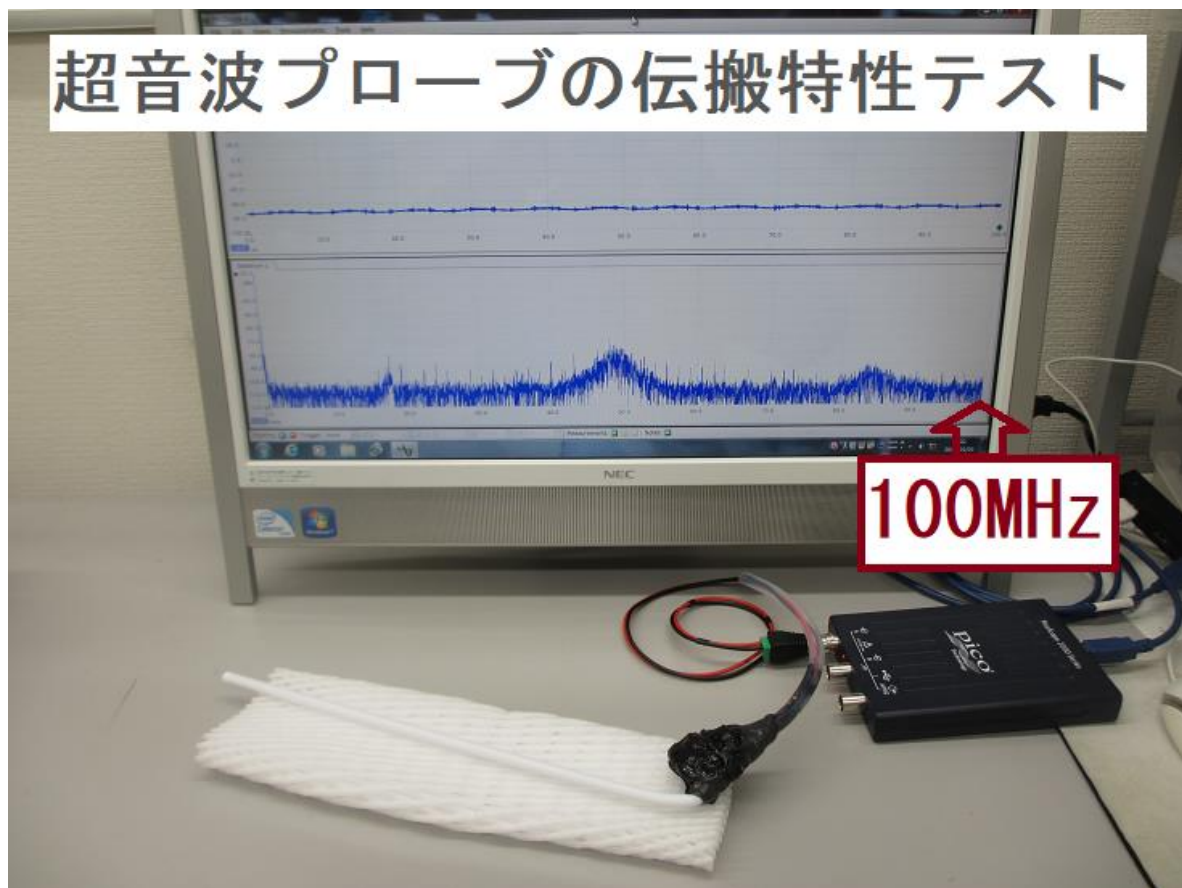


超音波の伝搬特性テスト

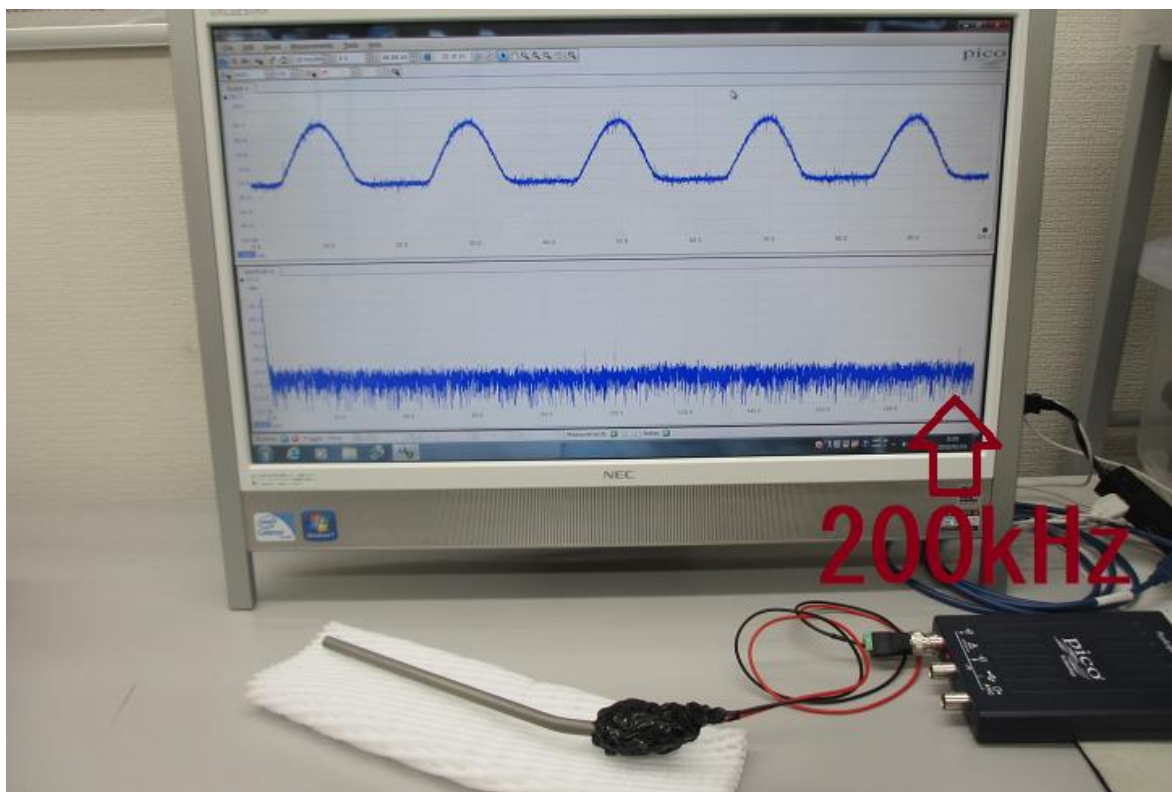
オリジナル超音波プローブのダイナミック特性を評価する技術
超音波の伝搬特性（非線形特性、応答特性、ゆらぎの特性、相互作用）

2023. 2. 10 超音波システム研究所



超音波システム研究所は、
超音波伝搬現象の分類に基づいた、
500Hzから100MHzの超音波伝搬状態を制御可能にする
超音波プローブの製造技術(超音波の伝搬特性テスト)を開発しました。

目的に合わせた、
オリジナル超音波発振制御プローブを製造開発が可能です。



ポイントは、超音波プローブの**超音波伝搬特性 1**の確認です。
超音波のダイナミックな変化に対する、応答特性が最も重要です。
この特性により、高調波の発生可能範囲が決定します。
現状では、以下の範囲に対して、製造対応可能となっています。

超音波プローブ：概略仕様

測定範囲 0.01Hz～300MHz

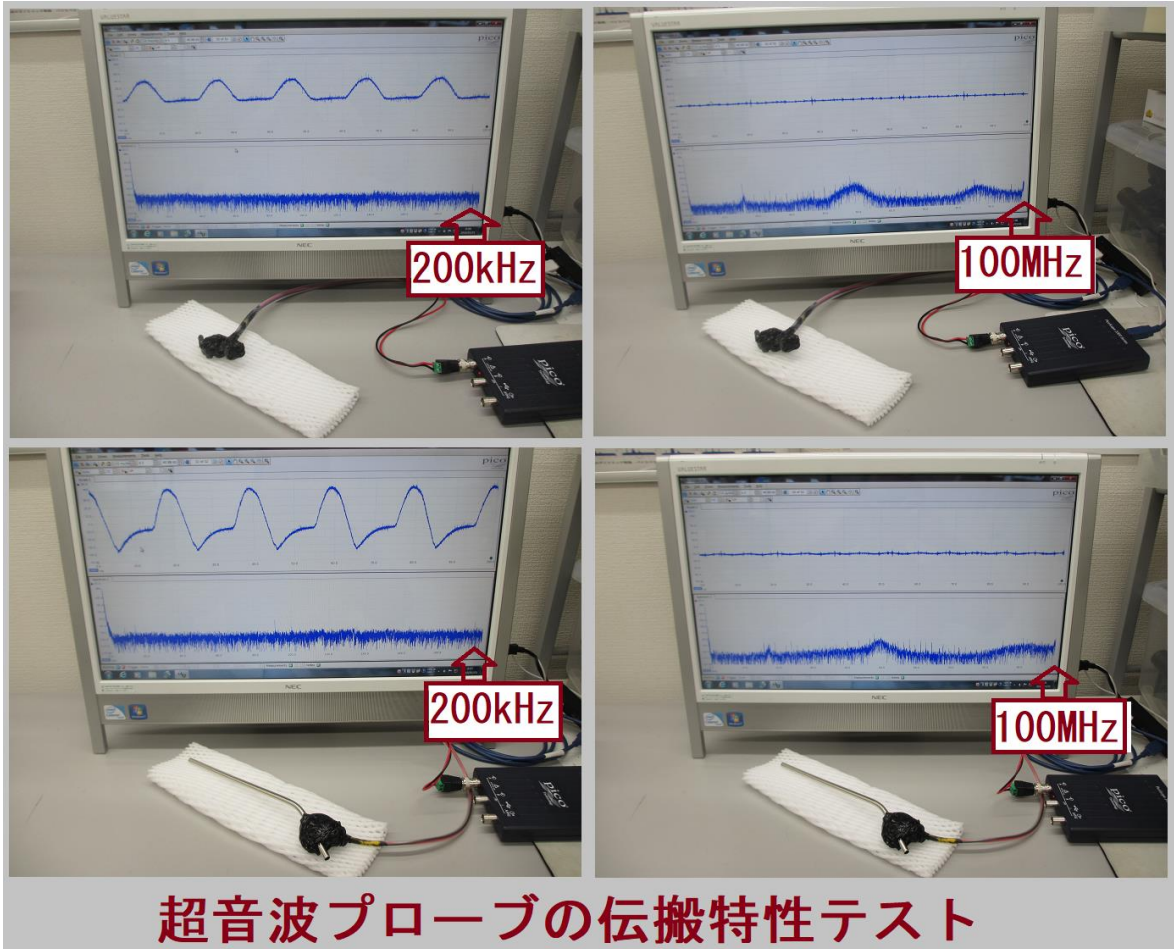
発振範囲 0.5kHz～100MHz

材質 ステンレス、LCP樹脂、シリコン、テフロン、ガラス・・・

発振機器 例 ファンクションジェネレータ

超音波伝搬特性 1

- 1) 低周波の共振特性
- 2) 高調波の非線形特性
- 3) 超音波伝搬現象の**ダイナミック特性**



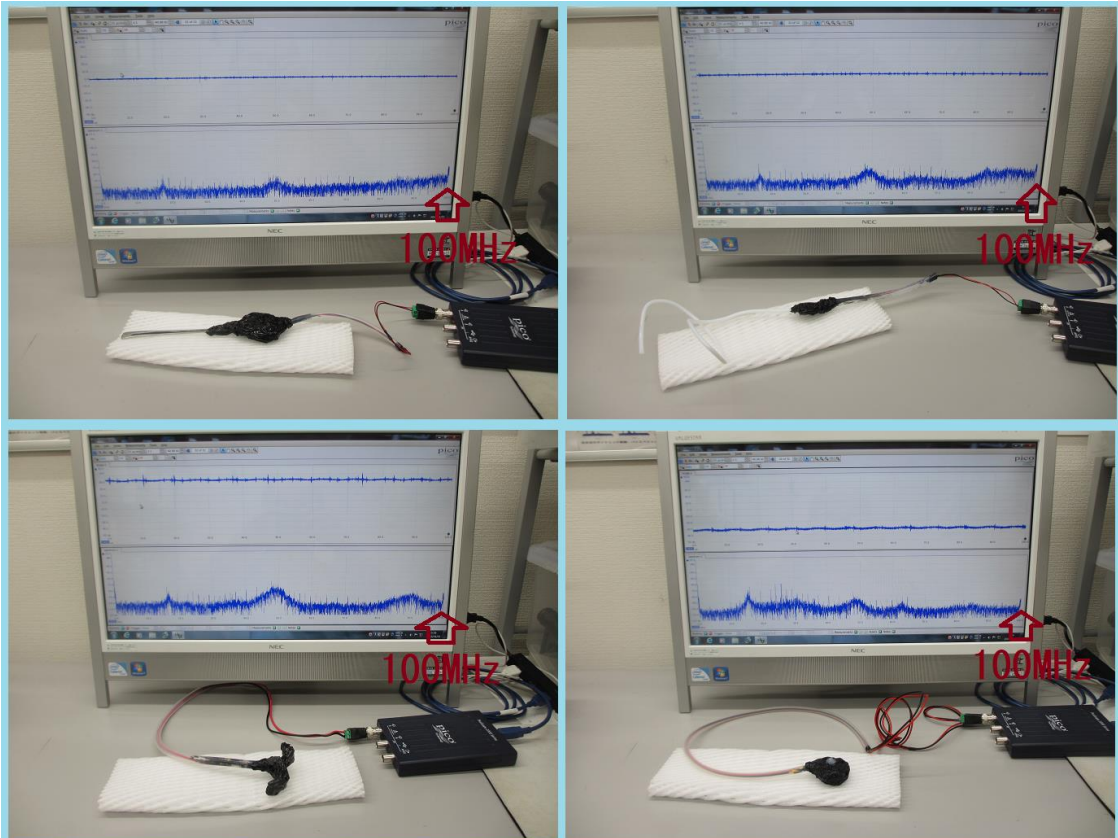
超音波プローブの伝搬特性テスト

＜材質・形状・構造・・・による音響特性＞を
把握（測定・解析・評価）することで、
目的に合わせた超音波の伝搬状態を実現します

超音波伝搬状態の測定・解析・評価技術に基づいた、
精密洗浄・加工・攪拌・検査・・・への応用実績により、
この技術を公開することにしました。

この技術を、コンサルティング提供します
興味のある方はメールでお問い合わせください

各種部材（ガラス容器・・・）の音響特性（表面弾性波）の利用により
20W以下の超音波出力で、5000リッターの水槽でも、
数トンの構造物、工作機械、各種製造ライン・・・への
超音波刺激による効果を確認しています。



超音波プローブの製造技術（超音波の伝搬特性テスト）

弾性波動に関する工学的（実験・技術）な視点と
 抽象代数学の超音波モデルにより
 非線形現象のコントロール・応用方法として開発しました。

ポイントは

超音波素子表面の表面弾性波利用技術です、
 対象物の条件（材質・形状・構造・サイズ・数量・・・）により
超音波の伝搬特性（注1）を確認することで、
 オリジナル非線形共振現象（注2、3）として
 対処することが重要です

注1：超音波の伝搬特性

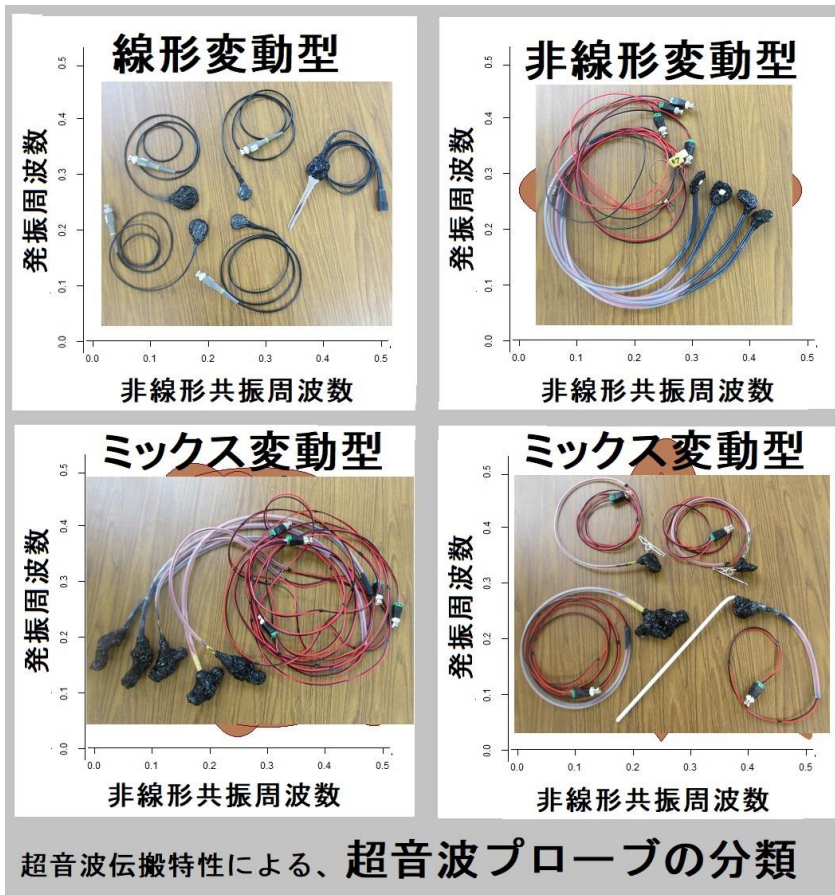
- 非線形特性（バースペクトル解析）
- 応答特性（インパルス応答解析）
- ゆらぎの特性（ $1/f$ 解析）
- 相互作用による影響（パワー寄与率の解析）

注2：オリジナル非線形共振現象

オリジナル発振制御により発生する高調波の発生を共振現象により高い振幅に実現させたことで起こる、超音波振動の共振現象

注3：過渡超音応力波

変化する系における、ダイナミック加振と応答特性の確認
時間経過による、減衰特性、相互作用の変化を確認
上記に基づいた、過渡超音応力波の解析評価



<<特許申請>>

特開 2021-125866 超音波制御（超音波発振制御プローブ）

特開 2021-159990 超音波溶接

特開 2021-161532 超音波めっき

特開 2021-171909 超音波加工

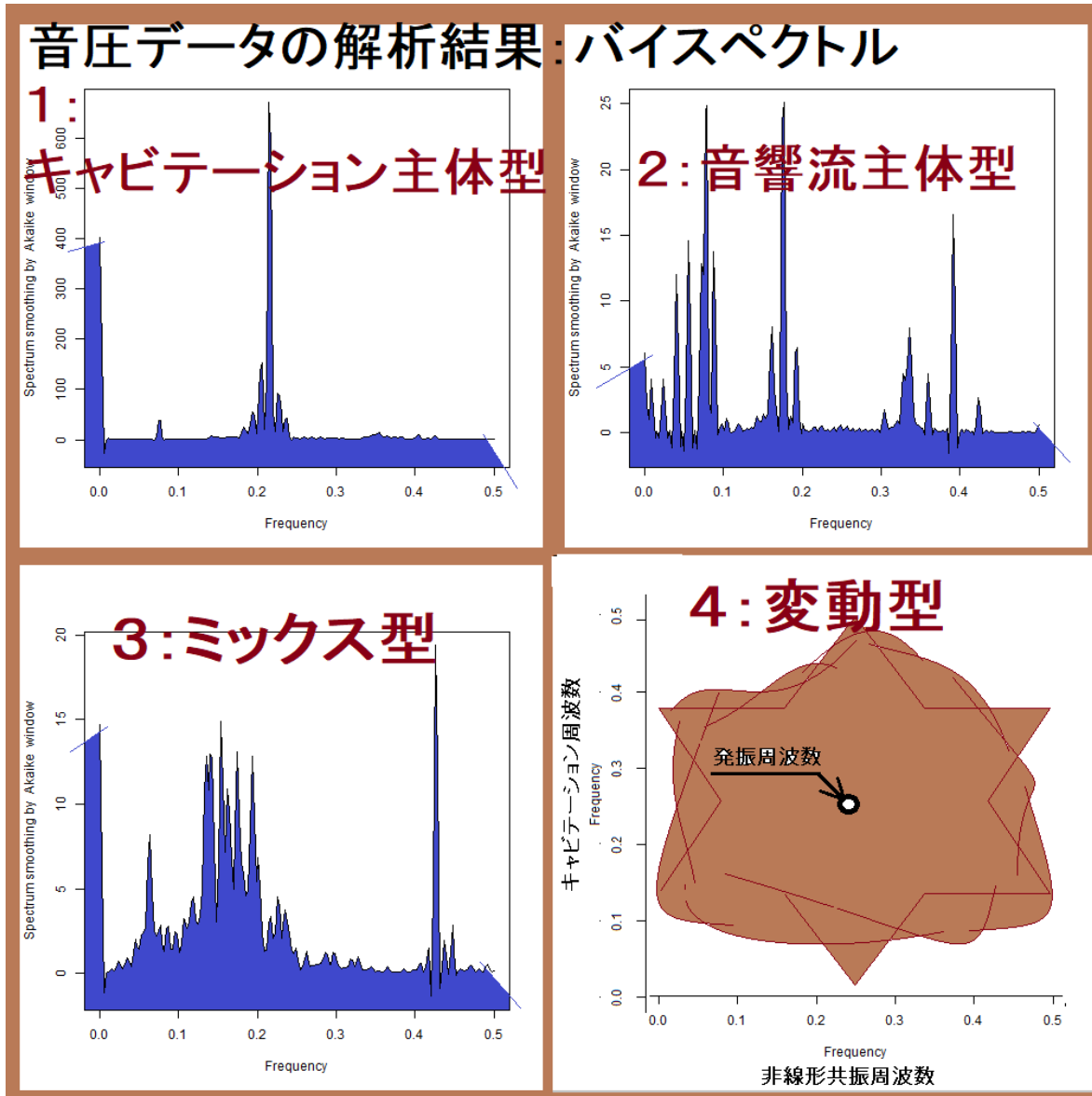
特開 2021-175568 流水式超音波洗浄

超音波発振制御プローブの製造技術の一部は、特開 2021-125866 に記載しています

この技術を、コンサルティング提供します

興味のある方はメールでお問い合わせください

音圧データ解析による 超音波（キャビテーション・音響流）の分類



超音波（キャビテーション・音響流）の分類

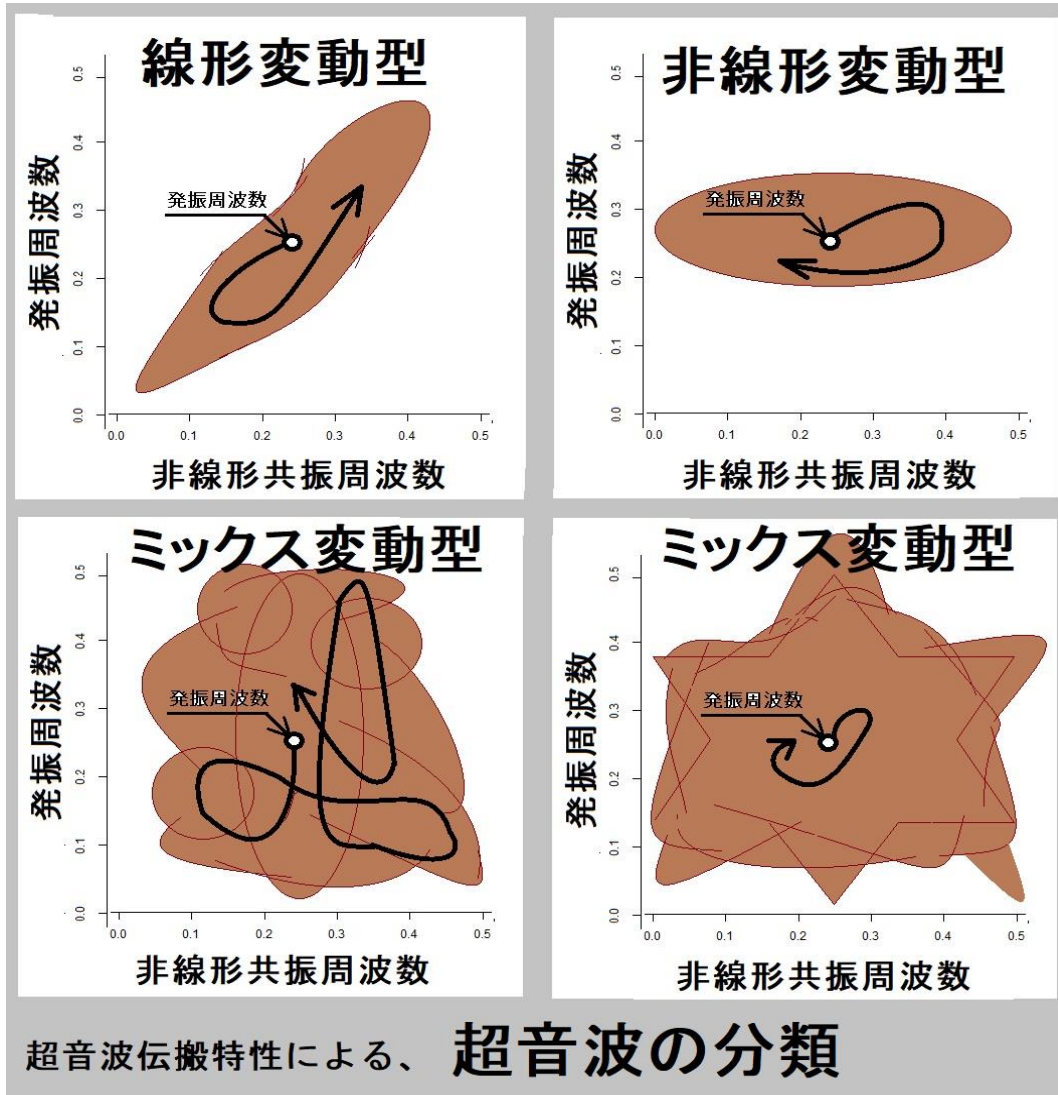
注：これは、机上の論理モデルです

キャビテーション、音響流を一定の状態に維持することは非常に難しく

現実的には、変動し続け、多くの場合、キャビテーションも音響流も減衰します

下記のモデルは、

変動し続ける超音波の状態を、一定の範囲で実用的に扱うための分類です
このモデルに基づいた対応が、多くの実績に発展しています



<超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

1：線形型 2：非線形型 3：ミックス型 4：ダイナミック変動型
(4-1：線形変動型 4-2：非線形変動型 4-3：ミックス変動型)

この分類を、超音波利用目的に合わせて

発振制御条件（スイープ発振条件）として設定します。

環境・条件・・・により、複数の発振を組み合わせる場合も同様ですが

相互作用に対する測定確認が不十分だと、

ダイナミックな非線形現象は発生しません。

分類の詳細

1 : **線形型** (キャビテーション主体型)

超音波の発振周波数に対して

伝搬状態の主要 (最大エネルギー) 周波数が

低調波 (発振周波数の $1/4$ 、あるいは $1/2$)

から**高調波 (発振周波数の 1 倍、 \dots 3 倍) の範囲**で、若干の変化がある状態

注 : 低調波 (発振周波数の $1/8$) 以下の場合

低周波の共振状態により、不安定な共振と干渉が発生し

安定した状態が実現しない傾向になります

2 : **非線形型** (音響流主体型)

超音波の発振周波数に対して

伝搬状態の主要 (最大エネルギー) 周波数が

高調波 (発振周波数 10 倍以上) の範囲で、若干の変化がある状態

注 : 高調波は、超音波振動子、発振プローブ \dots の

表面状態の工夫 (特願 $2020-31017$ 超音波制御) により

発振周波数の 100 倍を実現することも可能です

3 : **ミックス型** (キャビテーションと音響流の組み合わせ型)

超音波発振部材の設置方法や接触部材 \dots の相互作用により

発振周波数に対して

伝搬状態の主要 (最大エネルギー) 周波数が

低調波 (発振周波数の $1/8$, $1/4$ 、あるいは $1/2$)

から**高調波 (発振周波数の 1 倍、 \dots 10 倍) の範囲**で

自然に発生する、大きな変化がある状態

コメント

上記の 1, 2, 3 は、基本的な伝搬状態ですが

振動現象が、安定して長時間同じ現象を続けるためには、各種制御 \dots 工夫が必要です

上記の 1, 2, 3 は、単調な発振状態を継続すると

周波数の低下や超音波の減衰現象が発生し

超音波の利用効果は小さくなっていきます

そのために、実用的には、次の**変動型**を利用することが必要です

(コンサルティング対応実績は、ほとんど変動型です)

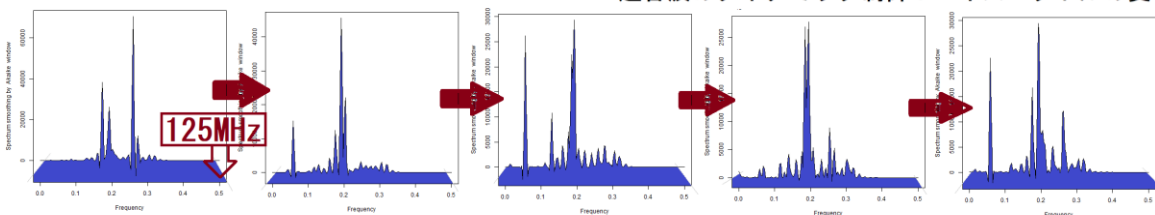
4 : 変動型 (各種制御による変化を利用するタイプ)

4-1 : 線形変動型

複数の超音波発振部材や発振制御・・・を利用して
伝搬状態の主要(最大エネルギー)周波数が
低調波から高調波を、

目的の範囲(発振周波数の1/8~10倍程度)で
制御可能にした状態

線形変動型 <超音波伝搬特性(音響特性)の分類>



4-2 : 非線形変動型

複数の超音波発振部材や発振制御・・・を利用して
伝搬状態の主要(最大エネルギー)周波数が
低調波から高調波を、

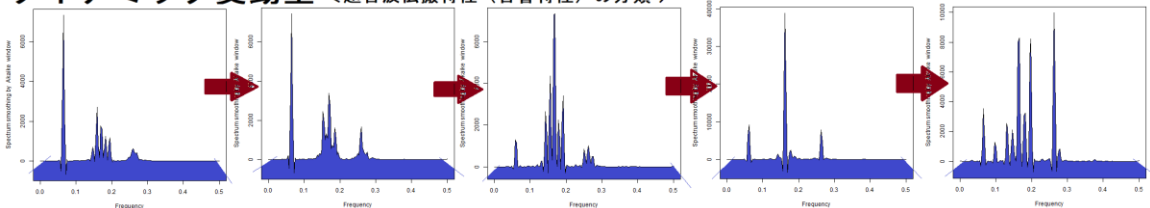
目的の範囲(発振周波数の1/2~50倍程度)で
制御可能にした状態

4-3 : ミックス変動型 (ダイナミック変動型)

複数の超音波発振部材や発振制御・・・の
音響特性や相互作用の確認に基づいて
伝搬状態の主要(最大エネルギー)周波数が
低調波から高調波を、

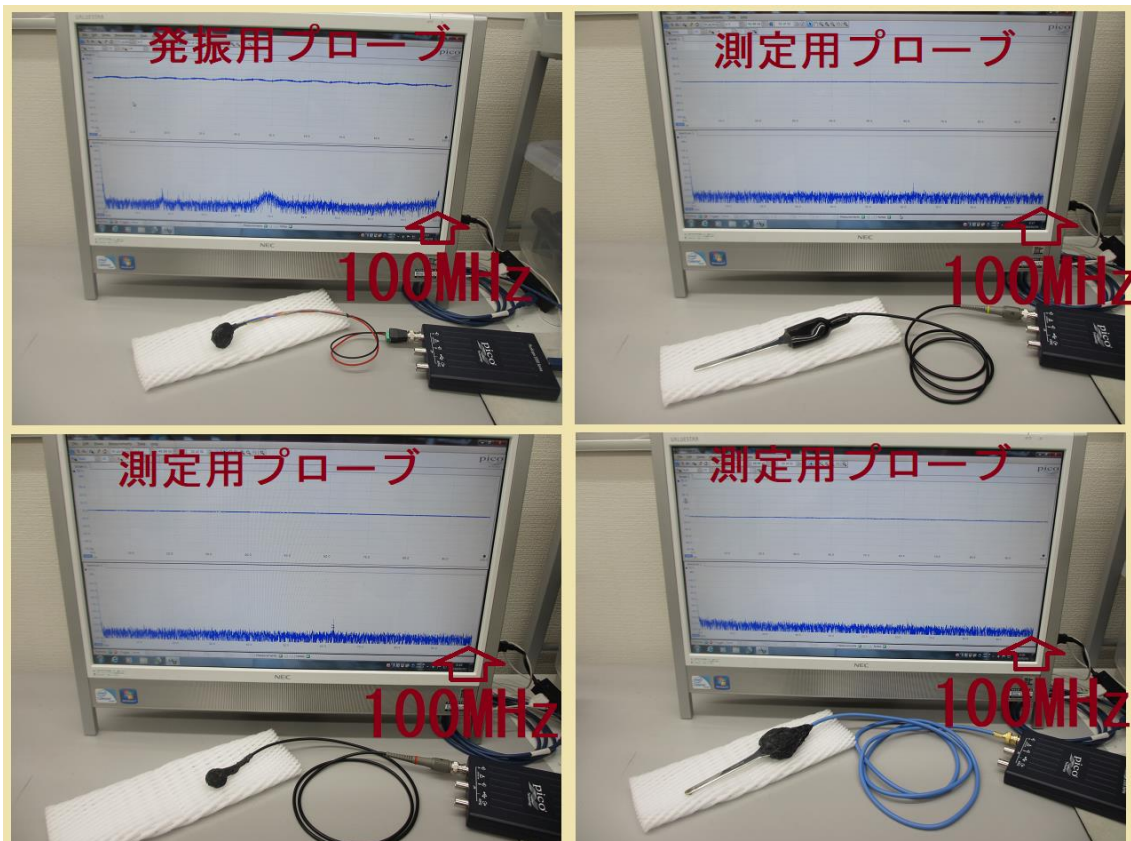
目的の範囲(発振周波数の1/16~100倍程度)で
制御可能にした状態

ダイナミック変動型 <超音波伝搬特性(音響特性)の分類>

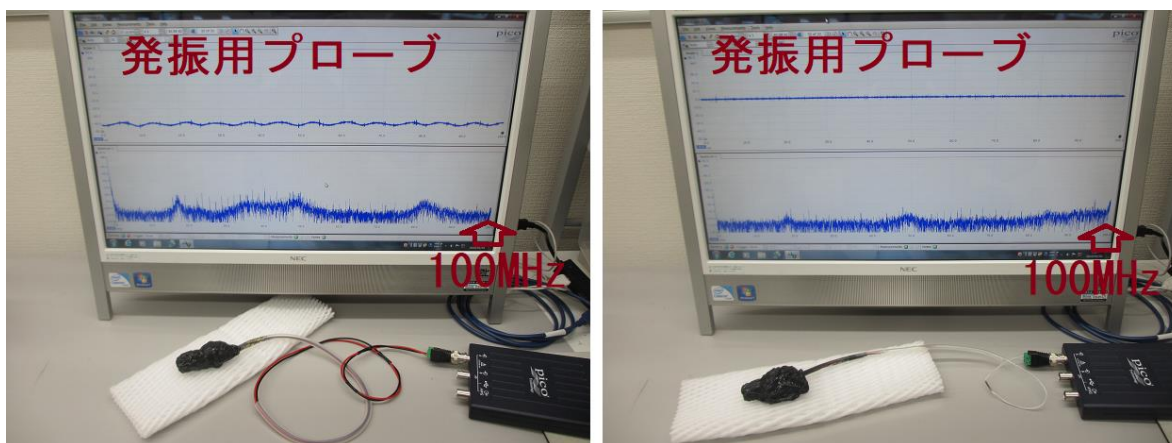


超音波のダイナミック制御: バイスpekトルの変化

超音波プローブの伝搬特性テスト



超音波プローブの伝搬特性テスト



説明：超音波の状態を測定確認することが重要です
そのための測定用具の開発には、様々な技術の組み合わせが必要です

参考動画 超音波プローブの伝搬特性テスト

<https://youtu.be/5ZfiyTXajhY>

https://youtu.be/_io--3zyJuU

<https://youtu.be/Tm1-HM7h7us>

<https://youtu.be/YvTgev9QE3w>

<https://youtu.be/n3q4ha8XMIY>

<https://youtu.be/TGQBM5E9Mdc>

<https://youtu.be/VAKPVu88JWE>

<https://youtu.be/JmsIGIuY94o>

<https://youtu.be/peY6bdqRpnk>

<https://youtu.be/sTzMzISKIcM>

https://youtu.be/6zsqaZB_Qqk

https://youtu.be/_ySR9CL9Iqo

https://youtu.be/SzLEz_H8IEA

<https://youtu.be/UOPsJ40IVa8>

<https://youtu.be/lnT8t9jfIF0>

https://youtu.be/zMGMu_zZIJg

<https://youtu.be/u7n-MNHM564>

https://youtu.be/sTbH_BFo_k

<https://youtu.be/b7qCZNN-MQ8>

<https://youtu.be/eUDnFVWY7io>

<https://youtu.be/VK4rpXApCnc>

<https://youtu.be/Nc-o90IIqh8>

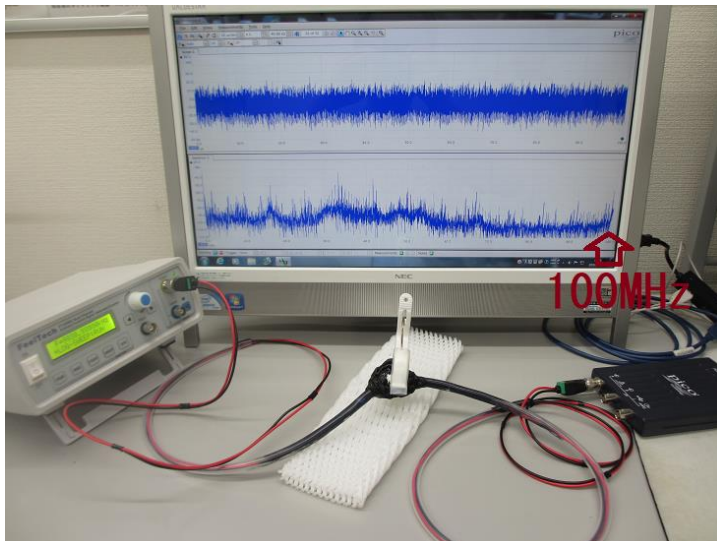
<https://youtu.be/vDyP-P6Ss2o>

https://youtu.be/dTi7qWJh_Do

<https://youtu.be/bMhvEy6QdZQ>

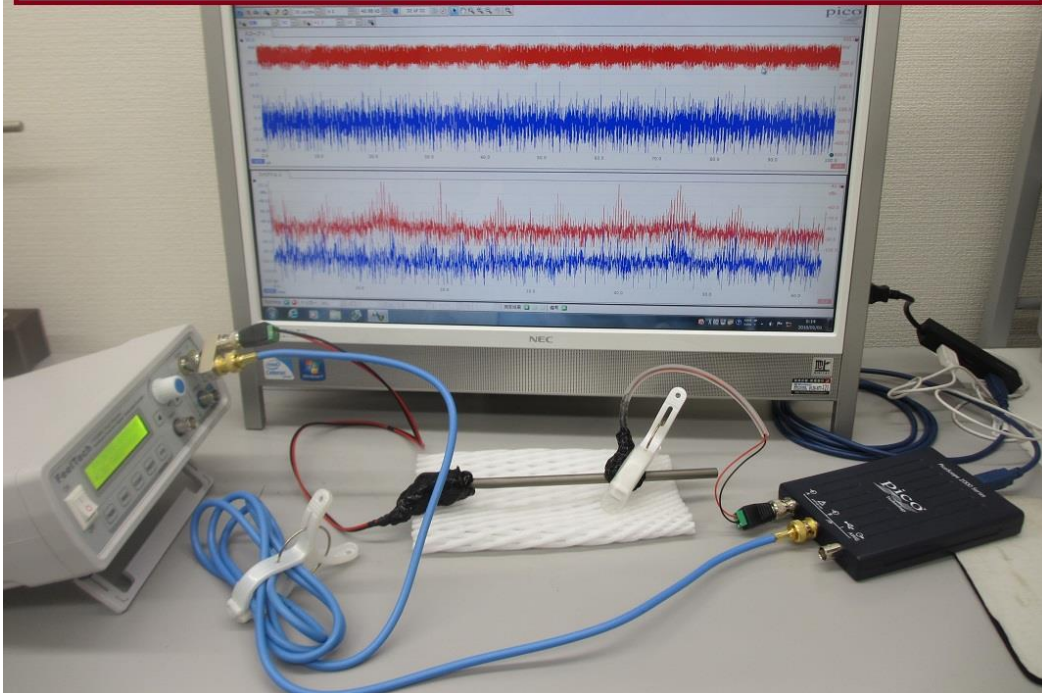
<https://youtu.be/5cs7fK4rrLU>

超音波プローブの送受信特性テスト 1



説明：送受信テストから、様々な事項（各種特性）を理解・把握する事が出来ます

超音波の「発振・伝搬」特性テスト



https://youtu.be/ULhY_Vweh_c

<https://youtu.be/W00qhH06Fv8>

<https://youtu.be/W00qhH06Fv8>

<https://youtu.be/Lelz-RSt4IM>

<https://youtu.be/5ach3mEGqpY>

<https://youtu.be/ogXVEbpPyHY>

<https://youtu.be/v7GfFxFMa9M>

<https://youtu.be/k1d7RcwCAc0>

<https://youtu.be/lDoeaGKvomI>

<https://youtu.be/7ze913QXcNo>

<https://youtu.be/R-s0TNVaMvU>

<https://youtu.be/hBhnCHRQybg>

<https://youtu.be/YT8uSIMKPLY>

<https://youtu.be/Bx1WOC-FjOU>

<https://youtu.be/zl6zR7IUmIs>

<https://youtu.be/LFCpXdMVtQ>

<https://youtu.be/PROZTnAu09s>

<https://youtu.be/buS81KcoU2E>

<https://youtu.be/RVgokv9c82A>

<https://youtu.be/QZhvgwTHZjc>

<https://youtu.be/qujYPFDOTjU>

<https://youtu.be/jQeOvpHGKPs>

<https://youtu.be/--LmIby74r4>

<https://youtu.be/P-QDt4m3JsA>

<https://youtu.be/wQiVtZtjIXA>

<https://youtu.be/wrbybR6x22U>

<https://youtu.be/2Q2Wi626ke4>

<https://youtu.be/YhMfJDJcwos>

https://youtu.be/vL5YS0jFY_Y

<https://youtu.be/Bvopnp7r6iU>

<https://youtu.be/iXEbpsTInhQ>

https://youtu.be/HtiZ_KUUNDg

<https://youtu.be/-M4YDYN-5cw>

<https://youtu.be/zj7Sw4TcQMY>

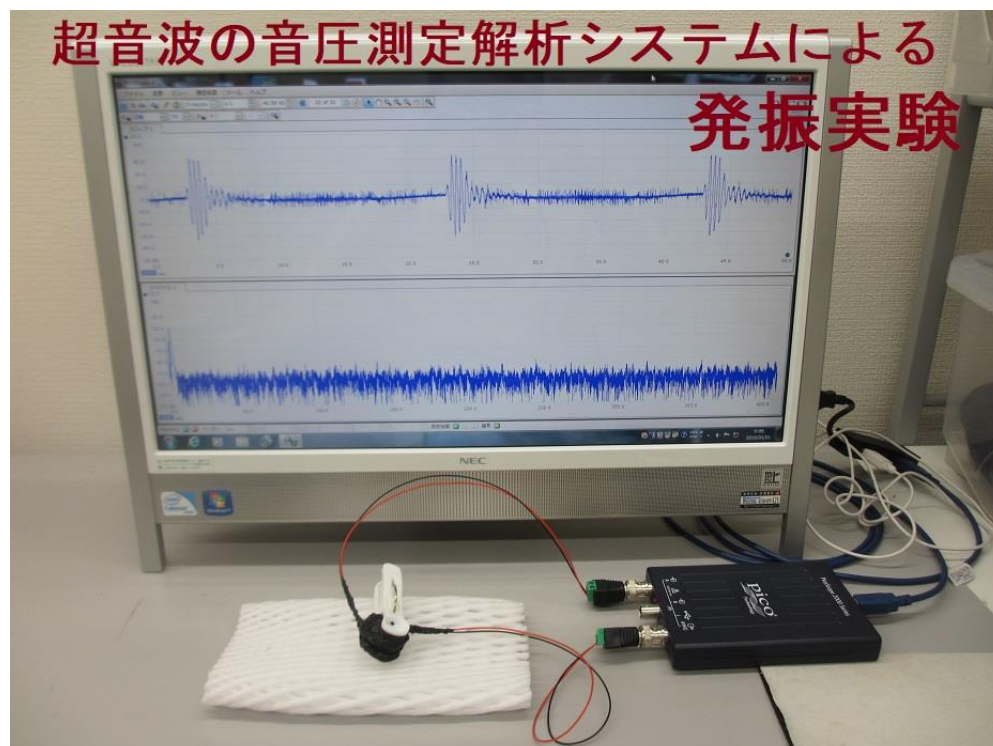
<https://youtu.be/yP4anNr5g58>

<https://youtu.be/GCjxPr7HDQE>

https://youtu.be/lQUxXll_I0I

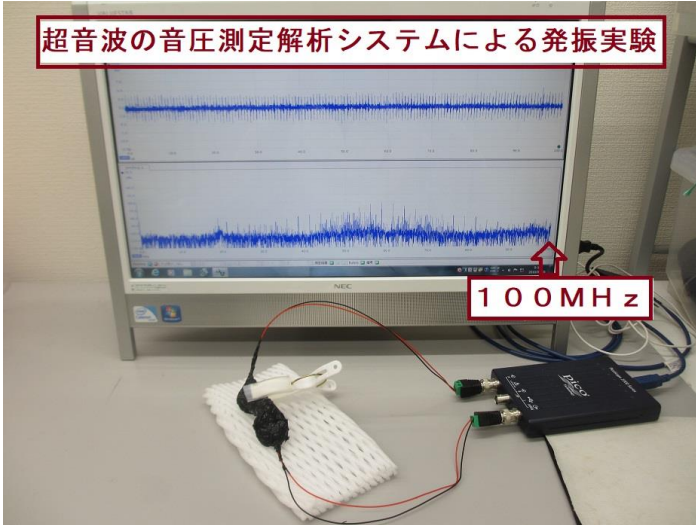
<https://youtu.be/BTAYcqEXXn8>

超音波プローブの送受信特性テスト 2



説明：発振制御に関する各種条件と、超音波素子の特性と、接続状態に関して音圧測定解析に基づいて、最適化する事がノウハウとなります
(一般的な事項は難しく、個別の具体的事象に対応しています)

超音波の音圧測定解析システムによる発振実験



発振制御に対する伝搬特性実験

<https://youtu.be/o0Ei1VnlaPA>

https://youtu.be/JsMNo2X__A

https://youtu.be/JisMlcKVF_E

<https://youtu.be/FA7qB2t1JwY>

<https://youtu.be/2wC9k7NBEQc>

<https://youtu.be/odSH-q8ZryE>

<https://youtu.be/bHA105hhpx0>

<https://youtu.be/V0EkCvSRtyE>

<https://youtu.be/2bBTIPtIN9U>

<https://youtu.be/9THyznX7oYA>

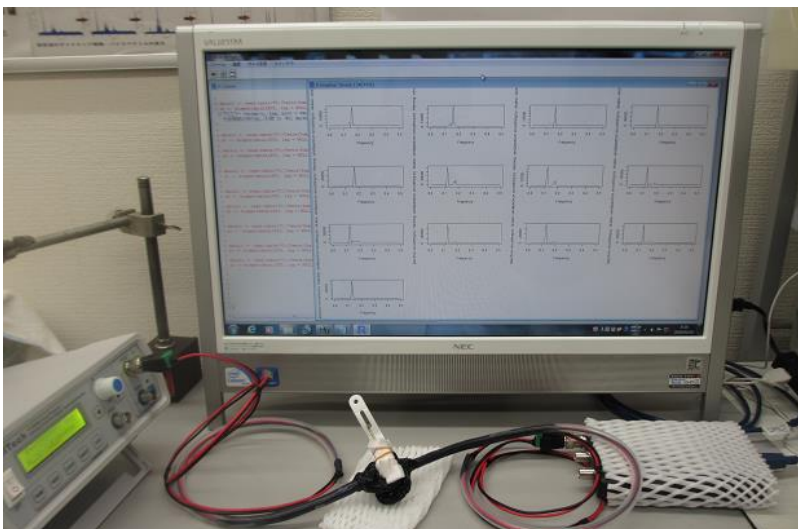
https://youtu.be/j_17iM03EbM

<https://youtu.be/PW791BEFp6Q>

<https://youtu.be/PqJpiSPnv4I>

https://youtu.be/33TiSXLx_7c

<https://youtu.be/qne5NfyZrdk>



測定データの解析

超音波プローブの送受信特性テスト 3

<https://youtu.be/o8Hl2wfJTe0>

<https://youtu.be/Kg1ETkbjFEU>

<https://youtu.be/vAHbntcofTI>

<https://youtu.be/oYzw3RMUXRM>

<https://youtu.be/fq736KB0RR4>

<https://youtu.be/PF06UhJ-K1Y>

<https://youtu.be/tXHdw6MI14M>

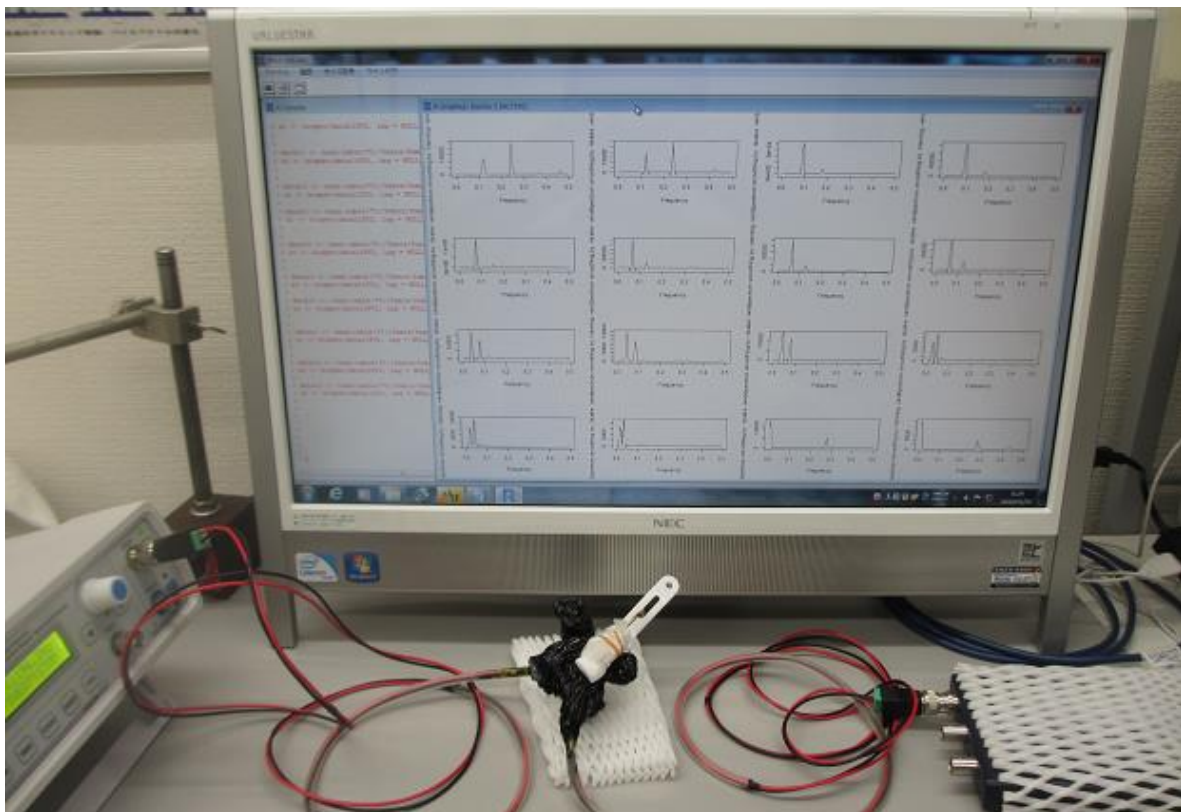
<https://youtu.be/o55-lQUrql0>

<https://youtu.be/s0W4xcUXp2Q>

<https://youtu.be/W3658egEC4o>

<https://youtu.be/3jj0Q4RdXv4>

<https://youtu.be/N3ReEwBM3uQ>



説明：ミックス変動型（ダイナミック変動型）を示す解析の様子

<https://youtu.be/RBcUrUgn0co>

<https://youtu.be/UFZSICso5g4>

<https://youtu.be/1kmp2B1WenE>

<https://youtu.be/NIDrC7Z7-9s>

<https://youtu.be/qpdXsrqGz4>

<https://youtu.be/xFXq370RCis>

<https://youtu.be/7D3ZsMo63Tw>

<https://youtu.be/mT8CyJeWJGI>

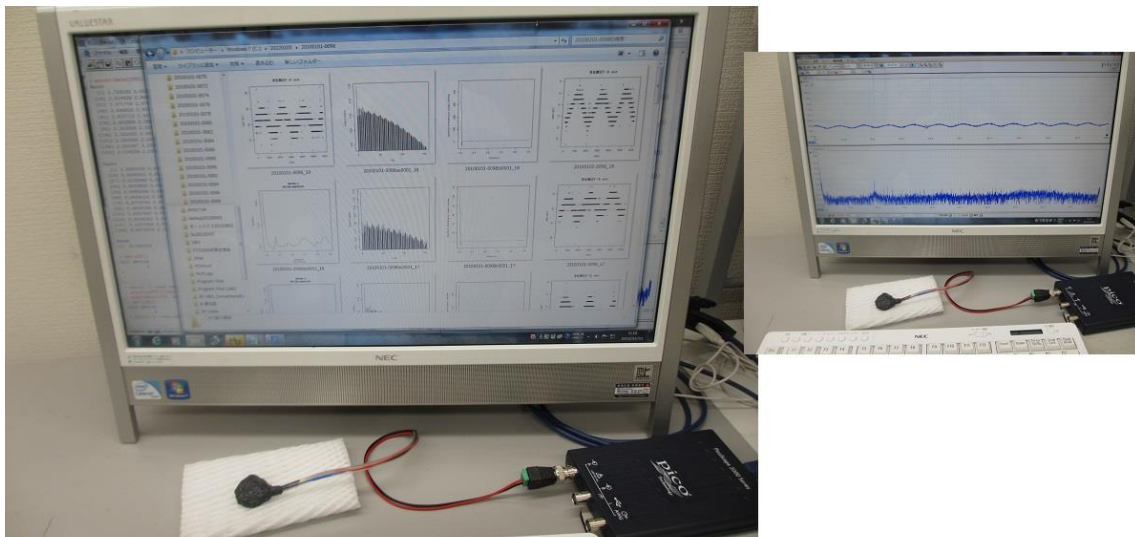
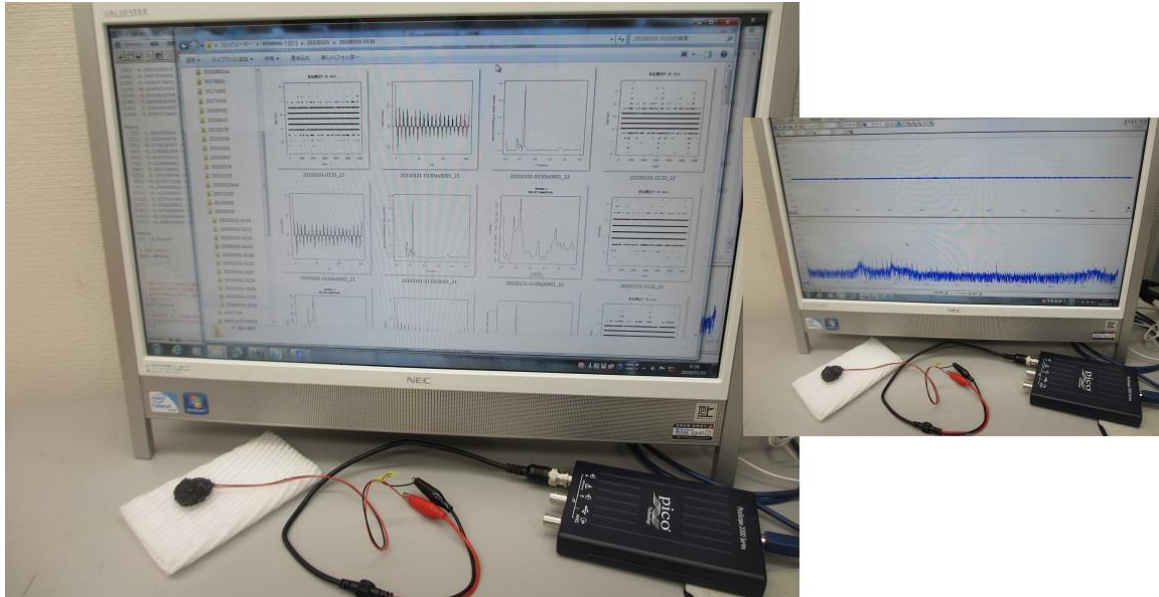
<https://youtu.be/EGiN-Xm4S7M>

<https://youtu.be/LS4IrLjYqTE>

<https://youtu.be/ZtgmUkU55L0>

https://youtu.be/_N5Pr2ZkXcA

参考：超音波素子の特性評価技術

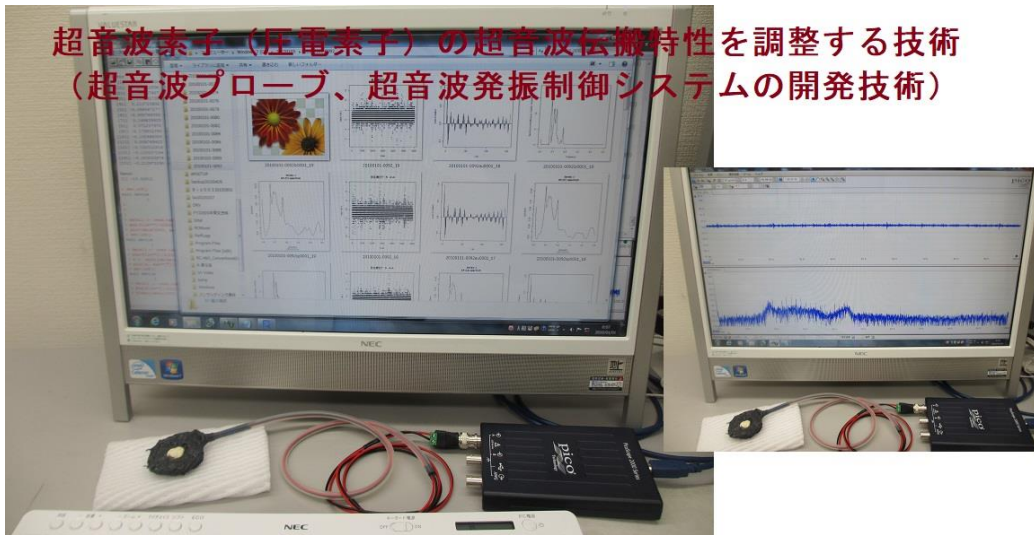


超音波素子（圧電素子）の超音波伝搬特性を調整する技術

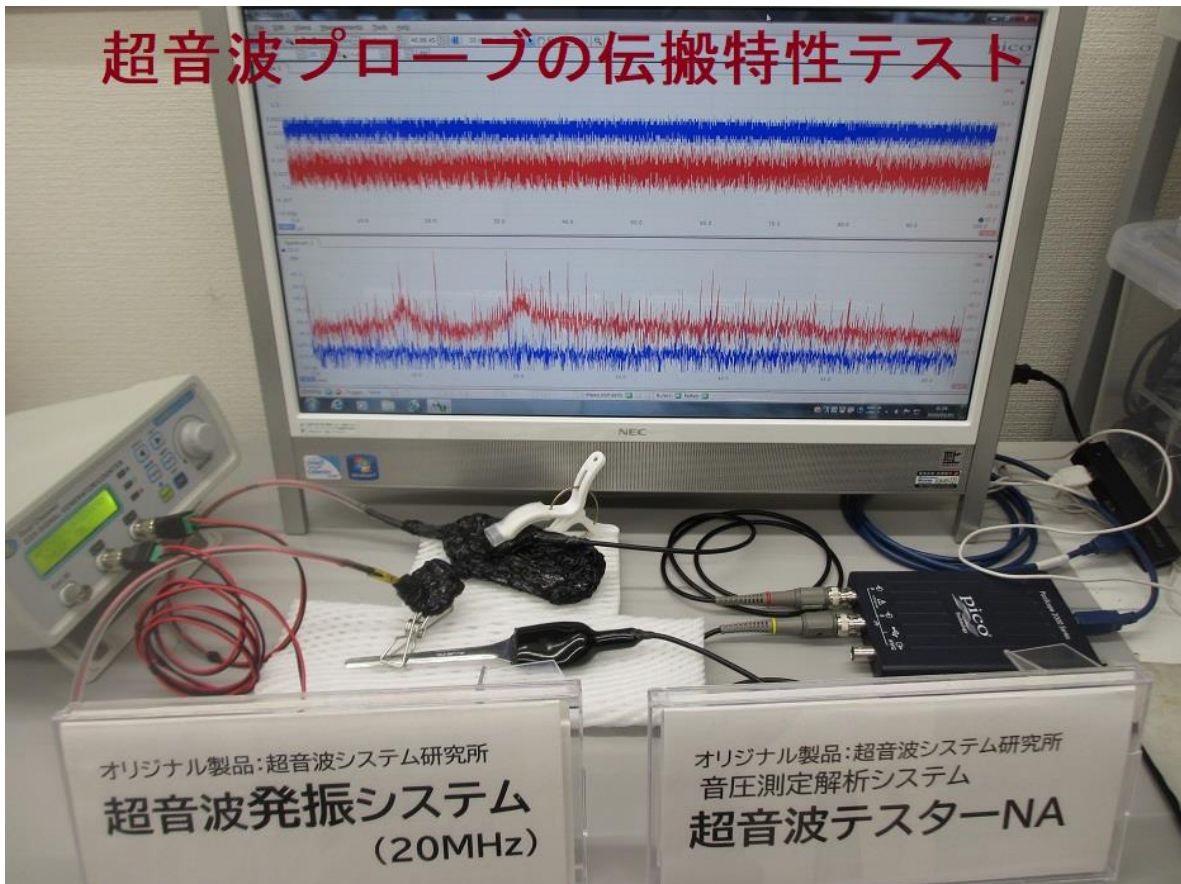
注：複雑な振動現象を利用するための最重要ポイントです

（文章では誤解が多いため、コンサルティング対応で詳細を説明対応しています）

超音波素子（圧電素子）の超音波伝搬特性を調整する技術
（超音波プローブ、超音波発振制御システムの開発技術）



超音波プローブの伝搬特性テスト



超音波発振システム（20MHz）の製造販売
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1648>

超音波プローブ（発振型、測定型、共振型、非線形型）の製造技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1566>

超音波制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16309>

メガヘルツの超音波発振制御プローブ

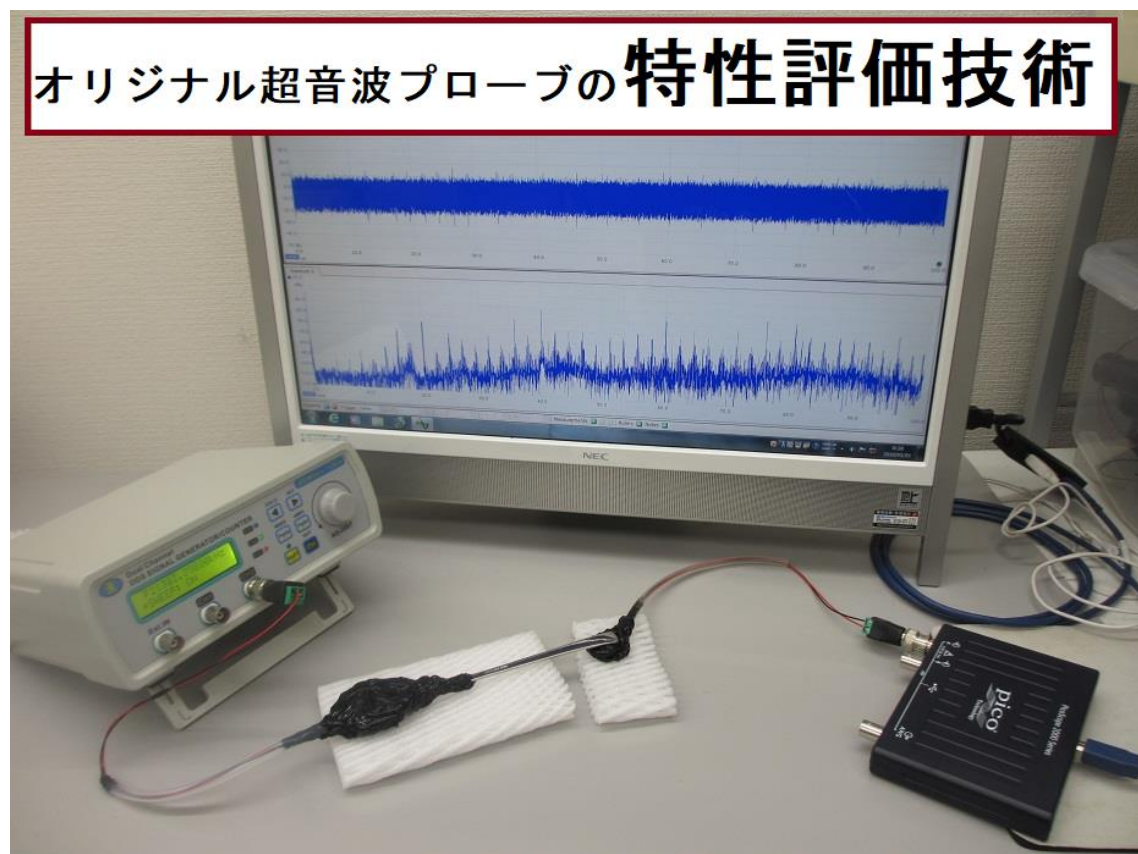
<http://ultrasonic-labo.com/?p=14570>

メガヘルツの超音波を利用する超音波システム技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=14350>

超音波プローブ

<http://ultrasonic-labo.com/?p=11267>



超音波プローブ（音圧測定・**非線形振動解析**）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1263>

超音波プローブによる<メガヘルツの超音波発振制御>技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1811>

液晶樹脂による<メガヘルツの超音波制御>技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=14210>

超音波と表面弾性波

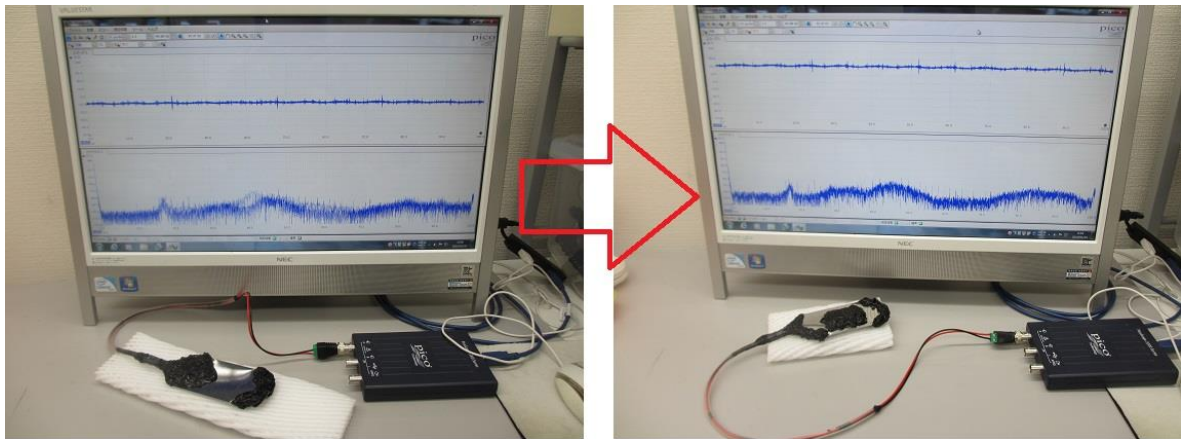
<http://ultrasonic-labo.com/?p=14264>

超音波<発振制御>技術

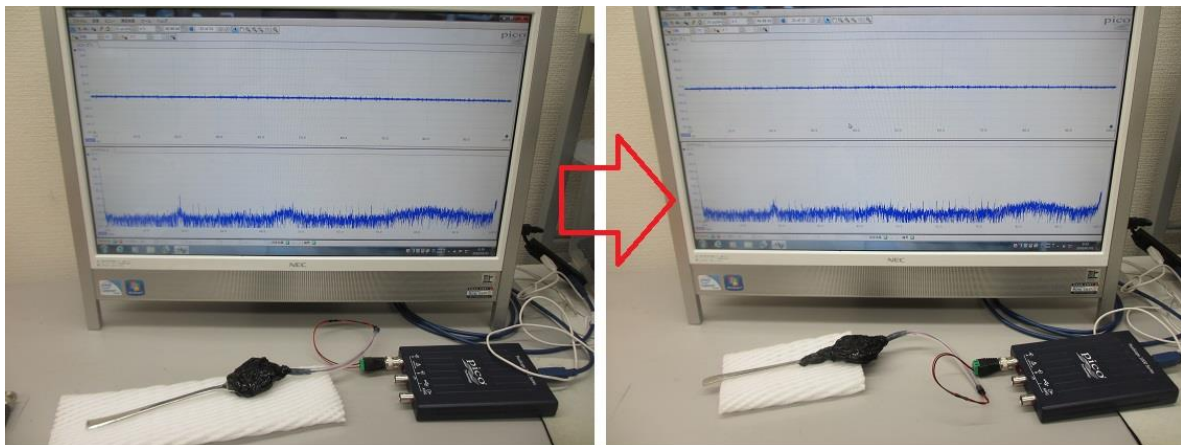
<http://ultrasonic-labo.com/?p=5267>

表面弾性波の利用技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=7665>



超音波プローブのダイナミック特性



超音波の伝搬特性（ゆらぎの特性）

超音波の非線形現象をコントロールする技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=14878>

超音波洗浄器による<メガヘルツの超音波>技術を開発

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1879>

オリジナル超音波実験

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17535>

超音波伝搬現象の**分類 1**

<http://ultrasonic-labo.com/?p=10908>

超音波伝搬現象の**分類 2**

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17496>

超音波伝搬現象の**分類 3**

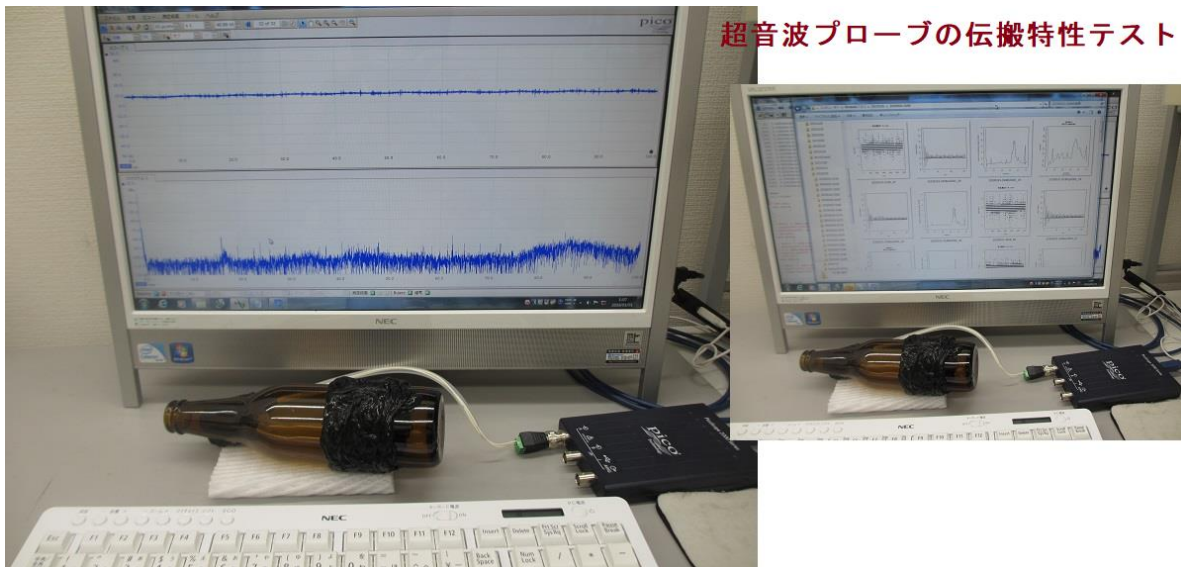
<http://ultrasonic-labo.com/?p=17540>

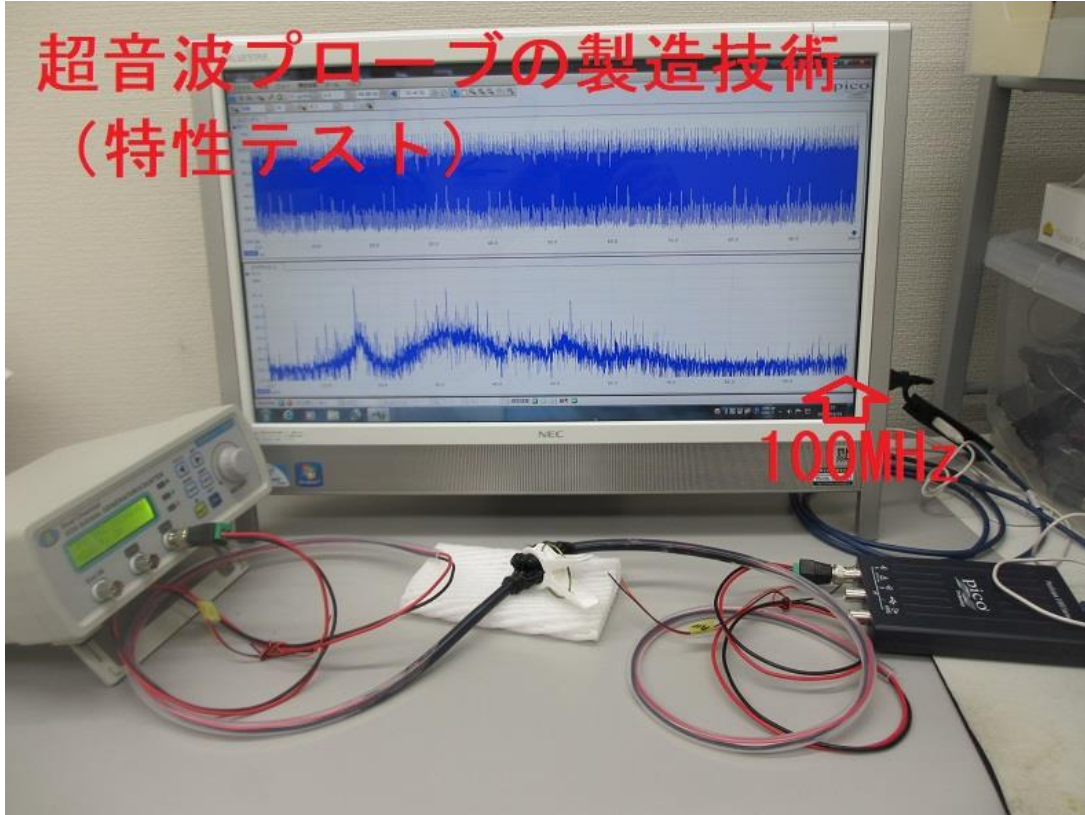
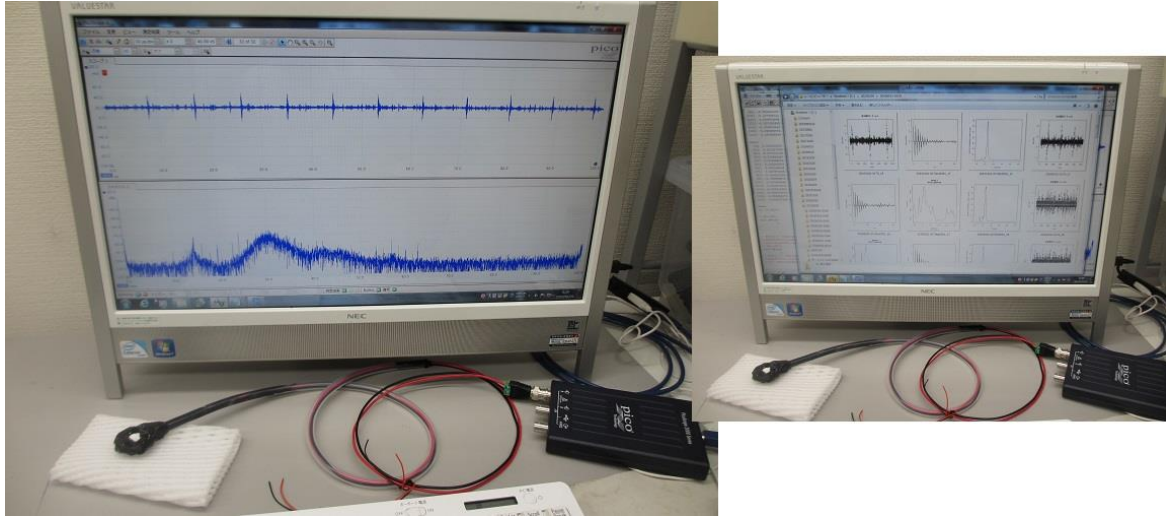
超音波の最適化技術 1

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15226>

超音波の最適化技術 2

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16557>





超音波制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16309>

超音波を利用した「振動計測技術」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16046>

超音波プローブの発振制御による振動評価技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15285>

超音波技術：多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析

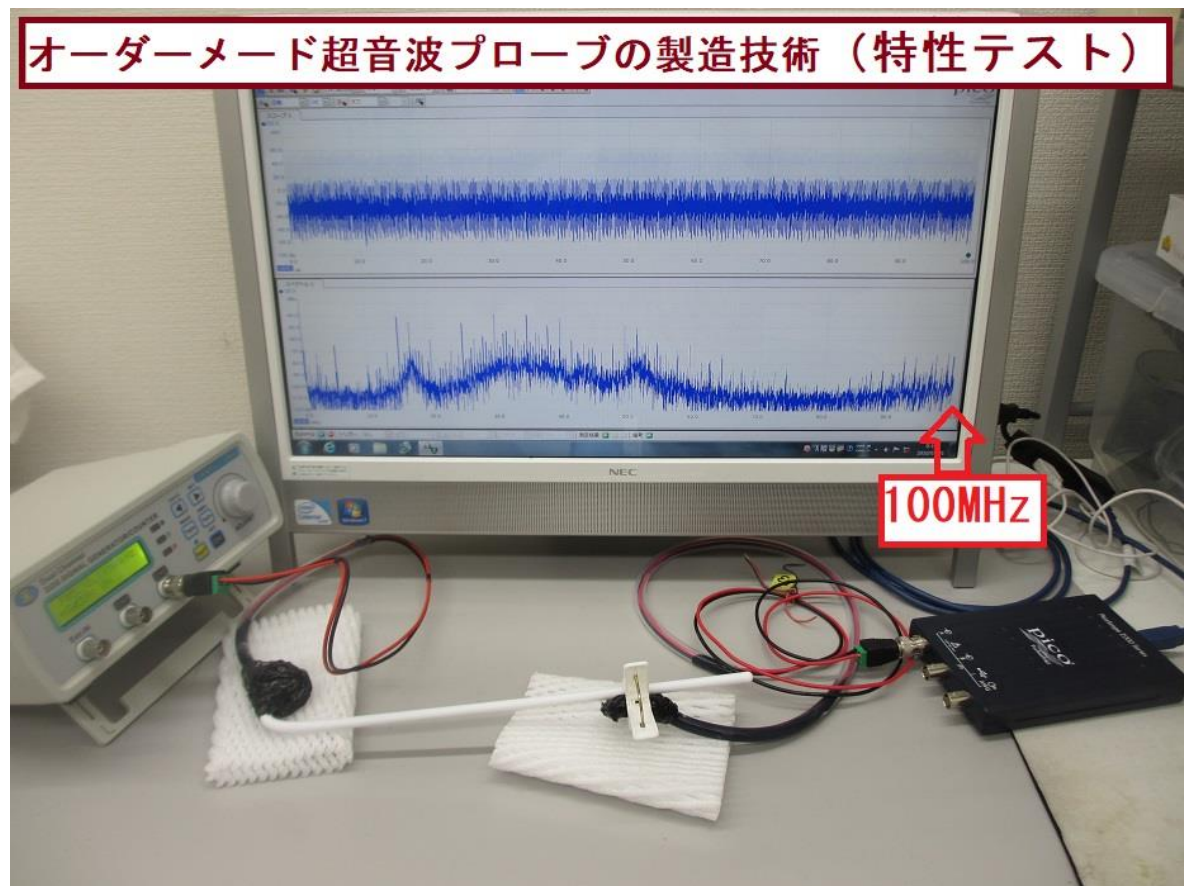
<http://ultrasonic-labo.com/?p=15785>

統計的な考え方を利用した超音波

<http://ultrasonic-labo.com/?p=12202>

超音波の**非線形振動**

<http://ultrasonic-labo.com/?p=13908>



超音波<測定・解析>システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1000>

超音波洗浄に関する非線形制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1497>

非線形共振型超音波発振プローブ 実験動画

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15065>

超音波システム（音圧測定解析、発振制御）

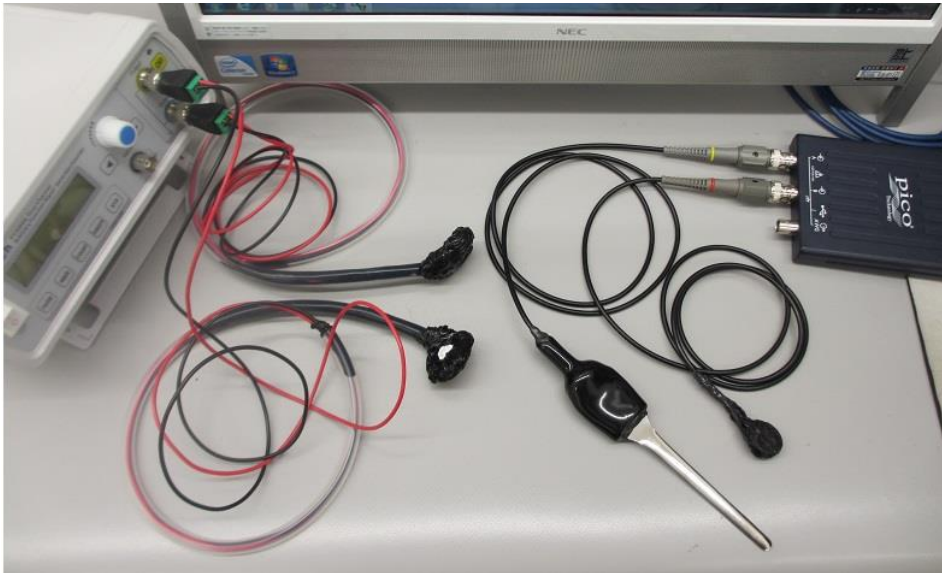
<http://ultrasonic-labo.com/?p=19422>

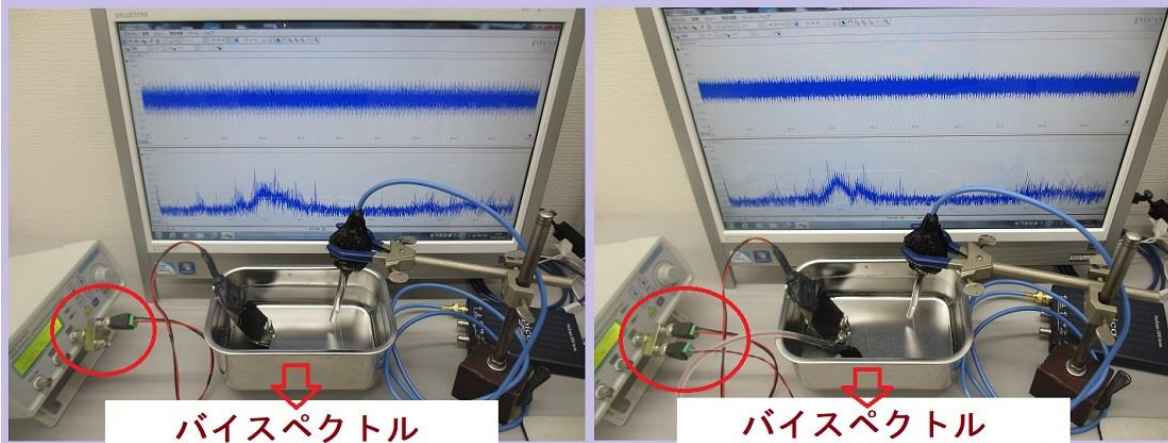
メガヘルツ超音波による表面改質処理

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2433>

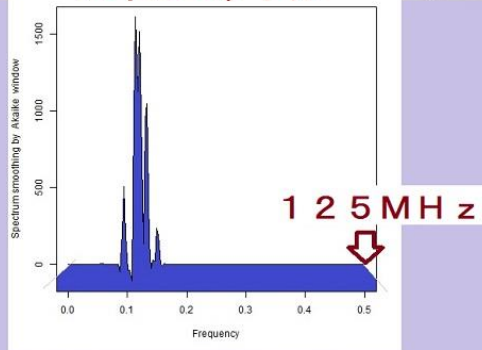
超音波の音圧測定・解析システムと超音波発振制御システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1546>

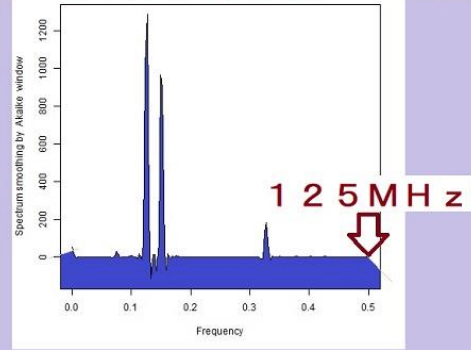




バイスペクトル

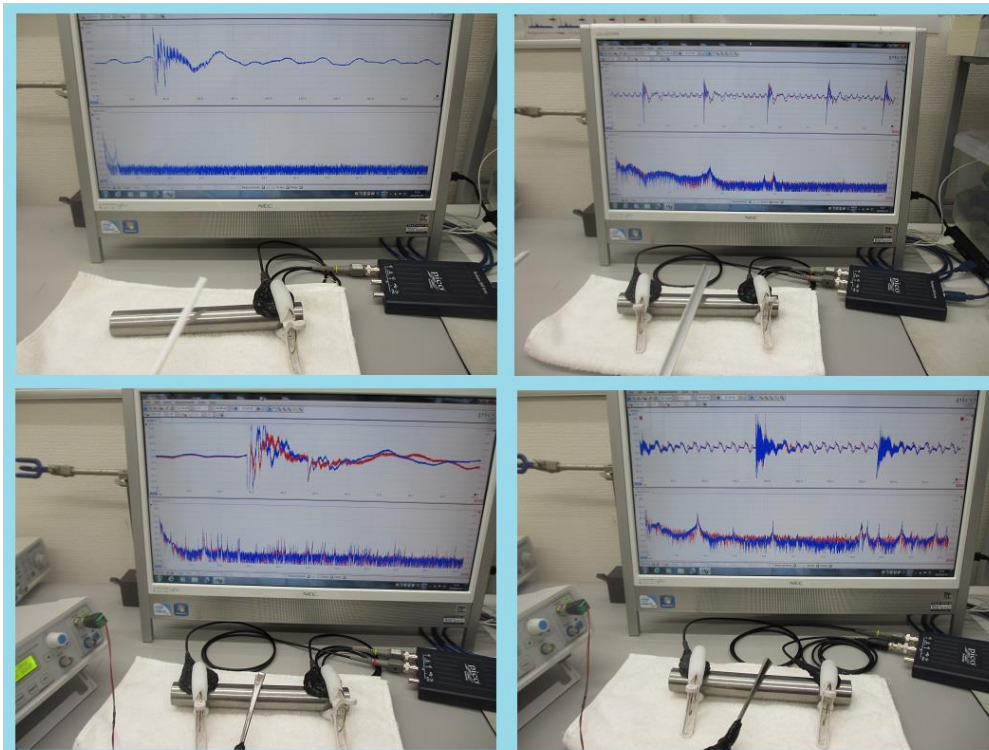


バイスペクトル

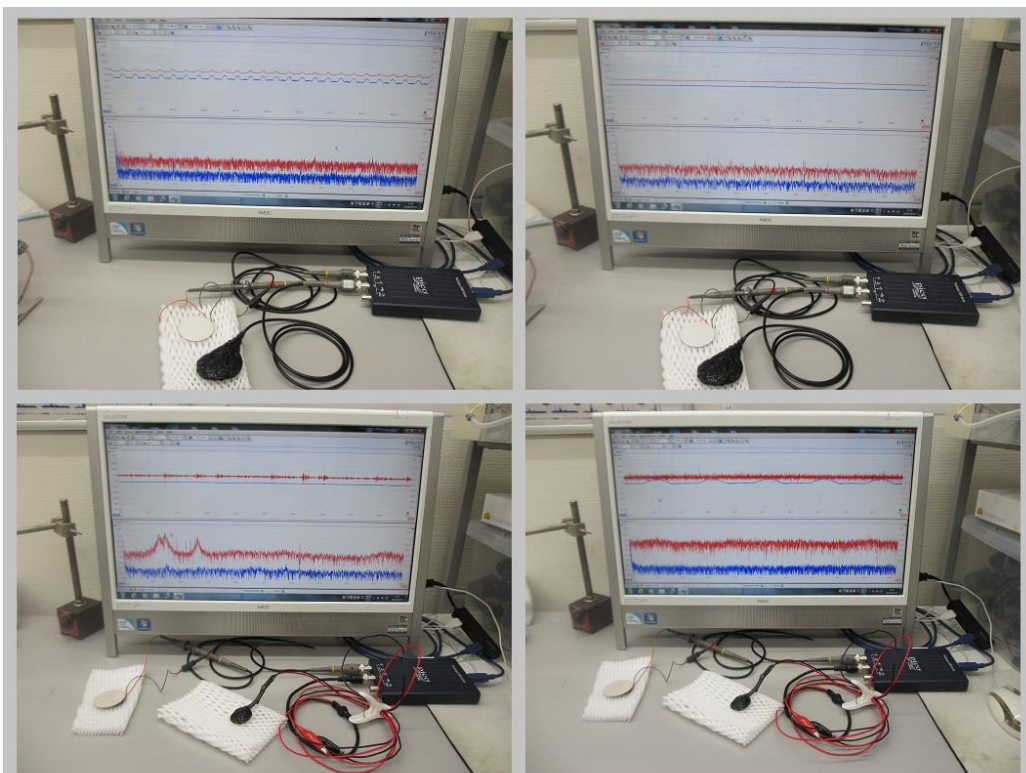
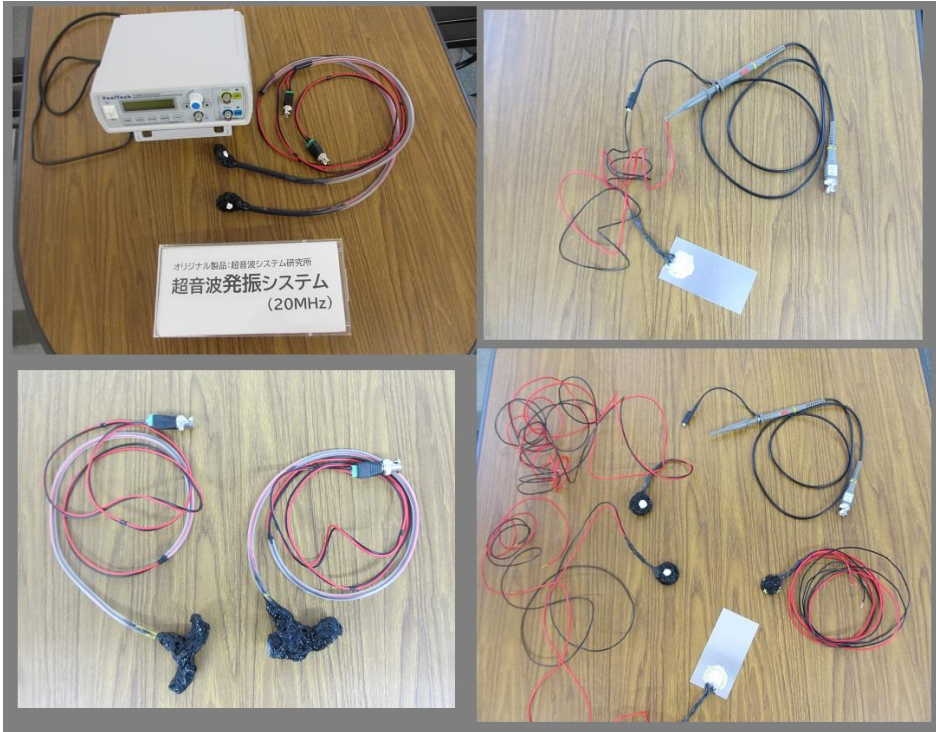


超音波発振制御プローブの相互作用を利用する技術

【本件に関するお問合せ先】超音波システム研究所
メールアドレス info@ultrasonic-labo.com
ホームページ <http://ultrasonic-labo.com/>



超音波プローブの伝搬特性テスト



超音波プローブの製造技術（超音波の伝搬特性テスト）

以上