

# 超音波とファインバブルによる超音波洗浄技術 No. 3

2023. 6. 9 超音波システム研究所

## 1. はじめに

ファインバブルの現象には沢山の条件があり、それぞれの影響が複雑に関連しています。

その中に、影響の大きさに比べ研究が少ない事項が、水槽と液循環です。この条件をファインバブルについて検討し、20kHz~100MHz 範囲の超音波との組み合わせによる新しいファインバブル・超音波洗浄システムを開発しました。このシステムを使用して、超音波とファインバブルによるナノレベルの「精密洗浄」「表面改質処理」「攪拌・分散・粉砕」・・・を行っています。

ここでは、球形サイズで 20 $\mu$  以下の、ファインバブルを安定して利用する技術を紹介します。

## 2. 脱気ファインバブル発生液循環装置

「揚程の高い、マグネットポンプの吸い込み側のバルブ（配管）を絞る。」  
と言う、ポンプメーカーの禁止事項を行います。

(通常のマグネットポンプで 15 年以上機能します  
揚程の高さとバルブの絞り状態の設定で  
マイクロバブルの発生量とサイズを調整できます)  
特許の問題はありません (公知とされています)

揚程の高いマグネットポンプ

マグネットポンプ MDシリーズ ホース接続 MD-70RZ  
ポリプロピレン製 (株式会社イワキ IWAKI CO, LTD.)

あるいは、

三相電機株式会社 マグネットポンプ 品番 PMD-1521B6E



MD-70RZ



PMD-1521B6E

### 3. ものづくり課題

#### 3. 1 : 洗浄装置・洗浄液・・・の管理は難しい

説明

物理作用として、振動現象を利用する装置の場合  
装置の設置による低周波の振動現象と、装置固有の振動現象に加え  
洗浄対象物・治工具・・・の振動現象が、相互作用により  
振動状態は複雑に変化します。  
洗浄効果のある、多くの事例では、非線形性の振動現象が発生しています。  
非線形性の確認を行い、  
管理することは、論理的な学習と振動計測に関する理解が必要です。

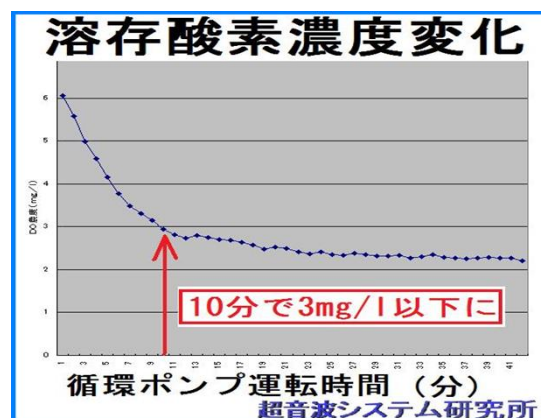
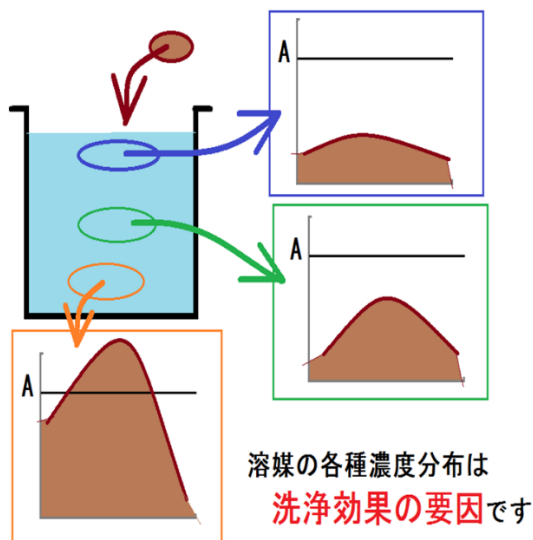
特に、メガヘルツの超音波振動の利用に関しては音圧データの非線形性に  
関する測定解析が非常に重要です。経験や類似の成功事例だけでは  
目に見えない瞬間的な共振現象と非線形現象の判断は難しい状況です。

洗浄液の化学作用として、洗浄効果を利用する装置の場合  
洗剤の濃度管理が重要です。水槽内の濃度分布の測定よりも、濃度分布の解消  
(均一化対策)が必要です。

液温、湿度、気温、気圧・・・による環境との相互作用により  
各種の分布は、複雑に変化します。

特に、溶存気体濃度の分布は化学反応において大きな影響がありますが、  
溶存気体濃度を均一にする方法は知られていません。

(20  $\mu$ 以下のファインバブルによる拡散性の利用が一つの方法です)  
単純に洗剤を投入しても、濃度分布のバラツキを大きくしているだけの場合  
洗浄効果のバラツキをより大きくする結果になります。



### 3. 2 : 気候・環境・・・各種変化・・・が洗浄効果に影響する

#### 説明

台風の季節に多いトラブルの原因に、気圧の変化があります。

気温や湿度と異なり、人が感じにくい原因として考慮しない傾向があります。(台風が来る1週間前あたりから低気圧になり影響が出始める傾向があります)

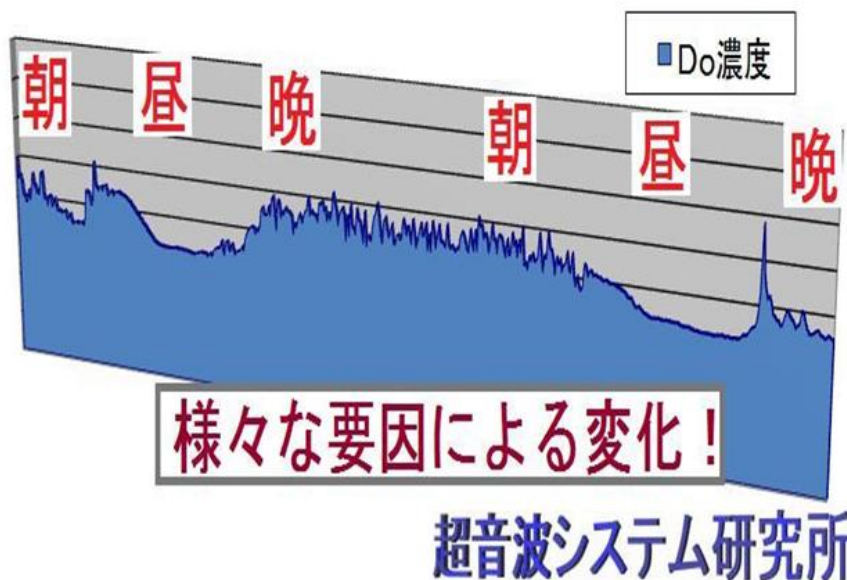
さらに、気圧の変化が、超音波の伝搬状態について、大きな要因となります。

(ゆっくりと低気圧になる傾向が、洗浄効果(注)を下げます)

台風直後、気圧が上昇する傾向は、洗浄効果も上昇します)

注：キャビテーション・音響流の発生効率

## 溶存酸素濃度変化(2日間)



### 3. 3 : 洗浄物の表面は、保管・処理技術の発展とともに変化する

洗浄レベルの要求も変化する

#### 説明

20年前の脱脂洗浄は、様々な洗浄方法が効果を出していました。

現在、多くの脱脂洗浄は、超音波洗浄あるいは洗剤・溶剤洗浄が主体となっています。次工程の、めっき・溶接・各種コーティング・・・での要求(不良率や洗浄レベル)が高く、洗浄後の保管状態にも注意が必要な状況です。

クリーンルームでのめっき処理、コーティングが増えています。

ナノレベルの1滴の油分が、

溶接温度の低下、コーティングの不純物として問題視されている現状です

3. 4 : 洗浄管理、洗浄評価に関する技術・研究・機器は不十分  
(洗浄は解明されない：洗浄物に対する固有の方法を開発する必要がある)

説明

超音波洗浄機の場合、音圧測定に関して

音圧レベルが高いと洗浄効果が大きいという単純な傾向はありません。

(超音波洗浄機の出力レベルを下げることで

洗浄液や洗浄物に伝搬する周波数成分が高周波に変化して

洗浄効果を改善した事例が多数あります)

伝搬周波数や非線形現象を把握(測定・解析)しないと

洗浄効果につながる具体的な改善ができません。

そもそも、安定した超音波照射が実現できる装置は非常に少ない状態です。

不安定な変化は、共振現象を起こし、低周波の振動現象に発展し、液面の揺れや大きな騒音に発展して、洗浄効果が大きく低下します。

洗浄装置以上に、

洗浄物の表面に伝搬する超音波振動の把握(測定・解析)が必要です。

(このような実験を行っているメーカー・研究者はほとんどいません

超音波システム研究所は、15年間のコンサルティングで

測定解析を行い、洗浄物の特性に合わせた制御技術を開発してきました)

洗浄物の形状・材質・数量・・・に合わせた、

各種(超音波・液循環)制御・専用治工具の工夫が必要です。

これは、個別の研究・開発となるため、ほとんど研究されていません。

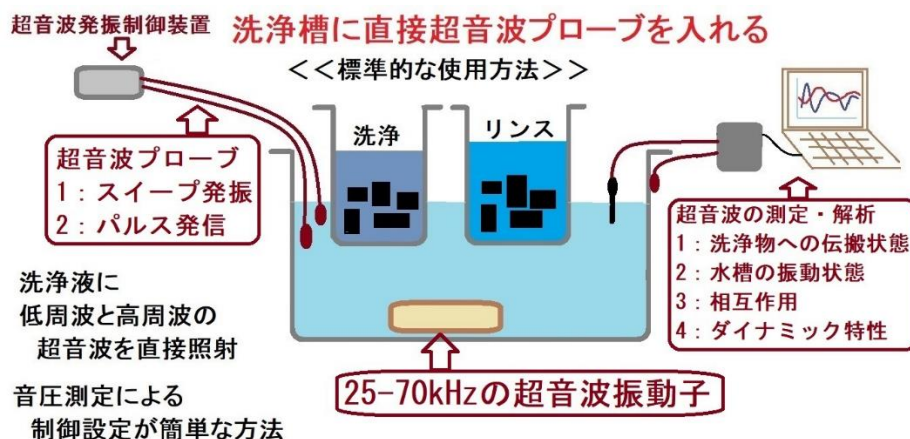
具体的対策は、問題点の多い現状の超音波洗浄装置に対して

出力10-20Wのメガヘルツ超音波を追加して発振制御することです。

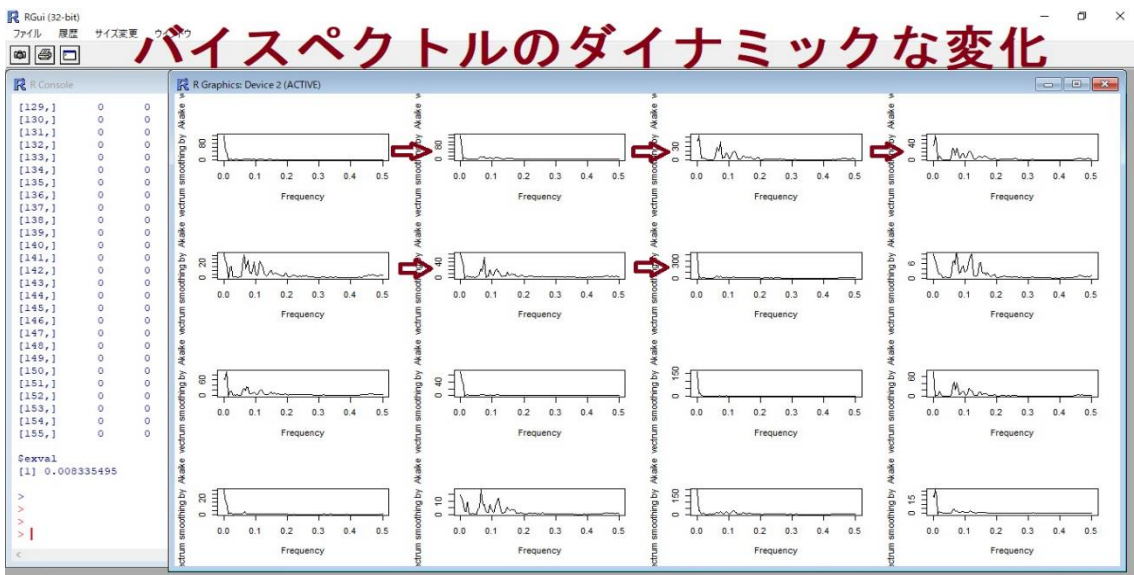
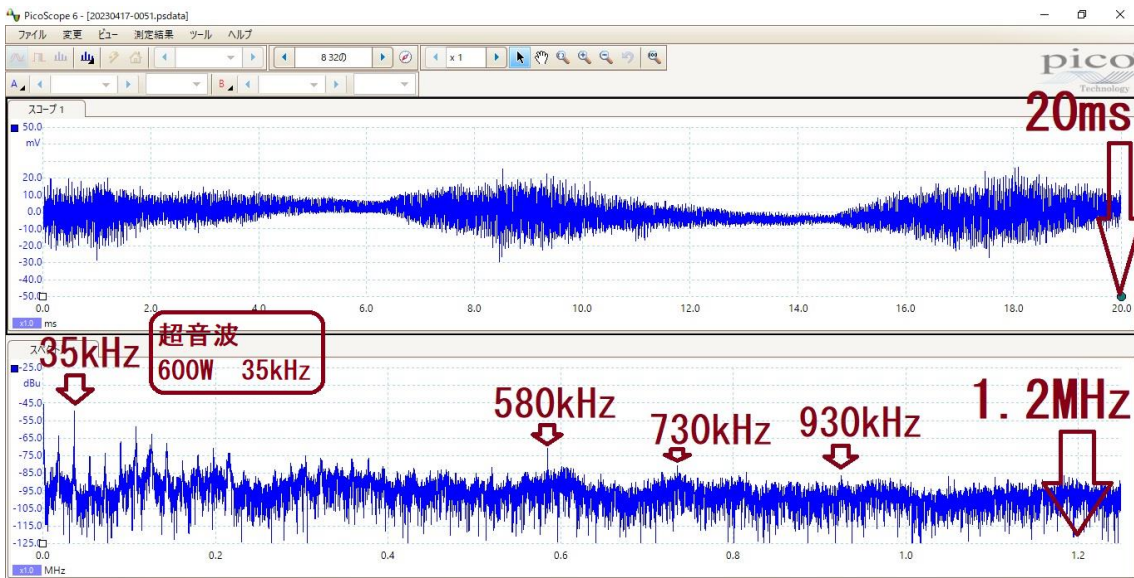
標準的には、2本の超音波発振制御プローブを下記のように利用します

1本は、測定解析に基づいた、スイープ発振制御を行います

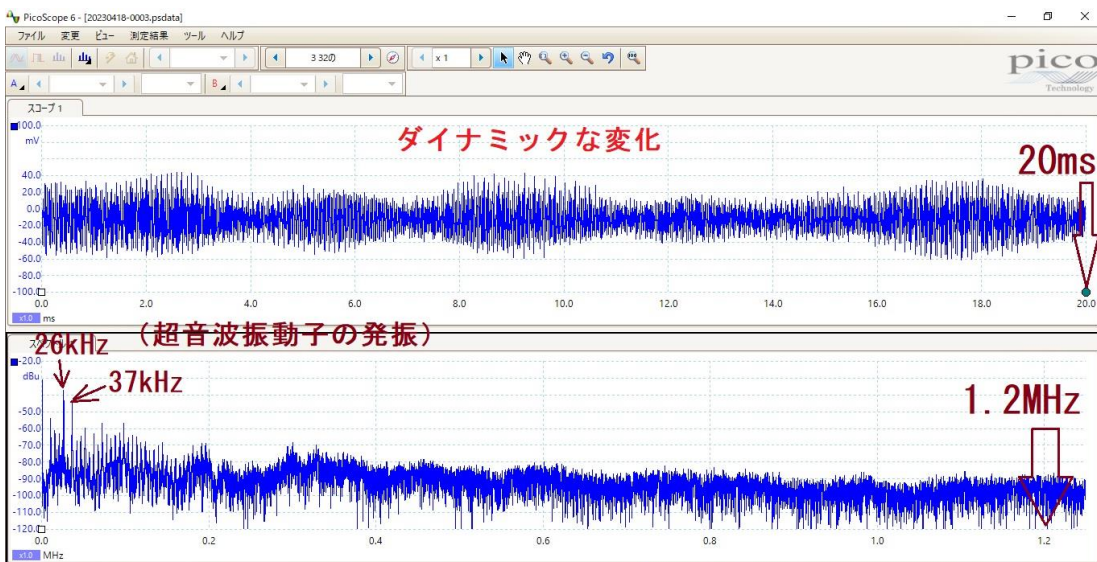
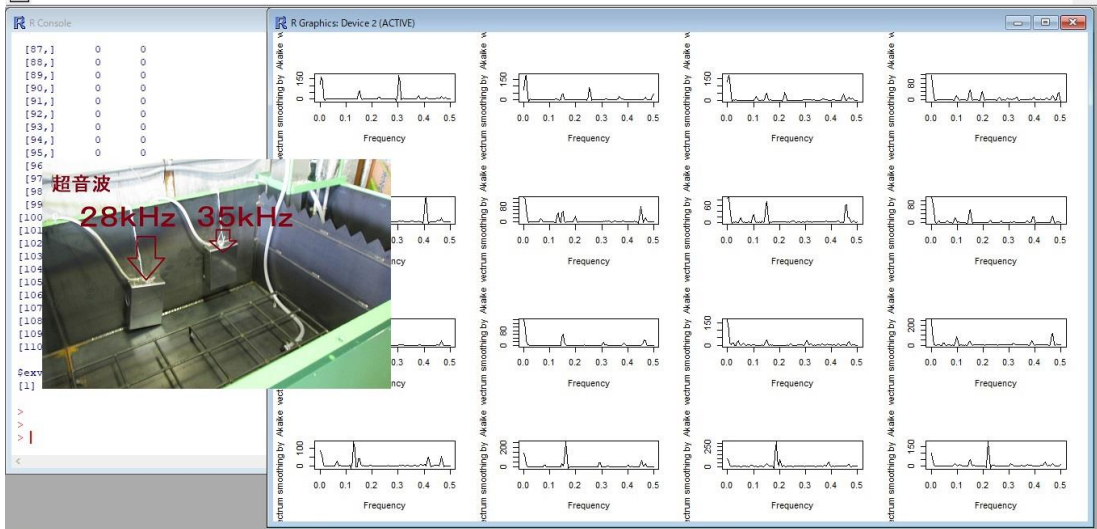
1本は、スイープ発振を最適化する周波数のパルス発振を行います

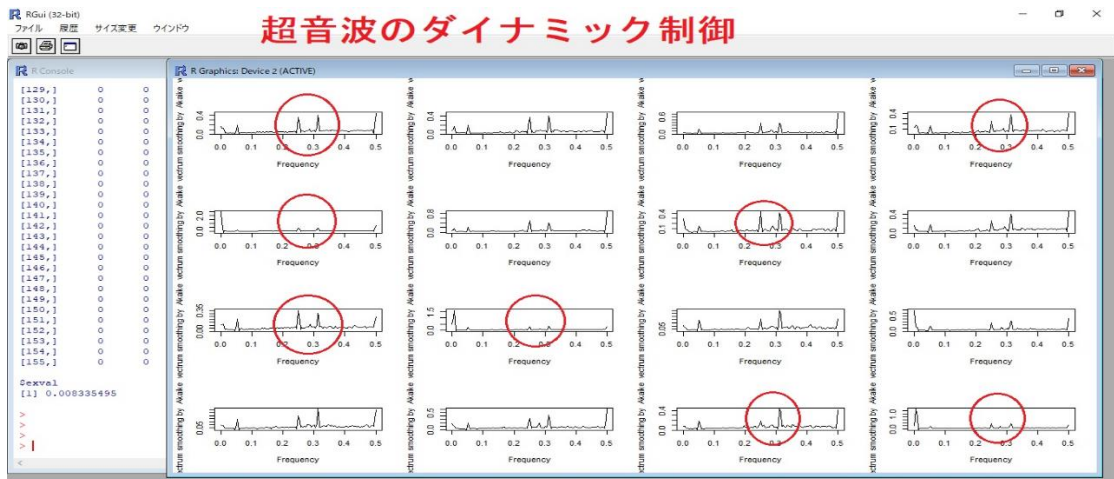
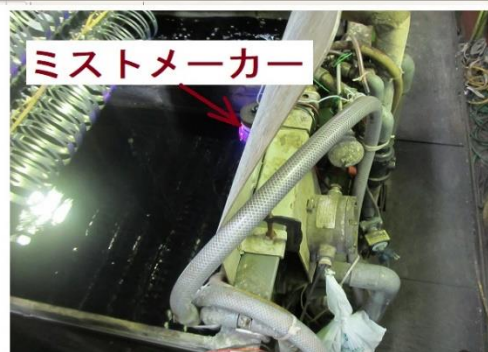
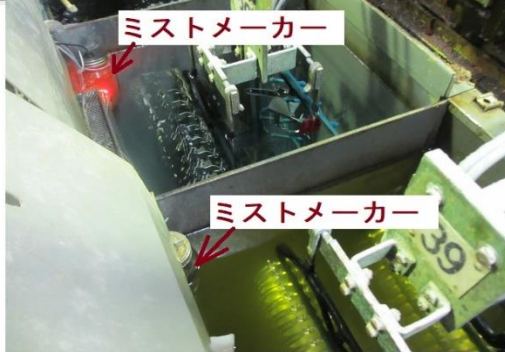
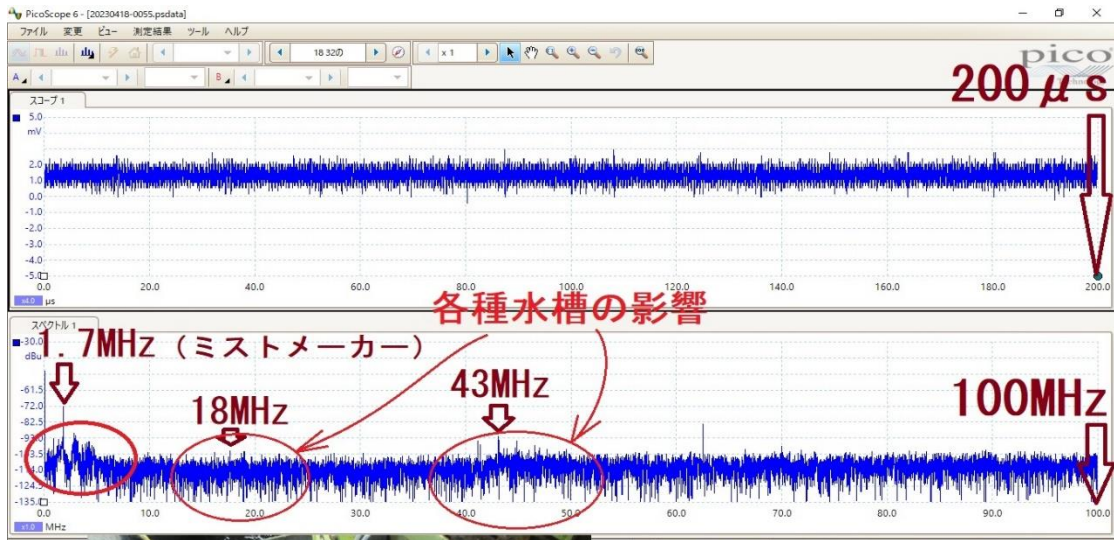


#### 4. 超音波洗浄機の事例



超音波の非線形解析データから、新しい超音波利用を導く





## 5. 結論

5-1 : 球形サイズで  $20\mu$  以下のファインバブルの効果

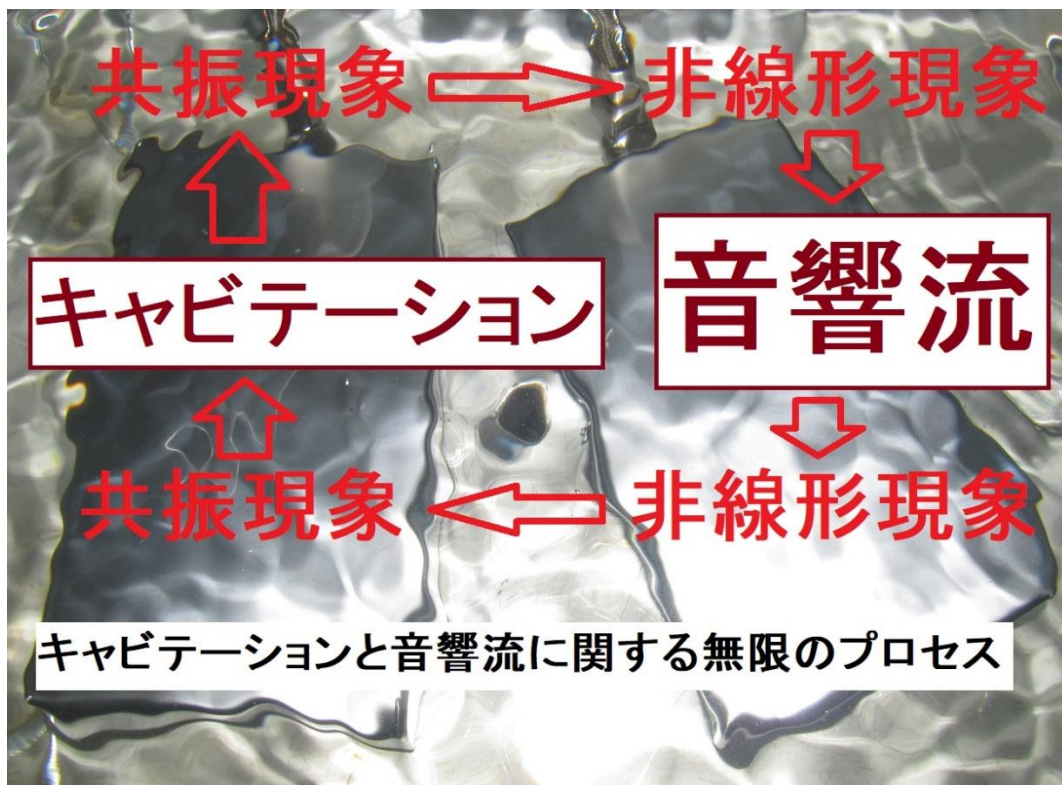
1) 洗浄液の溶存酸素濃度を均一化する

5-2 : ファインバブルと超音波の組み合わせ効果

2) ファインバブルの超音波振動による崩壊が、  
対象物の表面刺激（洗浄・表面改質・・・）となる

5-3 : 出力 10-20W のメガヘルツ超音波追加

3) 超音波発振制御プローブのスイープ発振とパルス発振条件が、  
目的に合わせた、超音波振動のダイナミック制御を実現する  
（キャビテーションと音響流の最適化技術）



上記により、洗浄実績とともに、めっき処理、加工処理、溶接処理・・・  
様々な応用実績が増えています

\*脱気ファインバブル発生液循環装置

\*超音波（音圧測定解析・発振制御）システム

を、目的に合わせた超音波利用に応用してください

注意：水槽サイズ、形状、構造により、多数の注意事項があります  
洗剤、溶剤、電解水、炭化水素・・・対応可能です  
具体的なお問い合わせはメールでお願いします



## 6. 参考

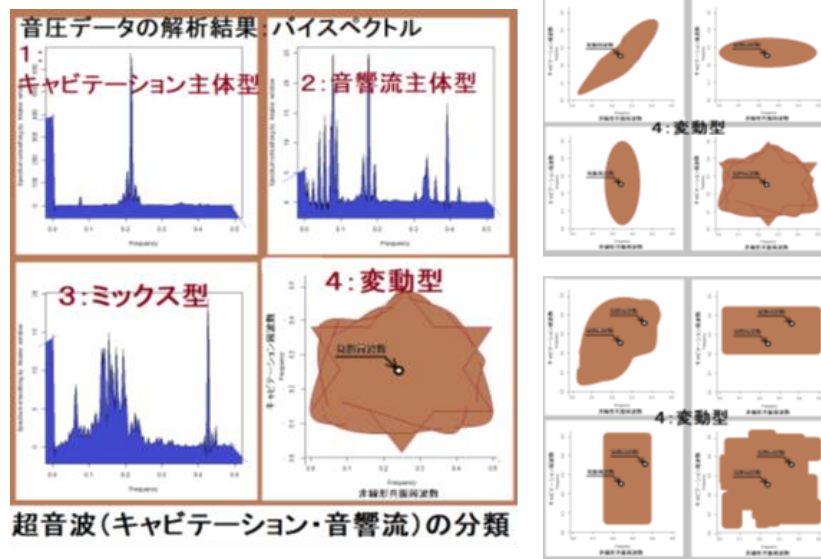
統計的な考え方を利用した超音波

<http://ultrasonic-labo.com/?p=12202565564554633>

超音波の非線形振動

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

### 洗浄物・汚れの分類：洗浄効果とダメージの最適化



超音波伝搬現象の分類 1

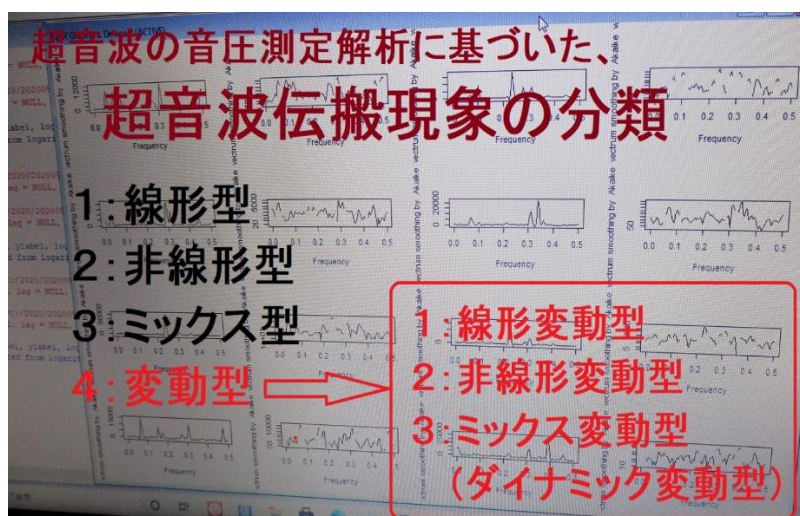
<http://ultrasonic-labo.com/?p=10908>

超音波伝搬現象の分類 2

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17496>

超音波伝搬現象の分類 3

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17540>



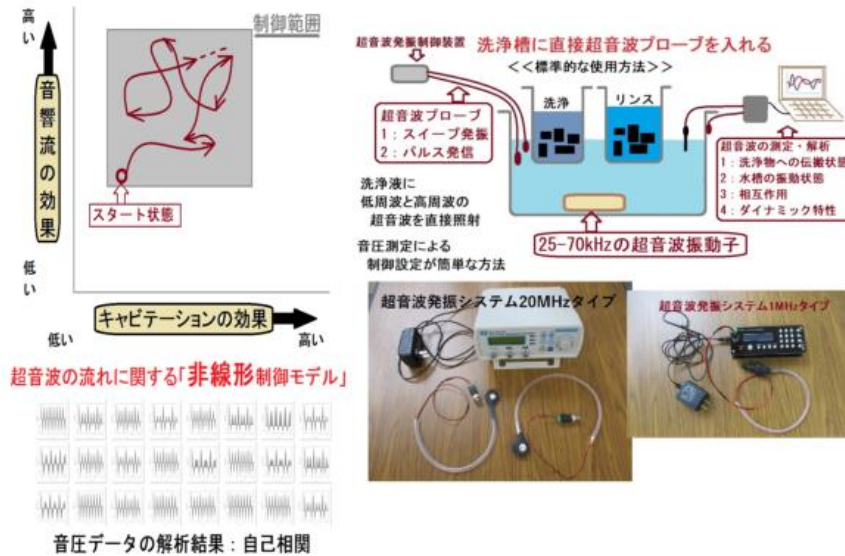
## 超音波の最適化技術 1

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

## 超音波の最適化技術 2

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

### 洗浄効果とダメージの最適化



## 超音波プローブ

<http://ultrasonic-labo.com/?p=11267>

## 超音波プローブ(音圧測定・非線形振動解析)

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1263>

## メガヘルツの超音波発振制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1811>

## 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>



超音波の非線形現象を評価する技術

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

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>

**新しい応用**

複数の超音波プローブによる超音波発振(制御)を行う

超音波発振装置

電源

超音波発振

複数の超音波プローブによる超音波発振(制御)を行う

基本的な振動モードに基づいた様々な組み合わせの発振受信について検討・測定する

超音波受信装置

超音波発振

**新しい応用**

超音波発振

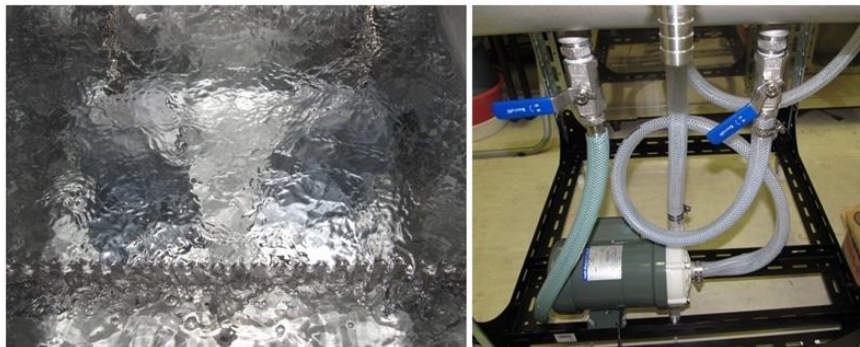
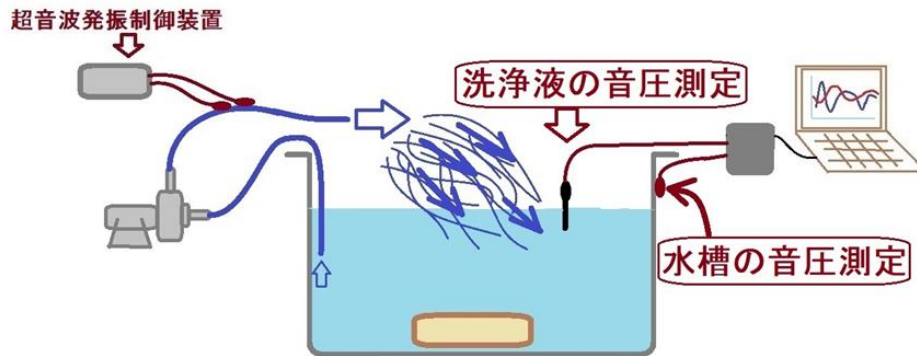
超音波測定

溶接時の超音波伝搬状態

溶接作業開始により発生する周波数

8MHz 16MHz 30MHz

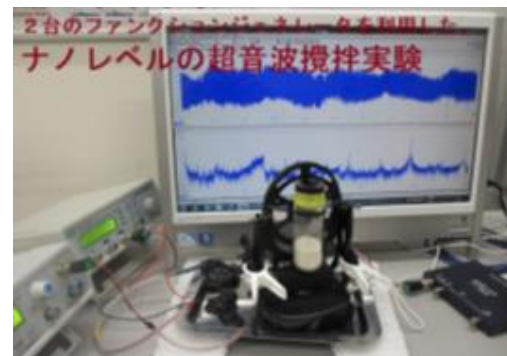
ポイント: 金属が固体と液体の状態になっているときの振動



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

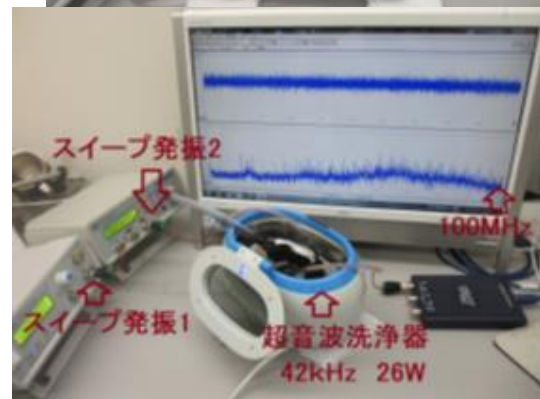
例1

- 1) 1.0MHz~15MHzのスweep発振制御1
  - 2) 0.6MHz~5MHzのスweep発振制御2
  - 3) 42kHz 26W(超音波洗浄器)
- による、ナノレベルの精密洗浄



例2

- 1) 3MHz~20MHzのスweep発振制御1
  - 2) 60kHz~3MHzのスweep発振制御2
  - 3) 42kHz 35W(超音波洗浄器)
- による、金属粉末のナノ分散処理

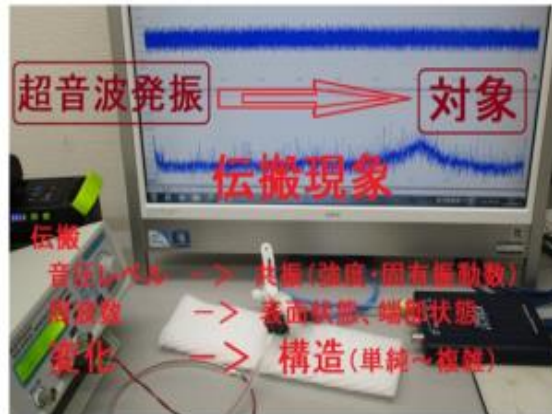
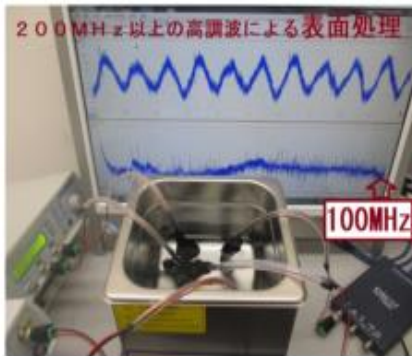


例3

- 1) 800kHz~22MHzのスweep発振制御1
  - 2) 100kHz~11MHzのスweep発振制御2
  - 3) 42kHz 26W(超音波洗浄器)
- による、食品・薬品...の乳化・分散処理

例4

- 1) 3MHz~20MHzのスweep発振制御1
  - 2) 60kHz~3MHzのスweep発振制御2
- による、金属部品の表面処理(表面残留応力の緩和・均一化技術)



例5

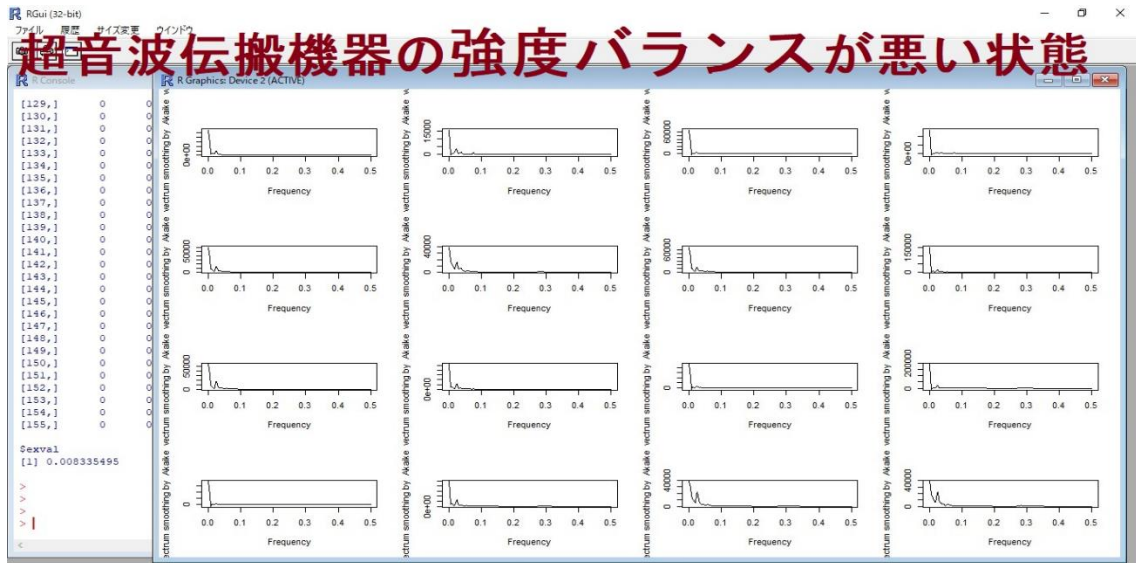
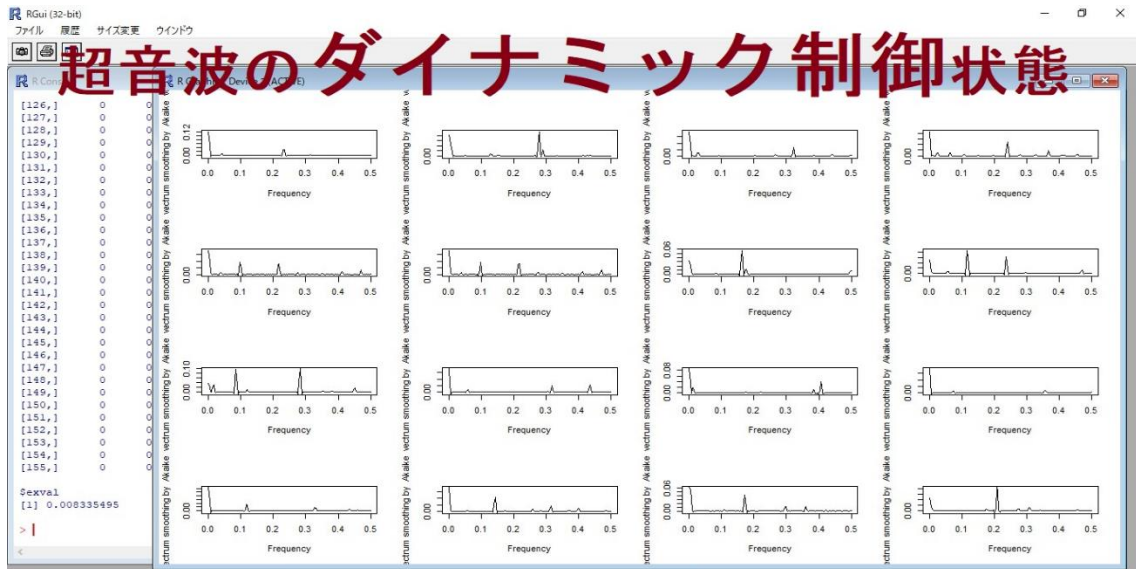
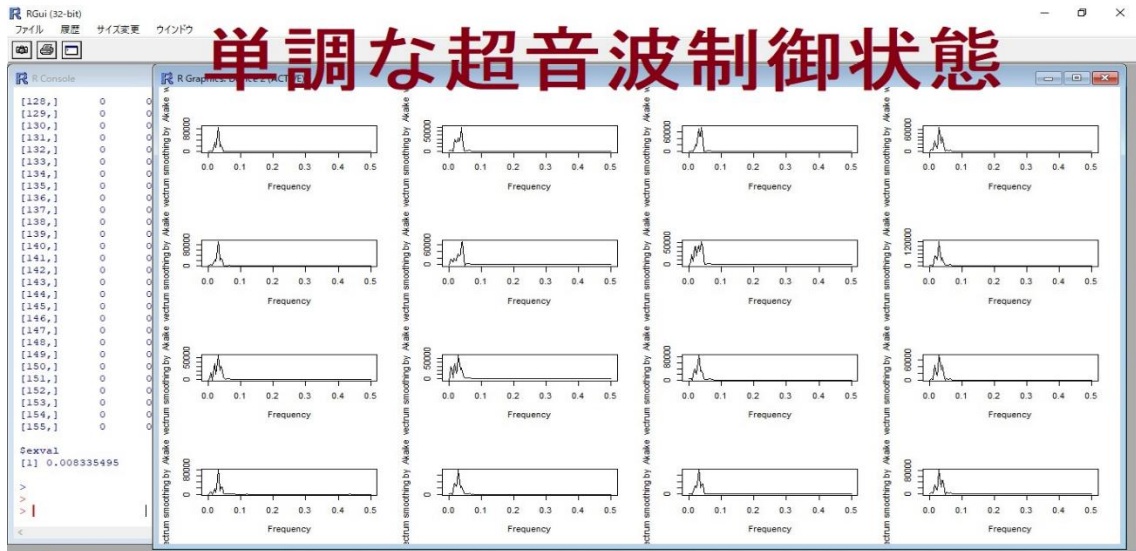
- 1) 1MHz~12MHzのスイープ発振制御1
  - 2) 80kHz~7MHzのスイープ発振制御2
- による、樹脂部品の表面処理(表面残留応力の緩和・均一化技術)

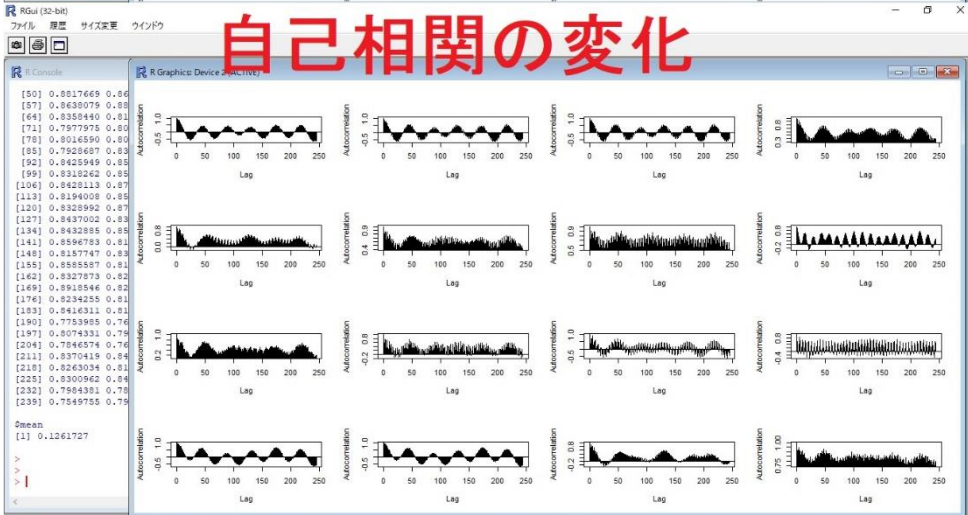
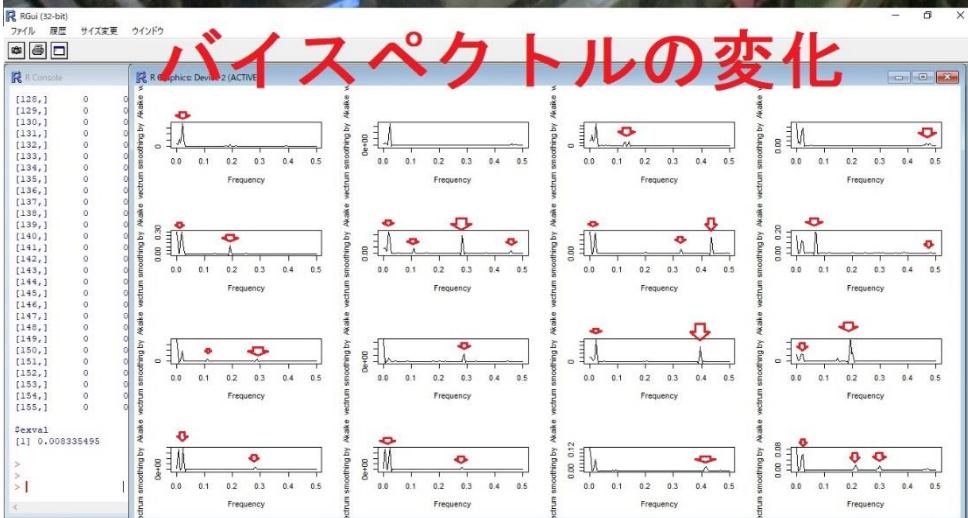
標準設定

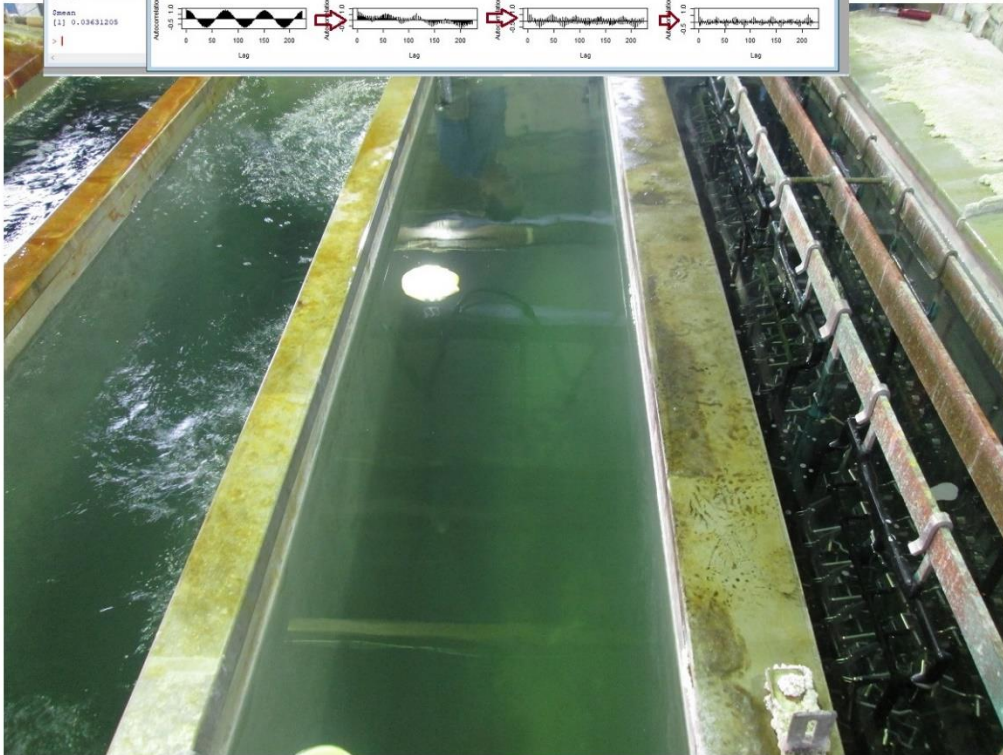
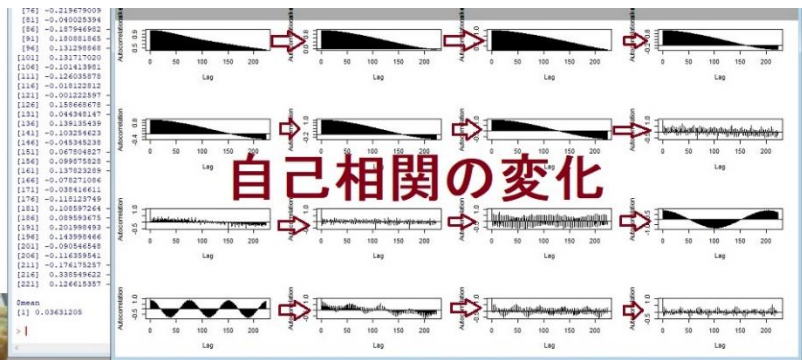
- 1) 3MHz~20MHzのスイープ発振制御1
  - 2) 60kHz~13MHzのスイープ発振制御2
  - 3) 42kHz 35W(超音波洗浄器)
- による、超音波のダイナミック制御 (ダイナミック変動型の超音波伝搬制御を実現)

注: 超音波洗浄器の水槽表面に関して、  
 超音波発振制御プローブと 脱気ファインバブル発生液循環装置により  
 表面残留応力緩和・均一化処理を行っています。  
 均一化の効果として、200MHz以上の高調波による超音波制御が実現しています。

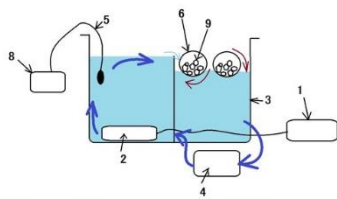
**新しい評価基準 (非線形現象の解析パラメータ)**



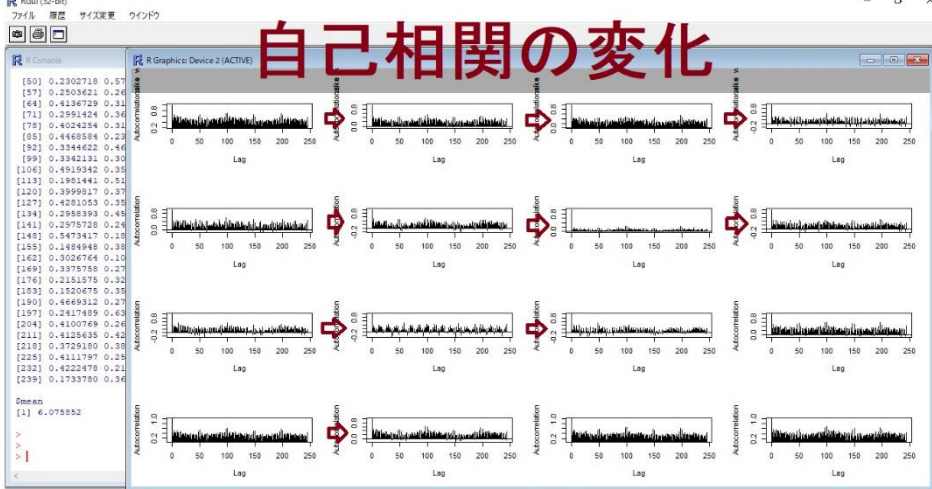
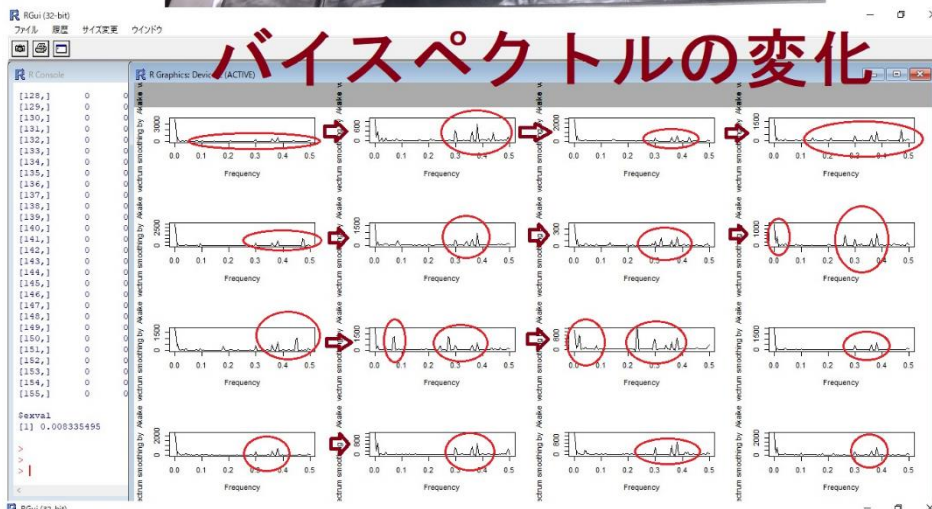




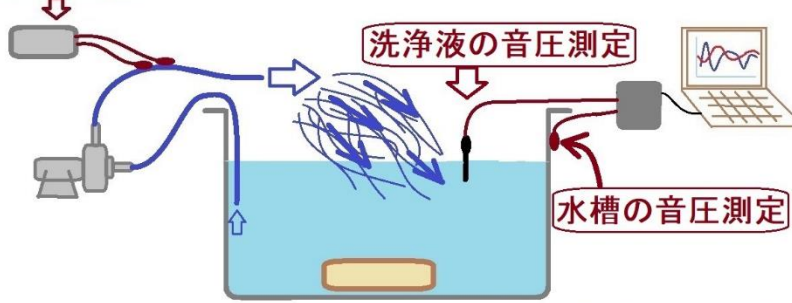




- 1 / 超音波発振器
- 2 / 超音波振動子
- 3 / 超音波水槽
- 4 / 脱気ファインバブル発生液循環システム
- 5 / メガヘルツの超音波発振制御プローブ
- 6 / 真空容器
- 7 / 回転撹動装置
- 8 / メガヘルツの発振装置
- 9 / 対象物



超音波発振制御装置



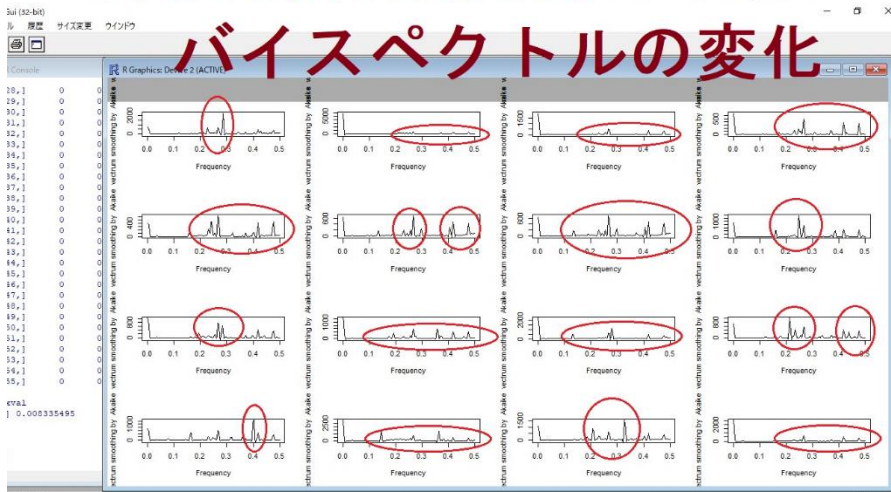
洗浄液の音圧測定

水槽の音圧測定

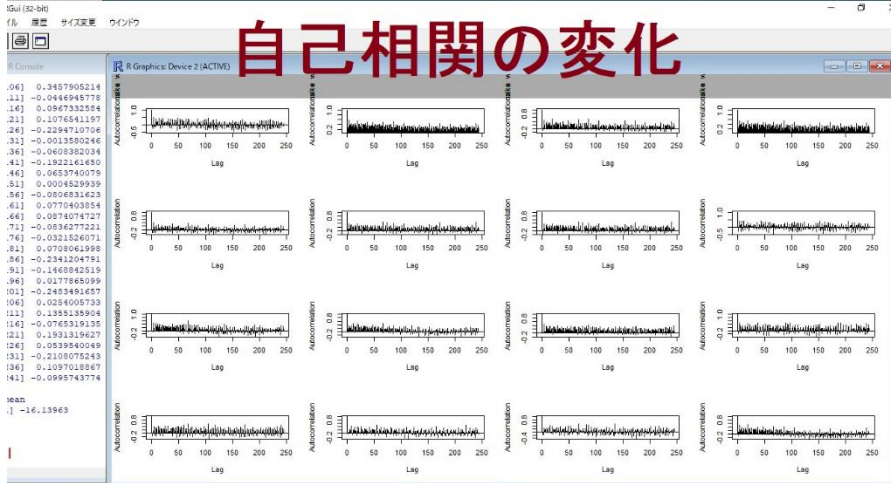


液循環ポンプの吸い込み側のバルブを絞ることで  
 ファインバブル(マイクロバブル)を発生する装置

## バイスペクトルの変化



## 自己相関の変化



以上