

水槽と超音波と液循環に関する

最適化・評価技術 Ver2

— 共振現象と非線形現象の最適化技術 —

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、

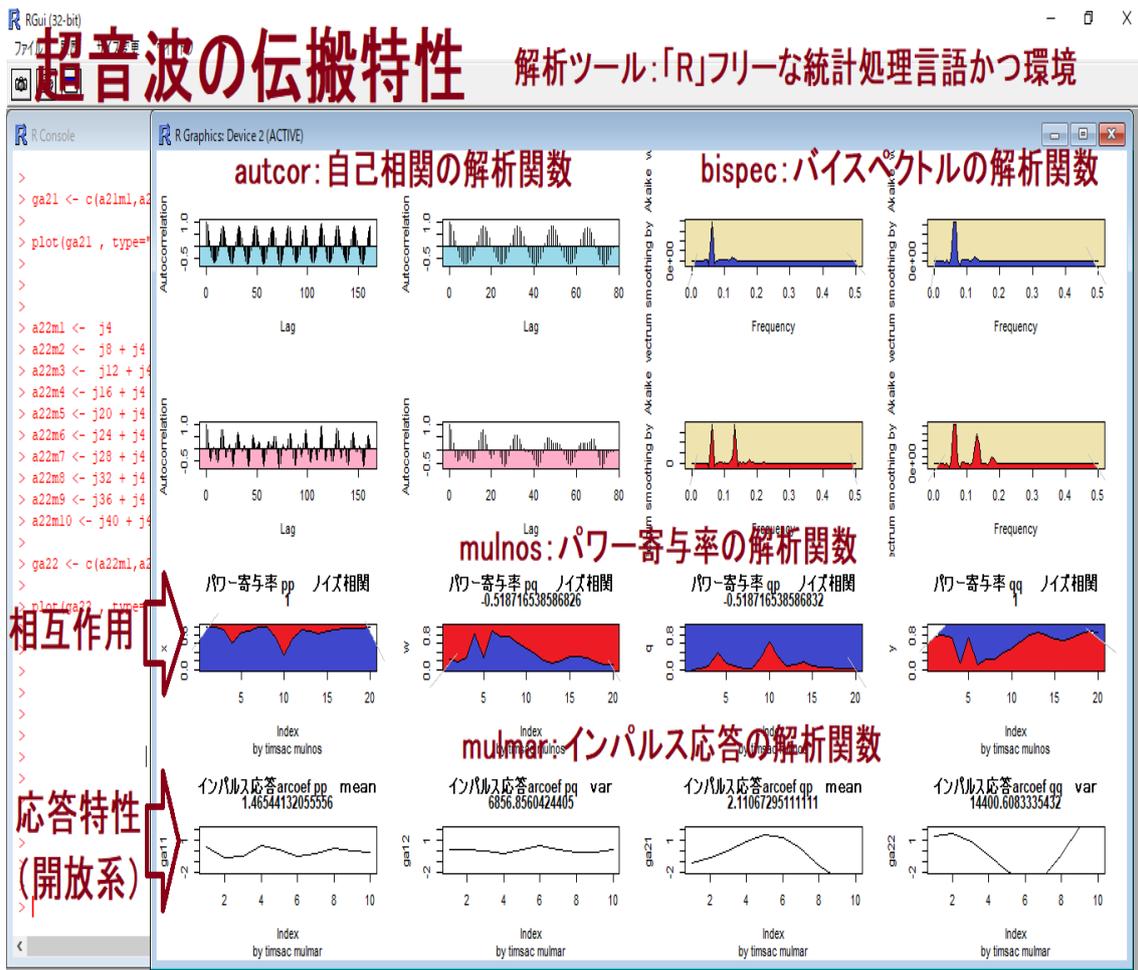
共振現象と非線形現象を制御可能にする超音波伝搬システムについて、

目的に合わせて非線形現象を最適化する技術を開発しました。

さらに、上記の技術を発展させ、

水槽と超音波と液循環に関する

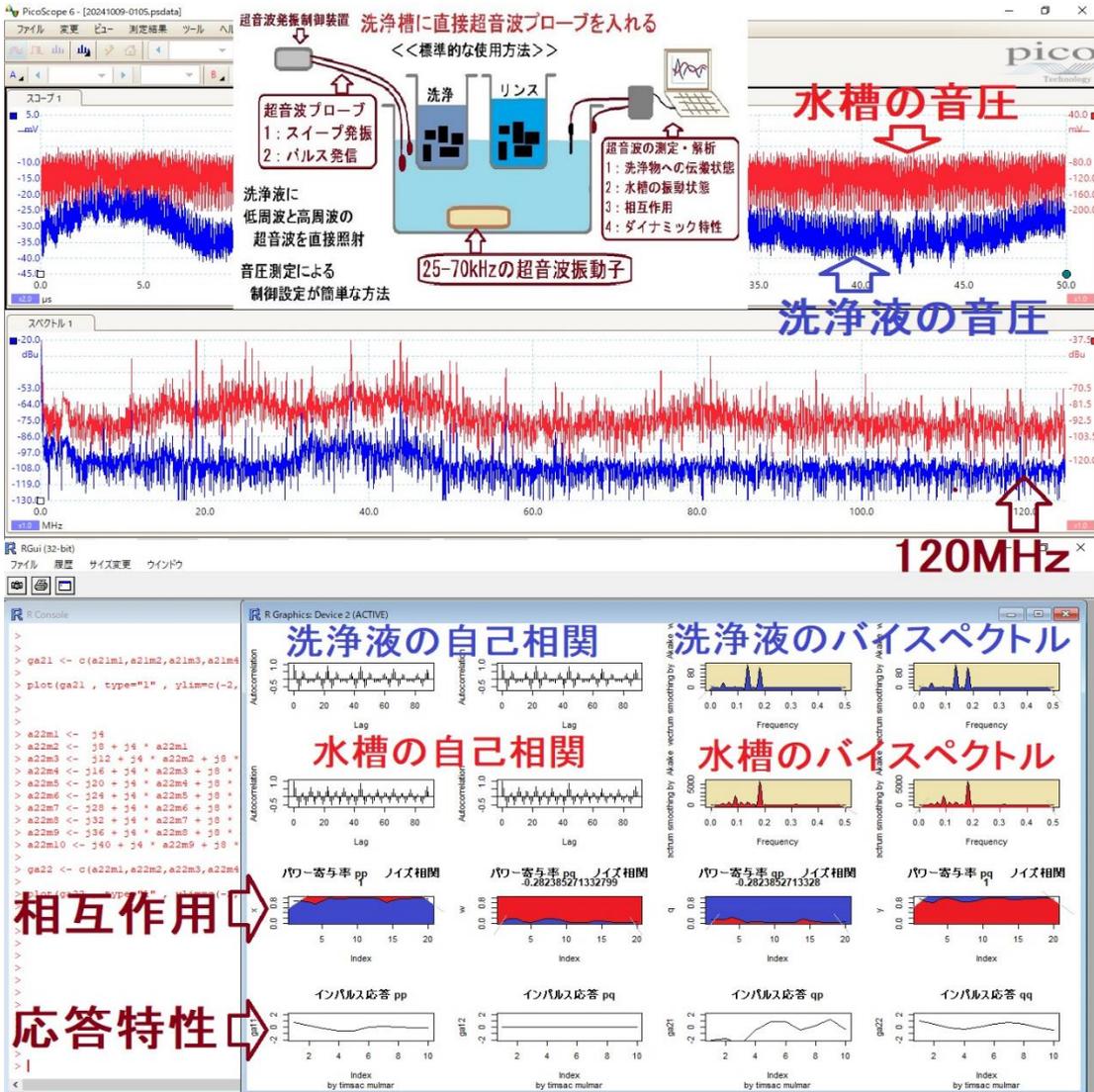
キャビテーションと音響流の最適化・評価技術を開発しました。



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）



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。

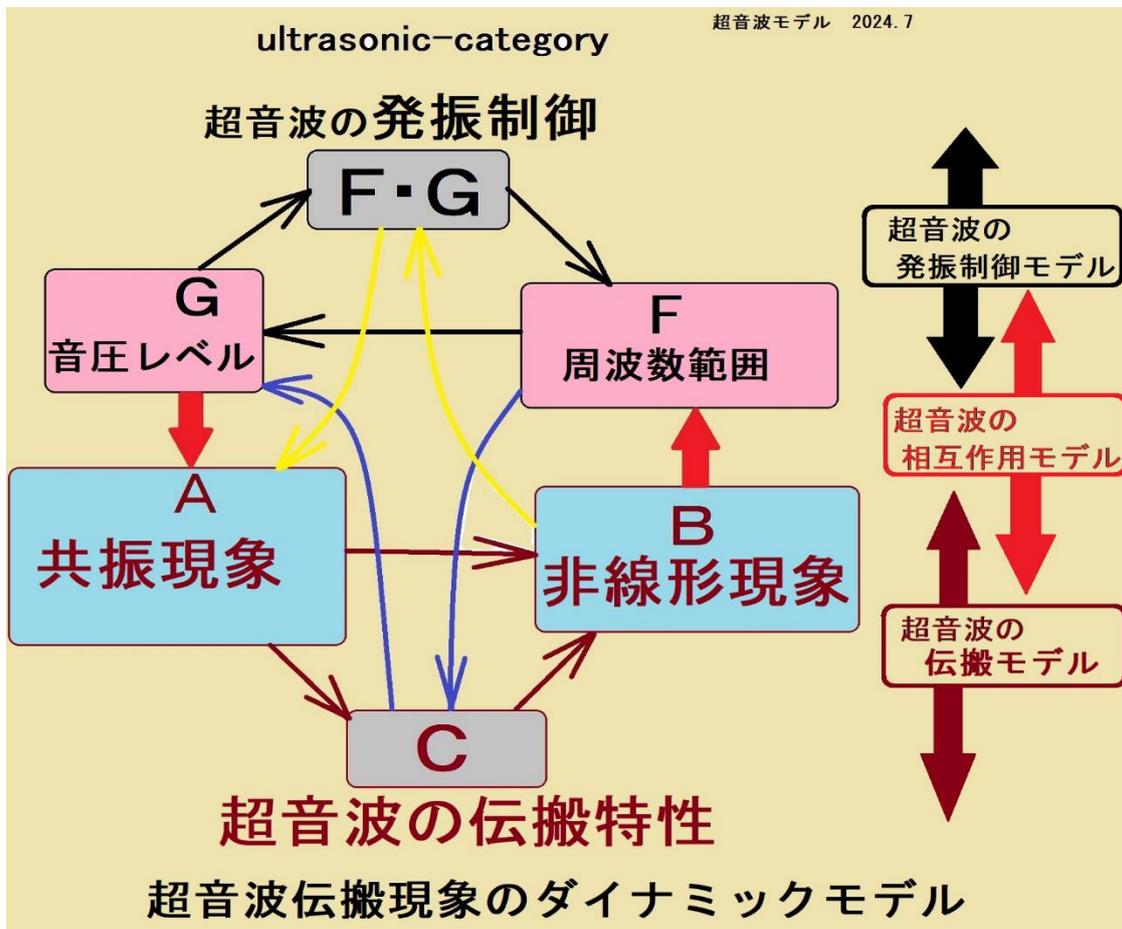
非線形現象による振動の伝搬（流れ）が発展すると伝搬状態のダイナミックな変化により、共振現象と非線形現象の複雑な状態になります。

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

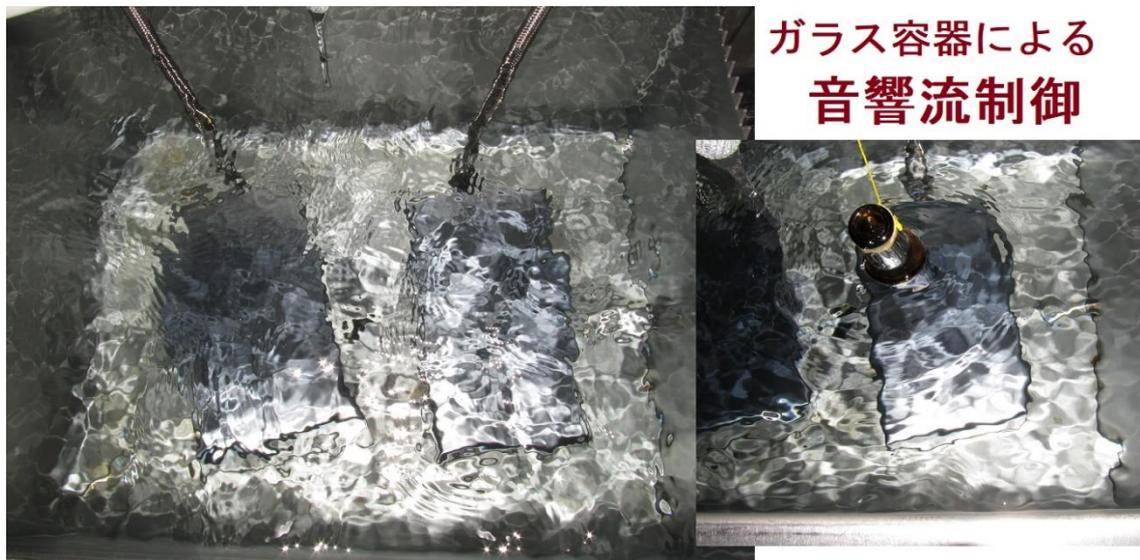
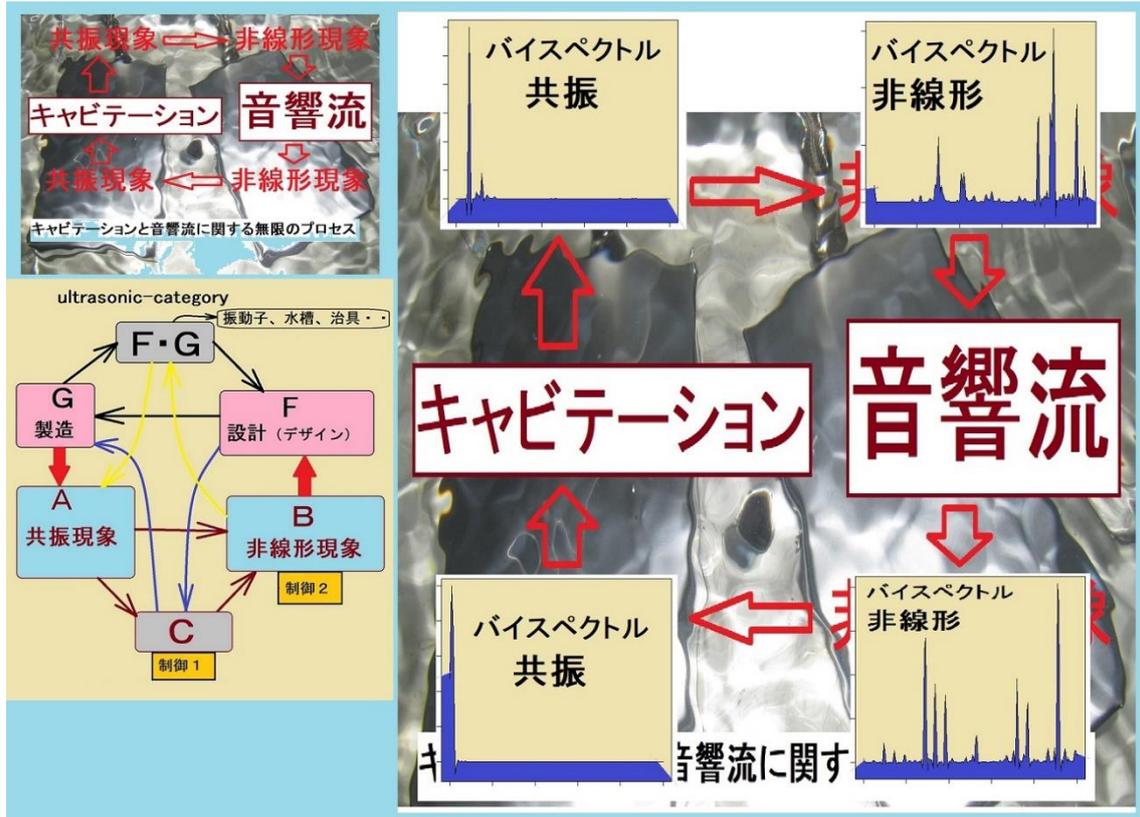
共振型伝搬状態：キャビテーションモード

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。



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

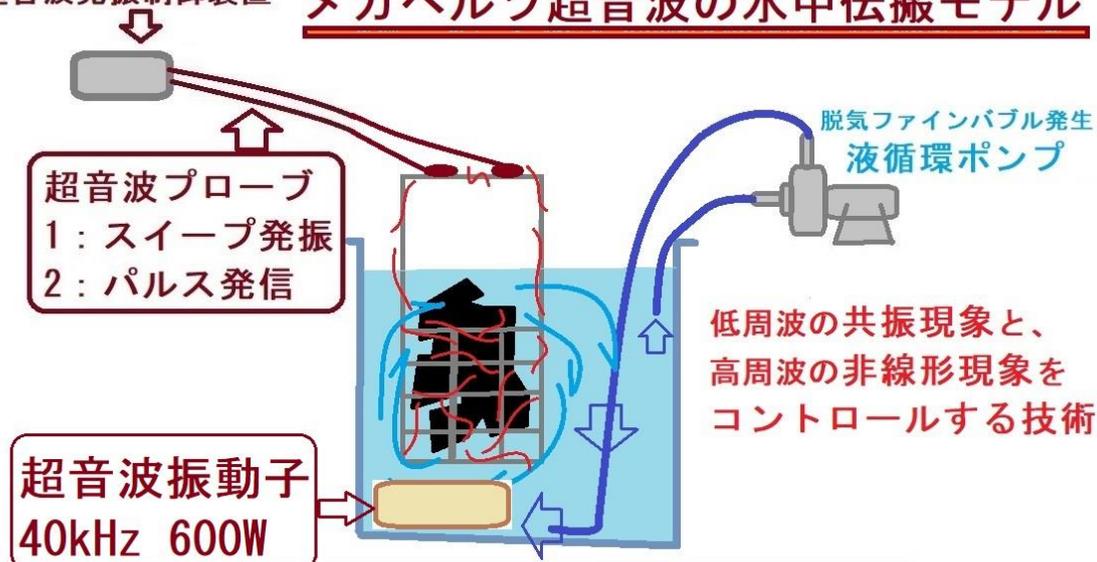
ベースとなる超音波振動子 1台 ONOFF制御
40kHz 600W (40%出力150W)
ON : 57秒 OFF : 17秒

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
7MHz~20MHz (出力12W)

超音波発振制御装置 メガヘルツ超音波の水中伝搬モデル



40kHz超音波・メガヘルツ超音波・ファインバブルの相互作用を
音圧測定解析に基づいて、最適化するダイナミック制御技術

追加対応

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 Sweep発振
500kHz~13MHz (出力12W)

例 超音波攪拌

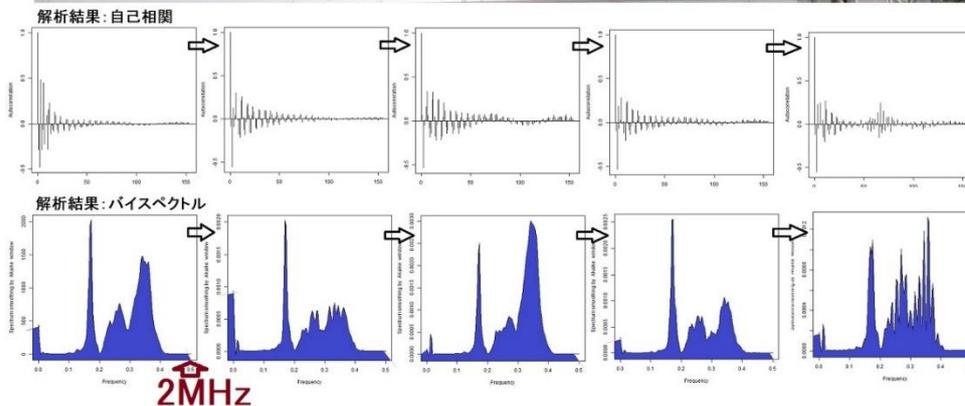
脱気ファインバブル発生液循環装置 1台 ONOFF制御
ON : 213秒 OFF : 31秒

ベースとなる超音波振動子 1台 ONOFF制御
40kHz 600W (30%出力180W)
ON : 43秒 OFF : 14秒

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
15.3MHz (出力13W)

メガヘルツの超音波発振制御プローブ2 スweep発振
60kHz~18MHz (出力12W)

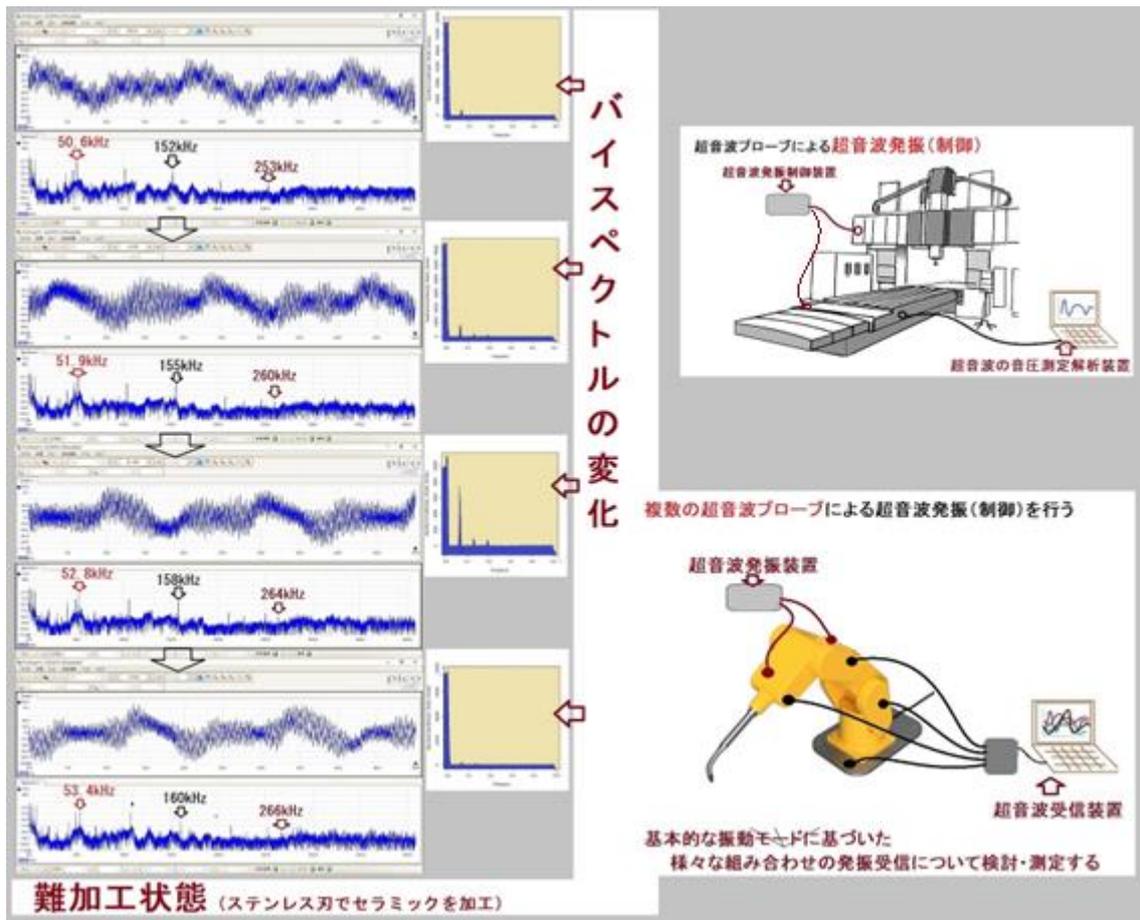


例 超音波加工・溶接

メガヘルツの超音波発振制御プローブ 2本

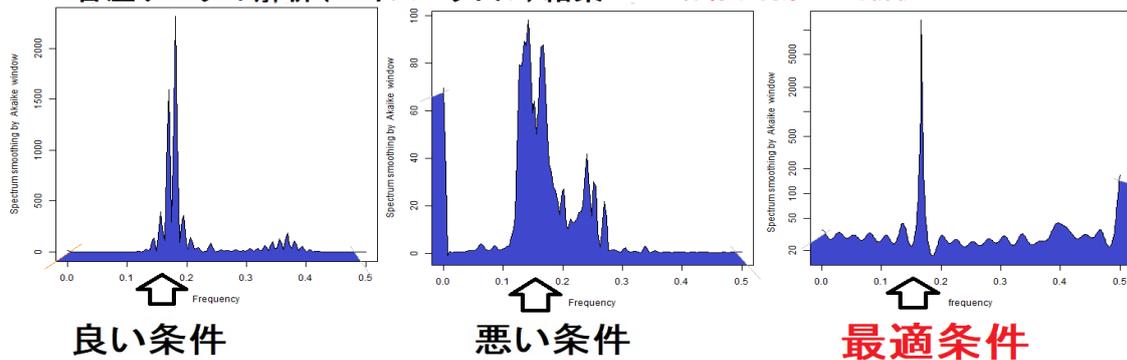
メガヘルツの超音波発振制御プローブ1 パルス発振
13MHz (出力10W)

メガヘルツの超音波発振制御プローブ2 スweep発振
8~20MHz (出力10W)



難加工状態 (ステンレス刃でセラミックを加工)

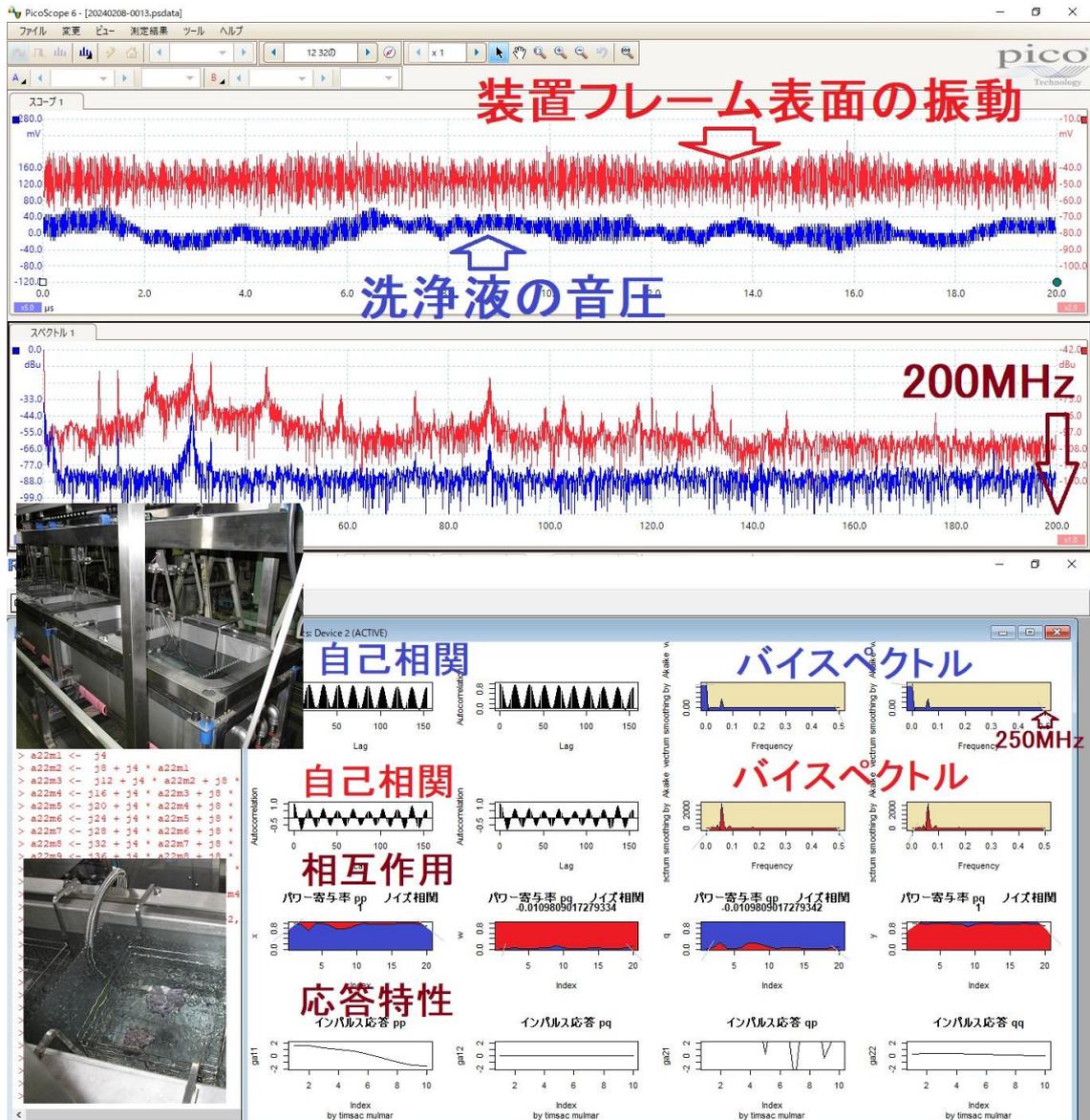
音圧データの解析(バイスペクトル)結果 ——非線形現象による評価——



超音波洗浄機の測定・解析事例

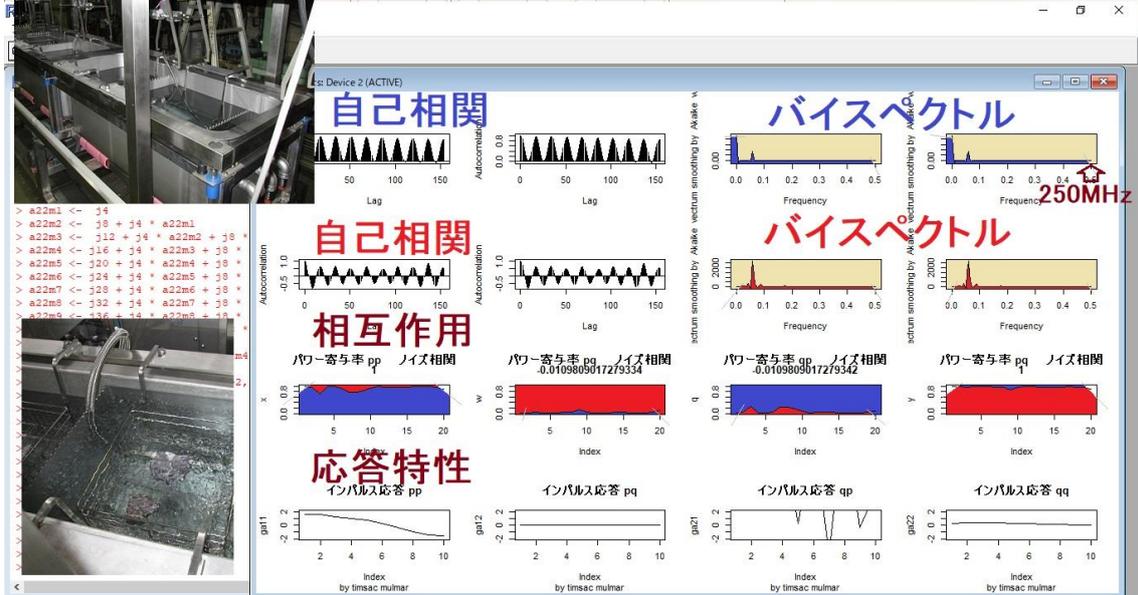
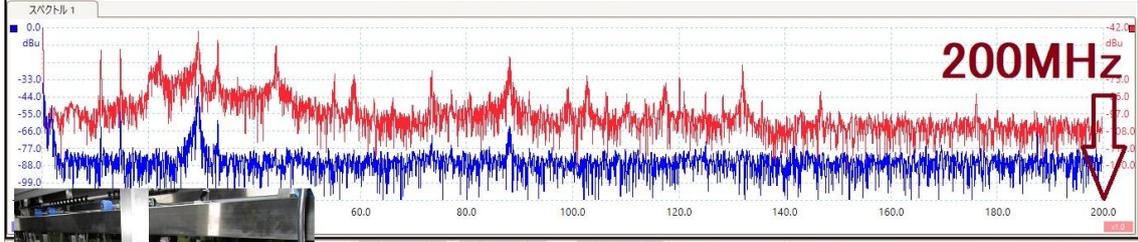
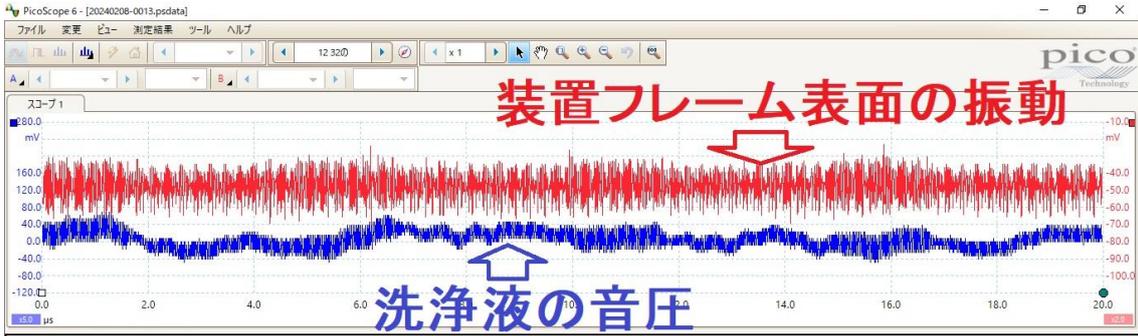
グラフ青：洗浄液の音圧

グラフ赤：水槽表面（装置のフレーム表面）の音圧

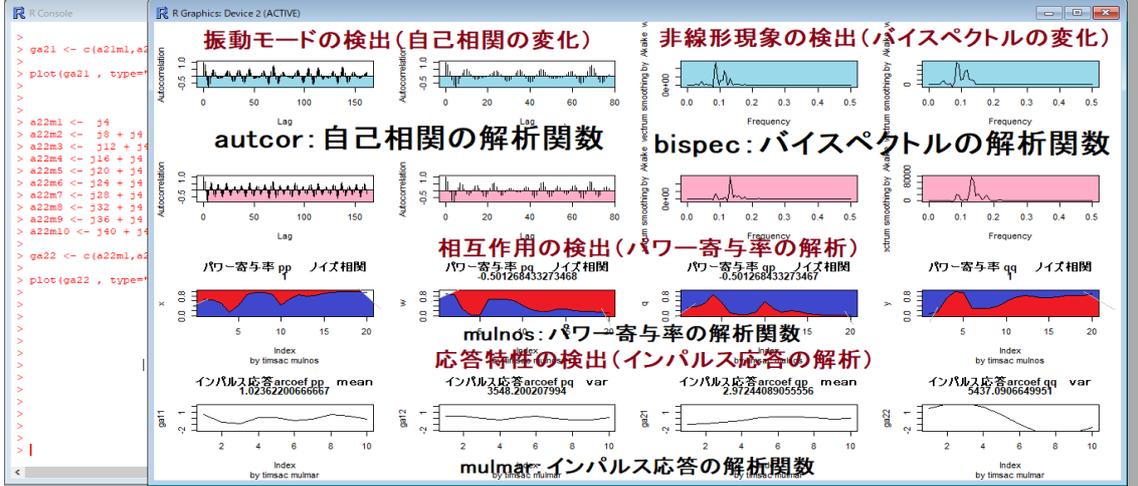


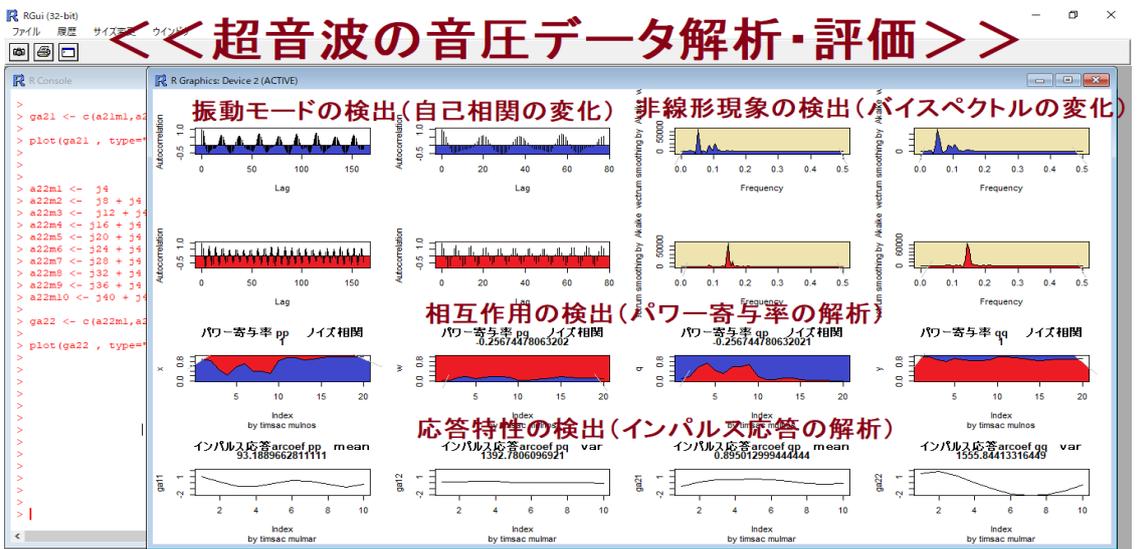
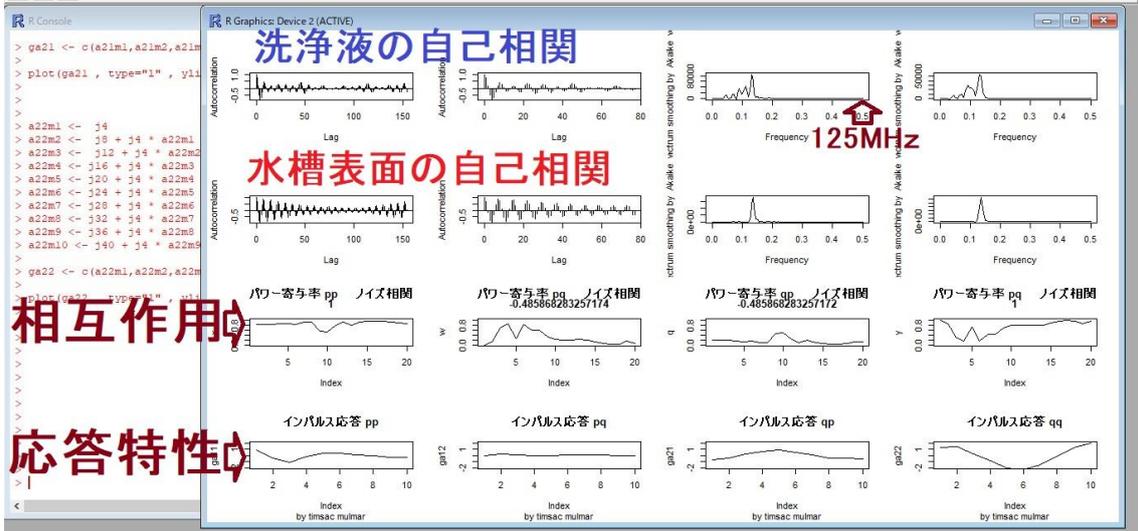
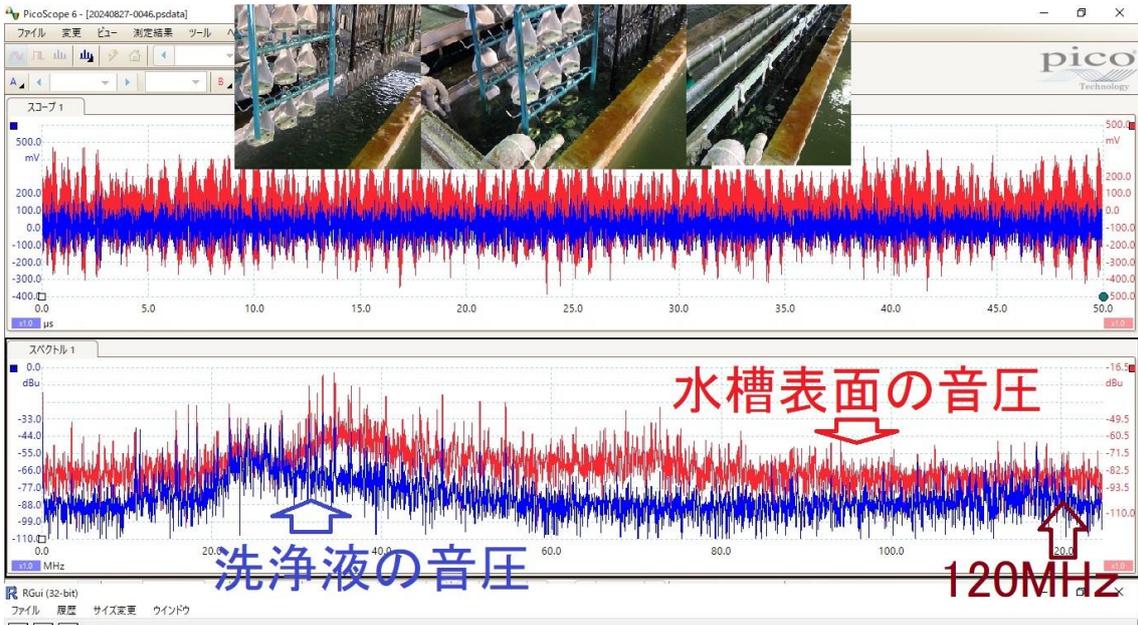
超音波の伝搬特性

- 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（バイスペクトルの変化）
- 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）

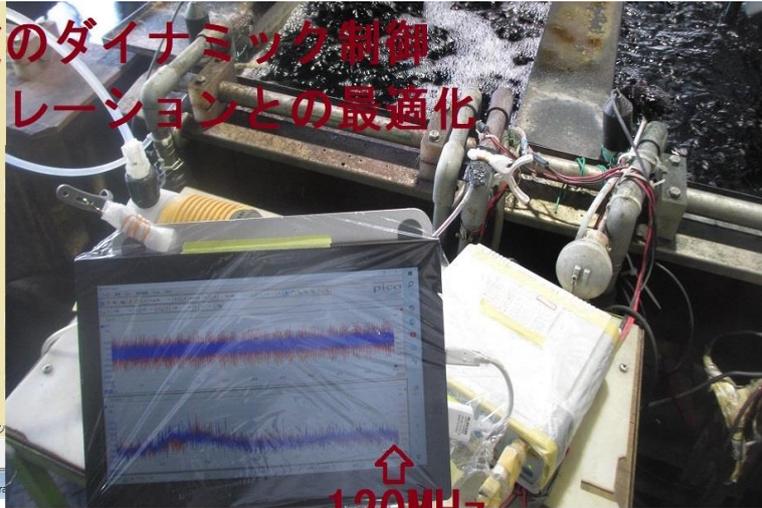


超音波の音圧データ解析 注: TIMSAC (TIME Series Analysis and Control program) 注: 「R」フリーな統計処理言語かつ環境



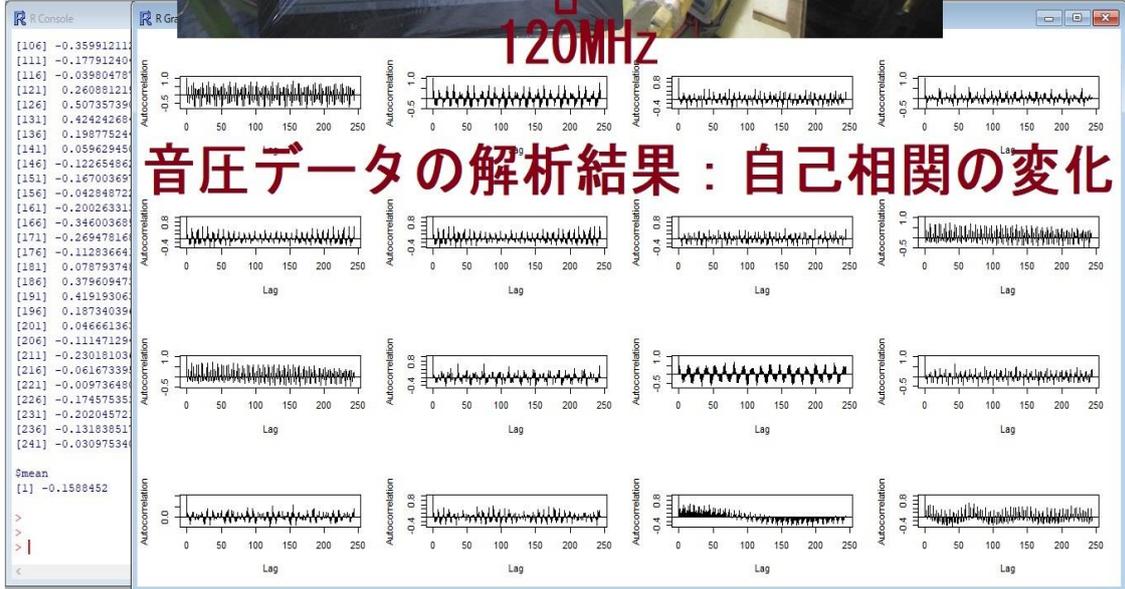


超音波のダイナミック制御 エアレーションとの最適化

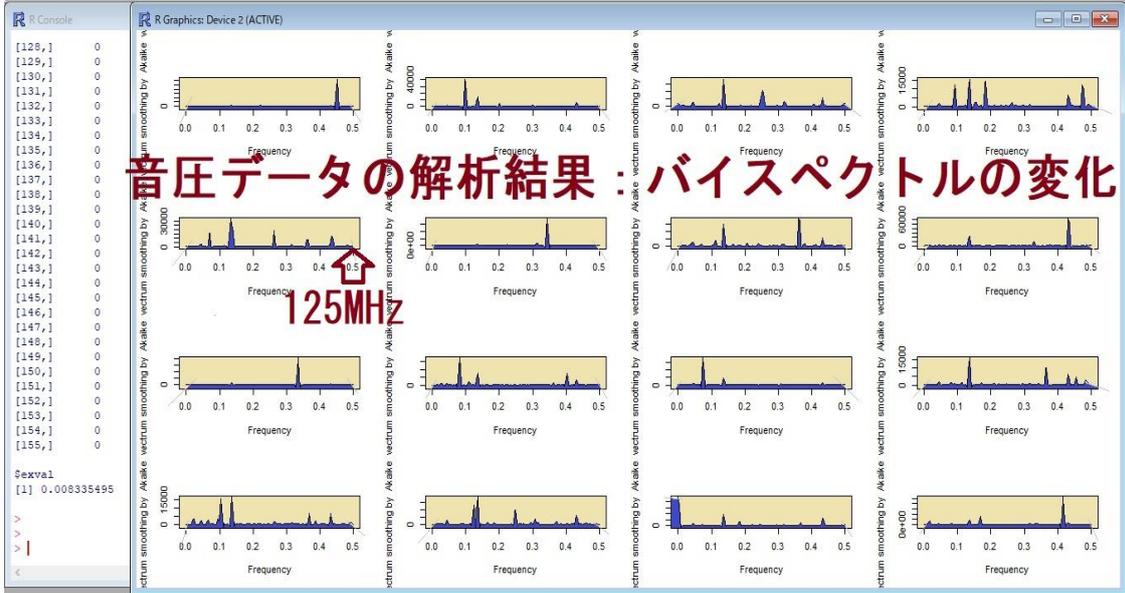


↑
120MHz

音圧データの解析結果：自己相関の変化

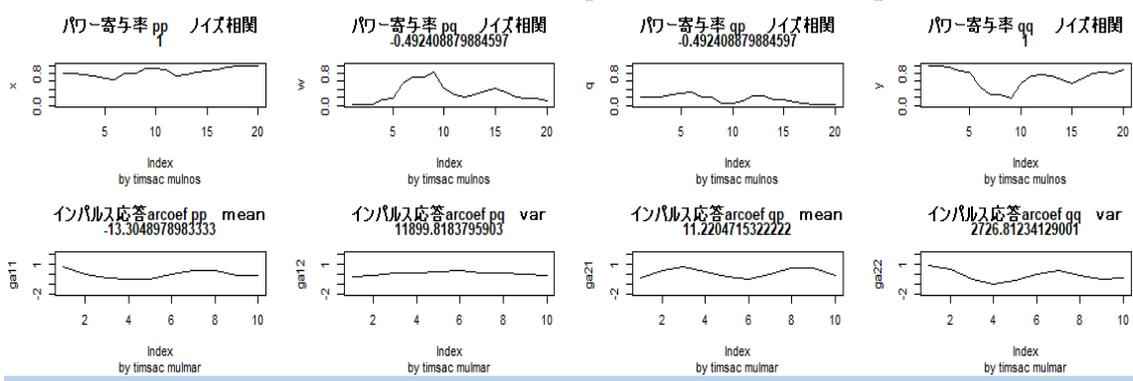
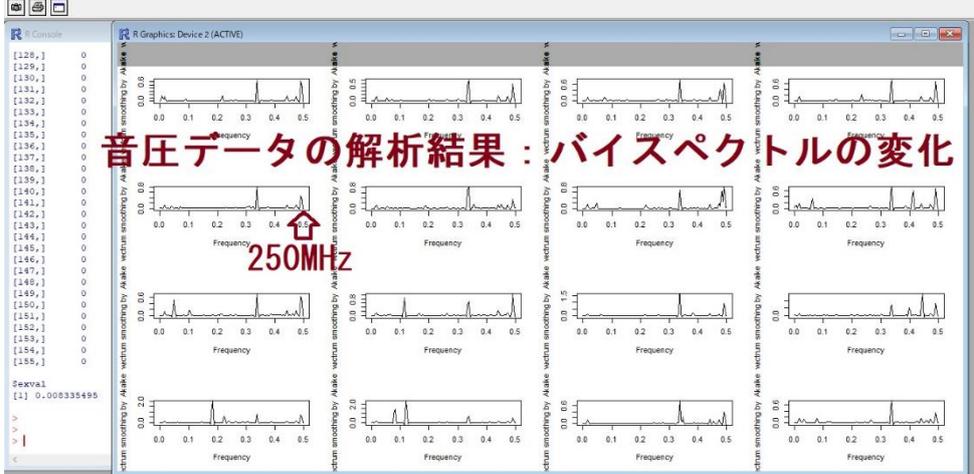
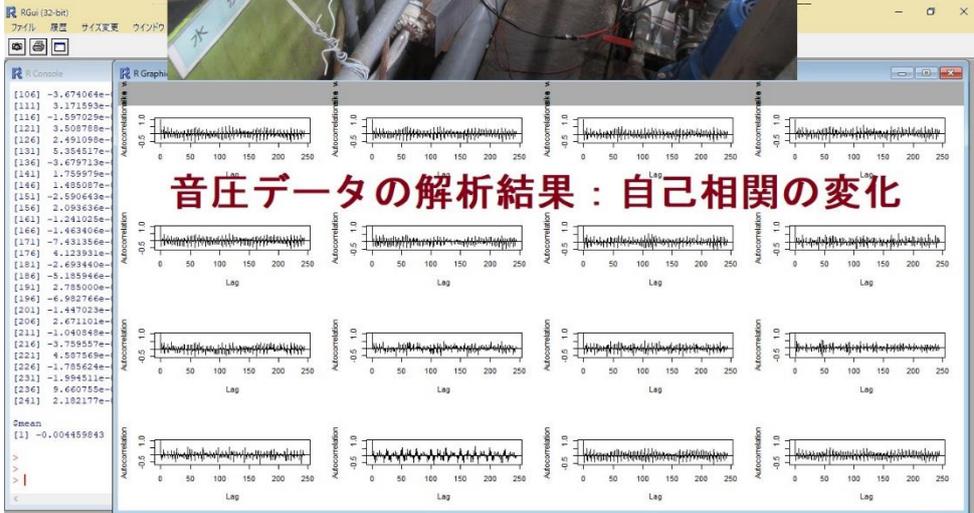


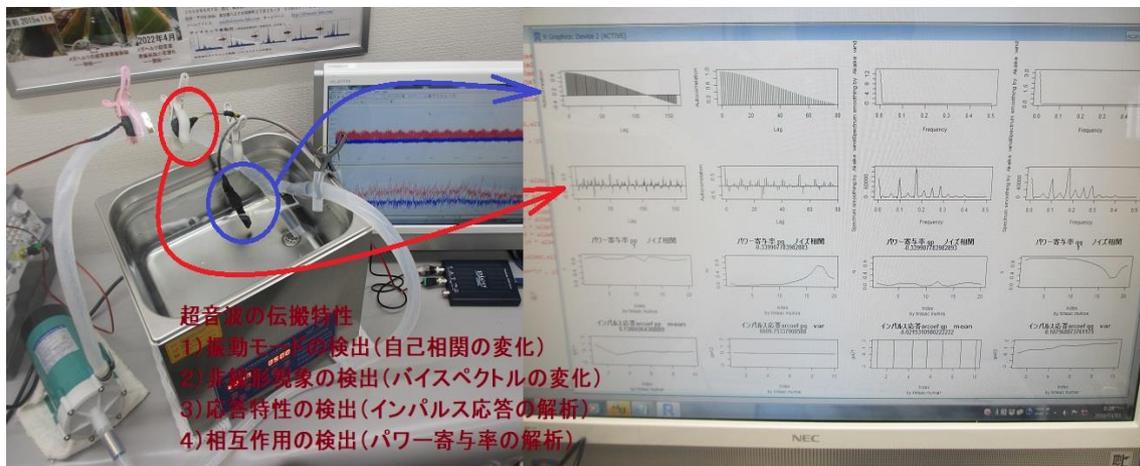
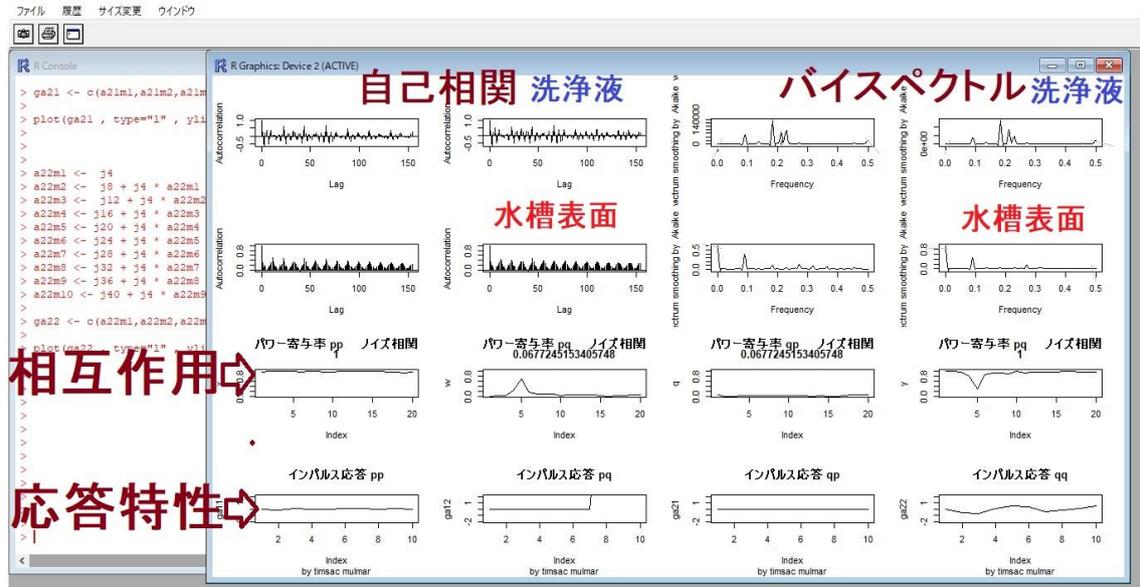
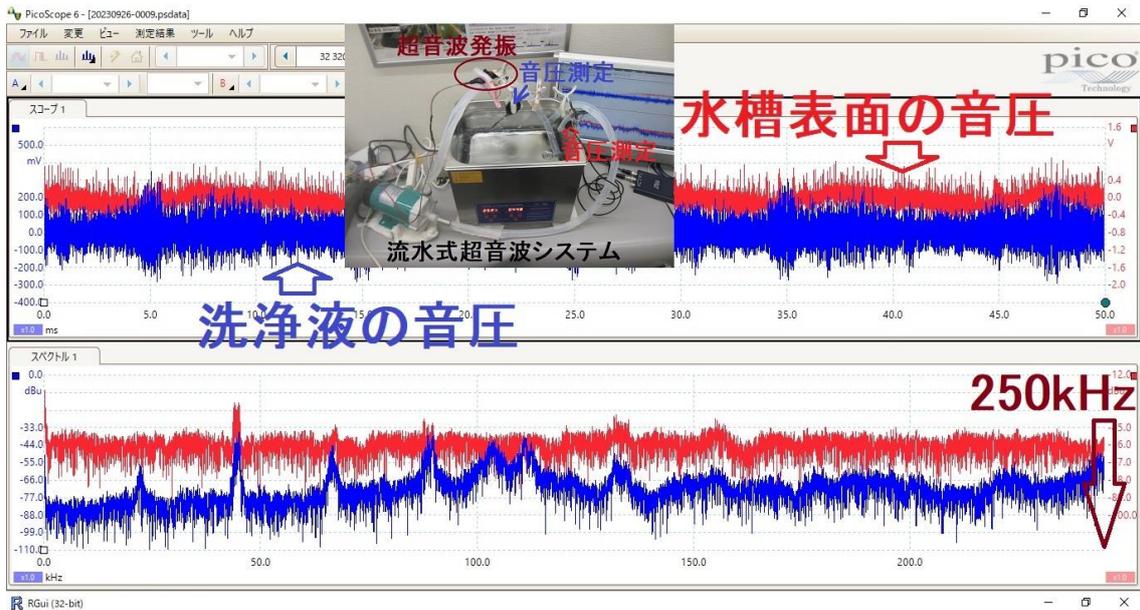
音圧データの解析結果：バイスペクトルの変化



超音波のダイナミック制御 (最適事例)

200MHz





<< 超音波の音圧データ解析 >>

- 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。

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。

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



<<超音波技術>>

超音波の音圧・振動データから、新しい超音波利用を導く
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1811>

抽象代数モデルと超音波現象の実験・検討サイクル
<http://ultrasonic-labo.com/?p=15065>

超音波の非線形現象を評価する技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=13919>

超音波の音圧測定解析
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1705>

コンサルティング対応<音圧測定・実験・解析・評価>
<http://ultrasonic-labo.com/?p=15402>

超音波伝搬状態の測定・解析・評価システム
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1000>

超音波洗浄のメカニズムと効果的な活用法
<http://ultrasonic-labo.com/?p=18171>



音圧測定解析に基づいた、超音波システムの開発技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1484>

超音波を利用した「振動計測技術」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16046>

超音波（キャビテーション・音響流）の分類

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17231>

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>

超音波洗浄について

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15233>

超音波洗浄効果について-no2

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2878>

超音波技術（コンサルティング対応）

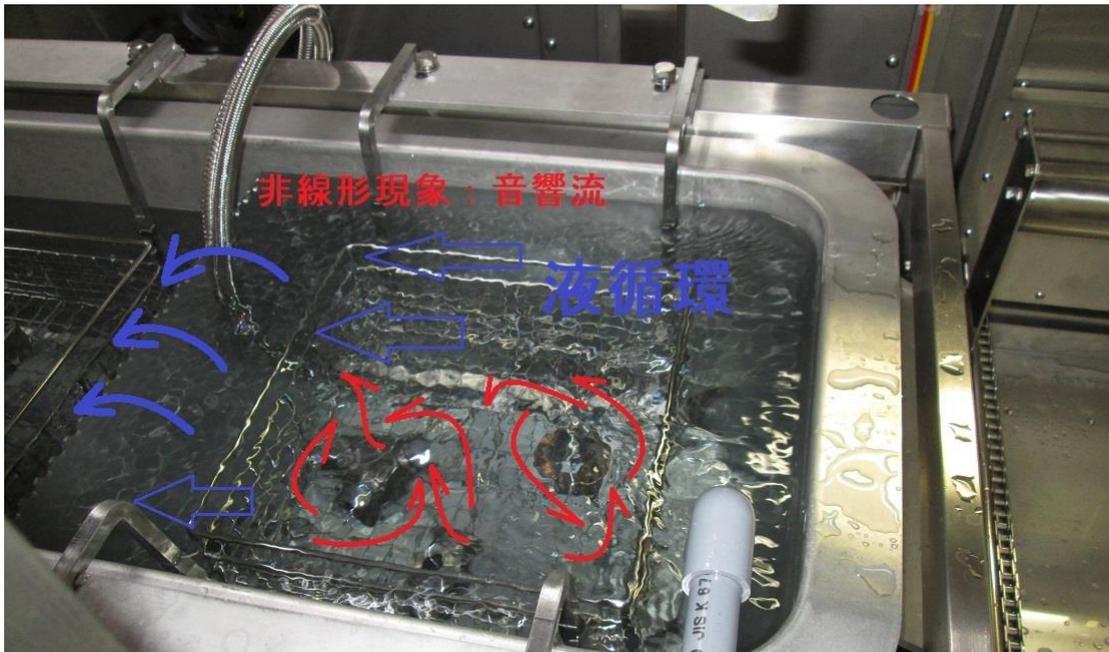
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1401>

超音波発振システム（20MHz）の製造販売

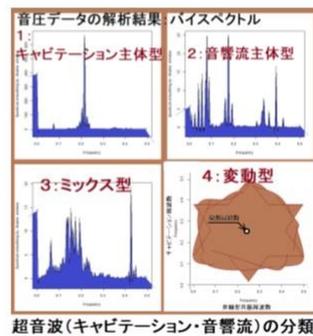
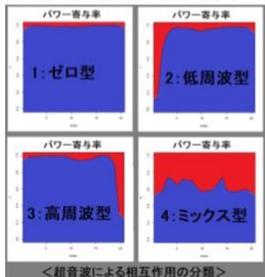
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1648>

超音波洗浄セミナーテキストの公開

<http://ultrasonic-labo.com/?p=12973>



音圧測定・解析に基づいた、超音波の分類



キャビテーションと音響流の制御技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=2947>

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>

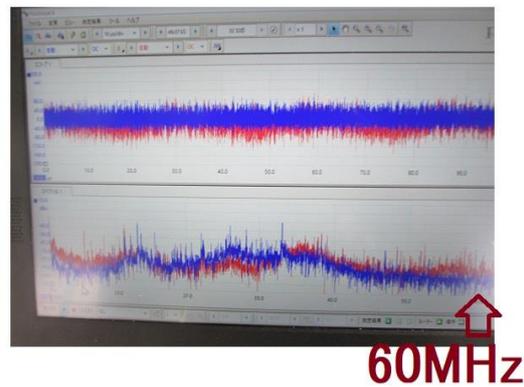
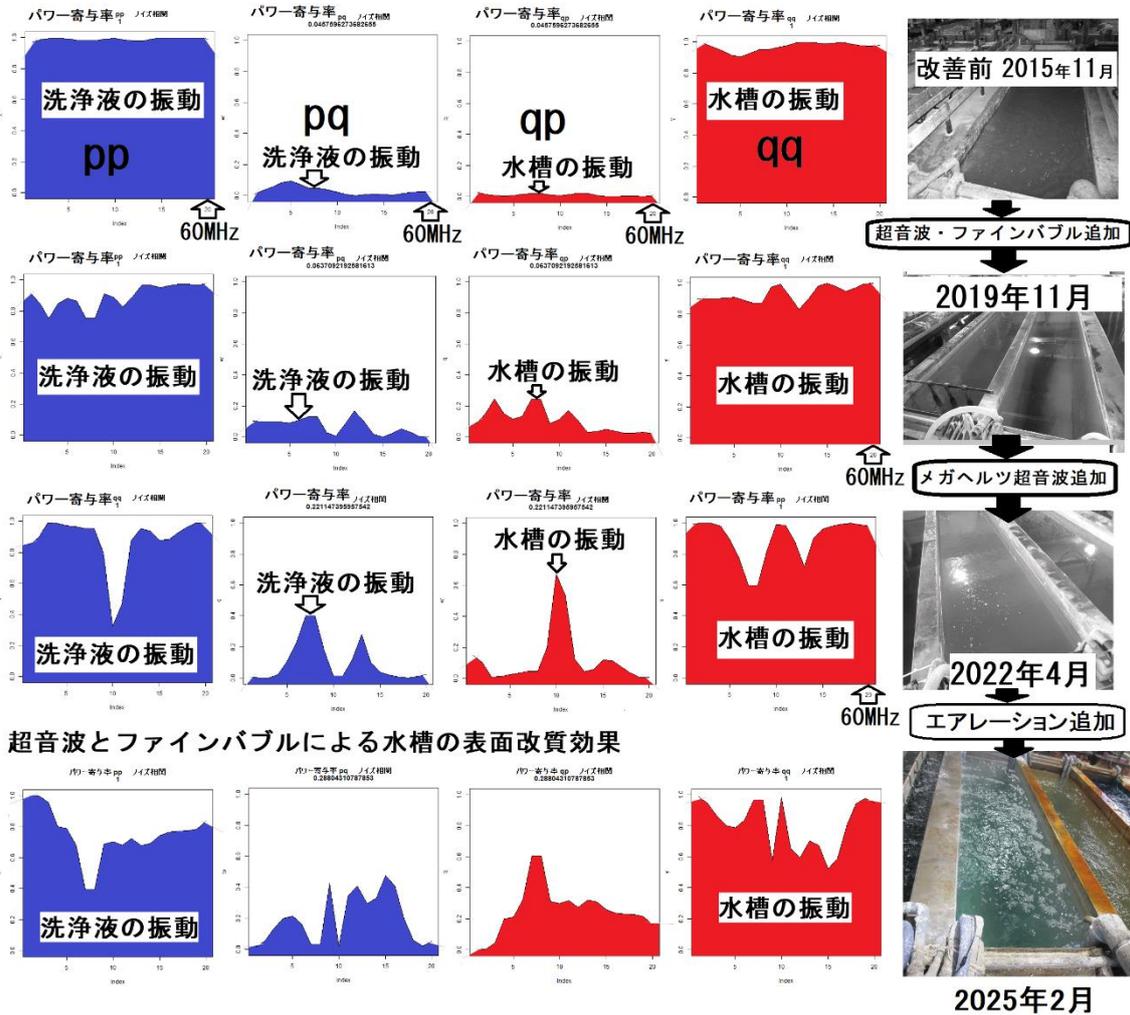
新しい超音波発振制御プローブの製造方法
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1184>

水槽と超音波と液循環に関する最適化・評価技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=7277>

超音波とファインバブル(マイクロバブル)による洗浄技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=18101>

2025年2月

エアレーションとファインバブルと超音波の最適化事例

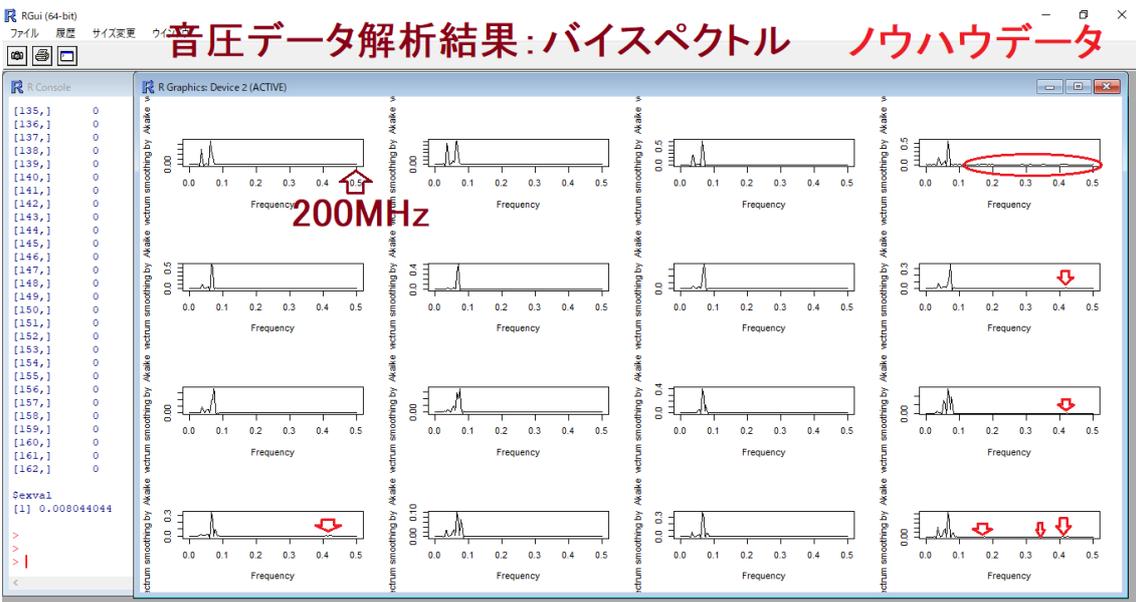


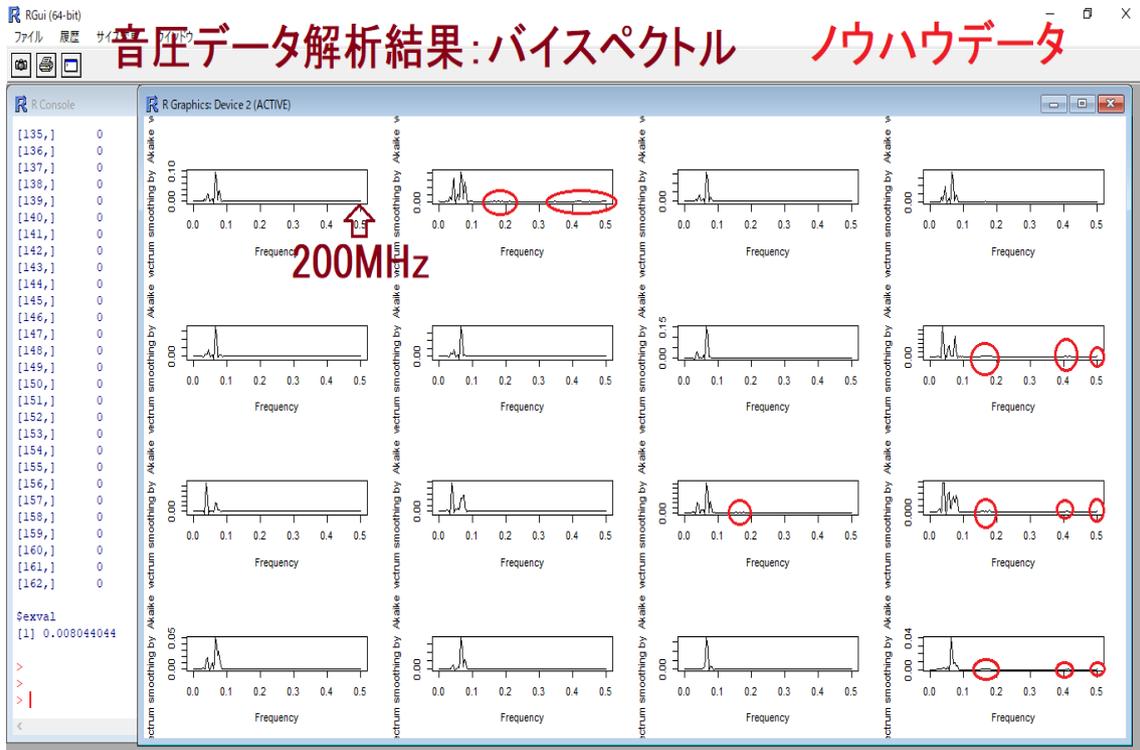


鉄めっき処理部品を利用した超音波プローブ



エアレーションとファインバブル(液循環)と超音波の最適化技術





以上