

超音波の非線形現象をコホモロジーで評価するモデルを開発

ースペクトルシーケンスモデルによる超音波の非線形発振制御ー

2025. 06. 03 超音波システム研究所

*** <<考え方について>> ***

超音波システム研究所は、

超音波の非線形現象に関する伝搬状態を、

時系列の音圧測定データにおける

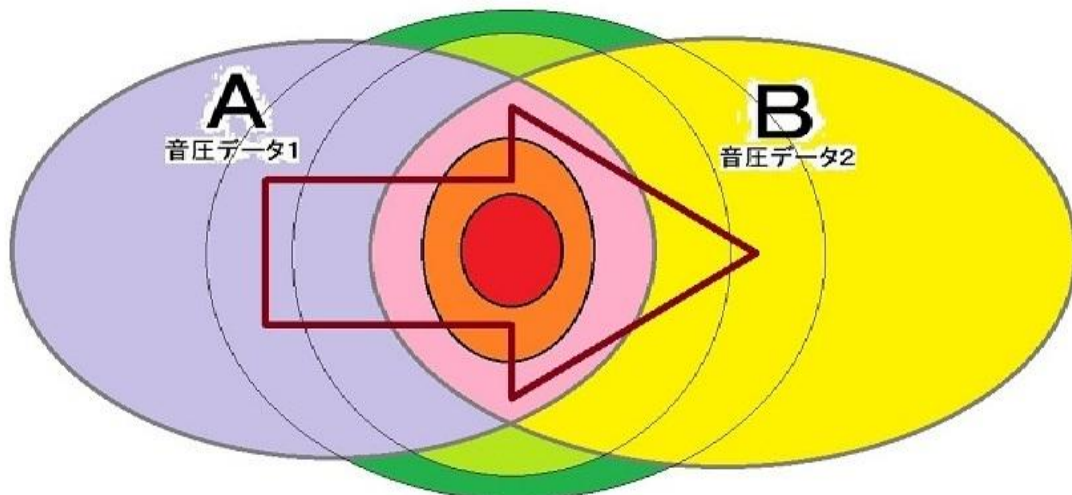
コホモロジーのスペクトルシーケンスモデルとして、開発しました。

このアイデアに基づいて、

超音波の非線形現象に関する、具体的な制御方法を
スペクトル系列の制御モデルとして、開発しました。



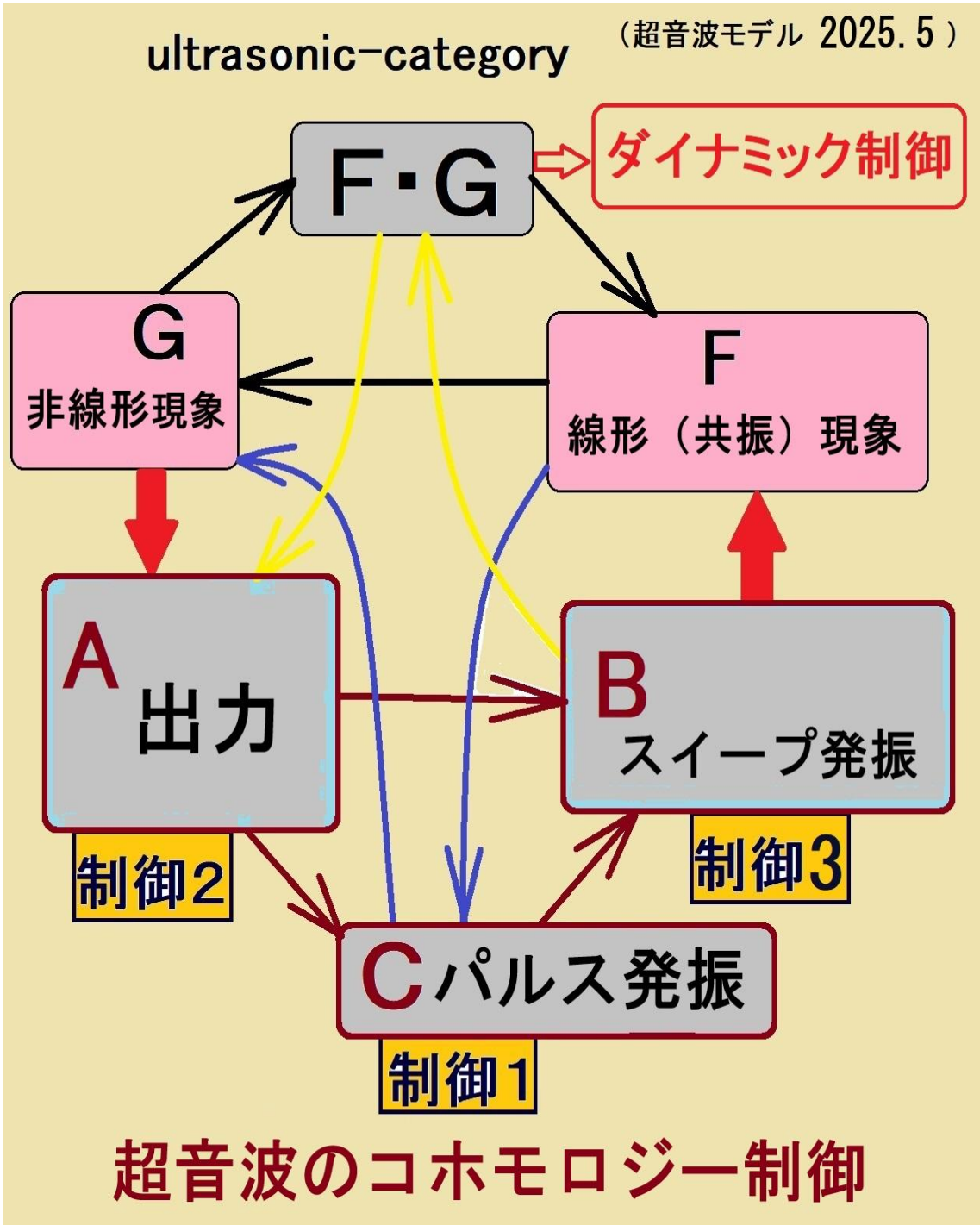
2025. 5



線形現象をコホモロジーで評価する

核(kernel)
像(image) ⇐ コホモロジー

超音波現象に適応させた制御方法は、
音圧測定データを
自己回帰モデルでフィードバック解析することで、
共振現象と非線形現象のダイナミックな変化を実現します。
これまでの事例・実績から
非線形現象の分類技術に基づいて発展させました。



論理モデルにより

効果的な超音波の伝搬（利用）状態を

以下のような

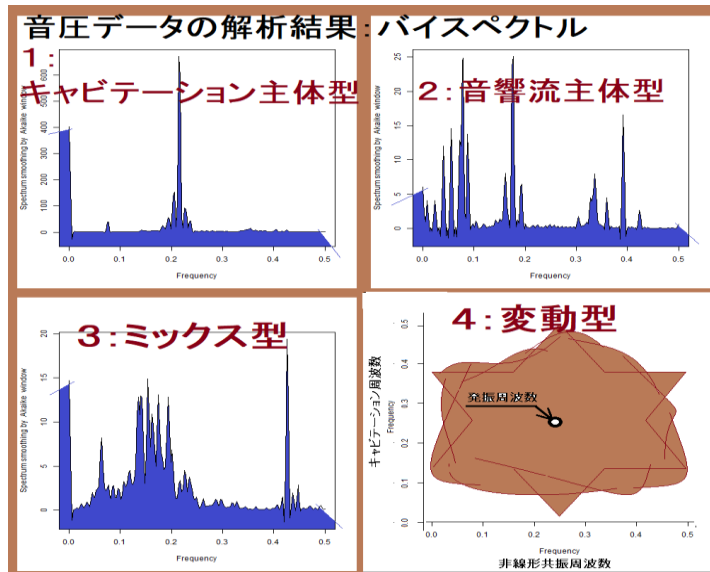
4つのタイプに分類してダイナミックに制御します。

1：共振現象（キャビテーション）主体型

2：非線形現象（音響流）主体型

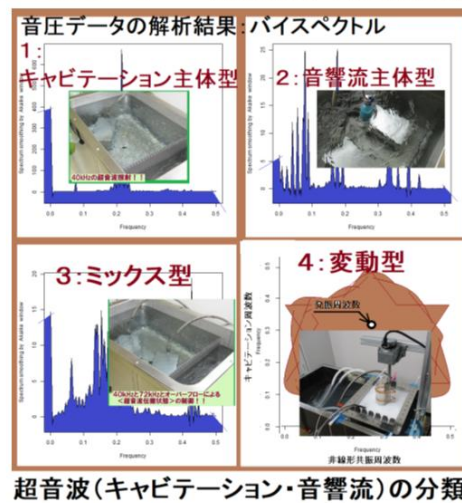
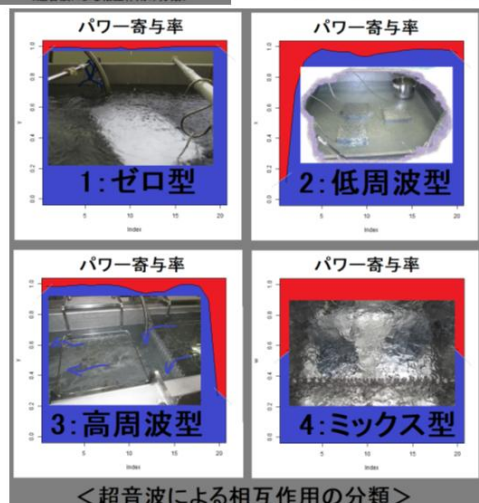
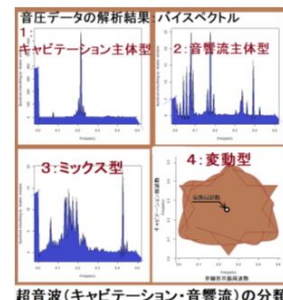
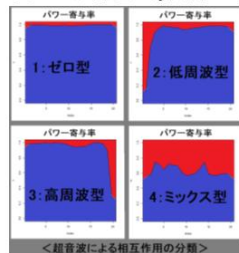
3：ミックス型

4：変動型

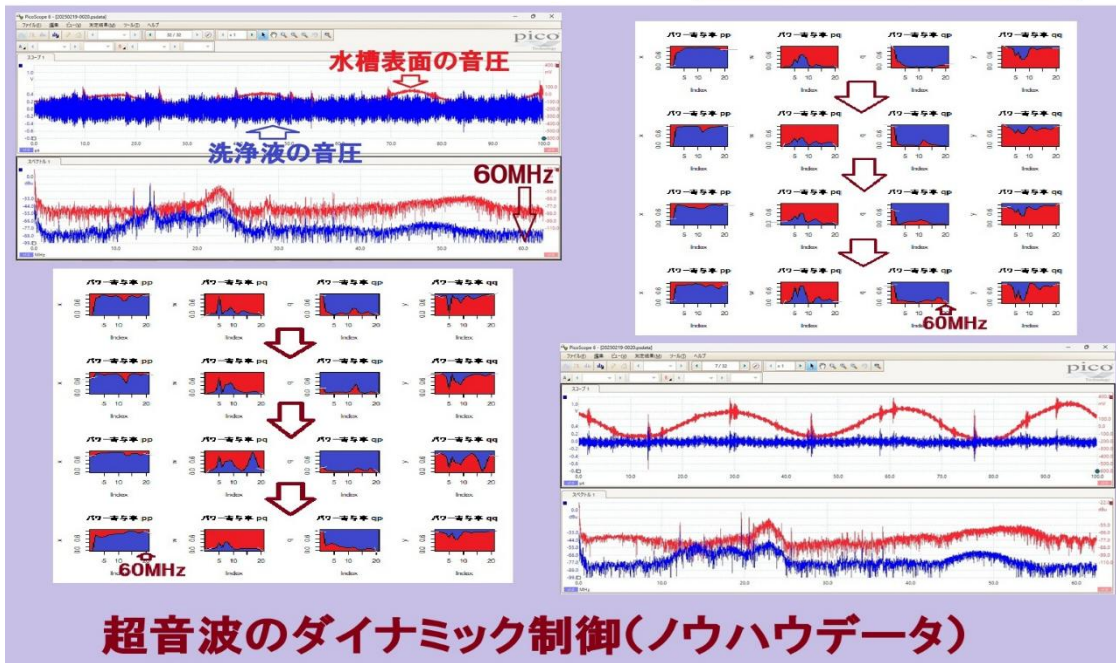
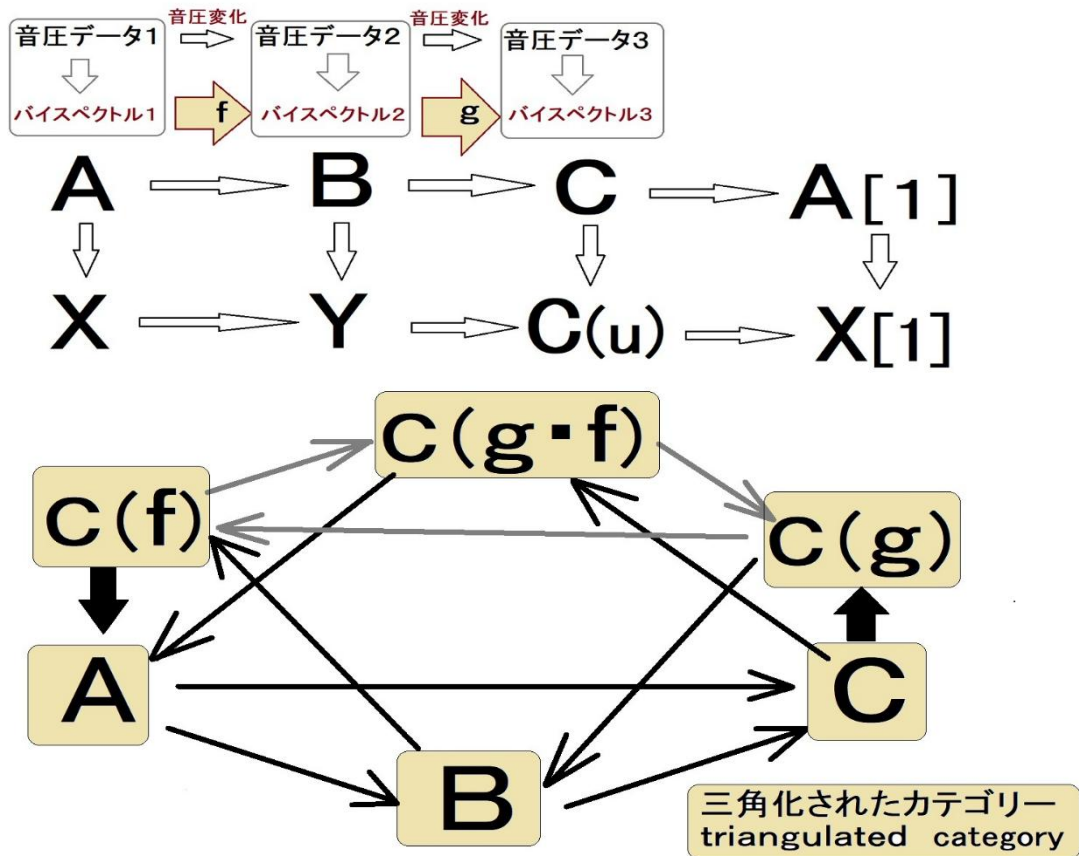


超音波（キャビテーション・音響流）の分類

音圧測定・解析に基づいた、**超音波の分類**



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
 4 : 変動型を3つの変動型タイプに分類し、
 利用目的に合わせてダイナミックに制御します。



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、

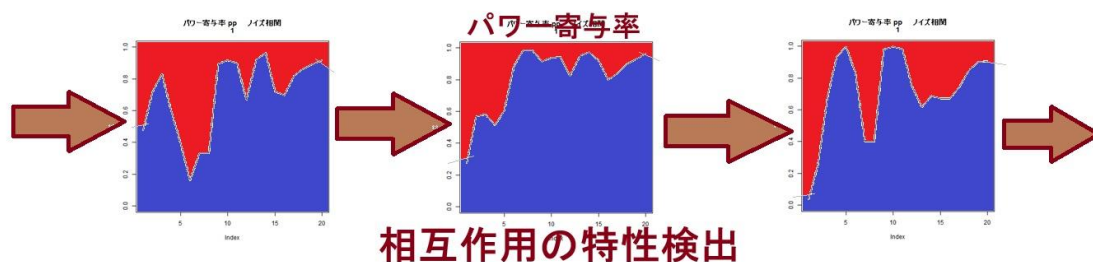
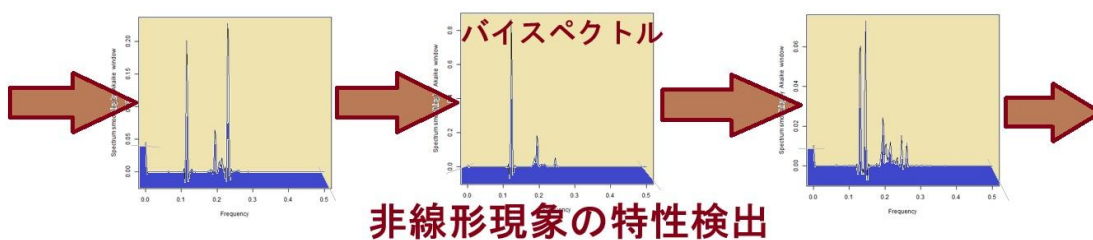
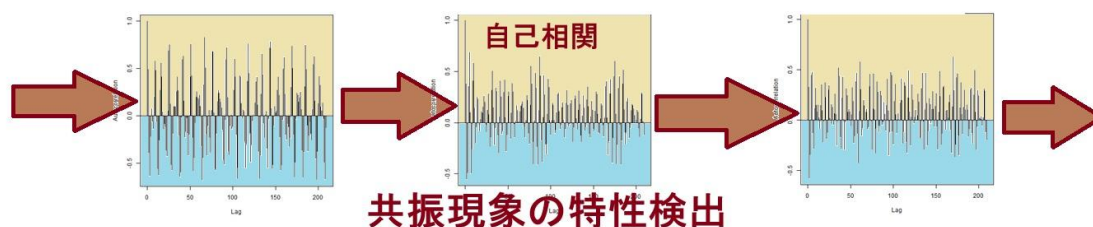
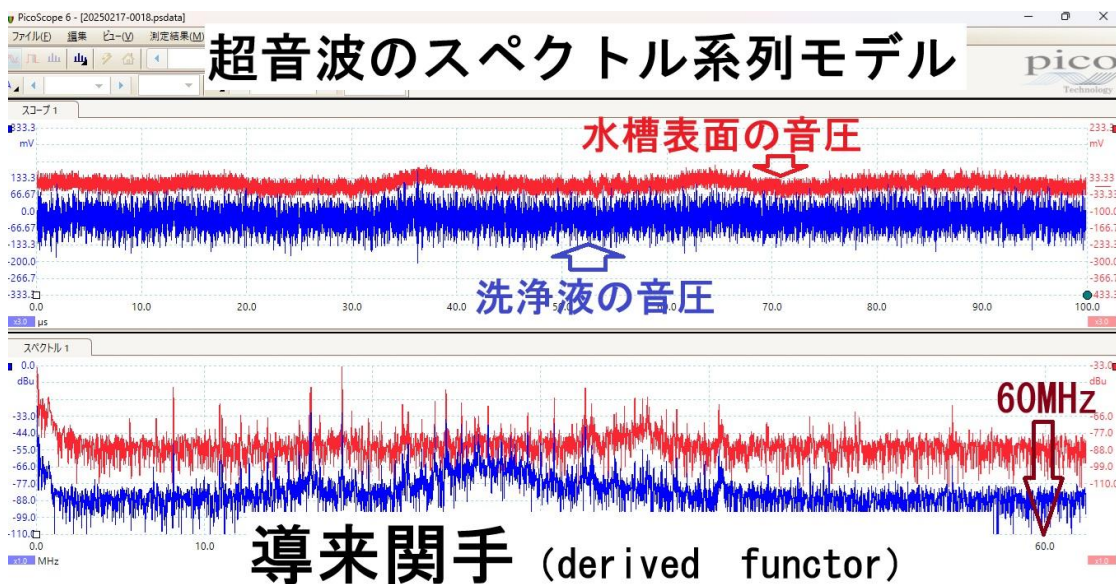
目的と効果に対する、各種条件の最適化が可能になりました。

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

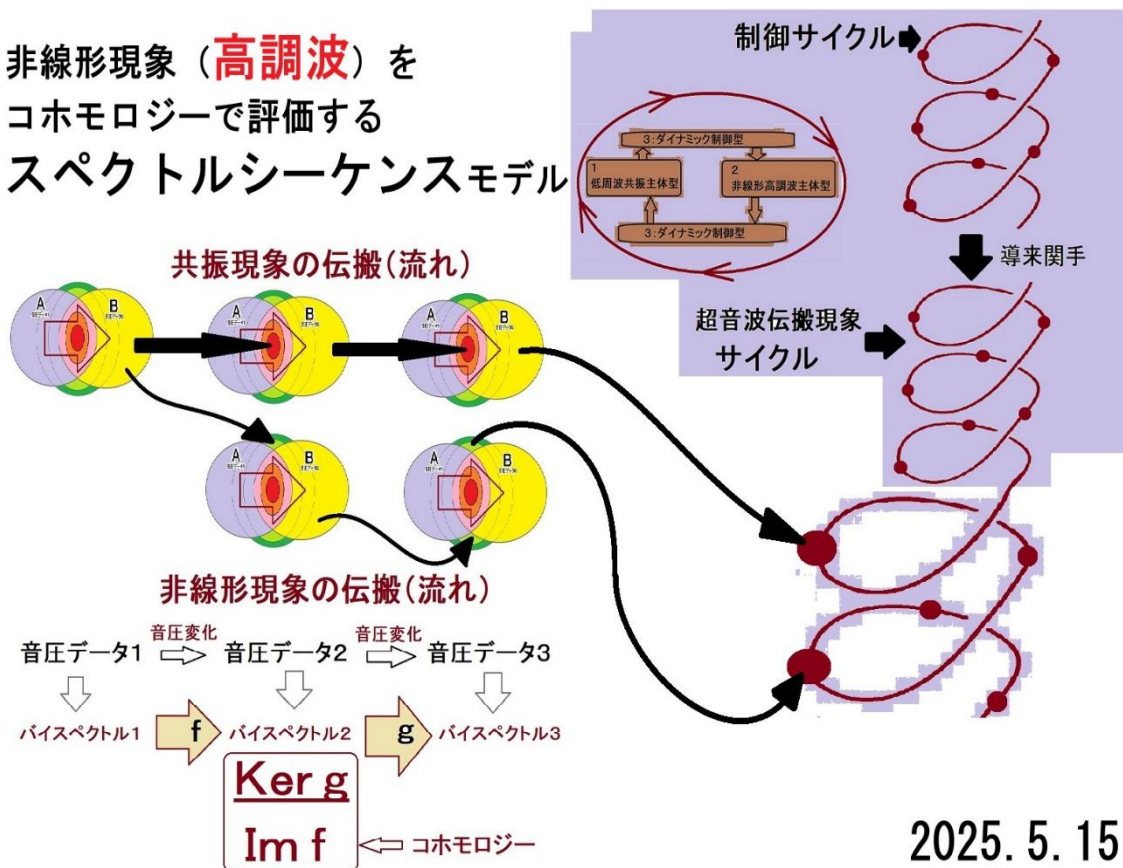
このような分類・解析をベースに実験確認することで

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）の特徴を、
 時系列の音圧データ解析結果（自己相関・バースペクトル）による
 コホモロジーに適応させるということです。

非線形現象（高調波）を コホモロジーで評価する スペクトルシーケンスモデル



2025. 5. 15

複雑な超音波の音圧測定データ解析結果を
 導来関手・コホモロジーの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。

抽象的ですが

超音波の伝搬状態を計測解析するなかで
 共振現象と非線形現象に関する的確な解析により
 超音波のダイナミック制御による
 効果的なコントロール事例が増えたことから、公表することにしました。

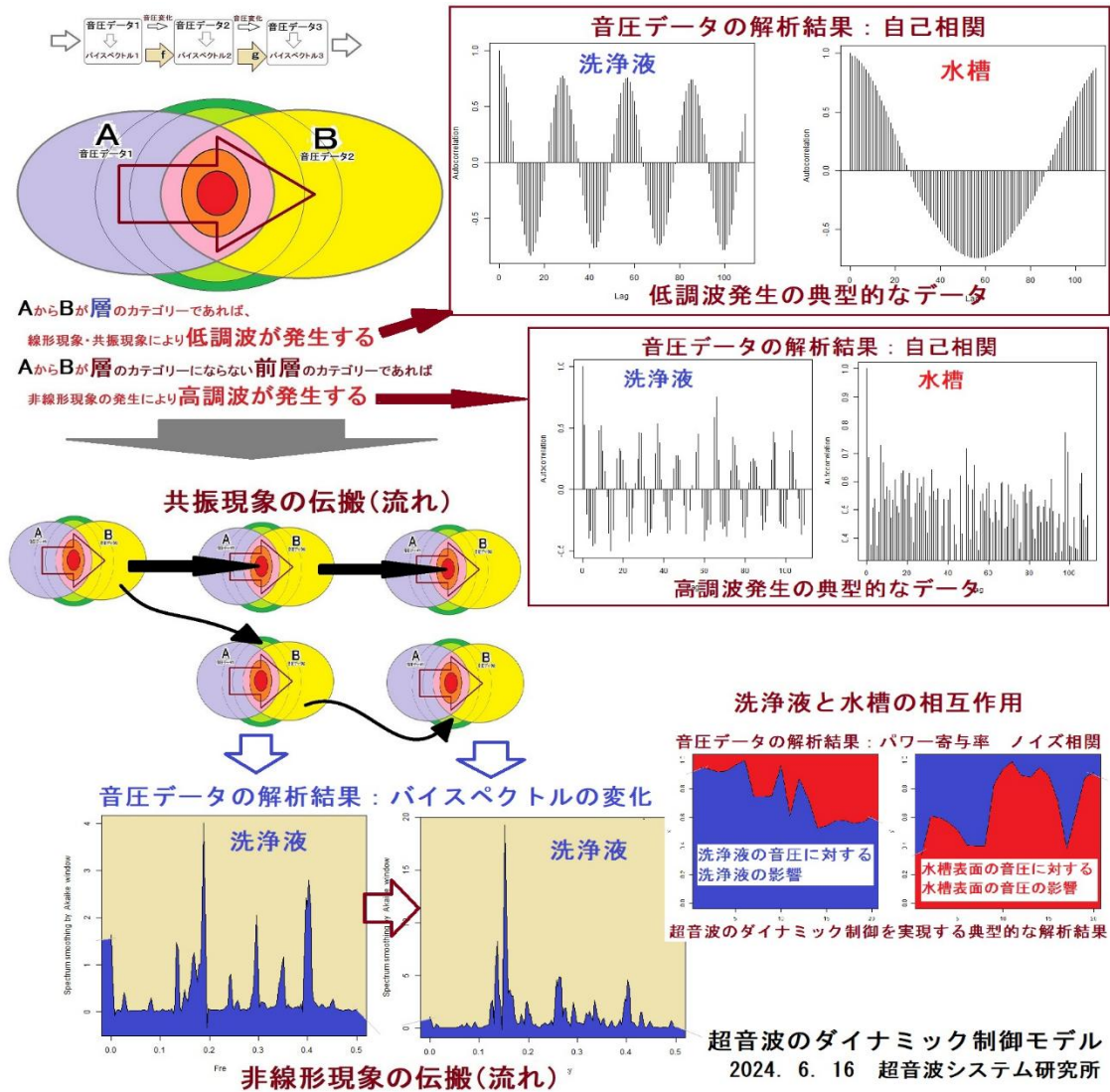
なお、超音波システム研究所の「非線形制御技術」は、
 具体的な技術（メガヘルツの流水式超音波）として対応しています。

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。



核(kernel) 像(image)



<< 超音波のMonoid（モノイドの圏）モデル >>

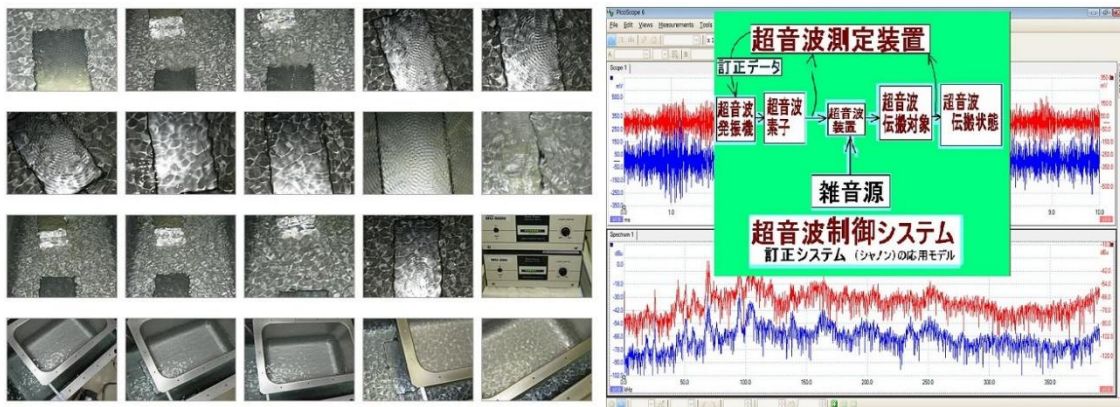
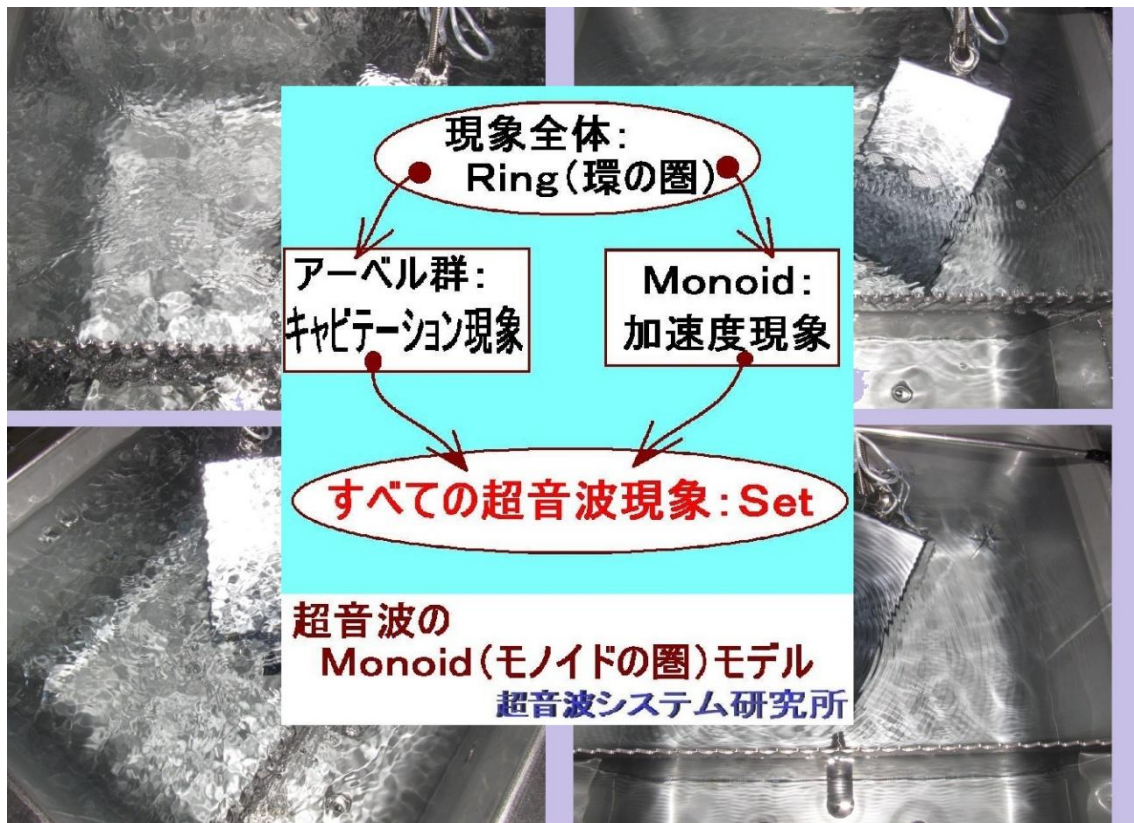
基本的な超音波発振による現象全体をRing（環の圏）として、
キャビテーション・・・による（発振周波数を主体とした）現象を

「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

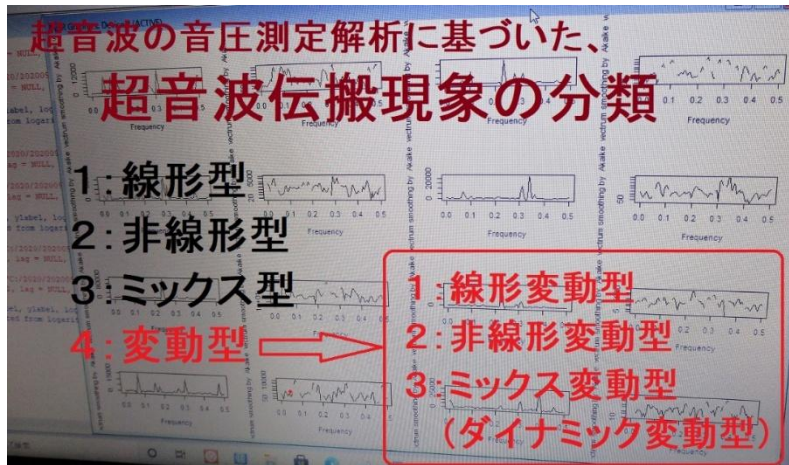
「Monoid（0元をもつ乗法の一元体）」

とするモデルを開発しました。



$$H = W \log_2 \pi e N$$

*** <<実用的な対応について>> ***



これまでの音圧データの測定解析結果から
基本的な超音波の状態を
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)

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・パルス発振条件により、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。

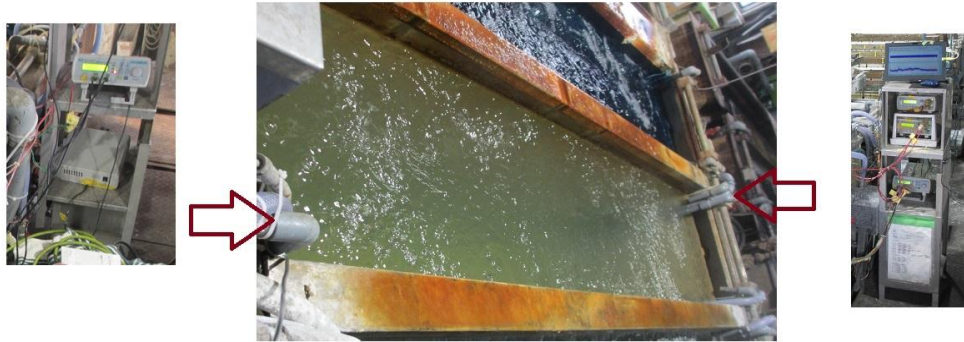
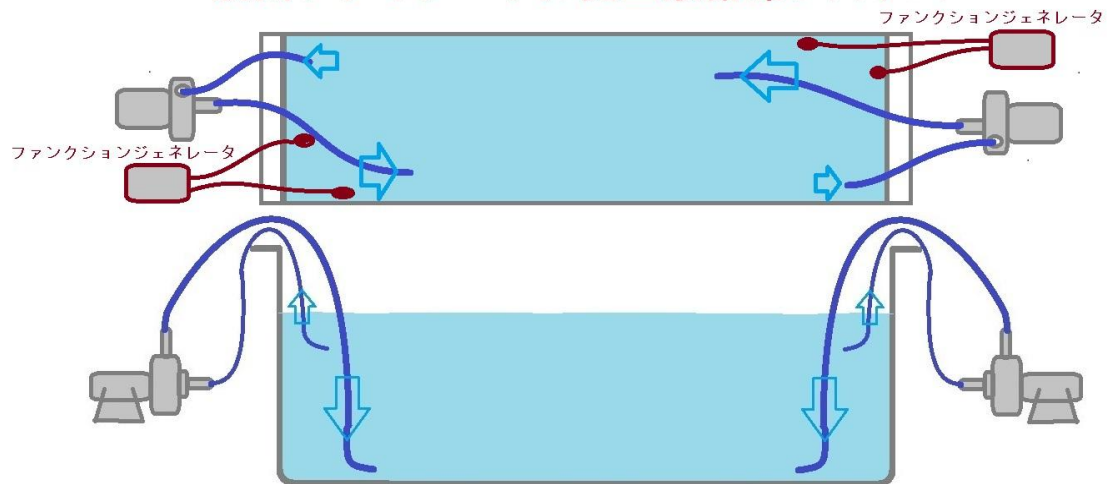
- 1: 線形変動制御型
- 2: 非線形変動制御型
- 3: ミックス変動制御型 (ダイナミック変動型)

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。



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

脱気ファインバブル発生液循環システム



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

超音波の非線形振動現象をコントロールする発振制御システム

<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>

超音波加工・溶接技術（特開 2021-171909）

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

超音波の代数モデルによる制御技術を開発

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

通信の数学的理論を応用した超音波制御技術

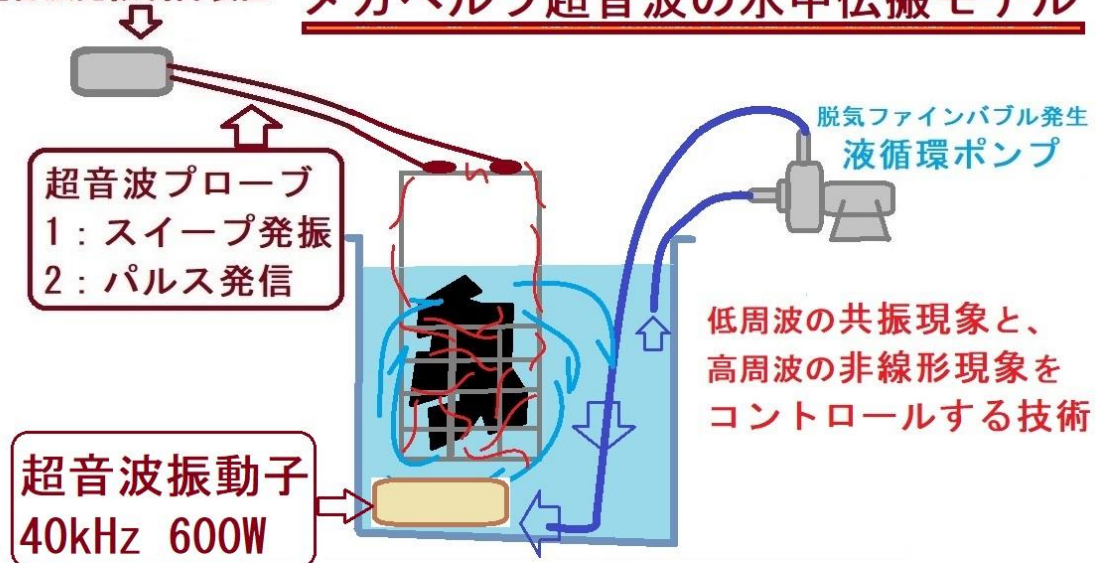
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1350>

「音色」を考慮した「超音波発振制御」技術を開発

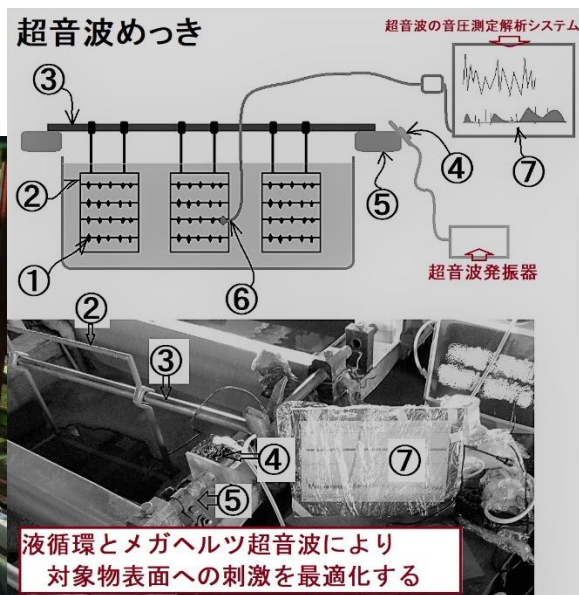
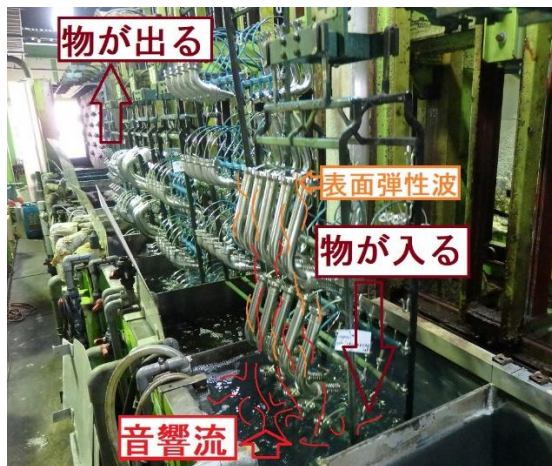
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1082>

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



A I C（情報量規準）を利用した超音波技術

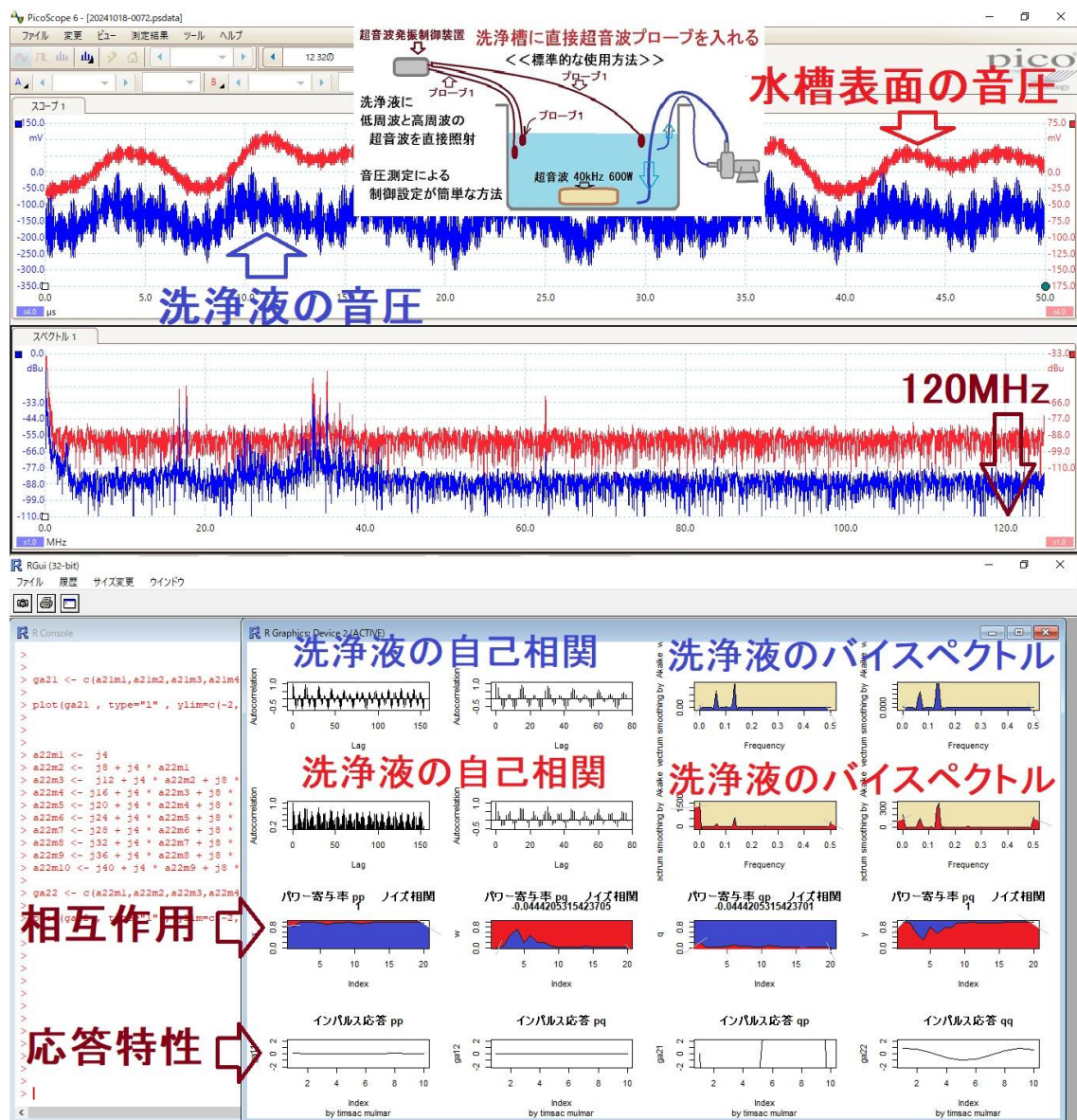
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1074>

メガヘルツ超音波を利用した「振動技術」（振動モードの改善・調整）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=3815>

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>



メガヘルツの超音波発振制御プローブを製造する技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=9232>

超音波プローブの伝搬特性テスト

<http://ultrasonic-labo.com/?p=14570>

超音波発振システム（20MHz）の製造販売

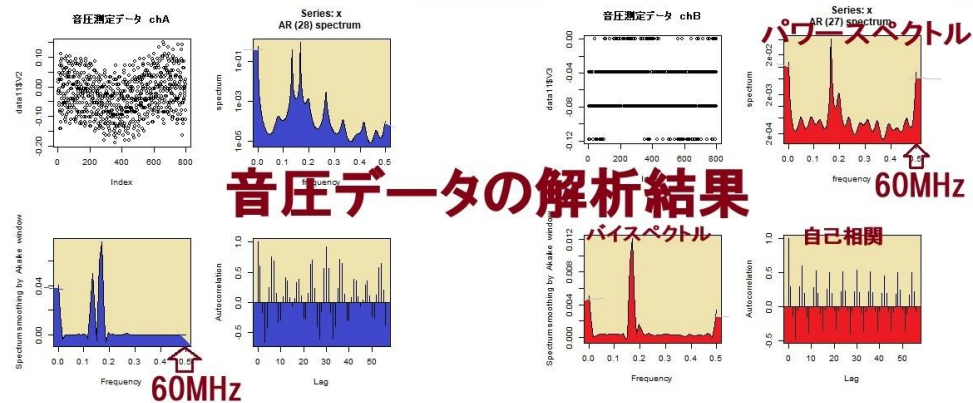
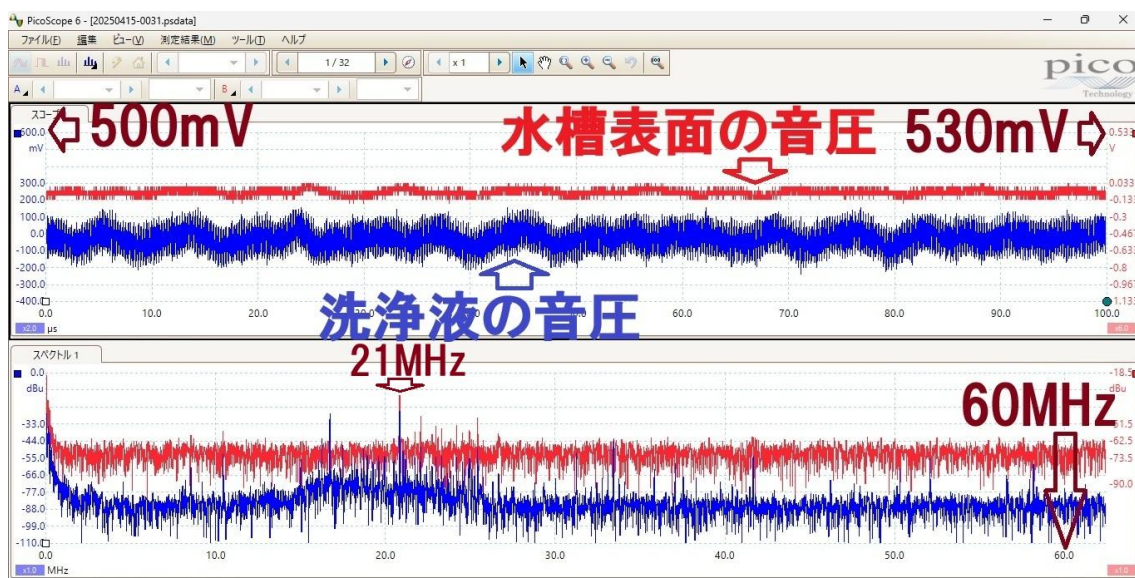
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1648>

超音波素子（圧電素子）の調整技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1584>

超音波プローブの製造・評価技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15285>



超音波洗浄機の音圧測定解析

コンサルティング対応として
上記のモデルを適切に設定することで
以下の技術を実現します。

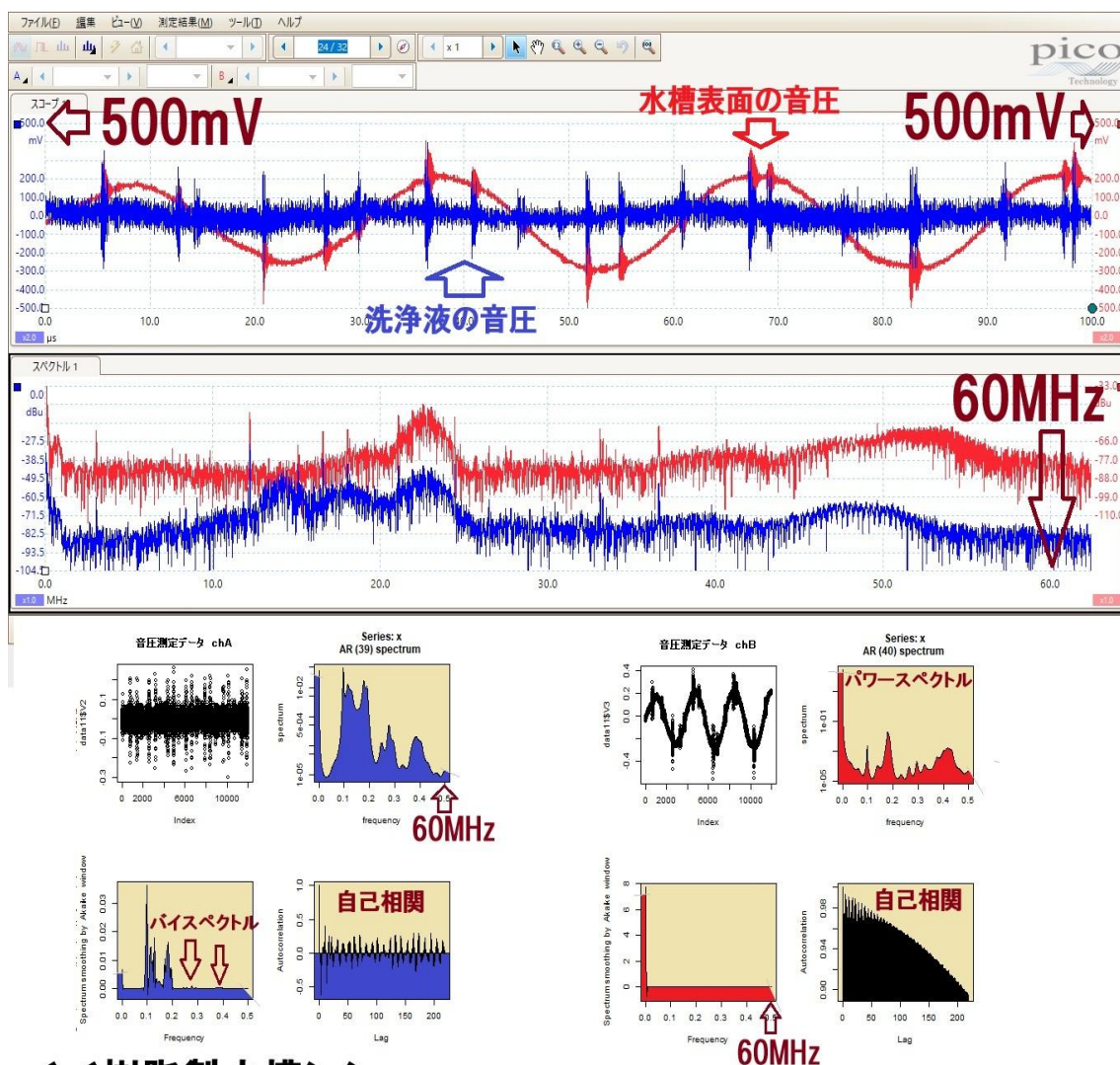
- 1) ジャグリング定理を応用した「超音波制御」技術
- 2) 音と超音波の組み合わせ制御技術
- 3) 「脱気・ファインバブル発生装置」の利用技術
- 4) 超音波の＜計測・解析・評価＞技術

超音波プローブの製造・評価技術をコンサルティング提供

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2187>

2台のファンクションジェネレータを利用した、超音波制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2295>



<<樹脂製水槽>>

超音波洗浄機の音圧測定解析

超音波技術（コンサルティング対応）

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

超音波振動子のファンクションジェネレーター発振

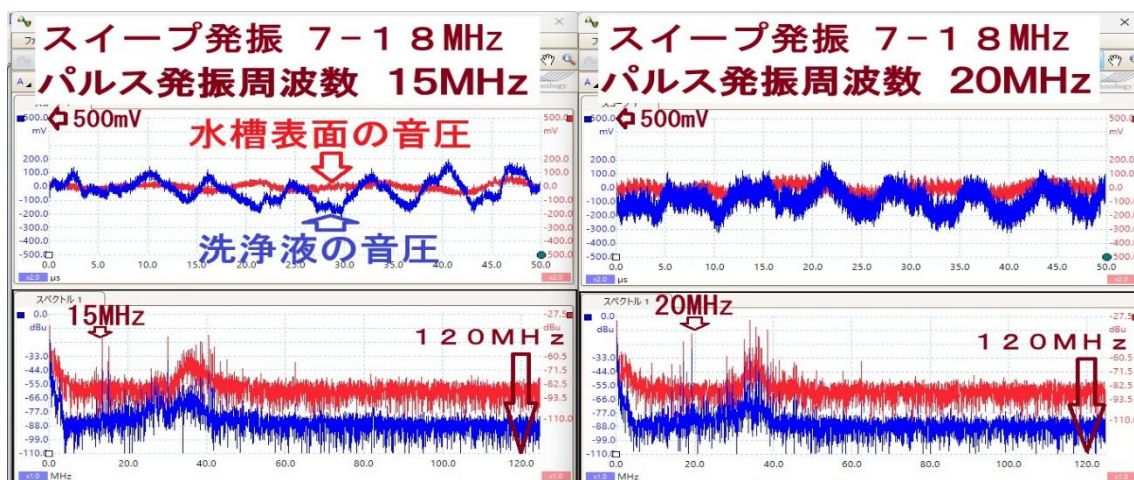
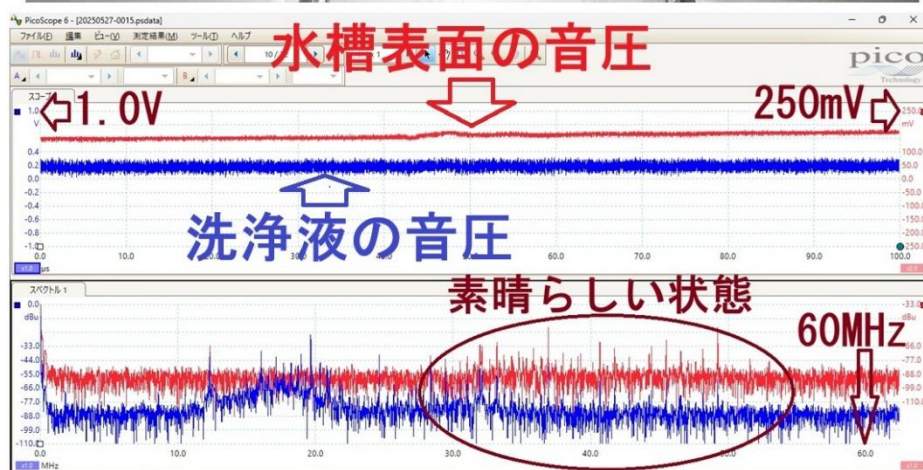
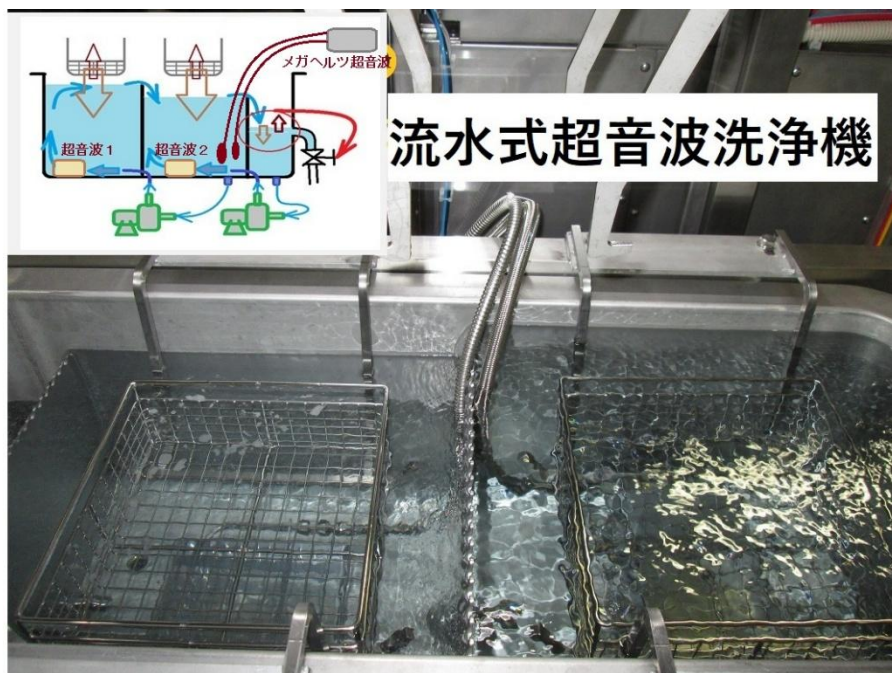
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1179>

【本件に関するお問合せ先】

超音波システム研究所

メールアドレス info@ultrasonic-labo.com

ホームページ <http://ultrasonic-labo.com/>



2種類の非線形共振型超音波発振制御プロンプによる、
スイープ発振、パルス発振