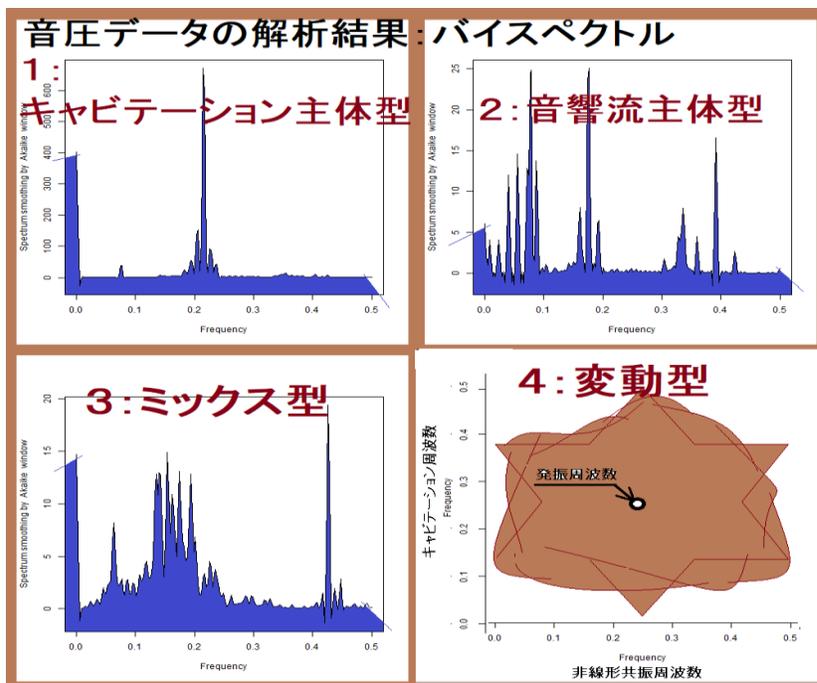


超音波の分類に基づいた制御技術

超音波システム研究所 齊木和幸

○研究の背景

超音波による振動現象はダイナミックに変化している。
特に複数の振動モードを適切にコントロールすることで、
非線形現象による高調波が発生し、各種の主要効果として実用化されている。
従って、超音波の時間経過に伴う振動現象の測定解析が必要である。
そのために、音圧測定解析システムを開発し、
測定データの解析に基づいて超音波分類を実現した。



超音波(キャビテーション・音響流)の分類

図 1: 超音波の分類

○研究の目的

超音波利用の経験から、超音波の分類において
ダイナミックな変化による特徴の分類と制御技術の開発の必要性を感じた。
そこで、超音波のダイナミック特性の分類に基づいて、
超音波利用目的に合わせたダイナミック制御技術の開発を目的とした。

○構成

- 1) 研究の手法 超音波の音圧測定装置 (超音波テスター)
- 2) 超音波の音圧データ解析
- 3) 超音波の分類

1) 研究の手法

超音波のダイナミック特性(非線形現象)に関して
超音波の伝搬状態を明確(数値、グラフ)にすることで、超音波の効果と伝搬状態の関係を調べる。
そのために、超音波の測定解析が容易にできる
超音波テスターNA(オシロスコープ 200MHz タイプ (超音波システム研究所オリジナル製品))を利用した。

システム概要(超音波テスターNA200MHz タイプ)

1-1. 内容

超音波洗浄機の音圧測定専用プローブ 1本
超音波測定汎用プローブ 1本
オシロスコープセット 1式
(・帯域幅(-3dB):200MHz ・最大サンプリングレート:1G サンプル/s)
解析ソフト・説明書・各種インストールセット 1式

1-2. 特徴(標準的な仕様)

- * 測定(解析)周波数の範囲 仕様 0.1Hz から 200MHz
- * 超音波発振 仕様 1Hz から 1MHz
- * 表面の振動計測が可能
- * 24時間の連続測定が可能
- * 任意の2点を同時測定
- * 測定結果をグラフで表示
- * 時系列データの解析ソフトを添付

超音波プローブによる測定システム。

超音波洗浄機の音圧測定専用プローブを水槽に入れて音圧測定を行う。
測定したデータについて、位置・状態・弾性波動を考慮した解析で、各種の音響性能として検出。



写真1：超音波テスターNA (オシロスコープ 100MHz タイプ)

2) 超音波の音圧測定データ解析

2-1) 時系列データに関して、

多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析により

測定データの統計的な性質（超音波の安定性・変化）について解析評価

2-2) 超音波発振による、発振部が発振による影響を

インパルス応答特性・自己相関の解析により

対象物の表面状態・・・に関して超音波振動現象の応答特性として解析評価

2-3) 発振と対象物（洗浄物、洗浄液、水槽・・・）の相互作用を

パワー寄与率の解析により評価

2-4) 超音波の利用（洗浄・加工・攪拌・・・）に関して

超音波効果の主要因である対象物（表面弾性波の伝搬）

あるいは対象液に伝搬する超音波の

非線形（バイスペクトル解析結果）現象によりダイナミック特性を解析評価

この解析方法は、

複雑な超音波振動のダイナミック特性を

時系列データの解析手法により、超音波の測定データに適応させる

これまでの経験と実績に基づいて実現している。

注：解析には下記ツールを利用する

注：OML、TIMSAC、「R」フリーな統計処理言語かつ環境

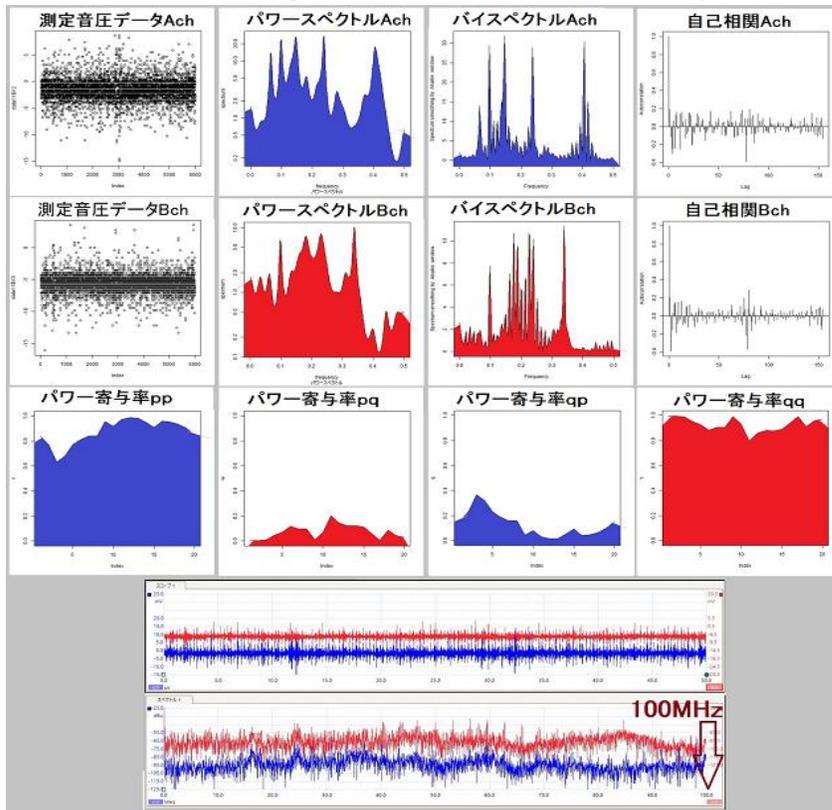


図2：音圧測定解析

バイスペクトル解析について

バイスペクトルは、以下のように

周波数 f_1 、 f_2 、 $f_1 + f_2$ のスペクトルの積で表すことができる。
 $B(f_1, f_2) = X(f_1)Y(f_2)Z(f_1 + f_2)$

主要周波数が f_1 であるとき、

$f_1 + f_1 = f_2$ 、 $f_1 + f_2 = f_3$ で表される

f_2 、 f_3 という周波数成分が存在すれば、バイスペクトルは値をもつ。

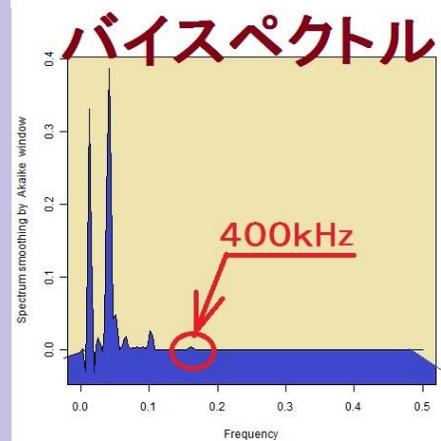
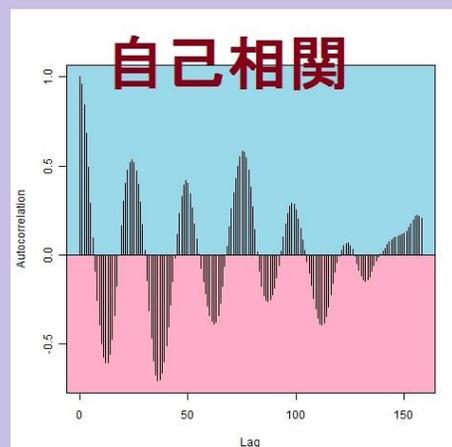
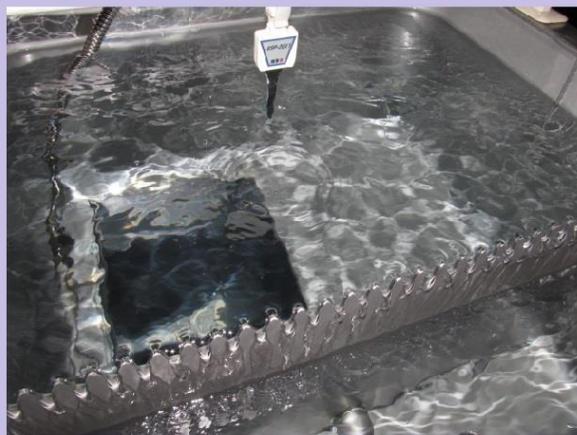
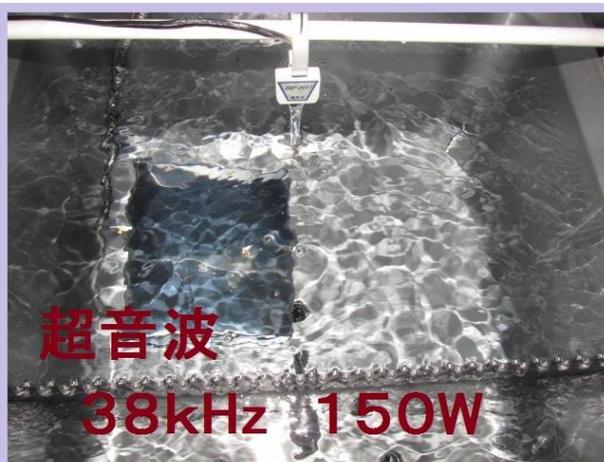
これは主要周波数 f_1 の

整数倍の周波数成分を持つことと同等であるので、

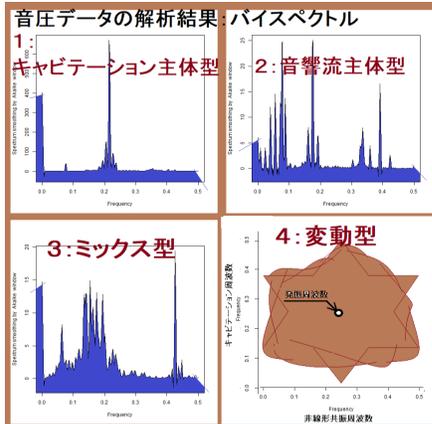
バイスペクトルを評価することにより、高調波の存在を評価できる。

フリーな統計処理言語かつ環境「R」のバイスペクトル解析プログラム

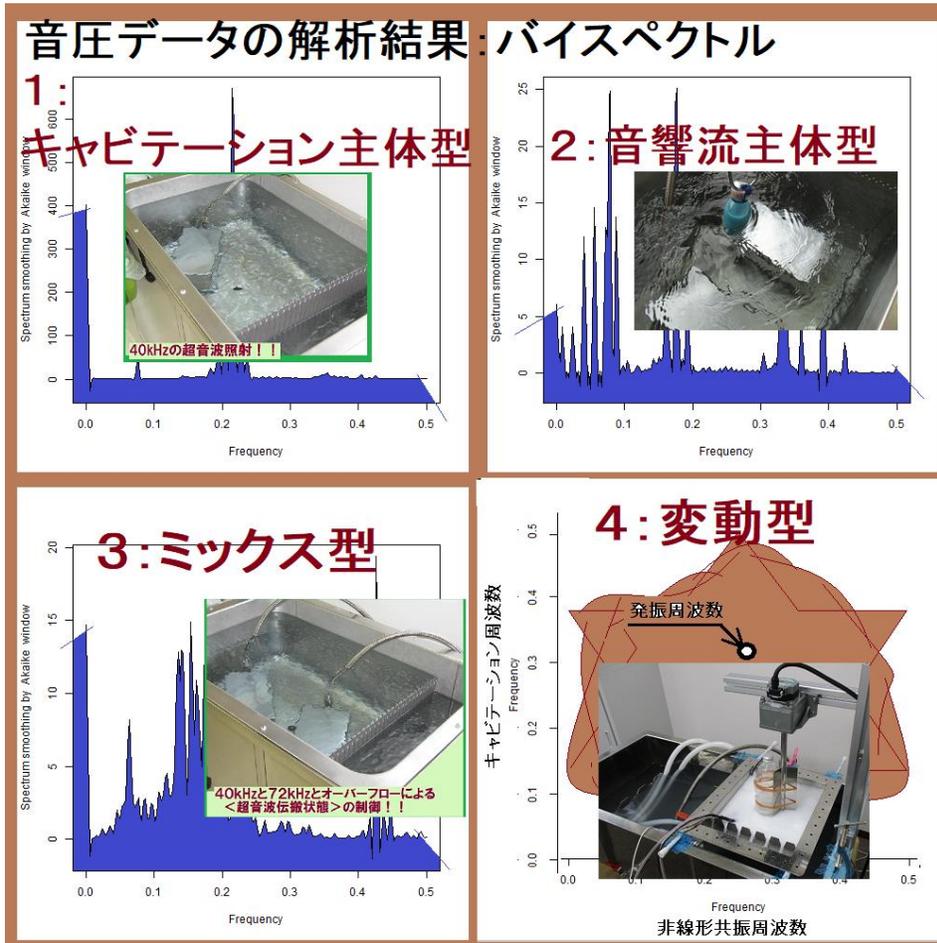
```
data <- read.table("音圧測定データ.csv") ; データの読み込み  
bispec( data$V2 ) ; バイスペクトル解析
```



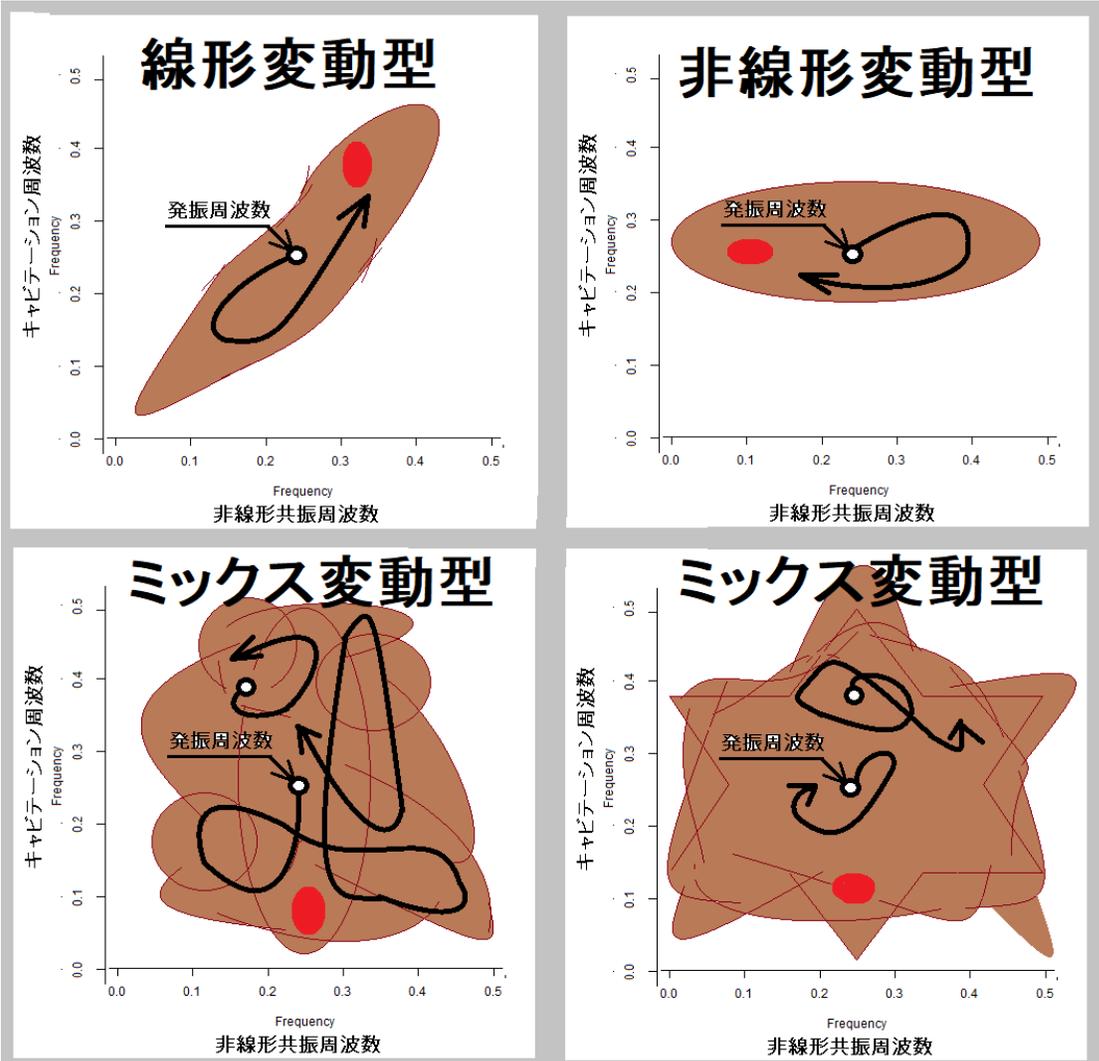
3) 超音波の分類



超音波(キャビテーション・音響流)の分類

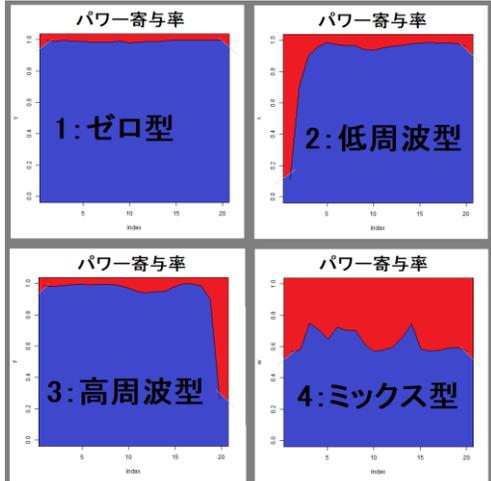


超音波(キャビテーション・音響流)の分類

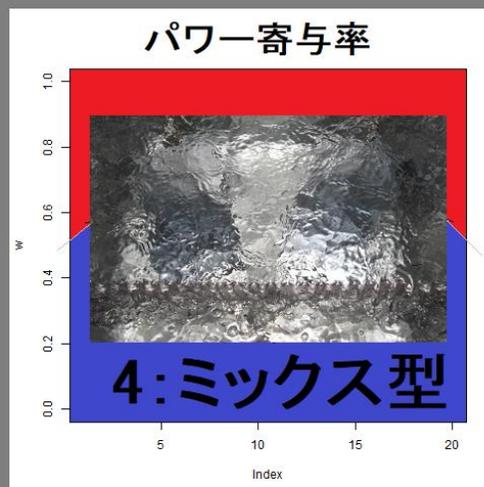
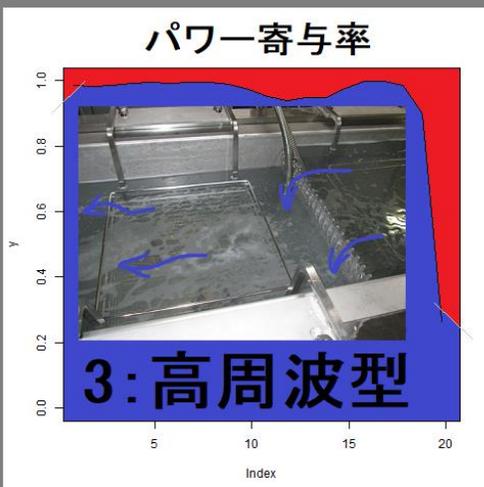
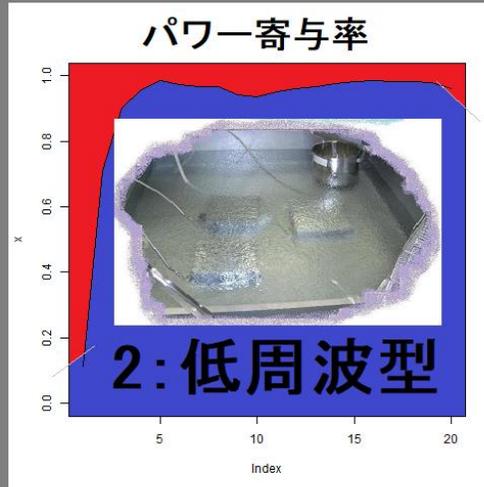
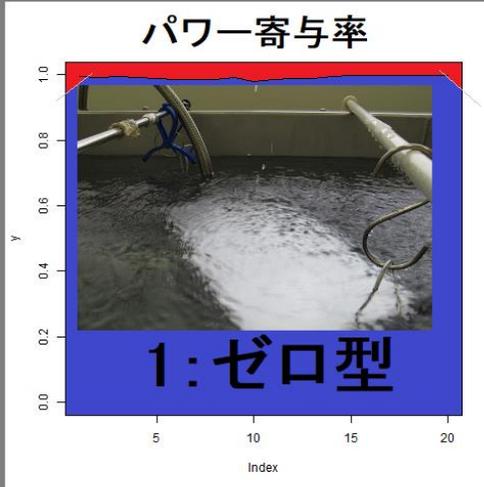


〜 スイープ発振 ● パルス発振

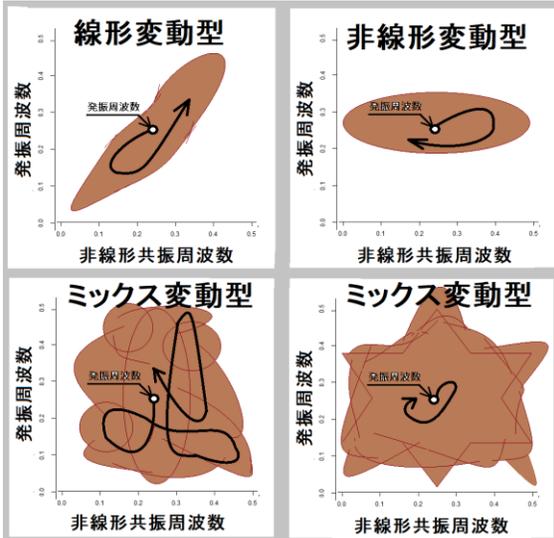




<超音波による相互作用の分類>



<超音波による相互作用の分類>

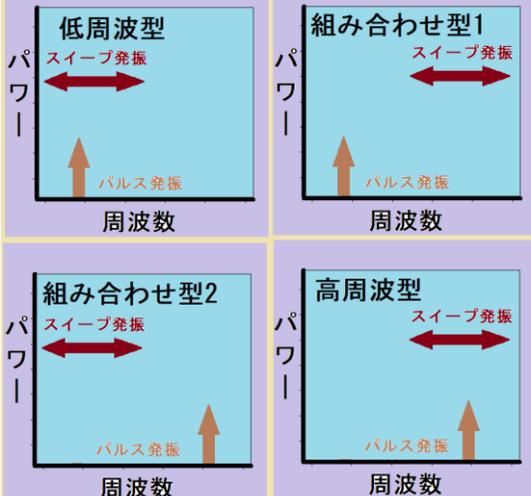


超音波伝搬特性による、超音波プローブの分類



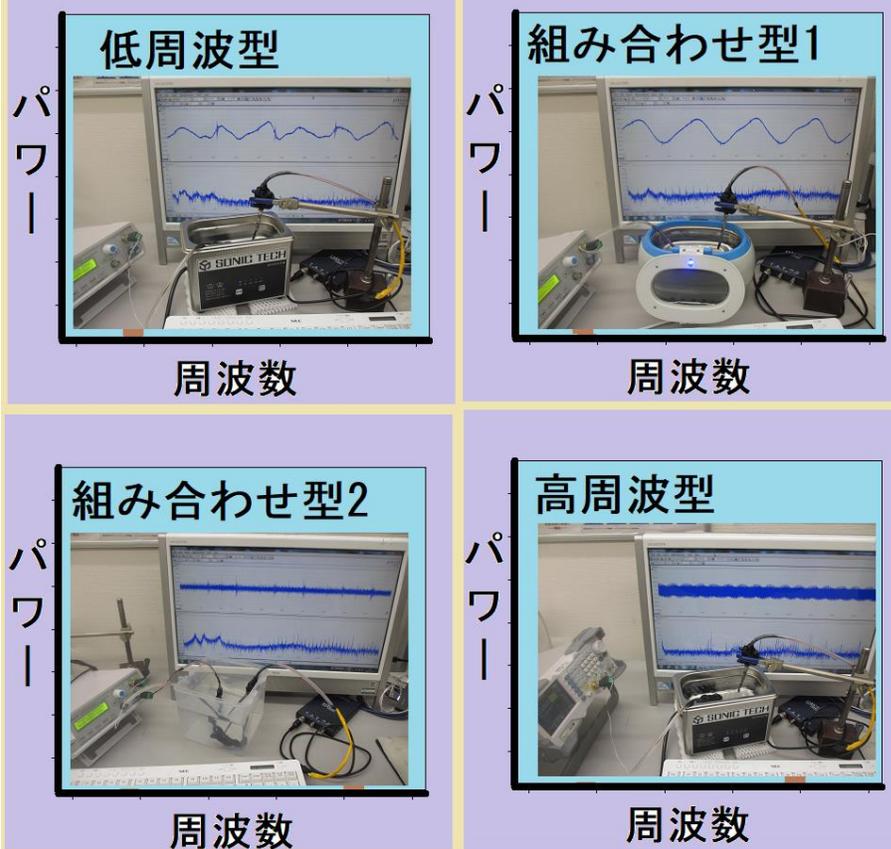
超音波伝搬特性による、超音波プローブの分類

超音波の非線形現象をコントロールする技術



スイープ発振とパルス発振の分類

超音波の非線形現象をコントロールする技術



スイープ発振とパルス発振の分類

超音波の伝搬特性

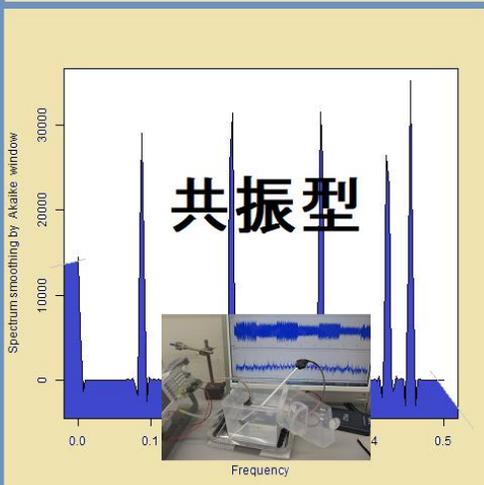
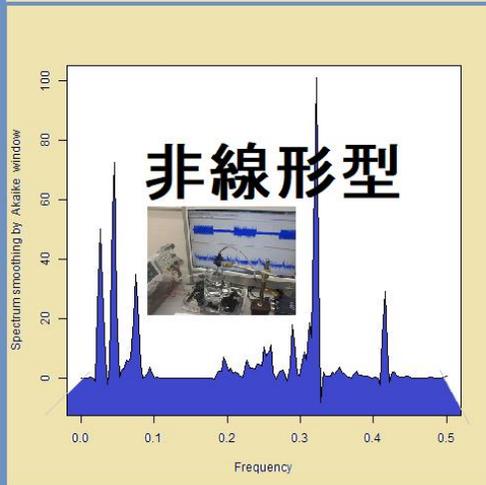
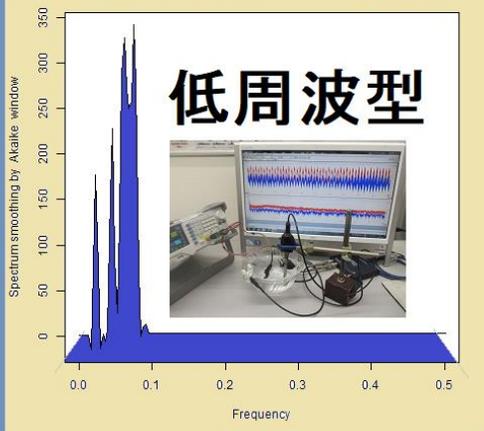
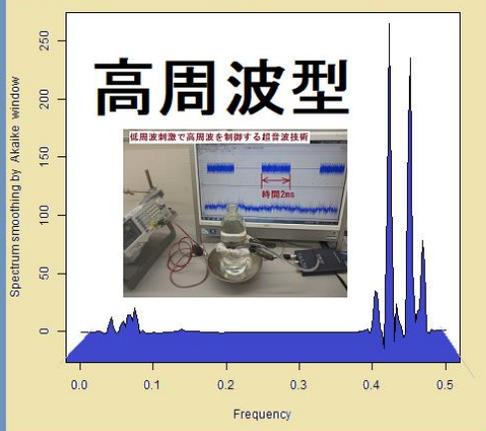
- 1) 振動モードの検出 (自己相関の変化)
- 2) 非線形現象の検出 (バースペクトルの変化)
- 3) 応答特性の検出 (インパルス応答の解析)
- 4) 相互作用の検出 (パワー寄与率の解析)

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: バースペクトルの解析関数
nlmar: インパルス応答の解析関数
mulnos: パワー寄与率の解析関数

超音波の伝搬特性

音圧データ解析: バースペクトルの変化に基づいた分類



超音波伝搬特性

参考

超音波「音圧測定解析装置（超音波テスターNA）」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1722>

超音波発振制御システム（20MHz）

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

超音波システム（音圧測定解析、発振制御）の利用技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16477>

超音波の相互作用を評価する技術1

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1478>

超音波の相互作用を評価する技術2

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

<統計的な考え方>を利用した「超音波技術」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=3270>

洗浄液と水槽表面に伝搬する超音波の相互作用

<http://ultrasonic-labo.com/?p=4787>

AIC（情報量規準）を利用した超音波技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1074>

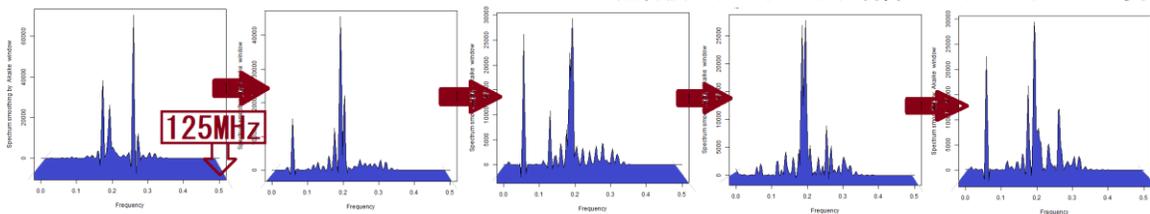
超音波伝搬状態の測定・解析・評価システム

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

超音波振動子のファンクションジェネレーター発振

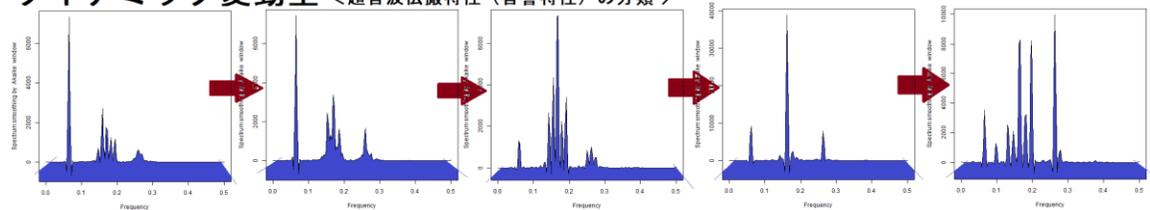
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1179>

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：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