

# 600MHz以上の超音波伝搬状態を可能にする 超音波発振制御プローブ

2023/11/03 超音波システム研究所

超音波の圧電素子を調整する技術を開発

超音波システム研究所は、表面弾性波の制御に関して、  
伝搬状態の線形性・非線形性を制御可能にする圧電素子の調整技術を開発しました。

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

この技術ノウハウを、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



超音波伝搬特性による、**超音波プローブの分類**

# 特開 2021-125866

【書類名】 特許請求の範囲

## 【請求項 1】

超音波素子（1）の振動面について、フラクタル構造・コンストラクタル構造のような模様加工、あるいは部品の接着（2）による同様な複雑な表面を形成することで、表面弾性波の伝搬現象の変化（反射・透過・屈折）を利用して高い周波数の超音波伝搬を、効率よく行うことを実現させる、あるいは、低周波の振動伝搬状態を効率よく実現する、  
超音波発振制御プローブ

## 【請求項 2】

超音波素子（1）の振動面について、音響特性を確認している対象物（金属、ガラス、樹脂、・・・）を、接着（2）することで、高い周波数の超音波伝搬を、効率よく行うことを実現させる  
あるいは、低周波の振動伝搬状態を効率よく実現する、  
超音波発振制御プローブ

## 【請求項 3】

請求項 1】請求項 2】の超音波発振制御プローブの利用に関して、目的の超音波伝搬状態（音圧、周波数、変化）を、音圧データ（周波数範囲 0.01 Hz～1 GHz）の測定解析（自己相関、バースペクトル、パワー寄与率、インパルス応答）により実現する制御設定方法

## 【請求項 4】

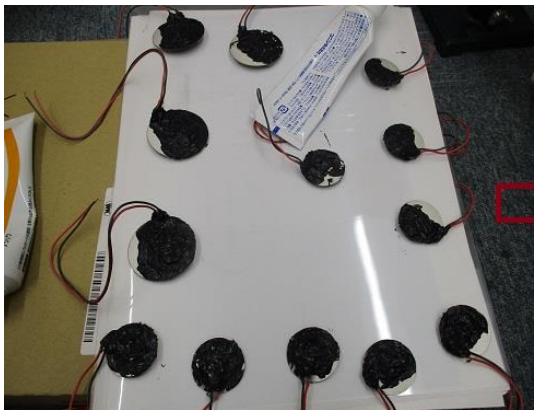
請求項 1】請求項 2】の超音波発振制御プローブの利用に関して、数百ヘルツ～数メガヘルツのスweep発振により非線形現象と相互作用について音圧データ（周波数範囲 0.01 Hz～1 GHz）の伝搬状態を実現し、解析（自己相関、バースペクトル、パワー寄与率、インパルス応答）により最適化する方法

## 【請求項 5】

請求項 1】請求項 2】の超音波発振制御プローブの利用により、超音波の音圧データ測定・解析・評価・制御に関して、自己相関、バースペクトル解析により、非線形現象を評価し、パワー寄与率、インパルス応答により、相互作用を評価することで超音波刺激（伝搬状態）に関する超音波の、音圧・周波数の変化を目的に合わせて制御設定する方法



## 超音波の圧電素子を調整する技術



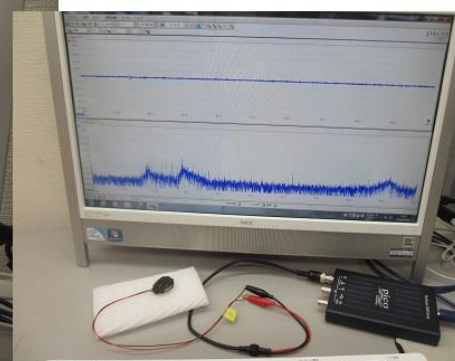
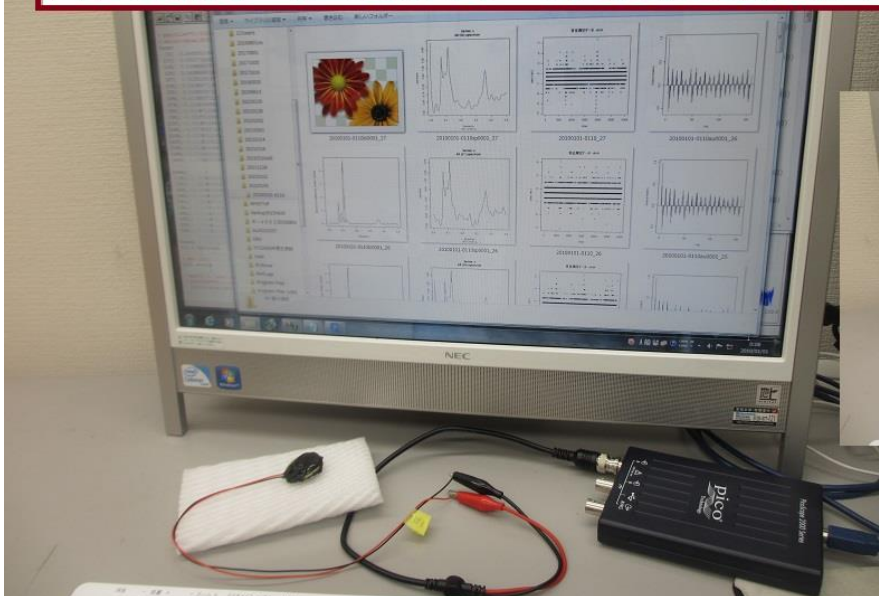
## 圧電素子の表面調整技術

超音波素子表面の表面弾性波について

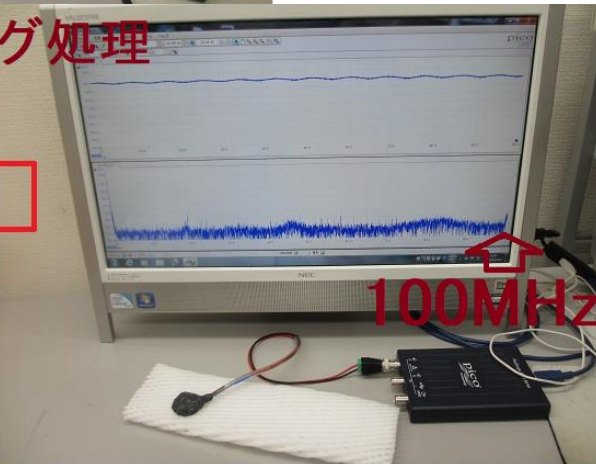
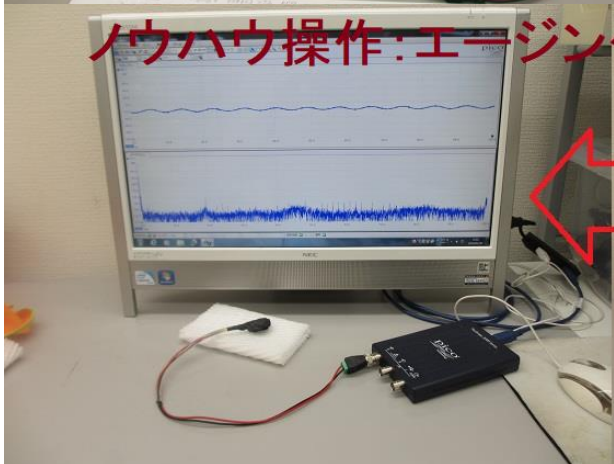
伝搬特性と利用目的に合わせた、最適化です。

そのために、プローブの超音波伝搬特性の動作確認（音圧レベル、伝搬周波数範囲、非線形性、・・ダイナミック特性）が、重要です。

## 超音波素子（圧電素子）の超音波伝搬特性を調整する技術



## ノウハウ操作: エージング処理



## 超音波の伝搬特性

- 1) 振動モードの検出 (自己相関の変化)
- 2) 非線形特性の検出 (バイスペクトルの変化)
- 3) 応答特性の検出 (インパルス応答特性の解析)
- 4) 相互作用の検出 (パワー寄与率の解析)

注: 「R」フリーな統計処理言語かつ環境

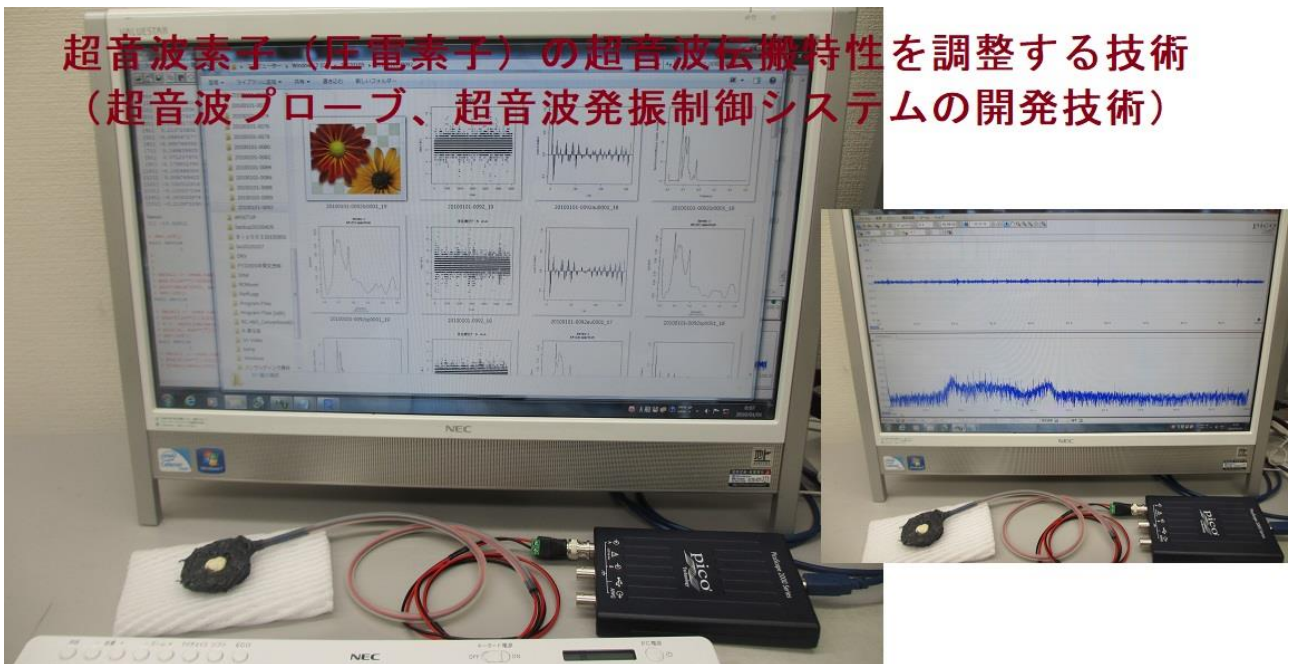
autcor: 自己相関の解析関数

bispec: バイスペクトルの解析関数

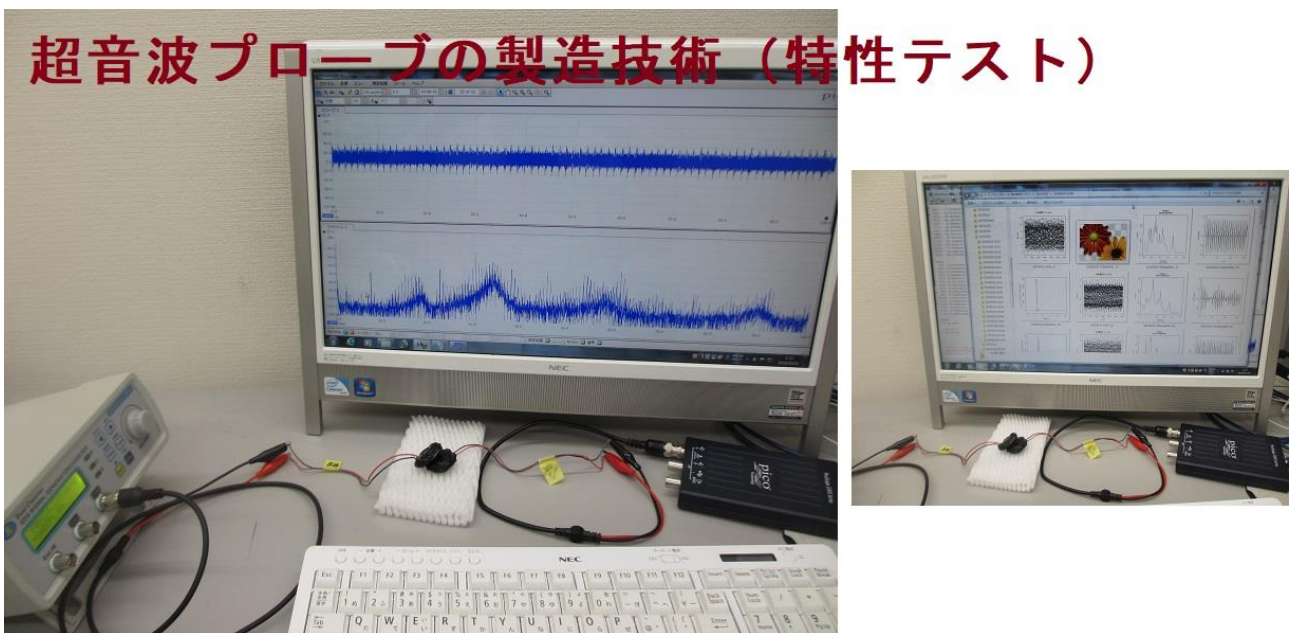
mulmar: インパルス応答の解析関数

mulnos: パワー寄与率の解析関数

**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）**



**超音波プローブの製造技術（特性テスト）**

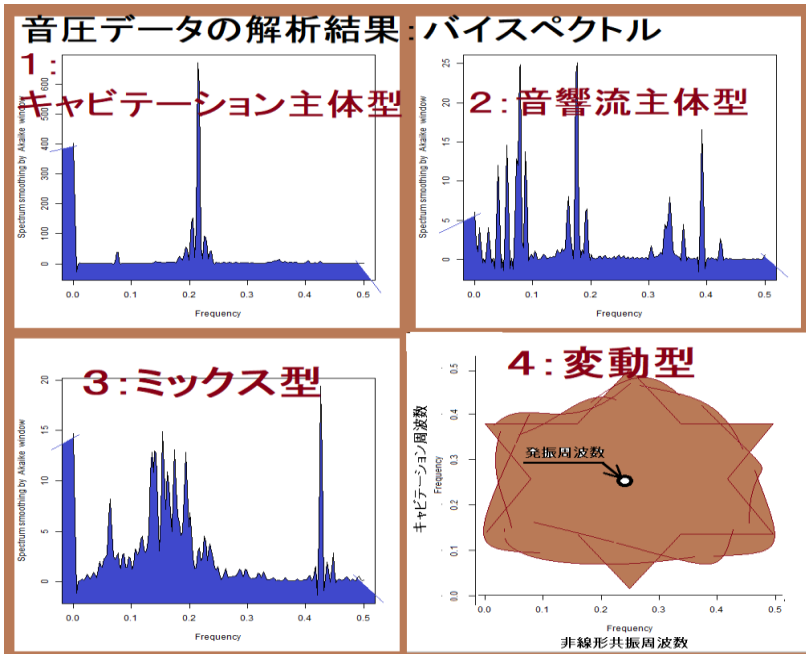




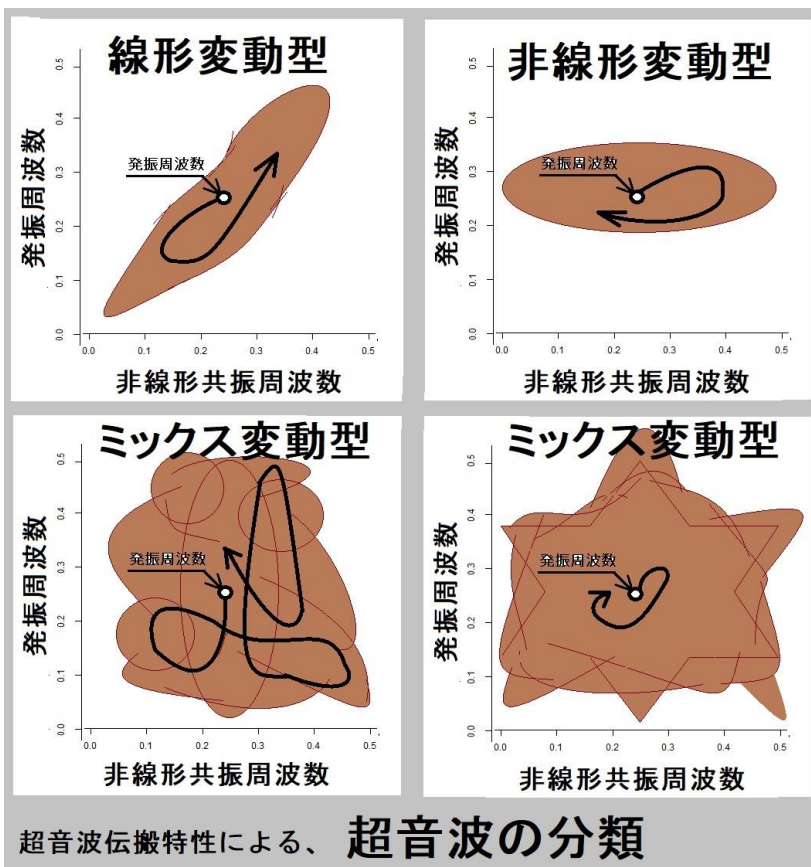
# < 超音波伝搬特性（音響特性）の分類 >

- 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 )

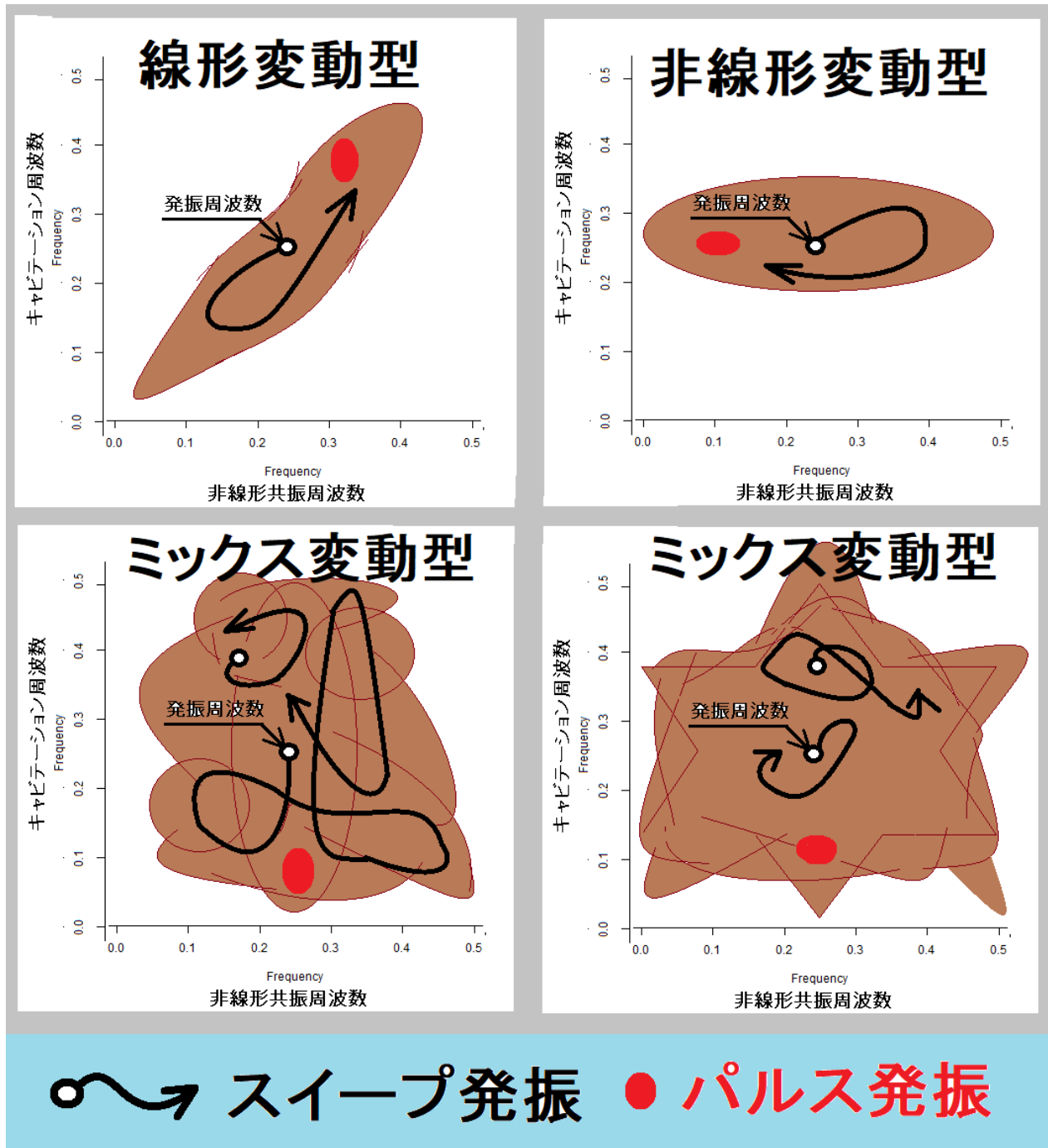


## 超音波（キャビテーション・音響流）の分類



この分類に基づいた、超音波利用目的に合わせた超音波伝搬状態の発振・伝搬・制御・特性として超音波素子の表面状態を設定します。

実際の利用に関しては、複数（標準的には2種類）の超音波プローブによりスイープ発振とパルス発振の組み合わせにより、超音波をコントロールするので、下記のような分類に基づいて、素子の表面状態を設定・製造します



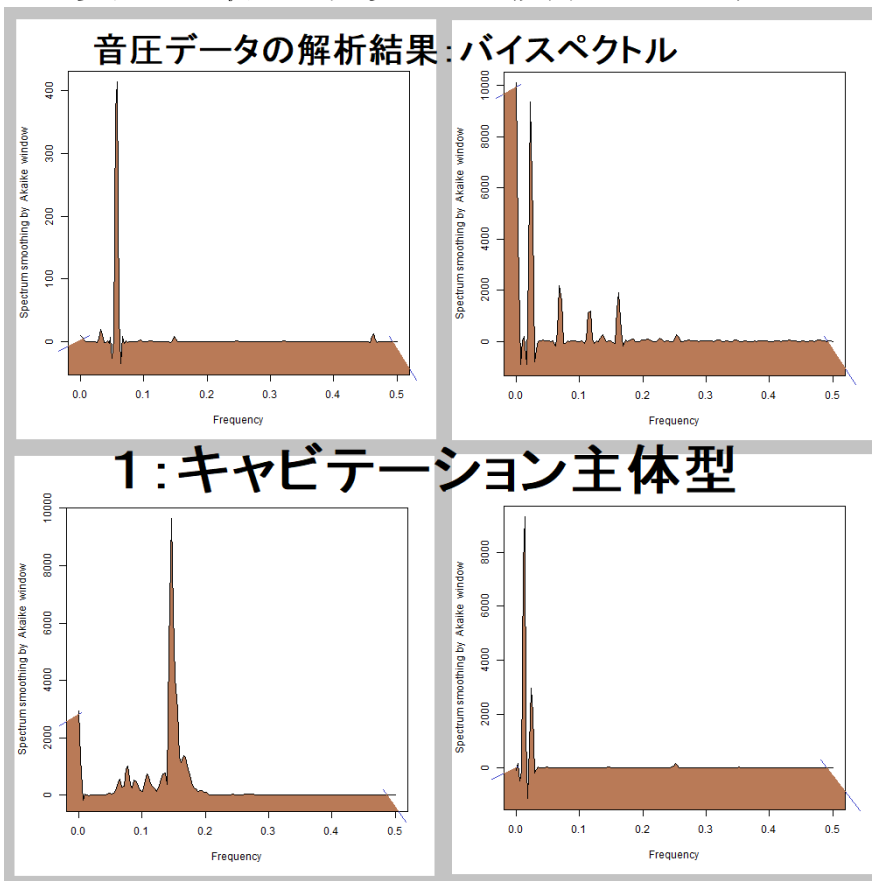
注意：環境・条件・・・により  
複数の発振を組み合わせる場合も同様ですが  
相互作用に対する測定確認が不十分だと  
ダイナミックな非線形現象は発生しません。

# 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、・・・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



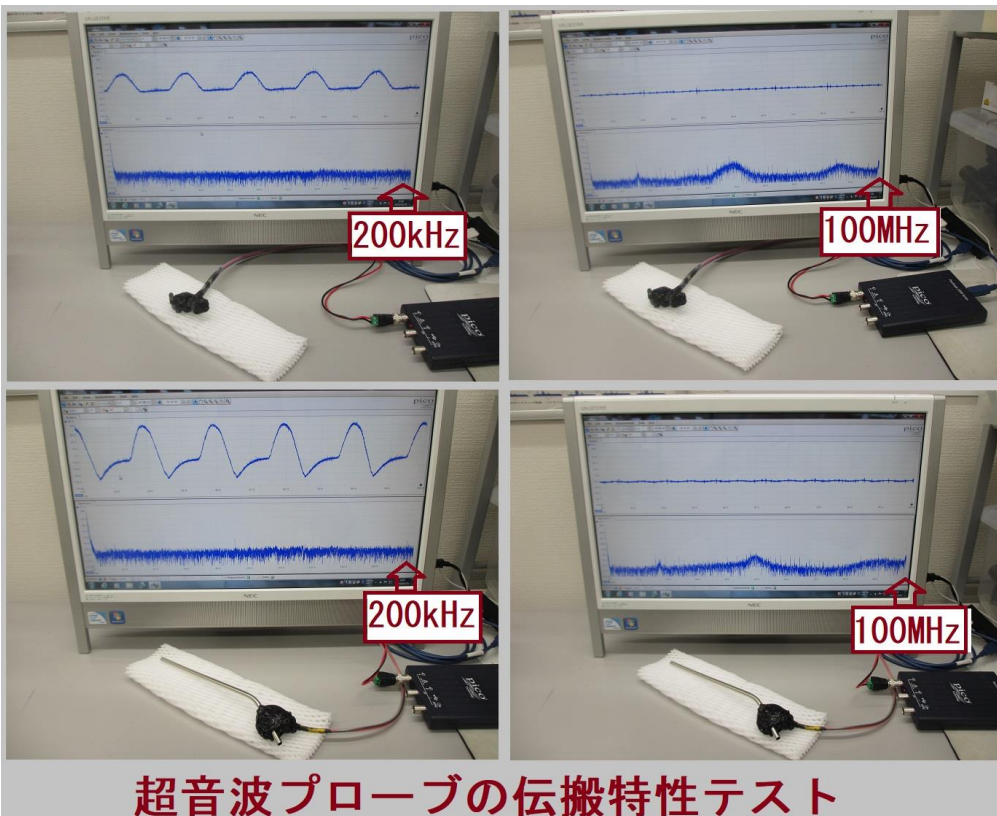
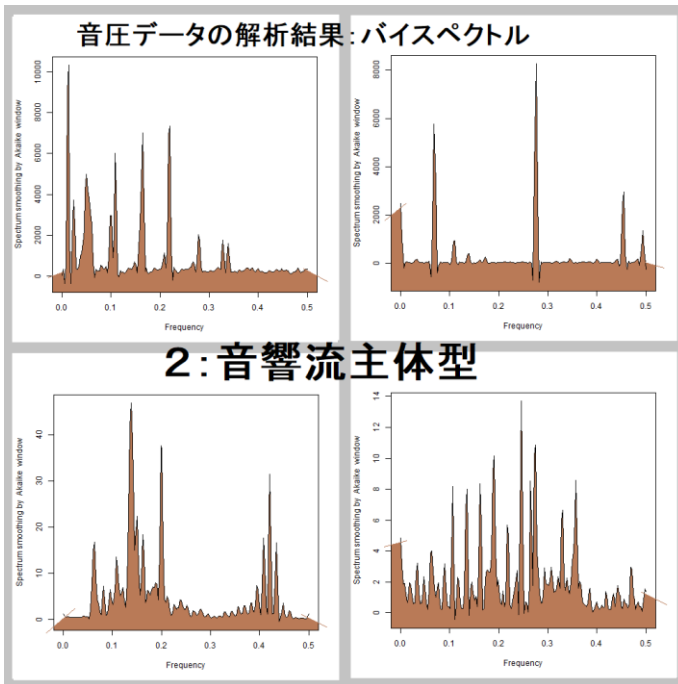
## 超音波洗浄機の 音圧測定プローブ製造技術

- 1：ステンレス部材の表面改質
- 2：圧電素子の表面処理技術
- 3：接着技術
- 4：動作確認・評価技術

## 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・・・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）

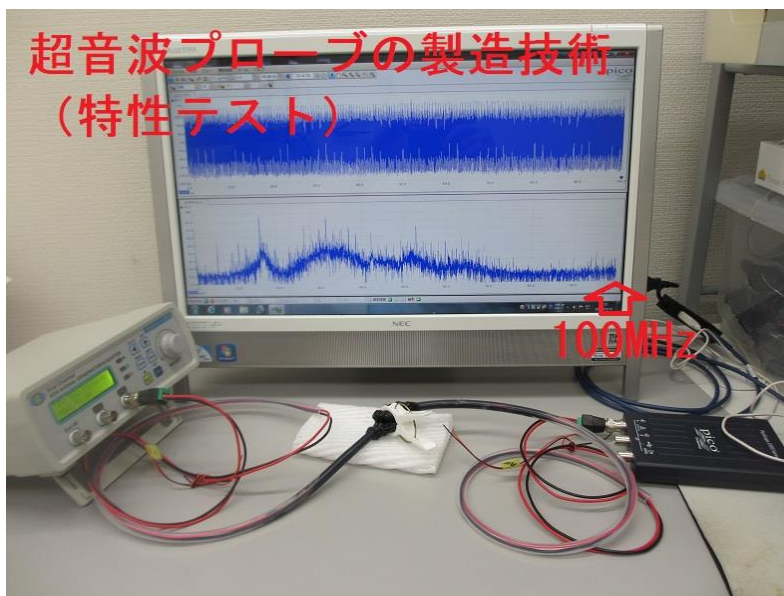
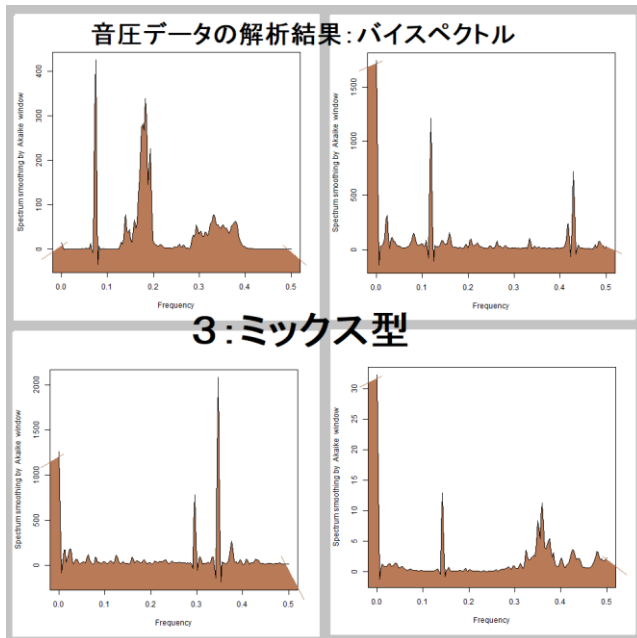
超音波発振部材の設置方法や接触部材・・・の相互作用により  
発振周波数に対して

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、・・・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・・・工夫が必要  
です

上記の1，2，3は、一定の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、無くなっていきます

そのために、実用的には、変動型を利用することが必要です

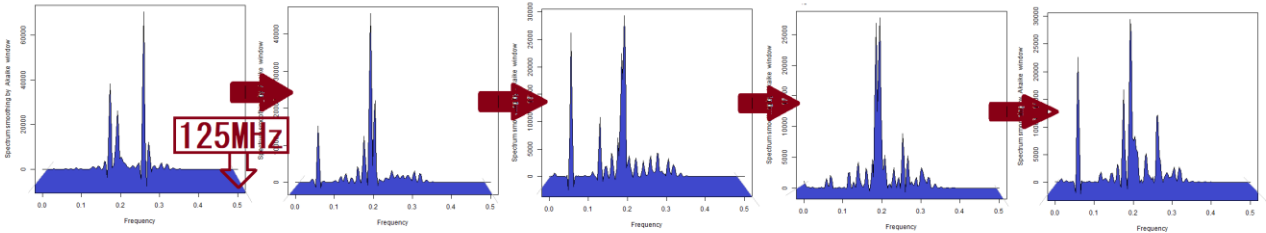
#### 4：変動型（各種制御による変化を利用するタイプ）

##### 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>

##### 超音波のダイナミック制御：バースペクトルの変化

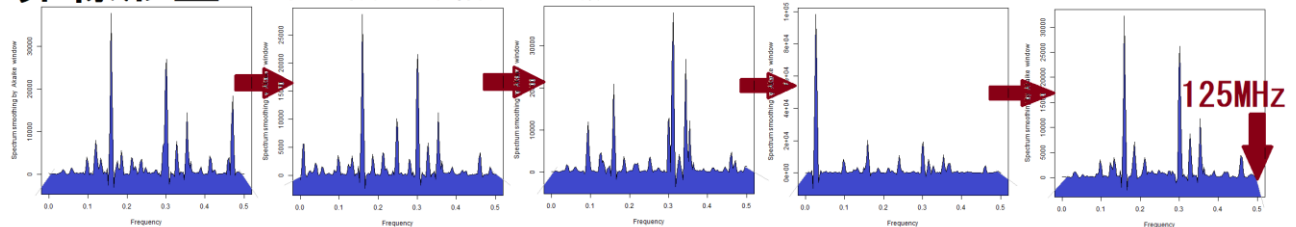


##### 4-2：非線形変動型

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

##### 非線形型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

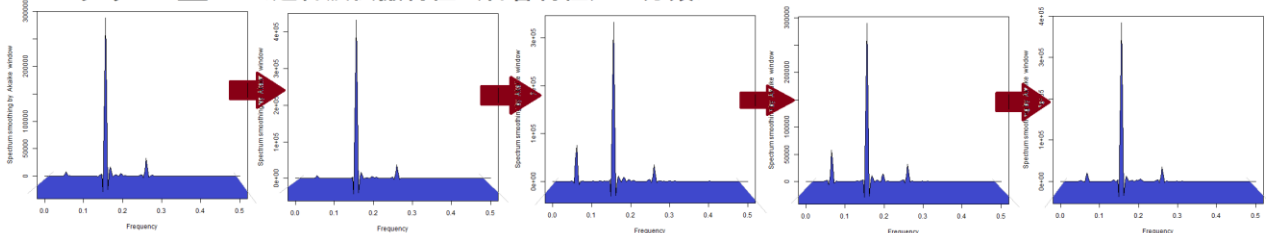
##### 超音波のダイナミック制御：バースペクトルの変化



##### 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

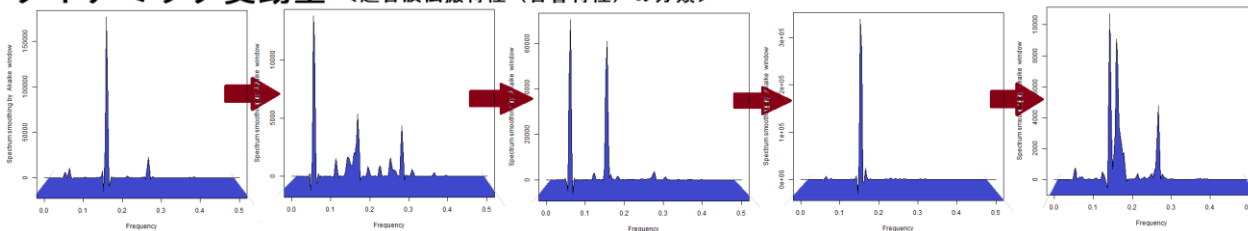
##### ミックス型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>



##### 超音波のダイナミック制御：バースペクトルの変化

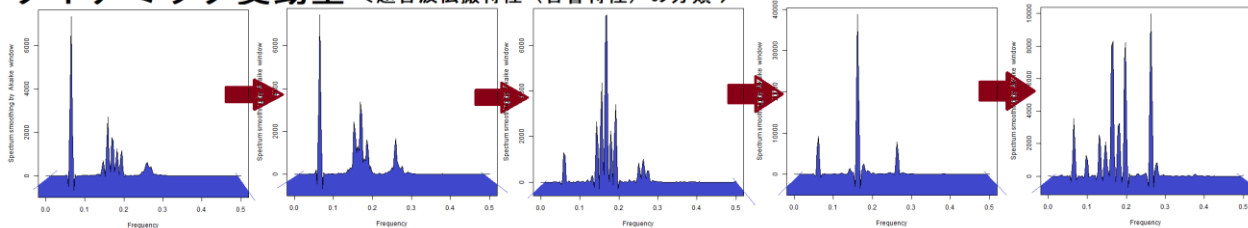
分類としては上記の通りですが、  
実用的には、ミックス変動型（ダイナミック変動型）として  
低調波から高調波を最適化する事が、超音波制御になります

### ダイナミック変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

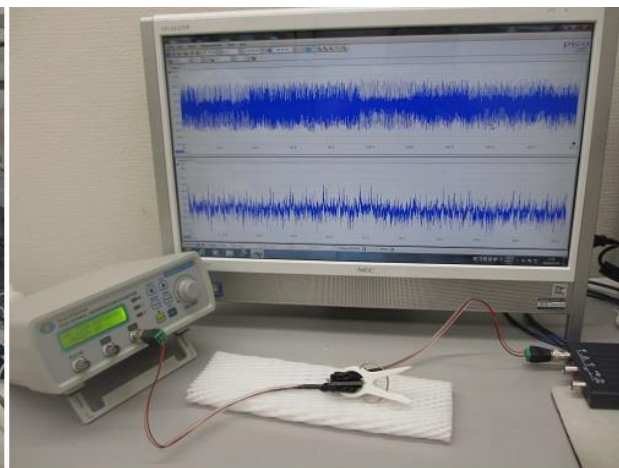
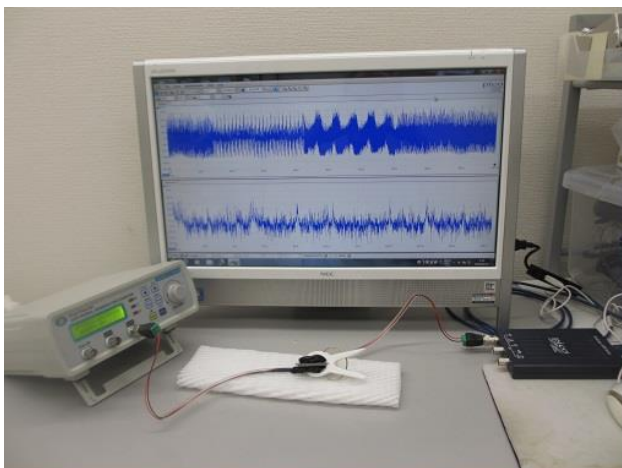


超音波のダイナミック制御：パイスpekトルの変化

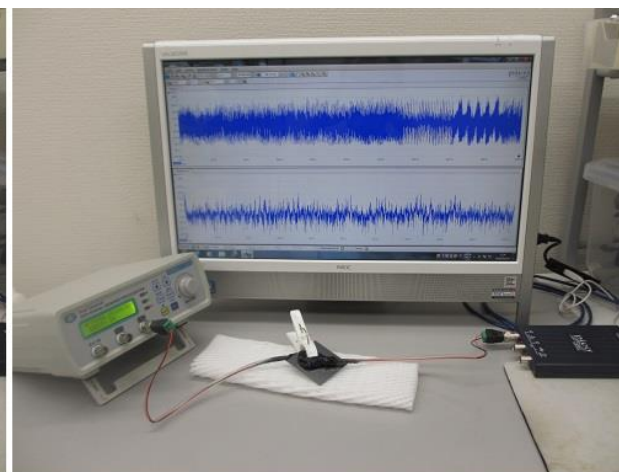
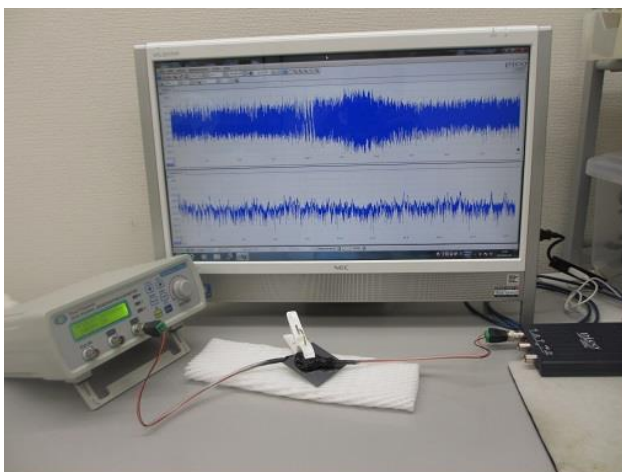
### ダイナミック変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>



超音波のダイナミック制御：パイスpekトルの変化

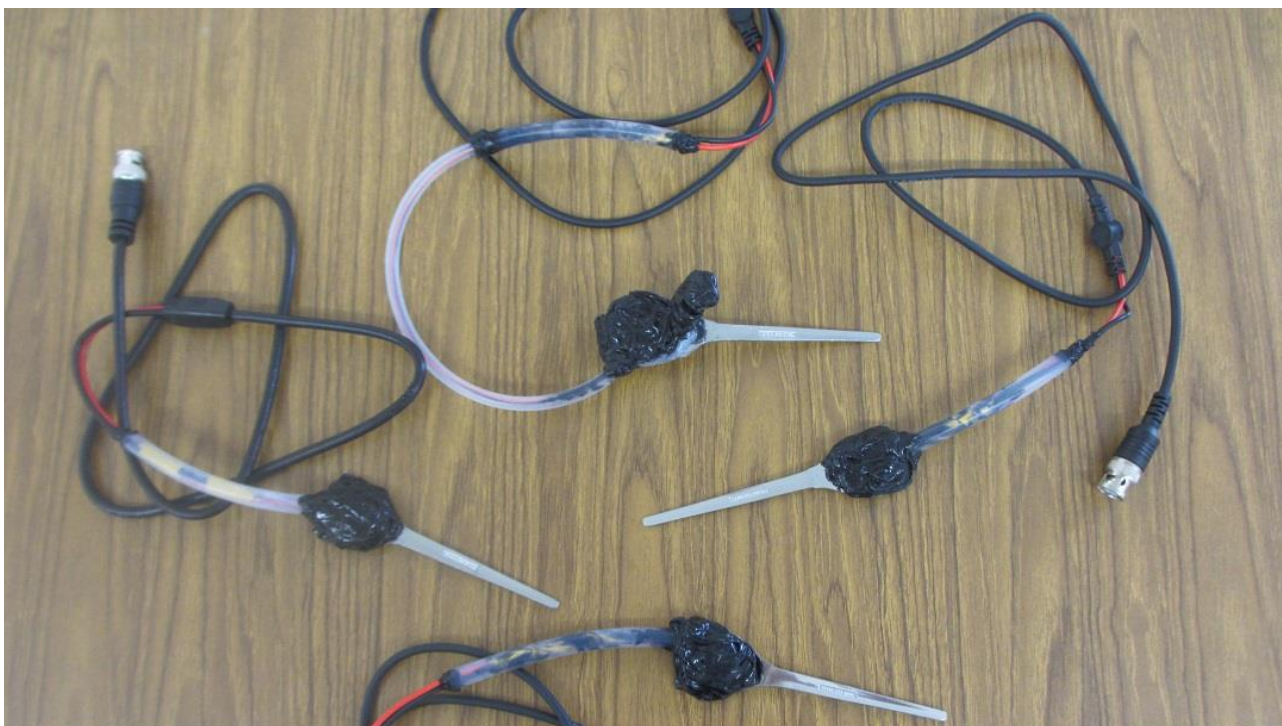


**超音波の発振制御に対する、素直な応答特性**



**不安定な応答性：ステンレス**

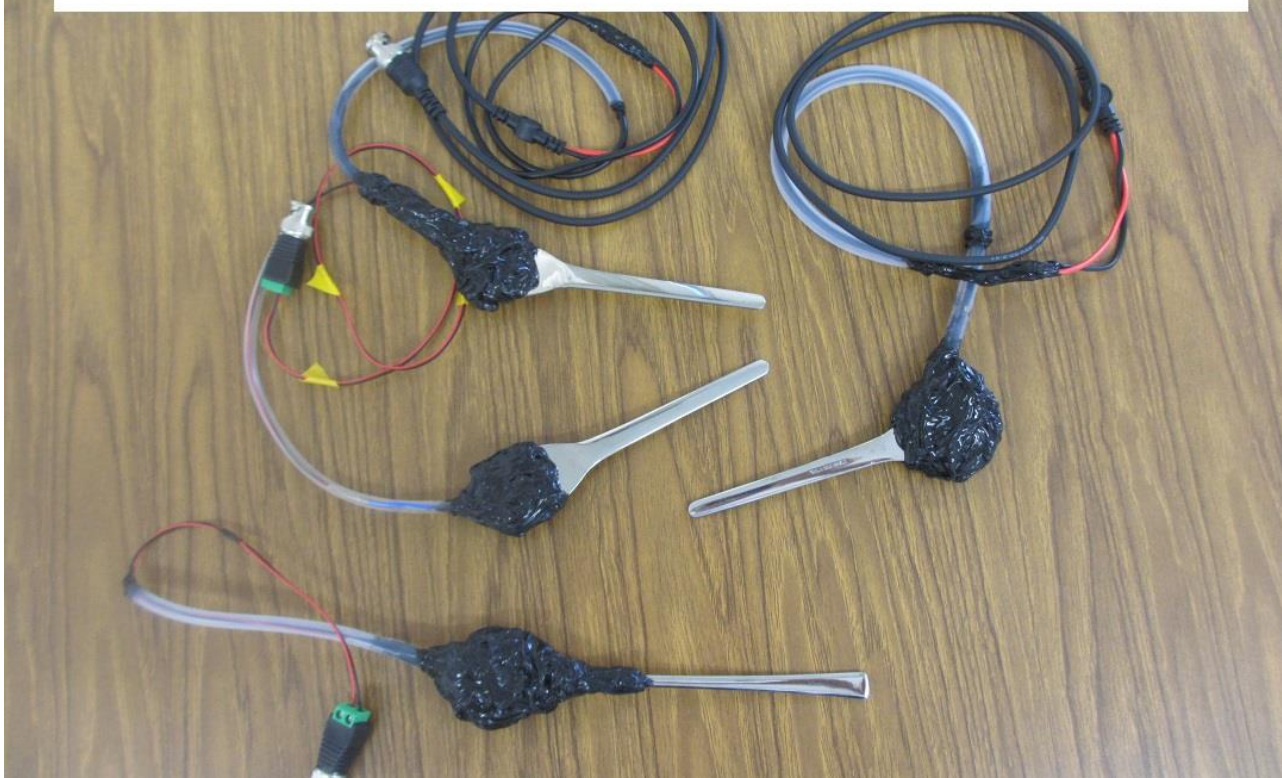




300MHz以上の超音波発振制御が可能な

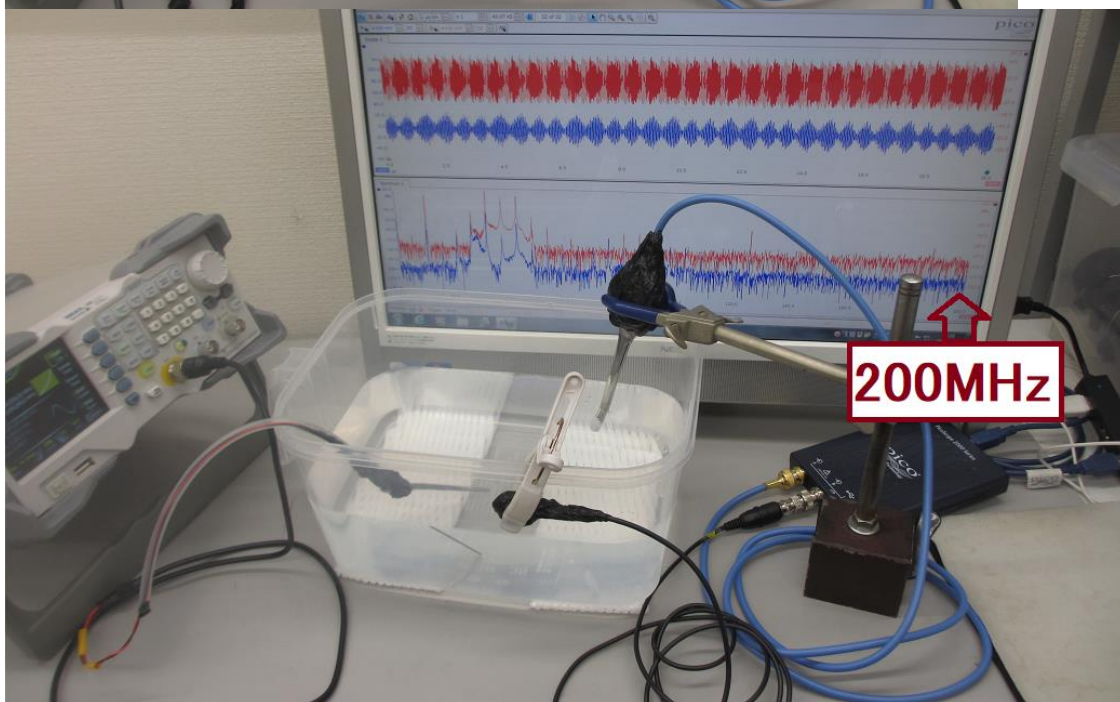
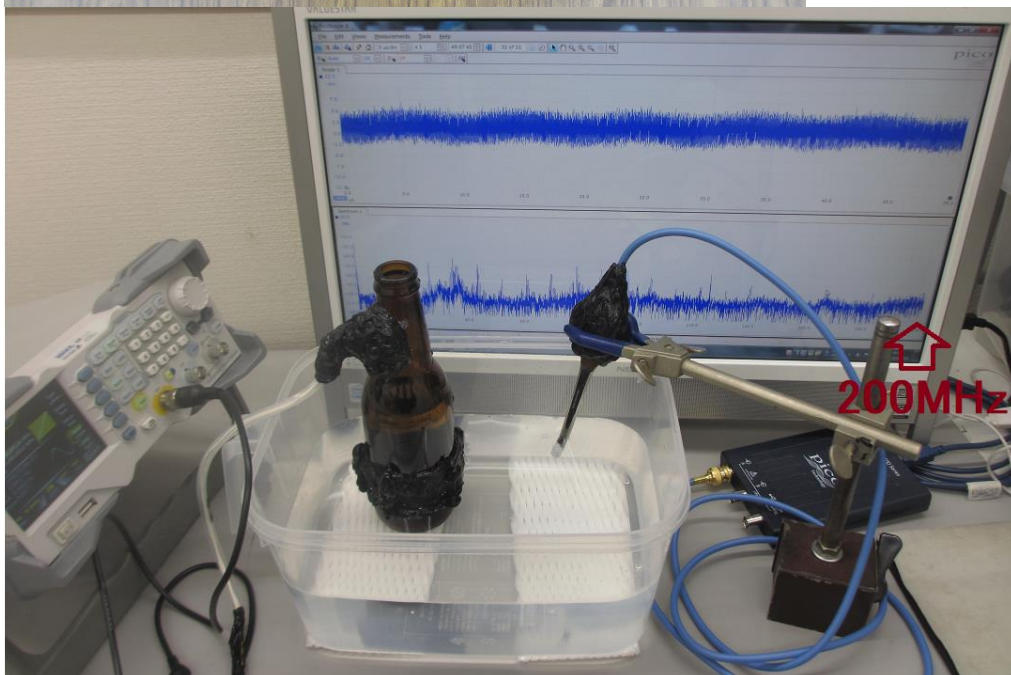
# 超音波発振制御プローブ

100MHz以上の超音波発振制御が可能な超音波プローブ





600MHz以上の超音波伝搬状態を実現する  
超音波発振制御プローブ



< 参考 >

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>

超音波プローブ  
<http://ultrasonic-labo.com/?p=11267>



## 樹脂・ガラス容器の音響特性を利用した 《超音波発振制御プローブ》

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>

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>

ファインバブルと超音波による、表面処理技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=18109>

超音波装置（設計・製造・・・）のコンサルティング対応

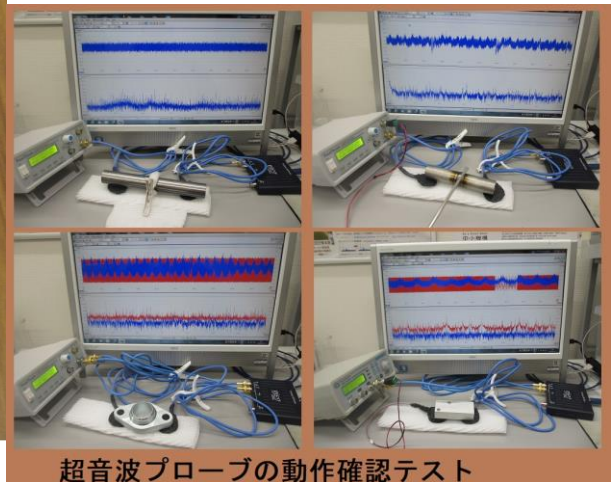
<http://ultrasonic-labo.com/?p=7378>

超音波洗浄器（水槽表面）の表面残留応力緩和・均一化処理

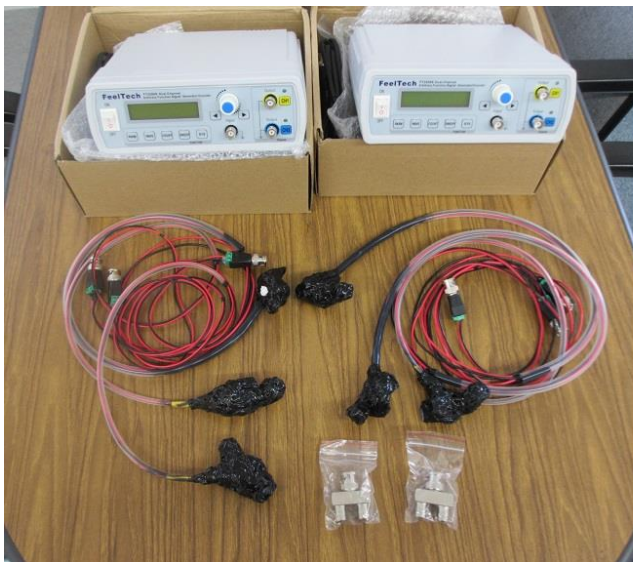
<http://ultrasonic-labo.com/?p=19422>



# 0. 1Hz~100MHzの振動測定解析システム



超音波プローブの動作確認テスト



## 一つの発振チャンネルから同時に二種類の超音波プローブを発振制御するシステム

ファンクションジェネレータの一つの発振チャンネルから同時に2種類の超音波プローブを発振することで発生する相互作用を利用して超音波の非線形現象(注)をコントロールする技術を開発しました。

注: 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

**超音波発振** → **対象**

**伝搬現象**

伝搬  
 音圧レベル → 共振(強度・固有振動数)  
 周波数 → 表面状態、端部状態  
 変化 → 構造(単純~複雑)

以上