

タイトル「超音波システム」

超音波の測定・解析に基づいた発振制御による超音波システム

2023. 07. 29 超音波システム研究所

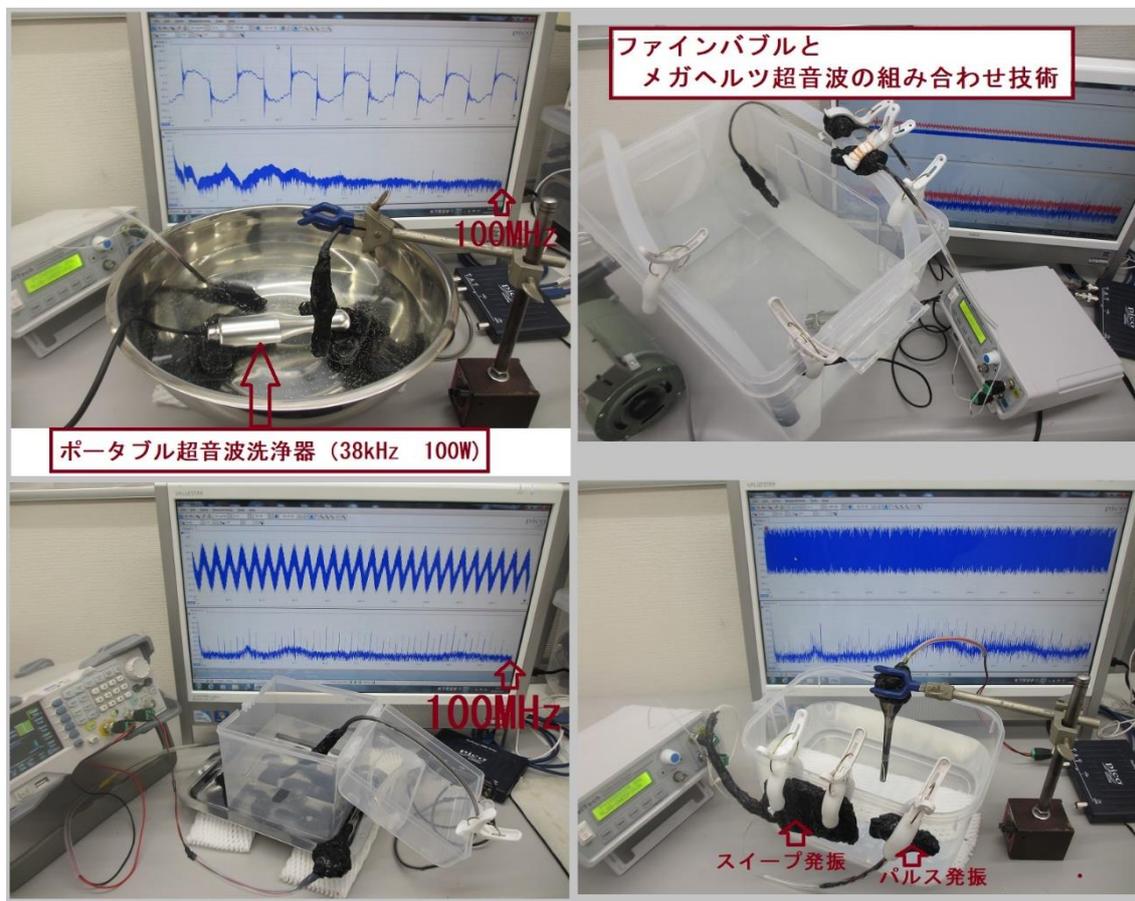


写真1 超音波システム外観

■ はじめに

超音波の伝搬現象には、様々な観点からの条件があり、それぞれの影響が複雑に関連している。その中に、影響の大きさに比べ研究が少ない事項が、超音波の伝搬状態に関する、音圧測定・解析である。超音波とファインバブルによる応力緩和処理技術を利用した、オリジナル超音波プローブ（測定用、発振用 2012年）を開発し、これまでに、様々な超音波を含めた振動現象を測定解析評価してきた。

2023年・現在、超音波の音圧測定経験を基にした、超音波の音圧測定解析システムを使用した、超音波のコンサルティング対応を行っている。

結果として、

目的とする超音波伝搬状態を明確にした、最適な超音制御の実現方法を開発した。

■ 1) 何が問題か？

現在、超音波は幅広く利用されているが、多数の問題がある。

最大の問題は、適切な測定方法・解析方法が採用されていないことである。

超音波利用の目的や装置の条件・・・により、超音波の周波数、出力、制御条件は最適化する必要がある。

特に、高い音圧レベルにより、各種の効果（洗浄、攪拌、加工、・・・）が、高くなるという考えによる、高額な装置化による失敗例が多数ある。

具体的に、

- 1) 超音波発振により発生する**非線形現象**は、超音波利用の主要因であるにも関わらず、**ほとんど測定解析されていない。**
- 2) 一定の超音波伝搬状態が継続されると考える傾向があるが、測定解析により、複雑に変化する音圧データに対して、**単純な音圧レベルの評価では、各種の効果（洗浄、攪拌・・・）との明確な関係性は非常に小さいため、対策や改善が難しい。**
- 3) 現在（2023年）、超音波を利用した、洗浄、攪拌、加工、化学反応、表面処理、表面検査、・・・について、要求レベルの向上とともに、100MHz程度の、**高い周波数の発振制御技術が必要になっている。**

（高調波による低周波の共振現象が、様々な問題を発生させている）

上記の問題を、

2012年10月から製造販売している、オリジナル製品「超音波の音圧測定・解析システム（超音波テスターNA 100MHzタイプ）」と2021年3月から製造販売している、オリジナル製品「超音波発振システム20MHzタイプ」を組み合わせることで、音圧測定解析に基づいた、

ダイナミックな超音波発振制御システムを実現する技術を開発した。

■ 2) どのようなシステムなのか？

新しい超音波システム技術



写真2 音圧測定解析システム（超音波テスターNA）

2-1) 音圧測定解析システム概要 (超音波テスターNA)

内容

- 超音波洗浄機の音圧測定専用プローブ 1本
- 超音波測定汎用プローブ 1本
- オシロスコープセット 1式
- 解析ソフト・説明書・各種インストールセット 1式 (USBメモリー)

特徴 (標準的な仕様の場合)

- * 測定 (解析) 周波数の範囲
 - 仕様 0.1 Hz から 10 MHz (10 MHz タイプ)
 - 仕様 0.1 Hz から 100 MHz (100 MHz タイプ)
- * 超音波発振
 - 仕様 1 Hz から 100 kHz (10 MHz タイプ)
 - 仕様 1 Hz から 1000 kHz (100 MHz タイプ)
- * 表面の振動計測が可能
- * 24時間の連続測定が可能
- * 任意の2点を同時測定
- * 測定結果をグラフで表示
- * 時系列データの解析ソフトを添付

超音波プローブによる測定システム

超音波プローブを対象物に取り付けて発振・測定を行う

測定したデータについて、

位置、材質、構造、サイズ・・・各種の状態と、弾性波動を考慮した解析で、各種の相互作用を含めた音響性能として検出する。



写真3 発振制御システム (超音波発振システム20MHz)

2-2) 発振制御システム概要 (超音波発振システム (1MHz、20MHz))

内容 (20MHzタイプ)

超音波発振プローブ 2本

ファンクションジェネレータ 1式 操作説明書 1式 (USBメモリー)

内容 (1MHzタイプ)

超音波発振プローブ 1本

ファンクションジェネレータ 1式 操作説明書 1式 (USBメモリー)

特徴 (20MHzタイプ)

* 超音波発振周波数 仕様 20kHz から 25MHz

特徴 (1MHzタイプ)

* 超音波発振周波数 仕様 20kHz から 1MHz

市販のファンクションジェネレータを利用したシステム

超音波利用を含めた各種機器に対して、

メガヘルツの超音波発振による、非線形共振現象 (注1) で、

低周波～高周波までの超音波刺激をコントロールする。

注1: オリジナル非線形共振現象

オリジナル発振制御により発生する (例 10次以上の) 高調波の発生を共振現象により高い振幅で実現させた超音波振動の共振現象

上記の装置を利用して、

超音波伝搬状態の測定解析に基づいた、最適制御を実現する

■ 3) 具体的な音圧測定

音圧測定

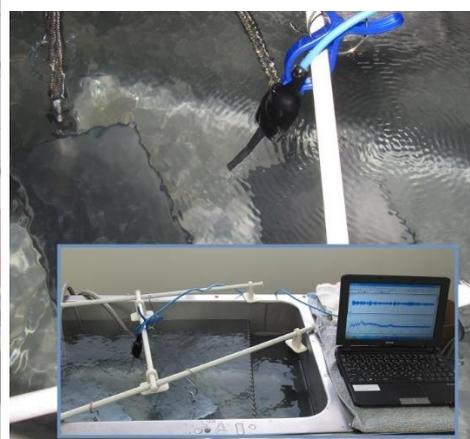
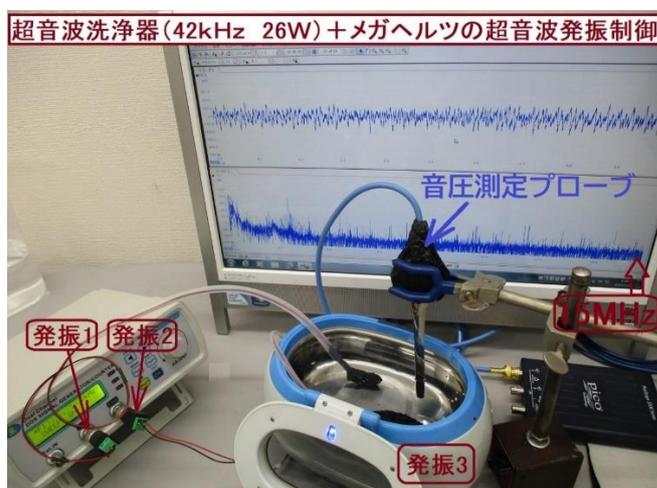


写真4 音圧測定プローブによる音圧測定

音圧測定手順

- 1) 伝搬している超音波の、音圧レベルの変化、伝搬周波数の範囲を確認する
- 2) 機械や環境による、低周波の振動・ノイズを調査・確認する
- 3) 1) 2) に基づいて、測定パラメータ（サンプリング時間）を設定する
- 4) 測定を行う
- 5) 測定グラフの目視確認・評価を行い、適切であれば、測定データを保存する

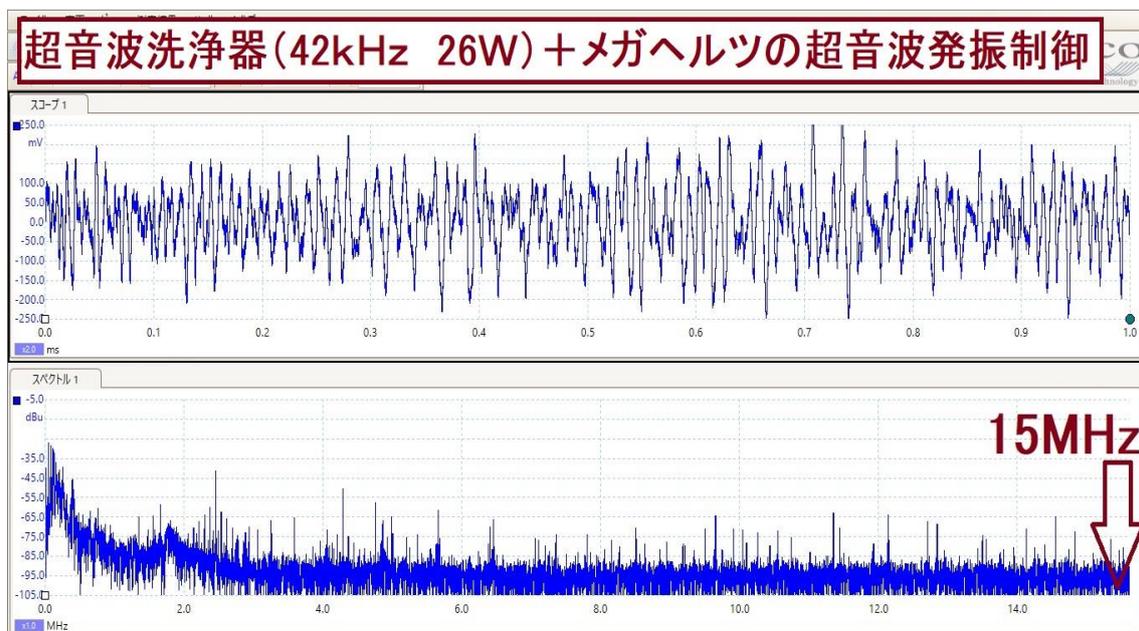
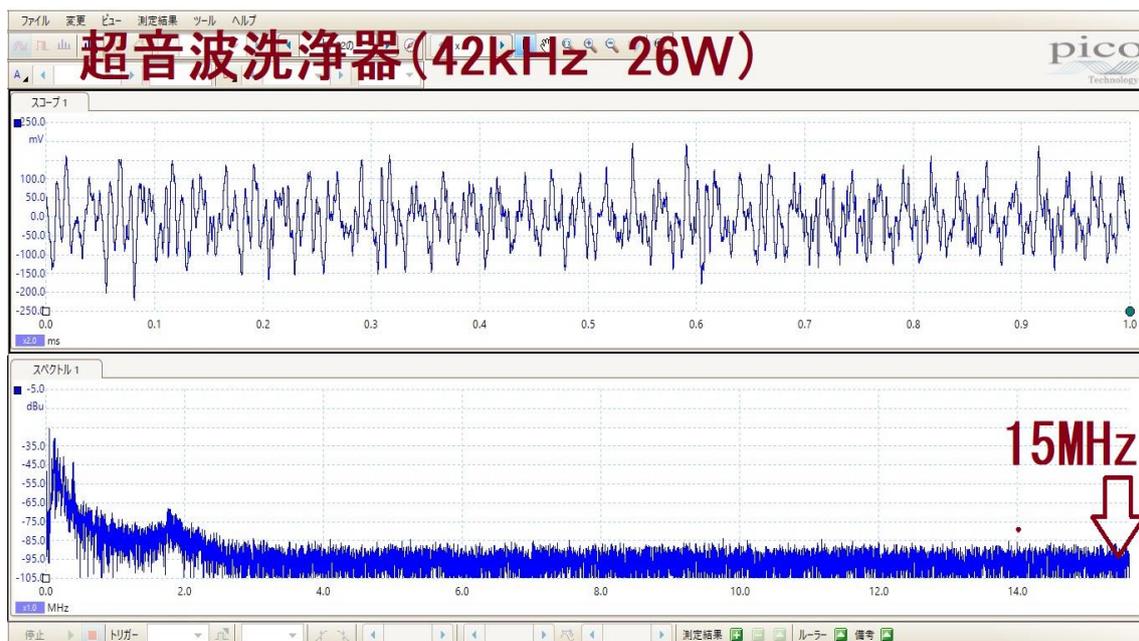


図1 音圧測定データ

(上：メガヘルツの超音波発振無し 下：メガヘルツの超音波発振有り)

■ 4) 具体的な音圧データ解析

<< 超音波の音圧解析 >>

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）について解析評価する

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する

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する

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する

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る

注：解析には下記ツールを利用 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

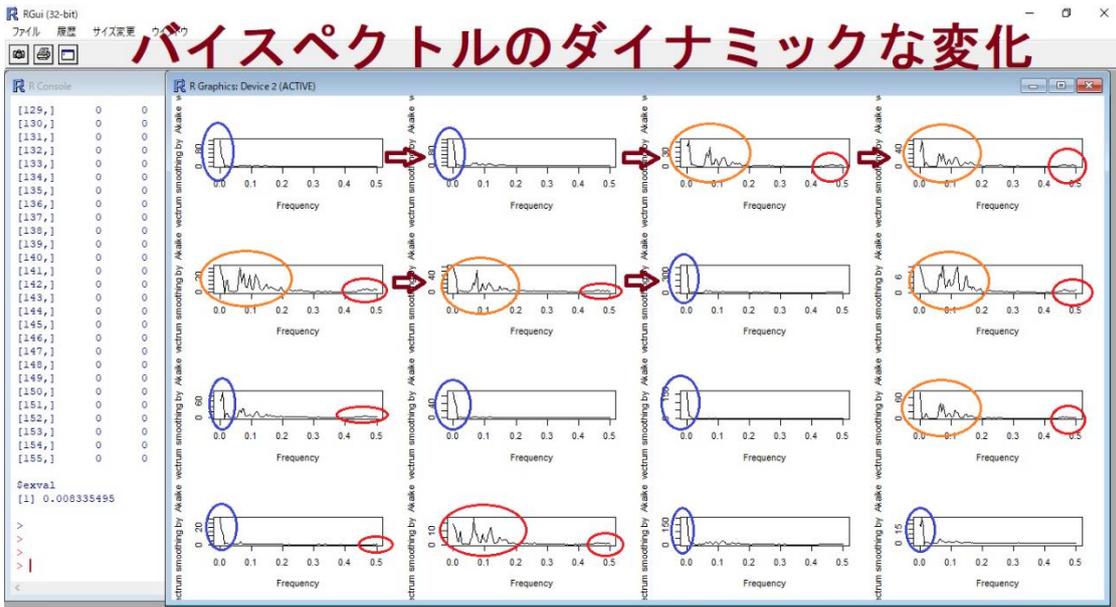


図2 音圧測定と音圧解析（ダイナミック制御の実現） 矢印：1ms経過

解析結果（バイスペクトル 1画面は1 m s 解析最大周波数は1.5 MHz）

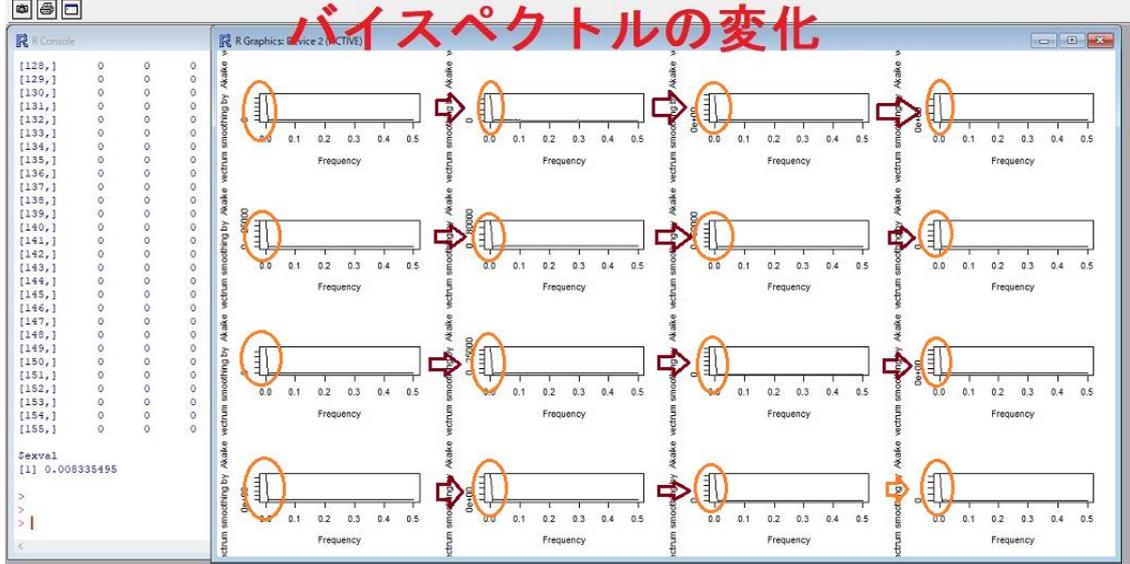


図3 音圧解析結果（変化のない単調なバイスペクトル 超音波刺激の小さい状態）

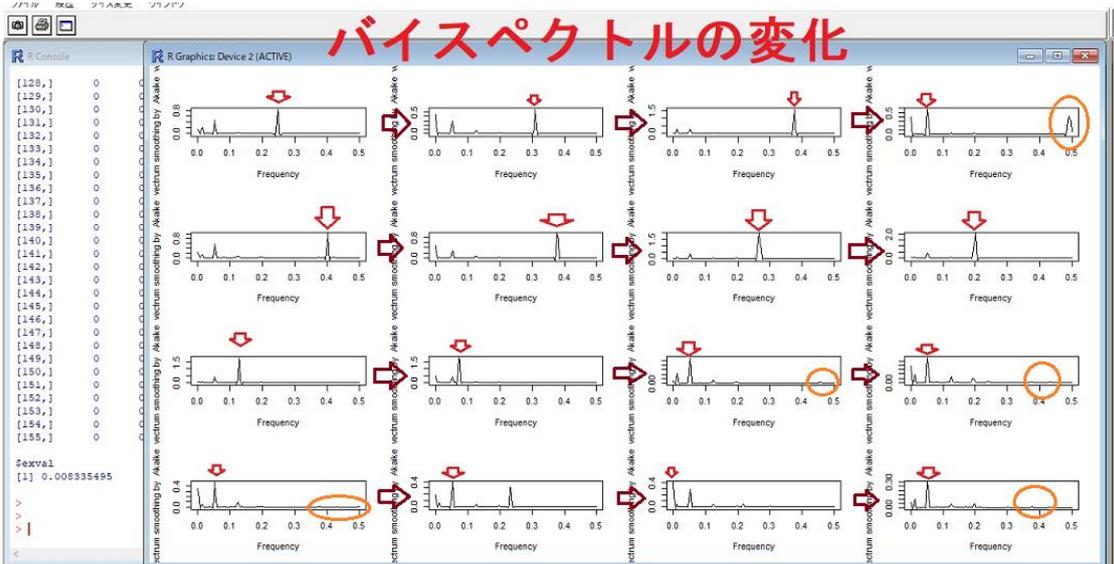
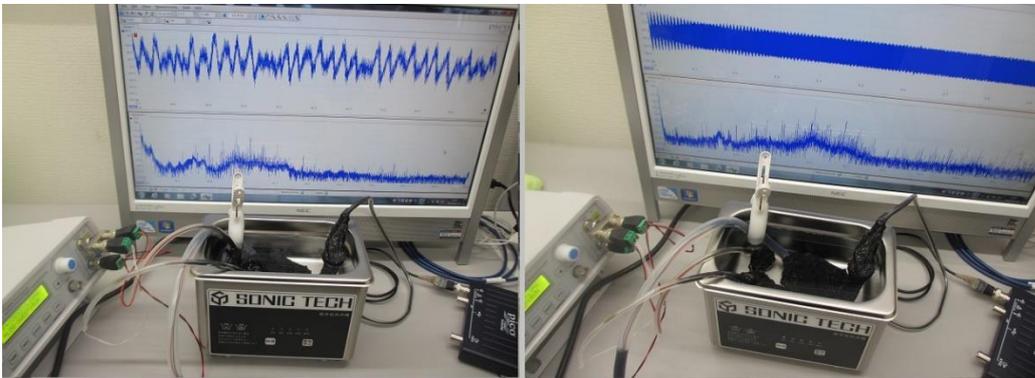


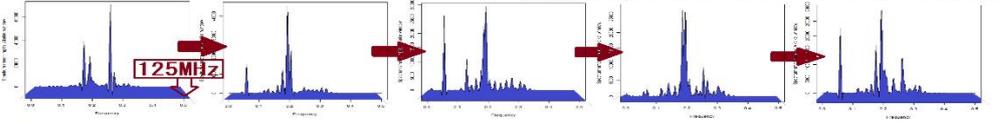
図4 音圧解析結果（バイスペクトルの変化 超音波のダイナミック制御を実現）



スweep発振とパルス発振による、超音波洗浄器の利用技術

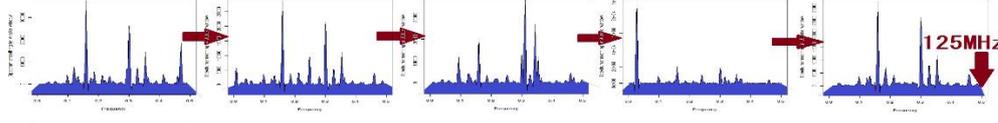
写真5 超音波洗浄器のダイナミック制御

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：バイスペクトルの変化

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：バイスペクトルの変化

ダイナミック変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

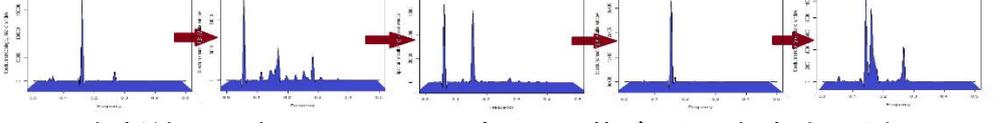
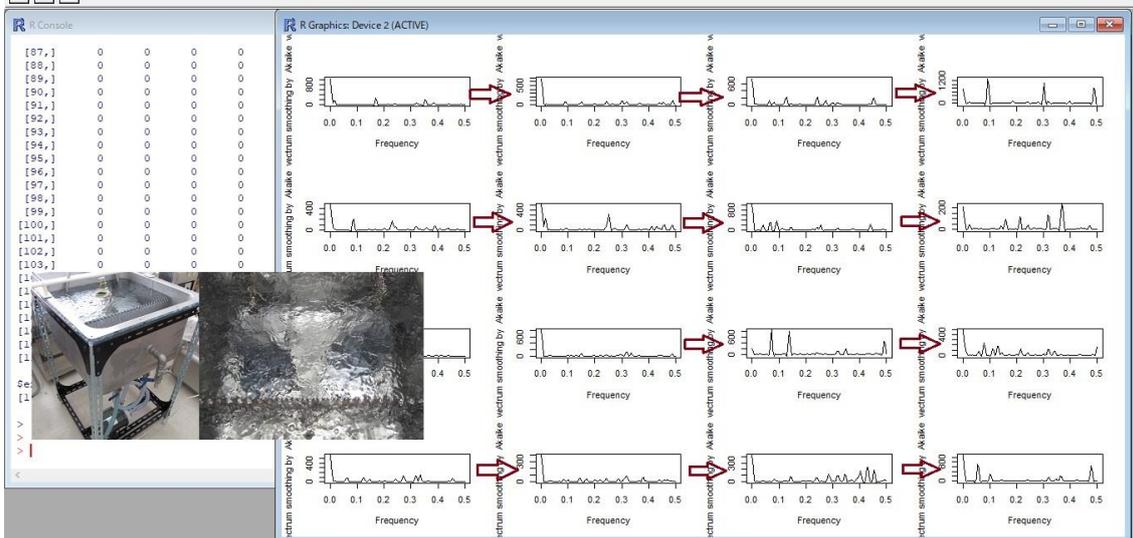


図5 解析結果（バイスペクトルの変化）に基づいた、超音波の分類

新しい評価基準（非線形現象の解析パラメータ）



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

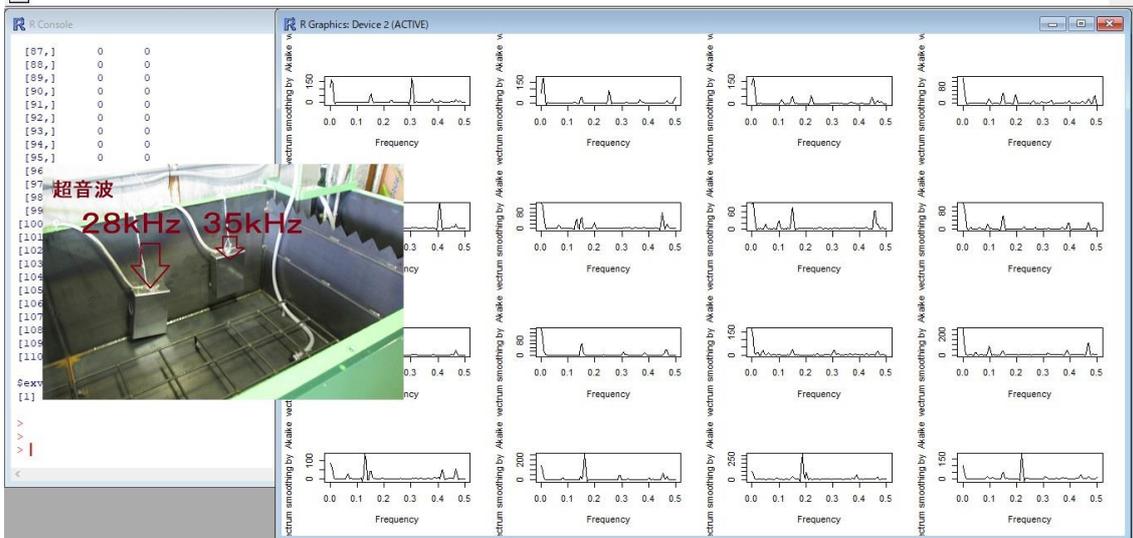
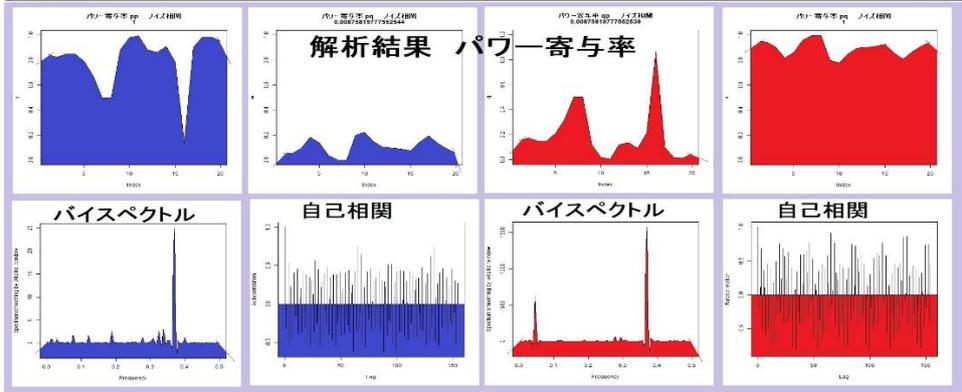
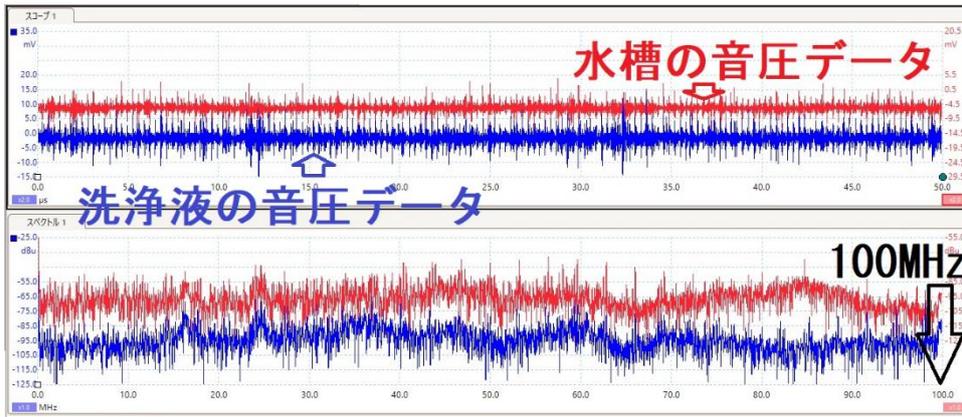
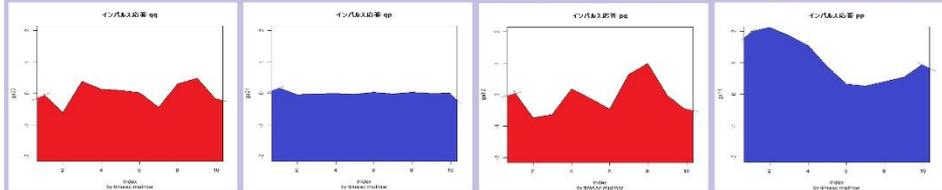


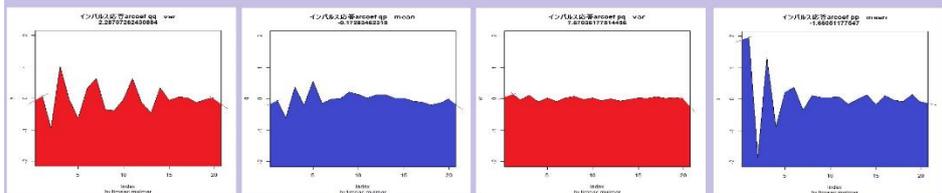
写真6 超音波洗浄機のダイナミック制御



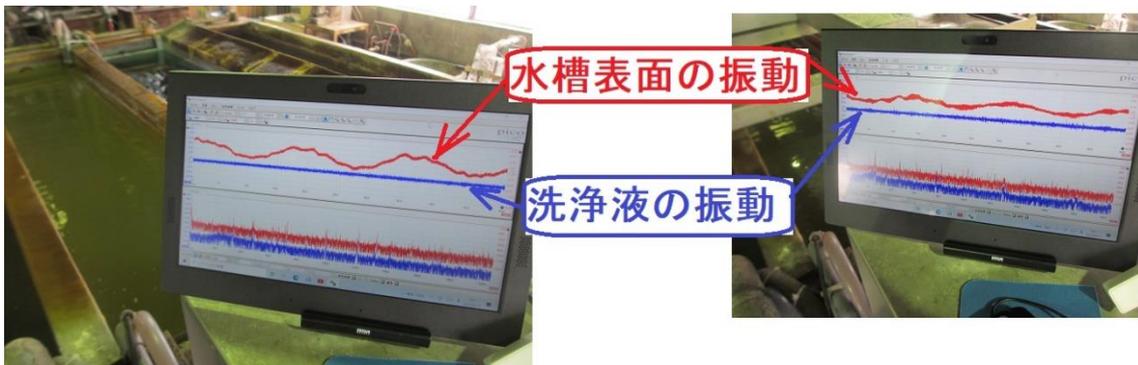
インパルス応答 開放系 超音波の送受信特性を利用した表面検査技術

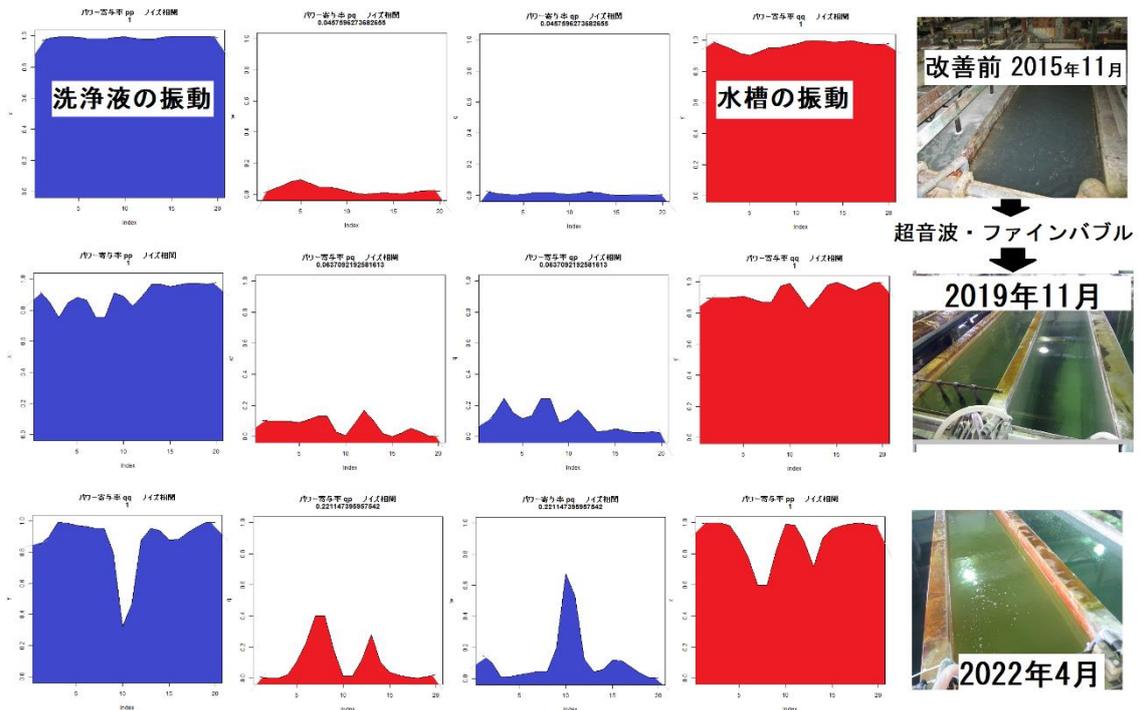


インパルス応答 閉鎖系

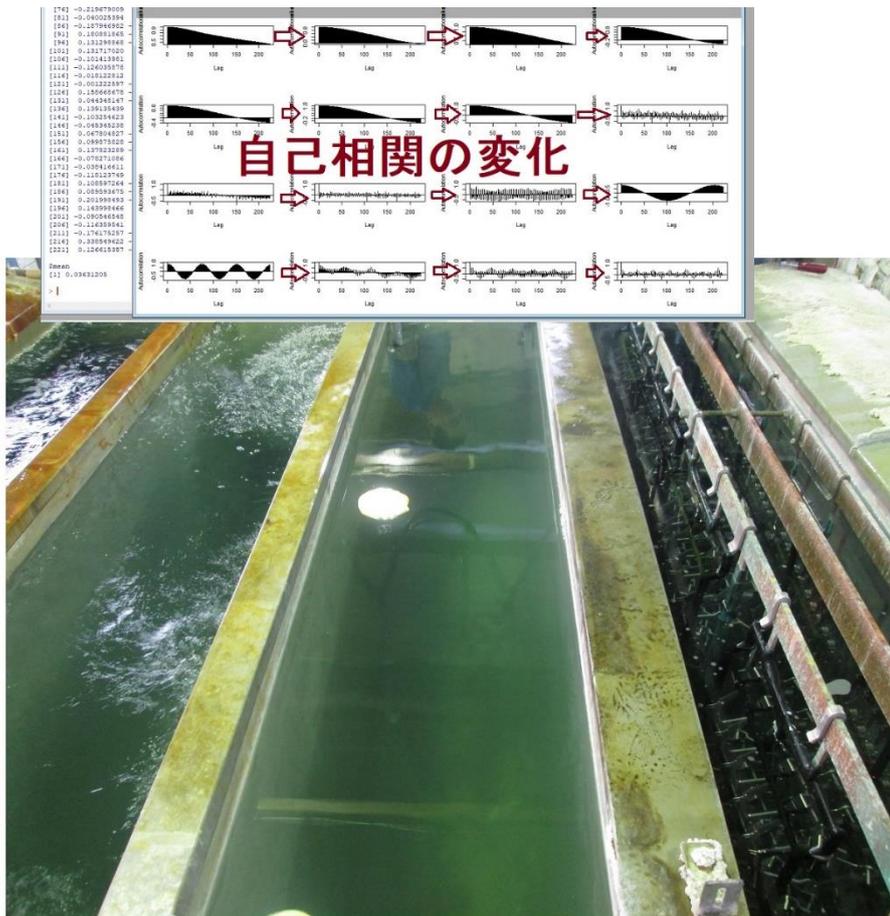


TIMSAC(TIME Series Analysis and Control program): **mulmar** を利用したインパルス応答特性の解析



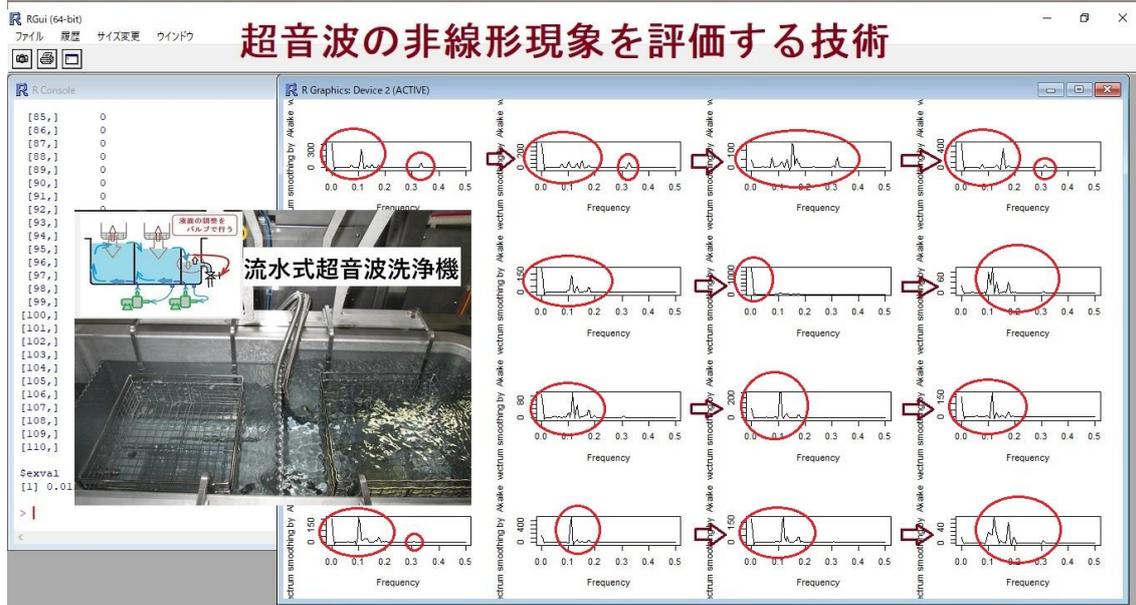
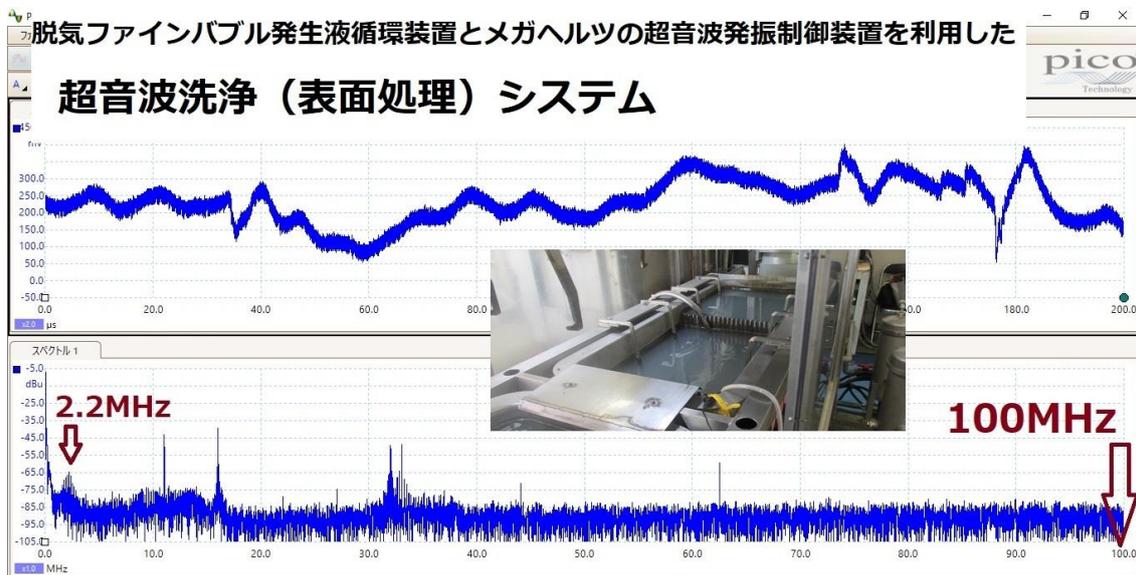


超音波とファインバブルによる水槽の表面改質効果



<< 超音波とファインバブルのダイナミック制御システム >>

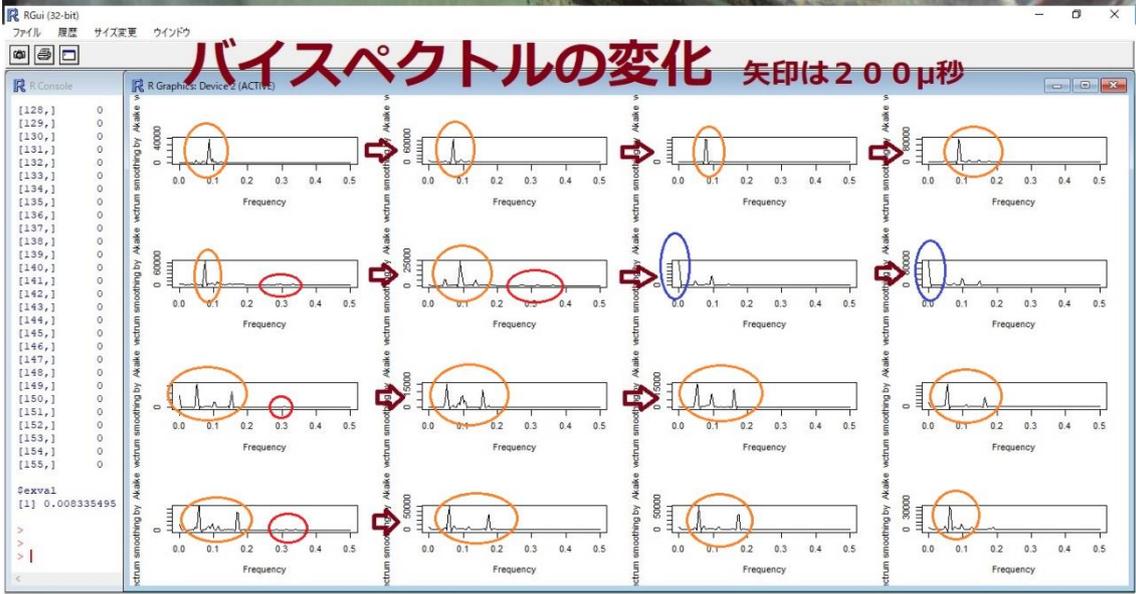
以上のように、音圧測定解析に基づいて、発振制御条件を最適化すると、超音波の制御範囲が、非線形現象の発生とともに大きく広がる
このことにより、目的に対する適正な超音波利用が可能になる



- 超音波1 28kHz 300W (出力 30%)
- 超音波2 38kHz 150W (出力 100%)
- 超音波3 3-20MHz スweep発振 10W
- 脱気ファインバブル発生液循環ポンプ 2台
- 水槽 オーバーフロー構造

注：水槽、超音波振動子は、超音波とファインバブルによる表面改質処理を行っている
バイスペクトル：70MHzの値は、 $70 * 3 = 210$ MHzの超音波伝搬状態を示す

写真7 超音波とファインバブルによる超音波洗浄



超音波1 28 kHz 600W (出力 30%)

超音波2 35 kHz 600W (出力 40%)

超音波3 1.7 MHz 10W 2セット

脱気ファインバブル発生液循環ポンプ 2台

水槽 オーバーフロー構造

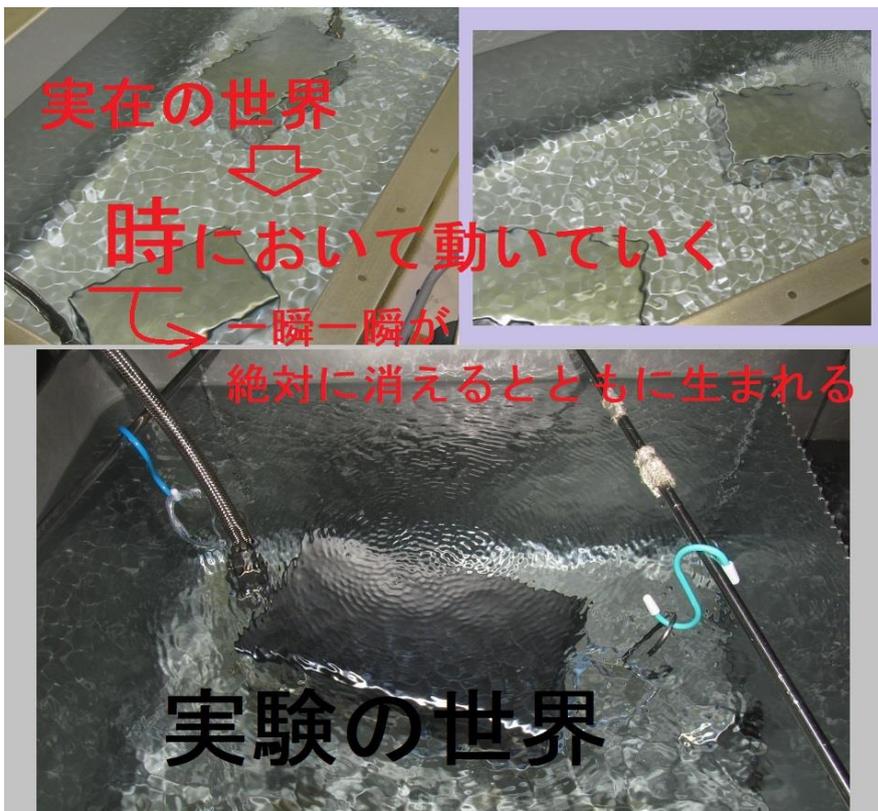
注：アルカリ洗剤を使用、1.7 MHzにより、部品が重なる部分の洗浄効果大

写真8 超音波とファインバブルによる超音波洗浄

■ まとめ

技術の進化とともに、新しい応用や組み合わせの可能性が大きく広がっている
特に、異質なジャンルや根本的な学問（数学や哲学）を取り入れることで、今後ますます超音波という技術は飛躍すると感じる

特に、超音波の発振に関して、波形、複数の組み合わせ、音の利用、・・・を考え、
超音波技術への偏った考え方を捨て、自由な超音波に対する発想により、新たな利用を検討していきたいと考えている



岩波文庫 西田幾多郎講演集より

超音波システム研究所
お気軽にご相談・お問合せください
お問合せフォーム (24h受付)
超音波コンサルティング・製品開発などに関するお問合せはコチラ

超音波（伝搬状態）測定・解析に特化した
超音波システム研究所
Ultrasonic Laboratory
超音波コンサルティング >> を提供します

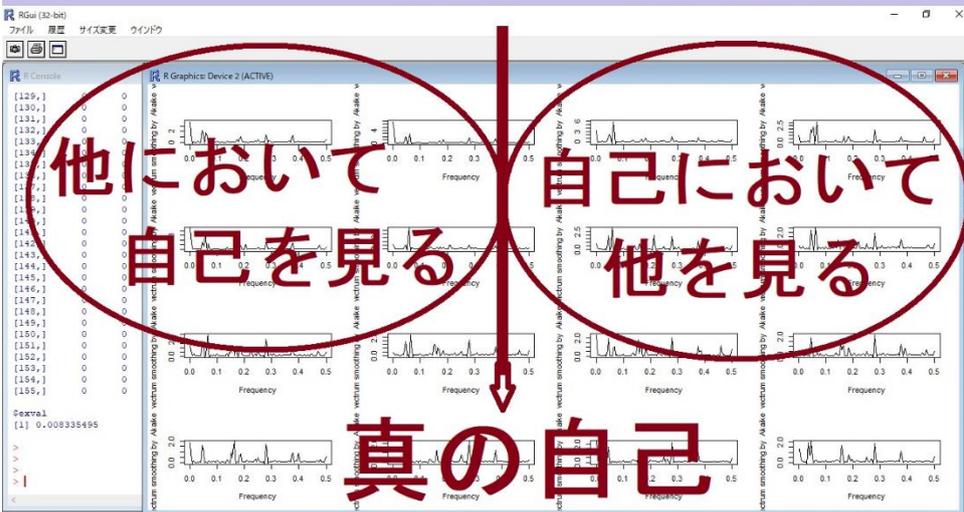
ホーム Home	技術紹介 Technical introduction	実績紹介 results	業務フロー flow	会社概要 company	お問合せ contact
-------------	--------------------------------	-----------------	---------------	-----------------	-----------------

<理念>
深い哲学（西田幾多郎）に基づいた
実験（物として物を観察すること）により
超音波の有効利用を広めていきたいと考えています



超音波の研究

岩波文庫 西田幾多郎講演集より



実験と研究者

(真の実験・真の研究者)

岩波文庫 西田幾多郎講演集より

参考 超音波システム研究所<理念II>

<http://ultrasonic-labo.com/?p=3865>

以上