

音響流 (超音波の非線形現象) 制御技術

2023. 7. 8 超音波システム研究所

超音波システム研究所は、
ファインバブル（マイクロバブル）を含んだ流れを利用した
音響流の制御技術を開発しました。

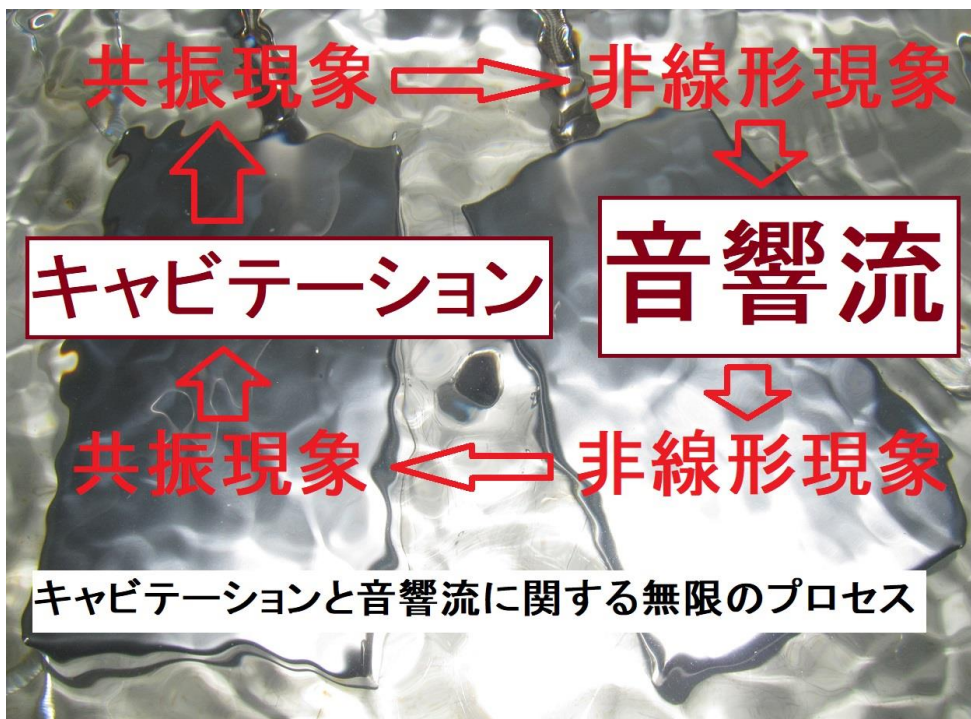
複雑な振動状態について、

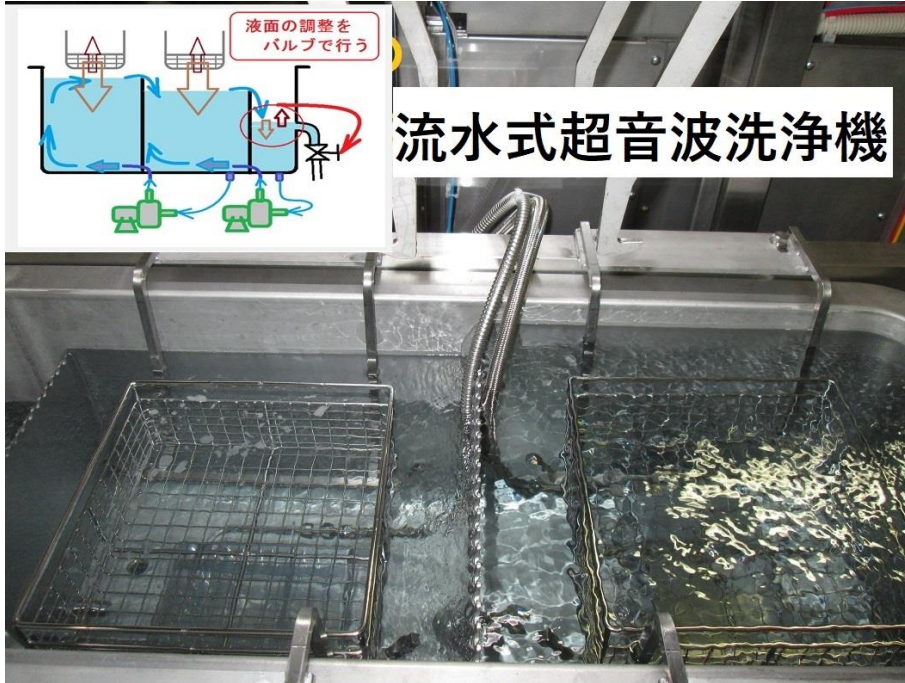
- 1) 線形現象と非線形現象
- 2) 相互作用と各種部材の音響特性
- 3) 音と超音波と表面弾性波
- 4) 低周波と高周波（高調波と低調波）
- 5) 発振波形と出力バランス
- 6) 発振制御と共振現象

・ ・ ・

音圧測定・解析に基づいた、統計数理モデルにより
音響流の評価方法（自己相関・バースペクトルの変化）で最適化します。

超音波洗浄、加工、攪拌、・・・表面検査、・・・ナノテクノロジー、・・・
応用研究・・・ 様々な対応が可能です。





<<実験動画>>

<https://youtu.be/fRqs6QYLvpY>

<https://youtu.be/v9JODM7hbUA>

<https://youtu.be/gELVPzZY27Y>

https://youtu.be/ZbVBB1zwG_Y

<https://youtu.be/SigtbYL59dw>

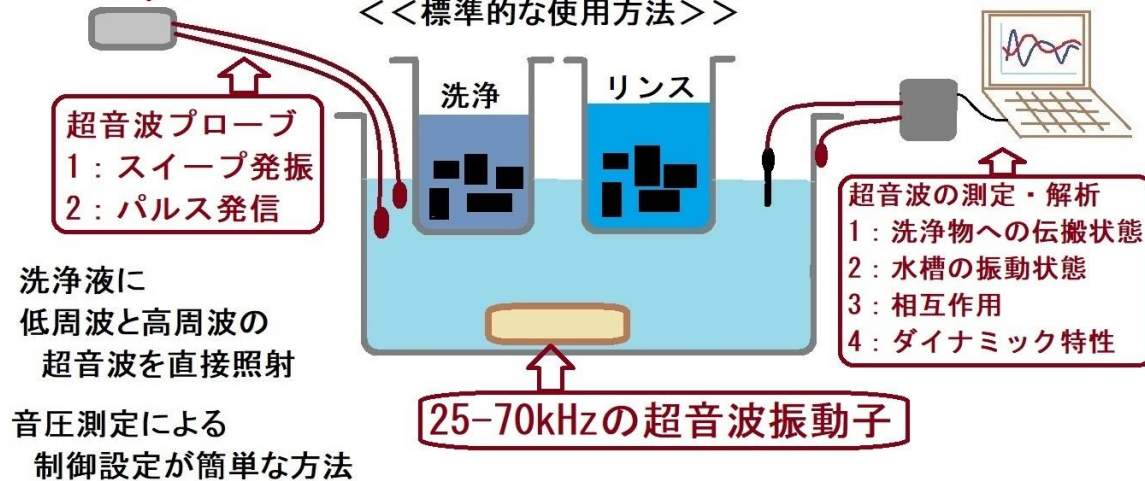
<https://youtu.be/IM-r6-6h-yU>

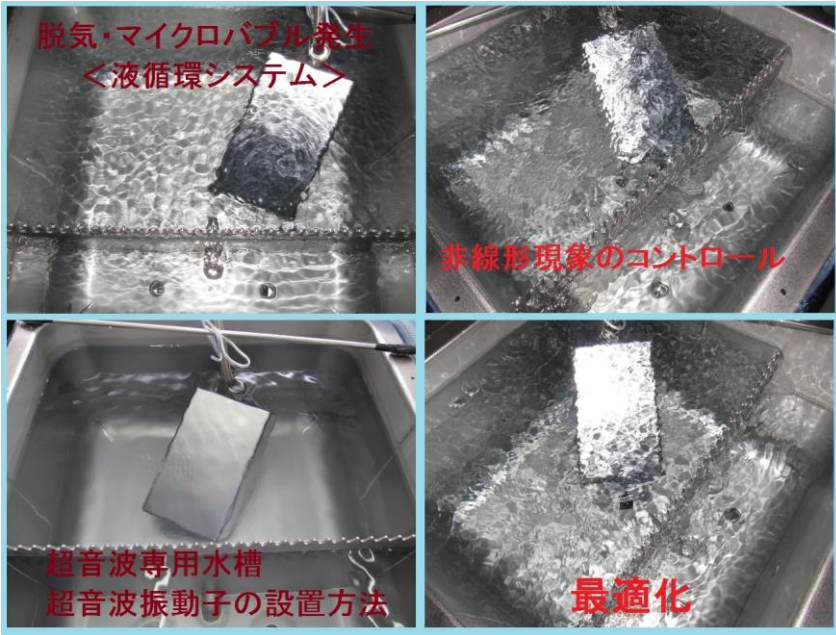
<https://youtu.be/4Glrkoo5aRY>

<https://youtu.be/M5rGszX9x-o>

超音波発振制御装置 **洗浄槽に直接超音波プローブを入れる**

<<標準的な使用方法>>





<https://youtu.be/8H5A9YyxJ0A>

<https://youtu.be/knnDUzng84s>

<https://youtu.be/htKZd3m4Gq8>

<https://youtu.be/mF6YoGWECvg>

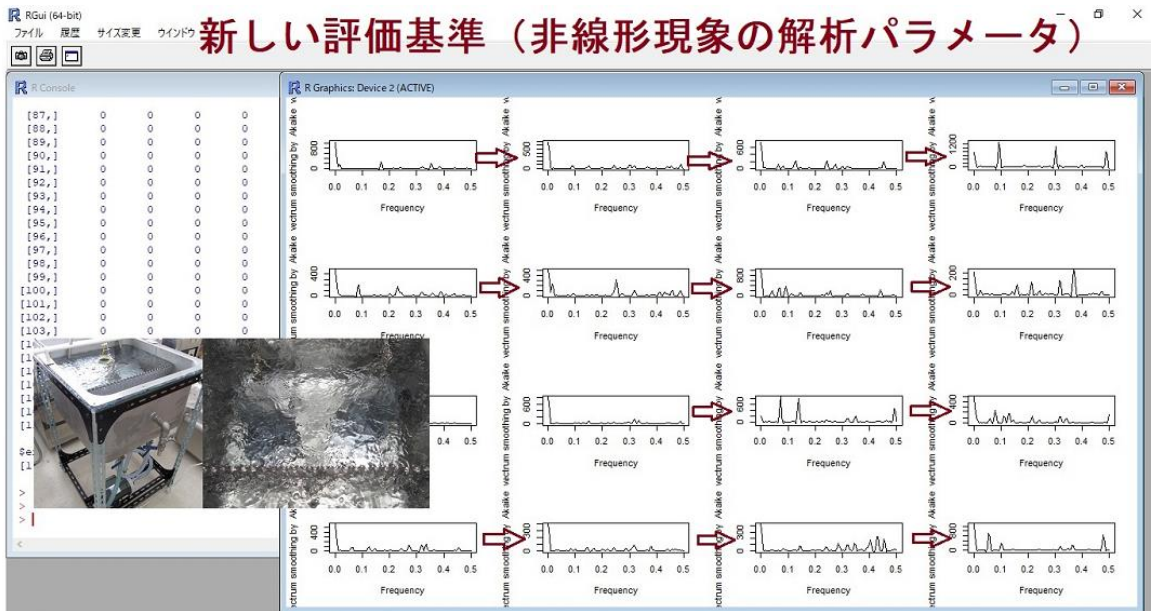
<https://youtu.be/gEfj0fMEFow>

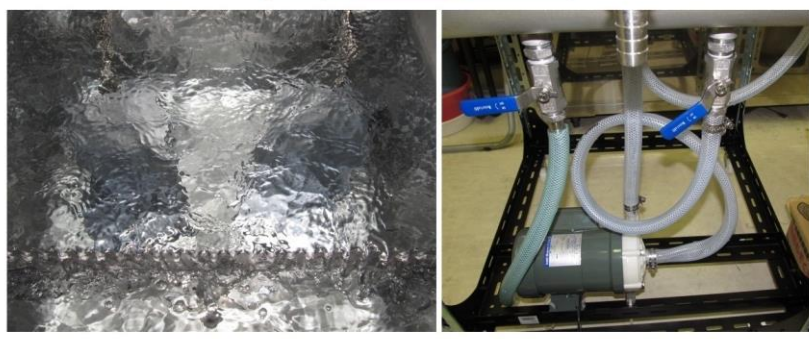
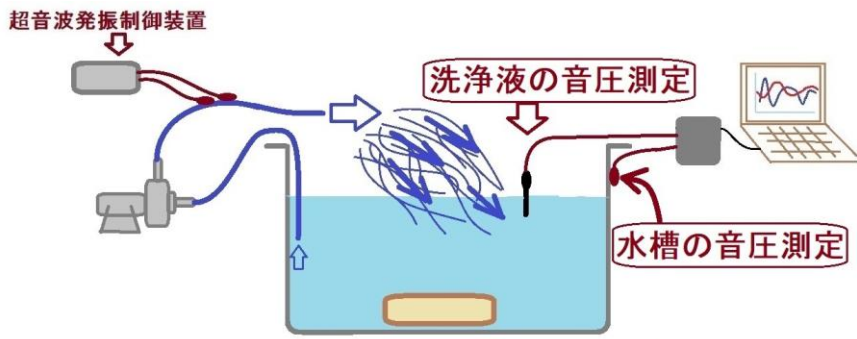
<https://youtu.be/KUKpjJrtkQY>

<https://youtu.be/pmrwXIVFzk8>

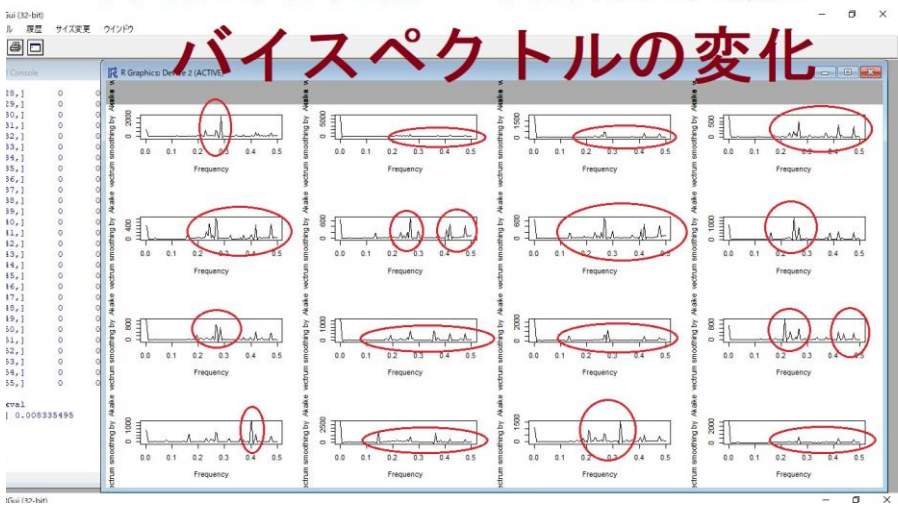
<https://youtu.be/YenTPN3pwIw>

<https://youtu.be/gtegSkrUNLw>





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



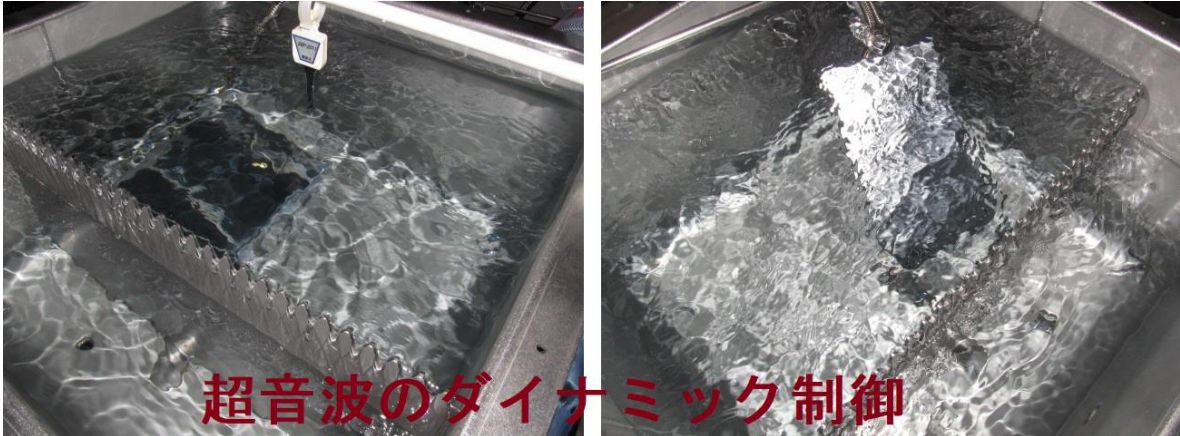
<https://youtu.be/6QIvYBosg4I>

<https://youtu.be/SigOuTG2BcI>

<https://youtu.be/vwH9bTqfujs>

<https://youtu.be/5omyKvS4VS4>

<https://youtu.be/K6iYr-XpZ2M>



<https://youtu.be/by1nWmwWJXk>

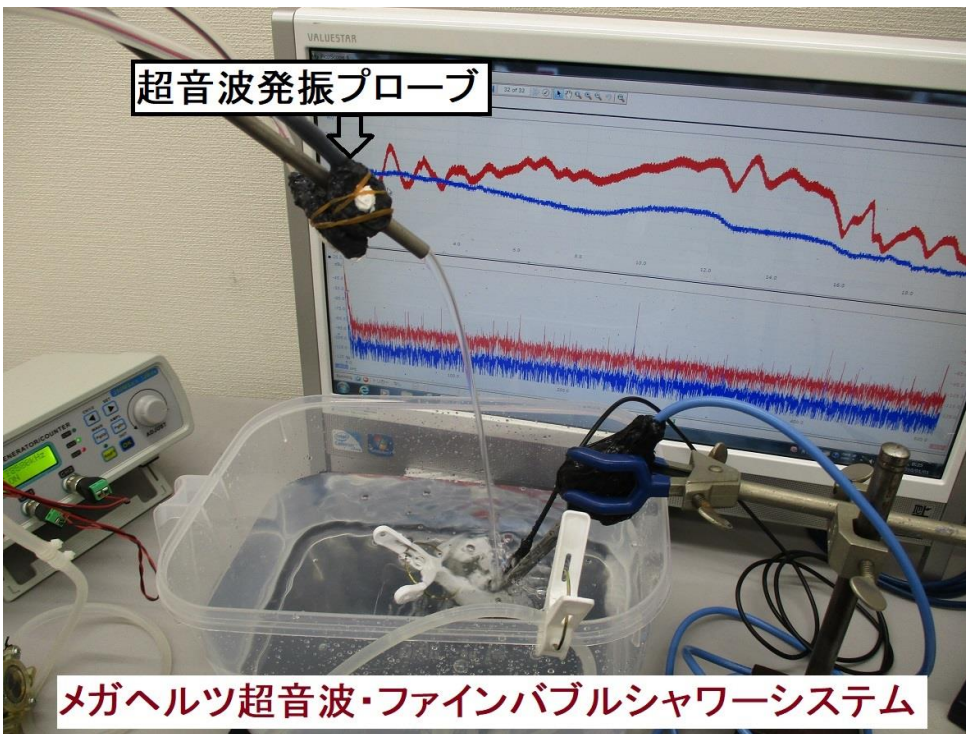
<https://youtu.be/SsopIBI82JU>

https://youtu.be/MhgES_VzFGw

<https://youtu.be/9uTvxBHz5dY>

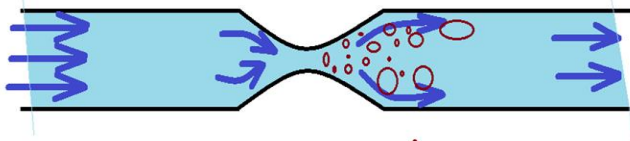
<https://youtu.be/MeVAyBIkDaI>

<https://youtu.be/FGFtvdGvKHE>



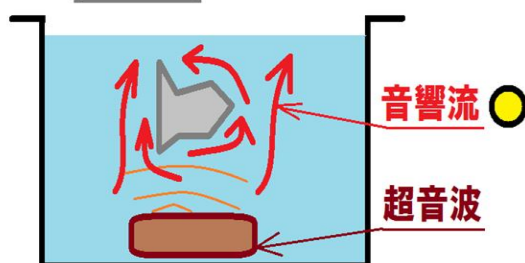
圧力変化で発生する「空洞現象」

●キャビテーション



超音波照射により発生する流れ

特に、洗浄物付近の流れ



<<音響流>>

一般概念

有限振幅の波が、気体または液体内を伝播するときは、
音響流が発生する。

音響流は、

波のパルスの粘性損失の結果、

自由不均一場内で生じるか、または音場内の障害物

(洗浄物・治具・液循環)の近傍か、あるいは振動物体の近傍で
慣性損失によって生じる、物質の一方性定常流である。

音響流は、大多数の超音波加工工程、

浄化、乾燥、乳化、燃焼、抽出・・・過程での

重要な強化因子であり、媒体内の熱交換と物質交換を著しく促進する。

加工工程での音響流の作用効果は、それらの速度と寸法因子によって決まる。

ナノレベルの物質(洗浄の場合は汚れ・・・)を対象とする

超音波操作では、音響流に関する制御技術は

製造方法・表面状態・・・を大きく変える場合があります。

特に、

洗浄を検討する場合には、汚れの音響流による動きを理解し、
対応・対処することで効率の高い洗浄が可能になります。

洗淨の原理(未解明の相互作用 非定常流れ)

実用的な取り組み



複雑な現象に、
単純な論理の積み重ねで応用する方法ではなく
具体的な最も複雑な現実に対して、
可能な範囲の論理(モデル)で取り組み続ける

音響流とキャビテーションや加速度による
 超音波効果との関係は非線形音響学を応用した測定解析により明確になります。

注： 非線形音響学

「線形理論に立脚した従来の音響理論と、
 流体力学で取り扱うような強い衝撃波理論を補完する橋渡しの存在である」

理解する前に、認識することが重要！

音響流

条件により変化する円筒の周りの音響流
 <シュリフティング流>

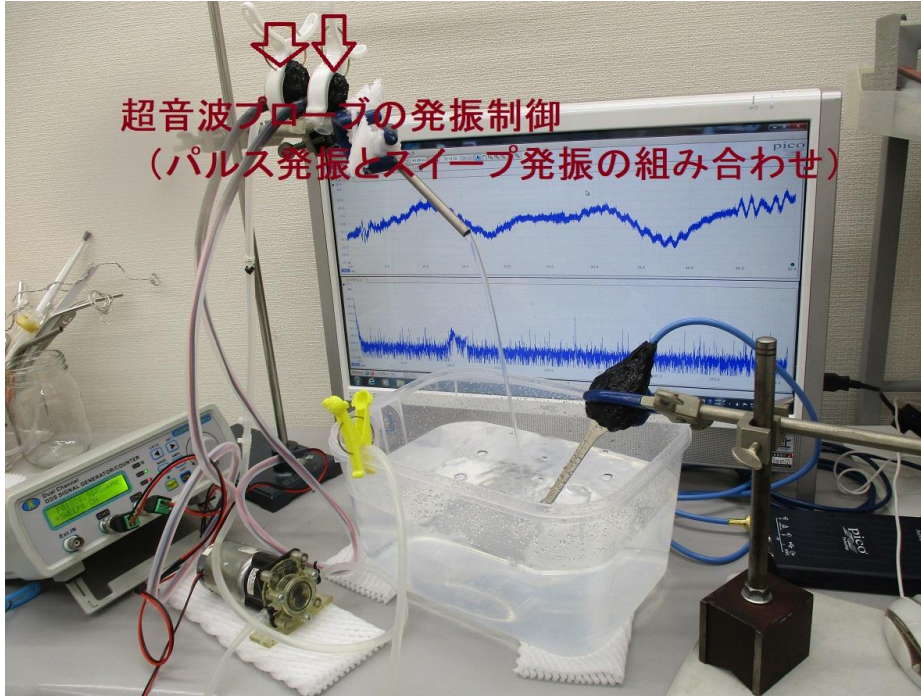
単純には理解できない複雑さがあります
経験や論理的な学習の積み重ねが必要です！！

超音波洗淨技術

超音波伝搬状態の変化・制御！！

* 写真で評価することから始める 将来は計測・解析で評価する *

洗淨現象で最も重要な事項



超音波シャワー（音響流制御）技術

<<参考動画>>

https://youtu.be/kaITucv4L_I

https://youtu.be/bZfE7Mt_jbKo

https://youtu.be/1sS_gghh_0U

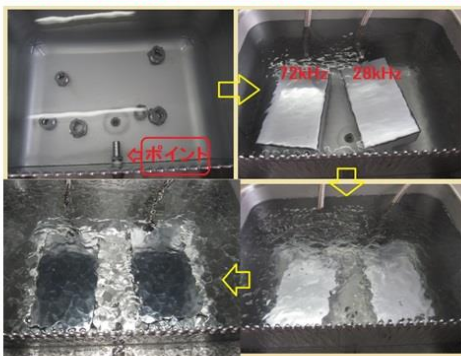
<https://youtu.be/cVGJKqEfx1M>

<https://youtu.be/8dETtIDzV2E>

<https://youtu.be/-dRnZGLCEwk>

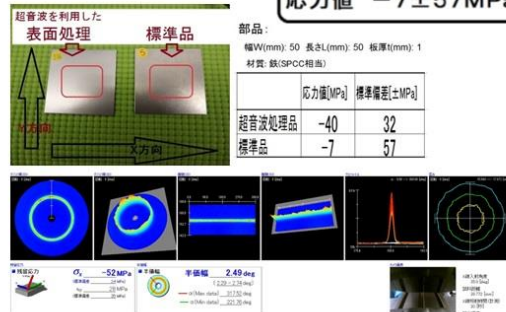
<https://youtu.be/Phn8xeguMf0>

注意事項: 脱気マイクロバブル(フィンバブル)発生液循環装置
 <ノウハウ: 振動子下部の流れによる音響流制御>



超音波と フィンバブルによる 表面改質事例

超音波処理
 応力値 $-40 \pm 32 \text{MPa}$
 標準品
 応力値 $-7 \pm 57 \text{MPa}$





<https://youtu.be/JWJpCYu19Rs>

<https://youtu.be/o9fuduvUmJQ>

<https://youtu.be/Oc2gqL6-hHg>

<https://youtu.be/JfiRHQJY6Wo>

https://youtu.be/B_8QzF947-0

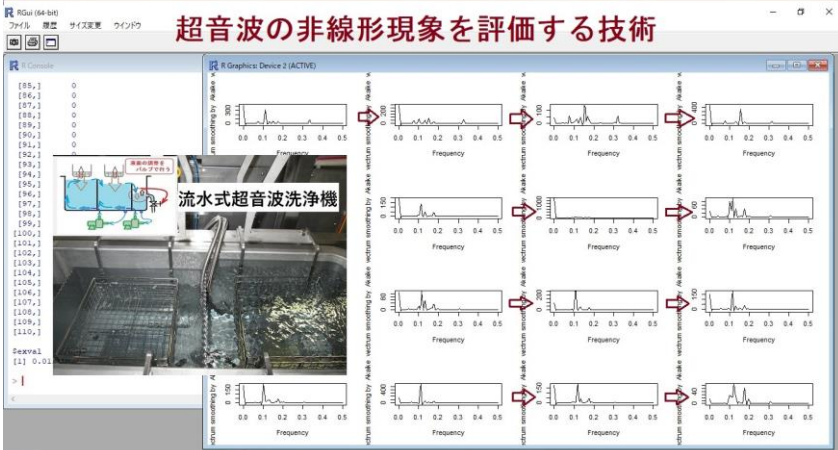
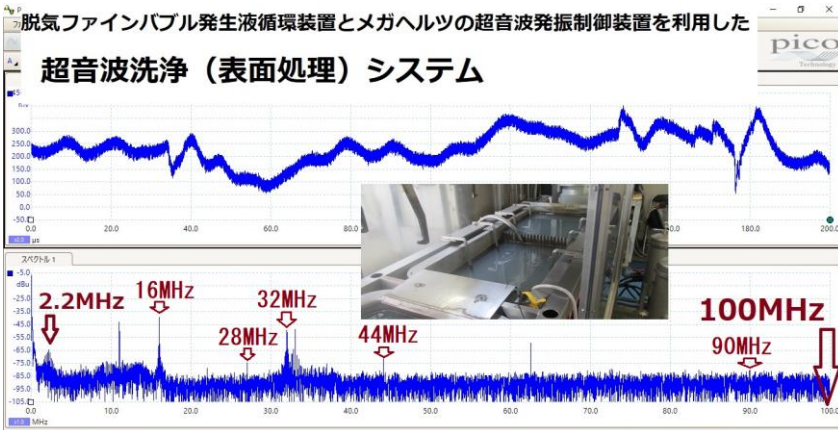
<https://youtu.be/qrkHRx0LRPO>

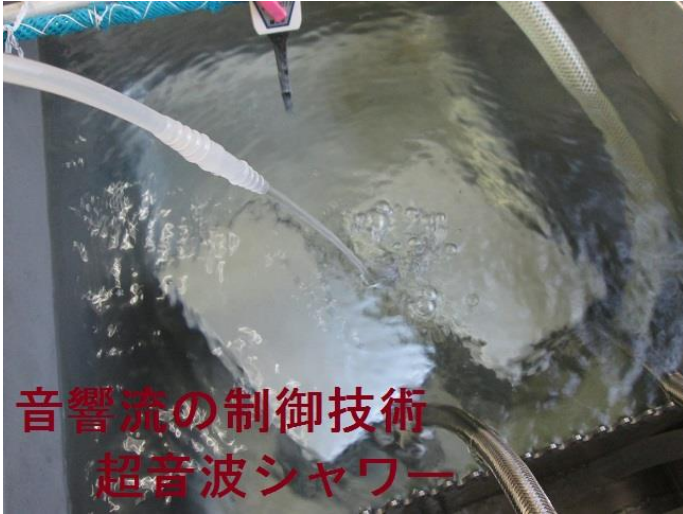
<https://youtu.be/pUom0umKDSQ>

<https://youtu.be/iKHGjYuzdWA>

<https://youtu.be/R6RPuSscunE>

<https://youtu.be/XSG-KGPXaJY>





流水式超音波（音響流制御）技術

<https://youtu.be/0gDsP8iPNeI>

<https://youtu.be/50SnY3pRaz0>

https://youtu.be/rn_0s_xWL50

<https://youtu.be/Yd4K8D1DIQc>

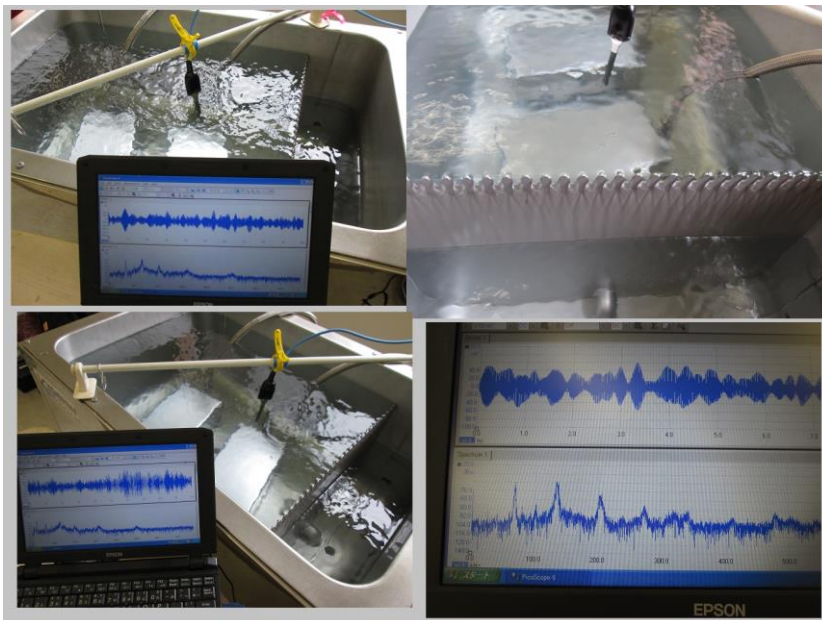
https://youtu.be/Y3MhcRSn_T4

<https://youtu.be/zPW7i4LHB70>

<https://youtu.be/aYiXDJ3IivQ>

<https://youtu.be/U90rXnnHZy0>

<https://youtu.be/Ctbj2oPZpZA>



洗浄液の流れについて

流れとかたち

すべてのかたちの進化は
流れをよくする(効率的)という

「**コンストラクタル法則 (constructal-law)**」が支配している!

【著者】 エイドリアン・ベジャン Adrian Bejan J. ペダー・ゼイン J. Peder Zane

【訳者】 柴田裕之 【解説者】 木村繁男 出版社:紀伊國屋書店 (2013年)



超音波（キャビテーション・音響流）の最適化

https://youtu.be/nFMLh9Dp__0

<https://youtu.be/kWrDjXrpDWQ>

<https://youtu.be/7EVNT1nWhzw>

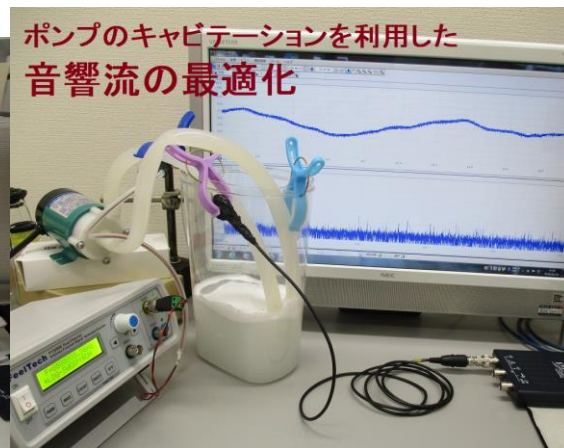
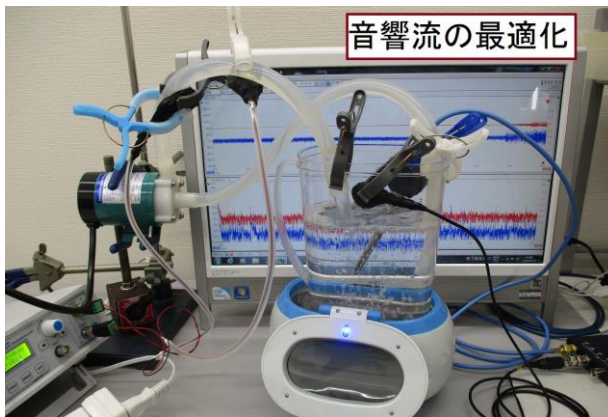
<https://youtu.be/KXf1ngEBcIg>

<https://youtu.be/CZrHDt5MEwM>

<https://youtu.be/aVVH6WISqFY>

https://youtu.be/m_0IKfyzvtg

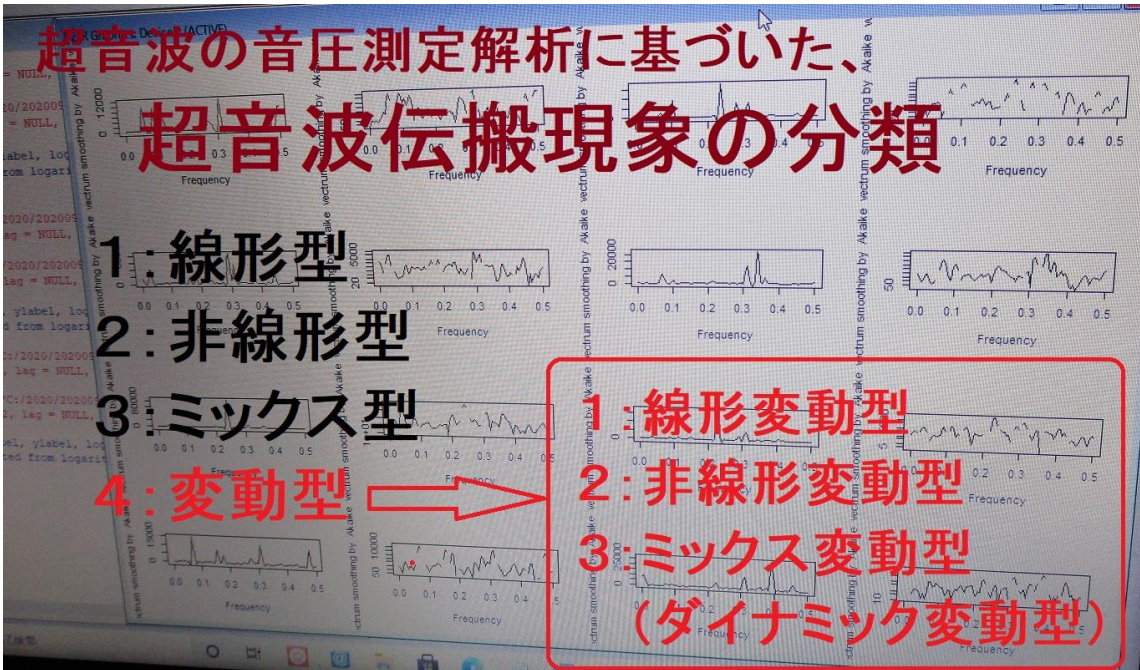
https://youtu.be/_LMmrZqkTAg



<https://youtu.be/pUA3Zl6hgRA>

<https://youtu.be/bG8c8CHAgV4>

<https://youtu.be/Hc2k4APMpxg>



<<< 超音波伝搬現象 >>>

超音波伝搬現象の分類 1

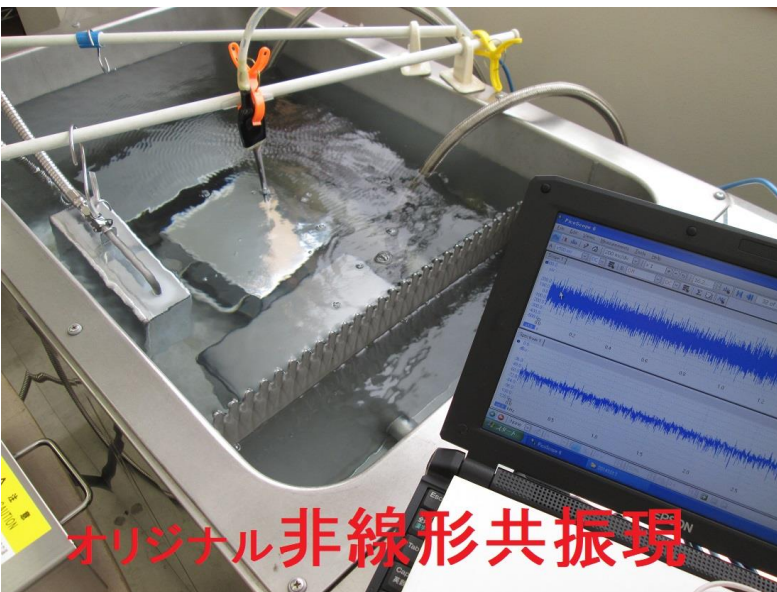
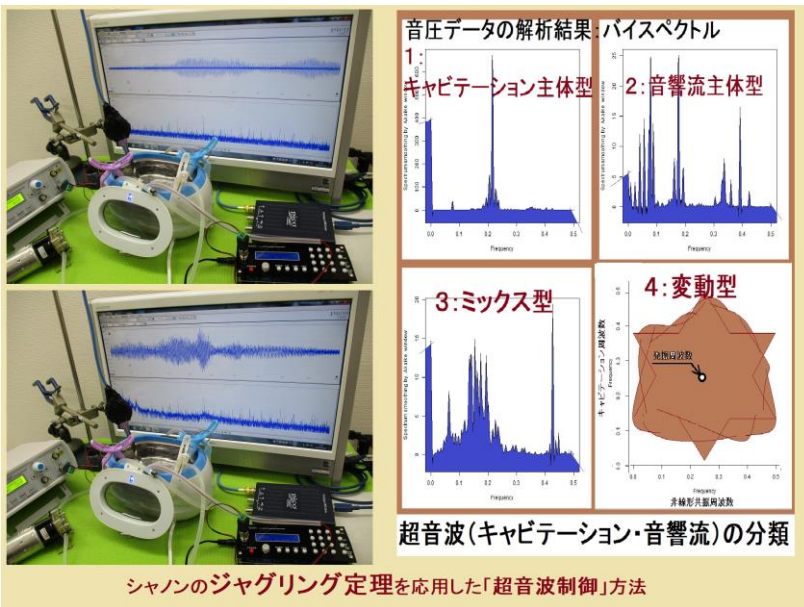
<http://ultrasonic-labo.com/?p=10908>

超音波伝搬現象の分類 2

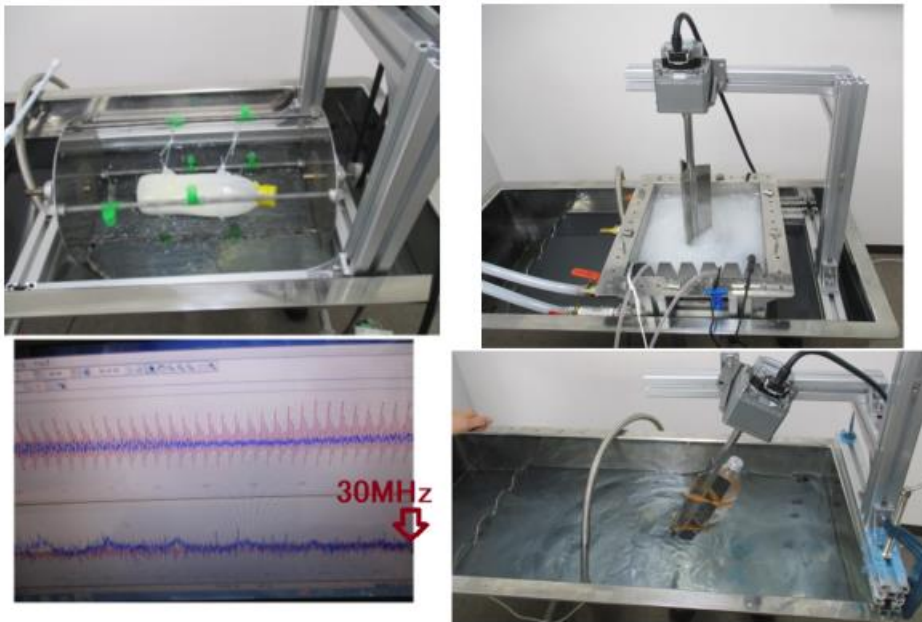
<http://ultrasonic-labo.com/?p=17496>

超音波伝搬現象の分類 3

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



効果的な変化（液の流れ：音響流）



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>

超音波制御技術

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

超音波洗浄について

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

脱気マイクロバブル発生液循環装置

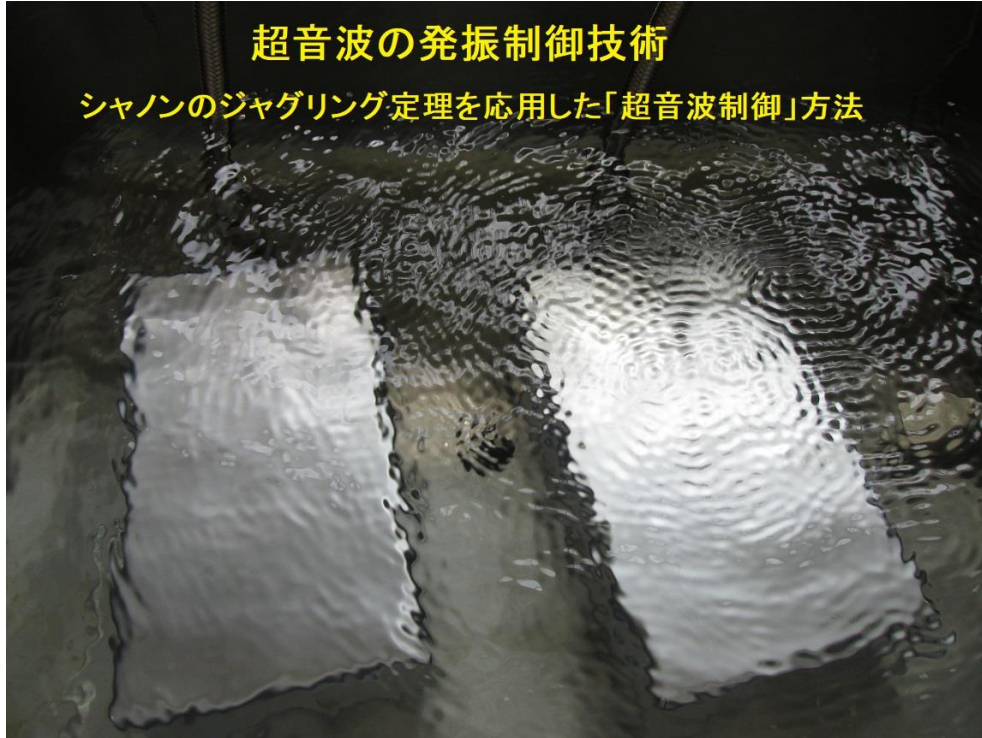
<http://ultrasonic-labo.com/?p=14443>

「脱気・マイクロバブル発生装置」を利用した超音波システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1996>

超音波洗浄器による<メガヘルツの超音波洗浄>技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1879>



オリジナル技術（液循環）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=7658>

<超音波のダイナミックシステム：液循環制御技術>

<http://ultrasonic-labo.com/?p=7425>

超音波水槽の新しい液循環システム

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1271>

現状の超音波装置を改善する方法

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1323>

超音波装置の最適化技術をコンサルティング提供

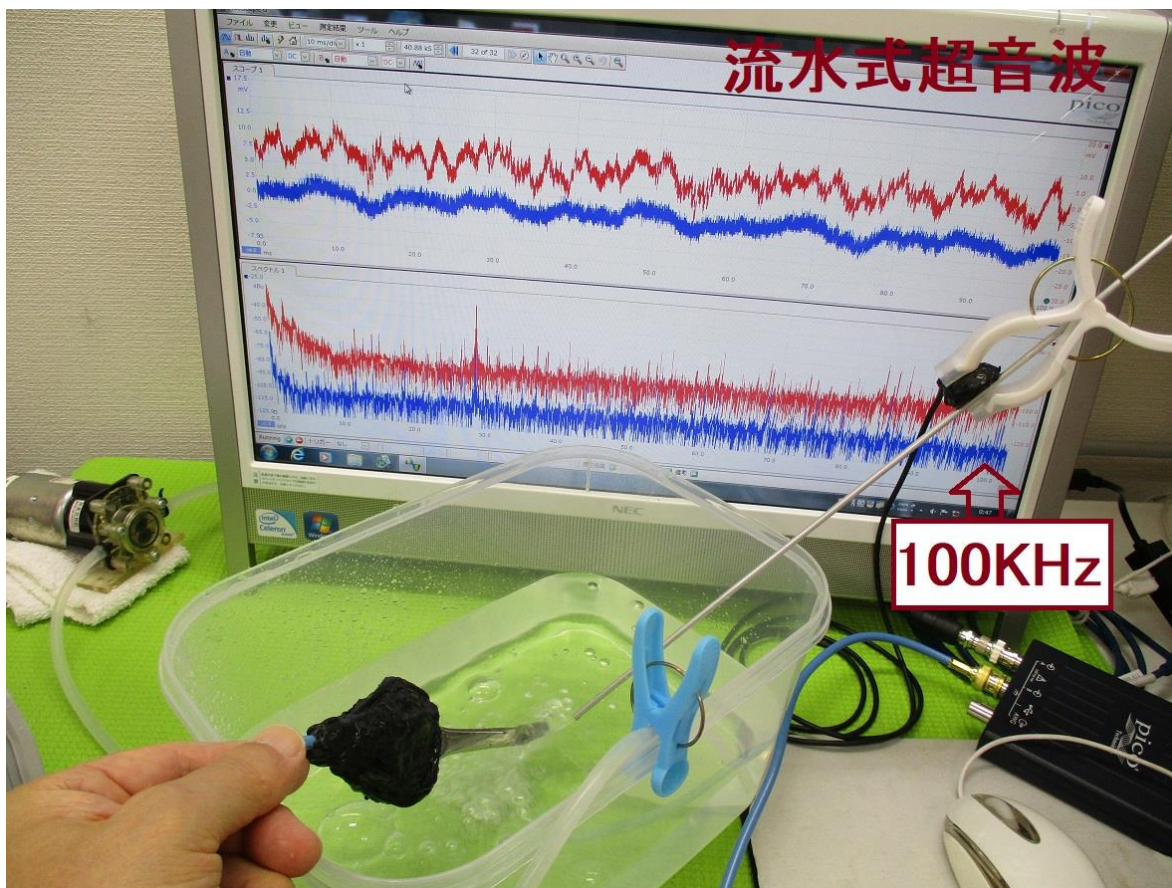
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1401>

超音波プローブによる非線形伝搬制御技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=9798>

超音波の発振・制御・解析技術による部品検査技術を開発

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2104>



超音波の応答特性を利用した、表面検査技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=10027>

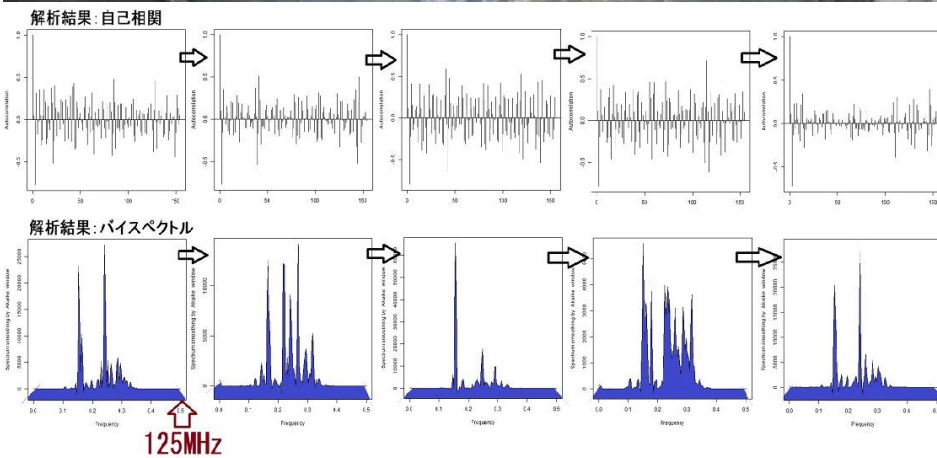
表面弾性波を利用した超音波制御技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=14311>

メガヘルツの超音波を利用する超音波システム技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=14350>

音と超音波の組み合わせ
<http://ultrasonic-labo.com/?p=14411>

超音波の非線形振動
<http://ultrasonic-labo.com/?p=13908>

新しい音響流（超音波）制御技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=18089>



<<< 音圧測定・解析 >>>

オリジナル技術（音圧測定解析）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=7662>

オリジナル超音波プローブ

<http://ultrasonic-labo.com/?p=8163>

メガヘルツの超音波発振制御プローブ

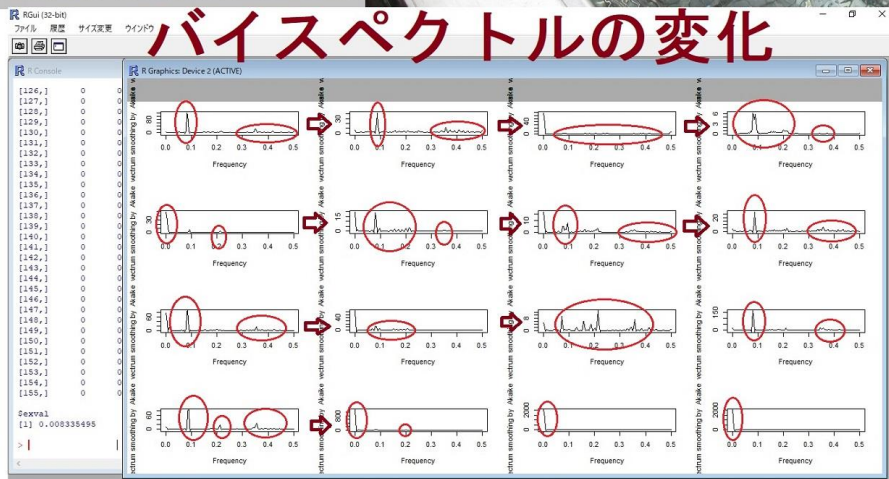
<http://ultrasonic-labo.com/?p=14808>

超音波の発振・制御技術を開発

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1915>

超音波システム（音圧測定解析、発振制御）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=19422>



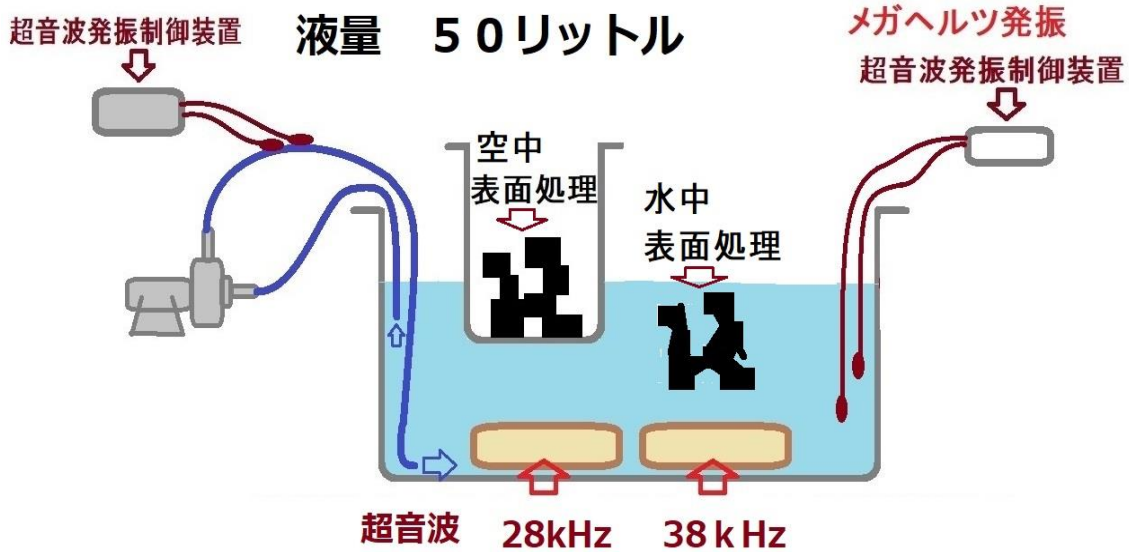
メガヘルツの超音波制御技術（洗浄、加工、攪拌、表面処理・・・）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=5267>

超音波とファインバブルを利用した「めっき処理」技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=18093>

超音波の音圧測定解析に基づいた、超音波伝搬現象の分類
<http://ultrasonic-labo.com/?p=10013>

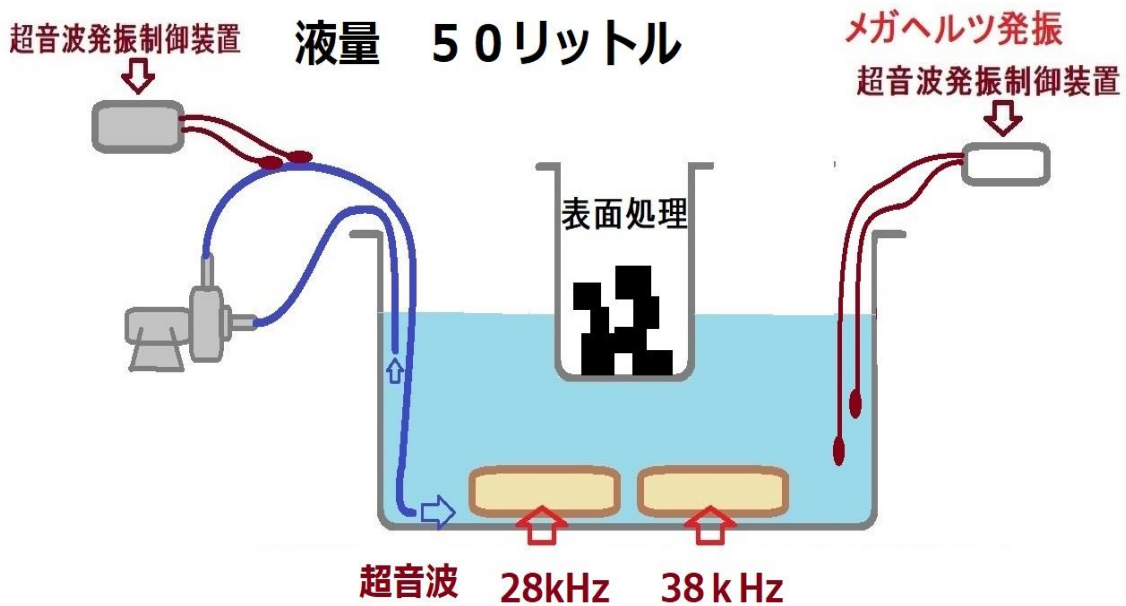


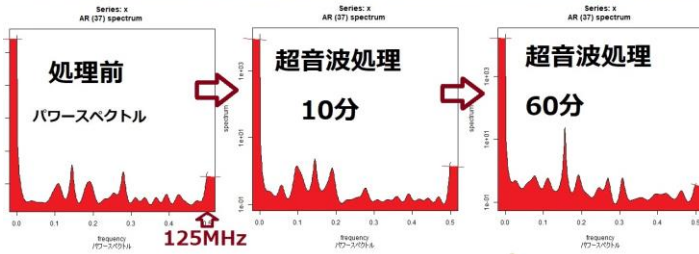
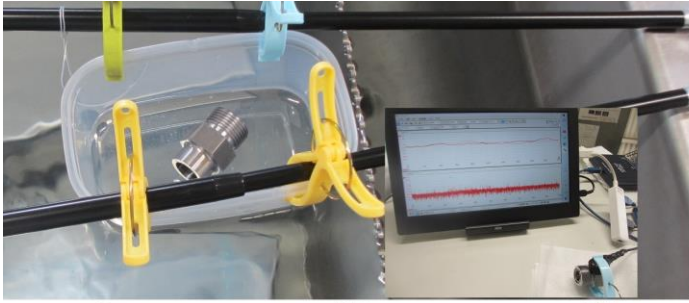
メガヘルツ超音波の効果 1

<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/adfb30ef89e6f5a76e9a04e70a0ca395.pdf>

メガヘルツ超音波の効果 2

<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/513b007f36fc8fb58a2b9c1f558d289c.pdf>





表面残留応力の緩和処理技術 0

<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/03bb44a2f578d71fd8d08cdc0a55a3a7.pdf>

表面残留応力の緩和処理技術 1

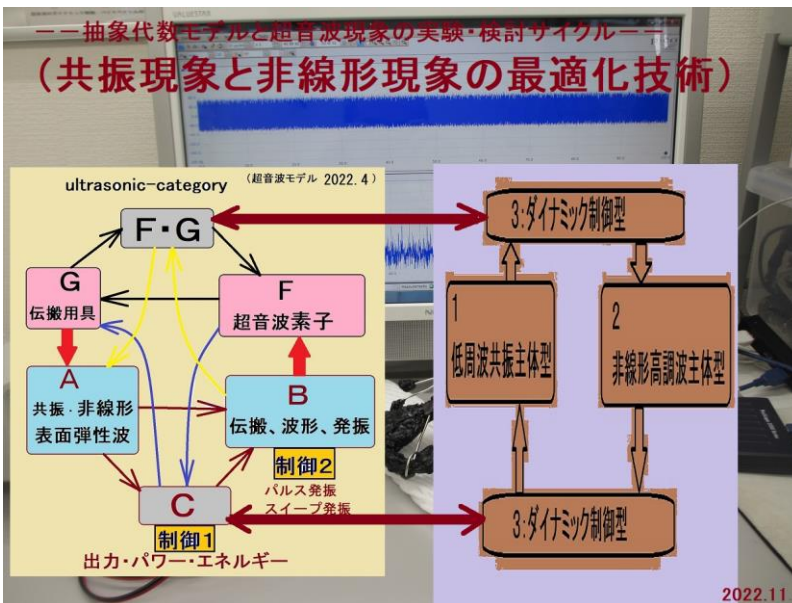
<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/9331da789c89d57b60089985daf25223.pdf>

表面残留応力の緩和処理技術 2

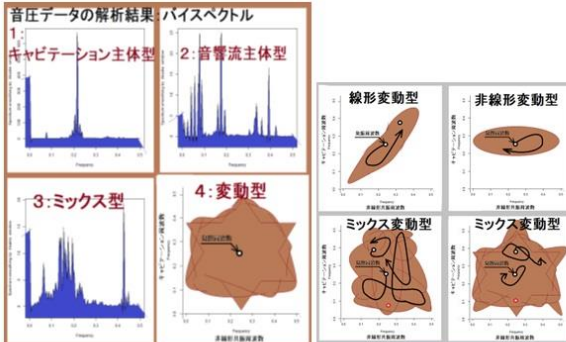
<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/21dec0bb4d122601d2edf8428a70f36d.pdf>

表面残留応力の緩和処理技術 3

<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/58ef187250e6b810f299dc1bf7bb0bc6.pdf>

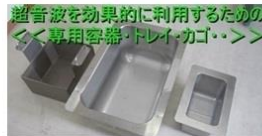


6.2 超音波(キャビテーションと音響流)の分類



超音波(キャビテーション・音響流)の分類

注意点 具体的な改善点 水槽



超音波システム研究所
ポイント:黄金比の採用



超音波システム研究所

水槽の設計(構造・サイズ・製造方法)と設置は超音波の伝達効率を左右します



$$\text{超音波状態} = f(E_n, S_n, C_n)$$

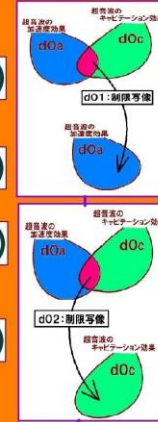
スタート

$$f(E_1, S_1, C_1)$$

$$f(E_2, S_2, C_2)$$

$$f(E_3, S_3, C_3)$$

$$f(E_4, S_4, C_4)$$



実用的な 超音波状態の制御

超音波システム研究所

$$\text{超音波状態} = f(E, S, C)$$

E:液循環制御

S:音響流制御

C:キャビテーション制御

キャビテーション効果と
加速度効果による複体の構成
導来関手による
超音波状態モデル



以上