

# 音圧測定・解析に基づいた、超音波のコントロール技術

——超音波データの統計数理(R言語・環境による解析)——

2023. 12. 5 超音波システム研究所

超音波システム研究所は、

多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析技術を応用した、

**超音波伝搬状態の「測定・解析・制御・評価技術」**を開発しました。

超音波テスターと超音波発振制御プローブを利用したこれまでの計測・解析結果(注)を、洗浄・攪拌・検査・加工の効果として整理することで、目的に適した超音波の状態を示す新しい評価基準(パラメータ)を開発しました。

注：非線形特性 応答特性 ゆらぎの特性 相互作用による影響

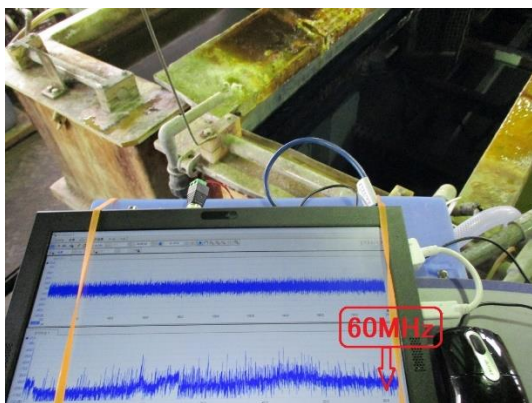
統計数理の考え方を参考に

対象物の音響特性・表面弾性波を考慮した

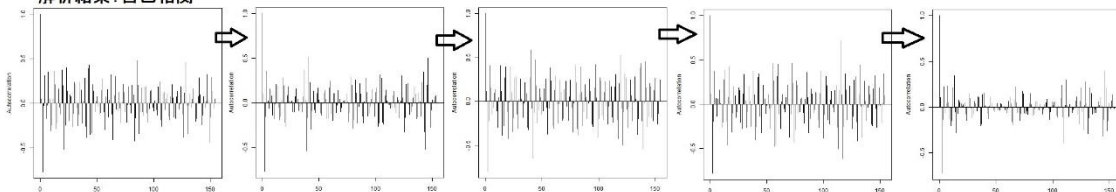
オリジナル測定・解析手法を開発することで

振動現象に関する、詳細な各種効果の関係性について、

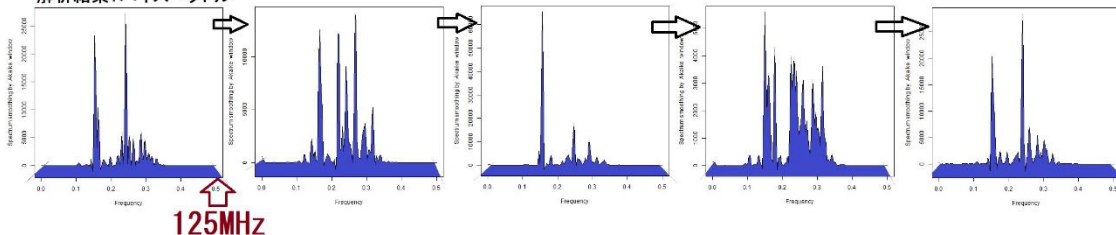
新しい理解を深めています。



解析結果：自己相関



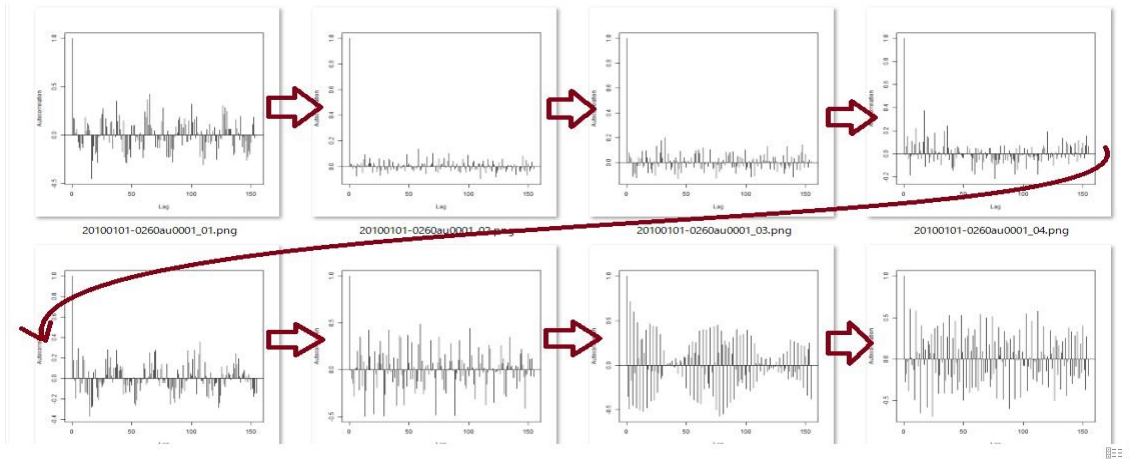
解析結果：バイスペクトル



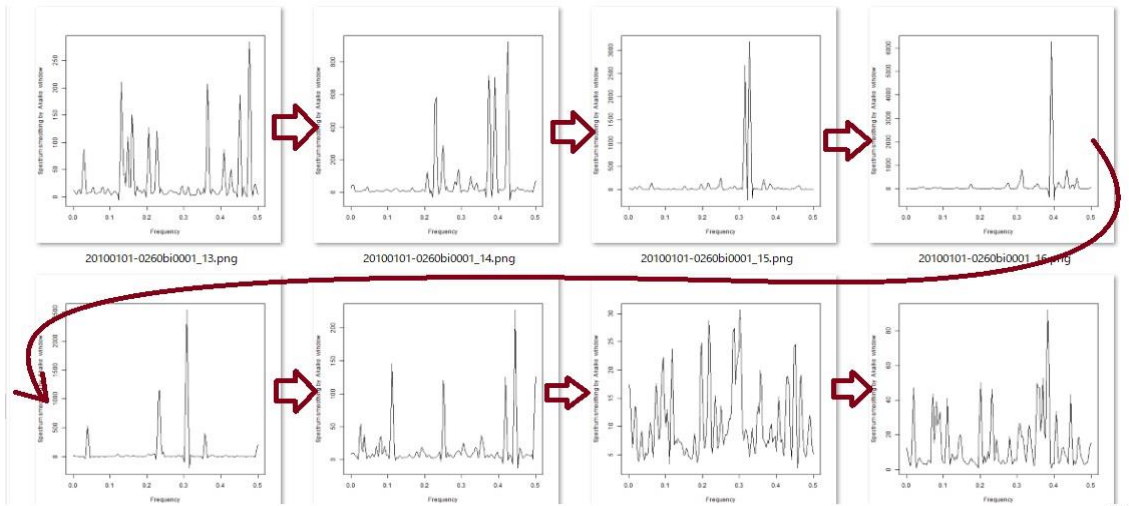
その結果、超音波の伝搬状態と対象物の表面について  
非線形パラメータ(注)が大変有効である事例を確認しています。

注: バイスpekトルの変化 自己相関の変化

特に、洗浄・加工・表面処理効果に関する評価事例・・・  
解析結果に基づいた、制御・改善・・・が実現しています。



## 超音波のダイナミック制御 自己相関の変化



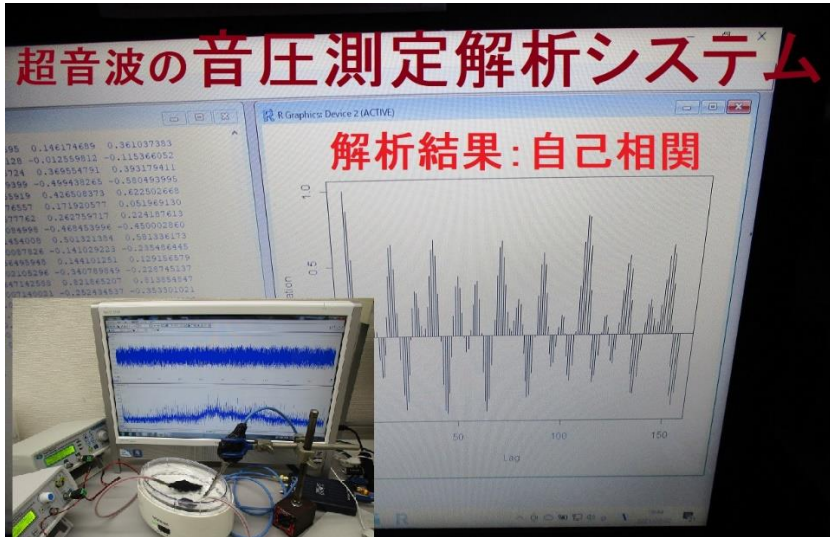
## 超音波のダイナミック制御 バイスペクトルの変化

## <統計的な考え方について>

統計数理には、抽象的な性格と具体的な性格の二面があり、  
具体的なものとの接触を通じて

抽象的な考えあるいは方法が発展させられていく、

これが統計数理の特質である 科学の中の統計学 赤池 弘次 (編集)より



## <参考>

以下の書籍添付のプログラムを参考にして開発・作成した

オリジナルソフト(解析システム)を

オープンソースの統計解析システム「R」で、実行・解析しています

## 生体のゆらぎとリズム コンピュータ解析入門:和田孝雄/著:講談社

赤池モデルを臨床にいかす画期的な解説書。

1/fゆらぎ解析に必須かつ難解な赤池モデルと、

臨床への応用を懇切丁寧に解説。

生体のダイナミクスに関心をもち臨床データ解析に携わる医学者・工学者待望の書

内容(「MARC」データベースより)

<CD-ROM 付き>生体のゆらぎとリズムの時系列解析への入門。

第一線の研究者である著者が、

経験した者だけが知る様々な困難点について、

他に類例のないユニークな視点から細部の議論を展開する。

## インパルス応答

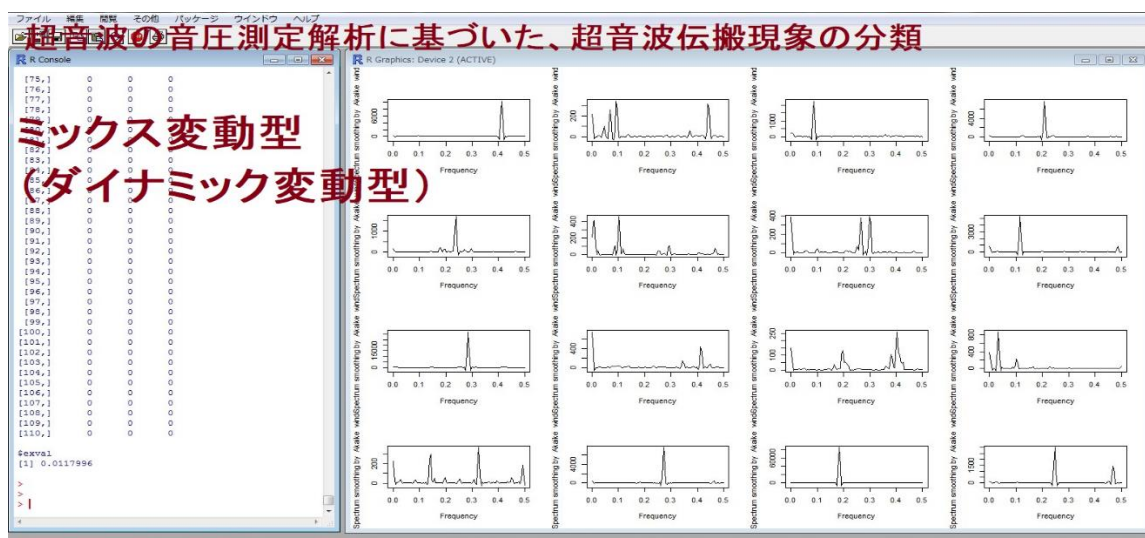
(時間領域での伝達特性:ラプラス変換するとS領域での伝達特性)

## 周波数伝達関数

(周波数領域での伝達特性)

## 超音波の音圧測定解析

超音波システム研究所は、  
多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析技術を応用した、  
「超音波の伝搬状態を測定・解析・評価する技術」を利用して  
利用目的に合わせた、超音波プローブの特性を確認評価しています。



### <<超音波の音圧データ解析・評価>>

- 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  
解析評価します
- 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します
- 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します
- 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  
超音波のダイナミック特性を解析評価します

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ます。



注: 解析には下記ツールを利用します

注: OML(Open Market License)

注: TMSAC(TIME Series Analysis and Control program)

注: 「R」フリーな統計処理言語かつ環境

## 超音波プローブの伝搬特性

- 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

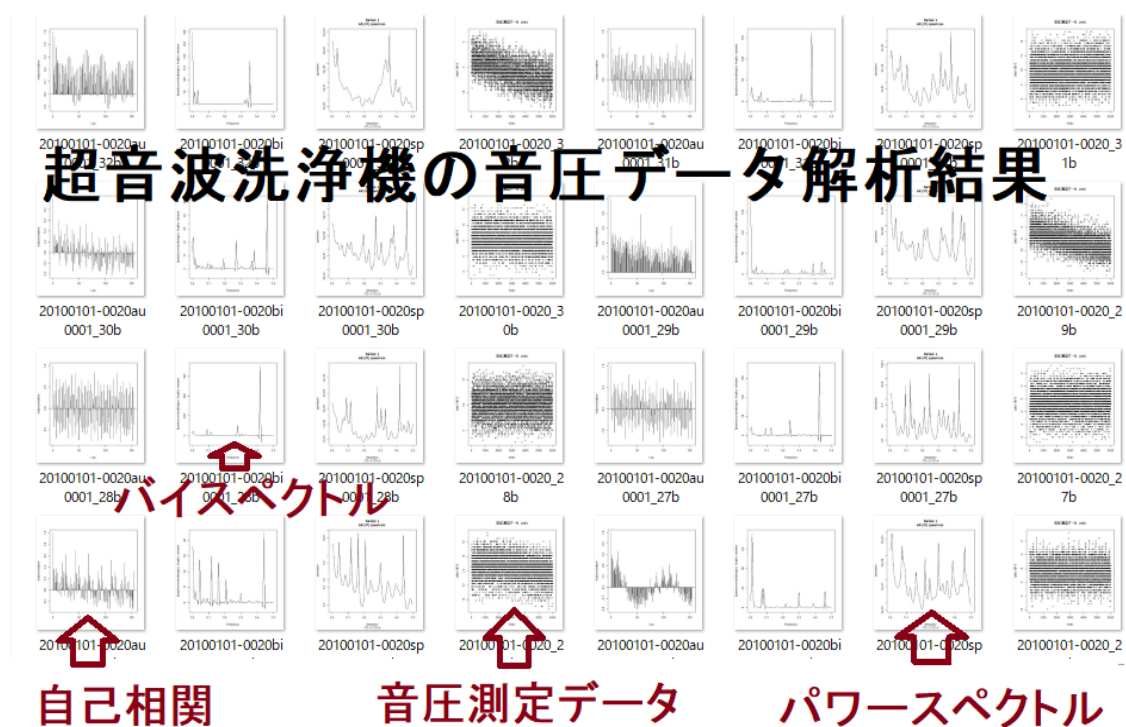
mulmar: インパルス応答の解析関数

mulnos: パワー寄与率の解析関数

参考 <https://youtu.be/beEY713KwNo>

音圧測定・解析に基づいた、超音波のコントロール技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15028>



## <<超音波システム>>

超音波の音圧測定解析システム(オシロスコープ 100MHz タイプ)

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17972>

超音波の音圧測定解析システム「超音波テスターNA」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16120>

統計的な考え方を利用した超音波

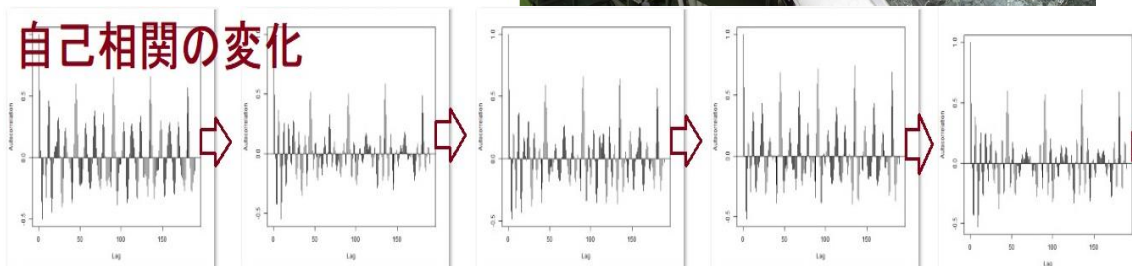
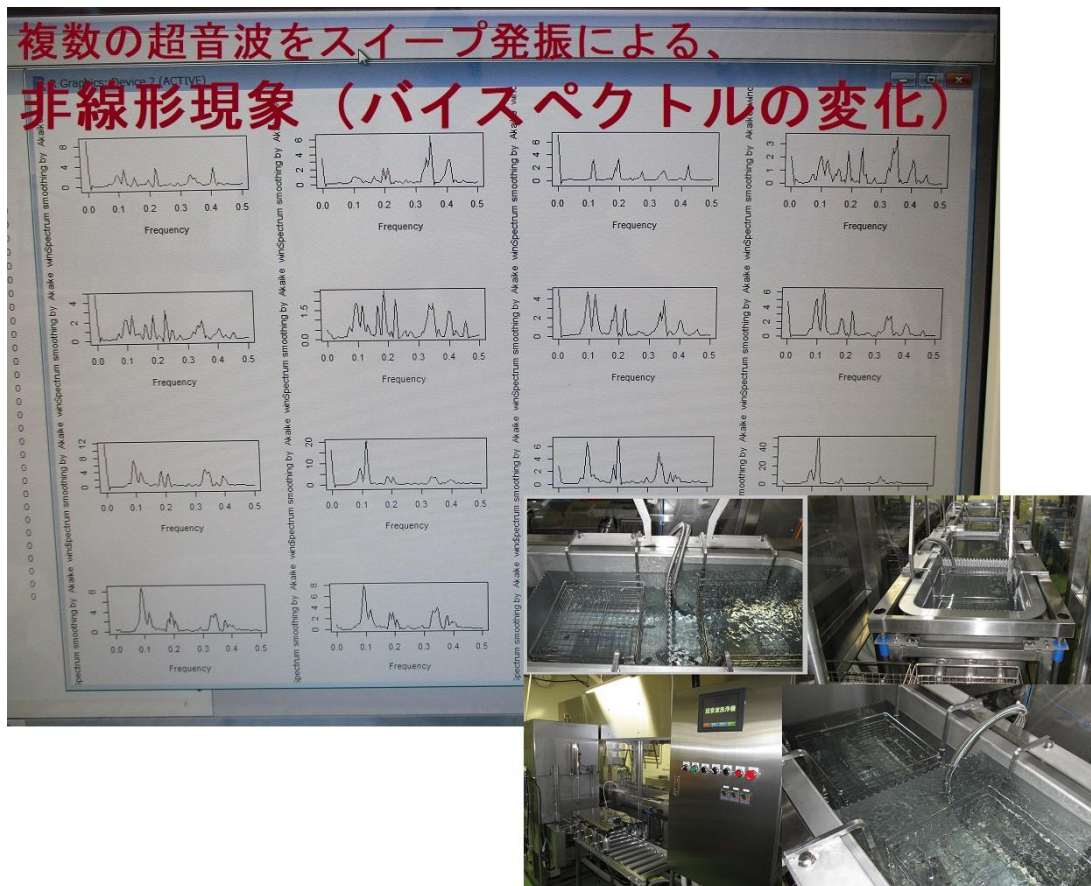
<http://ultrasonic-labo.com/?p=12202>

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>

超音波の非線形現象を評価する技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=13919>



## <<超音波技術>>

超音波の音圧測定・解析・発振制御システム

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

超音波発振システム(1MHz、20MHz)

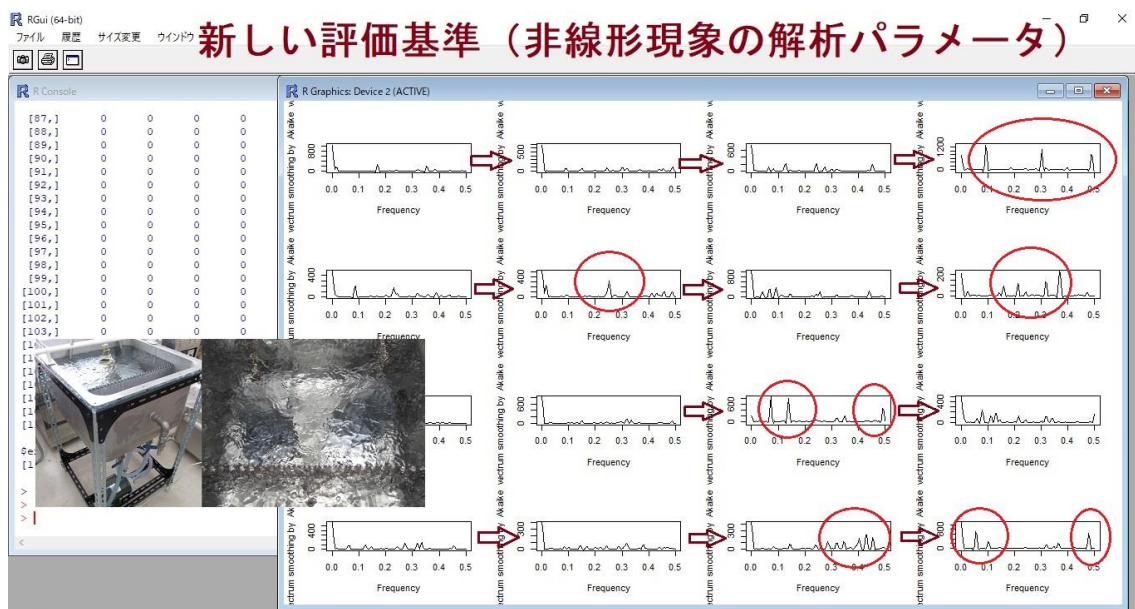
<http://ultrasonic-labo.com/?p=18817>

超音波システム(音圧測定解析、発振制御)

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

二種類の超音波プローブを発振制御する技術

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



2台のファンクションジェネレータの利用技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2295>

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

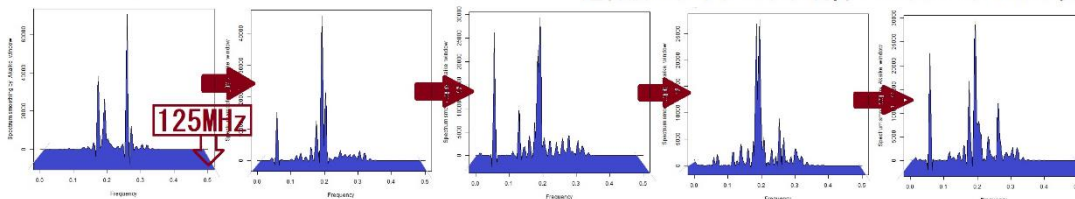
<http://ultrasonic-labo.com/?p=19422>

メガヘルツの超音波制御技術(洗浄、加工、攪拌、表面処理・・・)

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

### 線形変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

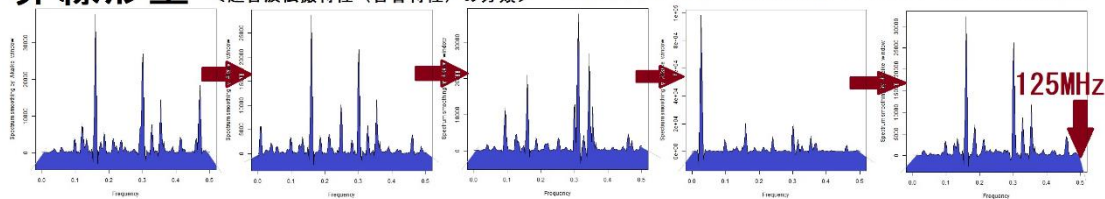
超音波のダイナミック制御：パイスpekトルの変化



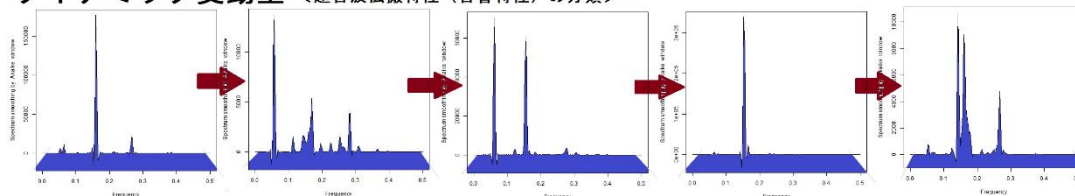
### 非線形型

<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



### ダイナミック変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>



超音波とファインバブルを利用した「めっき処理」技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=18093>

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>

参考書籍

#### 1:統計数理

1)叩いて超音波で見る—非線形効果を利用した計測

佐藤 拓宋 (著) 出版社: コロナ社 (1995/06)

2)電気系の確率と統計

佐藤 拓宋 (著) 出版社: 森北出版 (1971/01)

3)不規則信号論と動特性推定

宮川 洋 (著), 佐藤拓宋 (著), 茅 陽一 (著)

出版社: コロナ社 (1969)

4)赤池情報量規準 AIC—モデリング・予測・知識発見

赤池 弘次 (著), 室田 一雄 (編さん), 土谷 隆 (編さん)

出版社: 共立出版 (2007/07)

5)ダイナミックシステムの統計的解析と制御

赤池 弘次 (著), 中川 東一郎 (著) 出版社: サイエンス社(1972)



## 2: シミュレーション

「波動解析と境界要素法」

福井 卓雄 小林 昭一 京都大学学術出版会 (2000/03)

## 3: 弾性波動

「弾性波動論の基本」 田治米 鏡二 (著) 槇書店 (1994/10)

「弾性波動論」 佐藤 泰夫 (著) 岩波書店 (1978/03)

## 4: 流体力学

「内部流れ学と流体機械」 妹尾 泰利 (著) 養賢堂 (1973)

「流体力学」 日野 幹雄 (著) 朝倉書店 (1974/03)

「流体力学」 日野 幹雄 (著) 朝倉書店 (1992/12)

「噴流工学」 社河内敏彦 (著) 森北出版 (2004/03)

## 5: 超音波

「やさしい超音波工学—広がる新応用の開拓」

川端 昭 (編著), 高橋 貞行 (著) 一ノ瀬 昇 (著)

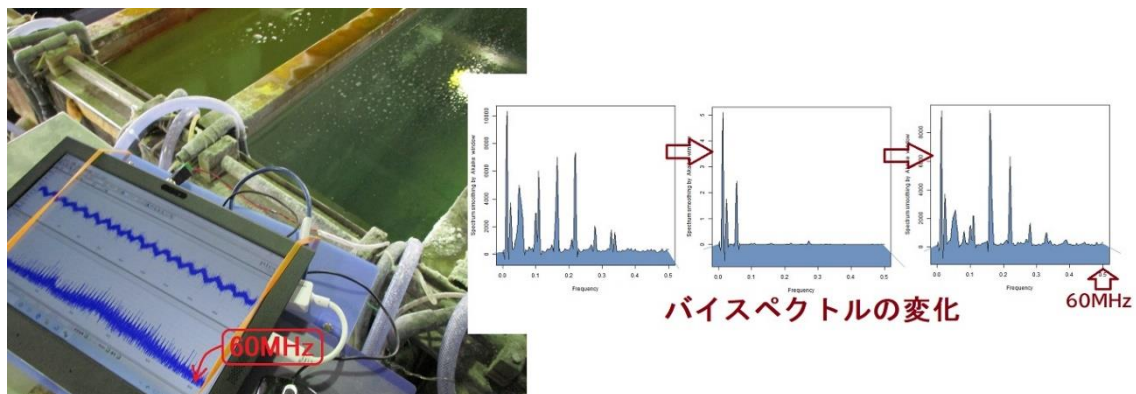
工業調査会 増補版 (1998/01)

## 6: 振動

「振動について」 リチャード・ビジョップ (著) 講談社 (1981)

## 7: コンストラクタル法則

「流れとかたち」 エイドリアン・ベジャン (著) 紀伊國屋書店 (2013)



以上