

# 超音波システムの最適化技術 Ver1

共振現象と非線形現象を制御可能にする超音波伝搬システム

## — 共振現象と非線形現象の最適化技術 —

2023. 12. 18 超音波システム研究所

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）による、  
超音波伝搬状態の各種解析結果から、  
共振現象と非線形現象を制御可能にする超音波伝搬システムについて、  
目的に合わせて最適化する技術を開発しました。

これまでの制御技術に対して、

各種伝搬用具を含めた、超音波振動の伝搬経路全体に関する  
新しい測定・評価パラメータ（注）により  
超音波利用の目的（洗浄、攪拌、加工・・・） に合わせた、  
超音波のダイナミックな伝搬状態を実現する技術です。

これは具体的な応用がすぐにできる方法・技術です

コンサルティングとして提案・対応しています

（超音波加工、ナノレベルの精密洗浄、攪拌・・・実績が増えています）

注：オリジナル技術製品（超音波の音圧測定解析システム）により

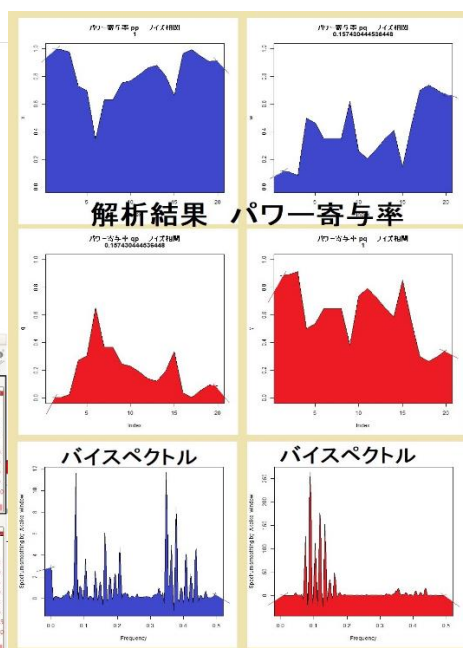
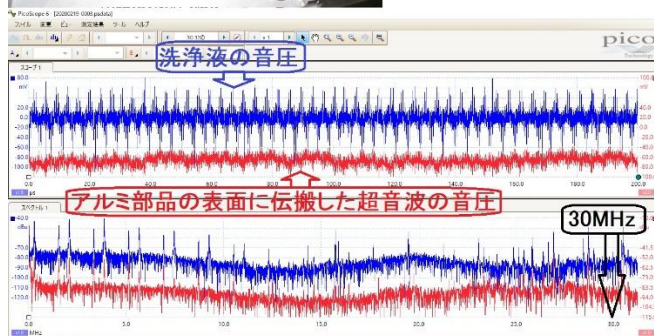
水槽、振動子、対象物、治工具・・・の

伝搬状態に関する**ダイナミックな変化を測定・解析・評価**します。

（パラメータ：

パワースペクトル、自己相関、バイスペクトル、

パワー寄与率、インパルス応答特性、ほか）



## 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 (インパルス応答特性の解析)
- 4) 相互作用の検出 (パワー寄与率の解析)

解析には下記ツールを利用します

「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

**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

## <特許出願済み>

特開 2021-125866 超音波制御 (超音波発振制御プローブ)

特開 2021-159990 超音波溶接

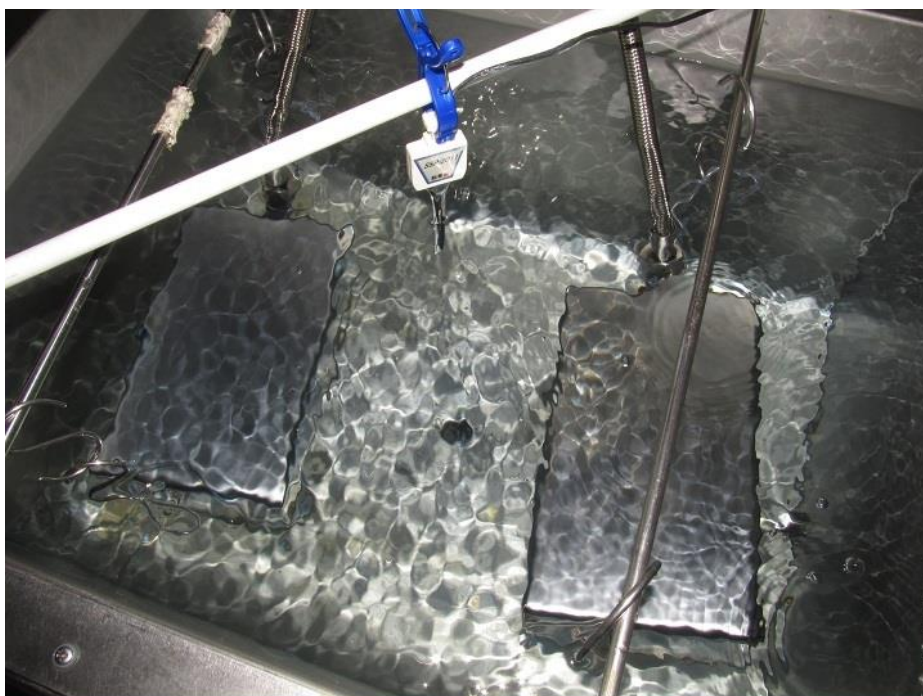
特開 2021-161532 超音波めっき

特開 2021-171909 超音波加工

特開 2021-175568 流水式超音波洗浄

超音波プローブの製造技術の一部は、特開 2021-125866 に記載しています

特願 2023-195514 メガヘルツ超音波とファインバブルを利用した超音波めっき

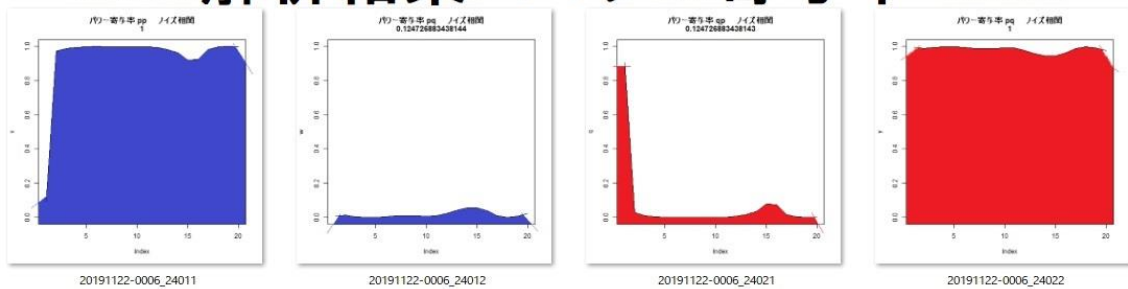
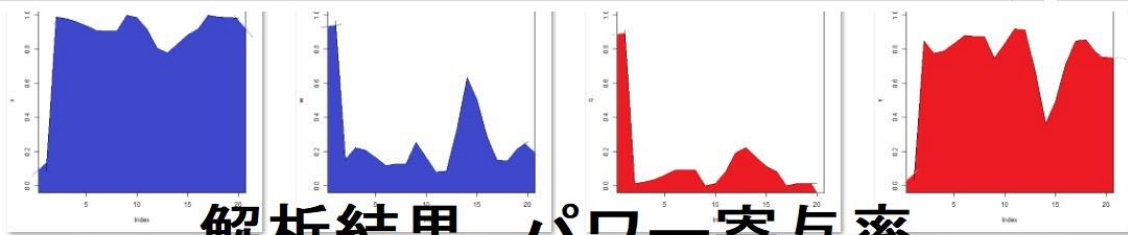
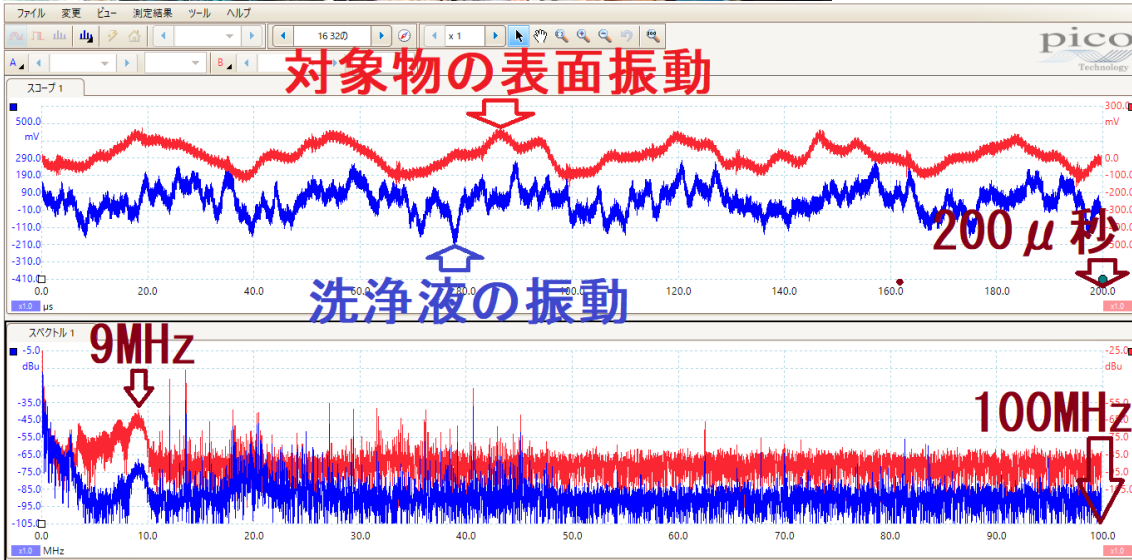


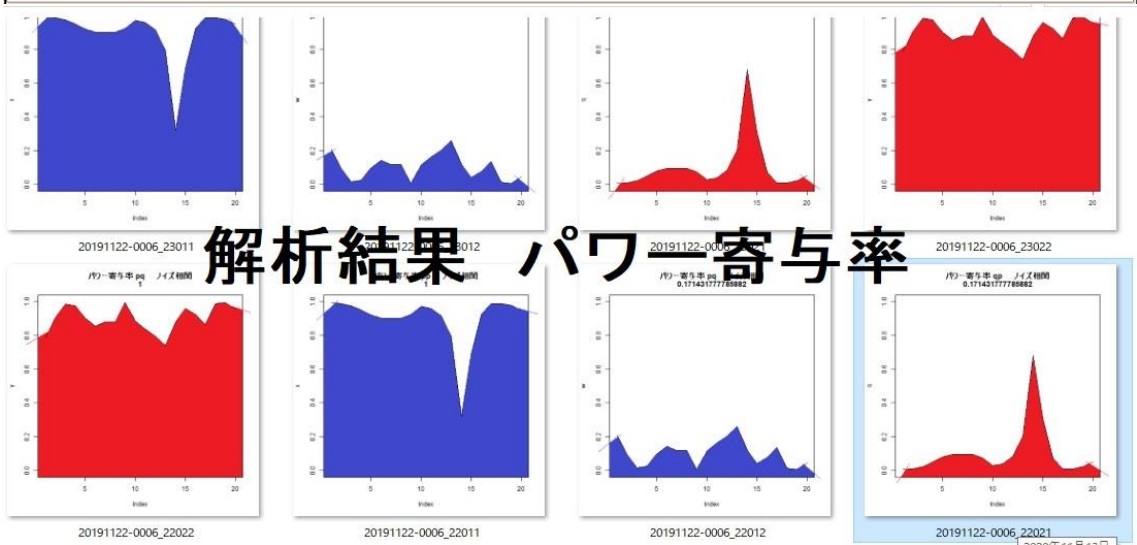
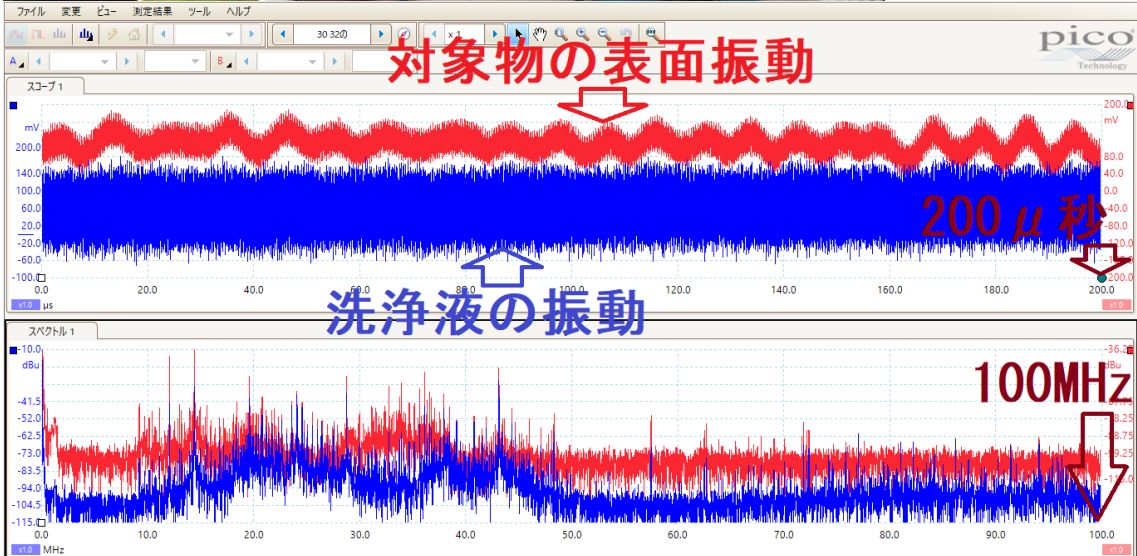
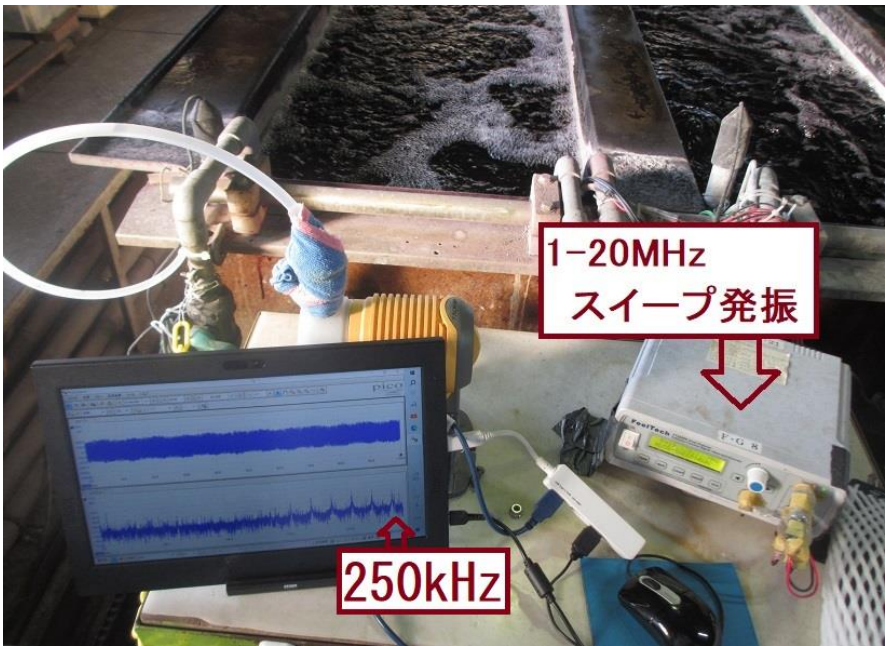
**相互作用を確認して設定する  
2種類の超音波振動子の設置**

めっき処理工程での  
メガヘルツ超音波利用超音波利用



音圧測定管理





## 基本的な考え方（現象とモデルの統合）

振動現象の継続により、共振現象が成長することで、より大きな共振現象の発生とともに

**振動波形の崩れ・変化による、非線形現象の発生が起きます。**

非線形現象による振動の伝搬（流れ）が発展すると伝搬状態のダイナミックな変化により、共振現象と非線形現象の複雑な状態になります。

時間経過とともに、以上の経過を繰り返す中で、振動系としてのシステムによる、固有の振動モードが発生します。

**この振動モードのサイクルをコントロールすることが共振現象と非線形現象の最適化技術となります。**

この技術を応用して共振現象と非線形現象の組み合わせを実現する新しい超音波発振制御技術（注）を開発しました。

注：共振型伝搬システム、非線形型伝搬システム

超音波洗浄の場合

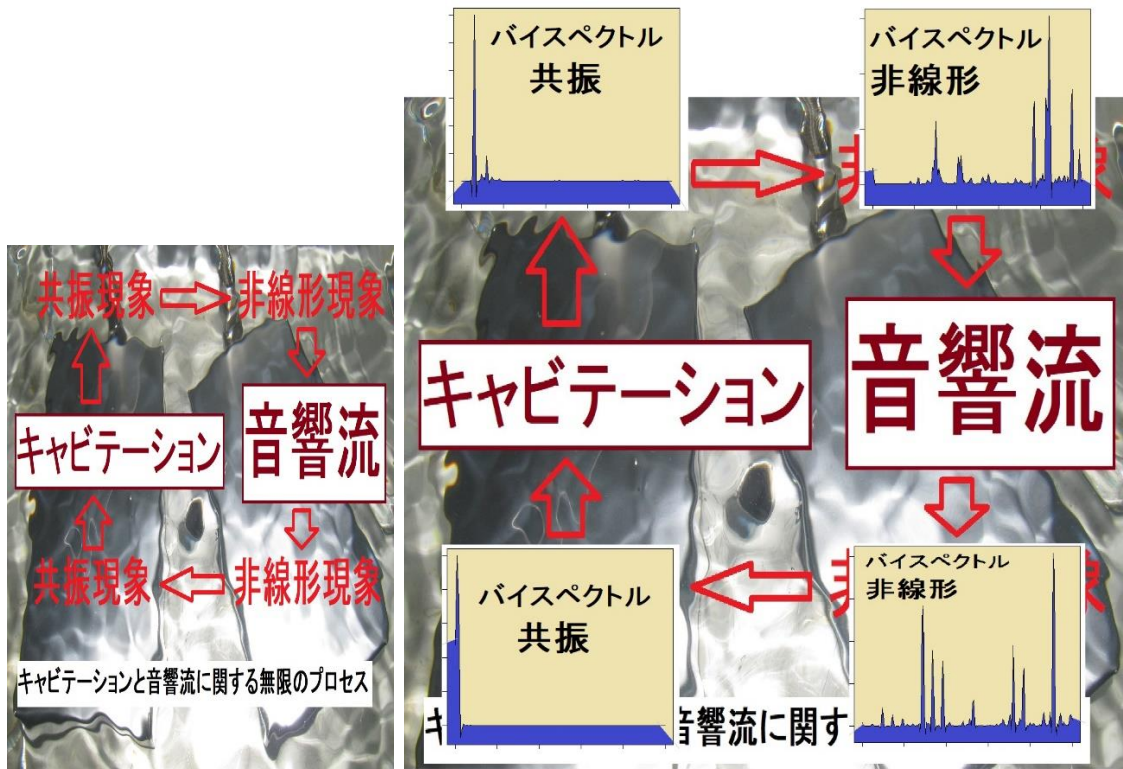
共振型伝搬状態：キャビテーションモード

非線形型伝搬状態：音響流モード

上記の振動モードに関する無限のプロセス

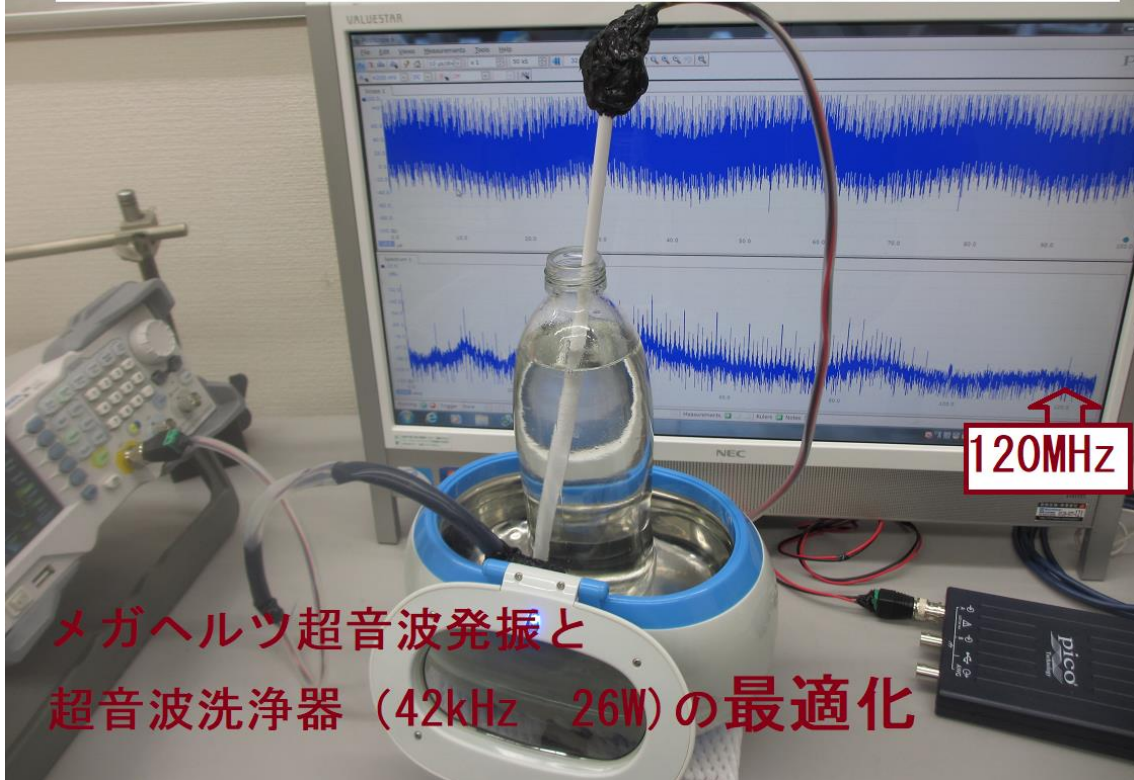
無限のプロセスの測定解析評価により

超音波（キャビテーションと音響流）のダイナミック制御が実現出来ます。



## ノウハウ資料

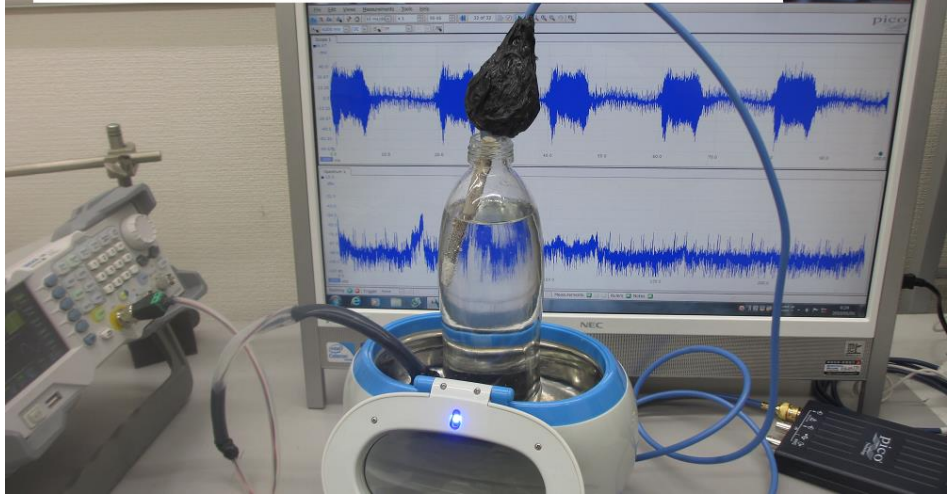
各種相互作用の確認に基づいた発振条件と出力設定



利用目的に合わせたメガヘルツ超音波の発振設定



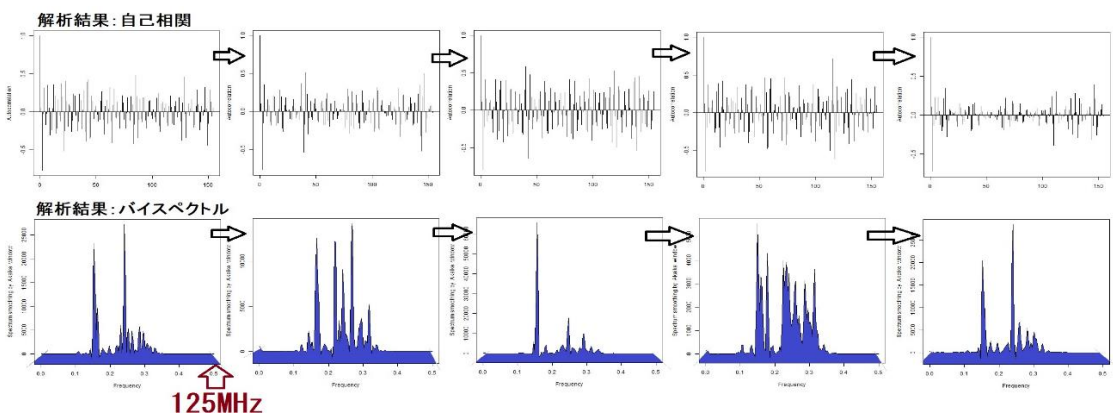
# 共振現象の利用を制限した最適化

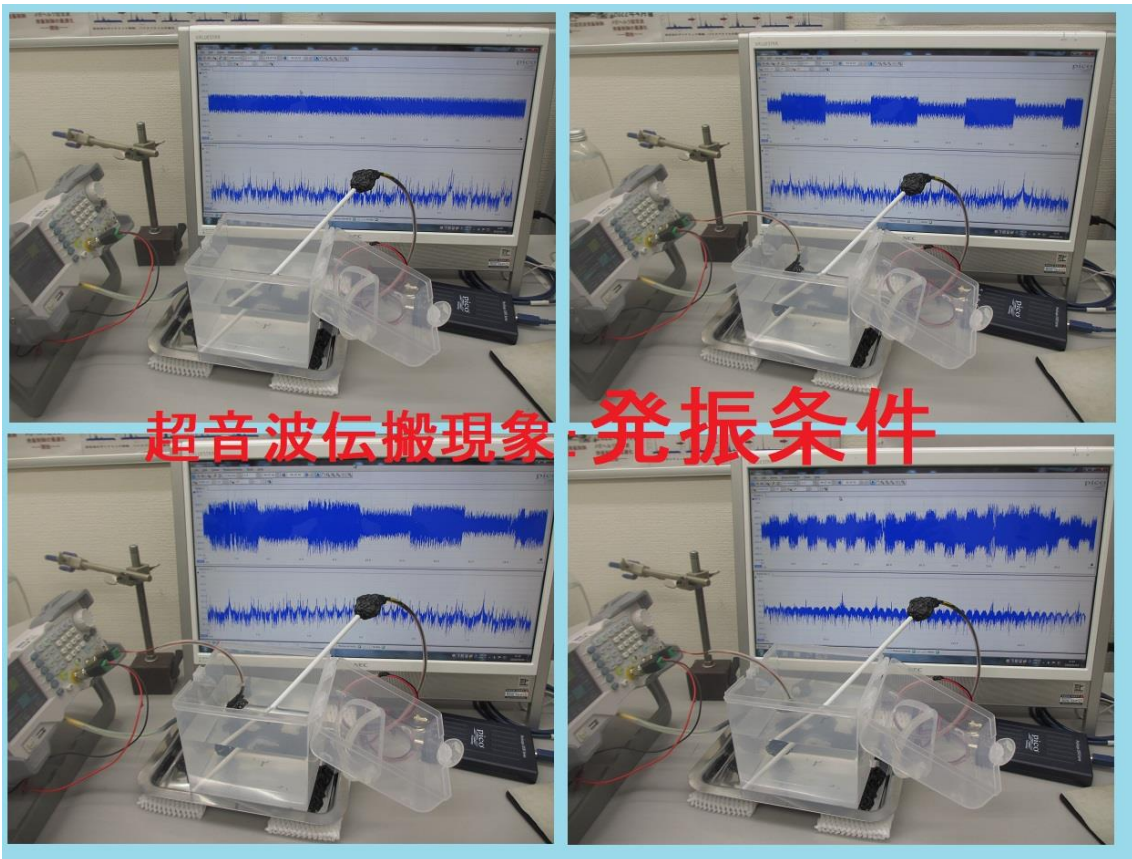
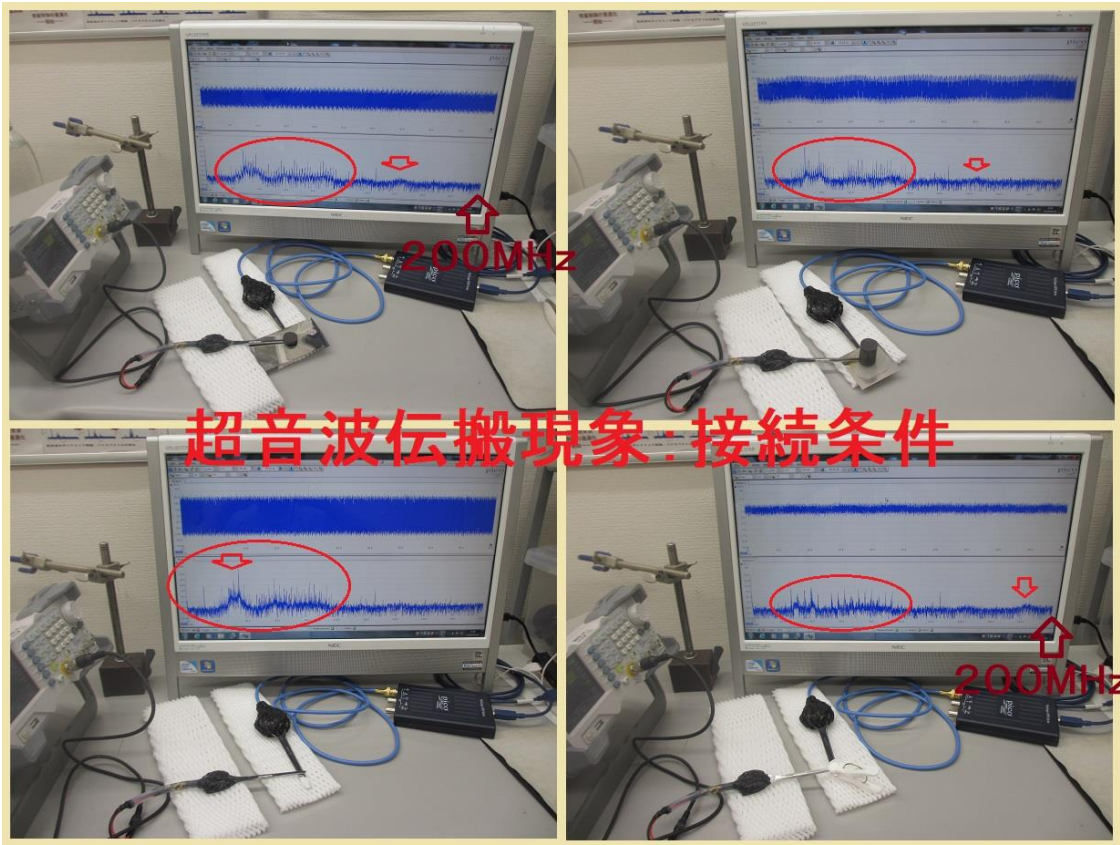


# 共振現象のダイナミック制御



# 共振現象と非線形現象の最適化技術

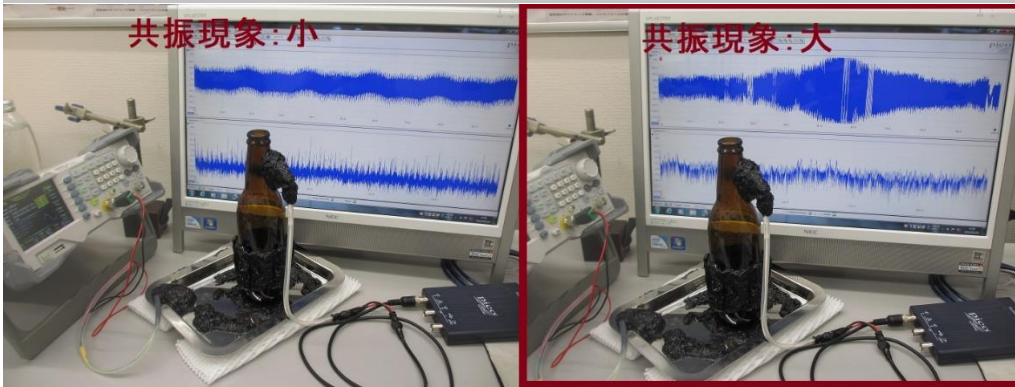




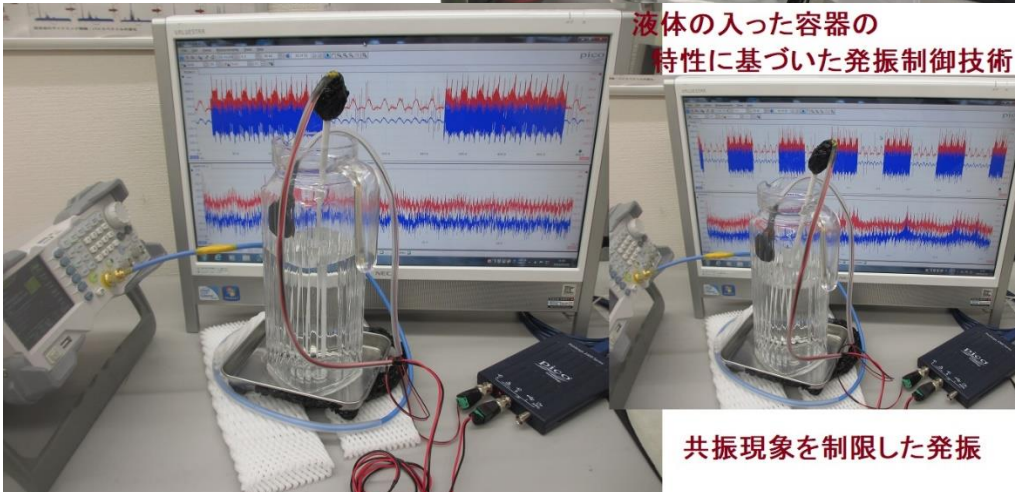
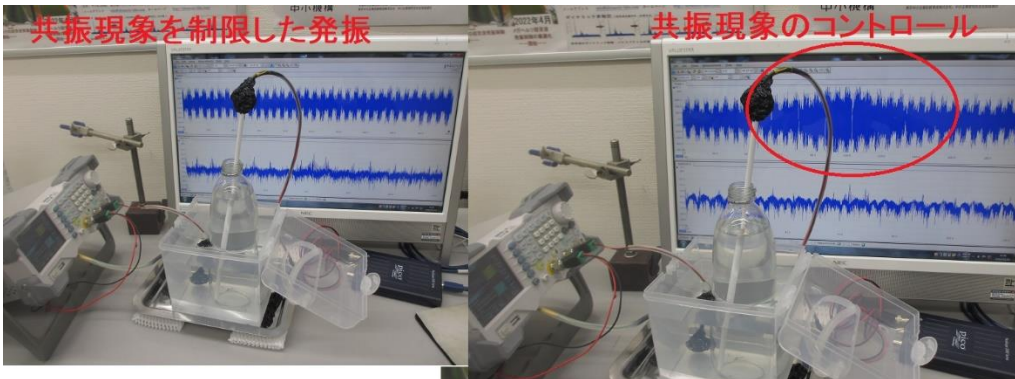




超音波洗浄器の利用技術



共振現象を制御するスイープ発振



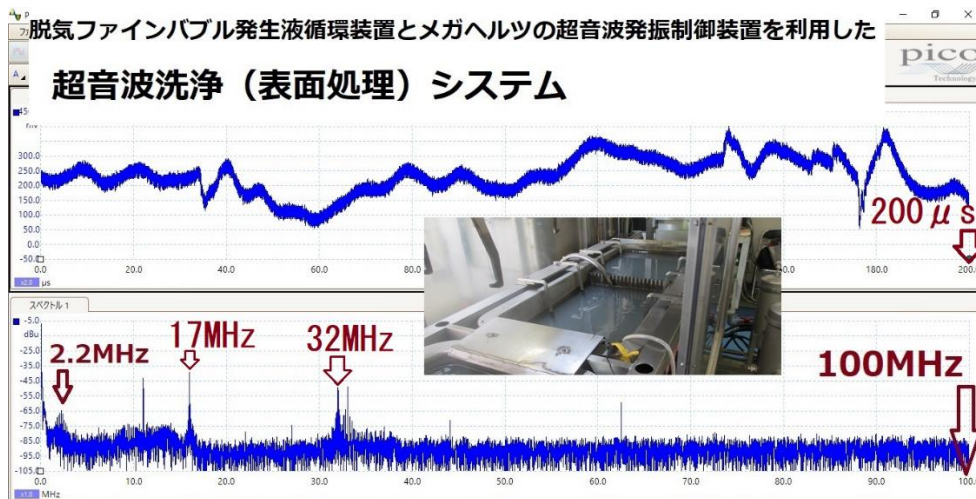
共振現象を制限した発振

## 例 超音波洗浄

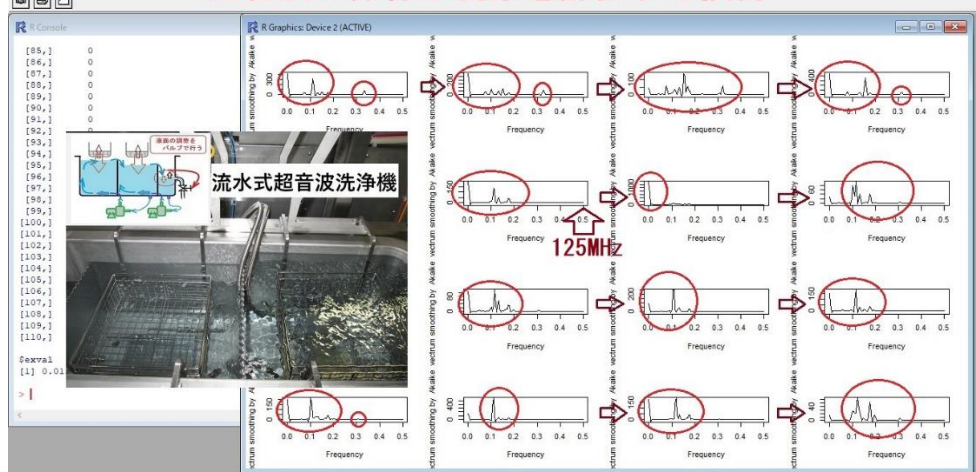
脱気ファインバブル発生液循環装置 1台 ONOFF制御  
ON : 213秒 OFF : 31秒

ベースとなる超音波振動子 1台 ONOFF制御  
40kHz 600W (出力150W)  
ON : 57秒 OFF : 17秒

メガヘルツの超音波発振制御プローブ 4本  
メガヘルツの超音波発振制御プローブ1 パルス発振  
7.7MHz (出力10W)  
メガヘルツの超音波発振制御プローブ2 スweep発振  
1MHz~20MHz (出力12W)  
メガヘルツの超音波発振制御プローブ3 パルス発振  
11.3MHz (出力10W)  
メガヘルツの超音波発振制御プローブ4 スweep発振  
9~20MHz (出力12W)



### 超音波の非線形現象を評価する技術

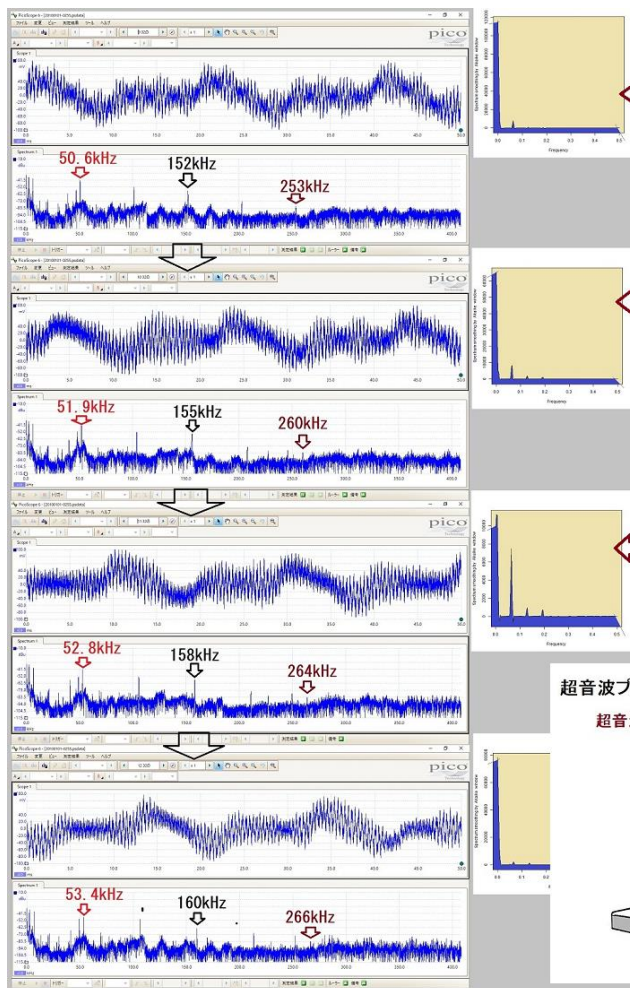


# 例 超音波加工

メガヘルツの超音波発振制御プローブ 2本

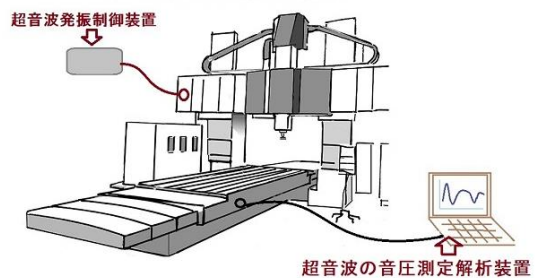
メガヘルツの超音波発振制御プローブ 1 パルス発振  
13MHz (出力10W)

メガヘルツの超音波発振制御プローブ 2 スweep発振  
5~20MHz (出力10W)

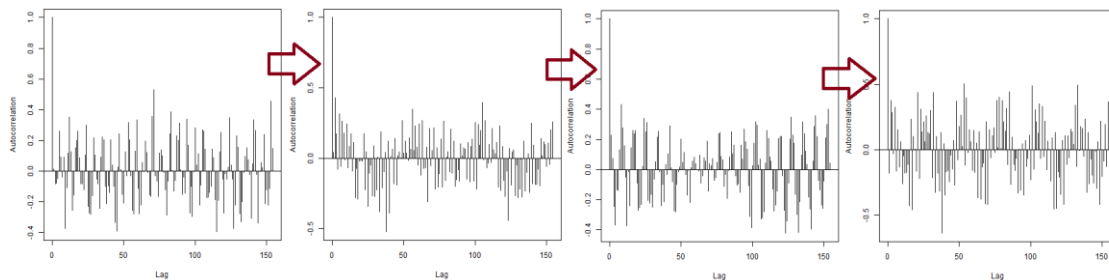


バイスペクトルの変化

超音波プローブによる超音波発振(制御)



音圧データの解析結果：自己相関の変化 ⇨ 100ms経過



## <<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

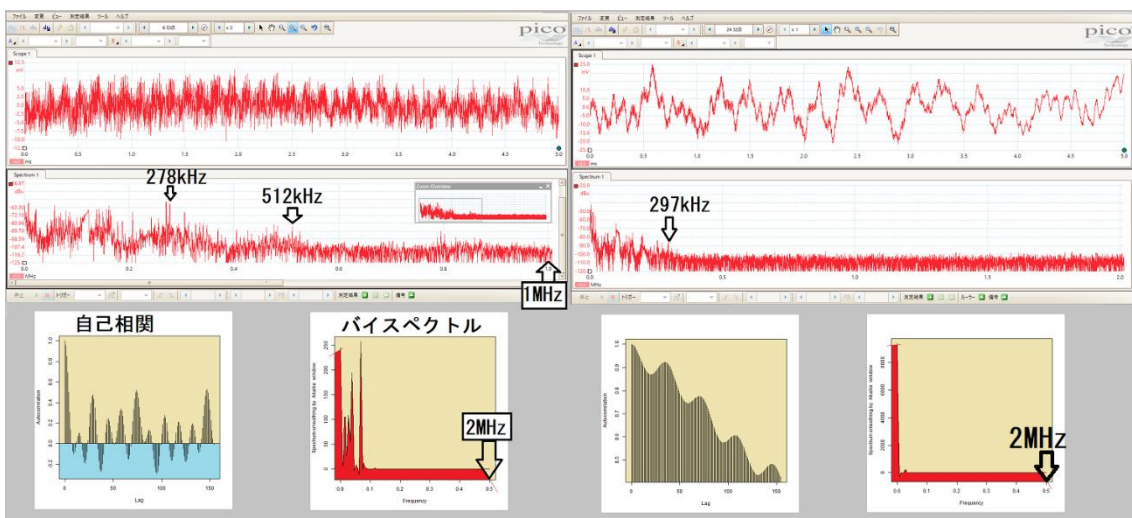
この解析方法は、  
複雑な超音波振動のダイナミック特性を  
時系列データの解析手法により、  
超音波の測定データに適応させる  
これまでの経験と実績に基づいて実現しています。

注：解析には下記ツールを利用します

注：OML(Open Market License)

注：TIMSAC(TIME Series Analysis and Control program)

注：「R」フリーな統計処理言語かつ環境



メガヘルツ超音波を伝搬させた加工状態

加工状態が悪い場合の、加工対象表面の音圧データ

超音波洗浄のメカニズムと効果的な活用法

<http://ultrasonic-labo.com/?p=18171>

超音波技術（コンサルティング対応）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1401>

超音波のダイナミック制御技術

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

超音波の相互作用を評価する技術

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

A I C（情報量規準）を利用した超音波技術

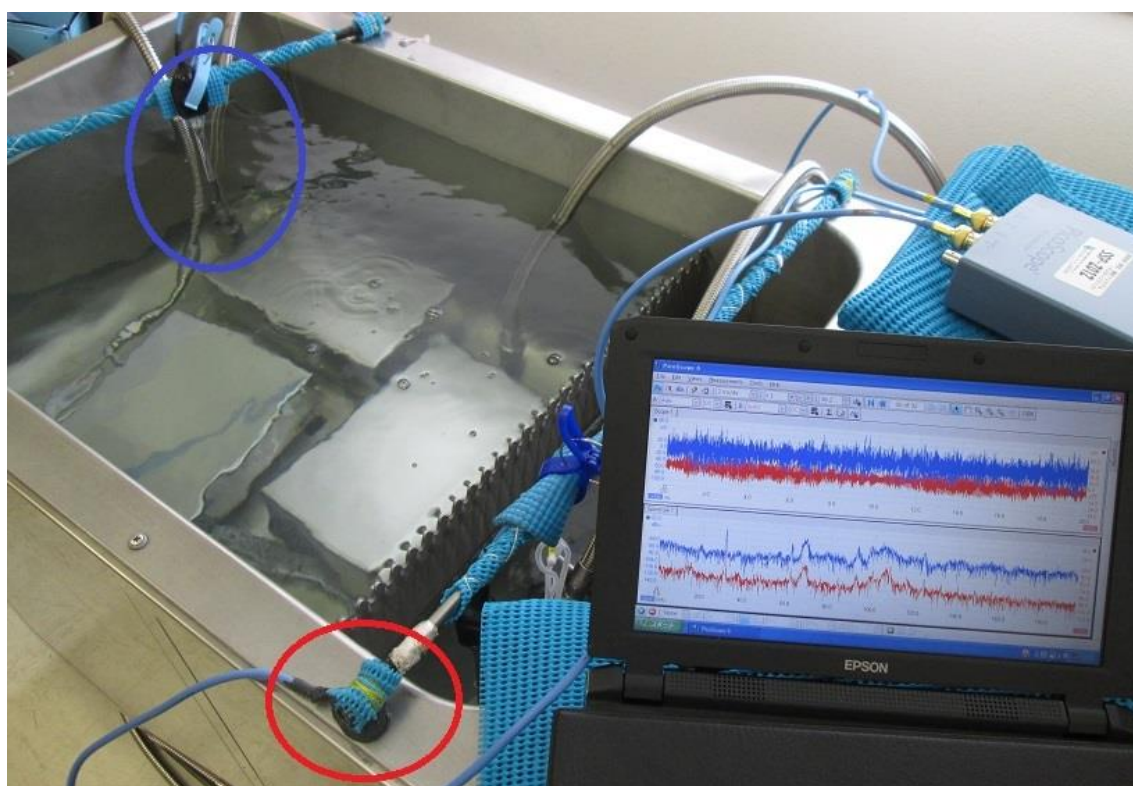
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1074>

2種類の異なる「超音波振動子」を同時に照射するシステム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2450>

超音波洗浄機の音圧測定システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1609>



超音波による音響特性テスト（超音波洗浄の適性確認）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15767>

音響流（超音波）制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1258>

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>

超音波振動子の表面残留応力緩和技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1798>

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>



## 超音波の音圧測定解析システム

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>

非線形現象をコントロールする超音波システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2015>

超音波発振制御システム（20MHz）

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

超音波の相互作用を評価する技術

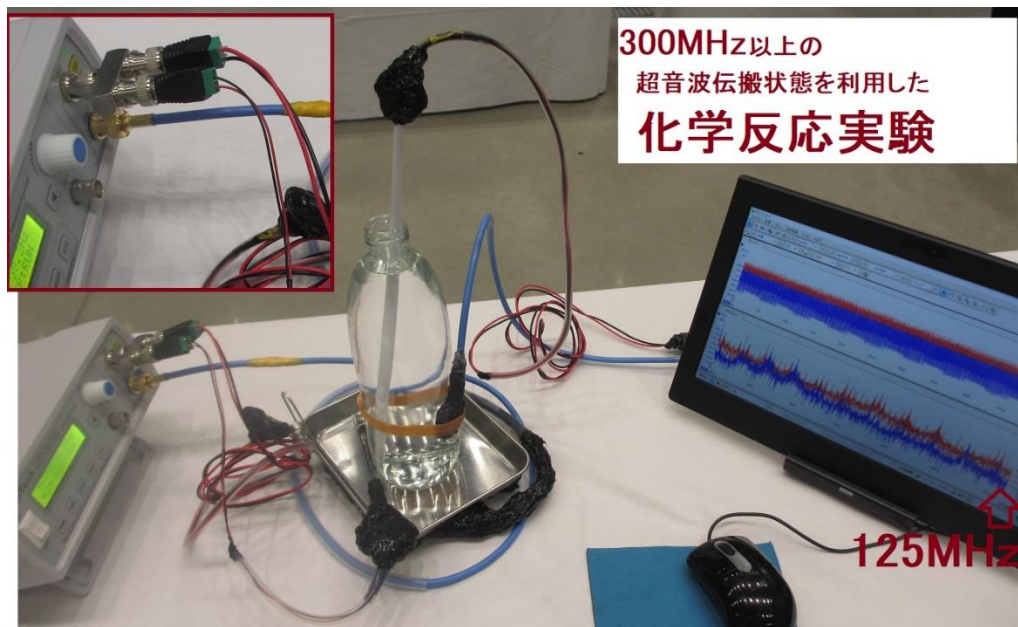
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1478>

超音波水槽のダイナミック液循環システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=14869>

100MHz以上の超音波伝搬状態を利用可能にする技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=14411>



一つの発振チャンネルから同時に二種類の超音波プローブを発振制御するシステム

ファンクションジェネレータの一つの発振チャンネルから同時に2種類の超音波プローブを発振することで発生する相互作用を利用して超音波の非線形現象(注)をコントロールする技術を開発しました。

注: 非線形(共振)現象  
オリジナル発振制御により発生する高調波の発生を共振現象により高い振幅に実現させたことで起こる超音波振動の共振現象

超音波めっき技術

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

A I C (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>

オリジナル超音波実験

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1745>

メガヘルツ超音波による精密洗浄技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1152>

超音波振動子の表面残留応力緩和技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1798>

超音波振動子の設置方法による、超音波制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1487>



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>

超音波洗浄機の「脱気ファインバブル（マイクロバブル）発生液循環装置」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1779>

脱気ファインバブル発生液循環装置を利用した超音波洗浄機

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1251>

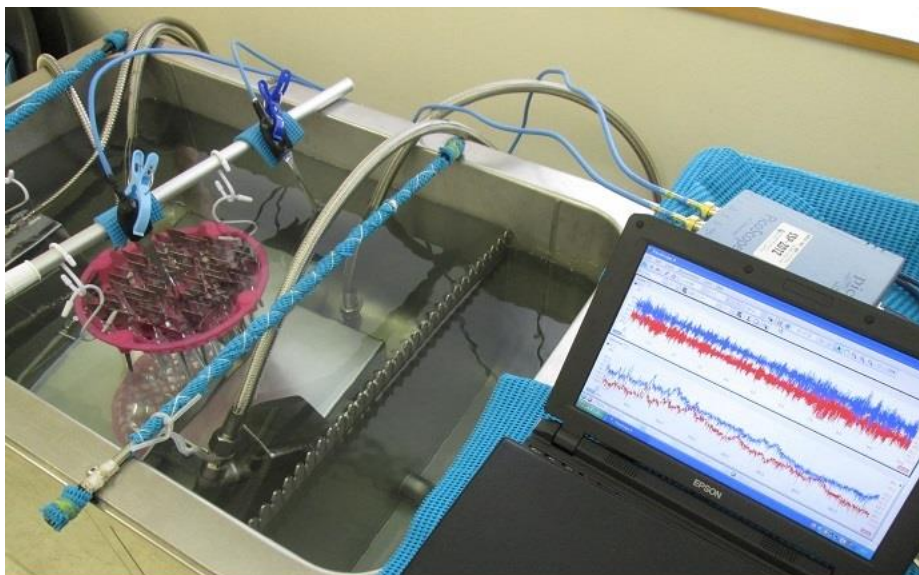


ウルトラファインバブルとメガヘルツ超音波の音響流制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=14443>

ノウハウ<超音波振動子の設置、脱気・マイクロバブル発生液循環>

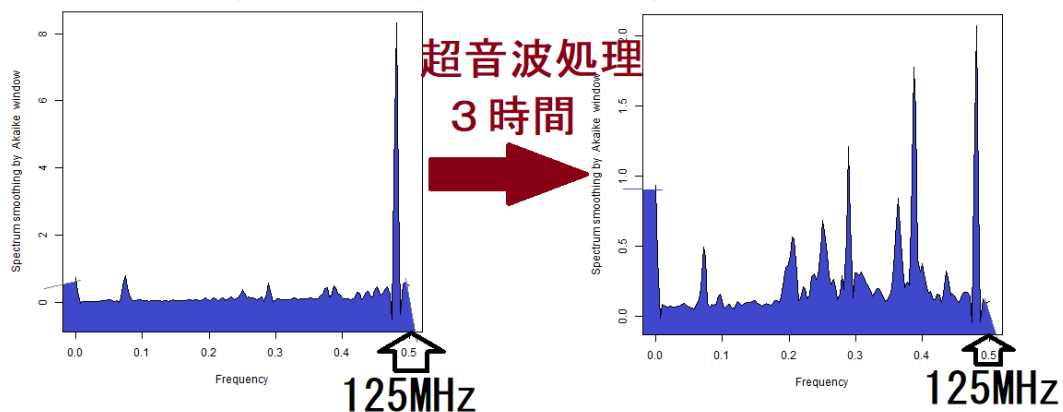
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1538>

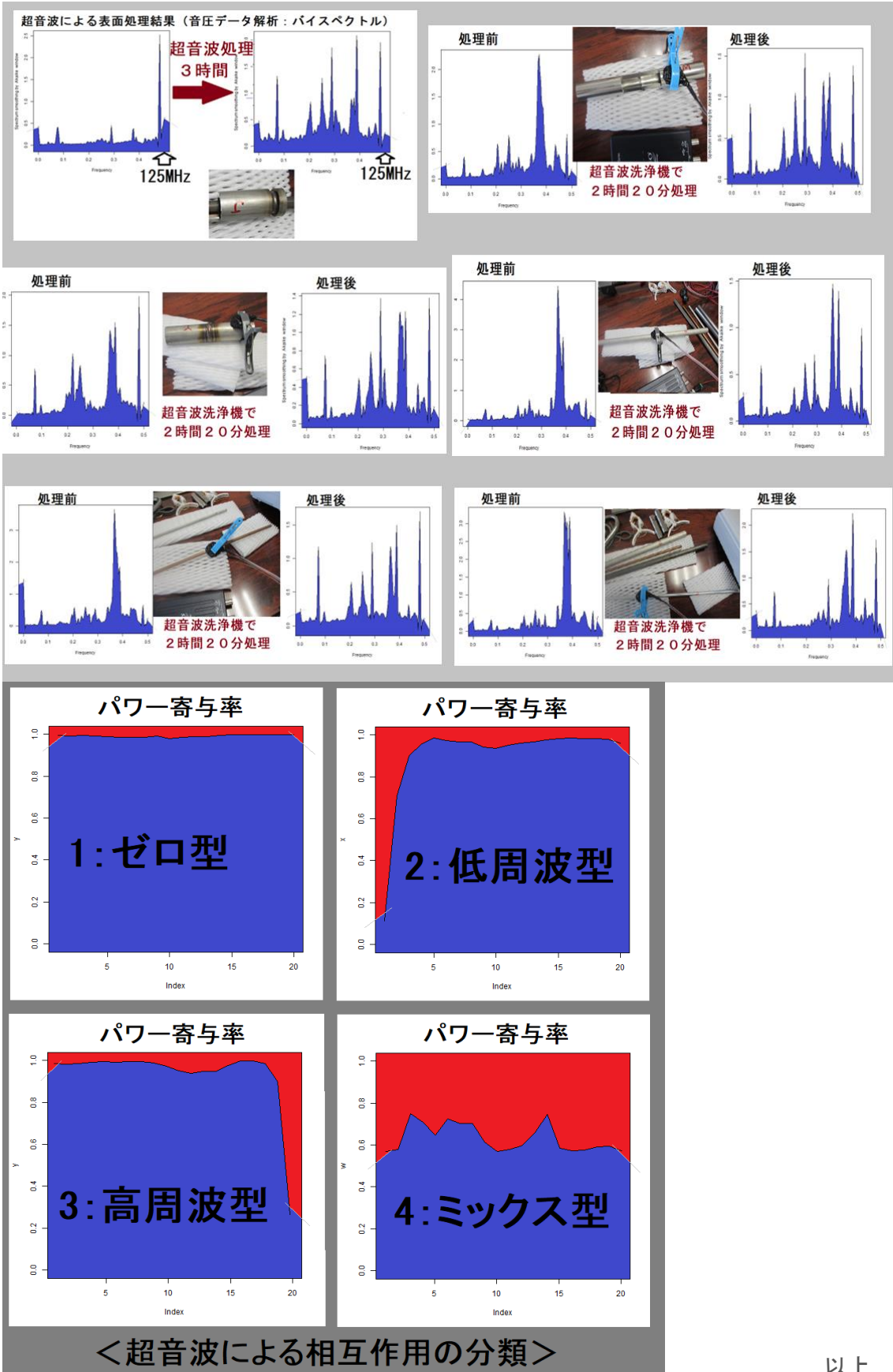


4種類 (28, 38, 40, 72 kHz) の  
超音波振動子とマイクロバブルを利用した

## <表面処理技術>

超音波による表面処理結果 (音圧データ解析: バイスpekトル)





以上