際しては考慮していただきたいところです。

超音波による薬液噴霧とは？

●超音波ネブライザ(吸入)

気道や肺胞に作用させることを目的とした治療法のひとつに吸入があります。霧状にした薬液を口や鼻から吸入し、気道や肺などの患部に到達させるという治療法ですが、効果的に薬剤を到達させるには、1~5 μmといった微細な粒子が必要です。

超音波霧化では、薬液を瞬時に数マイクロメートルの霧状の粒子にすることができます。この技術を用いて薬液を所望の粒子サイズに霧化する機械が超音波ネブライザで、主に医療関係で利用されています。

超音波霧化の原理

●超音波のエネルギーで液滴を飛散

超音波による霧化は、超音波エネルギーを液面に集中させて、そのエネルギーで液滴を飛散させることにより行います。図3-60①に示すように、超音波振動子を液面に向けて設置し、強力な超音波を発振すると、音圧が高い中心位置で波が立ち、さらに超音波エネルギーが集中して水柱を作り出します。このとき、水柱の表面では表面波が発生します。この表面波の定在波がキャピラリー波と呼ばれる細かな波です。この波の先端(波頭)から液滴が霧として飛散します。これが霧化発生の原理です。

●粒子の大きさと霧化量の制御が可能

超音波による霧化は、粒子の大きさと霧化量を独立して制御することができます。具体的には、霧化量は振動子への入力の高さを電気的に変化させることで制御することができ、粒子の大きさは超音波の周波数を変えることで制御することができます。一般的には周波数が高いほど粒子は小さくなります。

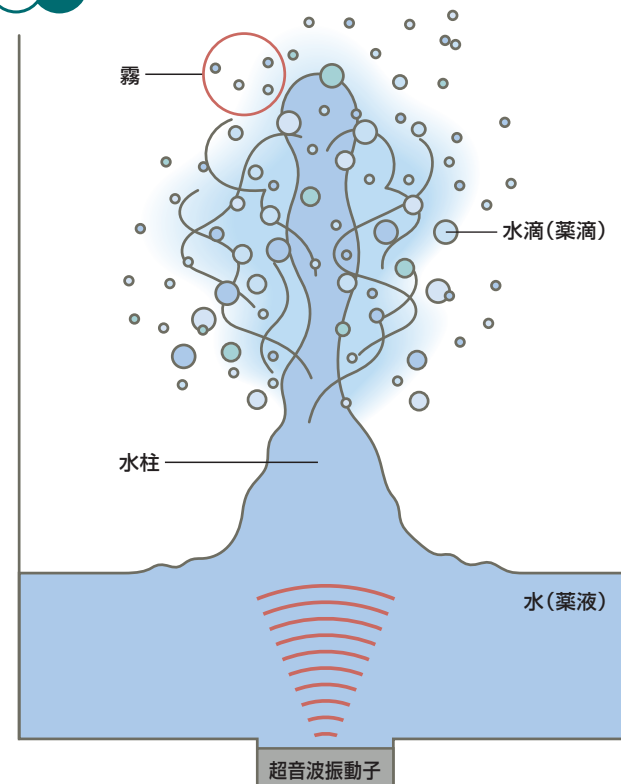


製品紹介

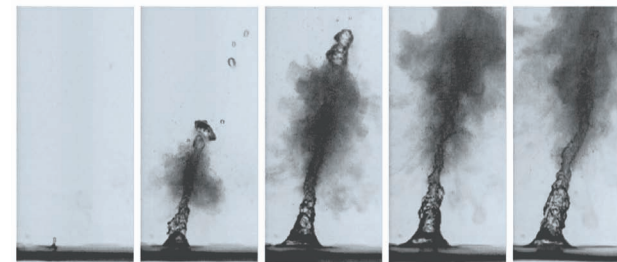
本多電子関連ページ

3-60

超音波霧化の原理



水柱の横腹にできる細かな多数の波がキャピラリー波。その先端が霧として飛びます。



◎資料提供:同志社大学 工学部 物質化学工学科 土屋活美教授



得意ワザを一つだけ持て

自分の好きなことで、誰にも負けないモノを一つだけ持て。何にもなければ他人に奉仕も出来ない。寂しいではないか。

超音波霧化分離

超音波でつくったお酒ってどんな味？ その作り方は？

超音波霧化分離とは？

●超音波霧化分離とは、熱を使わない分離方法

蒸留は溶液を加熱し、発生した蒸気を回収して目的物質を分離・濃縮しますが、これは物質による沸点の差を利用しています。一方、超音波霧化分離は、熱を使わずに溶液を霧状にして（第3章-60）発生した霧を回収して目的物質を分離・濃縮します。

この方法は非熱処理であるため、お酒の醸造に使うと、風味を損なわずにアルコール度数の高いお酒を作ることが可能です。すでに、この方法を使ったアルコール度数25度という清酒が販売されています。超音波霧化分離は非熱作用であることから、省エネルギーの観点からも期待が寄せられています。

分離特性

●分離能力が高く、エネルギー効率が良い

図3-62①は分離能力を示します。横軸が溶液のアルコール濃度、縦軸が霧のアルコール濃度です。図中の温度は溶液の温度で、30℃の時には50 mol%のアルコール水溶液から80 mol%のアルコールが得られます。図3-62②は、エネルギー効率が低いことを示します。横軸が溶液のアルコール濃度、縦軸が使用エネルギーを示します。溶液の温度によりますが、気化熱の数分の1ですみます。図3-62①、図3-62②の実線は通常の蒸留特性で、図3-62①で上にあり、図3-62②で下にあることは、分離能力、エネルギー効率ともに高いことを示しています。

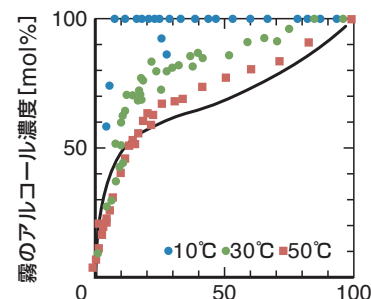
これから期待される応用例

●環境問題への応用に期待

天然香料や薬剤の有用成分の抽出、アルコールのリサイクル、有害物質の除去など、環境応用が期待されています（図3-62③）。バイオマス（生物資源）アルコールの燃料化における無水化技術としても期待が寄せられています。

◎参考文献：「超音波によるアルコールの非加熱分留処理」（松浦一雄／生物・環境産業のための非熱プロセス事典／編集：岩本他／サイエンスフォーラム／東京／1997）

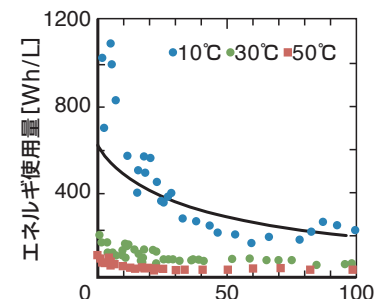
3-62 1 エタノールの霧化分離特性



溶液のアルコール濃度 [mol%]

※開放系での霧化実験データ。

3-62 2 エタノールの霧化分離特性のエネルギー効率



溶液のアルコール濃度 [mol%]

※開放系での霧化実験データ。
※Wh/L: 1Lのエタノール溶液の霧化に必要なエネルギー量

3-62 3 超音波霧化分離の環境応用

対象物質	用途
揮発性物質	化学、医薬品、溶剤・洗浄剤のリサイクル
熱に弱い物質	酒、天然香料、医薬品、バイオ
希薄な界面活性剤やアミノ酸	有用物質の分離・回収
排水中の有害物質	トリクロロエチレンの分離・回収



出来ない訳を云うな。出来る訳を云え
否定論者は、何をやらしてもダメ。必ず出来ると云う強い信念を持って実践行した肯定論者は、必ず人生の成功者になれる。

超音波の安全性

超音波は人体に安全?メディカル製品は安全を考慮して製作しています。

超音波の生体に対する安全性は?

●超音波診断装置に代表される安全性

超音波は、産婦人科でも使用されるように生体に対し安全であることが一般に認められています。しかし、超音波が生体に対してなんでも安全というわけではありません。メディカル製品は、生体に安全な状態を作り出しているのです。

腹部用超音波診断装置

●腹部用超音波診断装置の安全性

当社の超音波診断装置は、全米超音波医学会(AIUM/NEMA)1978年公示、米国医薬品食品局(FDA)510 Kの規格値に準拠して設計し、製品においてその検証を行うことで、考えられるリスクを排除しています。

超音波の生体作用

●3つの生体への影響

①熱作用

超音波の振動エネルギーを生体組織が吸収し、発熱により温度が上昇します。この熱により、生体組織、細胞が障害を受けます。

②非熱(機械的)作用

生体内でキャビテーションと呼ばれる空泡(キャビティ)を生じた場合、そのキャビティが崩壊するときに強いエネルギーが発生し、生体組織、細胞が障害を受けます。

③その他

レントゲンなどと比較して安全な超音波ですが、生体への影響は少なからずあると言えます。対象部位と体積、音響強度を考慮し、必要最小限の照射時間を用いることが重要です。また、超音波造影剤など、新しい機能に関する安全性の考慮も必要です。

●哺乳動物における超音波生体作用について

AIUM/NEMA 1978年10月

低メガヘルツ帯域では各々の施設で100 mW/cm²以下の音響強度*1では哺乳動物組織で有意な生体作用はないと断定する。さらに超音波照射時間では1秒以上500秒の間、またより高い周波数を用いても、また音響強度と照射時間*2の積が50 J/cm²以下であれば何らの生体作用も認められない。

*1 水中での自由溶質中で測定された空間ピーク・時間平均強度

*2 全時間・反復パルス照射でオフタイム・オンタイムを含む

ここでいう生体作用とは次のような現象を考えている。マウスまたはラットを用いた後足麻痺、胎児体重減少、分娩後死亡、肝細胞分裂インデックスの減少、熱吸収に基づくと推定された人間胎児奇形など。

510K(FDA)による超音波診断装置最大音響強度

空間ピーク・時間平均強度

Use	Ispta [mW/cm ²]
Cardiac	430 (730)
Peripheral vessel	720 (1500)
Ophthalmic	17 (68)
Fetal imaging and other	46 (170)

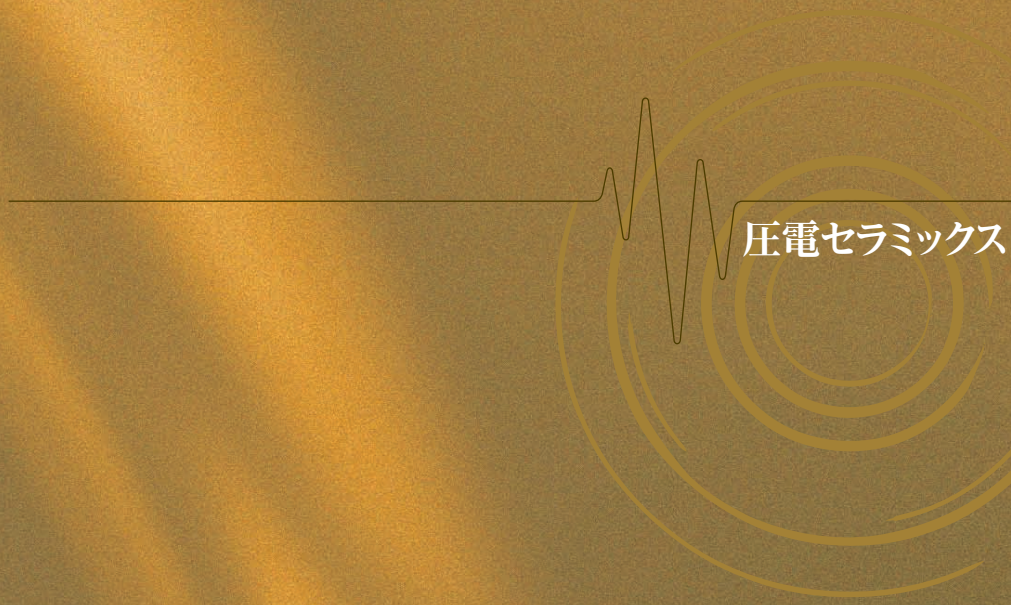
空間ピーク・パルス平均強度

Use	Isppa [mW/cm ²]
Cardiac	65 (240)
Peripheral vessel	65 (240)
Ophthalmic	28 (110)
Fetal imaging and other	65 (240)

最大強度

Use	Im [mW/cm ²]
Cardiac	160 (600)
Peripheral vessel	160 (600)
Ophthalmic	50 (200)
Fetal imaging and other	160 (600)

また、日本工業規格では単位面積超音波出力として、Bモード診断装置の場合は10 mW/cm²以下、Mモード診断装置は40 mW/cm²以下であるように規定している。



圧電セラミックス

圧電体

超音波振動子、超音波センサに使われています。

圧電体とは

●機械エネルギーと電気エネルギーを相互変換

応力を加えると電荷が発生し、逆に電界を加えると歪や応力が発生する性質を圧電性といい、圧電性を有する物質を圧電体といいます。このエネルギー変換のしくみを(図4-1 ①)に示します。

圧電体に交流電界を加えると、圧電体が伸縮を繰り返し、この振動により超音波が発生します。逆に、超音波により圧電体が振動した場合、圧電体の両端に電圧が生じます。

圧電体の種類

●特性の異なる各種材料が存在します

超音波を発生させるための圧電体としては、圧電セラミックス、圧電単結晶、圧電薄膜、圧電高分子膜などがあります(図4-1 ②)。

① 圧電セラミックス

異方性結晶の多結晶セラミックスに高電界を加えて分極処理を施すことで圧電性を発現します。代表的な圧電セラミックスとしては、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、チタン酸バリウム、チタン酸鉛などがあり、中でも優れた圧電特性を有するPZT材料が主流です。PZT材料は有害な鉛原料を使用することから代替材料(無鉛圧電材料)の開発が進められており、ニオブ酸カリウムナトリウム(KNN)系やチタン酸ビスマスナトリウム・チタン酸バリウム(BNT-BT)系などの新しい圧電材料を用いた製品が一部用途においては実用的なレベルになっています。

② 圧電単結晶

多結晶体の圧電セラミックスに対して、結晶方位が揃っているものを圧電単結晶といいます。歴史的には水晶、ニオブ酸リチウムが知られていますが、近年、マグネシウムニオブ酸・チタン酸鉛(PMN-PT)、亜鉛ニオブ酸・チタン酸鉛(PZN-PT)などの高性能な圧電単結晶も開発されています。高価であるため、使用用途が限られています。

③ 圧電薄膜

主に酸化亜鉛(単結晶)が用いられます。石英、サファイアなどの基板上に成膜した酸化亜鉛薄膜をc軸配向して特性を向上させています。

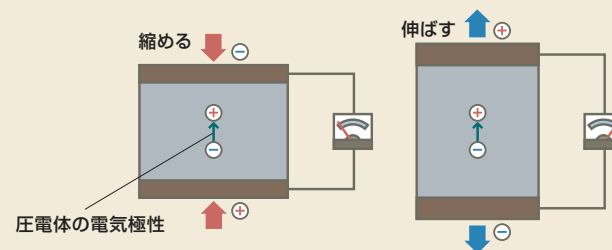
④ 圧電高分子膜

圧電高分子膜はフッ化ビニリデン/三フッ化エチレン共重合体などが用いられます。特徴としては、固有音響インピーダンスが水に近いこと、屈曲性があること、溶液塗布により薄膜の作製が容易であることが挙げられます。一方、圧電特性は圧電セラミックスより劣ります。

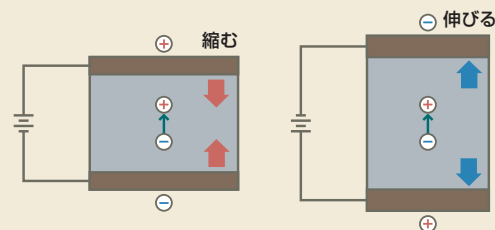
4-1

① 圧電体によるエネルギー変換

圧電効果(機械エネルギー⇒電気エネルギー)



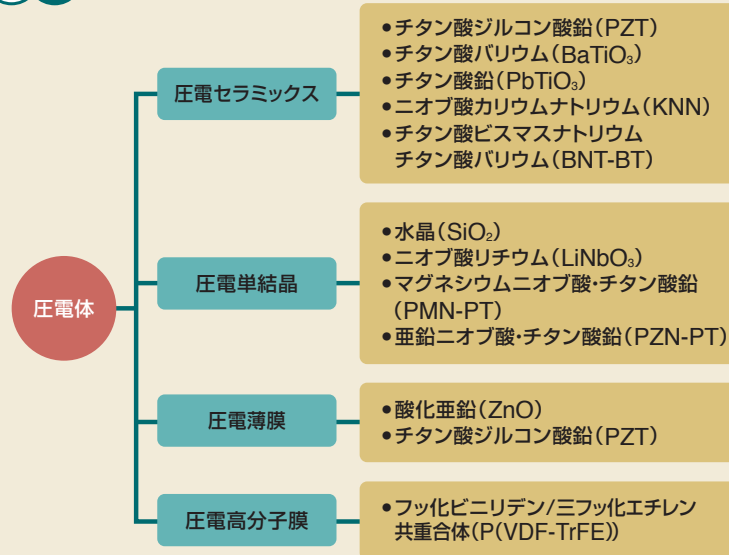
逆圧電効果(電気エネルギー⇒機械エネルギー)



4-1

2

代表的な圧電材料の種類



圧電材料の特性と用途

●様々な形状で、各種用途に適した超音波振動子を実現しています
 代表的な圧電材料の特性例を表4-1③に示します。また、圧電セラミックスの応用分野を図4-1④に、各種製品の外観を図4-1⑤、図4-1⑥に示します。材料組成の違いにより特性が大きく変化するため、用途に合わせた材料選定が必要です。

電気機械結合係数／電気エネルギーと機械エネルギーの変換効率で、大きい程、エネルギーロスが少ないです。圧電体の形状と分極方向との関係によって定義される複数の振動モードがあり、例えば、添え字の「p」は円板の拡がり振動を、添え字の「31」は板の幅振動を、添え字の「33」は棒の縦振動を、添え字の「t」は板の厚み振動を表しています。

比誘電率／真空の誘電率に比較した材料の誘電率の大きさです。誘電率と形状により静電容量が決まってきます。

周波数定数／圧電体の寸法と共振周波数には反比例の関係があり、その比例定数(寸法と共振周波数の積)です。

圧電歪定数／与えられた電界に対して生じた歪(伸びが正で縮みが負)で、逆圧電効果の大きさを表しています。添え字の「31」は分極方向の直角方向に生じる歪を、添え字の「33」は分極方向と同一方向に生じる歪を意味しています。

圧電出力定数／与えられた応力に対して生じた電界で、圧電効果の大きさを表しています。添え字の「31」は分極方向の直角方向から応力を与えた場合を、添え字の「33」は分極方向と同一方向で応力を与えた場合を意味しています。

弾性定数／圧電材料に与えられた応力とその方向の歪の比率で、ヤング率とも呼ばれます。

機械的品質係数／機械振動の弾性損失を表す係数で、高いほど損失が少なく共振現象が強くなります。動力的応用においては機械的品質係数 Q_m が大きなもの(ハード系材料)が用いられ、通信的応用においては Q_m が小さなもの(ソフト系材料)が用いられます。

誘電損失／圧電材料の中で電気エネルギーが熱エネルギーとして失われる割合です。

ポアソン比／与えられた垂直応力によって縦方向には縮み、横方向には拡がりますが、その横歪と縦歪の比です。

密度／体積当たりの質量です。

キュリー点／圧電材料の結晶構造が変化して異方性が無くなる温度です。キュリー点を超えると圧電性が失われるため、使用温度はキュリー点よりも低い範囲で設定する必要があります。



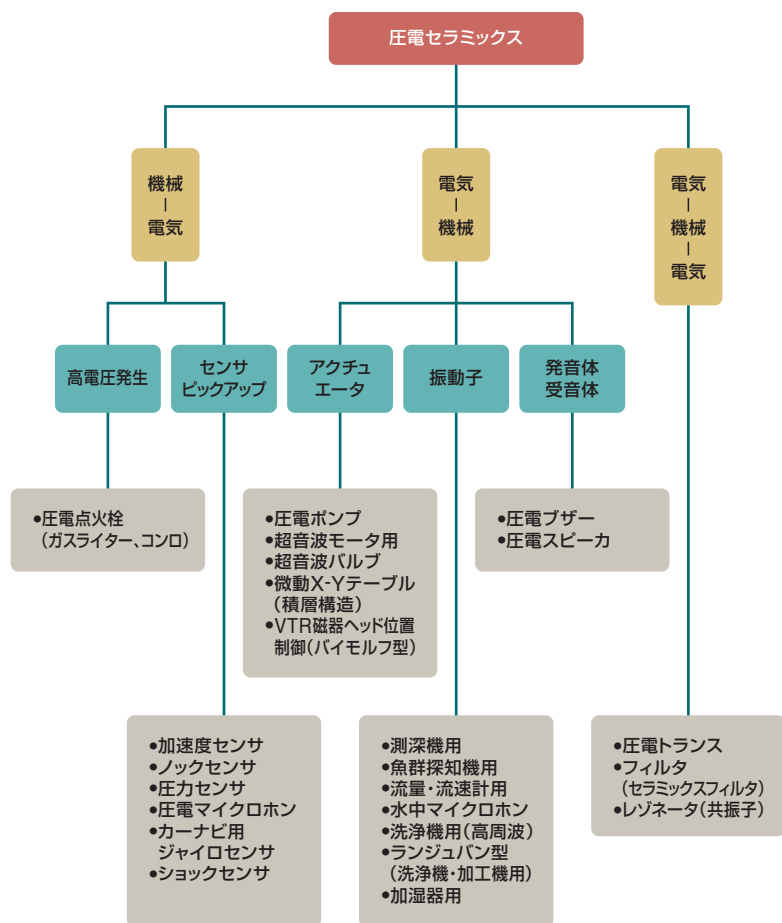
4-1 3 圧電材料の特性

材質			チタン酸ジルコン酸鉛		無鉛圧電材料			圧電薄膜	高分子膜
			PZT		BT	BNT-BT	KNN	ZnO	P(VDF-TrFE)
項目	単位	記号	HC-60AH	HC-50GS	HC-30D	HC-70BN	HC-90KN	HT-ZO	HP-CVFT
電気機械結合係数	%	K_p	58	60	25	13	48	—	—
		K_{31}	32	32	14	—	26	—	—
		K_{33}	68	67	28	—	60	200~260	30
		K_t	48	47	27	46	48	—	—
比誘電率		ϵ_{33}/ϵ_0	1900	1200	900	520	1520	75~10.0	6.0
周波数定数	Hz·m	N_p	2095	2035	3250	3010	3050	3000~3075	—
		N_{31}	1490	1600	—	—	2160	—	—
		N_{33}	1450	1660	—	—	2200	—	—
		N_t	2070	2100	2720	2220	2800	—	—
圧電歪定数	$\times 10^{-12}$ m/V	d_{31}	-162	-110	-36	—	-112	—	—
		d_{33}	380	290	140	110	275	—	—
圧電出力定数	$\times 10^{-3}$ V·m/N	g_{31}	-10.0	-10.5	-4.5	—	-8.9	—	170
		g_{33}	24.0	32.0	18.0	23.8	21.6	—	-380
弾性定数	$\times 10^{10}$ N/m ²	Y_{33}^E	4.5	5.0	11	11.4	11.4	—	1.13
機械的品質係数		Q_m	75	1900	300	500	40	—	—
誘電損失	%	$\tan \delta$	1.6	0.5	2.0	0.66	2.1	—	0.15
ポアソン比		σ	0.36	0.32	0.32	0.26	0.38	—	—
密度	$\times 10^3$ kg/m ³	ρ	7.50	7.55	5.36	5.5	4.4	5.5	1.88
キュリー点	℃	T_c	320	320	160	260	345	—	—
用途			探傷機 厚み計 医療診断 空中計測 水中計測	洗浄機 加工機 霧化器 溶着器	空中計測 水中計測	洗浄機	空中計測 水中計測	顕微鏡 探傷機	探傷機

※本多電子(株)超音波振動子カタログより

- ◎参考文献：●「超音波とその使い方」(谷腰欣司/日刊工業新聞社/1994)
 ●「はじめての超音波」(超音波工業会/工業調査会/2004)
 ●「超音波工学」((社)日本電子機械工業会/コロナ社/1993)
 ●「超音波便覧」(超音波便覧編集委員会/丸善/1999)
 ●「圧電材料とその応用」(堀野 忠/シーエムシー出版/1987)

4-1 4 圧電セラミックスの応用分野



4-1 5 圧電材料を用いた各種振動子



4-1 6 圧電材料を用いた各種振動子

魚群探知機用振動子(電気⇄機械)



医療用振動子(電気⇄機械)



加工機用振動子(電気⇄機械)



洗浄機用振動子(電気⇄機械)



探傷用振動子(電気⇄機械)



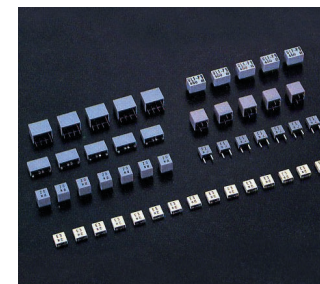
レベル計用センサ(電気⇄機械)



霧化器用振動子(電気⇄機械)



通信機用フィルタ(電気⇄機械⇄電気)



※1

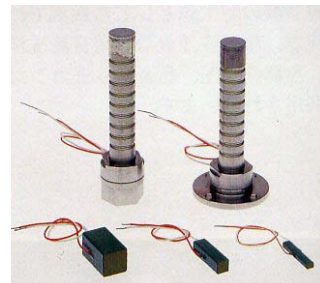
流量計測用センサ(電気⇄機械)



音圧計測用センサ(電気⇄機械)



積層アクチュエータ(電気⇄機械)



※1

圧電点火栓高電圧発生(機械⇄電気)



※1

※1◎転載文献:「電子と遊ぶ石たち」(社)日本電子材料工業会/1989)

振動子と超音波応用製品

通信的応用、動力的応用、それぞれの振動子を紹介します。

超音波の使い方

超音波は、その使い方から、通信的応用、動力的応用に分類できますが(第1章-6参照)、それぞれの使い方に合った振動子の設計、駆動方法が重要となります。それぞれの振動子の例を示します。

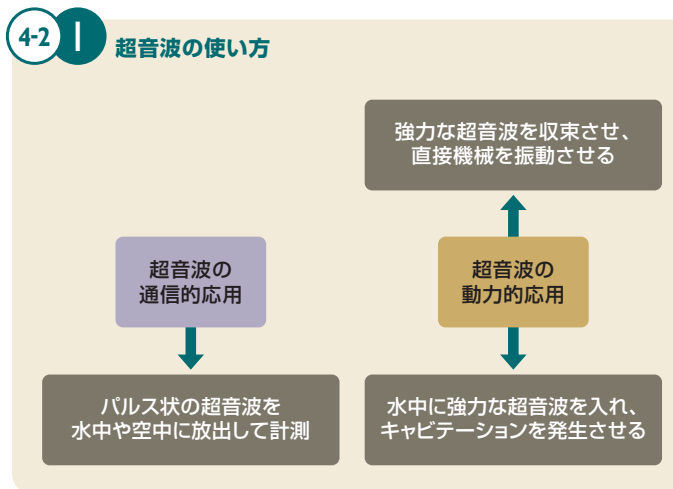
通信的応用の振動子

通信的応用の振動子に求められる性能は、高感度、広帯域性です。高感度と言うまでもありませんが、送信、受信のトータルで高感度であることが重要です。ただし、超音波診断装置の場合、利用可能な超音波パワーが決まっているので(第3章-63参照)、送信パワーを大きくすることができず、受信エコー信号の振幅が大きいほど良い振動子ということになります。広帯域性については、駆動方法にも関連します。送信のパルス状信号は短いほど距離分解能が向上するため、超音波診断装置では、駆動に短い電圧パルスを用います。短いパルス、すなわち広帯域信号であるので、振動子が広帯域でないと短いパルスの超音波を発生できません。広帯域特性を実現するために、超音波診断装置では、図4-2②のように、PZTセラミックスの放射面側に2層の音響整合層を設け、背面にはバックング材を取り付けます。音響整合層は、PZTセラミックスと生体との音響的整合をとるためのもので、厚さが1/4波長程度、音響インピーダンスがPZTセラミックスと生体との中間のものが選定されます。バックング材は、振動を抑える役割をし、尾引き現象(滲み、残像)を減らします。音響整合層、バックング材により広帯域性能を実現できる反面、感度は低下するため、設計には全体のバランスが重要です。

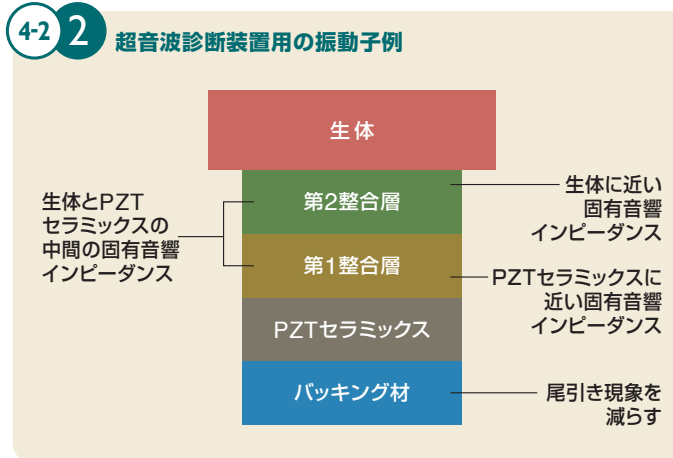
一方の魚群探知機では、海の深いところからのエコー信号を受信したいため、超音波診断装置に比べて低周波数を利用し、水中での減衰を減らしています。音響強度の強い超音波を送信することが高感度に直結するため、駆動方法も超音波診断装置とは異なります。魚群探知機では、バースト駆動を用います。バースト駆動とは間欠的な連続波で駆動する方式です。バースト長が長いほど、連続波の特性(単一周波数)に近づきます。連続波で駆動した方がパルス駆動より共振を強く利用できるため、強い振動を生み出せます。魚群探知機では、距離分解能を犠牲にしても、高感度化を望んでいるのです。このため、魚群探知機の振動子は、強い共振を生じやすい構造をしています。

一方、超音波顕微鏡・探傷映像装置のような高分解能の画像を得るためには高い周波数の振動子が必要です。20 MHzより高い周波数の超音波が必要な場合は、P(VDF-TrFE)圧電高分子フィルムやZnO圧電薄膜が用いられ、数GHzまでの振動子が実用化されています。

4-2 | 超音波の使い方



4-2 2 超音波診断装置用の振動子例



動力的応用の振動子

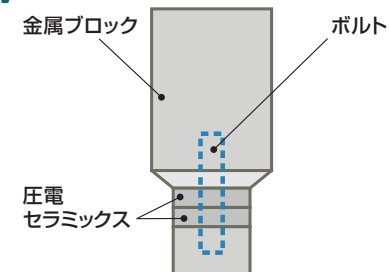
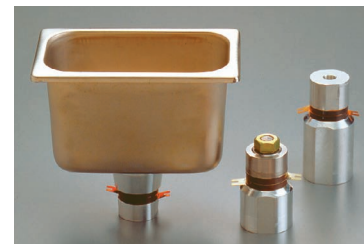
超音波の動力的応用では、強力な超音波を発生させる工夫が重要です。動力的応用の振動子に求められる性能は、強い超音波を発生すること、連続駆動しても破壊しない堅牢性です。低発熱性も重要な要素の一つです。超音波の動力的応用では100 kHzより低い周波数の応用例が多く、振動子は、ボルト締めランジュバン振動子(Bolt Clamped Langévin Transducer:通称BLT)を使います。その構造は、図4-2③に示すように圧電セラミックスを2つの金属ブロックで挟み、ボルトで締め付けて固定しています。振動子の共振周波数はその全長(厚さ)で決まるため、圧電セラミックスで数10 kHzの低周波数を実現するには、約100 mmの厚さが必要です。厚い圧電セラミックスを焼くのは大変ですが、ボルト締めランジュバン振動子では金属ブロックを含む全長で共振するため、圧電セラミックスの厚さは10 mm程度でも設計できます。圧電セラミックスは圧縮より引っ張り方向に弱く、ボルトの締め付けによる加圧が圧電セラミックスの破壊防止にも役立っています。また、動力的応用の駆動方法は、連続波を用います。連続波、すなわち単一周波数信号であるので、単一周波数で強い共振が得られるボルト締めランジュバン振動子が適しています。この用途に用いられる圧電セラミックスは、主に、ハード系材料が用いられ、低発熱性の特性にも貢献しています。

超音波洗浄機の場合、このボルト締めランジュバン振動子を水槽の底に複数本貼り付けて使用します(図では一本)。水槽の底(振動板)の材質、板厚、振動子の並べ方などを工夫して、水槽全体に均一な音場になるように設計されています。

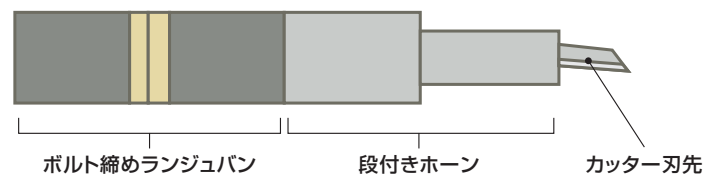
超音波カッターは、刃先を超音波振動させることで、より軽い力で切断することを可能にします(第3章-43参照)。超音波カッターでは、ボルト締めランジュバン振動子に金属ホーンと刃を取り付け、その刃先の振幅が最大となるように設計します。金属ホーンは端面の面積比に応じて変位を拡大します。カッター側の面積を1/5倍にすれば、カッター側の最大変位は5倍に拡大されます。もし、30 kHzのボルト締めランジュバン振動子が1 μm で振動しているとする、カッターの刃先は5 μm で振動します。5 μm の振幅は目には見えませんが、レーザードプラ振動計などの測定器を用いて計測することができます。

カッターだけでなく、ホーン形状を変更することによって摩擦熱でプラスチックを溶着する振動子を製作することも可能です。図4-2⑤に超音波溶着器の振動解析結果を示します。シミュレーション結果なので、変位を拡大して表示していますが、図の様に先端を曲げたホーンを設計すると、ホーン先端が縦方向に振動することがわかります。

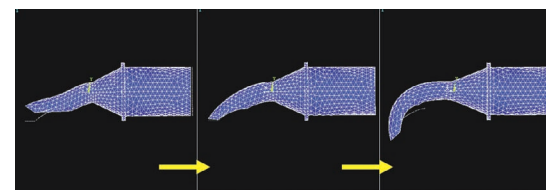
4-2 ③ ボルト締めランジュバン振動子



4-2 ④ 超音波カッター



4-2 ⑤ 超音波溶着器の振動解析結果





本多電子の活動

こだわり続けた60年

超音波をコア技術として

これまでお読みいただいたように、超音波には様々な技術・製品があり、多分野に展開できる可能性を秘めています。本多電子は創業以来、この超音波技術にこだわり抜いてまいりました。

世界初のトランジスタ式魚群探知機の開発を機に、どんな船にも取り付けられる小型で低価格な製品を次々と開発。小型化と高性能化の追求は、アメリカ市場でも受け入れられ、1970年代後半には、全米海洋電子協会から5年連続で小型魚群探知機最優秀賞という高評価をいただきました。「良い魚群探知機を作りたい」、この思いが魚探の基本技術となる超音波へのこだわりにつながっています。1980年、超音波技術の核となる圧電セラミックスの自社開発・生産に成功し、様々な超音波応用機器の開発を始めるベースとなりました。

コア技術を得た本多電子は、特許技術を使った超音波洗浄機を開発しました。1990年、工業用洗浄液として利用されていたフロン・エタンが規制され、産業界では新たな洗浄方法を模索している時期でした。複数の周波数を高速で切り替えることにより、精密かつ強力な洗浄力をもつ新しい超音波洗浄ユニットは、多くの洗浄装置に組み込まれるようになりました。

医療分野にも参入し、小型・高性能・低価格という魚群探知機からのコンセプトを守り、世界規模で販売される製品を生み出しました。さらに、細胞組織の音速を測定することで、癌などの組織を判別する機能を持つ、医学生物用超音波顕微鏡を製品化し、先端医療にも貢献しています。

超音波技術は、半導体製造分野でもなくてはならないものになっています。本多電子の開発した流水式超音波洗浄は、スタンダードな洗浄方法として確立されています。さらに、製造ラインにおける薬液の管理等にも超音波流量計などの計測器が利用されています。超音波はIT産業の基幹技術となったのです。

また、今後の需要伸長が予想される環境・エネルギー分野にも超音波技術・製品を展開しています。石油代替燃料として有力なバイオエタノールの濃縮のほか、揮発性有機物質の回収にも利用される「霧化分離装置」、回収した有害物質を処理する「超音波分解技術」など、世界に先駆けて開発を進めています。

2009年には、圧電セラミックスの新工場を竣工。最新の設備で最高の振動子を実現すべく、生産技術にもこだわり続けます。

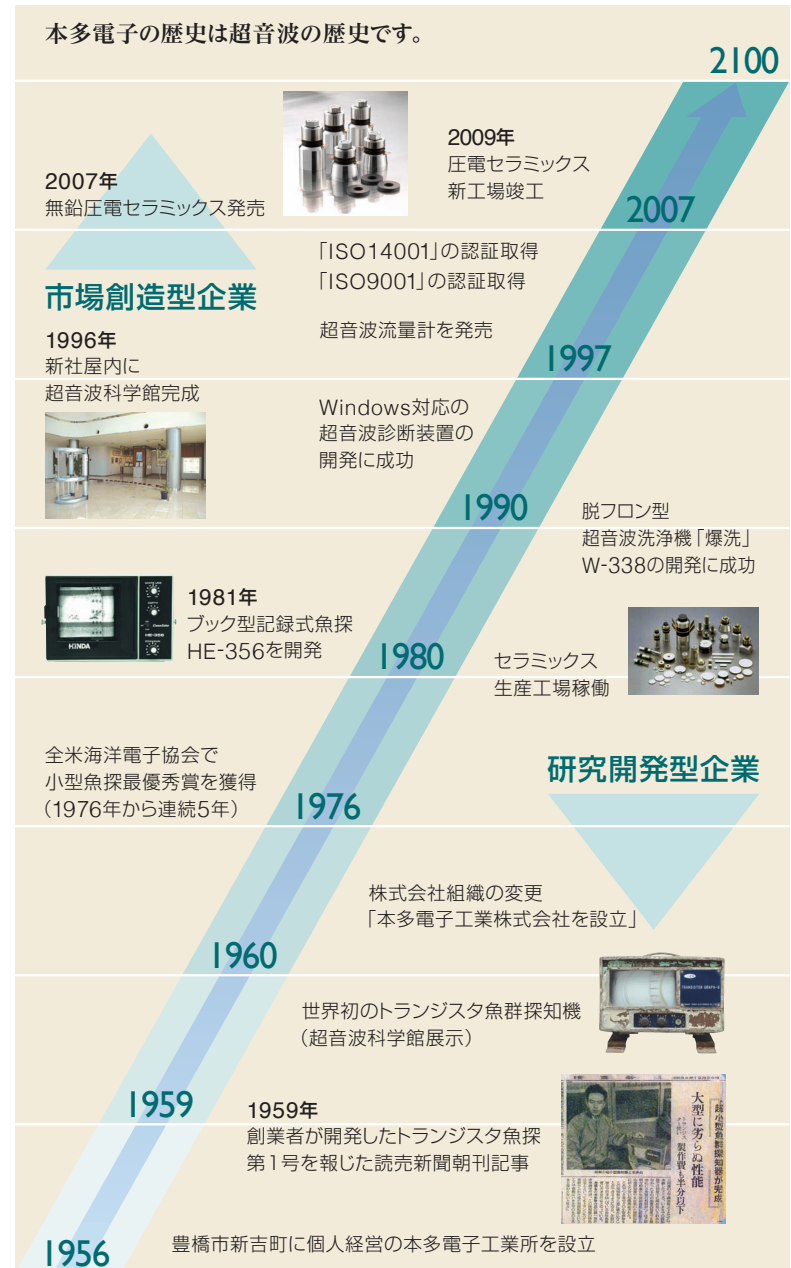
本多電子の歴史は、超音波技術の発展と共にあるとあっていいでしょう。



本多電子関連ページ

超音波で未来を創ります。

本多電子の歴史は超音波の歴史です。



研究開発に特化

魚群探知機専業メーカーから研究開発型企業へ

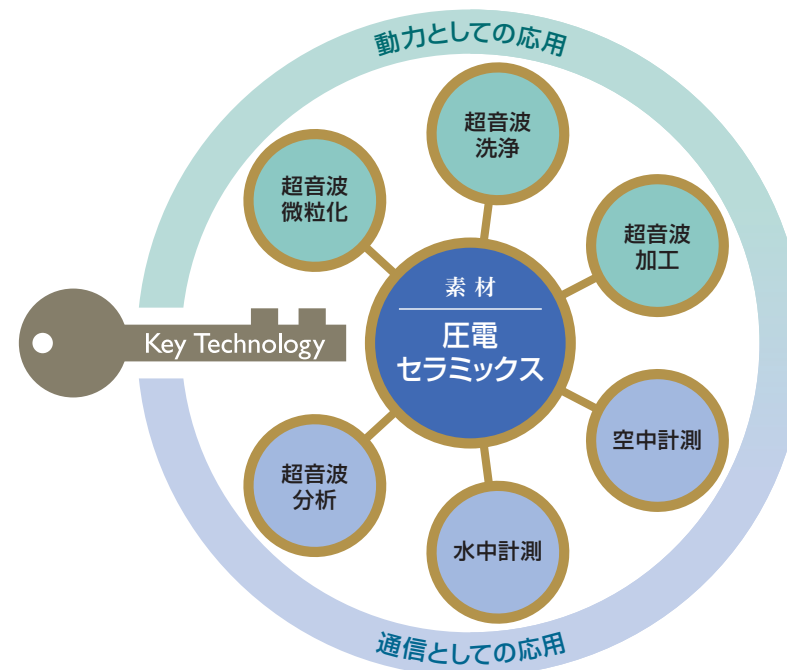
超音波にこだわりを持つことは、同時に、多くのあきらめを伴いました。中小企業として、経営資源を技術開発や製品開発に振り向けることは、生産能力や販売能力の相対的な低下を意味します。

1980年代後半、プラザ合意からブラックマンデーに至る、アメリカの景気低迷は、輸出比率の高かった当時の本多電子を直撃しました。対米輸出額が前年度から半減し、売り上げ・利益は大幅な悪化となりました。超音波技術へ特化したきっかけは、実は、経営危機からの脱出にどうしても必要な転換だったのです。海外拠点の撤退、生産ラインの縮小、人員配置の見直しなど、一見後ろ向きな戦略をとりました。しかし、同時に海外販売店網の整備と現地代理店とのパートナーシップの構築、アウトソーシングによる生産効率のアップ、開発人員増による新市場への展開を図りました。ここから、魚群探知機専業メーカーであった本多電子の、超音波応用機器総合メーカーとしての躍進が始まったのです。超音波の要素技術である圧電セラミックスの自社開発・生産、大学などとの技術や人の交流、異業種企業との共同研究・共同開発を積極的に進めました。

研究開発への特化こそ、本多電子の経営戦略の基本です。その上に、ものづくりへの回帰、サービス体制の増強、新たな事業への展開を進めて行きたいと考えています。

超音波分野の広がり

超音波の応用は動力としての応用と通信としての応用の2つの分野に分けられます。



新しい市場を創る

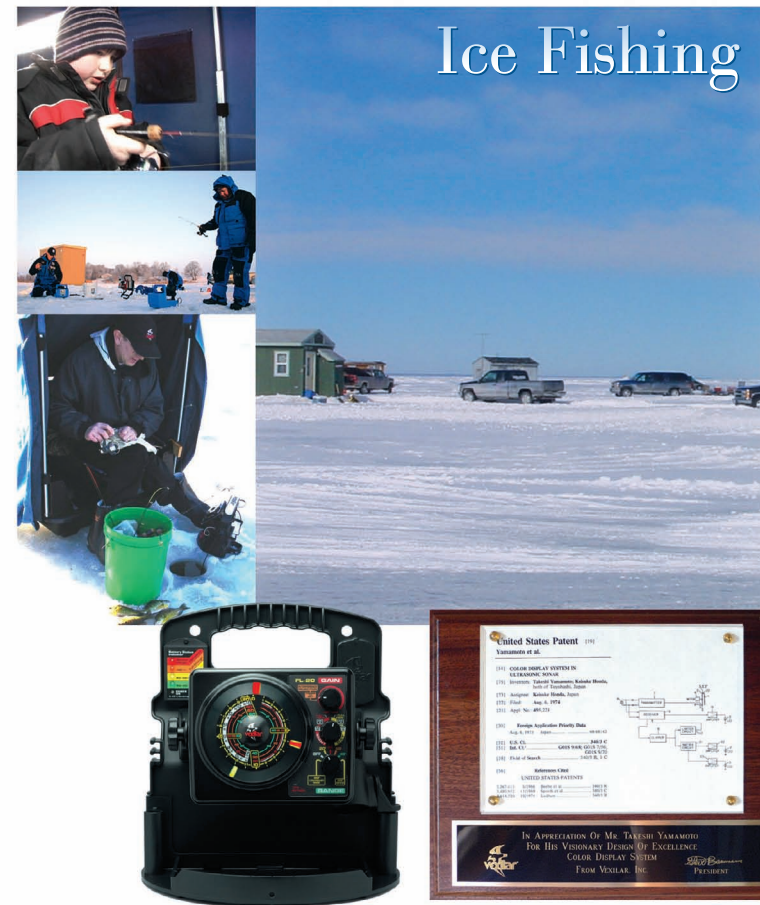
お客様の期待の数歩先へ

超音波技術を何に活かせるか?超音波技術を核として、お客様にご満足いただき、市場に受け入れられる製品を生み出したい!本多電子が取り組んできたテーマです。

市場を創り出した例として、フラッシャー魚探が挙げられます。北米では、アイスフィッシングと呼ばれる釣りが盛んです。冬季、湖を覆った厚い氷に穴を開け、そこで釣りをします。日本ではワカサギ釣りが有名ですが、アメリカでは30cmを超えるトラウト(鱒)などを狙います。本多電子のフラッシャー魚探は、-20℃にもなる寒冷地でも動作する高い信頼性と、カラー表示の見易さで、市場をほぼ独占するほどの商品となりました。構造は比較的単純で低価格であり、いわゆるハイテク製品ではありません。しかし、現地の販売店がユーザーの情報をこまめに拾いあげ、製品に反映させ続けました。例えば、同一機が複数並んだ場合、自らが発信した超音波以外の反射を拾ってしまう場合があります。この混信をさける仕組みや、情報として最も重要な湖底付近を拡大表示する機能など、特許技術を組み込み、地道に改良を重ねたのです。その結果、80年代初めから現在まで販売を続けるほどのロングセラーシリーズとなりました。この製品で、アイスフィッシング用魚探という市場を作り上げたと自負しています。

お客様の期待に応えることは、どの企業でも実践しています。「お客様の期待を超える」ことを目指したいと考えています。

超音波洗浄機における周波数切り替え技術や流水式超音波洗浄、医用超音波音速顕微鏡による生体組織観察、超音波霧化分離技術によるアルコール濃縮など、これらは、これまでできなかったことを可能に、これまで無かったものを製品に、というパイオニア精神から生まれた技術です。超音波技術を研ぎ澄まし、お客様の期待の数歩先を見据えて新市場を生み出すこと、それが超音波専門メーカーの本多電子に課せられた使命であると考えています。



お客様と共に

共進化が創るイノベーション

生命が進化する原動力の一つが、「共生」であることはご存知かと思います。生物が複雑な構造を獲得できたのは、単純な生命体が出会い、得意技を提供しあうことで一つになったからだと言われます。生物の内部だけでなく、まったく違う生物同士も共生しています。クマノミとイソギンチャク、トケイソウとハチドリの関係は、共生の例として有名です。逆に競争関係であっても、進化を促すという面では共生とっていいかもしれません。ガラパゴス諸島のゾウガメとサボテンの関係は、食う、食われるの立場から、互いに進化をし、サボテンは茎をのばして高くなり、ゾウガメは甲羅を曲げて首を伸ばしました。互いの個性を伸ばすためにも、競争は欠かせないものです。

企業が成長する為に、異業種とのコラボレーションを進める事は、今や当たり前の時代となりました。共生は、コラボレーションの基本となる考え方です。しかし、そこから成長をするには、互いに切磋琢磨し、相手に提供できる自分の能力を磨かなければなりません。互いの進化を促す「共進化」こそ、イノベーションを産む原動力となるでしょう。

本多電子は、独自の超音波技術を磨き上げ、皆様へ新しい付加価値を提供すべく、進化を続けます。皆様に共進化のパートナーとして選ばれたい事を期待しています。



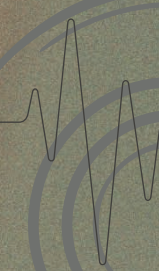
本多電子

本多電子関連ページ

地球に優しい、人に優しい超音波技術

21世紀の地球環境や高齢化社会、省エネ等さまざまな社会問題にも本多電子は超音波の応用技術で積極的に取り組んでまいります。





卷末資料

	用語	意味
あ 行	圧電効果	ピエゾ効果ともいう。特定物質に力を加えると電圧を生ずる現象を圧電効果という。一方、電圧を加えるとひずみや力を生ずる現象を逆圧電効果という。
	圧電高分子	圧電効果を有する高分子を指し、ポリフッ化ビニリデン (PVDF)、ポリフッ化ビニリデンと三フッ化エチレンの共重合体 (P(VDF-TrFE)) などがある。
	圧電材料	圧電効果を有する材料を指し、単結晶、セラミックス、高分子などがある。
	圧電セラミックス	分極処理すると圧電効果を持つ強誘電体セラミックスを指す。代表的なものとしてはPb(Zr,Ti)O ₃ 系 (PZT) やBaTiO ₃ 系がある。
	圧電単結晶	圧電効果を有する単結晶を指し、水晶、ニオブ酸リチウムLiNbO ₃ などがある。
	圧電トランスデューサ	機械的歪みを電気信号に、または電気信号を変位に変換する素子、装置。周期信号を加えることで、音と電気信号の相互変換にも用いられる。
	アレイセンサ	細い短冊状の振動子を多数並べて配列したセンサで、超音波ビームを形成、走査するために用いられる。湾曲させたり直線状に形成する。
	位相スペクトル	超音波パルス信号をフーリエ変換したときの振幅(強度)の大きさと位相を周波数の関係で表したものの。
	液体粘度	液体の粘り度合いを指し、液体の流れやすさ、流れにくさを表す度合い。単位は[Pa・s]で表す。
	エロージョン	キャビテーションなど機械的な作用によって、材料表面が変形したり、徐々に浸食する現象のこと。

	用語	意味
あ 行	音圧	音波の膨張と圧縮により生ずる、媒質中の圧力変化の実効値。圧力の動的変化分から静圧を引いたもの。
	音圧マイクロホン	受信した音波の音圧に比例した電気信号を出力するマイクロホン。
	(固有)音響インピーダンス	音波が伝搬する媒質の密度と音速の積。境界面を形成する2種の物質の音響インピーダンスの差異が大きい程、界面での反射率は大きくなる。単位は[Pa・s/m]=[N・s/m ³]=[kg/m ² /s]で表す。
	音響放射圧	音波が物体のある面に入射するときに及ぼす静圧力のこと。単位は[Pa]で表す。
	音響レンズ	周辺媒質と音速の異なる媒体に直進性の音波が入射するときに屈折する。この現象を利用して音波を集束あるいは発散させる媒体を音響レンズという。
	音速	媒質中を伝わる音波の速度。空気中では約340 m/s(15℃)、水中では約1470 m/s(15℃)の速さで進む。単位は[m/s]で表す。

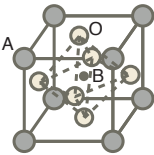
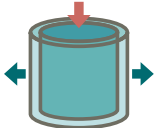
	用語	意味
か 行	輝度変調	受信エコーの振幅(強度)の大きさを輝度の強弱に表示変換すること。受信エコーの表示方法であるBモード(スコープ)で使用される変調方式。
	キャビテーション	「空洞現象」を示し、液体中に振動を加えると強い負圧によって液中に空洞あるいは小気泡が発生する現象をいう。発生した空洞や気泡が砕ける際に衝撃力が発生する。
	共振周波数	特定の周波数の励振信号に対して、強い応答を示すことを共振(共鳴)と言い、その周波数を共振周波数と言う。
	強誘電体	自発分極の方向を電界の印加によって変化し、かつ電界を取り除いた後、分極が残る物質を指す。

	用語	意味
さ 行	指向角	指向性の鋭さを表示する角度。一般に、音圧半減全角または音圧半減半角で表す。
	指向性	音波が全方向に一樣に放射されるのではなく、一定方向に強く放射されること。
	シングア라운드	超音波の伝搬時間を利用して位相形発信器(超音波送受信の繰り返し)を構成し、その発振周波数から超音波の伝搬時間を求める(方法)。
	進行波	伝送媒質中を一方向に進む音波。
	セルフドレッシング効果	一般的には、刃物などの工具が自身で刃先などを研ぐ効果。超音波振動の効果で、ヤスリが目詰まりを起こしにくくなること。
	塑性加工	素材に機械的応力を加え変形させ、その機械的応力を除いた後にも変形が持続する性質を利用した加工手法。塑性加工には、鍛造加工、プレス加工、押出加工、圧延加工、引抜加工などがある。

た 行	楕円振動	縦振動とたわみ振動や縦振動とねじり振動などの複合的な振動で、振動端部の軌跡が楕円状になっている振動。
	多重反射	媒質の境界間で繰り返し生ずる反射。
	縦振動	細長い棒もしくは板状の物体が、長手方向に伸縮する振動をいう。粗密波。
	縦波	音波の振動する方向と、その振動が媒質中を伝搬する方向が一致している波。粗密波とも呼ばれ、気体、液体、固体に見られる。
	たわみ振動	振動体の横波(たわみ)を用いた振動。

	用語	意味
た 行	弾性表面波	弾性体の表面だけにエネルギーが集中して伝搬する音波のこと。縦波成分と表面に垂直な変位をもつ横波成分を含み、表面波の波長程度の深さにエネルギーが集中して進行する。
	超音波強度	音波の進行方向に垂直な単位面積を単位時間に通過する音響エネルギーのこと。単位は[W/m ²]で表し、音波強度、パワー密度、ワット密度ともいう。
	超音波振動子	印加する交流電圧と同じ周波数の機械振動を出力する電気-機械音響変換器をいう。電歪型では、水晶・ロッシェル塩・チタン酸バリウム・チタン酸ジルコン酸鉛があり、磁歪型では、フェライト・ニッケル・アルフェロ等の強磁性体等がある。これらには可逆作用があり、機械-電気音響変換器として機械振動を電気信号として出力する。
	超音波探触子	試料に関する情報を得る為の超音波振動子。例えば、測定対象に向けて超音波を放射し、また対象から信号を受信するための送受波器。
	超音波ビーム	振動子から放射する音波に指向性を持たせることにより、ある方向に集中して出された音。
	超音波霧化分離	熱を使わず超音波により溶液を霧状にし、発生した霧を回収して目的物質を分離・濃縮する分離方法。
	定在波	ある有限長の媒質で、入射波と反射波が重なって生じる移動しない波。
	ドブラ法	音源、観測者の移動速度によって、発生時の音波の周波数が変移されて観測される現象。遠ざかるまたは近づく音源から発生した音波は、もとの音波より低く(遠ざかる音源)または高く(近づく音源)観測される。

な 行	乳化	互いに混合しない2種以上の液体界面に超音波振動を与えると、分散作用により液体同士が混合する現象のこと。
	ねじり振動	振動体のねじりを用いた振動。振動体の中心軸に対し、ねじれ方向の振動。

用語	意味	
は行	バースト波	定められた時間だけ持続する単一周波数の波形信号。任意の周波数の超音波を発生させるために用いる。パルス波に比べ狭帯域の周波数特性を示す。
	パーティクル除去	微小(細)な汚れの粒子を除去すること。主に超音波洗浄では、MHz帯の高周波を用いる。
	バイモルフ	2枚の圧電セラミックスを貼合わせた構造の振動子(バイモルフ振動子)。比較的大きな変位が得られる。
	パルスエコー法	送波器から超音波パルス信号を測定対象物に送信し、その反射波を受信、処理することで対象物の情報を得る方法。
	非線形現象	音波の伝搬中に媒質の固有の特性によりひずみを生じ、高調波が発生すること。
	複合振動	2つ以上の振動が重なり合った振動。縦振動-たわみ振動、縦振動-ねじり振動など。
	フリーラジカル	不対電子をもつ原子や分子、あるいはイオンのことを指す。
	分極	誘電分極または電気分極ともいう。物質に電界を印加したときには、内部の電荷が移動し、電気双極子が生じる。単位体積当たりの双極子モーメントとして定義され、その単位は[C/m ²]で表す。
	ペロブスカイト型結晶	圧電セラミックスには、化学式BaTiO ₃ のようにABO ₃ と表すペロブスカイト型結晶構造(右図)を持つものが多い。この構造では、立方体の角に金属イオンA、体心の位置に金属イオンB、面心に酸素イオンOが配置している。 
	ポアソン効果	物体を変形させた際に、加えた力の方向に対して垂直方向に伸縮変化する現象。具体的には物体がある方向に伸びるとそれに対して垂直方向に縮み、逆にある方向に縮むとそれに対して垂直方向に伸びる。 

用語	意味	
は行	ポンピング効果	超音波洗浄において、高速に周波数切替えを行う事で定在波も高速に移動する。その効果により、微細な隙間の汚れをポンプのように押し出す効果のこと。
	横波	音波の振動する方向と、その振動が媒質中を伝搬する方向が垂直な音波のこと。横波は弾性体のずれ変形によって生ずるため、固体のみに生ずる。
ら行	ランジュバン型振動子	ランジュバン(P.Langevin)によって開発され、圧電素子の両端を金属ブロックで挟み込み接着等で一体化した構造の振動子のこと。その中でも、ボルトで締め付けて一体化した構造の振動子をボルト締めランジュバン型振動子(Bolt-clamped Langevin type Transducer:BLTと略す)という。
欧文	Aモード	⇒Aスコープ(第3章-23を参照)
	Bモード	⇒Bスコープ(第3章-23を参照)
	Cモード	⇒Cスコープ(第3章-23を参照)
	OHラジカル	水酸化イオン(OH ⁻)から電子が電離したもので、強い酸化力を持つため光触媒など化学反応に利用される。
	PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)	ペロブスカイト構造をもち、チタン酸鉛PbTiO ₃ とジルコン酸鉛PbZrO ₃ からなる固溶体。優れた圧電特性を有する圧電セラミックス材料。
ZnO(酸化亜鉛)	六方晶系結晶で圧電性を有する。薄膜の加工ができることから高周波用の圧電振動子として利用されている。	

材料名		音速データ				
		音速(縦波) C_l	音速(横波) C_t	密度 ρ	固有音響 インピーダンス ρC_l	温度
		[m/s]	[m/s]	$\times 10^3$ [kg/m ³]	$\times 10^6$ [N·s/m ²]	[°C]
金属						
チタン	Ti	6,070	3,125	4.50	27.3	
タンタル	Ta	3,800		16.7	63.5	
アルミニウム	Al	6,420	3,040	2.7	17.3	
軟鋼材	Fe91	5,810		7.8	45.3	
ステンレス	SUS347	5,790	3,100	7.91	45.7	
黄銅	Cu70% Zn30%	4,700	2,110	8.5-8.7	40.6	
銅	Cu	5,010	2,270	8.3-8.93	44.6	
ニッケルクロム鋼	Fe92	5,100		7.8	39.8	
Bモネル	Ni91	4,600		8.8	40.7	
マグネシウム	Mg	5,770	3,050	1.74	10.0	
ニッケル	Ni	6,040	3,000	8.6-8.9	53.5	
金	Au	3,240	1,200	18.9-19.3	62.5	
銀	Ag	3,650	1,610	10.4	38.0	
コバルト	Co	4,700		8.7	40.9	
アンチモン	Sb	2,160	810	6.4	13.8	
ベリリウム	Be	12,890	8,880	1.87	24.1	
インジウム	In	1,500		22.4	33.6	
亜鉛	Zn	4,210	2,440	7.04-7.18	30.0	
鉛	Pb	1,960	690	11.36	22.4	
プラチナ	Pt	3,260	1,730	21.37	69.7	
スズ	Sn	3,320	1,670	7-7.3	24.6	
タングステン	W	5,410	2,640	18.6-19.1	103.0	
シリコン	Si	9,850		2.3	23.0	
ガラス						
熔融石英	SiO ₂	5,968	3,764	2.2	13.1	
パイレックス		5,640	3,280	2.32	13.1	

材料名		音速データ				
		音速(縦波) C_l	音速(横波) C_t	密度 ρ	固有音響 インピーダンス ρC_l	温度
		[m/s]	[m/s]	$\times 10^3$ [kg/m ³]	$\times 10^6$ [N·s/m ²]	[°C]
樹脂						
ポリイミド	PI	2,500		1.4	3.50	
ナイロン	Nylon6-6	2,620	1,070	1.11	2.86	
アクリル	PMMA	2,670		1.2	3.20	
ポリエチレン	PE	1,950	540	0.90	1.75	
ポリスチレン	PS	2,350	1,120	1.06	2.49	
ポリプロピレン	PP	2,473		0.9	2.23	
ふっ素樹脂	PFA	1,240		2.1	2.60	
ゴム						
天然ゴム	NR	1,546		0.95	1.47	25
クロロプレン	CR	1,510		0.99	1.49	25
液体						
ヒマシ油		1,502		0.96	1.44	20
純水	H ₂ O	1,483		0.998	1.48	20
トランスオイル		1,425		0.859	1.22	32.5
流動パラフィン	paraffin	1,420		0.835	1.19	32.5
メチルアルコール	CH ₃ OH	1,106		0.7867	0.87	
エチルアルコール	C ₂ H ₅ OH	1,144		0.7853	0.90	
グリセリン	C ₃ H ₅ (OH) ₃	1,923		1.263	2.43	20
キシレン	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	1,299		0.8566	1.11	30
トルエン	C ₆ H ₅ CH ₃	1,328		0.866	1.15	20
クロロホルム	CHCl ₃	1,001		1.487	1.49	20
アセトン	CH ₃ COCH ₃	1,164		0.7849	0.91	
気体						
水素	H ₂	1,308		0.000083	0.00011	20
酸素	O ₂	327		0.00133	0.00046	20
窒素	N ₂	349		0.00116	0.00040	20
空気	Air	344		0.00120	0.00041	20

◎参考文献:●「超音波便覧」(超音波便覧編集委員会/丸善/1999)
●「超音波技術便覧」(実吉純一、菊池喜充、能本乙彦/日刊工業新聞社/1978)
●「液体及び溶液の音波特性」(野村浩康、川泉文男、香田忍/名古屋大学出版会/1994)

超音波の発展にかかわった偉人

西暦	人物	功績
1827年	Jean-Daniel Colladon Charles-Fran ois Sturm	レマン湖において音速の実測試験を実施し、ソナーの理論化の端緒となった。
1842年	James Prescott Joule	磁歪効果を発見。
1880年	Pierre Curie Paul-Jacques Curie	圧電効果を発見。
1914年	Reginald Aubrey Fessenden	アクティブ・ソナーの原型となる装置を開発。 2マイル先の氷山の探知に成功。
1917年	Paul Langévin	水晶の圧電効果を使った水晶振動子を開発し、超音波を初めて発生させることに成功。 第一次世界大戦中に潜水艦の位置の測定に用いる研究を行ったが、戦争中に実用化することはできなかった。
1942年	Karl Theo(theodore) Dussik	透過法による脳の超音波検査(Aモード)を行う。
1948年	古野清孝 清賢	世界で初めて魚群探知機の実用化に成功。
1949年	Dorothy Howry Roderick Bliss	パルス法により超音波断層像(Bモード)を得る。翌年画像化に成功。
	George D.Ludwing Francis Struthers	Bモード画像による胆石の検出に成功。
1954年	Inge Edler Carl Hellmuth Hertz	echo-cardiography(心エコー法)の分野を開拓。

西暦	人物	功績
1955年	Bernard Jaffe	PZT(lead zirconate titanate)に圧電効果を発見。
1956年	本多敬介	世界初のトランジスタポータブル魚群探知機を発売。
1957年	里村茂夫 仁村泰治	ドプラ法の開発。
1958年	Ian Donald	腹部の接触複合走査法(contact compound scan)を始める。
1968年	井出正男	階調性超音波法(グレースケール表示)の開発。
1971年	Nicolaas (Klass) Bom Jan C Somer 内田六郎 萩原芳夫 入江喬介	電子走査型超音波診断装置を開発。
1972年	Holm Goldberg	穿刺用振動子の開発。
1982年	滑川孝六	カラードプラ診断装置を開発。

A

AE波……………94,96
 AIUM/NEMA……………210,211
 ARPA……………70
 Aスコープ(Aモード)
 ……61,64,100,102,106,124,211,243

B

BaTiO₃ → チタン酸バリウム
 Bスコープ(Bモード)
 ……100,102,112,114,124,126,243

C

Cスコープ(Cモード) 100,102,124,243

E

ESWL……………172

F

F.M.発振モード……………142
 FDA……………210,211

G

GPS……………70,122

H

HIFU (High Intensity Focused Ultrasound) ……185
 HSP (Heat Shock Protein) ……184

I

IoT……………182

K

KI法……………188

L

LFB (Line Focus Beam) ……108,109,110
 LiNbO₃ → ニオブ酸リチウム
 L-L変換方式……………158
 LSAW (Leaky Surface Acoustic Wave) ……108

O

OHラジカル……………186,243

P

P(VDF-TrFE)
 → フッ化ビニリデン/三フッ化エチレン共重合体
 PbTiO₃ → チタン酸鉛
 PFB (Point Focus Beam) ……109,110
 PZT → チタン酸ジルコン酸鉛

R

R-L変換方式……………158

T

TEM……………189

V

V(z)曲線……………108,109,111

Z

ZnO → 酸化亜鉛

あ

アイスフィッシング……………232
 アオコ処理……………174
 アクティブ消音……………98,99
 アコースティック・エミッション……………94
 圧延加工……………156
 厚さ計……………60,61
 圧電効果……………18,19,215,216
 圧電高分子(膜)……………214,222,238
 圧電材料……………214
 圧電振動子 → 振動子
 圧電セラミックス
 ……18,82,146,147,172,194
 圧電単結晶……………214,215,238
 圧電(膜)トランスデューサ
 → トランスデューサ
 圧電薄膜……………214,215,222
 厚み計測……………60,61
 圧力による空気中の音速変化……………45
 アルコールのリサイクル……………208
 アレイセンサ……………58,59,238

い

位相スペクトル……………66,238
 一般洗浄……………140,141
 色変調……………102
 動き感知……………88,91

う

雨滴除去……………152,153
 ウルトラファインバブル… 30,200,201

え

エア漏れ検出器……………94
 液圧絞り加工法……………157
 液晶ガラス基板の洗浄……………144
 液体の粘度……………80,238
 液面レベル計 → レベル計
 液量計測(管理)……………48,52
 エコーロケーション……………16,17
 エタノールの霧化分離……………209
 エロージョン……………140,238

お

汚泥沈降計……………52,53
 汚泥の可溶化……………170,171
 音圧……………15,82,239
 音圧計(音圧測定)……………82,83,220
 音圧マイクロホン……………82,83,239
 音響インピーダンス
 ……68,104,172,214,222,239
 音響エネルギー……………140
 音響整合層……………222
 音響特性評価……………108
 音響放射圧……………150,151,239
 音響放射体……………140
 音響レンズ……………16,108,110,172
 音源位置の特定……………94
 音速……………44,45,68,76,77,88,239
 音速測定……………68
 音速測定方式の超音波濃度計……………76
 温度による空気中の音速変化……………45
 温熱効果……………195
 温熱治療……………184

音波診断(器)……………94,96

か

海底観測……………56

界面計……………52

界面レベル計測……………48

海洋生物テレメトリー → テレメトリー

化学反応……………138,186

攪拌……………196,202

加工(機)……………156,160,166,217

重ね合わせの原理……………98

加湿(器)……………204

ガスボンベ液面計……………106

可聴音……………14

カテーテル……………116

カラードブラ法……………114

環境浄化……………174

眼軸長測定……………64

管引き抜き方法……………157

き

気温による空気中の音速変化……………45

機械(振動)エネルギー……………140

輝度変調……………102,239

揮発性有機物質の回収……………228

キャビティ……………210

キャビテーション

……………138,152,166,180,186,190,196

キャビテーションジェット……………196

キャピラリー波……………200,204

吸音材……………98

キュリー点……………216,217

共振現象……………216

共振周波数……………216,224,239

強力超音波……………142,171,174

魚群探知(機)……………120,122,128

魚種の特定……………122

魚数カウンタ……………86

魚数自動計測システム……………86

距離計測……………44,46,48,58

距離分解能……………46,56

金属疲労……………94

け

結石破砕(装置)……………172

嫌気処理……………52

研削……………166,168

原子間力顕微鏡……………110

検知・検出……………88

顕微鏡……………66,106

こ

コイル引き加工……………158

好気処理……………52,53

工業用強力超音波洗浄……………142,143

高周波……………114,122,128,138,140

高周波診断装置……………114

高周波振動……………154

高周波洗浄……………142,144

高速発熱急冷場……………186

広帯域パルス……………66

高調波……………55

交通管制システム……………84,85

高密度焦点式超音波治療法……………185

高分子鎖の切断……………188,189

コウモリのエコーロケーション……………16,17

骨折治療器……………192,193

湖底・海底観測……………56,57

コンベックス走査による超音波画像……………113

コンベックスプローブ……………112

さ

細菌駆除……………174

材料観察(評価)……………108,110

材料境界検知……………104,106

材料計測装置……………108

材料粉砕……………170

サシ(霜降り)……………118

撮像……………124,125,126,127

酸化亜鉛……………109,214,215,243

三角堰……………50

三次元位置特定……………58,59

三次元画像構成……………126

三次元観察……………114

三次元計測……………58,59

三次元(超音波)撮像……………126,127

三次元表示……………114,126,127

残量管理……………48,49

し

シール溶着……………176,177

四角堰……………50

軸力……………62,63

指向角……………84,122,240

指向性(指向特性)……………14,15,46,240

湿度による空気中の音速変化……………45

絞りばめ……………160

集束ビーム超音波計測……………108,109,110

周波数切替……………142

周波数定数……………216

周波数変調……………142

ジュール熱……………184

受信(エコー)強度……………78,92,93,100

消音……………98,99

障害物検知装置(センサ)……………89

衝突防止装置……………88

蒸留……………208

食品の味付け……………191

シロアリの食害音……………96,97

シングアラウンド法……………72,240

信号合成……………113

信号遅延……………113

進行波方式(超音波モータ)……………146,147,240

浸食……………140

診断装置

14,24,65,104,105,106,112,113,114

115,116,118,119,124,126,179,210,211

浸透……………30,31,35,190,196

振動解析……………224,225

振動加速度……………22,138,139,140

振動子

214,216,217,219,220,221,222,223,224

振動子群……………112,113

振動振幅……………80,141,162,202

振動振幅抑制力……………80

振動体型(超音波)洗浄……………144,145

振動テーブル……………169

振動ふるい……………154,155

す

水晶(SiO₂)…………… 64
 水深測定…………… 54, 55
 水中探査…………… 128, 129
 水中通信…………… 134, 135
 水中通話機…………… 134
 数量計測…………… 86
 スポット溶着…………… 176, 177

せ

生体(組織)観察…………… 232
 成膜…………… 109, 206, 207
 精密洗浄…………… 140, 141, 144
 石英振動体型(超音波)洗浄… 144, 145
 堰式流量計…………… 50, 51, 53
 切削…………… 166, 167, 168
 切断…………… 97, 162, 164, 165, 188, 189, 202
 セルフドレッシング効果…………… 166
 繊維の染色…………… 191
 穿孔…………… 116, 117
 洗浄(機)
 24, 82, 83, 138, 139, 140, 141, 142, 143
 144, 145, 179, 188, 196, 198, 199
 線引き抜き方法…………… 157
 全米超音波医学会…………… 210

そ

騒音公害…………… 98
 騒音レベル…………… 82, 83
 促進
 23, 75, 138, 142, 176, 179, 184, 190
 192, 194, 195, 202

速度計測…………… 70, 71, 88
 組織診断…………… 66
 塑性加工…………… 23, 156, 157, 158
 ソノケミストリー…………… 186, 188
 ソノリアクター…………… 188
 素粒子衝突の音…………… 96

た

体積弾性率…………… 68
 体内三次元動態可視化…………… 114
 ダイナショック方式…………… 142
 ダイナショックモジュレーション(DM)方式…………… 142
 楕円運動…………… 147, 148, 149
 多結晶セラミックス…………… 214
 多重反射…………… 106, 122, 240
 脱泡・脱気…………… 190, 198, 199
 縦振動(モード)
 …… 147, 149, 150, 158, 162, 216, 240
 たわみ振動(モード)
 …… 146, 150, 162, 163, 240
 タンク内の液量管理…………… 48, 49
 探傷(探傷映像装置) 100, 101, 102, 103, 222
 探触子…………… 62, 100, 102, 106, 241
 弾性波(弾性表面波)…………… 94, 108, 110
 弾性率測定装置…………… 108
 探知距離…………… 123
 探知領域…………… 120

ち

遅延線…………… 113
 チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)
 …… 214, 215, 217, 243
 チタン酸鉛(PbTiO₃)…………… 214, 215
 チタン酸バリウム(BaTiO₃)… 214, 215
 地中探査…………… 130, 131
 中周波帯洗浄…………… 140
 抽出…………… 174, 196, 197, 208
 鋳造加工…………… 156
 聴音…………… 94, 96
 潮流計…………… 70, 71
 超音波厚さ計…………… 60, 61
 超音波エラストグラフィ…………… 114, 115
 超音波音速顕微鏡…………… 66, 68, 232
 超音波温熱治療…………… 184
 超音波加湿器 → 加湿器
 超音波カッター…………… 162, 163, 164, 165
 超音波カメラ…………… 124, 125, 126
 超音波強度…………… 138, 139, 186, 187, 241
 超音波研削 → 研削
 超音波原子間力顕微鏡…………… 110
 超音波減衰方式の超音波濃度計
 …… 76, 78, 79
 超音波減衰率…………… 78, 79
 超音波顕微鏡…………… 66, 108, 109, 110
 超音波撮像 → 撮像
 超音波受信機…………… 136, 137
 超音波診断装置 → 診断装置
 超音波浸透…………… 190, 196

超音波振動
 146, 148, 152, 154, 156, 158, 160, 162,
 166, 176, 180, 184, 194, 200, 224
 超音波振動子 → 振動子
 超音波振動塑性加工 → 塑性加工
 超音波振動ふるい機 → 振動ふるい
 超音波スライサー…………… 162
 超音波切削 → 切削
 超音波切断 → 切断
 超音波センサ…………… 48, 84, 88, 90, 92
 超音波洗浄(機) → 洗浄(機)
 超音波造影剤…………… 210
 超音波探傷 → 探傷
 超音波探触子 → 探触子
 超音波抽出 → 抽出
 超音波テレメトリー → テレメトリー
 超音波ナイフ…………… 162
 超音波鍋…………… 196, 197
 超音波ネブライザ…………… 41, 204
 超音波粘度計 → 粘度計
 超音波の安全性…………… 210
 超音波濃度計 → 濃度計
 超音波のこぎり…………… 162
 超音波の受信強度 → 受信エコー強度
 超音波の生体作用…………… 210
 超音波の通信的応用 → 通信的応用
 超音波の定義…………… 15
 超音波の動力的応用 → 動力的応用
 超音波の特性(特徴)…………… 14, 78
 超音波の反射原理…………… 104
 超音波の反射利得特性…………… 47
 超音波発信機…………… 57, 137

超音波発振器
 ……140,142,143,148,151,170

超音波はめ合い ……160,161

超音波バリア ……91

超音波反応装置 → 反応装置

超音波引き抜き加工 → 引き抜き加工

超音波浮揚 → 浮揚

超音波分解 → 分解

超音波粉碎 ……170

超音波粉体フィーダ → 粉体フィーダ

超音波プローブ → プローブ

超音波包丁 ……162

超音波ホモジナイザ → ホモジナイザ

超音波ボルト軸力計 → ボルト軸力計

超音波マップ ……28,30

超音波霧化(器) → 霧化(器)

超音波霧化分離 → 霧化分離(装置)

超音波メス ……162

超音波モータ ……146,148

超音波溶着(器) → 溶着(器)

超音波リニアモータ ……148,149

超音波流量計 ……72,73,74,75

超音波レベル計 → レベル計

聴覚閾値 ……15

直進流 ……138,139,140

直線集束ビーム ……108,109

治療(器)
 116,172,184,185,192,193,194,204

つ

追尾センサ ……91

通信機用フィルタ ……221

通信的応用 ……24,216,222,223

て

定在波 140,142,146,150,188,204,241

定在波方式(超音波モータ) ……146,147

低周波 ……98,122,128,138,140,142

低周波帯(洗浄) ……140,141

テレメトリー ……136,137

電気エネルギー ……140,170

電気機械結合係数 ……216,217

電気探査 ……130

電子走査 ……112,113

電磁波探査 ……130

電子フォーカス ……112,113

電磁モータ ……146

点集束ビーム ……109,110

伝播速度 ……46,76

伝搬効率 ……14,92

伝搬時間 44,54,62,64,72,74,88,102

伝搬時間差法(方式) ……72,73,74

と

透過率 ……104

動粘度 ……80

動力的応用 ……22,23,24,216,222,224

ドブラ効果 ……16,70,71,88

ドブラ診断装置 ……115

ドブラ・スピードログ ……70,71

ドブラ法(ドブラ方式)
 ……72,74,75,114,241

トランジスタ式魚群探知機 ……228

トランスデューサ
 ……67,108,109,110,111,238

ドロベンチ加工 ……158

に

ニオブ酸リチウム(LiNbO₃) ……214,215

2周波切替発振モード ……142

二枚潮 ……70

乳化 ……22,138,202,203,241

人間が聞き取れる音の範囲 ……15,83

ね

ねじり振動 ……146,147,162,163,241

熱エネルギー ……110,194,195

粘性係数 ……50,80

粘度計(粘度測定) ……80,81

の

濃度計(濃度測定) ……52,53,76,78,79

ノッチ ……144

は

バーシャルフリューム ……50

バースト波 ……56,66,242

パーティクル除去 ……140,141,144,242

パーマポーラスフリューム ……50

ハーモニクイメーキング ……114

バイオエタノールの濃縮 ……228

バイオフィーゼル ……202

バイオマス ……53,188,208

媒体 ……14,44,60,62,72,82,144

バイモルフ ……146,147,242

配列振動子 ……113

剥離(作用) ……138,139,144,152,202

破碎 ……139,170,172,173,196,202

パッキング材 ……222,223

発光現象 ……186

パッシブ消音 ……98,99

バッチ式(洗浄機) ……141,142,144

はめ合い ……160,161

パラメトリックスピーカ ……132,133

パルスエコー法 ……64,66,242

パルスジェット ……144,145

パルスドブラ法 ……114

パルス変調発振モード ……142

パルス励起型 ……66,67

パワードブラ法 ……114

反射エコー ……75,100,101,112

反射損失 ……46,48

反射板 ……76,77,98,99,150,151

反射率 ……104

反応装置 ……188

ハンマリング効果 ……156

半導体基板(ウェーハ)洗浄 ……145

ひ

ピエゾ方式 ……172

光音響顕微鏡 ……110

引き抜き加工 ……156,157,158

微細加工 ……168

微生物駆除 ……174

非線形現象 ……132,242

比誘電率 ……216,217

美容(器) ……190,194

表面波……………108,110,130,200,204
 微粒化……………23,25,170,202
 ピンガ……………136

ふ

フーリエ変換……………66,67
 深絞り加工……………23,156
 不感帯……………46
 複合振動……………162,163,242
 付着防止……………152,153,198
 フッ化ビニリデン/
 三フッ化エチレン共重合体…214,215
 物体検出……………88,91
 浮揚……………150,151
 フラッシュャー魚探……………232
 プローブ……………64,65,106,112,113,114
 フロントガラスリペア……………191
 分解……………138,186,228
 分級……………154
 分極(処理)……………214,242
 粉碎……………170
 分散……………22,104,138,202
 分散乳化液……………202
 粉体フィーダ……………148,149
 分離……………23,48,202,208,209,228,232

へ

米国医薬品食品局……………210
 ベベル……………144
 ペロプスカイト型……………242,243

ほ

ポアソン効果……………160,242
 ポイントタイプ流水式洗浄機 144,145
 防犯センサ……………96
 ボウフラ駆除……………174,175
 ホーン144,151,170,176,178,188,200
 ホットスポット……………186
 ホモジナイザ……………170,171,174
 ボルト軸力計……………62
 ボルト締めランジュバン
 → ランジュバン
 ボンピング効果……………142,243

ま

マイクロバブル……………114
 枚葉式(洗浄)……………141,144
 曲げ振動……………149
 マッサージ(効果)……………184,195
 マニピュレーション……………151
 マルチアレイセンサ……………58,59
 マルチ周波数……………128
 マルチビーム……………128,129

み

水処理……………50,52,53,74
 ミスト熱分解法……………206

む

無鉛圧電セラミックス……………229
 無鉛圧電材料……………214,217
 霧化(器)
 ……24,204,205,206,207,217,221

霧化分離(装置)……………208,209,228,241

や

野球肘……………116
 薬液噴霧……………204
 やまびこ……………20,21

ゆ

有害物質……………188,208,209,228
 誘電損失……………216,217
 輸液ポンプ……………92

よ

溶解……………138
 溶着(器)
 ……22,176,177,178,217,224,225

ら

ラインタイプ流水式洗浄機……………144
 ラジカル……………186,188
 ランジュバン型
 ……148,170,176,218,224,225,243

り

リアルタイム(三次元)表示……………112,114
 リニアプローブ……………106,112
 リニアモータ振動子……………148
 流水式超音波洗浄……………144,145,228,232
 流量計(流量計測)
 ……50,51,52,53,72,73,74,75,220,228,229

る

ルミノール水溶液……………186
 ルミノール発光……………187

れ

レーザ溶接部の深さ測定……………106
 レベル計
 ……48,49,50,52,53,106,107,220
 レベルスイッチ……………106,107
 連続波ドブラ法……………114

ろ

漏洩弾性表面波……………108,110

文献リスト

■ **転載文献** 本誌の作成に当たり、以下の書籍、文献から転載致しました。

- 「エンジニアのための人間工学」(横溝克己、小松原明哲/日本出版サービス/1991)
- 「化学便覧 基礎編II」(日本化学会/丸善)
- 「昆布だしの加熱抽出法における超音波照射の効果」/
(木村友子他/日本調理科学会誌、29、178/1996)
- 「超音波計測」(丹羽/超音波工業/昭晃堂/1989)
- 「超音波工学」((社)日本電子機械工業会/コロナ社/1993)
- 「超音波便覧」(超音波便覧編集委員会/丸善/1999)
- 「電子と遊ぶ石たち」((社)日本電子材料工業会/1989)
- 「はじめての超音波」(超音波工業会/工業調査会/2004)
- 富士工業株式会社 超音波液体濃度計カタログ
- 京都大学大学院 情報学研究科 生物圏情報講座(WEBページ)

■ **資料提供** 本誌の作成に当たり、以下の企業、大学、団体より資料提供いただきました。

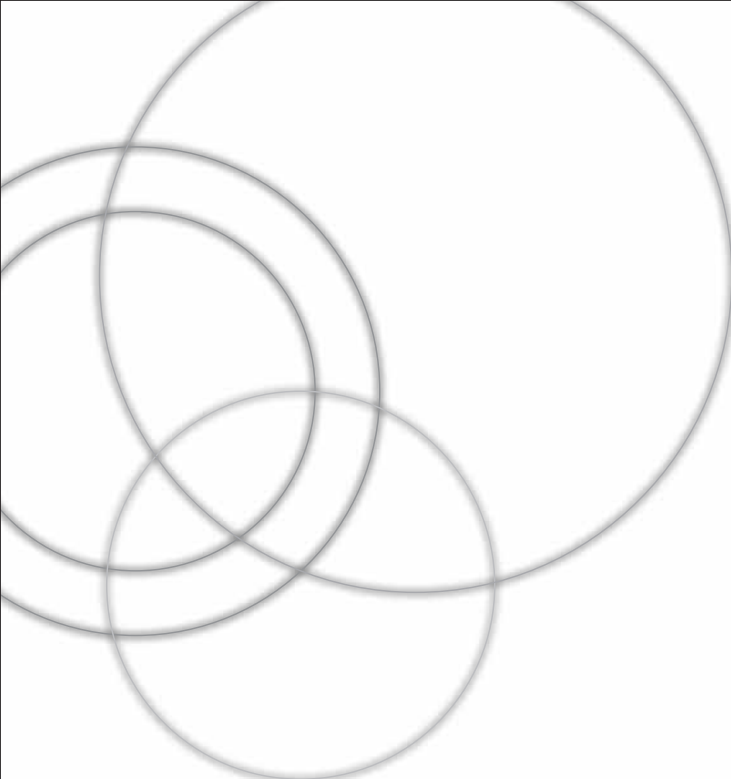
- 香川大学 医学部 国際医動物学講座
- 株式会社 クマクラ
- 株式会社 興和工業所
- 日本シグマックス 株式会社
- 株式会社 日立メディコ
- 同志社大学 工学部 物質化学工学科 土屋活美教授
- 独立行政法人 水産総合研究センター
- 名古屋大学大学院工学研究科物質制御工学専攻 香田研究室
- 宮崎大学 助教 徳永忠昭 氏
- 山形大学大学院 理工学研究科 機械システム工学分野 准教授 幕田寿典 氏

■ **参考文献** 本誌の作成に当たり、以下の書籍、文献を参考に致しました。

- 「Direct Synthesis of Lead-Hexaferrite Particles by Mist Pyrolysis」
(Y.Ikeda,C.Hara,T.Fujii,M.Sato and M.Inoue/
J.Magn.Soc.Jpn./22,249/1998)
- 「圧電材料とその応用」(塩崎 忠/シーエムシー出版/1987)
- 「アルミニウムの超音波はんだ付におけるぬれ現象」
(川勝一郎、津田徹/軽金属、29、83/1979)
- 「液体及び溶液の音波特性」(野村浩康、川泉文男、香田忍/名古屋大学出版会/1994)
- 「エンジニアのための人間工学」(横溝克己、小松原明哲/日本出版サービス/1991)
- 「海運雑学ゼミナール」((社)日本船主協会/WEBページ)
- 「魚道の設計」((財)ダム水源環境整備センター/山海堂/1991)
- 「計装エンジニアのための流量計測AtoZ」
((社)日本計量機器工業連合会/工業技術社/1996)
- 「昆布だしの加熱抽出法における超音波照射の効果」/
(木村友子他/日本調理科学会誌、29、178/1996)
- 「昆布出し汁の浸水法に及ぼす超音波照射の影響」
(木村友子他/日本家政学会誌、47、453/1996)
- 「振動方向変換ホーン型振動子を用いた強力超音波応用」
(渋谷、青木、山森、宮本/本多電子/日本工業出版刊 超音波TECHNO
VOL.15 No.2/pp.95-100/2003)
- 「ダイバー用通信機の原理」(島田理化学工業/日本工業出版刊
超音波TECHNO VOL8 No.3/pp.54-60/1996)
- 「超音波応用加工」((社)日本塑性加工学会/森北出版/2004)
- 「超音波カッターの振動方式と応用」
(橋本芳樹/日本工業出版刊 超音波TECHNO VOL5 No.7/p.29/1993)
- 「超音波観察法・診断法」(大井川宏明/東洋出版/1997)


■参考文献 本誌の作成に当たり、以下の書籍、文献を参考に致しました。

- 「超音波技術とその応用『超音波顕微鏡の最新成果』」
(菅沼／本多電子／電子材料 11月号／p.102／工業調査会／1992)
- 「超音波技術便覧」(実吉純一、菊池喜充、能本乙彦／日刊工業新聞社／1978)
- 「超音波研削加工」(杉山昌／日本工業出版刊
超音波TECHNO VOL.3 No.4／pp.32-36／1991)
- 「超音波工学」((社)日本電子機械工業会／コロナ社／1993)
- 「超音波骨折治療の現状」(水野耕作ほか／整形・災外外科／43,213-223／2000)
- 「超音波洗浄の現状とこれからの技術」
(橋本芳樹／日本音響学会誌61巻3号／pp.160-165／2005)
- 「超音波とその使い方」(谷腰欣司／日刊工業新聞社／1994)
- 「超音波によるアルコールの非加熱分留処理」(松浦一雄／生物・環境産業のための
非熱プロセス事典／編集:岩本他／サイエンスフォーラム／東京／1997)
- 「超音波の世界」(本多敬介著／NHKブックス)
- 「超音波はめ合い技術」(斉藤長男／豊田工業大学／日本工業出版刊 超音波テクノ
55-60／VOL3 No.4／1991)
- 「超音波便覧」(超音波便覧編集委員会／丸善／1999)
- 「長距離高速デジタル通信」(海洋科学技術センター／日本工業出版刊
超音波TECHNO VOL8 No.3／pp.49-53／1996)
- 「定在波型近距離場音波浮揚非接触搬送装置の保持力改善に関する研究」
(小此木淳史／東京工業大学修士論文／指導教官 上羽貞行教授／2001)
- 「ナースのための新ME機器マニュアル」
(小野哲章、渡辺敏／JINスペシャル No.63／医学書院)
- 「はじめての超音波」(超音波工業会／工業調査会／2004)
- 「パラメトリックスピーカの実用化」
(鎌倉友男、酒井新一／日本音響学会誌、62、791／2006)
- 「埋蔵文化財探査用地中ゾーナ、一横波音波による浅層地中映像—」
(杉本恒美／日本音響学会誌 Vol.58, No.9, pp605-610／2002)
- 「メガソニック洗浄と今後」
(都田昌之／日本工業出版刊 超音波TECHNO VOL.12 No.9／pp.2-9／2000)
- 「流水式超音波洗浄機」(山本武司／本多電子／日本工業出版刊 超音波TECHNO
VOL.3No.6／pp.46-48／1991)
- Don A. Webster and David T. Blackstock
J. Acoust. Soc. Am.／62 ,518(1977)
- D.Gaitan et al.,J.Acoust.Am.,91 3166,(1992).
- K.Iida, et al.,“Observation of Marine Animals Using Underwater
Acoustic Camera” Jpn.J.Appl.Phys.,45, 4875,(2006).
- N.Okada,et al.,“Two-Dimensional Pb(Zr[x]Ti[1-x])O[3]
Ceramics Arrays for High-Speed Three-Dimensional Imaging
System Using Coded Wavefront”, Jpn.J.Appl.Phys.,42,3289,(2003).
- R.Ogawa,T.Kondo,H.Honda,Q.L.Zhao,S.Fukuda and P.Riesz,
Ultrasonics Sonochemistry,9,197-203.(2002)
- S.Koda,T.Kimura,T.Kondo and H.Mitome,
Ultrasonics Sonochemistry,10,149(2003)
- Y.Asakura,M.Maebayashi,and S.Koda,
Journal of Chemical Engineering of Japan,38,1008(2005)
- 小塚 晃透、辻内亨、三留秀人、新井史人、福田敏男
日本機械学会論文集／C編、67巻、657号、2001
- 吉田 仁、野村浩康、名古屋大学工学部分子化学工学科卒業論文、1997
- 田口君彦、香田忍、名古屋大学工学部分子化学工学科卒業論文、2004
- 鈴木立也、香田忍、名古屋大学工学研究科物質制御工学専攻修士論文、2004
- 京都大学大学院 情報学研究科 生物圏情報講座(WEBページ)
- 独立行政法人 水産総合研究センター(WEBページ)



聞こえない音の世界

超音波ハンドブック

- 企画・編集・取材 ——— 本多電子株式会社
TEL0532-41-2511(代)
愛知県豊橋市大岩町小山塚20 〒441-3193
 URL <https://www.honda-el.co.jp>
- アートディレクション — 株式会社エクスラージ
デザイン

本誌収録内容の無断転載・複写・引用などを禁じます。
転載・複写・引用などを希望される場合は、
本多電子株式会社(TEL0532-41-2511)までご連絡下さい。

東京エレクトロ



本物電子株式会社