

メガヘルツ超音波の効果（超音波洗浄機の改善）No. 2

— 超音波の伝搬状態を測定・解析・評価する技術 —

2023. 6. 4 超音システム研究所 齊木

超音波システム研究所は、

多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析技術を応用した、「超音波の伝搬状態を測定・解析・評価する技術」を利用して超音波利用に関するコンサルティング対応を行っています。

超音波テスターを利用したこれまでの

計測・解析・結果（注）を時系列に整理することで
目的に適した超音波の状態を示す
新しい評価基準（パラメータ）を設定・確認します。

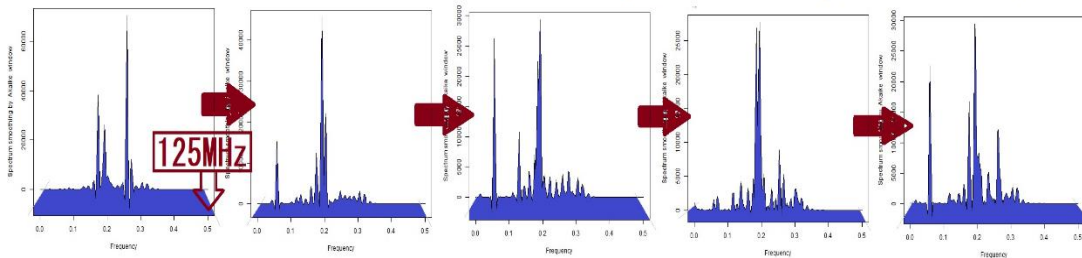
注：非線形特性

（音響流のダイナミック特性 バイスpekトル解析結果）

矢印は200μ秒経過

線形変動型 <超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

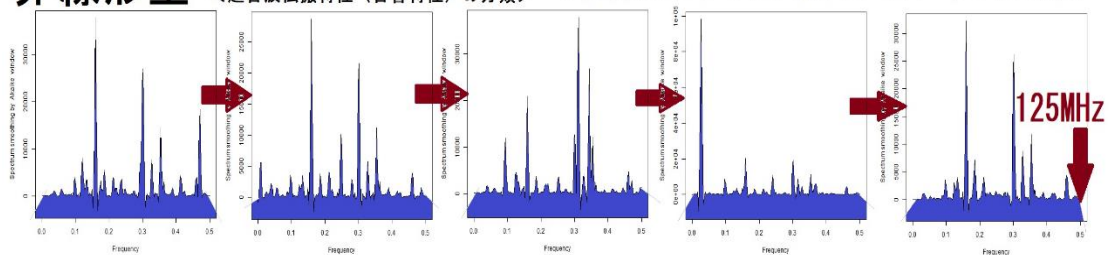
超音波のダイナミック制御：バイスpekトルの変化



非線形型

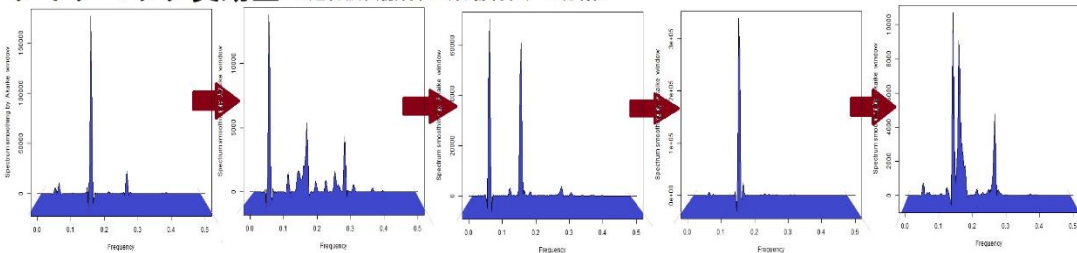
<超音波伝搬特性（音響特性）の分類>

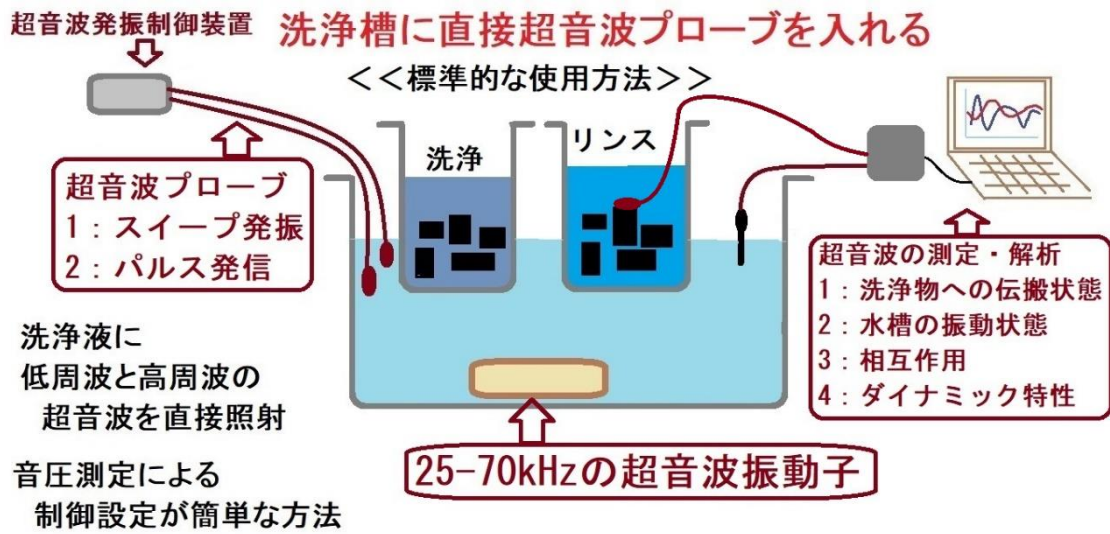
超音波のダイナミック制御：バイスpekトルの変化



ダイナミック変動型

<超音波伝搬特性（音響特性）の分類>





超音波発振条件（実験用 量産対応の場合最適化を行います）

超音波 1 38kHz 150W 出力100%

タイマー制御 ON: 30秒 OFF: 17秒

<超音波発振制御プローブの発振>

超音波 2

Ch 1 矩形波 スイープ発振 1-21MHz

Ch 2 矩形波 パルス発振 11.3MHz

液循環ポンプ

（脱気ファインバブル発生液循環装置）タイマー制御

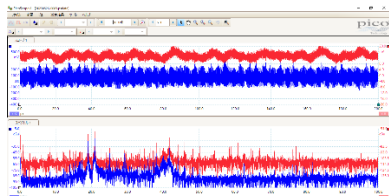
ON: 67秒 OFF: 16秒

メガヘルツ超音波の効果 (音圧データの解析結果)

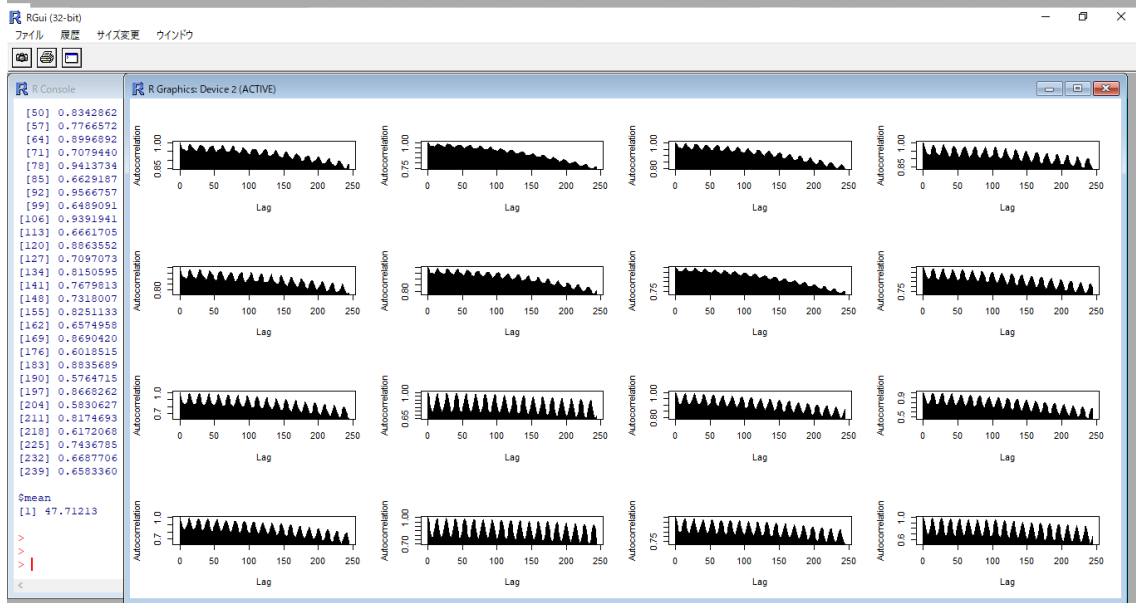
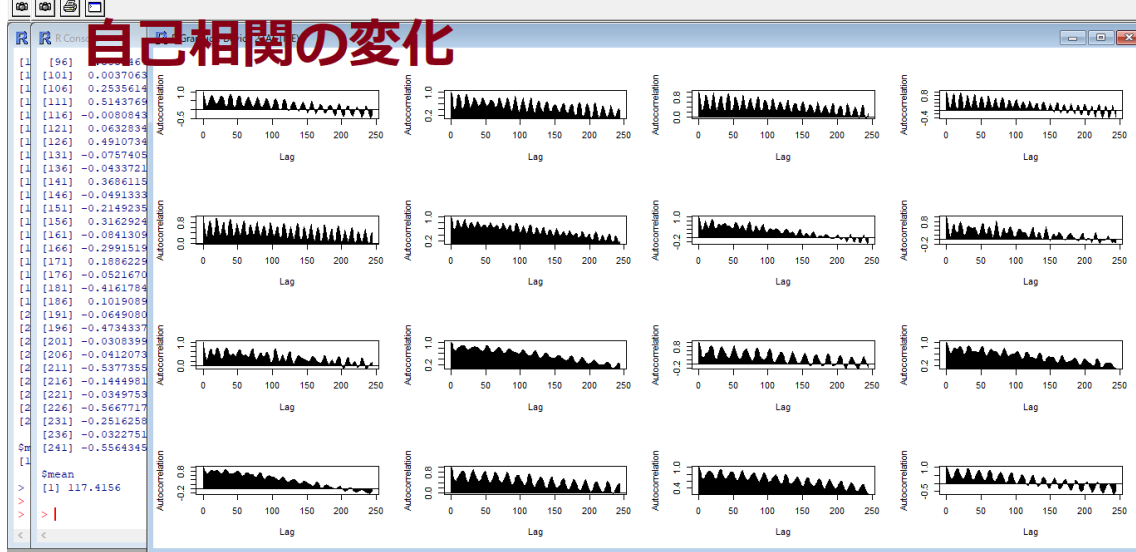
<ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 OFF>

音圧測定 電圧~時間 (0-200 μ 秒) パワー~周波数 (0-125MHz)

グラフ青: 洗浄液の音圧 グラフ赤: 洗浄対象物の表面音圧



RGui (32-bit) **ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 OFF**

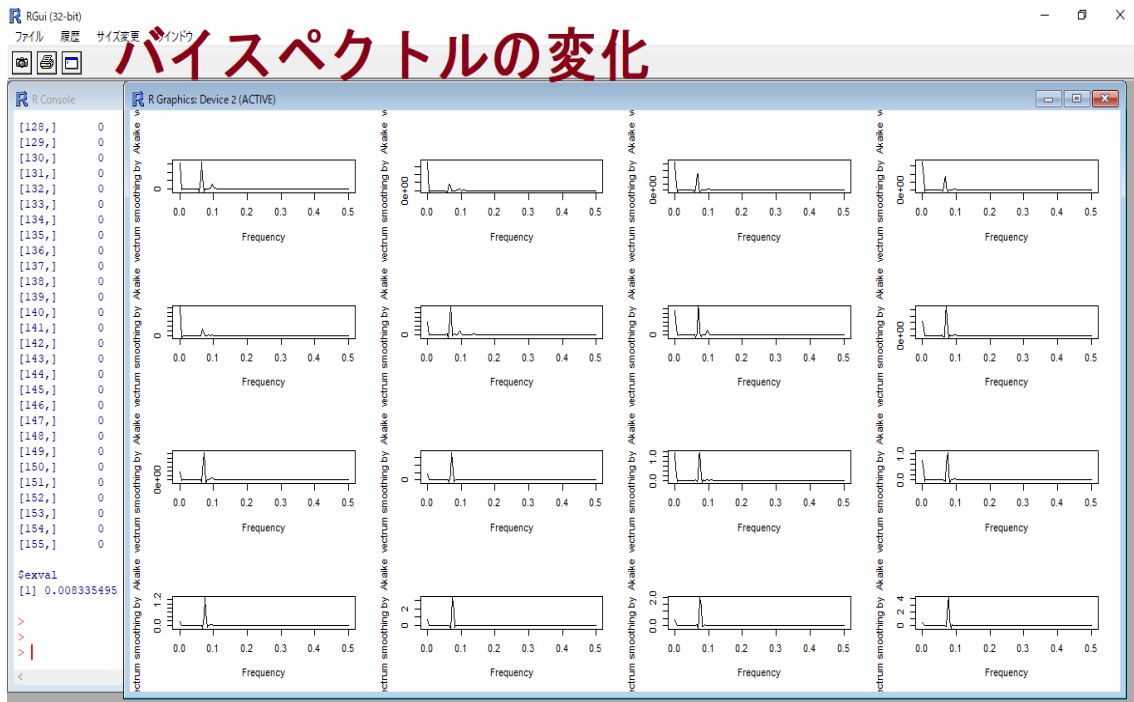


自己相関:最大Lag 250

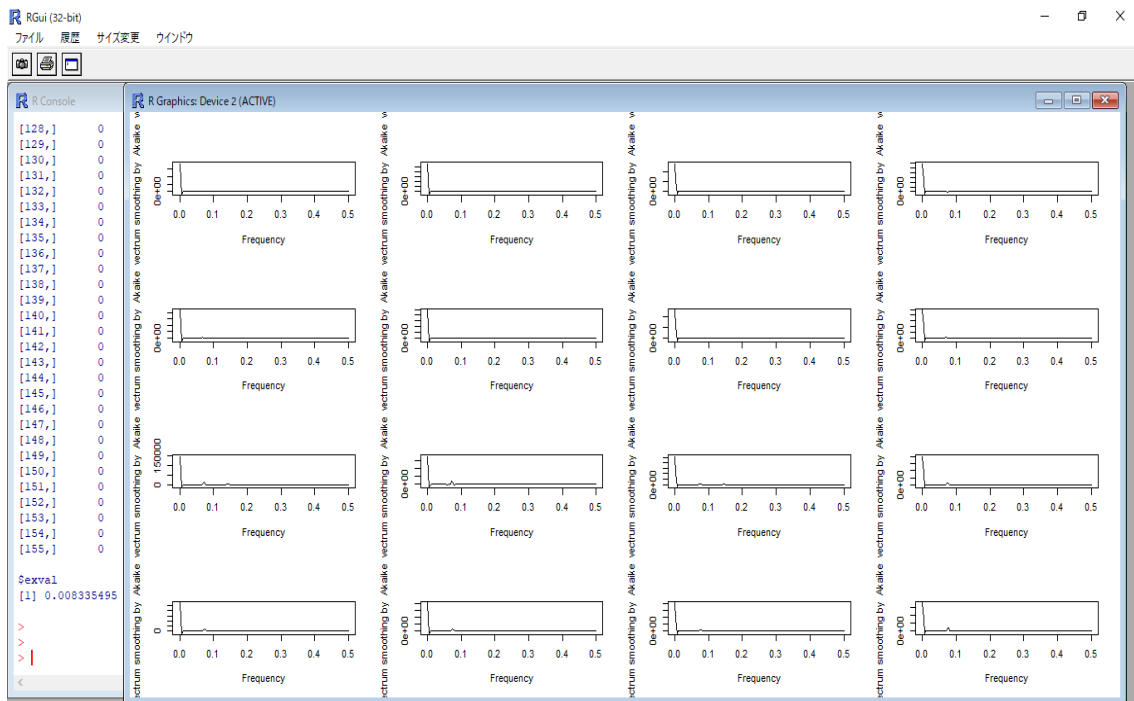
グラフ上: 洗浄液の音圧

グラフ下: 洗浄対象物の表面音圧

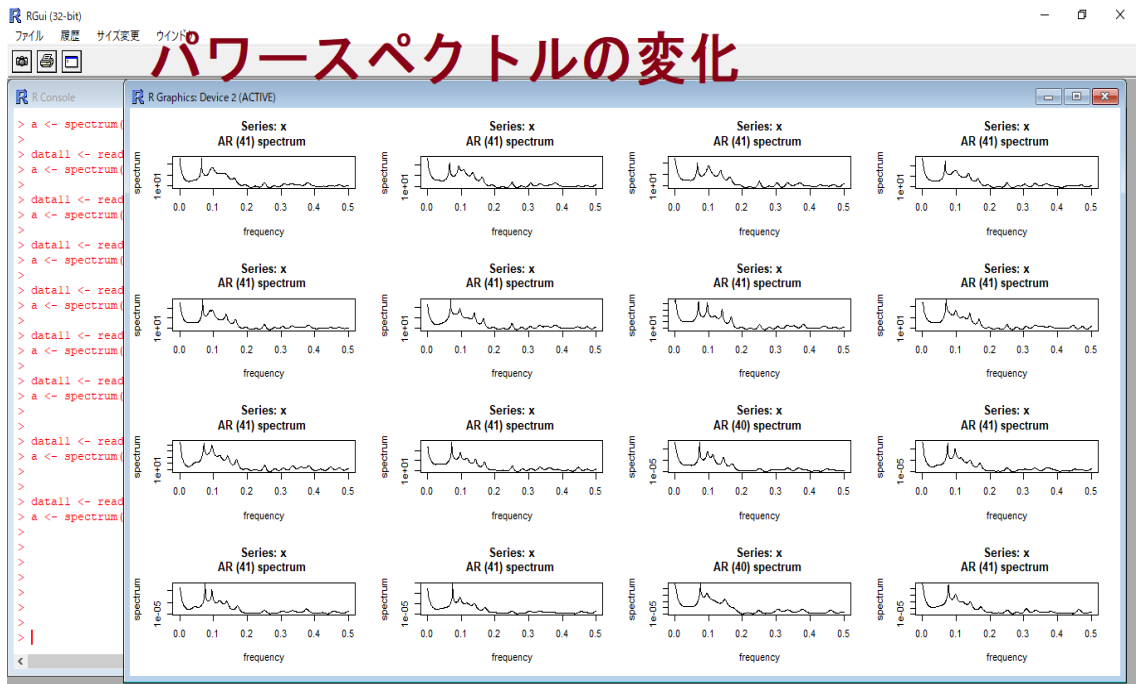
コメント:単調でなめらかな自己相関の変化



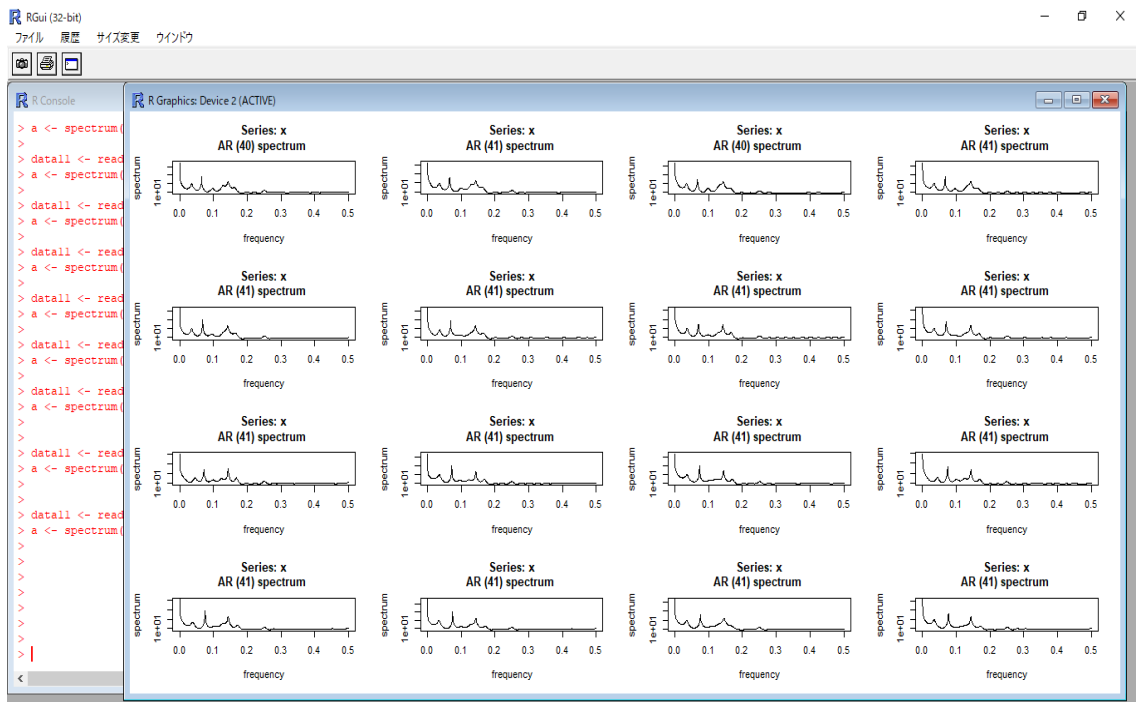
バイスペクトル:最大周波数 125MHz(グラフ 0.5)
グラフ上: 洗浄液の音圧
コメント:38kHz 超音波による20MHz付近の単調な非線形現象



バイスペクトル:最大周波数 125MHz(グラフ 0.5)
グラフ下: 洗浄対象物の表面音圧
**コメント:低周波の共振現象により、
 洗浄物には非線形振動の伝搬は非常に小さい状態**



パワースペクトル: 最大周波数 125MHz(グラフ 0.5)
 グラフ上: 洗浄液の音圧
 コメント: 洗浄効果が期待できない、ほぼ単調な振動状態

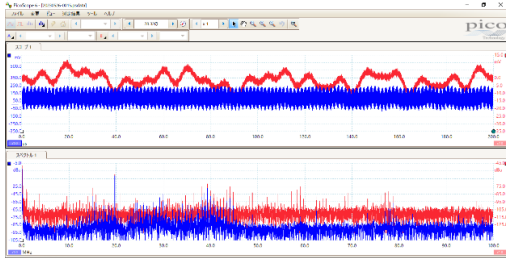


パワースペクトル: 最大周波数 125MHz(グラフ 0.5)
 グラフ下: 洗浄対象物の表面音圧
 コメント: 50MHz以上の周波数は、ほとんど伝搬していない状態
 洗浄液が洗浄物の表面でなめらかに揺れている状態

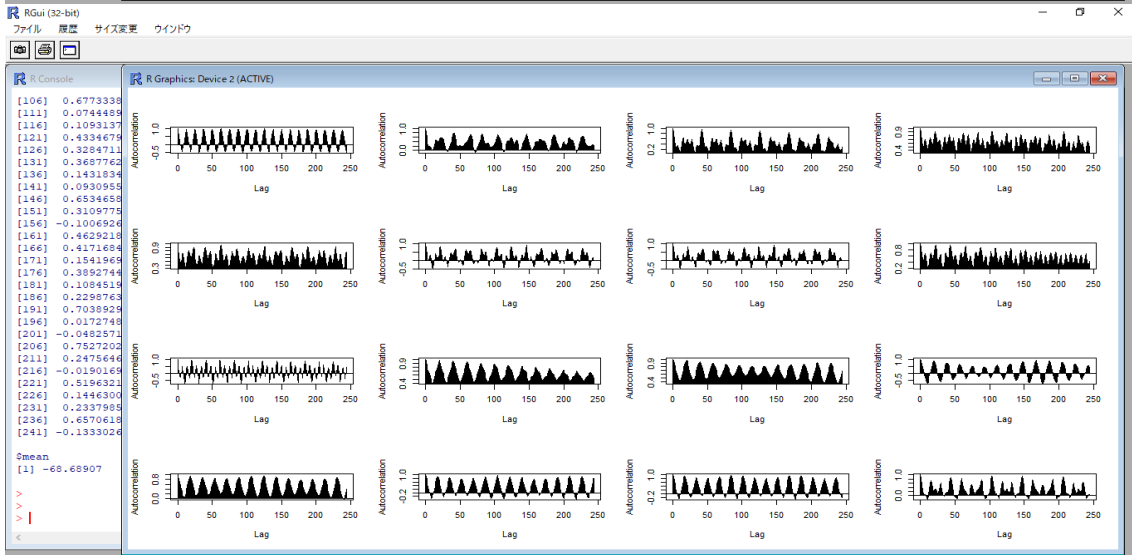
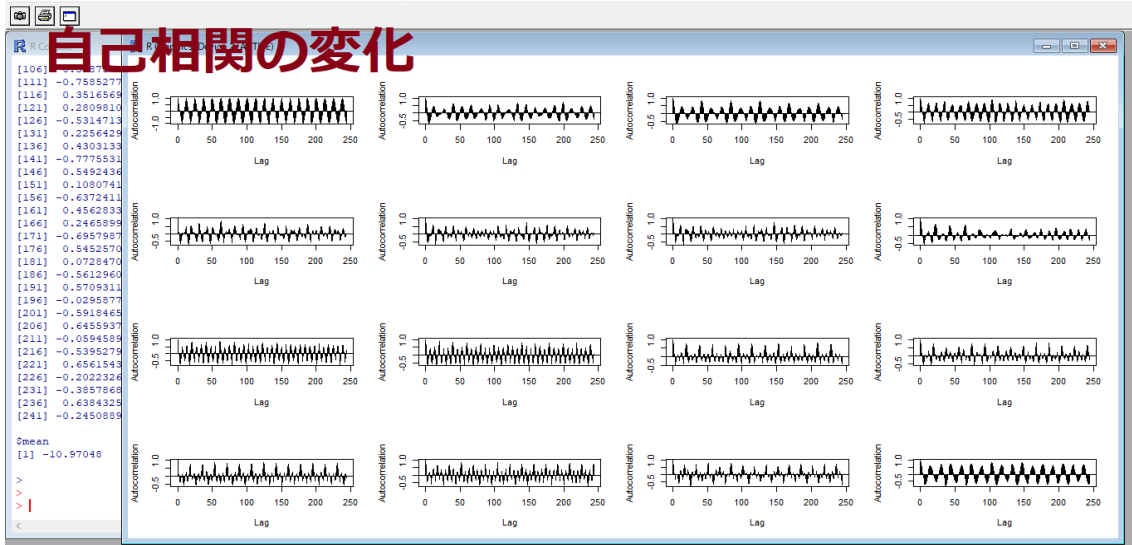
<ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 ON>

音圧測定 電圧～時間 (0-200 μ 秒) パワー～周波数 (0-125MHz)

グラフ青：洗浄液の音圧 グラフ赤：対象物の表面音圧



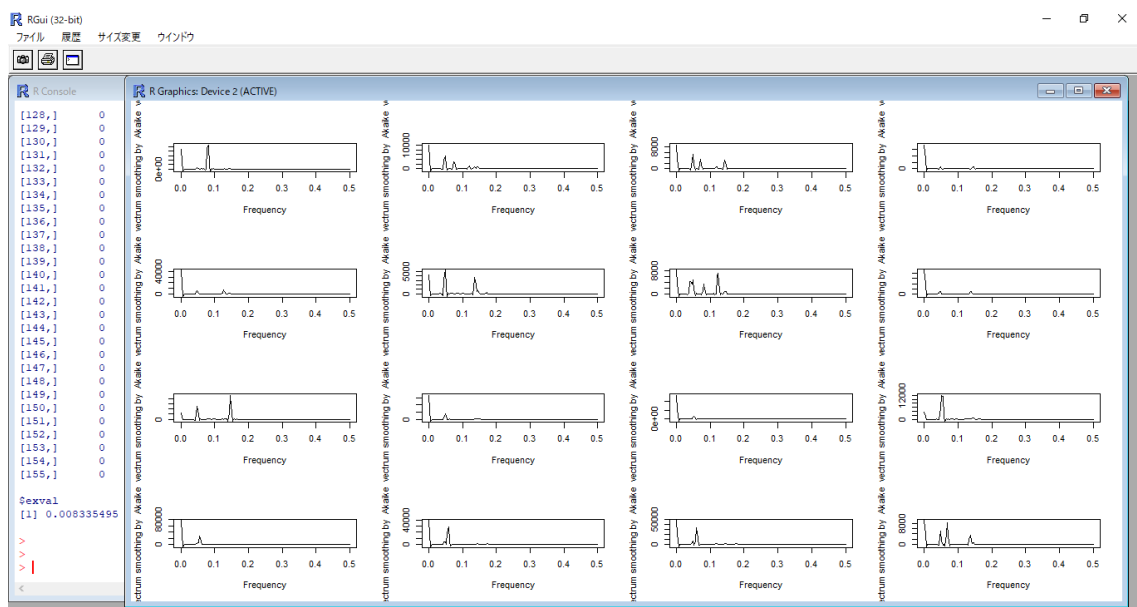
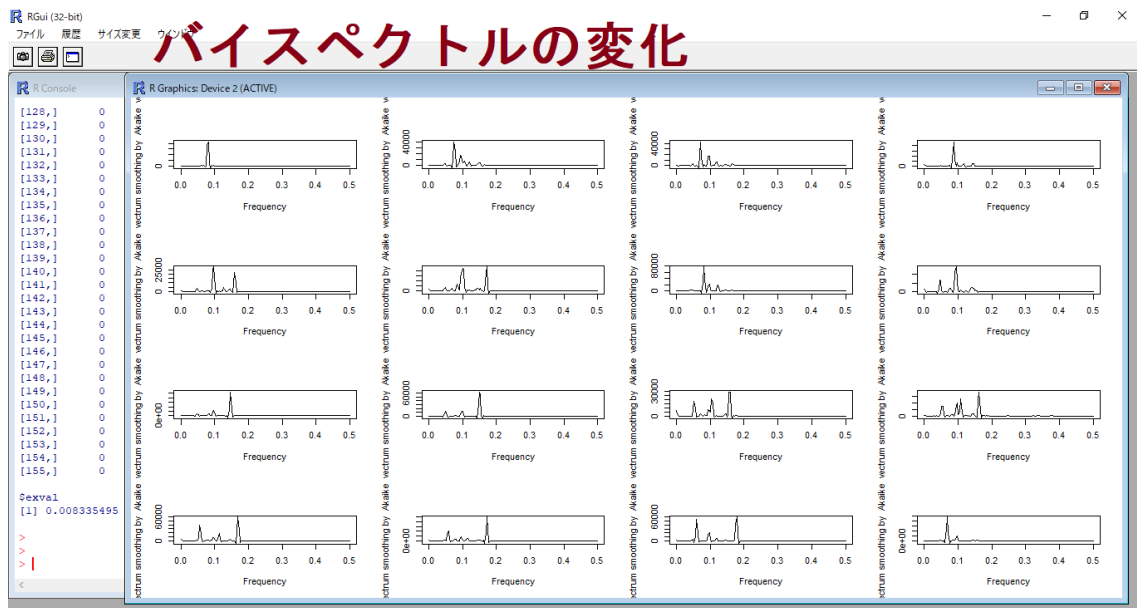
RGui (32-bit) <ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 ON>



自己相関:最大Lag 250

グラフ上：洗浄液の音圧 グラフ下：対象物の表面音圧

コメント：洗浄液・洗浄物固有の振動モードをベースにした複雑で、ダイナミックに変化している自己相関

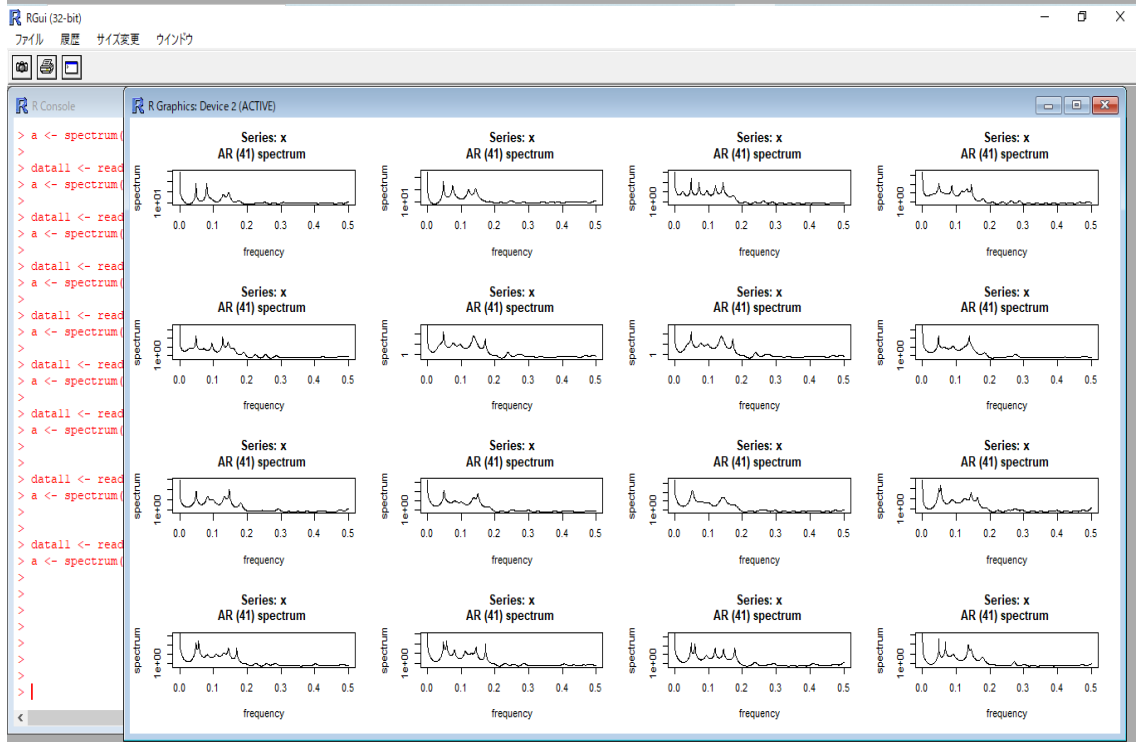
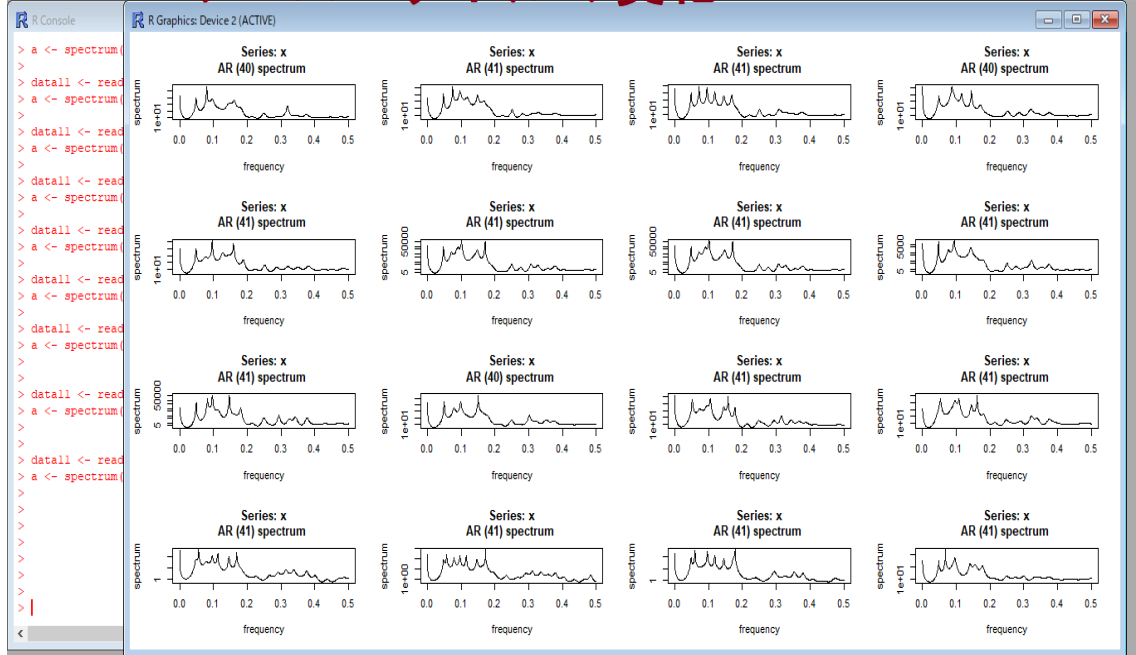


バイスペクトル:最大周波数 125MHz(グラフ 0.5)

**コメント: 0 Hz ~ 40 MHz z の変化から低周波の共振現象を含めた
 非常にダイナミックな変化を実現しているバイスペクトル
 40 MHz z 付近の変化から、3 倍の 120 MHz z の非線形振動現象が
 洗浄物の表面に伝搬している
 ナノレベルの洗浄・攪拌・・・が実現する状態**

**超音波発振条件の最適化を行うことで
 300 MHz z の非線形振動現象が
 洗浄物の表面に伝搬するように調整可能な状態**

パワースペクトルの変化



パワースペクトル:最大周波数 125MHz(グラフ 0.5)

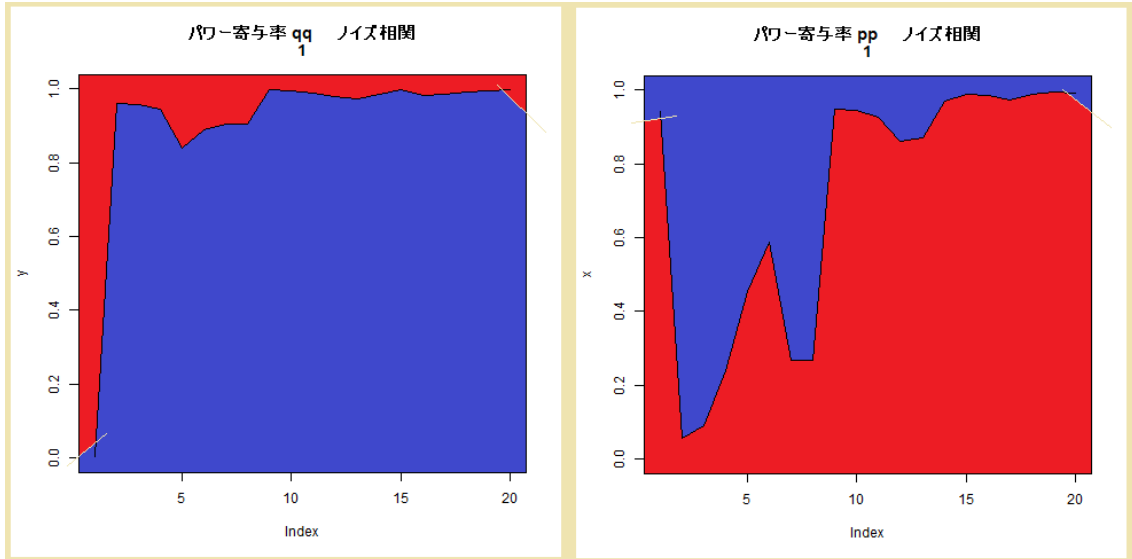
コメント: 0 Hz ~ 125 MHz の伝搬周波数成分の変化から
洗浄物へ、非常にダイナミックな超音波刺激が実現している状態

洗浄液と洗浄物の相互作用

<ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 OFF>

音圧測定 電圧～時間 (0-200 μ 秒) パワー～周波数 (0-125MHz)

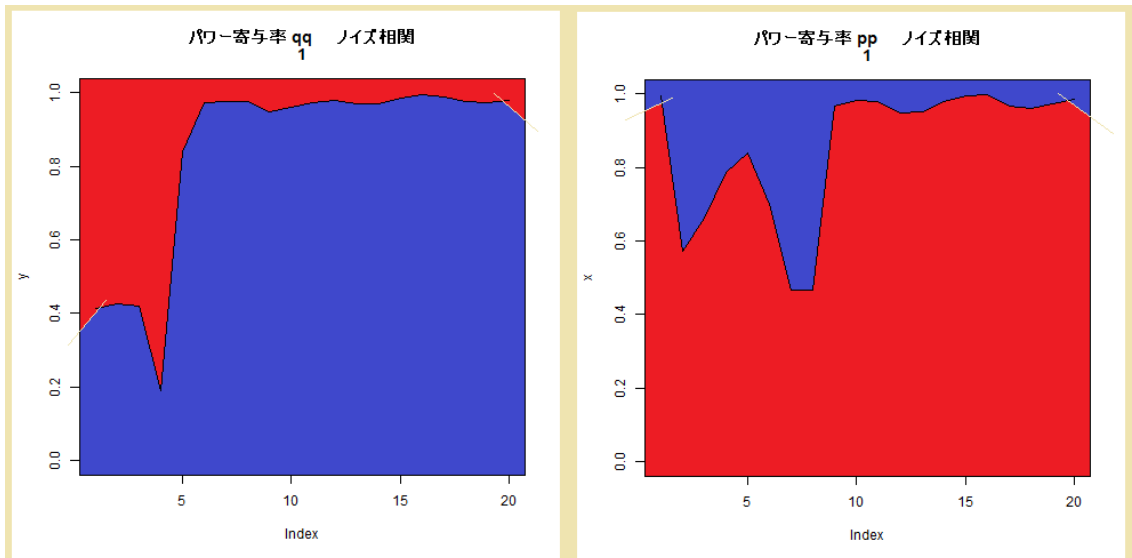
グラフ青：洗浄液の音圧 グラフ赤：対象物の表面音圧



<ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 ON>

音圧測定 電圧～時間 (0-200 μ 秒) パワー～周波数 (0-125MHz)

グラフ青：洗浄液の音圧 グラフ赤：対象物の表面音圧



コメント：超音波2の効果

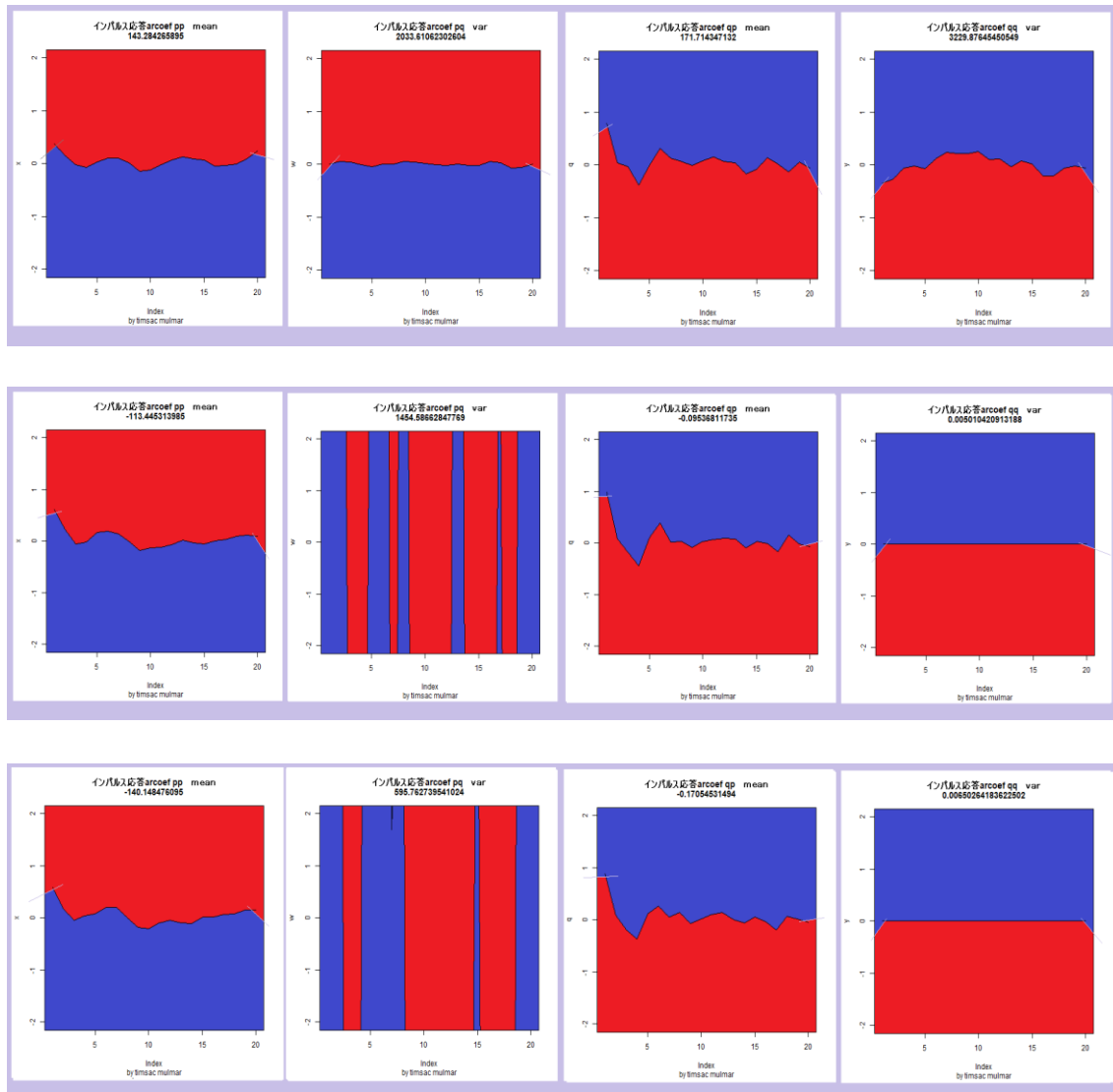
洗浄物の表面振動に対して、
洗浄液の影響が大きくなっている

洗浄液と洗浄物の応答特性

<ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 OFF>

音圧測定 電圧～時間 (0-200 μ 秒) パワー～周波数 (0-125MHz)

グラフ青：洗浄液の音圧 グラフ赤：対象物の表面音圧



コメント

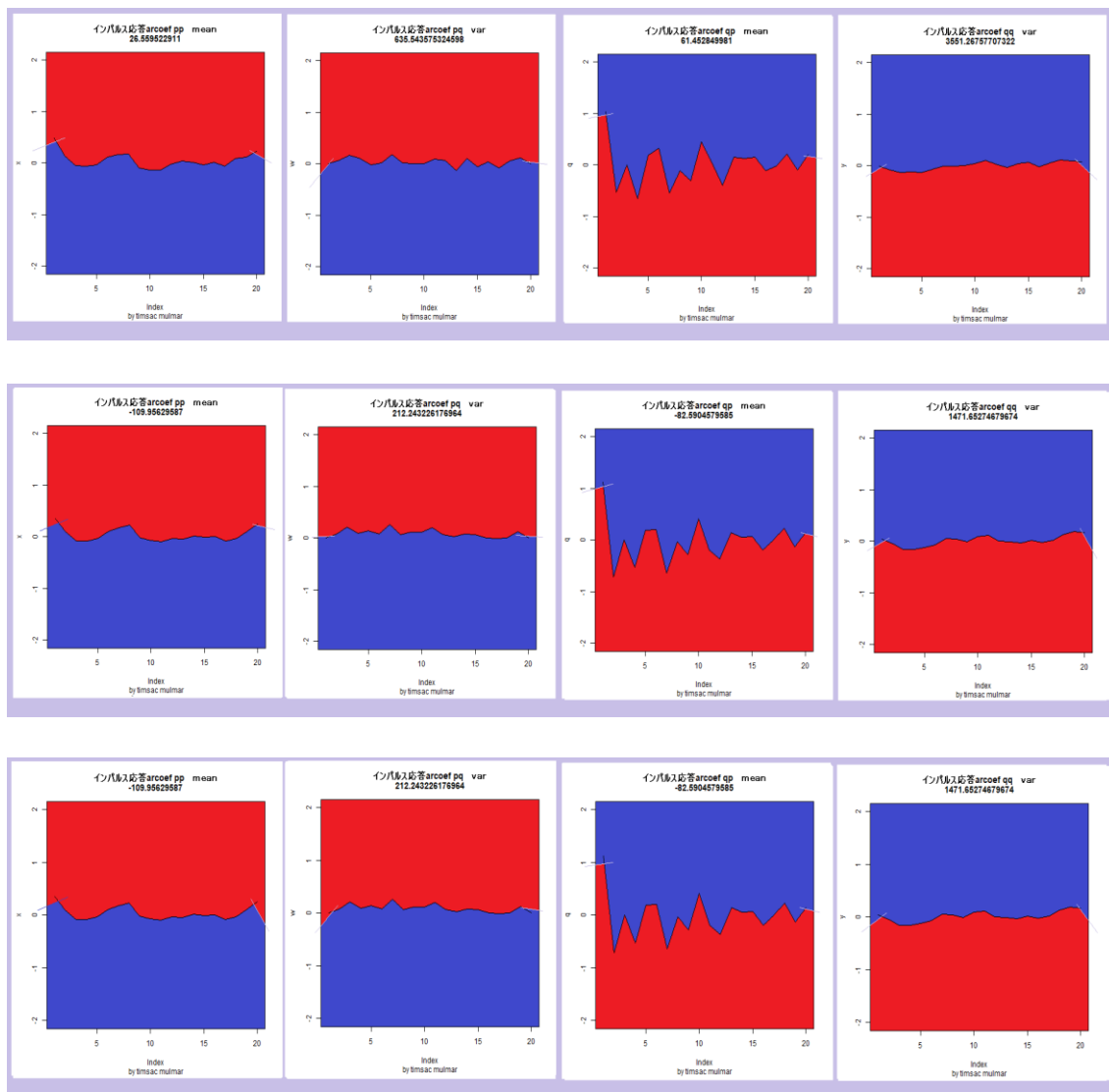
洗浄液の振動に対して、洗浄物の応答が大きく変化している

洗浄物の振動の単調性が検出出来る

<ポンプ運転 超音波1 ON, 超音波2 ON>

音圧測定 電圧～時間 (0-200 μ 秒) パワー～周波数 (0-125MHz)

グラフ青：洗浄液の音圧 グラフ赤：対象物の表面音圧



コメント

安定しているが、微細で複雑な応答特性である

洗浄効果につながる応答特性である

<超音波の音圧測定・解析システム>

超音波プローブ

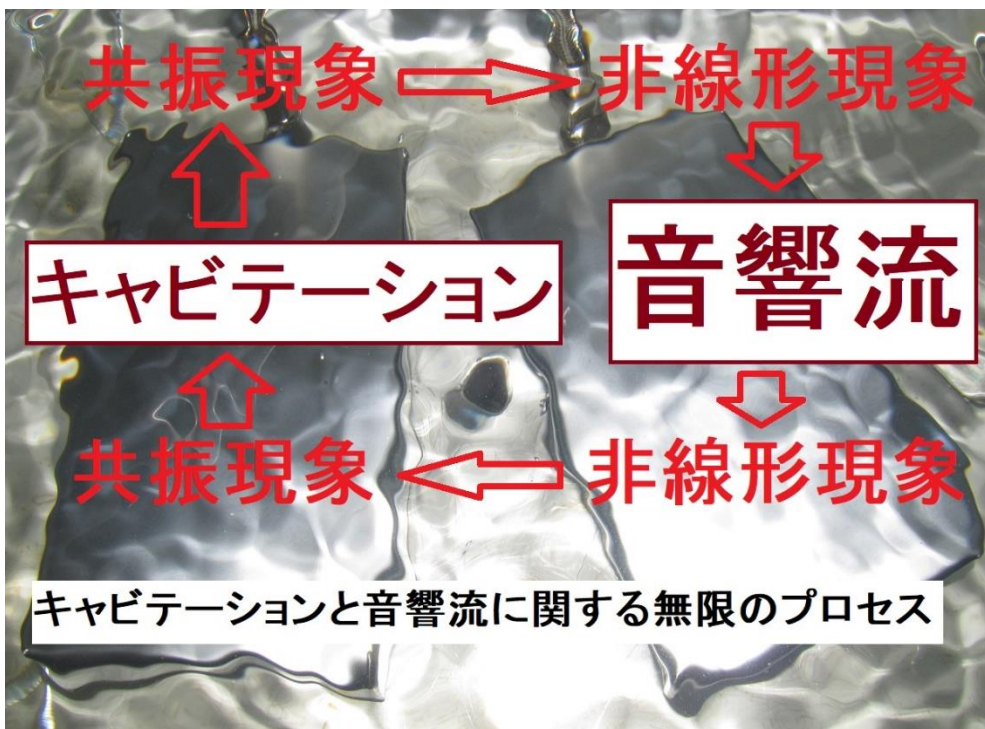
測定範囲 0.01Hz~100MHz

発振範囲 0.1kHz~25MHz (伝搬周波数範囲 1kHz~300MHz)

超音波の音圧測定解析システム (超音波テスター 100MHzタイプ)



超音波発振システム (20MHzタイプ) USP-2021-20MHz



<< 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(バー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

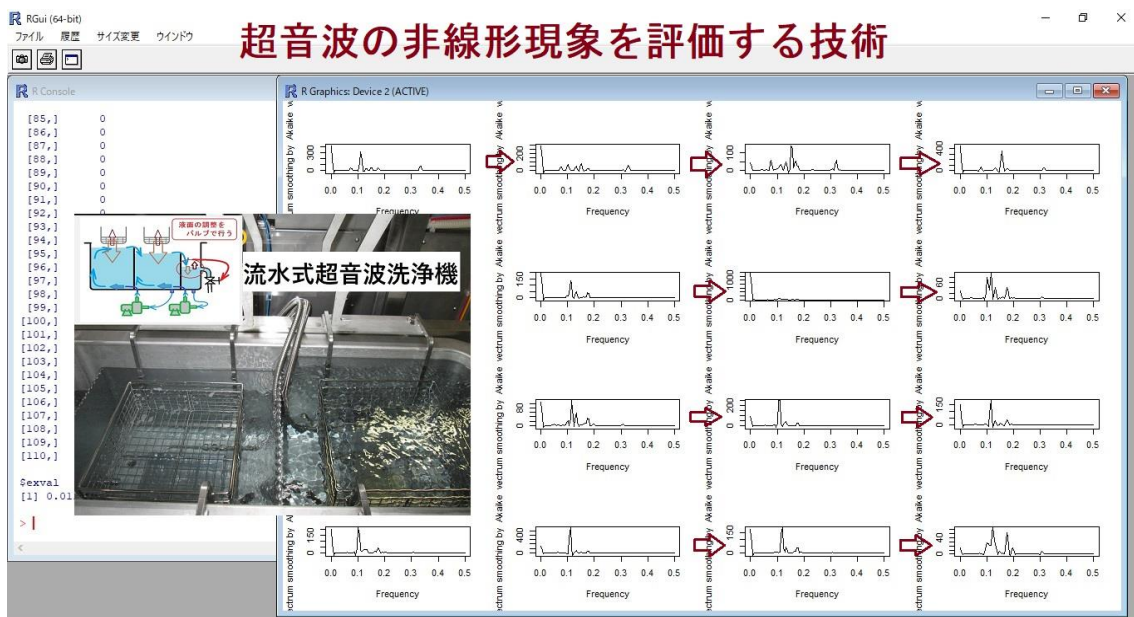
この解析方法は、
複雑な超音波振動のダイナミック特性を
時系列データの解析手法により、超音波の測定データに適応させる
これまでの経験と実績に基づいて実現しています。

注:解析には下記ツールを利用します

注:OML(Open Market License) <https://www.ism.ac.jp/ismlib/jpn/ismlib/license.html>

注:TIMSAC(TIME Series Analysis and Control program) <https://jasp.ism.ac.jp/ism/timsac/>

注:「R」フリーな統計処理言語かつ環境 <https://cran.ism.ac.jp/>



超音波制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16309>

超音波プローブの発振制御による振動評価技術

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

超音波技術：多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15785>

統計的な考え方を利用した超音波

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

超音波の非線形現象を評価する技術

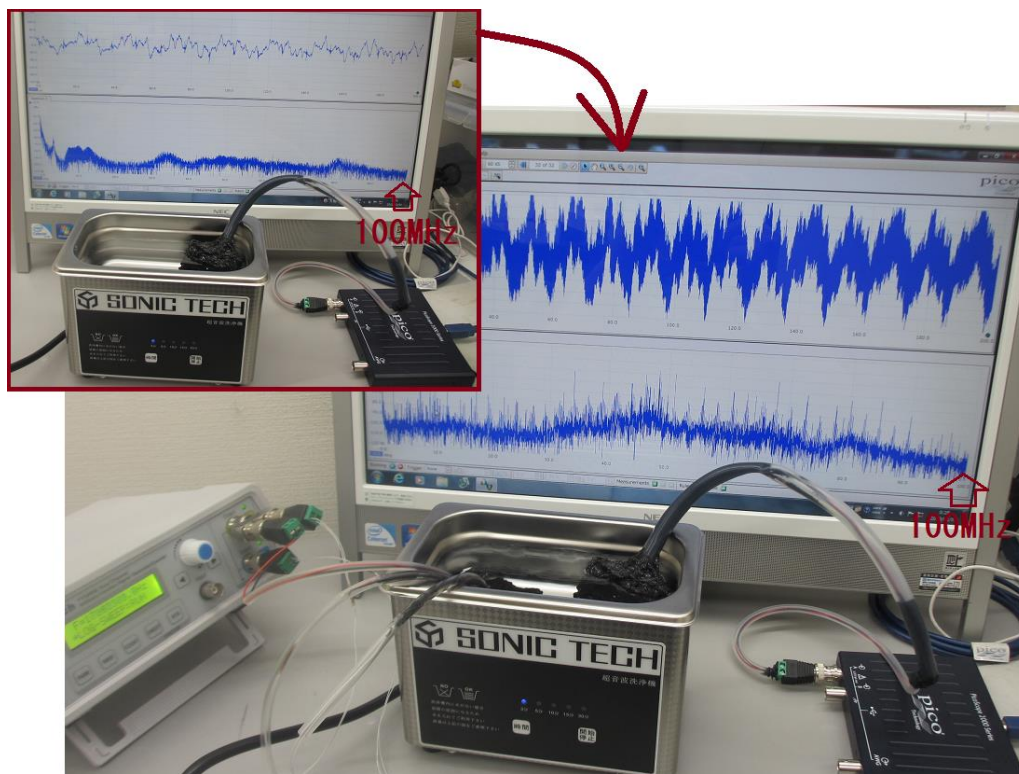
<http://ultrasonic-labo.com/?p=13919>

超音波の非線形振動

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

超音波<測定・解析>システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1000>



メガヘルツ超音波の効果

以上