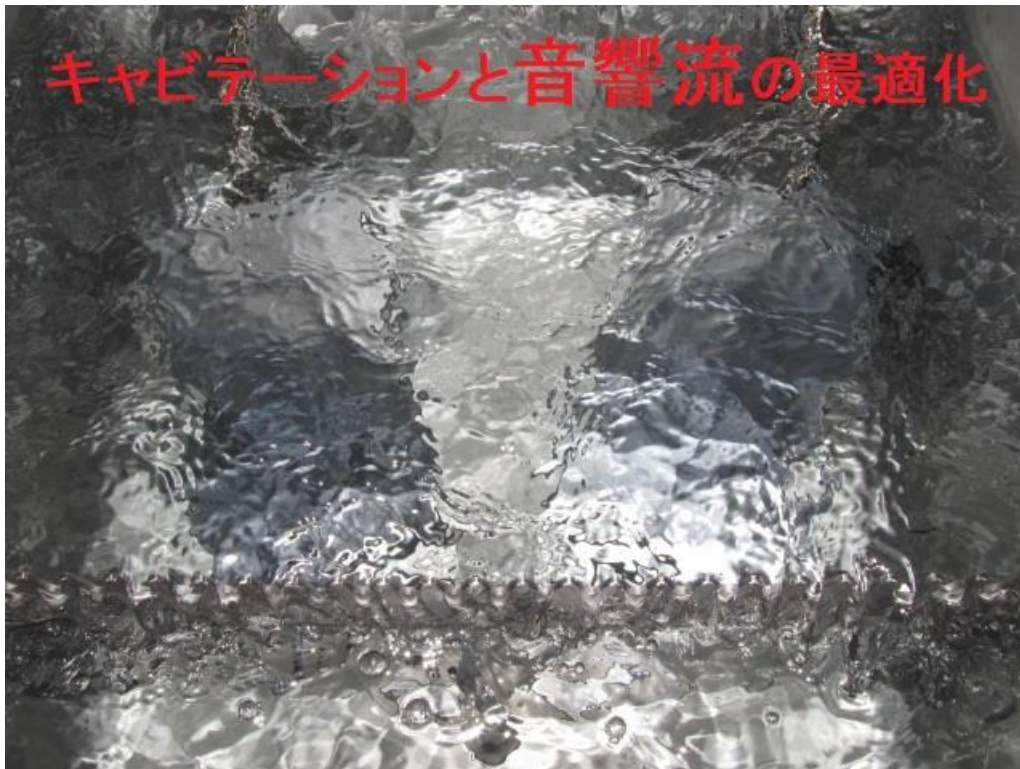
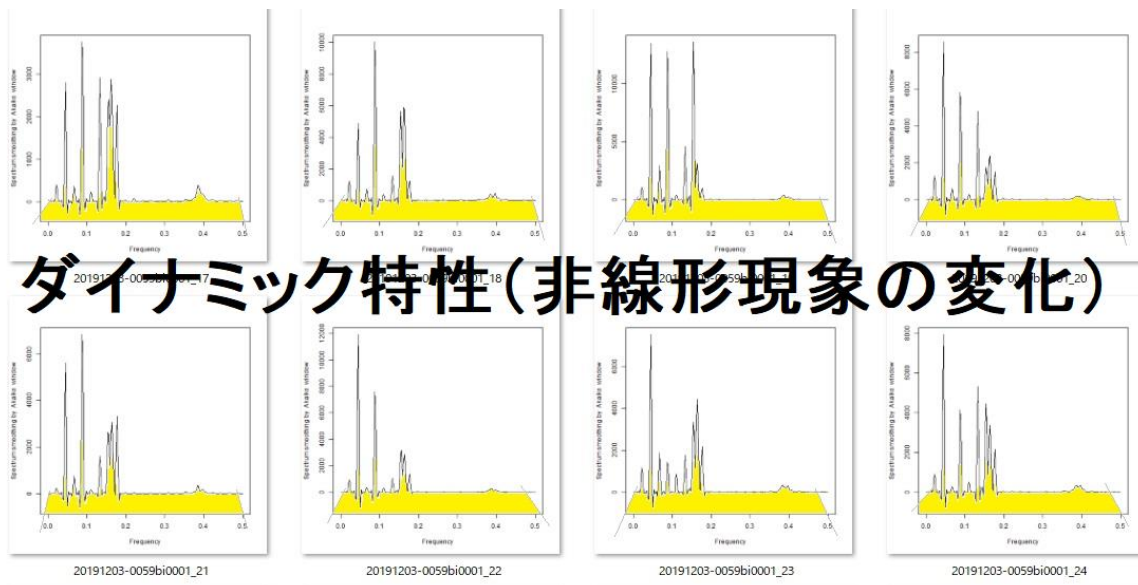


超音波の音圧測定解析に基づいた、 超音波伝搬現象の分類

超音波システム研究所は、
超音波伝搬状態の測定・解析により、
超音波振動が伝搬する現象に関する分類方法を開発しました。

この分類方法は、
超音波の伝搬状態に関する
主要となる周波数（パワースペクトル）の
ダイナミック特性（非線形現象の変化）により
線形・非線形の共振効果を測定解析評価する技術に基づいています。





ダイナミック特性(非線形現象の変化)

これまでの音圧データの測定解析から
 超音波利用の効果的な伝搬状態を
 以下のような
 4つのタイプに分類することができました。

- 1 : 線形型
- 2 : 非線形型
- 3 : ミックス型
- 4 : 変動型

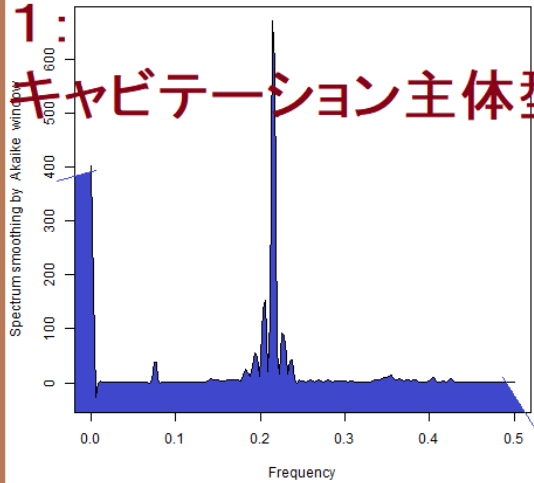
さらに変動型は、以下のような
 3つのタイプに分類することができました。

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

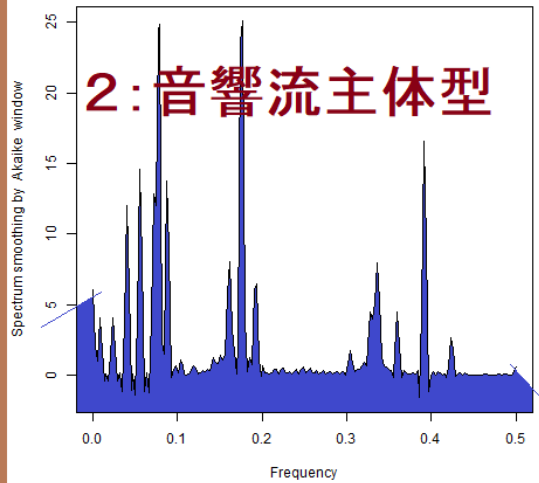
上記の各タイプに基づいた装置開発・制御設定・検査・・・
 超音波技術の応用に関して成功事例が多数あります。

音圧データの解析結果: バイスペクトル

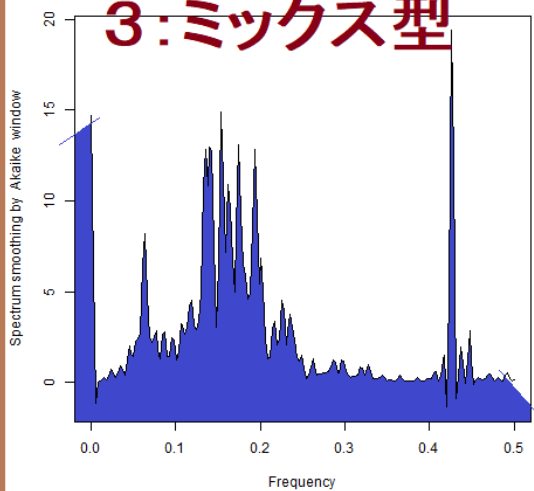
1: **キャビテーション主体型**



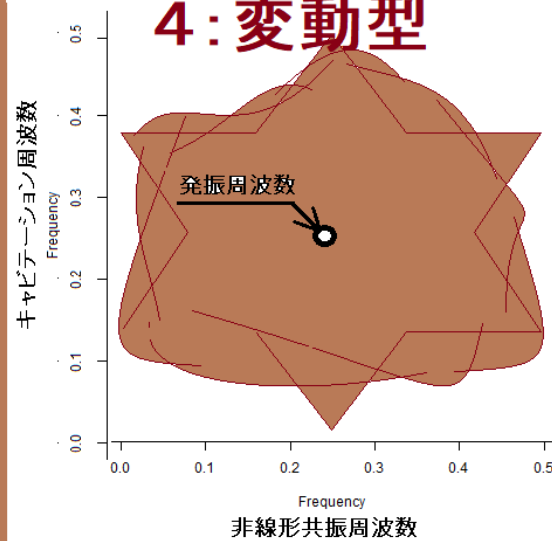
2: **音響流主体型**



3: **ミックス型**



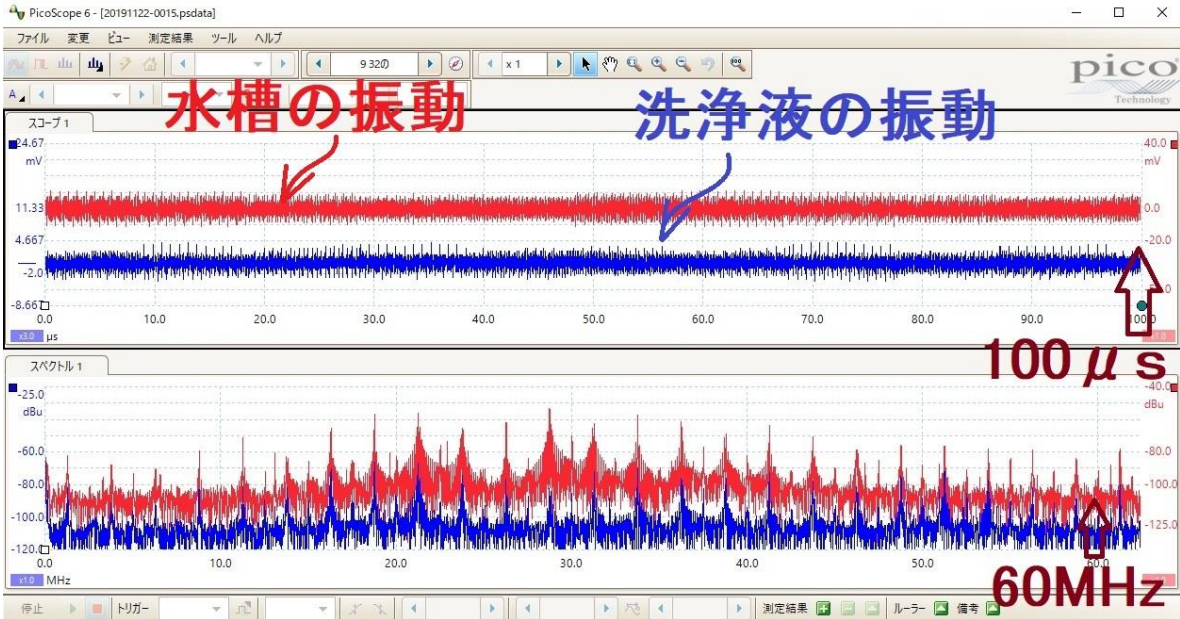
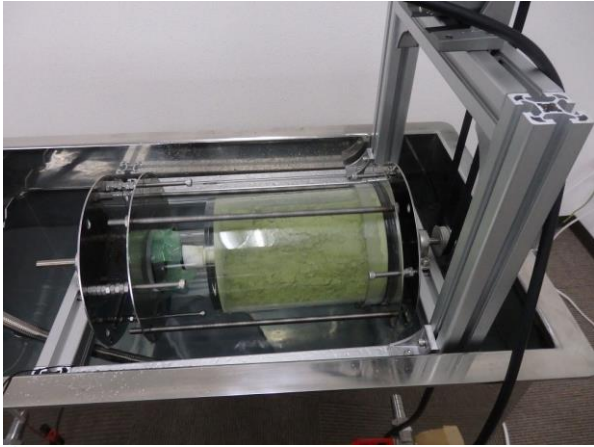
4: **変動型**



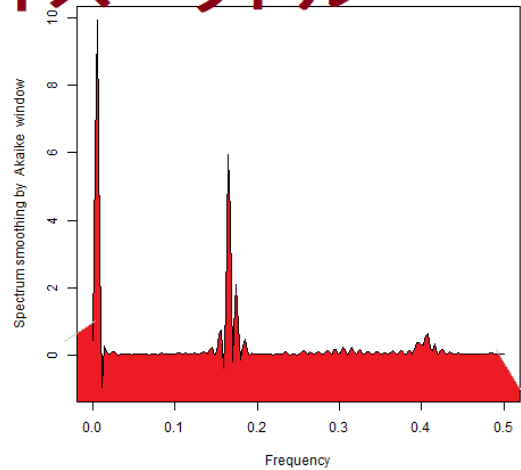
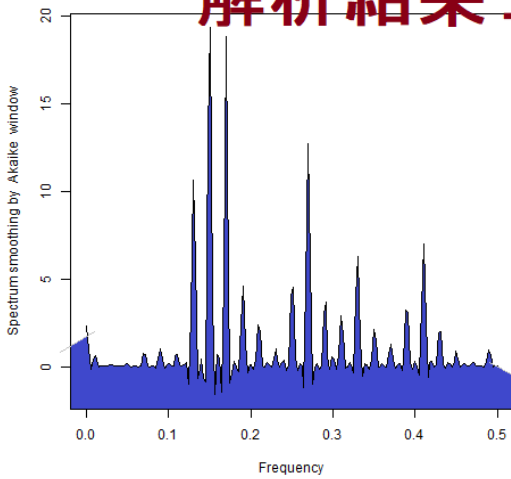
超音波(キャビテーション・音響流)の分類

特に、

安定性・変化の状態・・・に関して
周波数成分による詳細な分類により、
目的と効果に対する、効率のよい
各種条件の設定・調整が可能になりました。



解析結果: バイスペクトル



さらに、洗浄に関しては

汚れの特性やバラツキに関する情報が得られにくいいため

このような分類をベースに実験確認することで

効果的な超音波制御が、実現します。



キャビテーションと音響流の最適化

その他の応用事例

超音波洗浄機の評価、超音波振動子の評価、・・・

超音波加工・溶接・曲げ・・・振動現象の制御

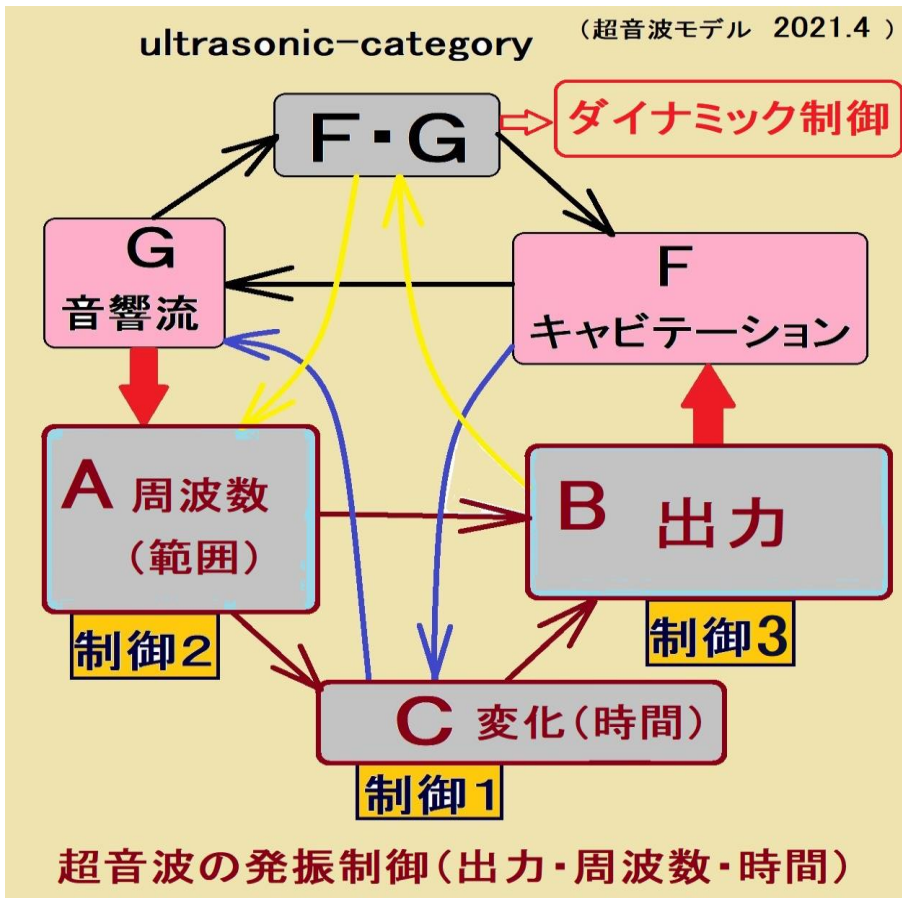
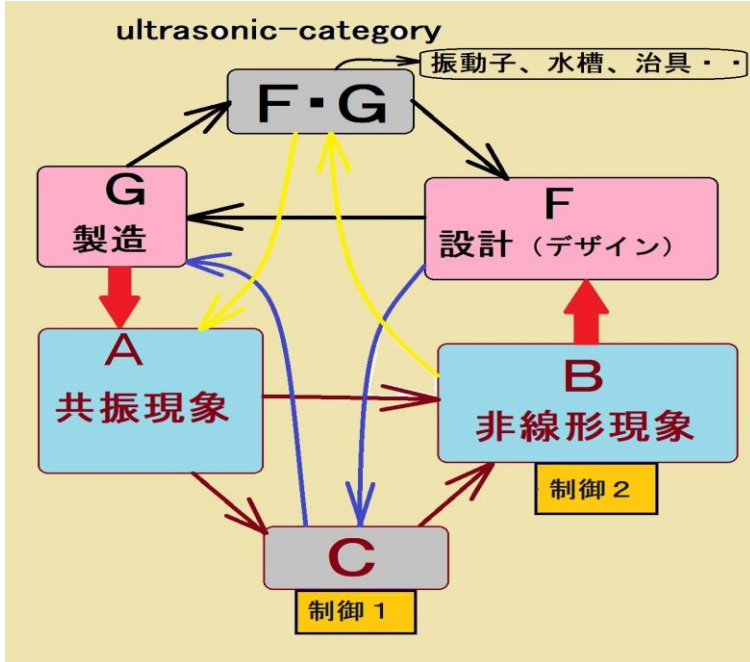
超音波による化学反応促進・抑制（例 めっき）処理

表面を伝搬する超音波振動の特性による表面検査・表面処理

液体・気体・弾性体（粉末・・・）に対する

超音波（攪拌・乳化・分散・粉碎・表面の均一化・・・）処理

その他



この分類の本質的なアイデアは、

超音波の音圧データの解析結果（バースペクトル）のデータ群を、
抽象代数学の「導来関手」に適応させるということです。

抽象的ですが、超音波の伝搬状態を計測解析するなかで

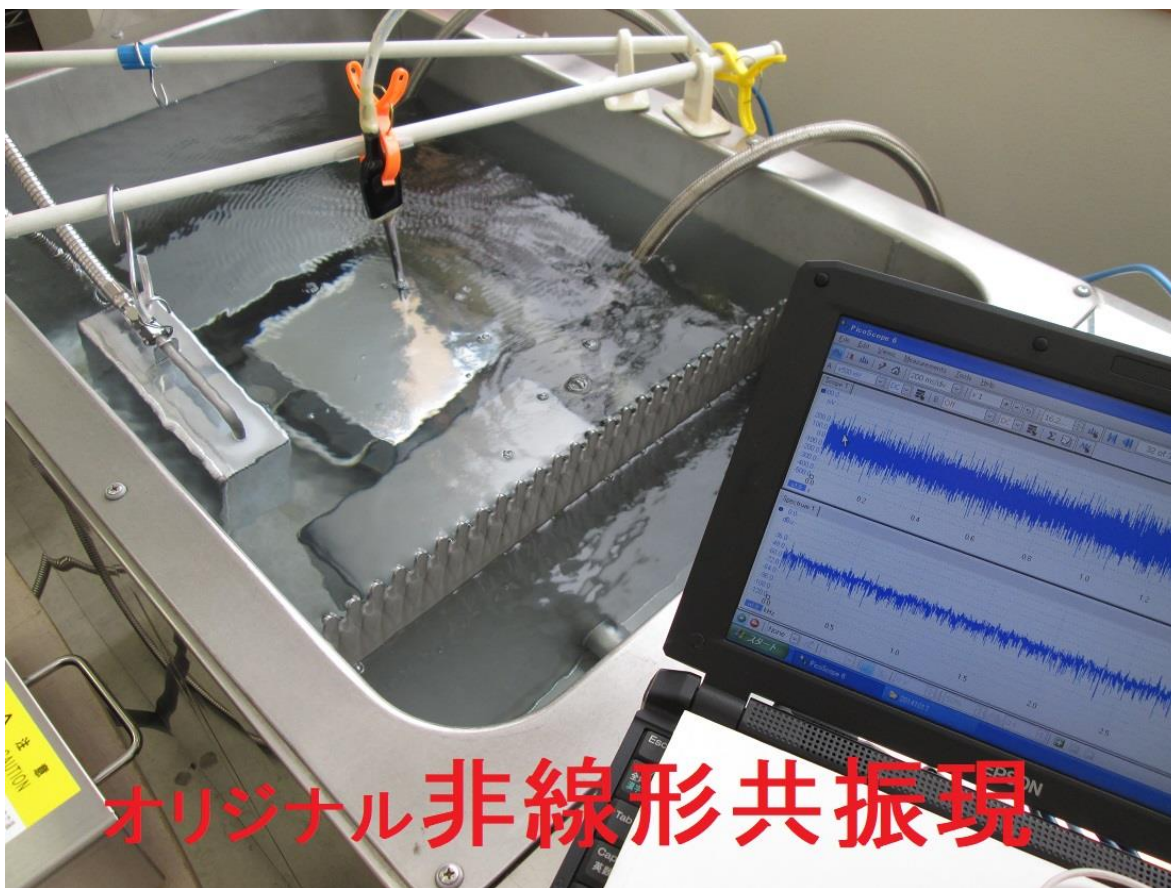
非線形現象（バースペクトル）に関する、対応・制御事例から

時間経過とともに変化する状態を捉えるために

「導来関手」とスペクトルシーケンスの関係を

線形・非線形の共振現象に対応した超音波の伝搬空間変化として、

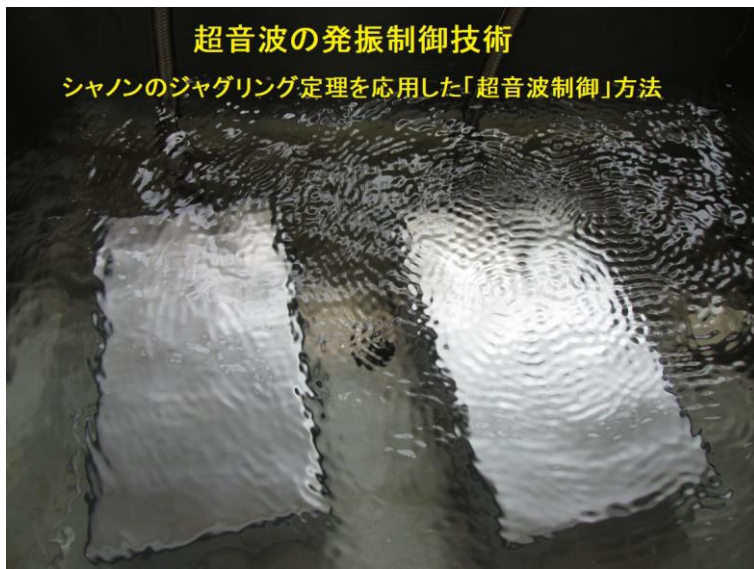
複体の変化と考え、分類することにしました。



その結果、超音波システム研究所の「非線形制御技術」は、

この方法による、

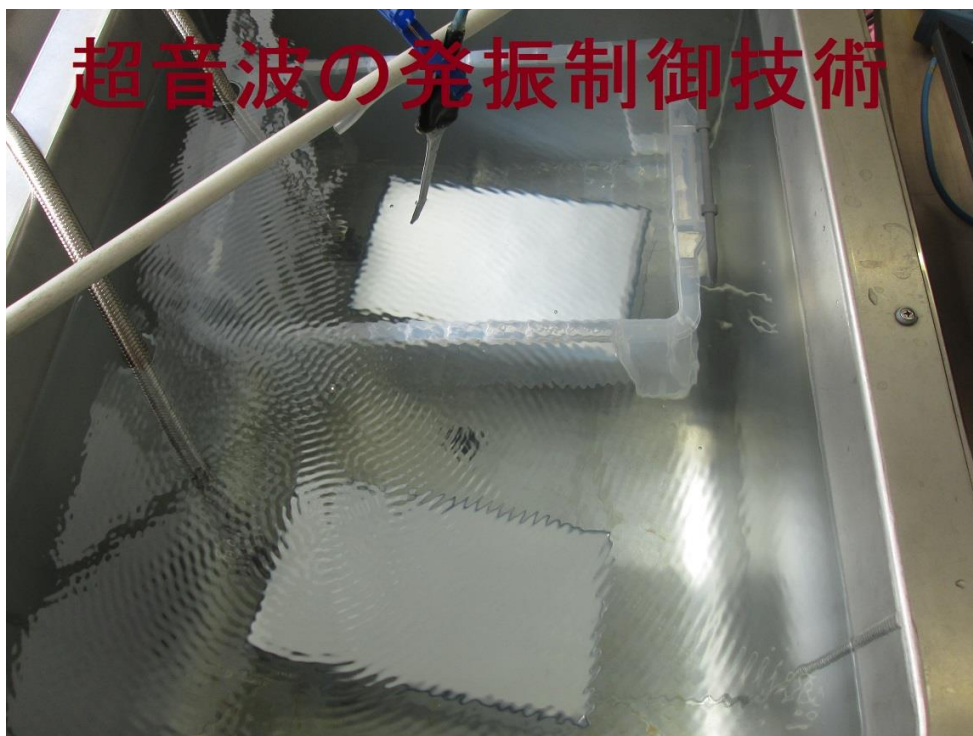
具体的な技術（例 超音波制御システム）として実現しています。



応用技術の可能性として

非線形性の発生状態に関する研究開発を進めています。

「超音波利用の最も大きな効果が、
非線形現象による伝搬状態の変化にある」
という考え方が一歩進んだと考えています。



詳細

1：線形型（キャビテーション主体型）

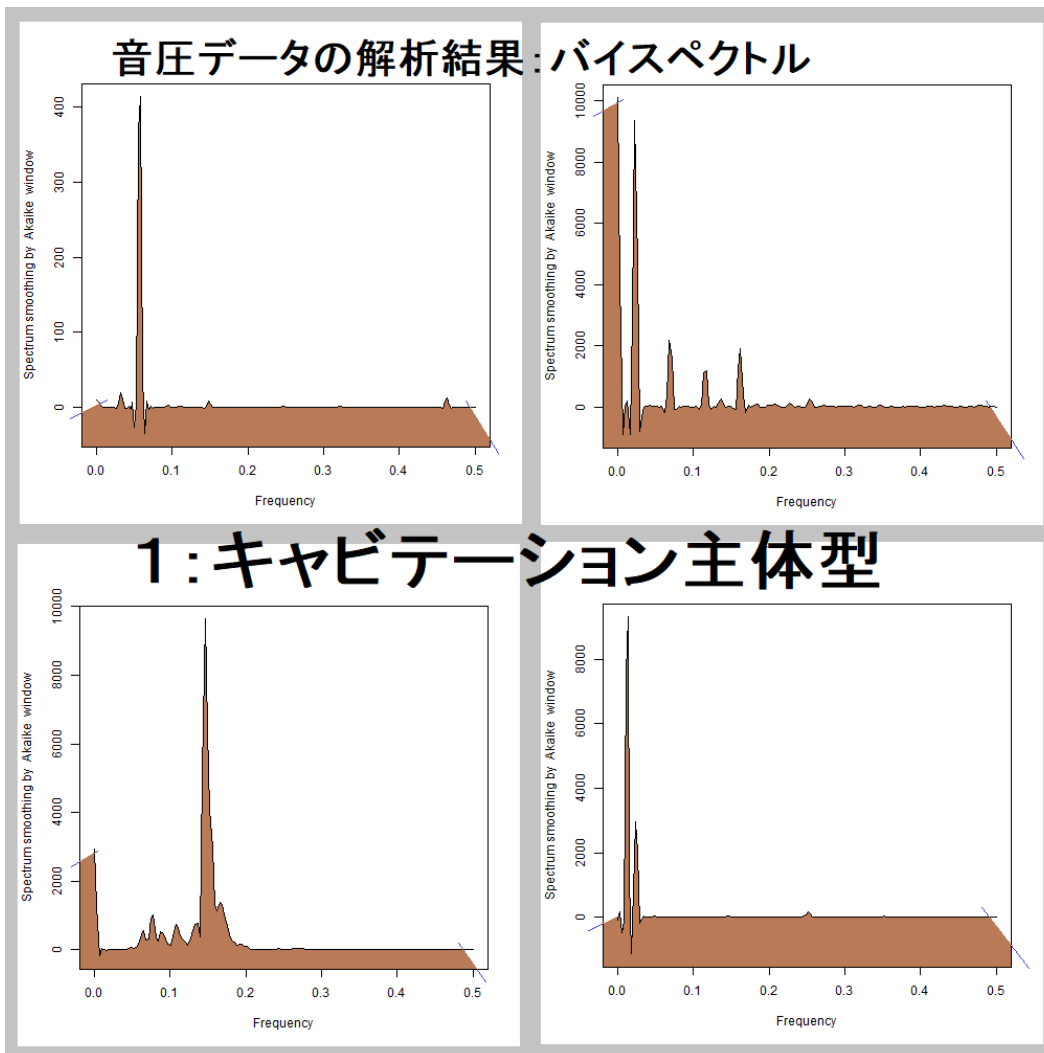
超音波の発振周波数に対して

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



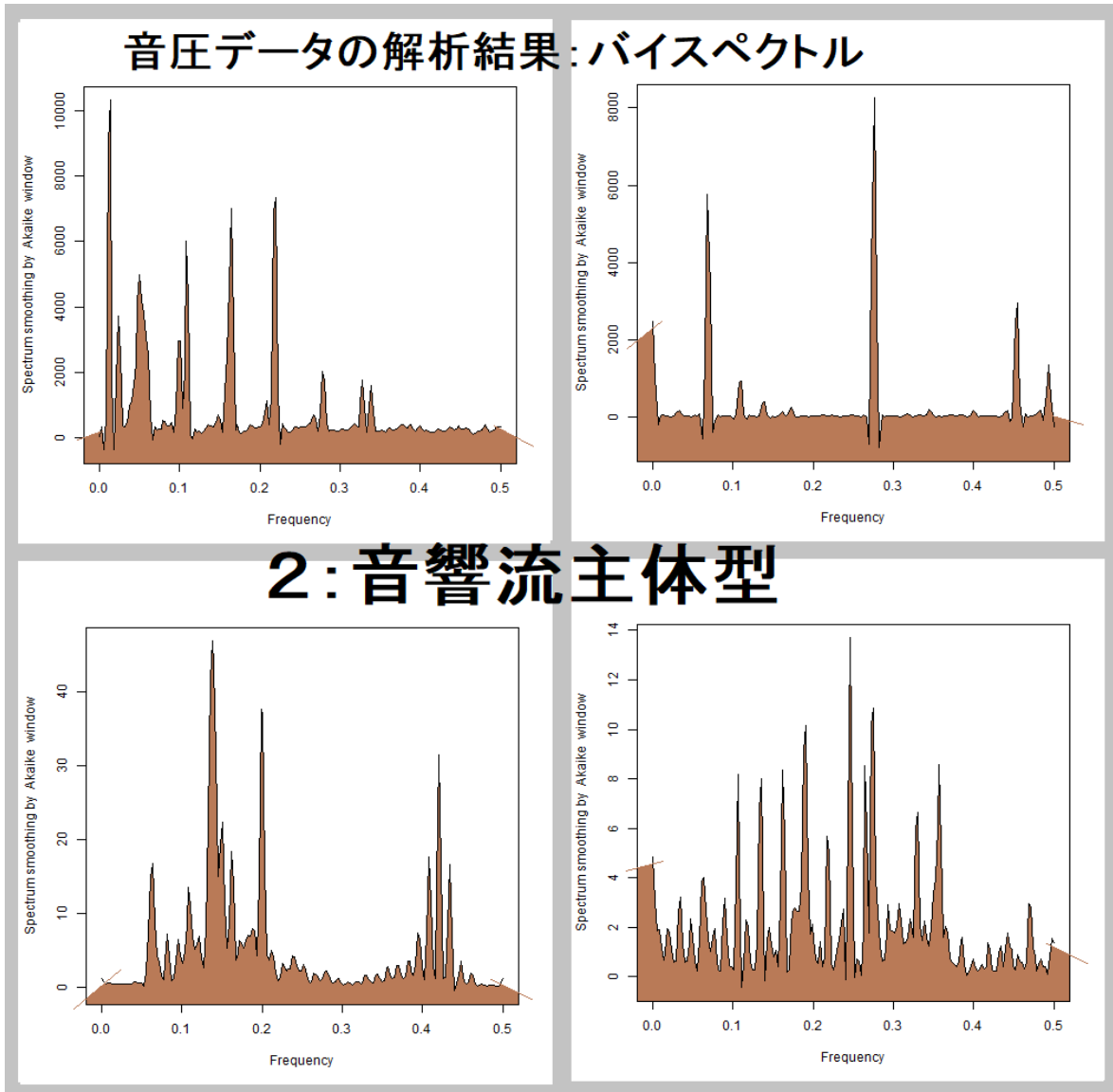
注：低調波（発振周波数の $1/8$ ）以下の場合

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・・・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

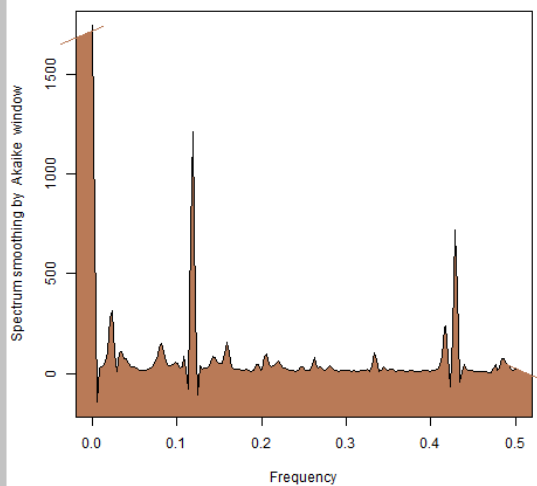
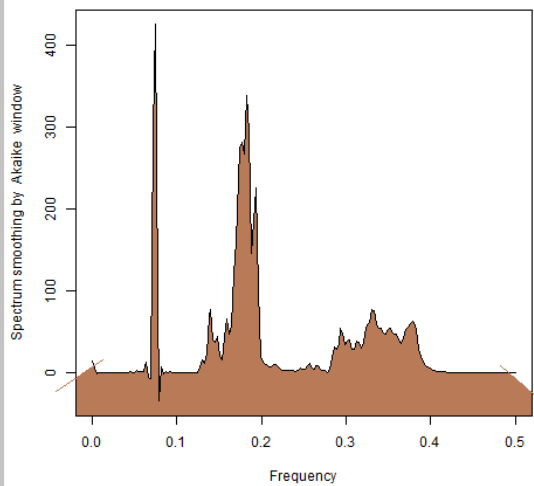
伝搬状態の主要（最大エネルギー）周波数が

低調波（発振周波数の $1/8$ 、 $1/4$ 、あるいは $1/2$ ）

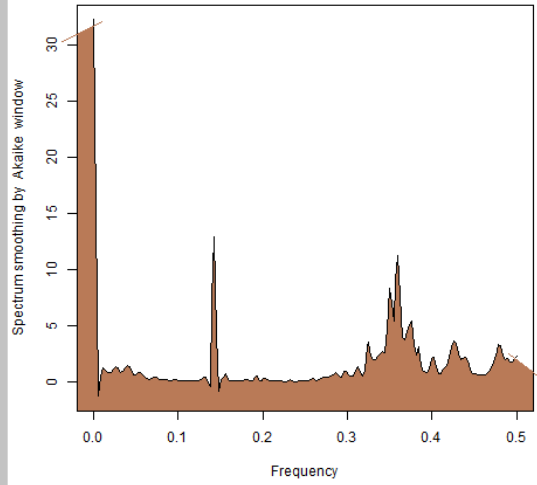
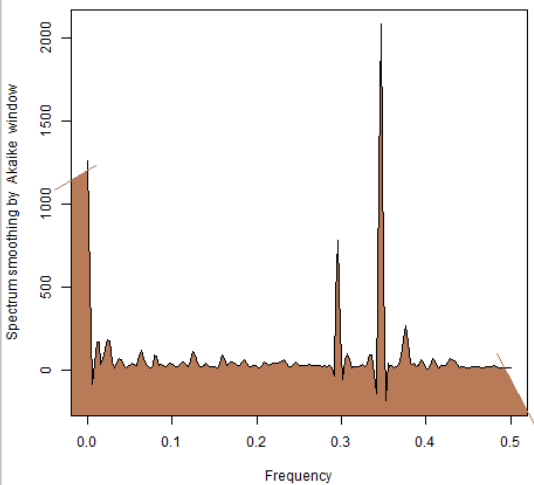
から高調波（発振周波数の1倍、・・・10倍）の範囲で

自然に発生する、大きな変化がある状態

音圧データの解析結果：バイスペクトル



3：ミックス型



コメント

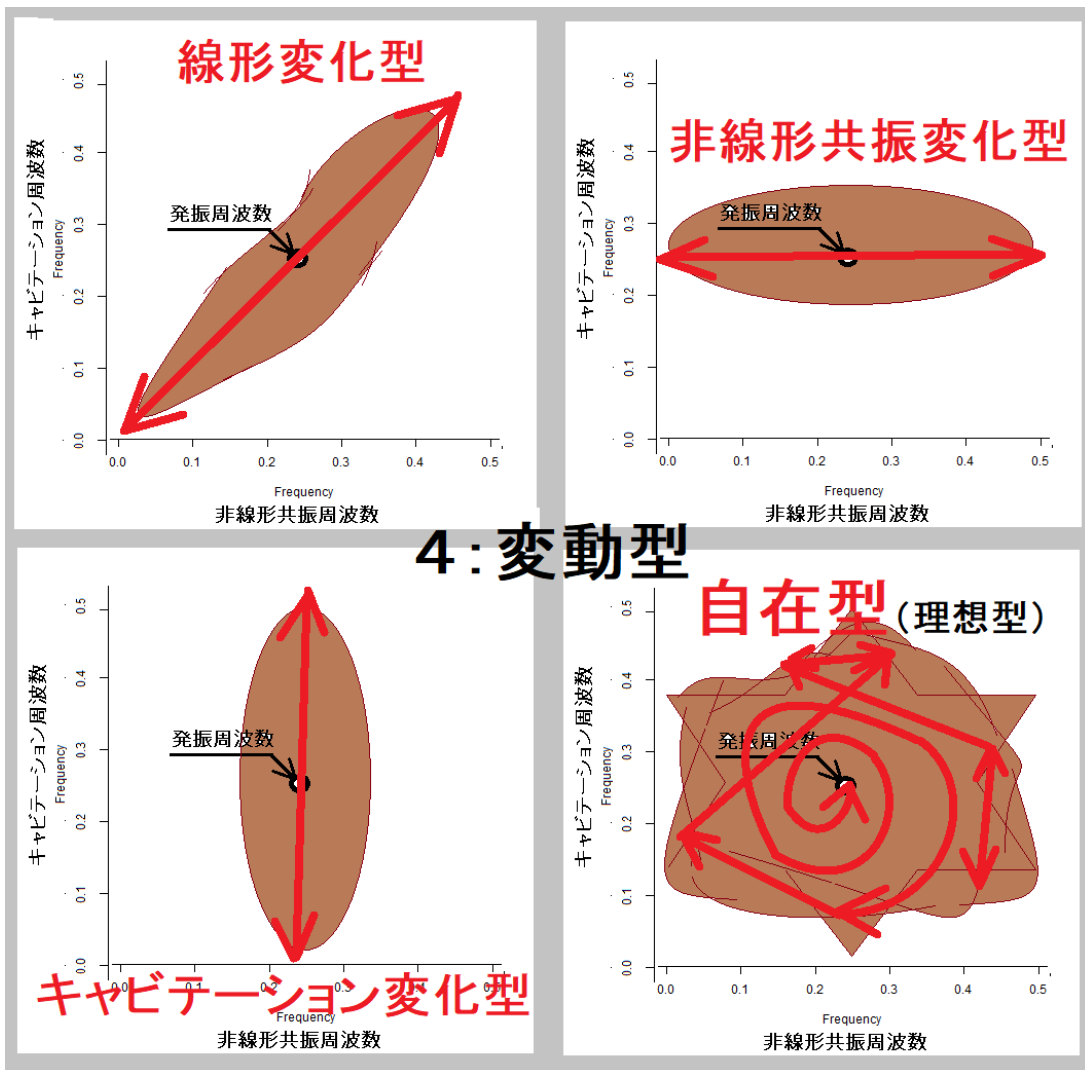
上記の1, 2, 3は、基本的な伝搬状態ですが
振動現象が、安定して長時間同じ現象を続けるためには
各種制御・工夫が必要です

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

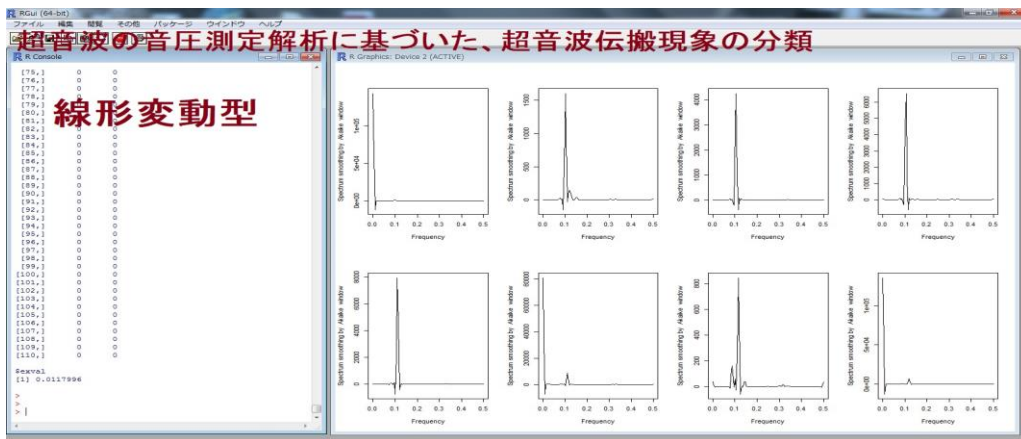
下記分類にある状態を利用することが実用的です



4 : 変動型 (各種制御による変化を利用するタイプ)

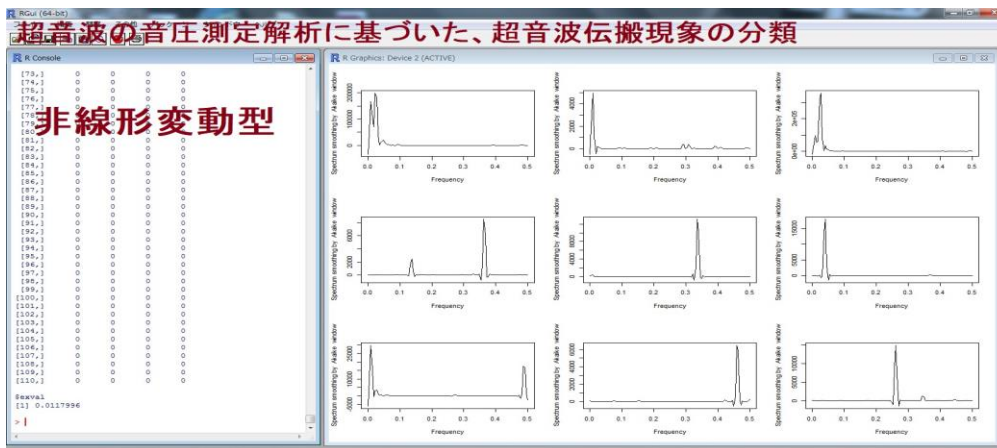
4-1 : 線形変動型

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 $1/8 \sim 10$ 倍程度) で
制御可能にした状態



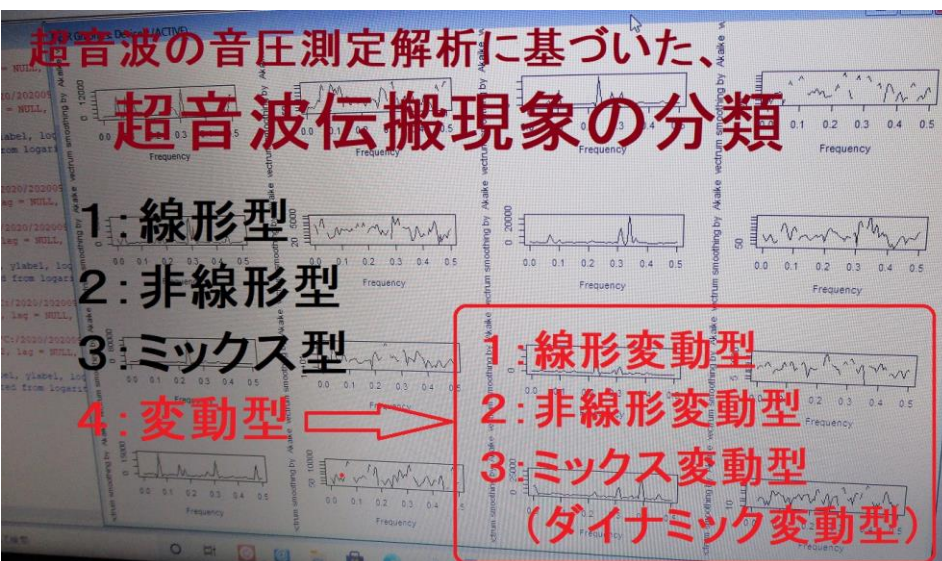
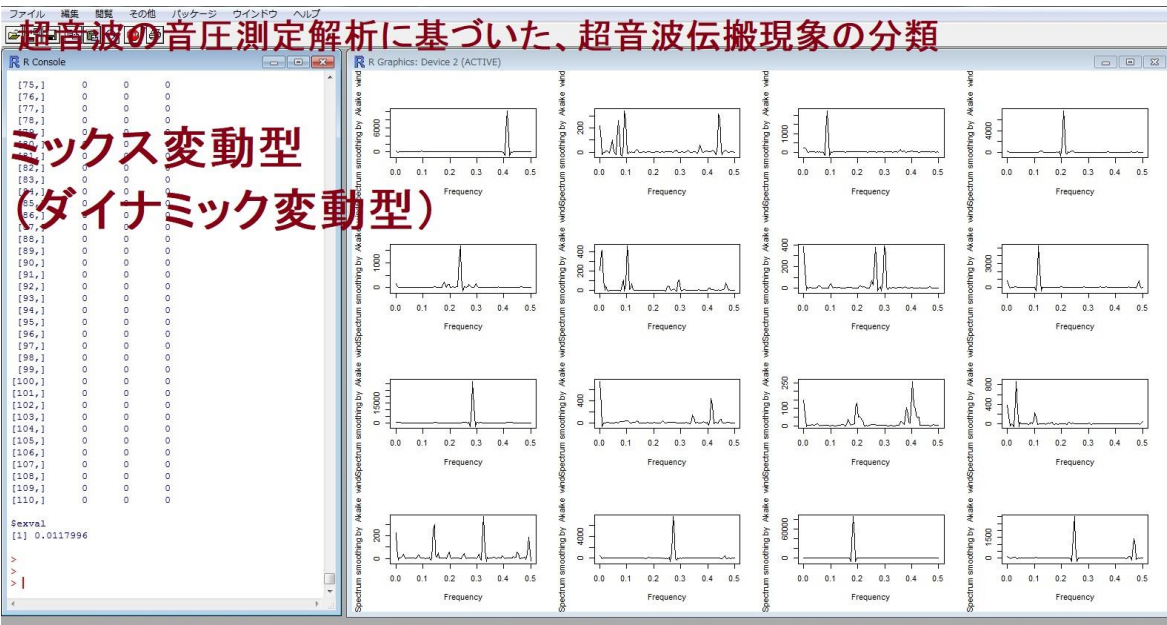
4-2 : 非線形変動型

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 ~ 100 倍程度) で
制御可能にした状態





相互作用の観察

ファインバブルを利用した超音波洗浄機

<http://ultrasonic-labo.com/?p=11902>

対象物の振動モードに合わせた、超音波制御技術

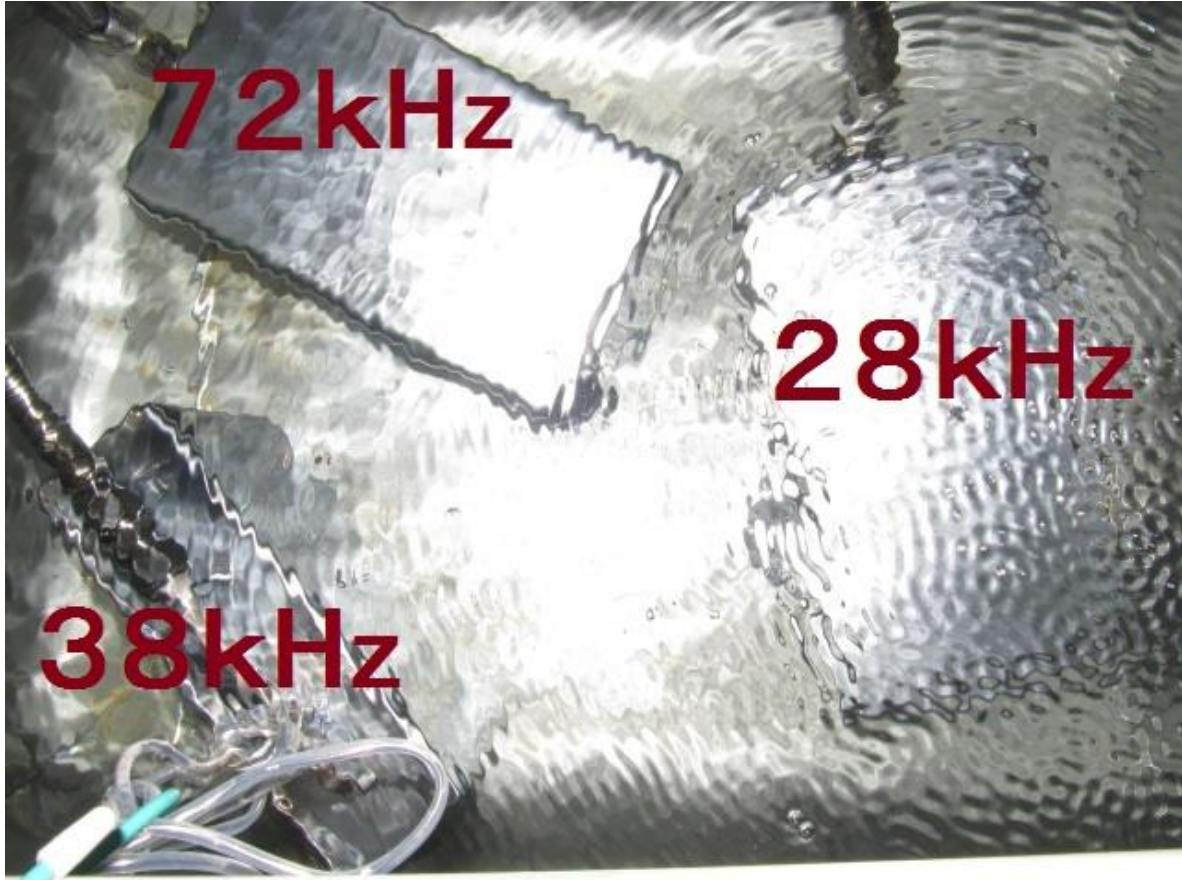
<http://ultrasonic-labo.com/?p=17837>

超音波の<音圧計測・実験・解析・評価>（出張）サービス

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15402>

超音波出力の最適化技術 1

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



3種類の超音波照射

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

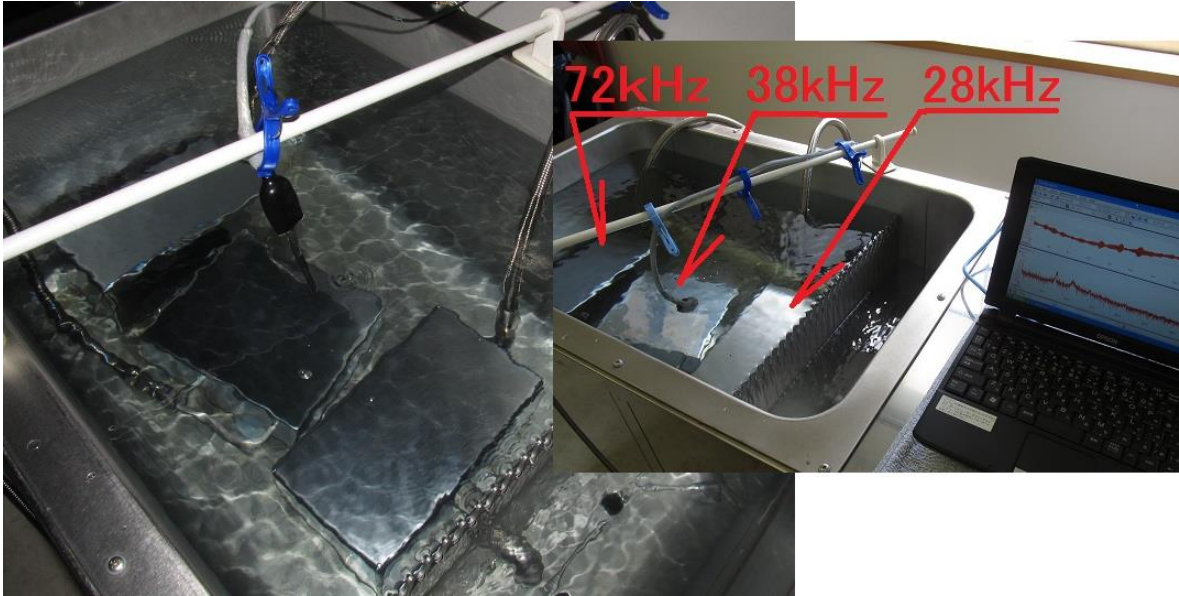
<http://ultrasonic-labo.com/?p=15785>

超音波洗浄ラインの超音波伝搬特性を解析・評価する技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2878>

超音波洗浄機の音圧計測

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16509>



超音波の最適化技術 2

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

超音波伝搬現象の分類

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

超音波の音圧測定解析に基づいた、超音波伝搬現象の分類

<http://ultrasonic-labo.com/?p=10013>

超音波による表面検査技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17135>

超音波発振システム（1MHz、20MHz）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=18817>

超音波制御技術

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



超音波（キャビテーション・音響流）の分類

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17231>

超音波洗浄について

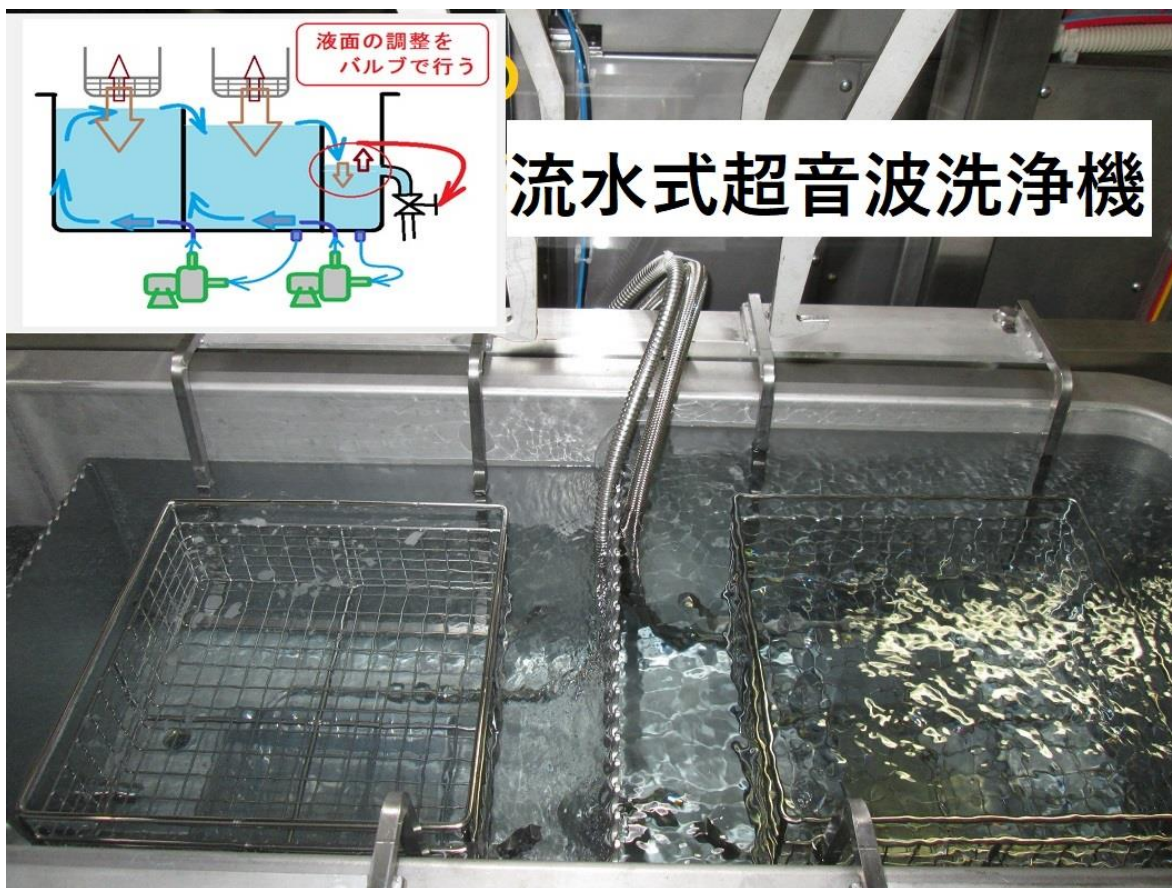
<http://ultrasonic-labo.com/?p=15233>

超音波を利用した「振動計測技術」

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

モノイド圏モデルを利用した超音波制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=9692>



超音波利用実績の公開

<http://ultrasonic-labo.com/?p=13404>

超音波めっき技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=3272>

メガヘルツの超音波発振制御プローブの製造技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15357>

オリジナル超音波実験

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17799>



超音波加工技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17796>

音と超音波の組み合わせ技術

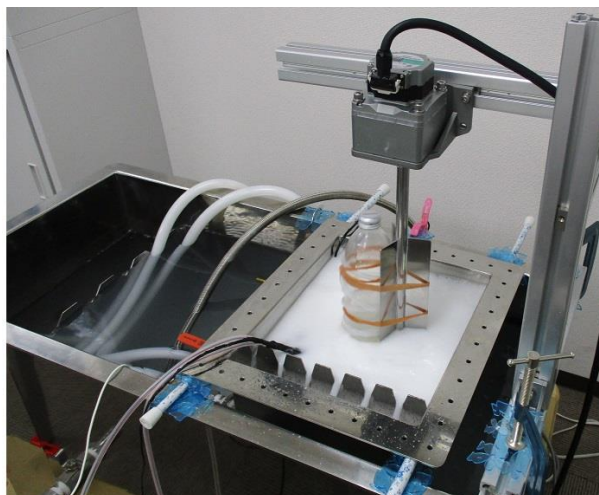
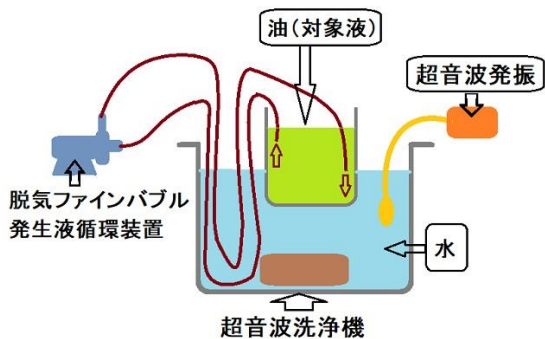
<http://ultrasonic-labo.com/?p=17590>

オリジナル超音波プローブ

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17742>

非線形振動現象のコントロール技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17418>



超音波による、ナノレベルの攪拌・乳化・分散・粉碎技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17339>

複数の超音波発振制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15848>

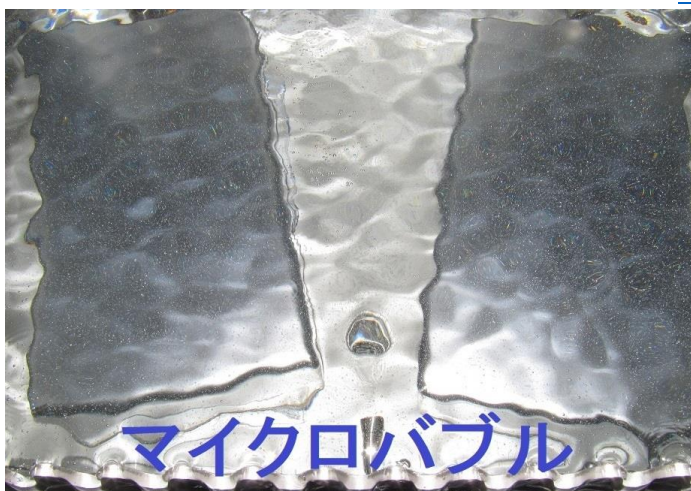
超音波発振による相互作用

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17204>

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。

【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



以上