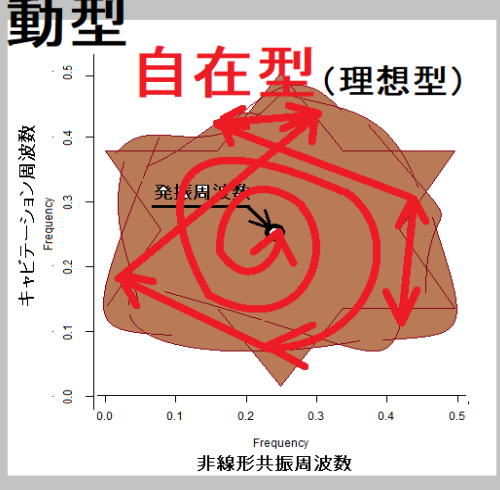
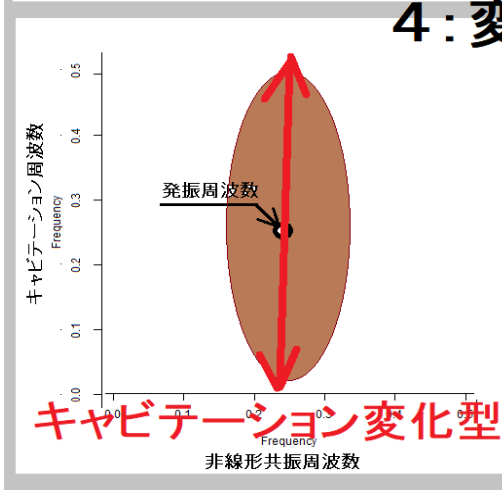
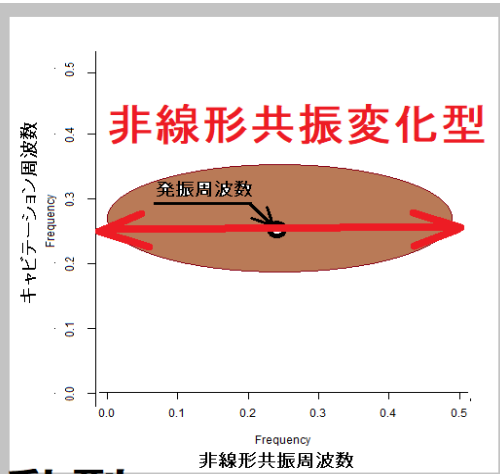
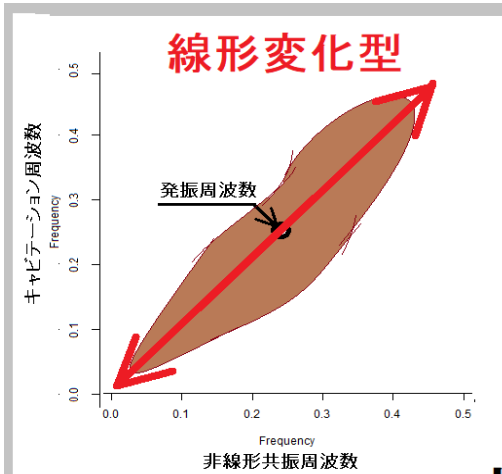
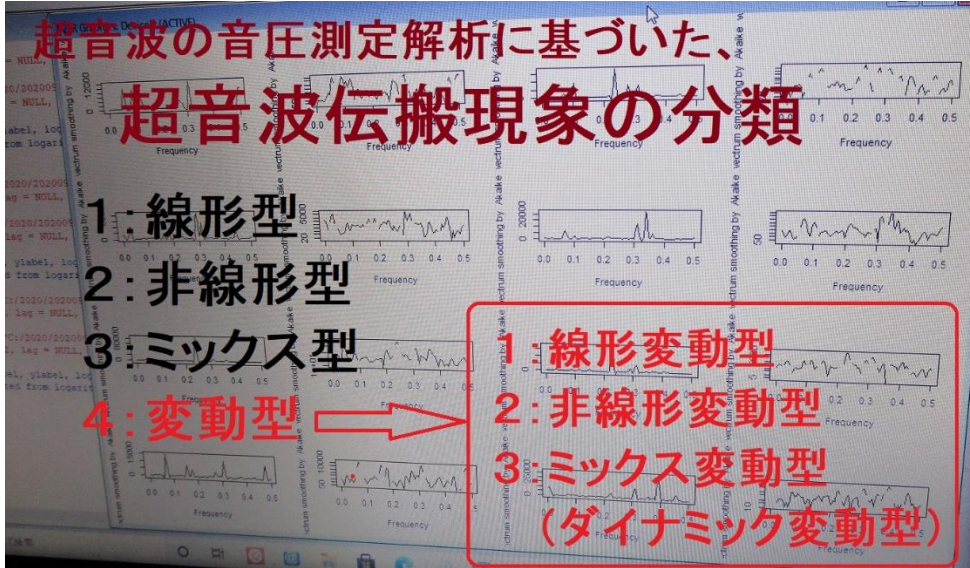






上記の論理的な分類を、これまでの測定データ解析結果から  
 (時間経過とともに変化する超音波現象の) 現実的な対応方法として  
 以下のような

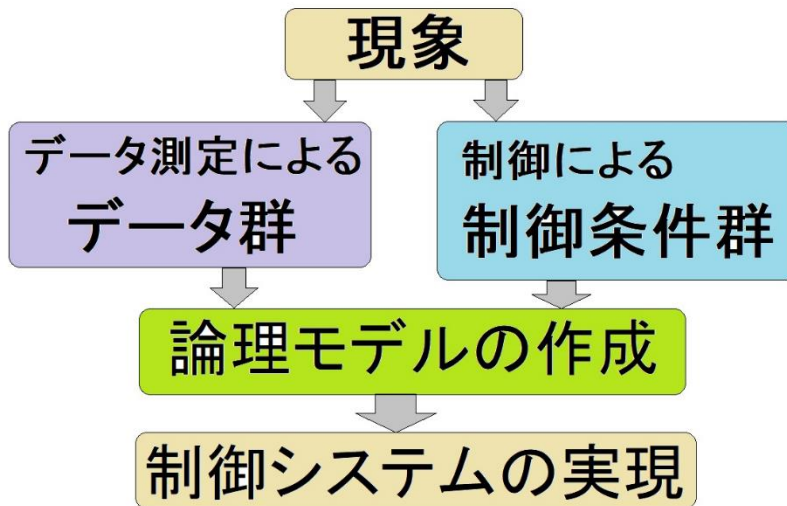
3つの変動型タイプに分類してダイナミックに制御します。



**4: 変動型**

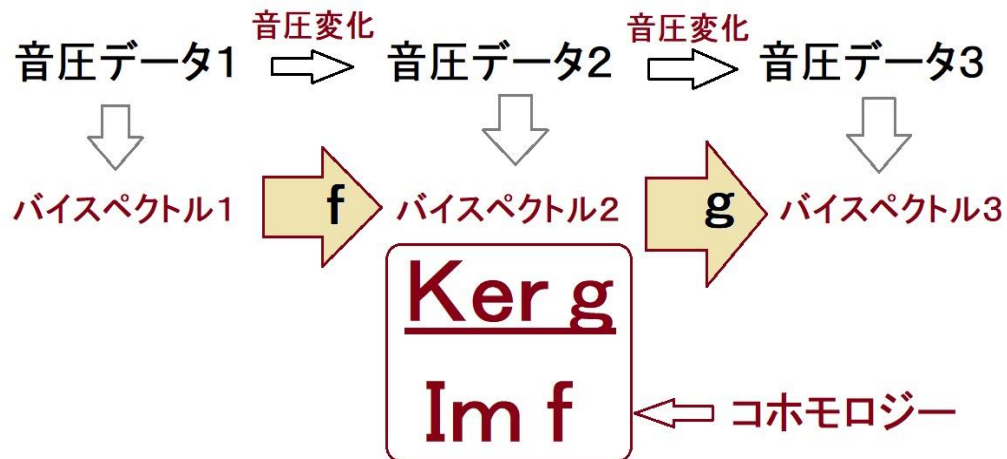
上記の各タイプについて、安定性、変化の状態、・・詳細な分析・調整により、目的と効果に対する、効率のよい、各種条件の設定が可能になりました。

特に、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ためこのような分類・解析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。

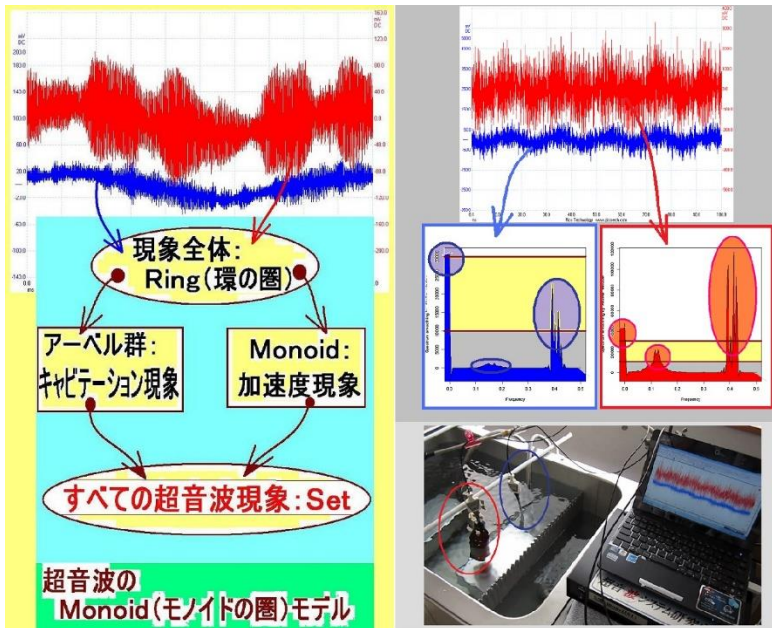


この分類・制御の本質的なアイデアは、  
超音波によるキャビテーション（共振現象）の特徴を、  
抽象代数学の「導来関手」の核（Kernel）に適応させるということと、  
非線形現象（高調波の発生・変化、音響流の発生・変化）の特徴を、  
Monoid（モノイドの圏）モデルに適応させるということです。

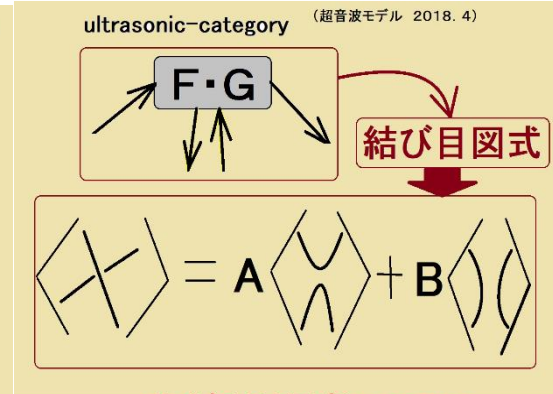
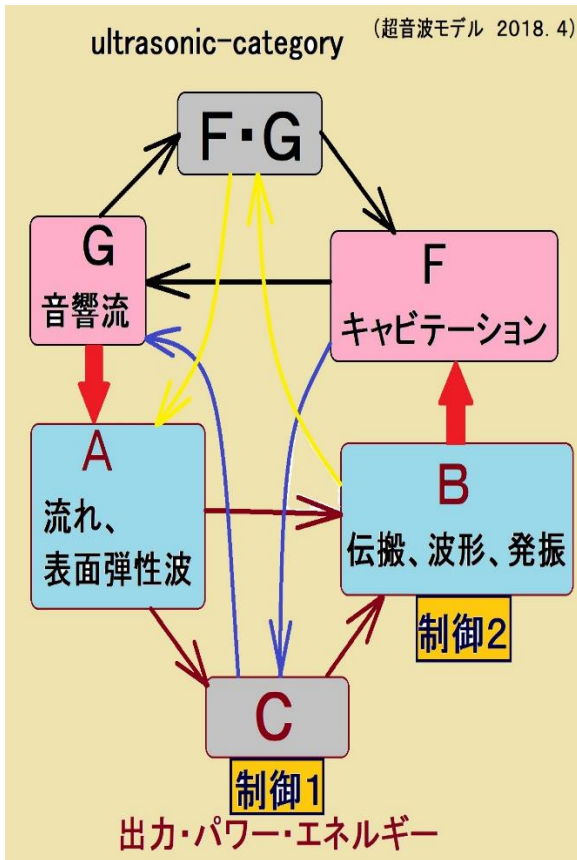
## 核(kernel) 像(image)



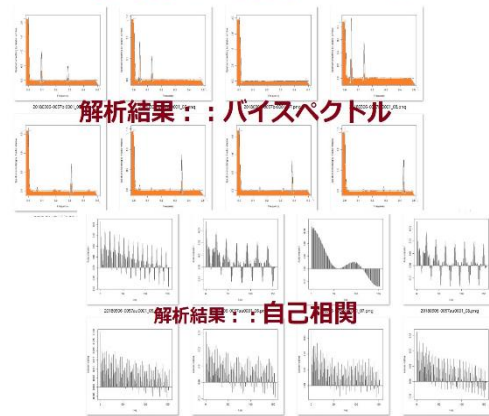




複雑な超音波伝搬現象の変化を  
**結び目図式から得られるスペクトル系列**として表現することで  
 時間経過で変わっていく、不安定な超音波の（共振・非線形現象）状態を  
 目的に合わせて、コントロールできるようになりました。



**非線形現象の理解**



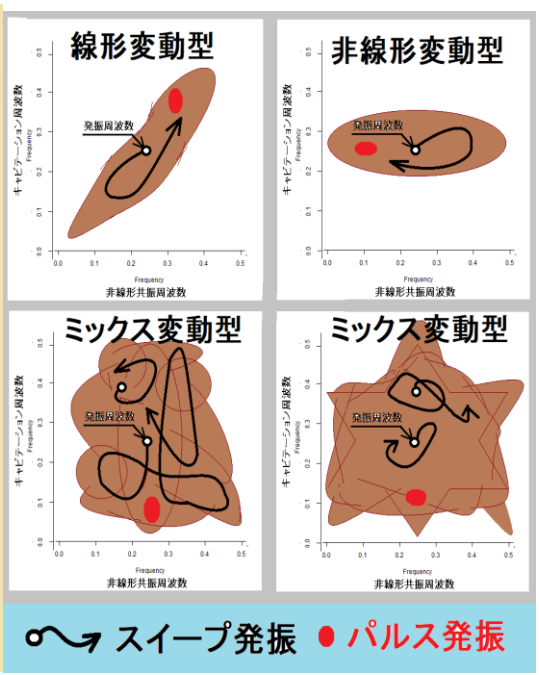
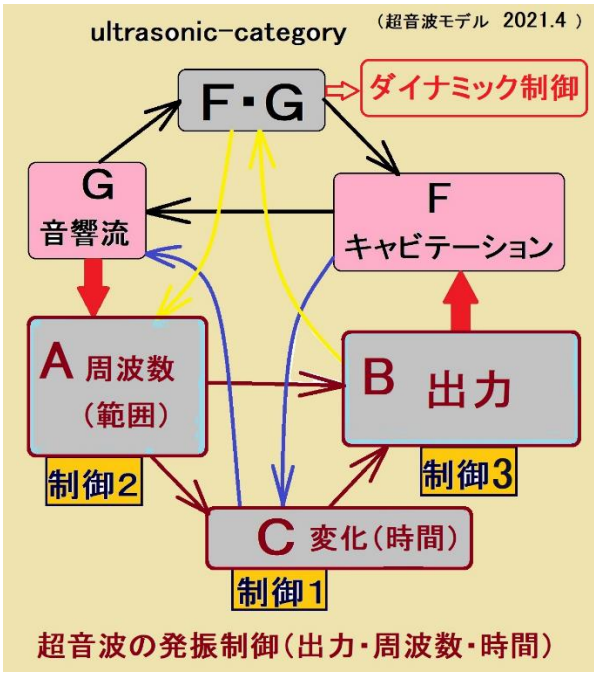
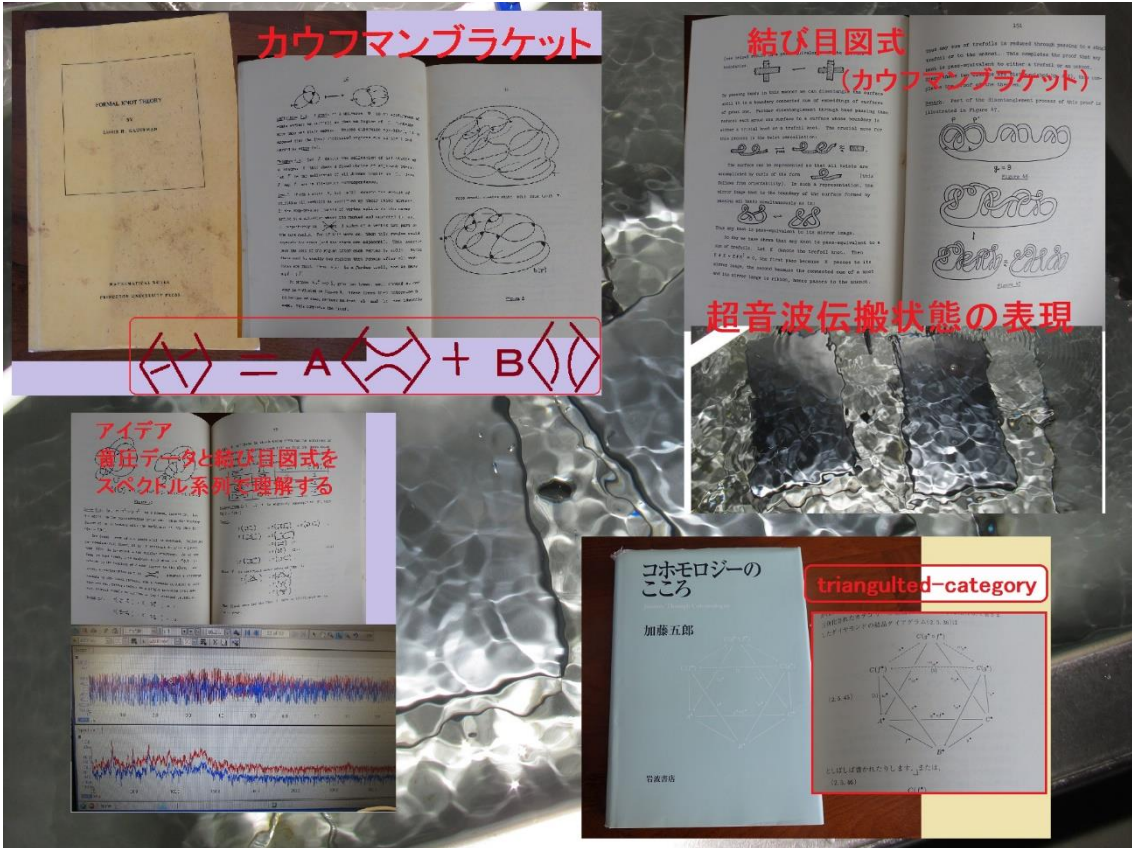
抽象的ですが

超音波の伝搬状態を計測解析するなかで

キャビテーションと音響流に関する的確な解析により

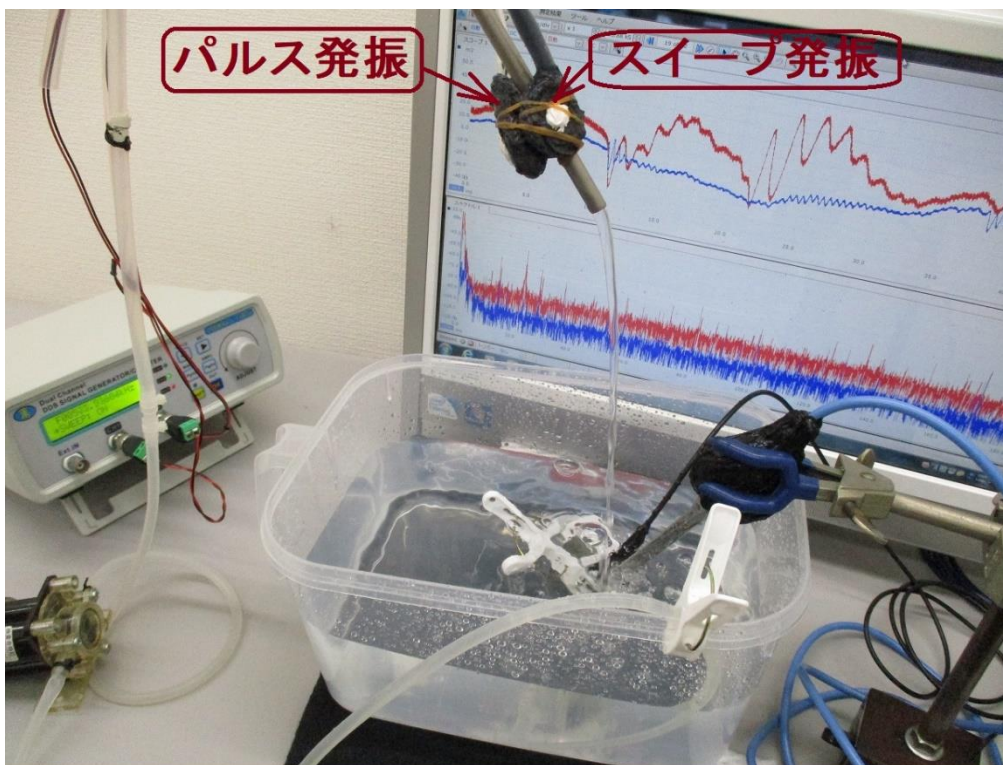
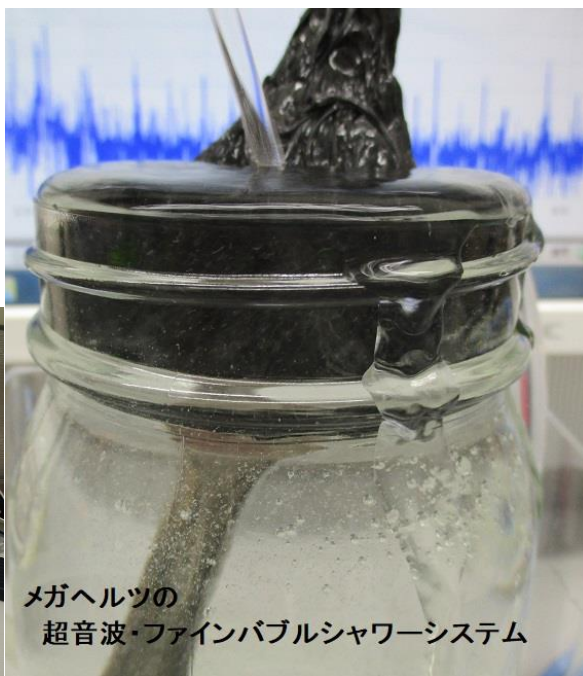
キャビテーションを主体とした超音波の効果・・・を

効果的にコントロールできる事例が増えたことから、公表することにしました。





なお、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（流水式超音波、超音波シャワー）として対応しています。

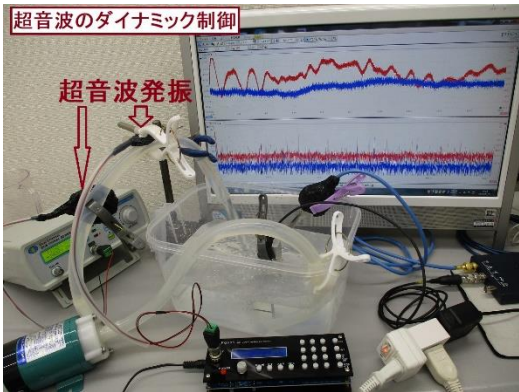


チタン製ストローを利用した**超音波シャワー**

ファインバブルと  
メガヘルツ超音波の組み合わせ技術

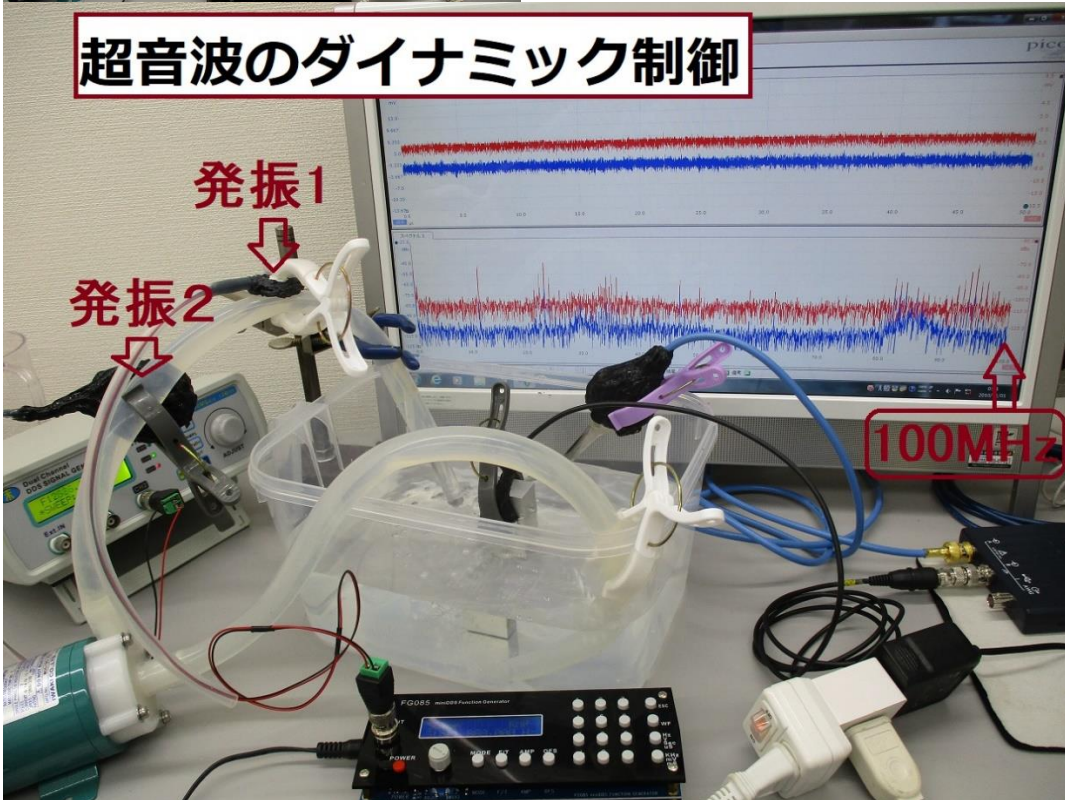


超音波のダイナミック制御



超音波発振

超音波のダイナミック制御



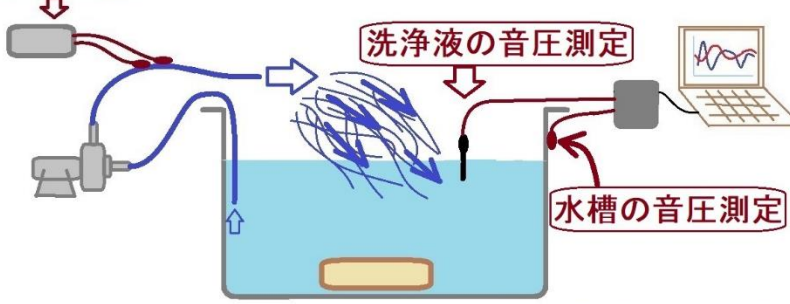
発振1

発振2

100MHz

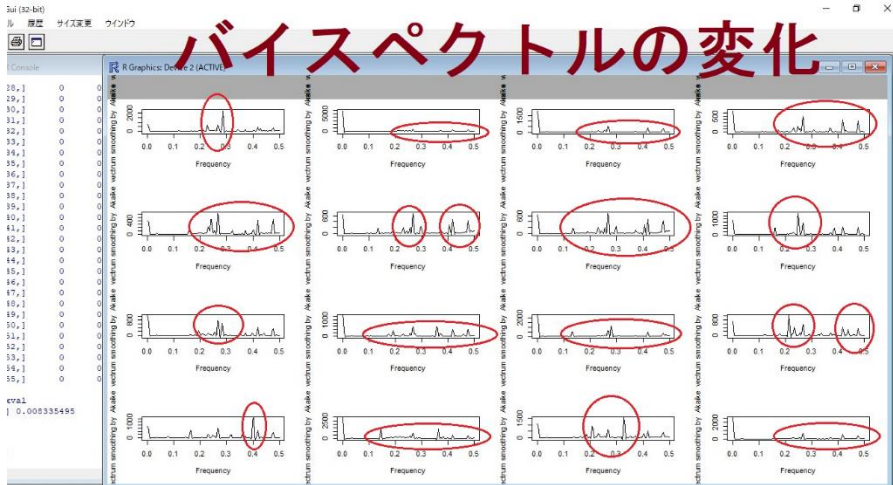


超音波発振制御装置

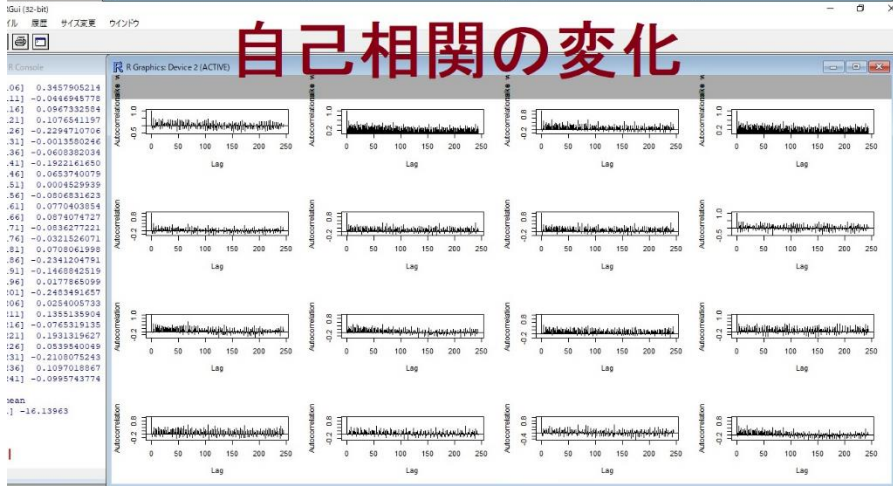


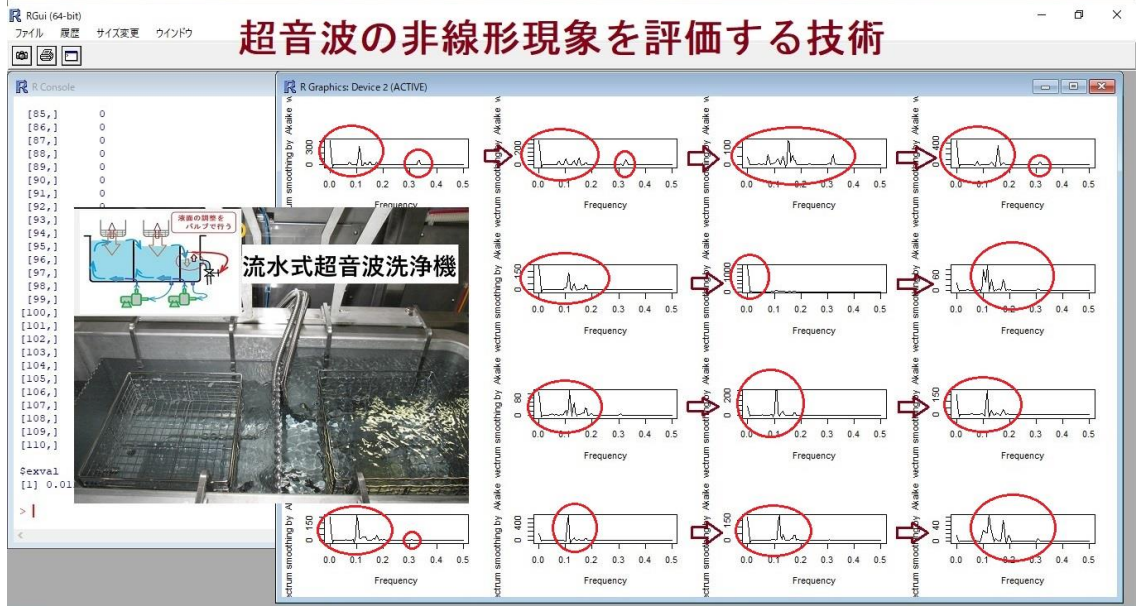
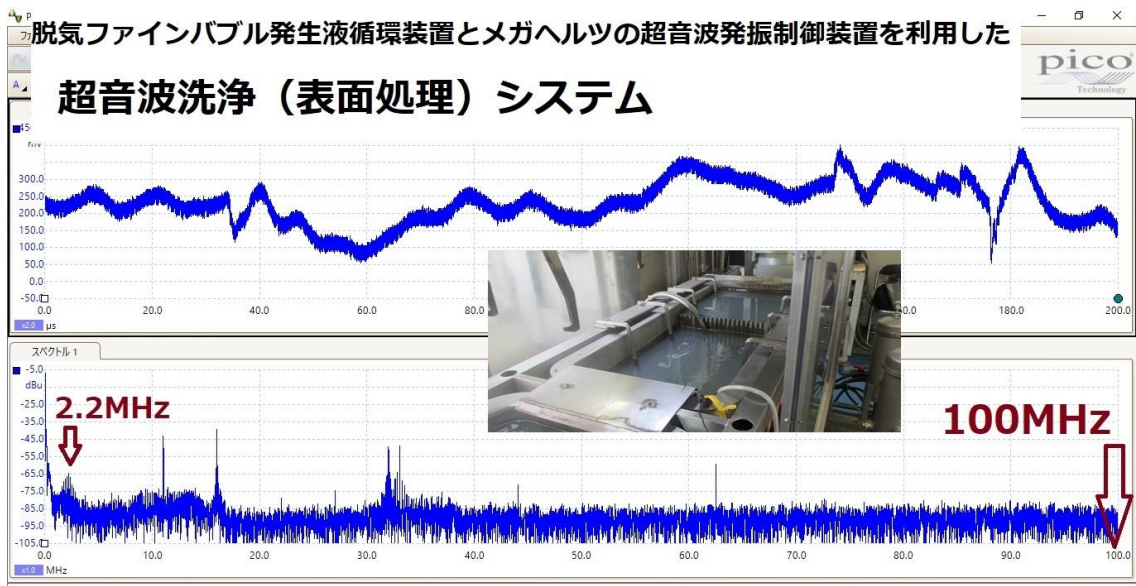
液循環ポンプの吸い込み側のバルブを絞ることで  
 ファインバブル(マイクロバブル)を発生する装置

## バイスペクトルの変化



## 自己相関の変化





応用技術として

非線形現象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、非線形状態の変化にある」という考え方が、さらに一歩進んだと考えています。

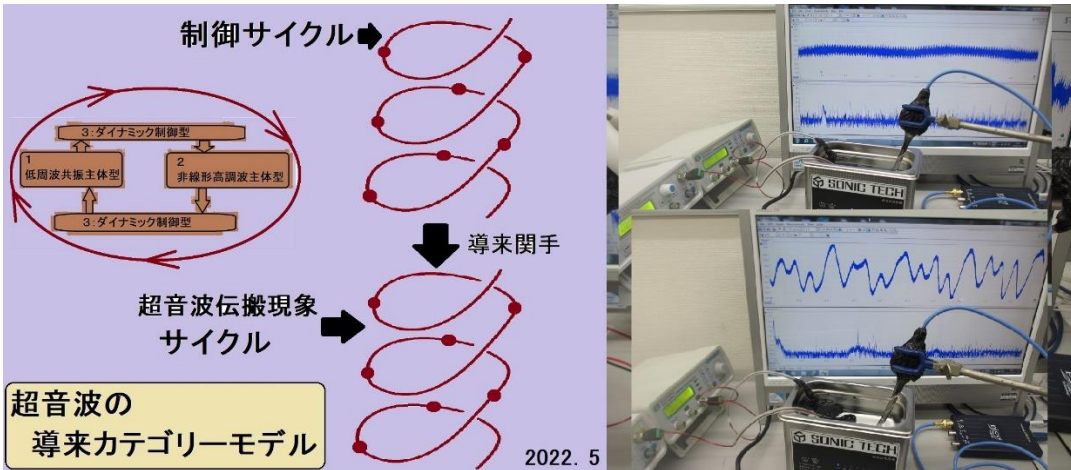
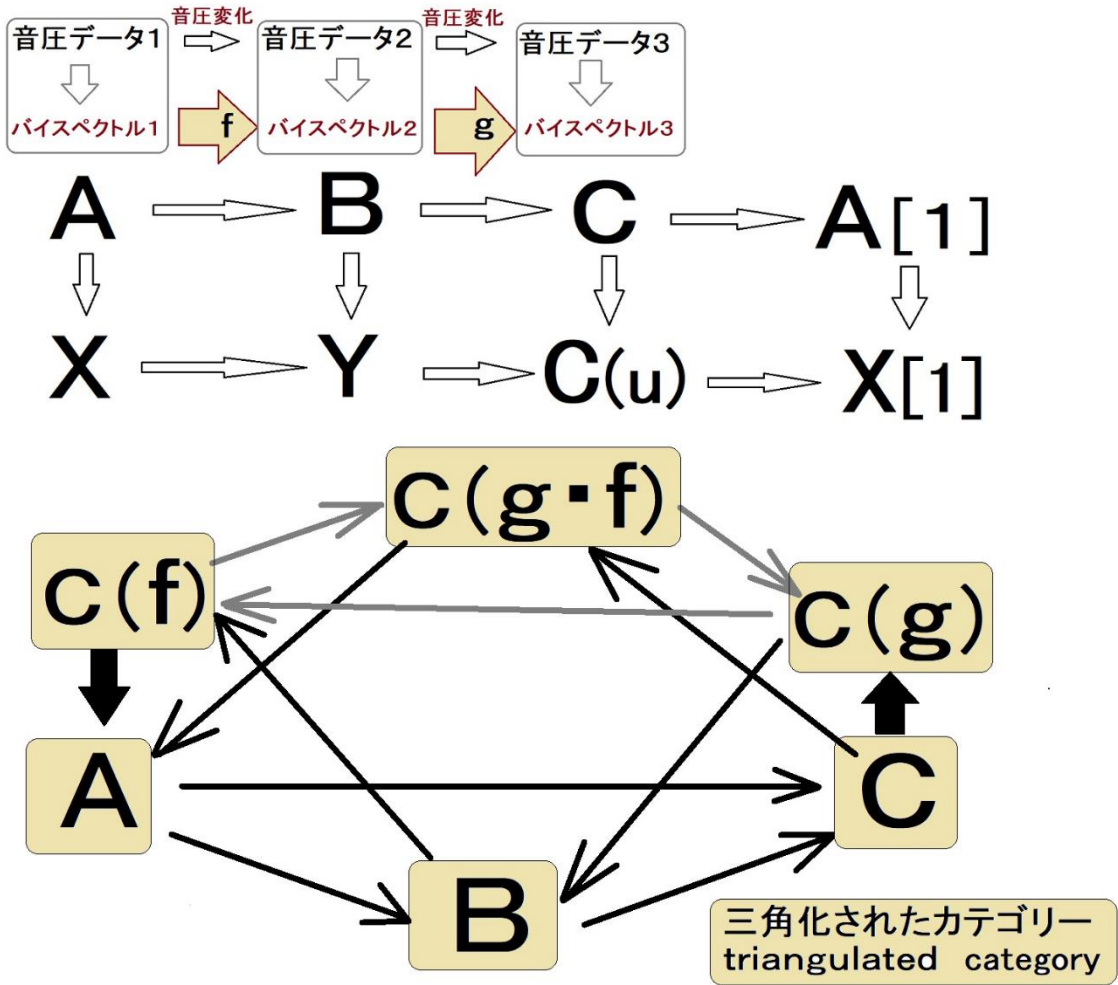
<< 超音波のMonoid（モノイドの圏）モデル >>

基本的な超音波発振による現象全体をRing（環の圏）として、  
 キャビテーション・による（発振周波数を主体とした）現象を  
 「アーベル群の圏」

非線形現象（音響流・による（高調波の変化を主体とした）現象を  
 「Monoid（0元をもつ乗法の一単位）」  
 とするモデルを開発しました。

<< 超音波の三角化されたカテゴリーモデルによる制御 >>

キャビテーションと音響流による現象について  
 三角化された加法的カテゴリーモデルにより  
 制御パラメータ（流れ・表面弾性波、出力・パワー、周波数・発振）を  
 スペクトル系列のコホモロジーで、最適化します。





# <<実用的な対応について>>

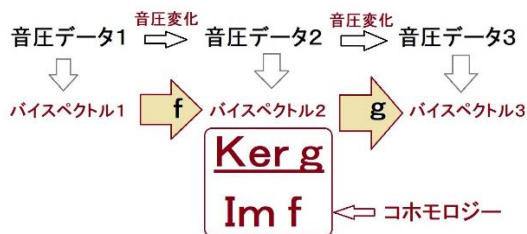
論理モデルによる、考え方・分類に基づいて、  
 オリジナル製品：非線形共振型超音波発振プローブを利用した、  
 超音波のダイナミック制御を実現する、  
 超音波の非線形スイープ発振制御技術を開発しました。

この超音波のスイープ発振制御技術は、  
 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目的に合わせてコントロールします。

これまでの音圧データの測定解析結果から  
 効果的な利用方法を  
 以下のような  
 4つの制御に分類することができました。

- 1：スイープ発振とパルス発振の組み合わせ制御（線形型：推奨タイプ）
- 2：2種類のスイープ発振とパルス発振の組み合わせ制御（非線形型）
- 3：3種類のスイープ発振とパルス発振の組み合わせ制御（ミックス型）
- 4：上記の組み合わせによるダイナミック制御（変動型）

## 核(kernel) 像(image)



$$\Sigma = \{ (\text{キャピテーション周波数, 非線形共振周波数, 伝搬条件1, 伝搬条件2, \dots}) \in \nu+2\text{次元の空間} \mid \dots \}$$

岡の上空移行の原理 ⇒ **正則領域**

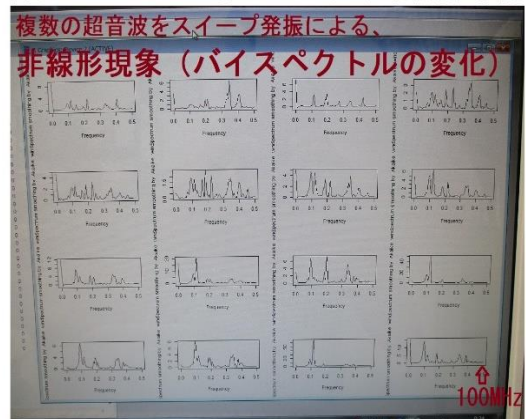
超音波伝搬現象 ⇒ 効果 ⇒ **非正則領域**  
 (集合、多様体、空間・・・) (洗浄、攪拌、加工・・・)

超音波伝搬現象 ⇒ 効果 ⇒ **非正則領域**  
 (集合、多様体、空間・・・) (洗浄、攪拌、加工・・・)

非線形現象  
 (弾性体、気体、液体の  
 ダイナミックに振動する境界面)

高次のコホモロジーはゼロにならない  
 (ゼロになると低周波の共振現象が発生する)

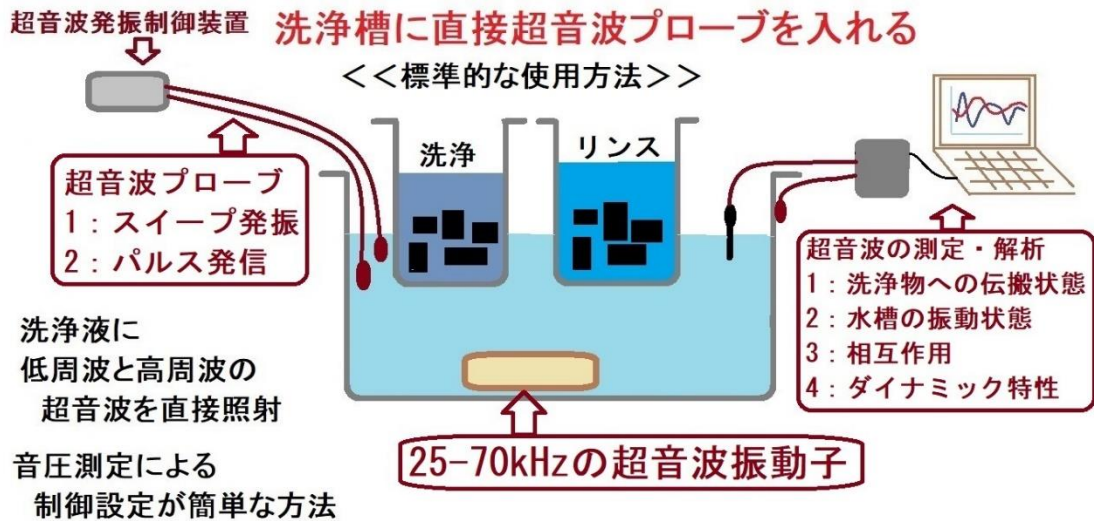
高次のコホモロジーをゼロにしない超音波利用技術



注：各種超音波機器の振動現象や設置条件による振動現象により発生する揺らぎのような変化については、一つのスイープ発振制御であると考えスイープ発振を追加する場合には、重要な制御条件になります（非常に低い周波数の場合もありますが、高周波の発生あり、見落とすと、スイープ発振が全く異なる発振条件になります例 工場の床面が振動している装置の場合）

現実として、＜線形型、非線形型、ミックス型＞は、  
 長期的に安定して実現することは難しく  
 変動型として、スイープ発振条件により、以下のような  
**3つの制御タイプで、実用化することができます。**  
 1：線形変動制御型  
 2：非線形変動制御型  
 3：ミックス変動制御型（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。



特に、安定性・変化の状態・・・に関して

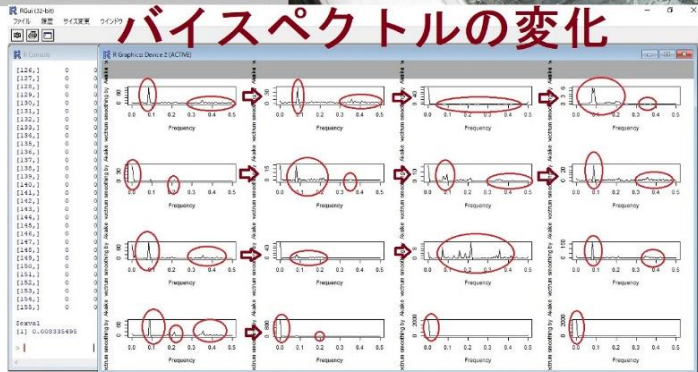
装置固有の振動モードや、環境による振動現象・・・を、  
周波数成分を含めた詳細な、音圧データ解析により、  
目的と効果に対する、効率のよい、  
各種条件の設定・調整が可能になります。

特に、超音波洗浄に関しては

汚れの特性やバラツキに関する情報が得られにくいため  
このような基本データの解析をベースに実験・検討することで  
効果的な超音波制御設定が、実現します。

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



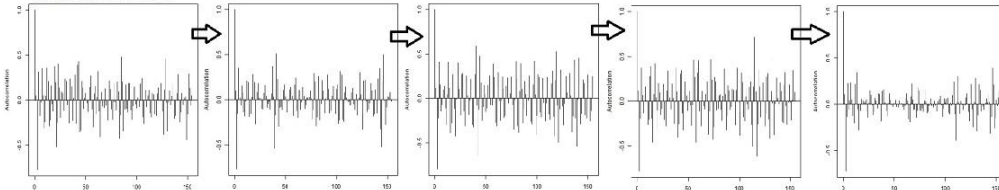


この制御の本質的なアイデアは、  
超音波の音圧データの解析結果（バイスペクトル）のデータ群を、  
抽象代数学の「導来関手」に適応させるということです。

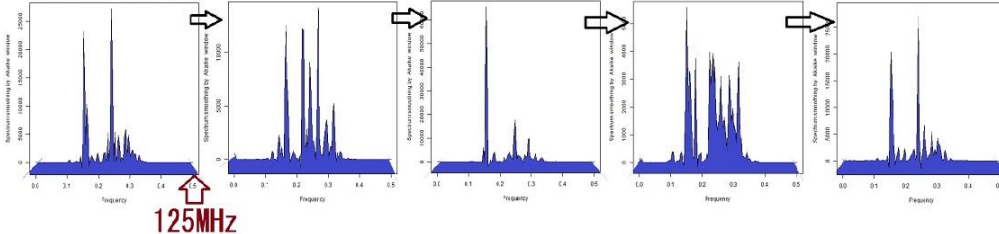
抽象的ですが、超音波の伝搬状態を計測解析するなかで  
非線形現象（バイスペクトル）に関する、対応・制御事例から  
時間経過とともに変化する状態を捉えるために  
「導来関手」とスペクトルシーケンスの関係を  
線形・非線形の共振効果に対応した  
超音波の伝搬空間を、複体の変化と考えました。



解析結果：自己相関



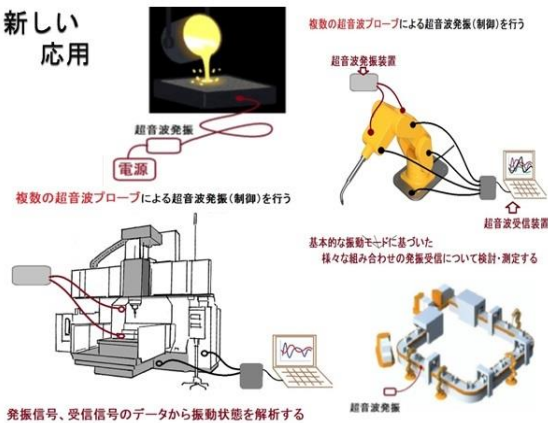
解析結果：バイスペクトル



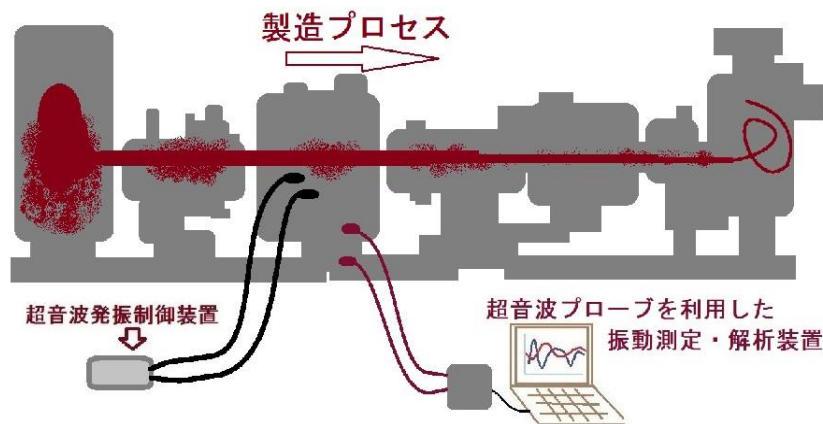
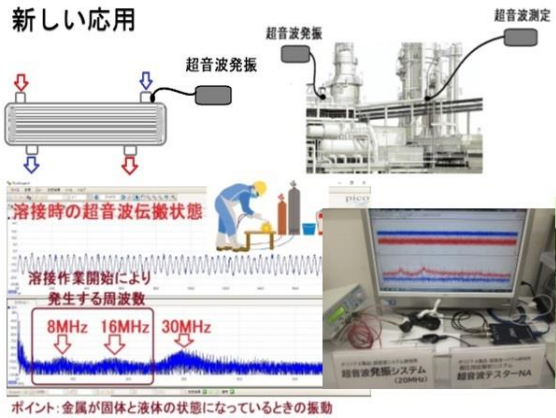
この複体の変化について、境界部分について検討することで  
非線形の共振現象（高調波の発生）を、  
高次のコホモロジーに対応させる方法を考え  
制御設定（ノウハウ）として実現しました。



## 新しい 応用



## 新しい応用



### 超音波の非線形振動

<http://ultrasonic-labo.com/?p=13908>

### 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>

### 超音波の洗浄・攪拌・加工に関する「論理モデル」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=3963>

### 代数モデル

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1311>

### 数学的理論

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1350>

### 音色と超音波

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1082>

### 物の動きを読む

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



# 共振現象のダイナミック特性 —自己相関の変化—

小

大

非線形現象のダイナミック特性  
—バイスペクトルの変化—

非線形現象のダイナミック特性  
—バイスペクトルの変化—

小

中

中

大

単調な振動状態

動的制御状態

## —超音波伝搬状態の分類・評価—

