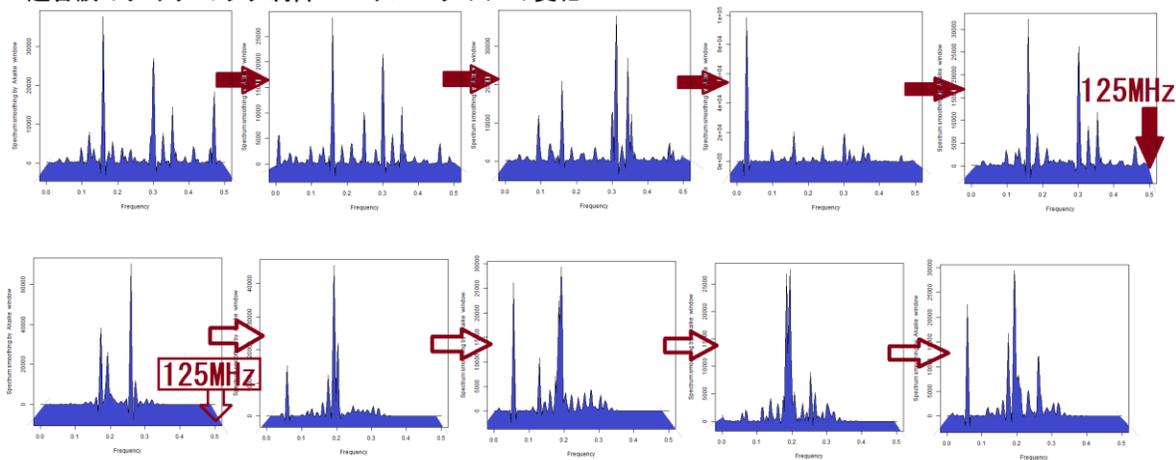


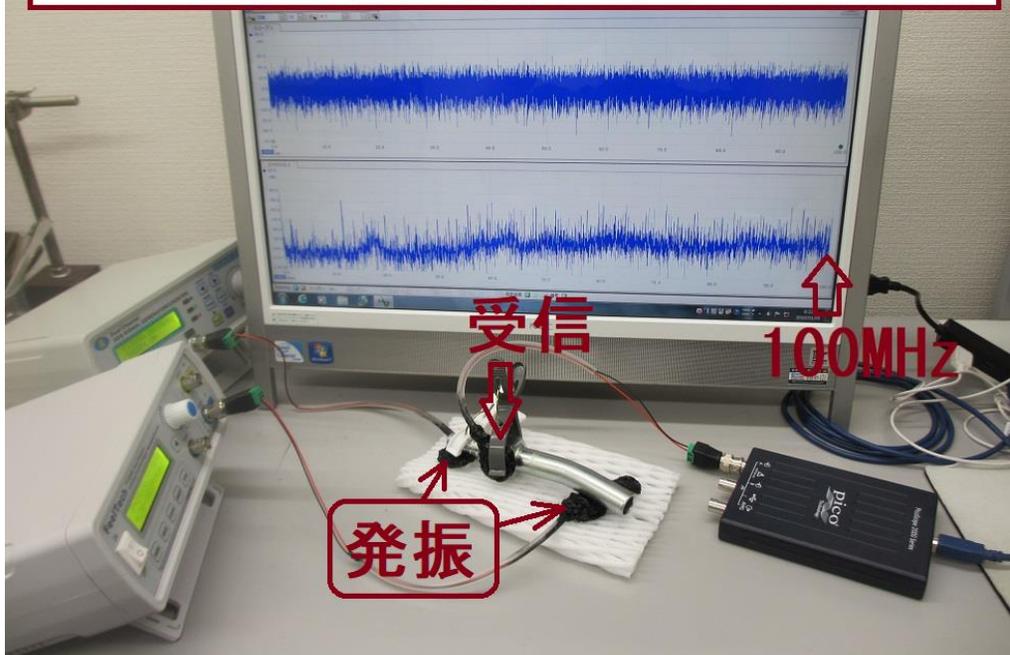
超音波プローブによる、ダイナミック制御システム (超音波の発振制御システム) —Ver2—

超音波システム研究所は、
オリジナル超音波システム（音圧測定解析、発振制御）により、
対象物に伝搬する表面弾性波（超音波振動）の、
非線形振動現象をコントロールする技術を開発しました。

超音波のダイナミック制御：パワースペクトルの変化



超音波の非線形振動現象をコントロールする技術



<<超音波の非線形振動現象をコントロールする技術>>

- 1) ファンクションジェネレータによる発振制御を
対象物の音響特性に合わせて、

発振波形、出力、変化・・・・発振条件の設定技術

- 2) 相互作用による、超音波発振出力（電圧）の変化を、制御可能にする
超音波発振制御プローブの、**発振面の調整を含めた製造技術**

- 3) 1MHzの発振で、700メガヘルツ以上の超音波伝搬現象を実現し、
振動変化計測・解析・評価する

非線形共振現象（注）を制御可能にする発振面の調整技術

注：非線形共振現象

超音波の発振制御により発生する10次以上の高調波の発生を
共振現象により高い振幅で実現させた超音波振動の共振現象

- 4) スイープ発振条件の最適化技術

音圧レベル、周波数範囲、変化レベルについて、超音波利用の目的に合わせた

ダイナミックは伝搬状態を実現する、**スイープ発振条件（注）の設定技術**

注：開始周波数、終了周波数、時間、出力、波形、・・・・

複数のスイープ発振の組み合わせを実現する設定・確認方法に関する技術

（各種相互作用について、測定解析評価する技術

評価に基づいて、発振条件を最適化する技術）

上記の技術を利用して

目的に合わせた超音波の伝搬状態をコントロール（最適化）します。

注：対象物の音響特性と超音波の発振制御による相互作用について

非線形現象に関する音圧データの解析評価に基づいて

超音波のダイナミック制御・・・・を行います

（超音波テスターで、音圧の測定・解析・確認・評価を行っています）

この技術を、

**精密洗浄・表面改質処理・化学反応実験・・・・に用いた結果、
ナノレベル・金属組織レベルの効率の高い超音波システムとして
応用（洗浄・改質・反応制御・・・）することが可能となりました。**

これは、従来では干渉や共振により減衰すると考えられた状態について

大きな可能性を示した結果です。

2024年3月、現在、
超音波による非線形現象の応用技術は、可能性と実績が増えています。

- 例1：精密洗浄・超音波加工への利用
- 例2：表面改質処理・超音波攪拌への利用
- 例3：材料開発・超音波溶接への利用
- 例4：超音波熱処理への応用
- 例5：精密機器の組み立て作業への応用
- 例6：各種表面処理プロセス（工程）への応用
- 例7：各種製造装置の保守メンテナンスへの応用
- 例8：各種溶剤・・・を利用する製造機器への応用
- 例9：その他

興味のある方は、メールでお問い合わせ下さい
技術（特許・ノウハウ）提供を含め、コンサルティング対応します

<ノウハウ>

超音波発振に関する、発振（音響）特性
超音波受信に関する、受信（音響）特性
超音波伝搬に関する、伝搬（音響）特性
上記の特性を測定解析（注：次頁）により評価して、
適切な組み合わせを利用することがノウハウです



超音波発振プローブ

注：音圧測定の時系列データに関して

- 1：非線形現象の解析（自己相関、パースペクトル解析）
- 2：応答特性の解析（インパルス応答、パワー寄与率）

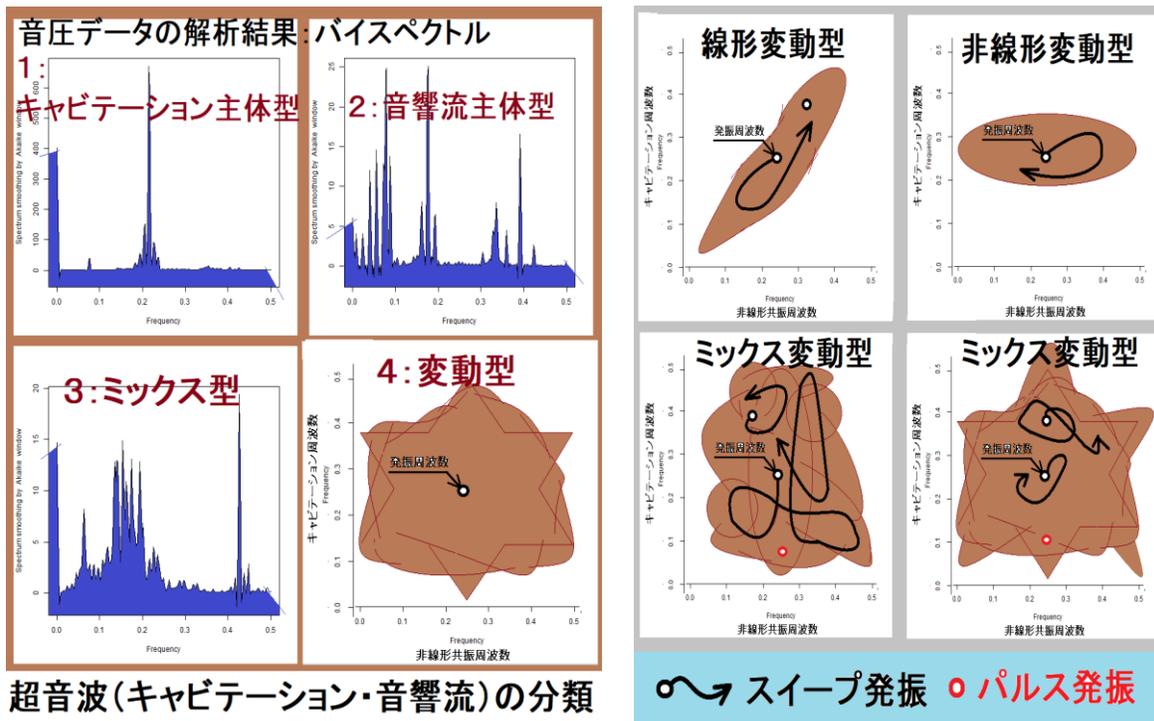
上記に基づいて、
超音波の伝搬現象を、以下のように分類します

<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）

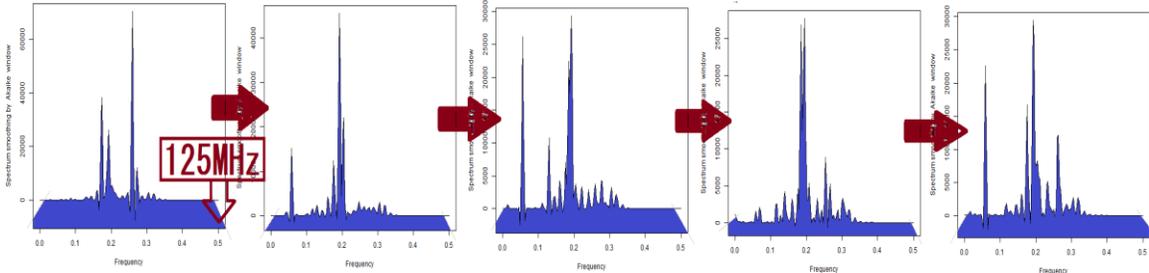
超音波の発振周波数に対して
伝搬状態の主要（最大エネルギー）周波数が
低調波（発振周波数の1/4、あるいは1/2）
から高調波（発振周波数の1倍、・・・3倍）の範囲で
若干の変化がある状態

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

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：パイスpekトルの変化



2：非線形型（音響流主体型）

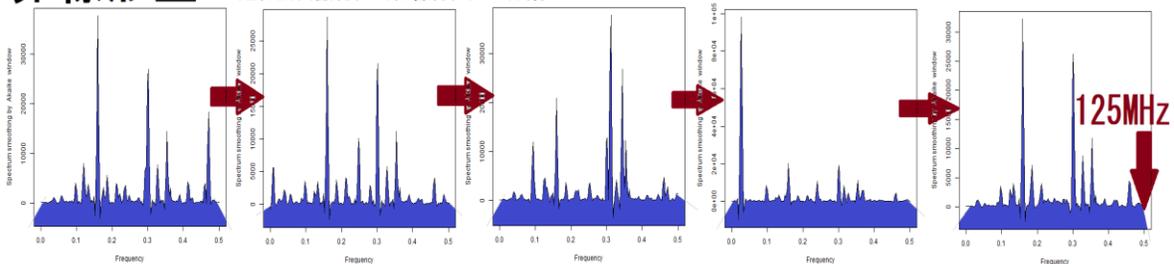
超音波の発振周波数に対して
伝搬状態の主要（最大エネルギー）周波数が
高調波（発振周波数10倍以上）の範囲で
若干の変化がある状態

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

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：パイスpekトルの変化

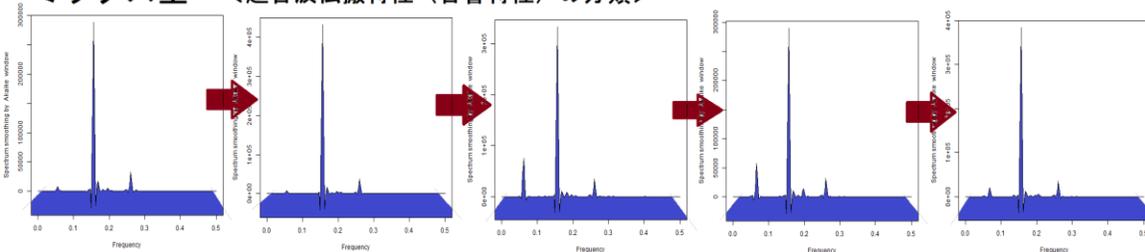


3 : ミックス型（キャビテーションと音響流の組み合わせ型）

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

ミックス型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

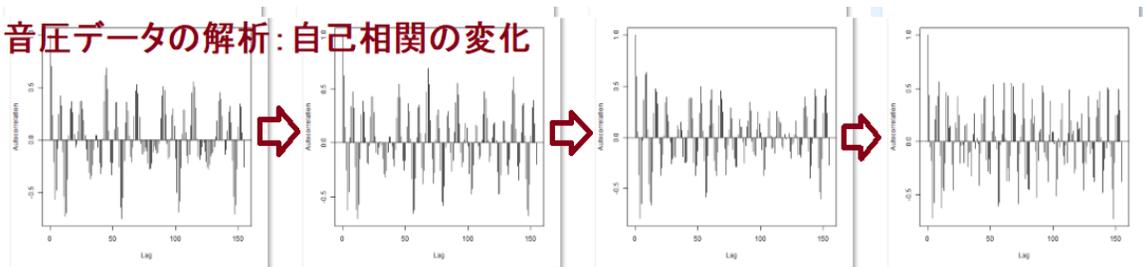


超音波のダイナミック制御：バースペクトルの変化

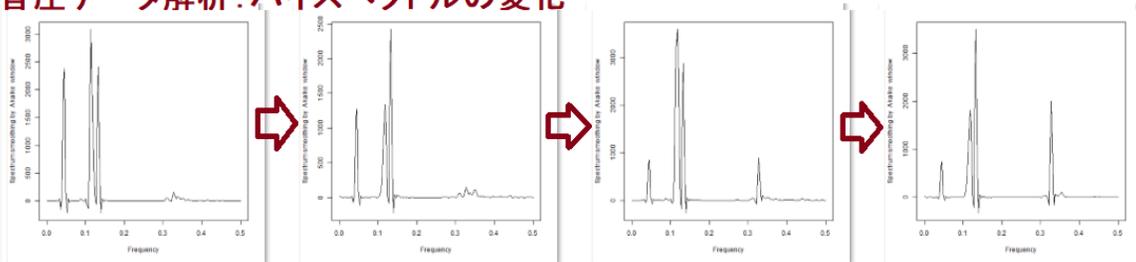
コメント

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、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、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**

音圧データの解析：自己相関の変化



音圧データ解析：バースペクトルの変化



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

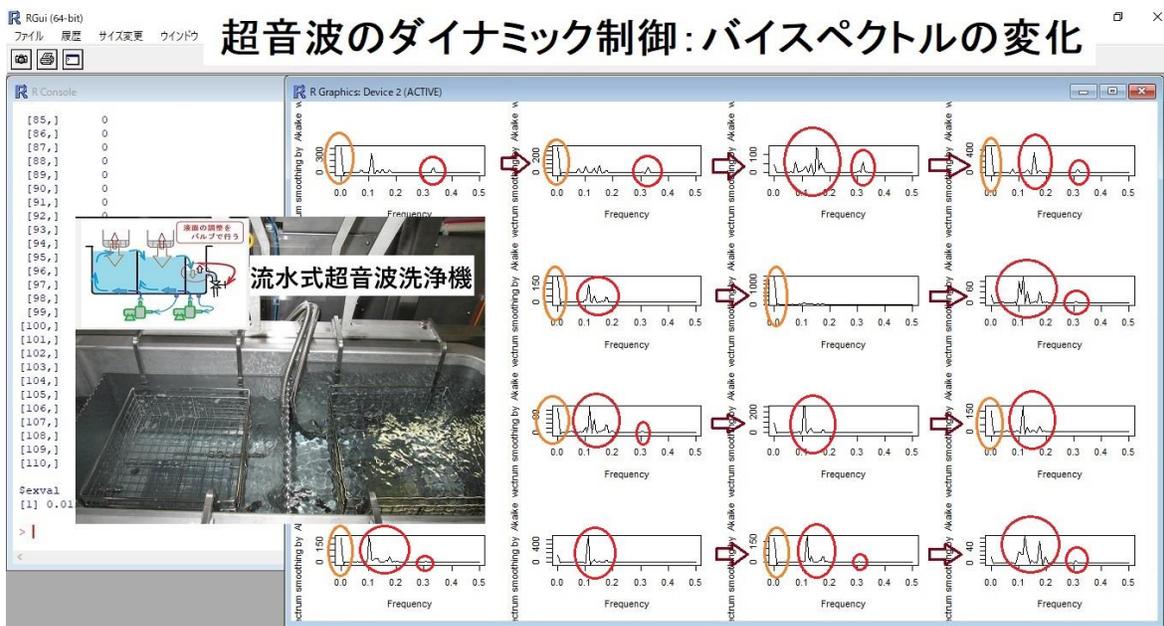
複数の超音波発振部材や発振制御・・・を利用して
伝搬状態の主要 (最大エネルギー) 周波数が
低調波から高調波を、
目的の範囲 (発振周波数の $1/8 \sim 10$ 倍程度) で
制御可能にした状態

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 $1/2 \sim 50$ 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 $1/16 \sim 100$ 倍程度) で
制御可能にした状態



変動型のポイント

論理モデルに基づいた制御設定

ultrasonic-category (超音波モデル 2022. 4)

F・G

G
伝搬用具

F
超音波素子

A
共振・非線形
表面弾性波

B
伝搬、波形、発振

C
出力・パワー・エネルギー

制御1

制御2
パルス発振
スイープ発振

音圧測定解析による発振条件・伝搬特性の調整

制御サイクル

3:ダイナミック制御型

1 低周波共振主体型

2 非線形高調波主体型

3:ダイナミック制御型

超音波伝搬現象
サイクル

超音波の
導来カテゴリーモデル

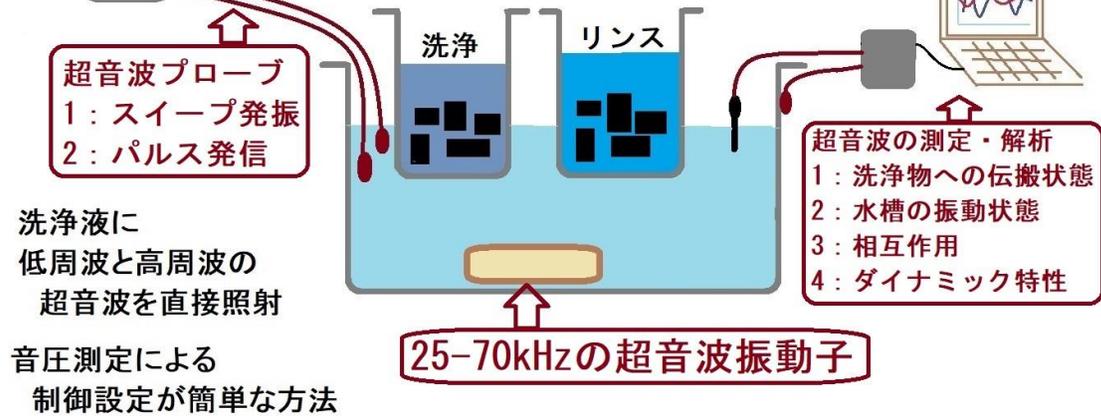
導来関手

2022. 5

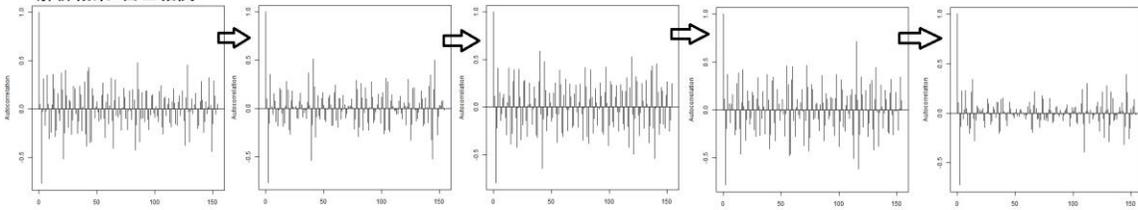
実施モデル

超音波発振制御装置 洗浄槽に直接超音波プローブを入れる

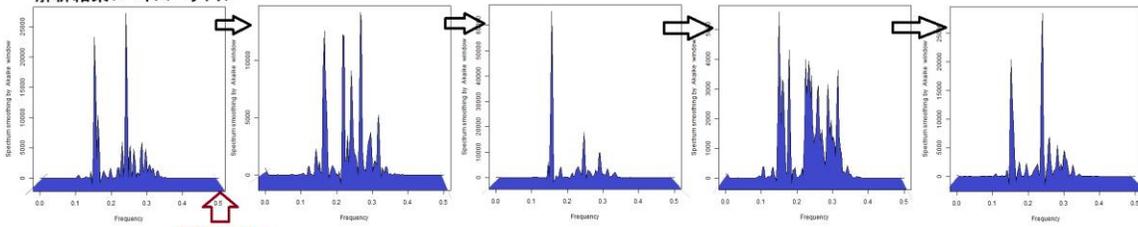
<<標準的な使用方法>>



解析結果: 自己相関



解析結果: バイスペクトル



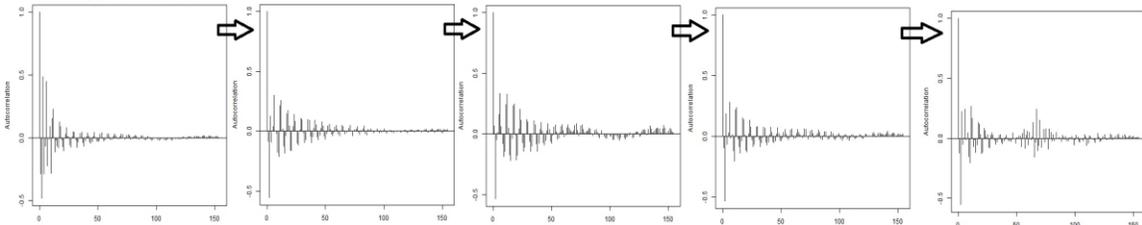
125MHz

超音波発振制御装置

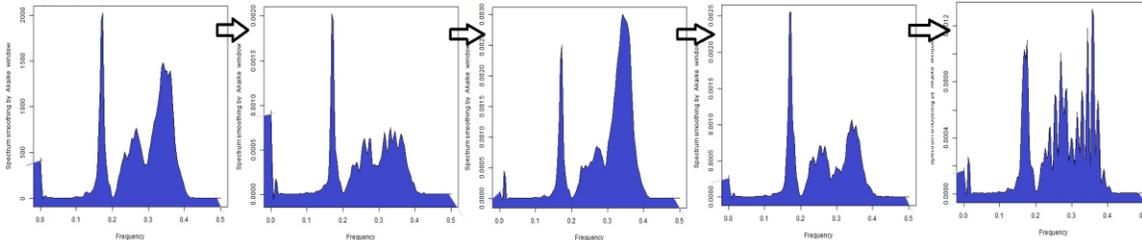


液循環ポンプの吸い込み側のバルブを絞ることで
ファインバブル(マイクロバブル)を発生する装置

解析結果: 自己相関



解析結果: バイスペクトル



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>

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

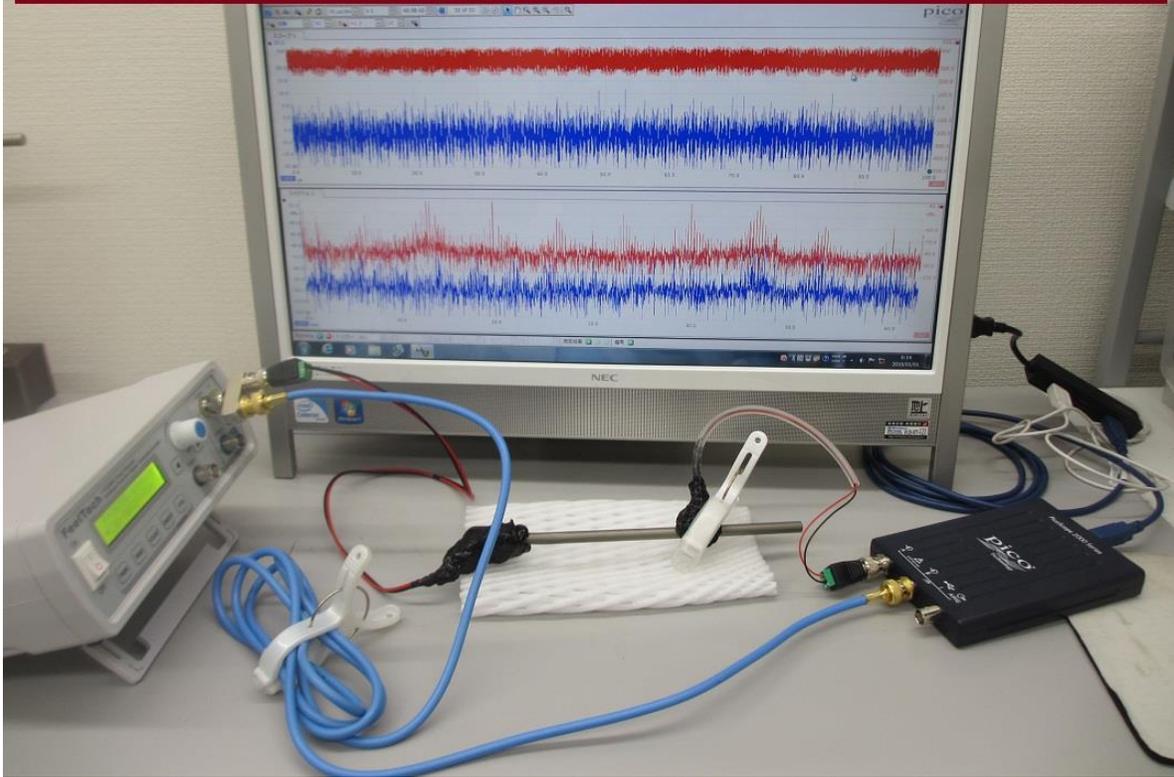
超音波発振システム（1MHz、20MHz）
<http://ultrasonic-labo.com/?p=18817>

200MHz以上の超音波伝搬現象による表面改質処理
<http://ultrasonic-labo.com/?p=2433>

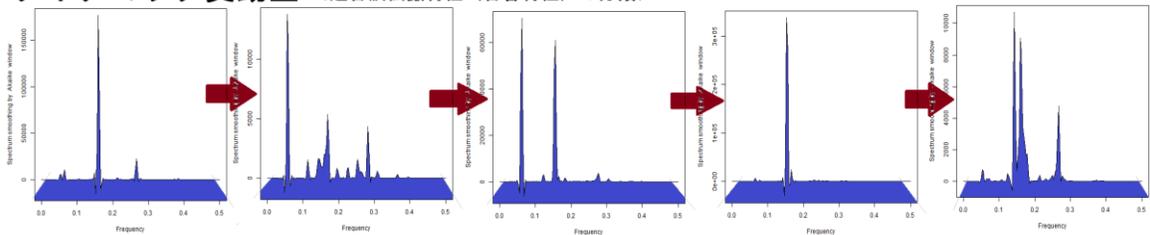


詳細に興味のある方は
超音波システム研究所にメールでお問い合わせください。
利用に関しては、沢山のノウハウがあります。
超音波システム研究所
メールアドレス info@ultrasonic-labo.com
ホームページ <http://ultrasonic-labo.com/>

超音波の「発振・伝搬」特性テスト

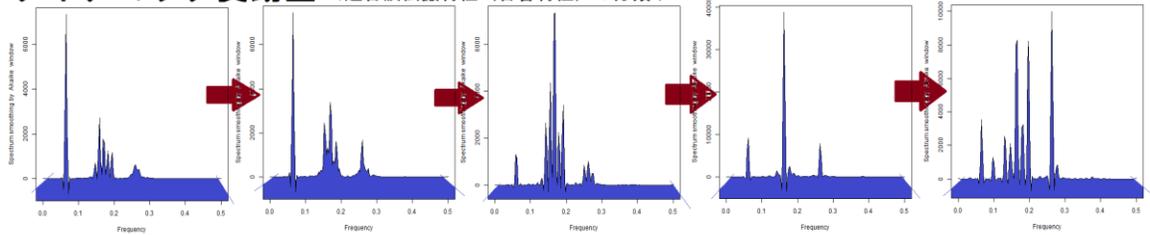


ダイナミック変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

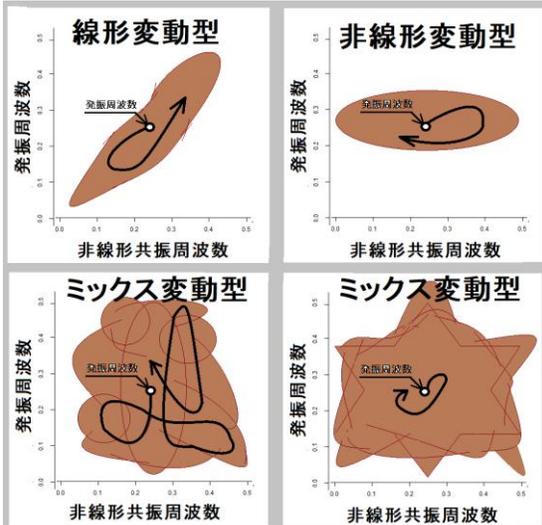


超音波のダイナミック制御：パイスpekトルの変化

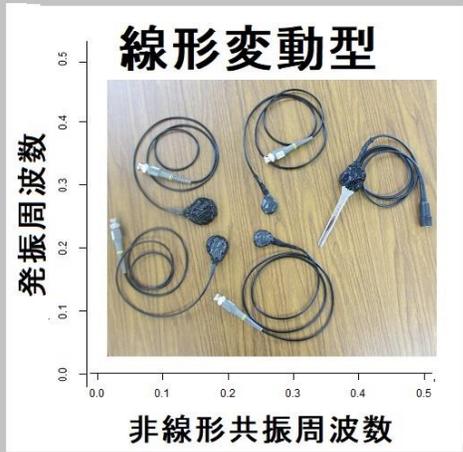
ダイナミック変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>



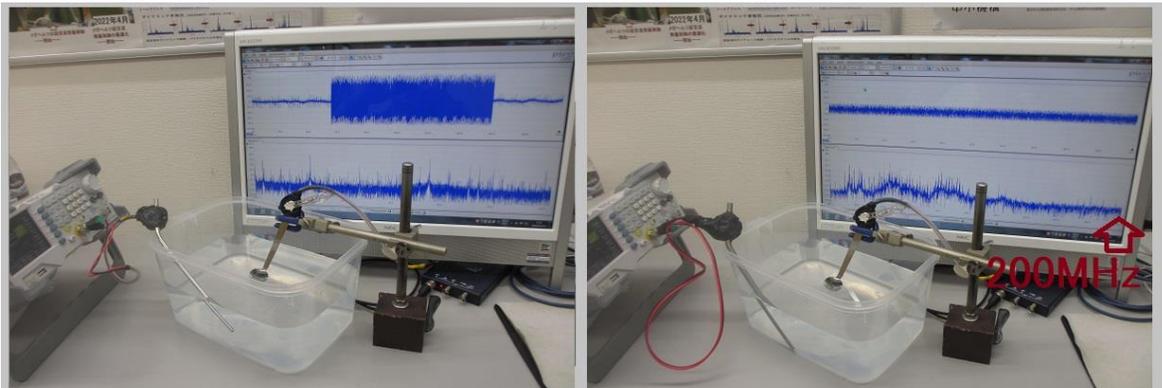
超音波のダイナミック制御：パイスpekトルの変化



超音波伝搬特性による、超音波プローブの分類



超音波伝搬特性による、超音波プローブの分類



低周波の共振現象と、高周波の非線形現象を制御可能な超音波プローブ

