

超音波システムの設計技術を開発

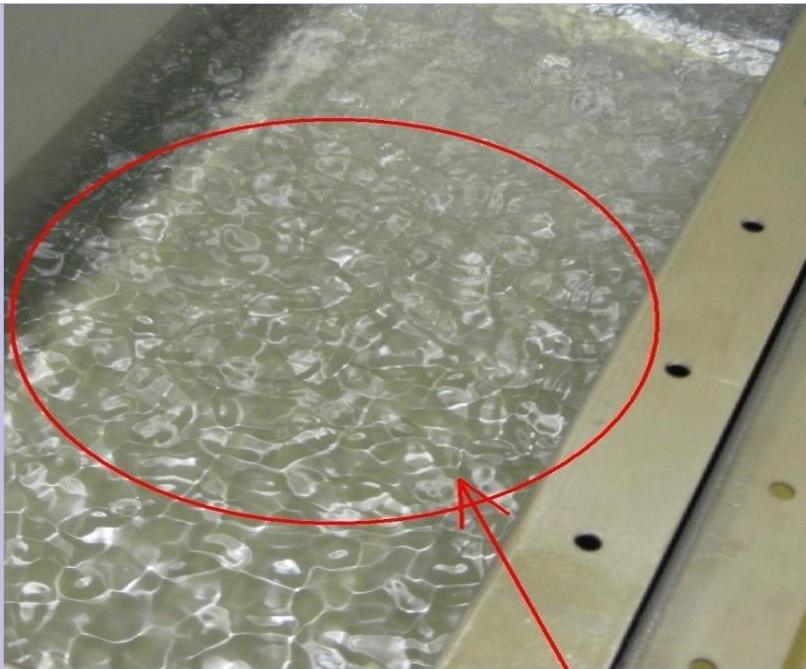
超音波システム研究所は、

「太鼓の形と音に関する数学」と

「小型超音波振動子に関する基礎実験・解析」にもとづいて、

量子力学モデルを利用した

超音波振動子・水槽の設計技術を開発しました。



「二つの形の異なる太鼓で同じ音がする、
即ち、同じ純音の spectrum を持つものがあるだろうか」

Mark Kac (カツツ) (1914--1984)

「太鼓の面積が聞こえるだろう」

Hendrik Antoon Lorentz (ローレンツ)
(7th July 1853--4th February 1928)

定理

$N(\lambda)$ を λ より小さな
固有値の数 $N(\lambda) = \#\{\lambda_n \mid \lambda_n < \lambda\}$ とするとき

$N(\lambda) \sim \text{Area}(\Omega) \lambda / 2\pi$ as $\lambda \rightarrow \infty$ (漸近収束).

ここで $\text{Area}(\Omega)$ は太鼓 Ω の面積。

Hermann Weyl (ワイル)
(9th November 1885 -- 8th December 1955)

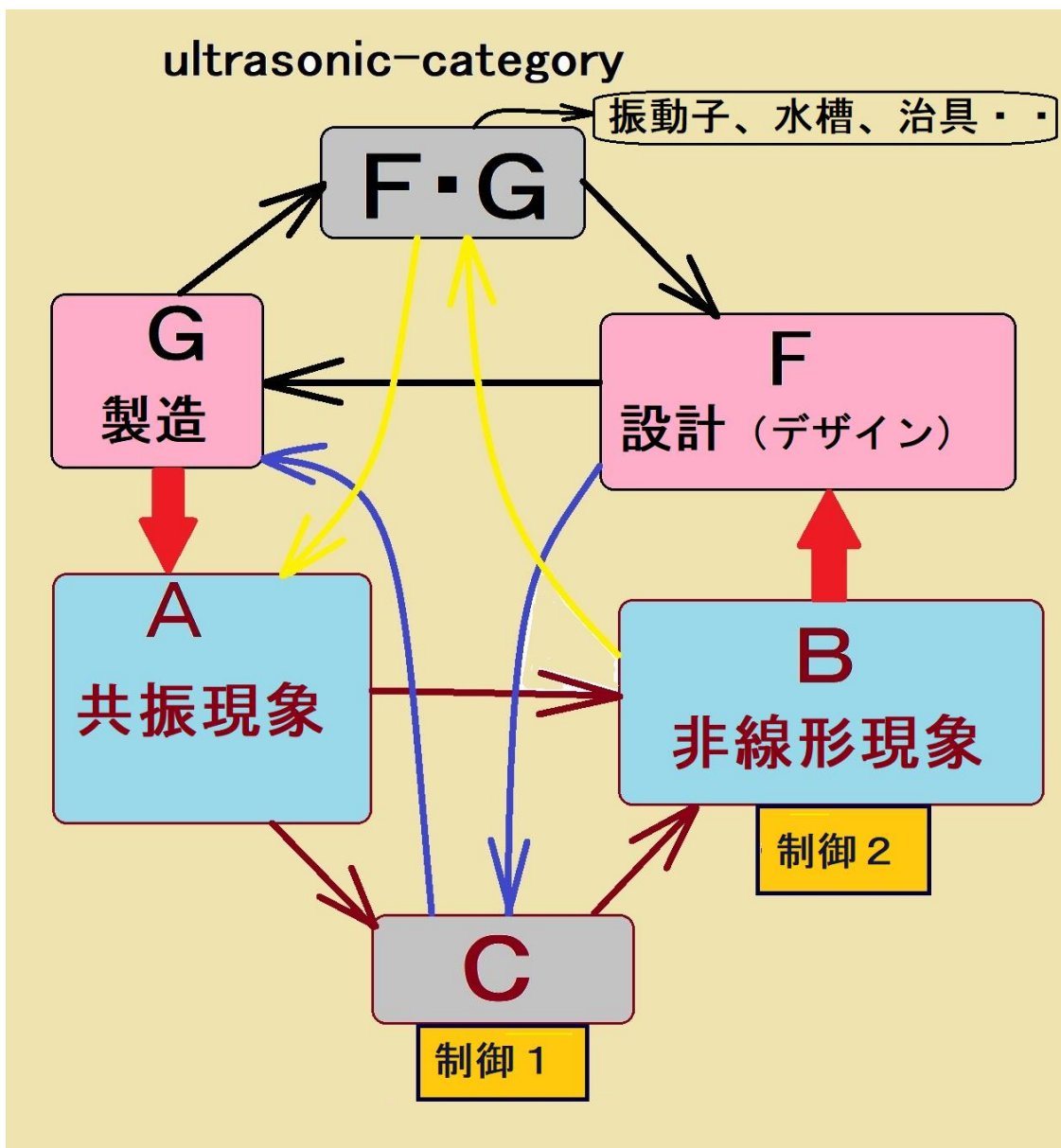
超音波システム研究所の技術は

「超音波の形を聴く」

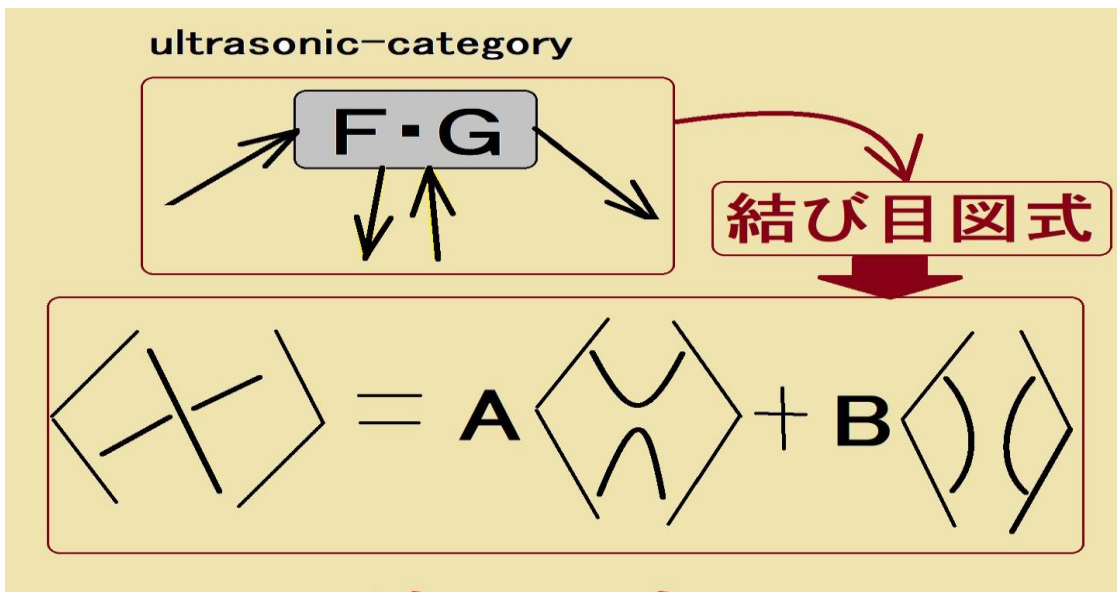
という方法の開発だと考えています

この技術の基本的な応用として
超音波利用の目的に合わせた、
超音波システムの合理的な設計技術・基準を実現しました。

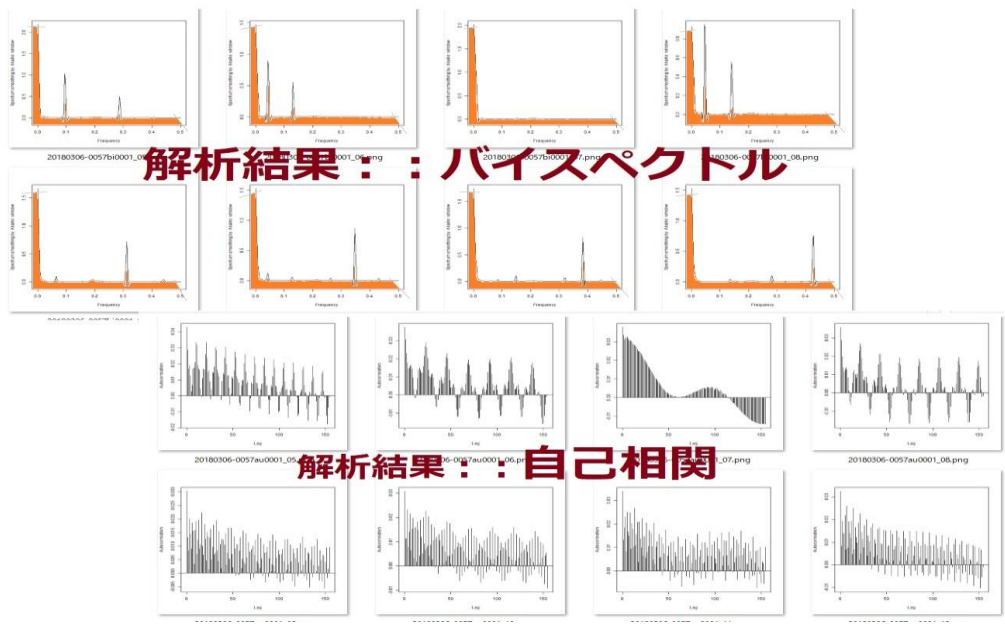
今回開発した技術は、
超音波の発振・伝搬状態を、量子力学の縮重関数に
適応させるという論理モデルを抽象代数モデルと組み合わせることで
発展させた実用的なモデルを開発しました。



これまでの設計方法とは異なり、
 水槽内での超音波伝搬状態に対する、
 エネルギー順位（高調波の次数に対応）を
 音響流（非線形現象）や音（低周波の振動）・・・
 の摂動（バイスペクトル解析結果）としてとらえることで
 振動子の設計条件を決めていきます。



非線形現象の理解



なお、超音波システム研究所の「超音波機器の評価技術」により、この方法による、具体的な効果を確認しています。

注意点 **具体的な改善点** **水槽**

超音波を効果的に利用するための
 <<専用容器・トレイ・カゴ・・・>>




60cm

超音波システム研究所

ポイント: 黄金比の採用

超音波専用水槽



液循環(液吸い込み部)
 強度補強部
 溶接(平面部)
 液循環(液吐き出し部)
 水槽の基本構造
 排水部



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**は超音波の伝搬効率を左右します

応用例として

「超音波伝搬状態について、洗浄とリンスの区別、攪拌状態の変化、・・・に適応した水槽・容器・治工具・・・の設計技術」としての提案実績が増えています。

具体的な改善点
複数の異なる超音波利用

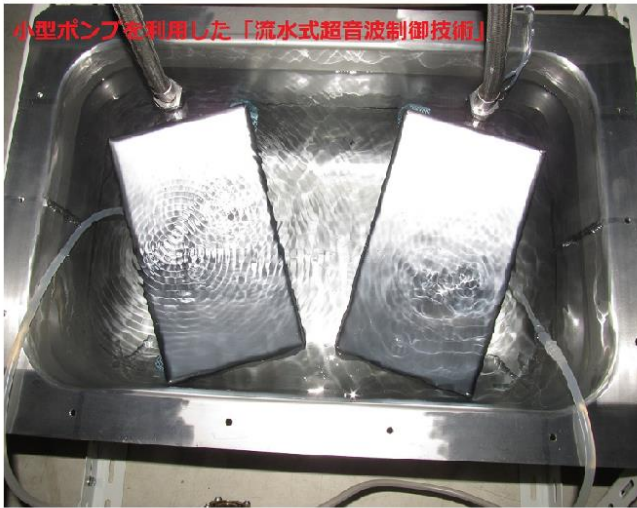



新しい研究
 4種類の超音波振動子利用!

40kHzと72kHzとオーバーフローによる
 <超音波伝搬状態>の制御!!

複数の異なる周波数の超音波振動子の利用は
 伝搬周波数の制御範囲を大きく広げます





超音波の発振制御

音響特性の測定解析

対象物・治工具・・・

高調波・低調波の設定

(非線形現象の解析)

最適化

参考動画

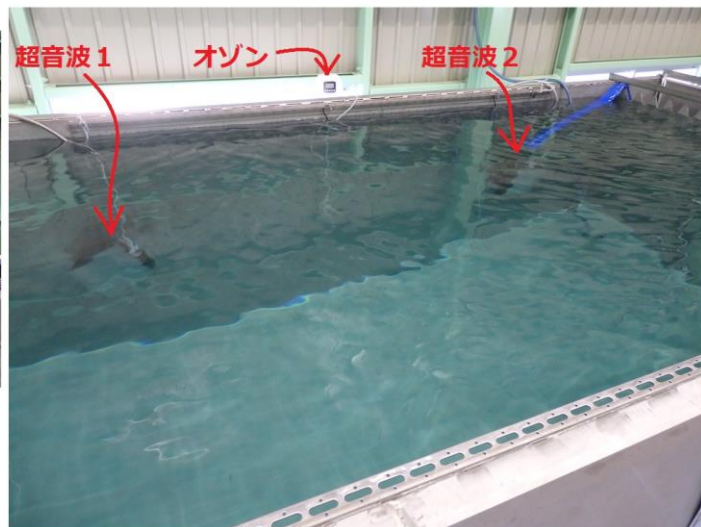
https://youtu.be/vMA3uh13_js

https://youtu.be/aQ_PRfXDr2k

<https://youtu.be/b2V3qIWcjhk>

<https://youtu.be/B01NoIUGa0k>

<https://youtu.be/DqziCBYc2cs>

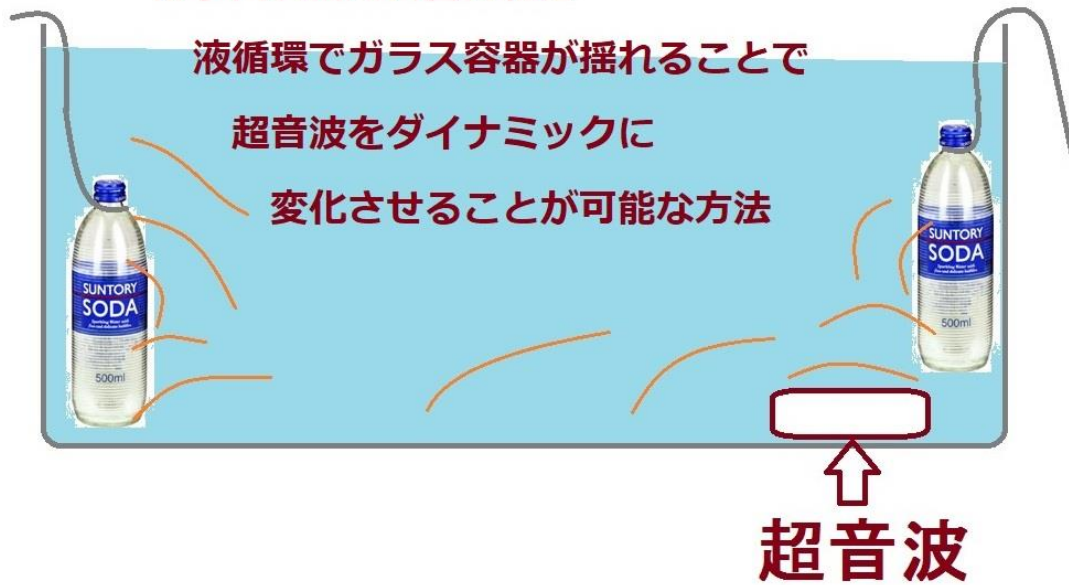


ガラス容器の音響特性と

液循環でガラス容器が揺れることで

超音波をダイナミックに

変化させることが可能な方法



https://youtu.be/3_0_2qSPxcQ

<https://youtu.be/r6F8DpHEg2w>

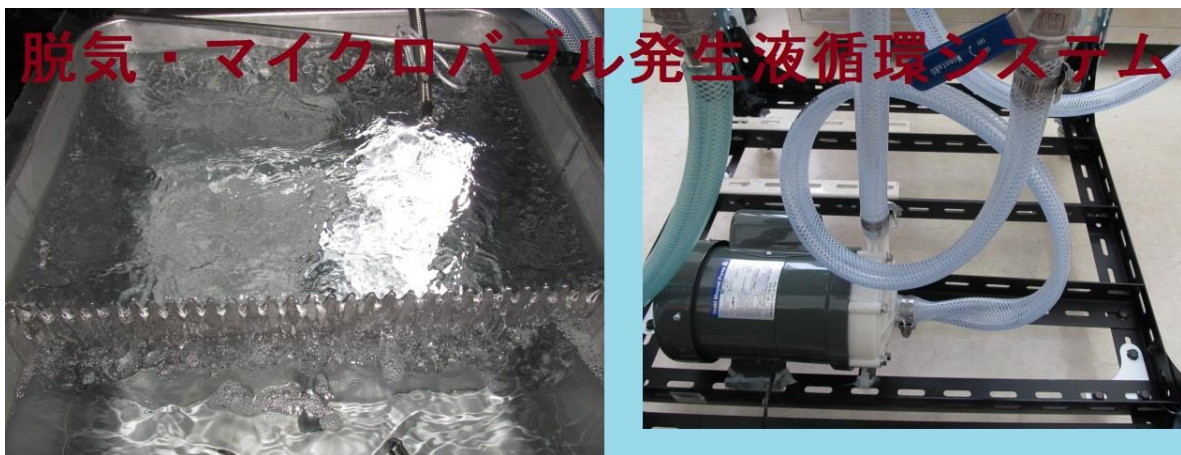
<https://youtu.be/-49kZBFCTWg>

https://youtu.be/tG_qiMOJjXQ

<https://youtu.be/7UPkF5ymADQ>

<https://youtu.be/DkUNDkwjw5c>

<https://youtu.be/DkUNDkwjw5c>



これは、最近のナノレベルの攪拌・分散を効率的に行うための

適切な超音波状態の検討から開発した技術です。



出力10Wから出力1800Wまでの超音波システムによる実施例で、有効な結果が得られています。

なお、今回の技術は、表面改質技術と組み合わせることで安定した再現性を実施対応しています。

超音波専用水槽の設計・製造技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1439>

超音波による金属・樹脂の表面改質技術

<http://aeropres.net/release/html/3242>

超音波の「音響流」制御による「表面改質技術」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2047>



「超音波の非線形現象」を
目的に合わせてコントロールする技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=2843>

超音波振動子の設置方法による、
超音波制御技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1487>

超音波洗浄ラインの超音波伝搬特性を
解析・評価する技術
<http://ultrasonic-labo.com/?p=2878>

推奨する「超音波（発振機、振動子）」
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1798>

技術提携
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1575>

「二つの形の異なる太鼓で同じ音がする、
即ち、同じ純音の spectrum を持つものがあるだろうか」
Mark Kac (カツ) (1914--1984)

「太鼓の面積が聞こえるだろう」
Hendrik Antoon Lorentz (ローレンツ)
(7th July 1853--4th February 1928)

定理
 $N(\lambda)$ を λ より小さな
 固有値の数 $N(\lambda) = \#\{\lambda_n \mid \lambda_n < \lambda\}$ とするとき
 $N(\lambda) \sim \text{Area}(\Omega) \lambda / 2\pi$ as $\lambda \rightarrow \infty$ (漸近収束).
 ここで $\text{Area}(\Omega)$ は太鼓 Ω の面積。
 Hermann Weyl (ワイル)
 (9th November 1885 -- 8th December 1955)

超音波システム研究所の技術は
 「超音波の形を聴く」
 という方法の開発だと考えています

<<音（振動現象）の形を聴く>>

Hearing the shape of a drum

http://en.wikipedia.org/wiki/Hearing_the_shape_of_a_drum

Mark Kac : : Can one hear the shape of a drum ? (1966)

<https://www.math.ucdavis.edu/~saito/courses/ACHA.READ.F03/kac-drum.pdf>

Inside-outside duality and isospectrality of planar billiards

<http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/kokyuroku/contents/pdf/1500-6.pdf>

Hearing the Drum of the Rhythm

<http://archive.bridgesmathart.org/2013/bridges2013-611.pdf>

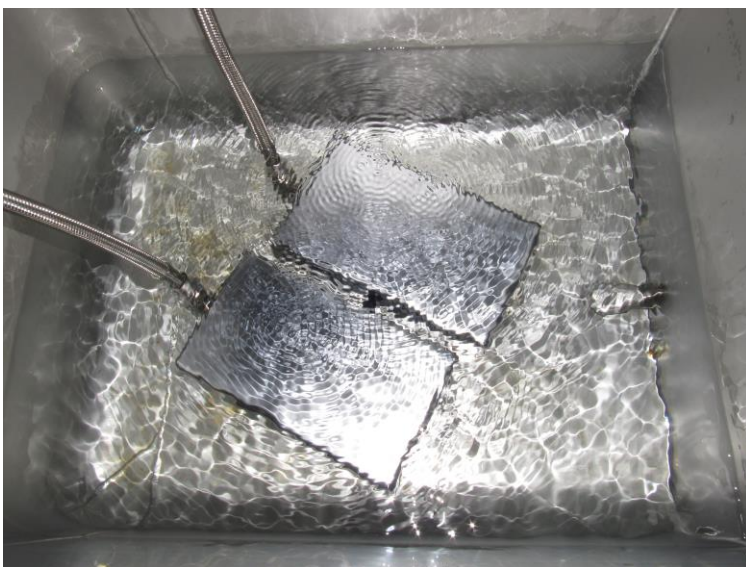


参考動画

<http://youtu.be/-lByssYU3z8>

<http://youtu.be/uqr3P8nwaLI>

<http://youtu.be/qdDdC12anGU>





<http://youtu.be/cMwXC8Ac6TQ>

http://youtu.be/1m_GqPcYwMI

<http://youtu.be/S-LYwIx0cxM>

http://youtu.be/Yw_QUIYU2dI

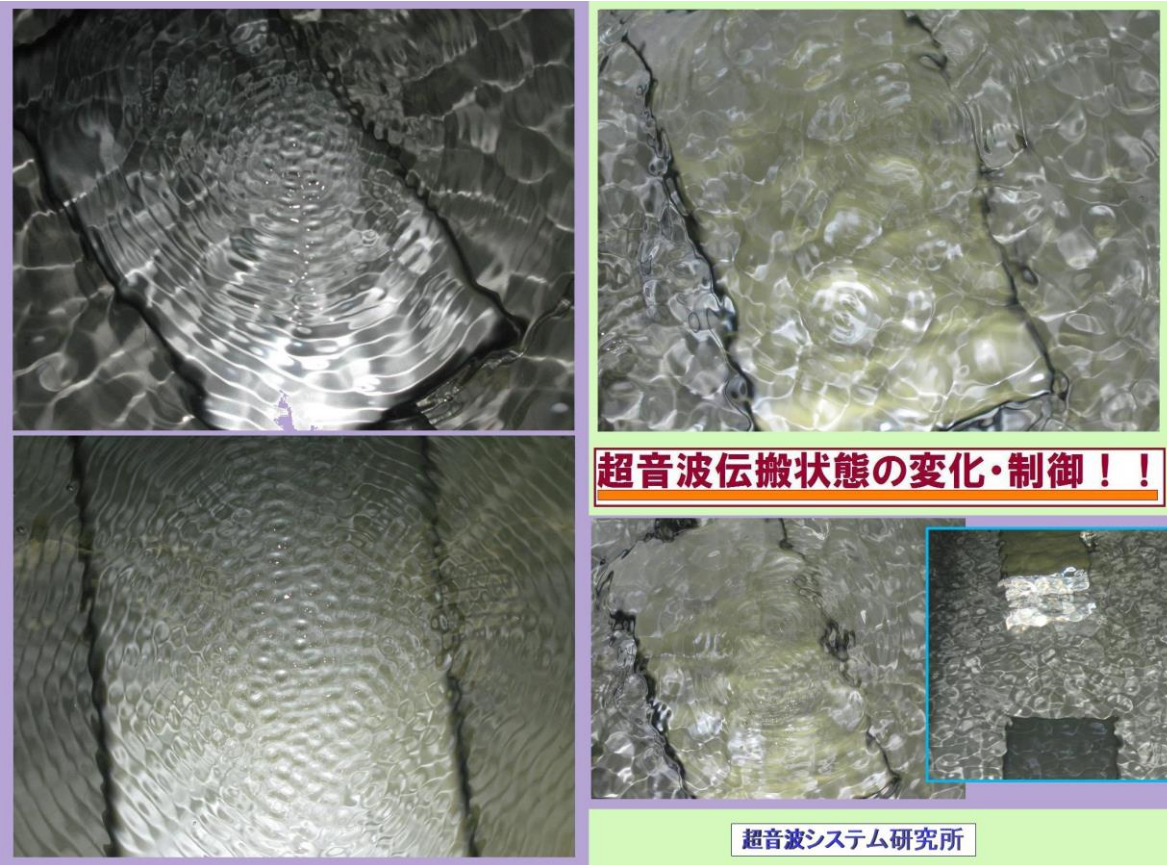
http://youtu.be/baBeYZ_tBck

<http://youtu.be/OVWDgWuawXI>

<http://youtu.be/JnUbziRdMnc>

<http://youtu.be/4ZNzjLdtJyw>

<https://youtu.be/qhM8s9uwTZY>



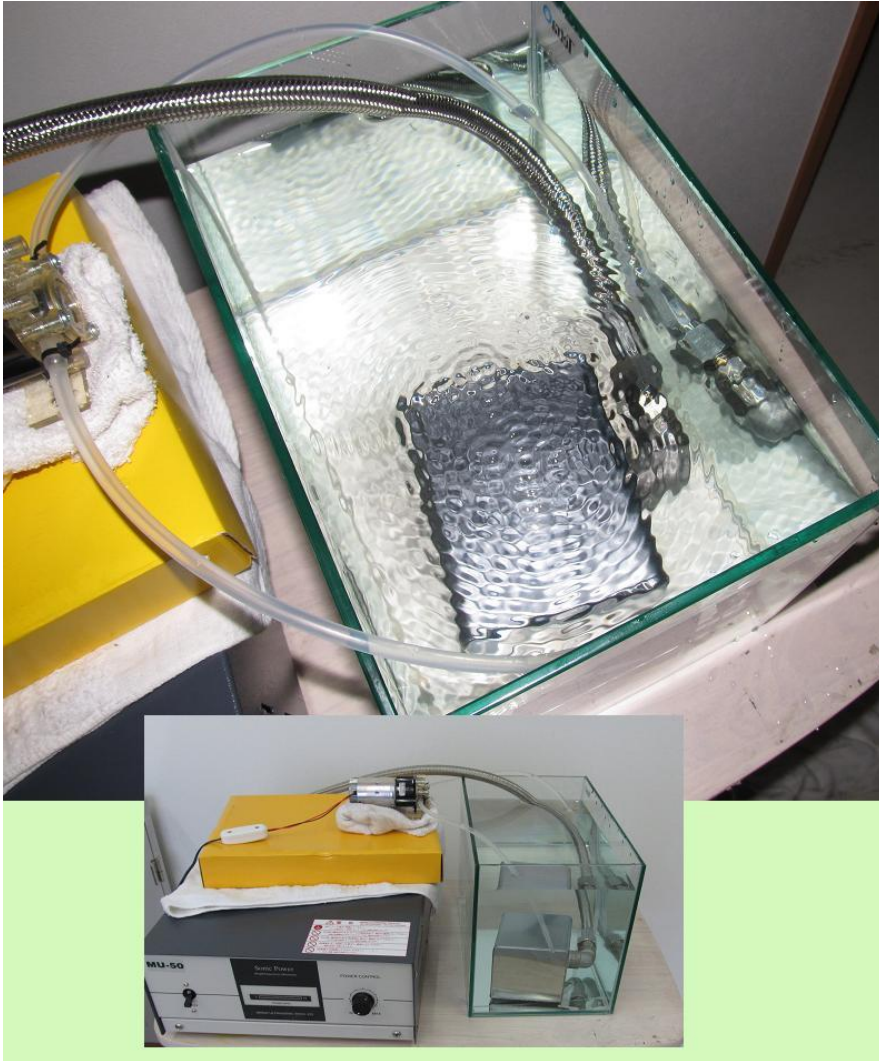
<https://youtu.be/LWDivZCaCJ8>

<https://youtu.be/HE-HhvAZsAU>

https://youtu.be/DNUjVEAQt_g

https://youtu.be/_JxUPbVbhA0





<<小型超音波振動子による「超音波システム」>>

小型超音波振動子による「超音波システム」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1280>

小型超音波振動子による「超音波伝播制御」技術

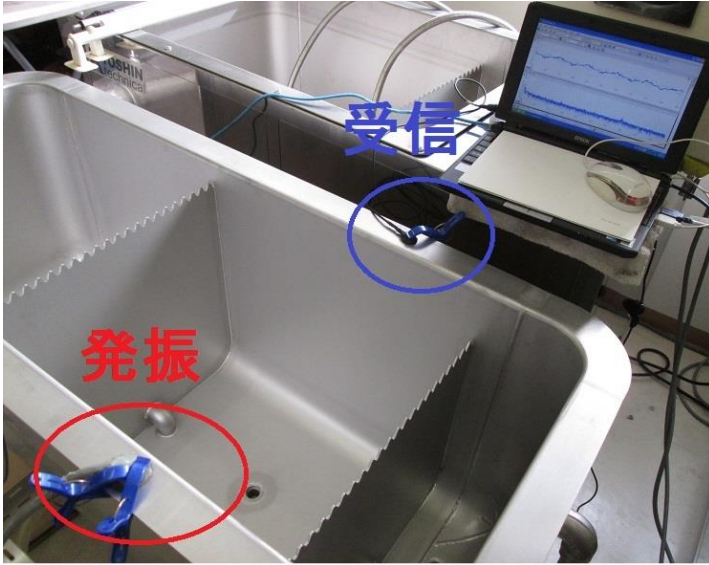
<http://ultrasonic-labo.com/?p=1602>

超音波を利用した、「ナノテクノロジー」の研究・開発装置

<http://ultrasonic-labo.com/?p=2195>

「脱気・マイクロバブル発生装置」を利用した超音波制御システム

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



超音波の伝搬状態を利用した 水槽の評価技術

3種類の異なる周波数の「超音波振動子」を利用する技術

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

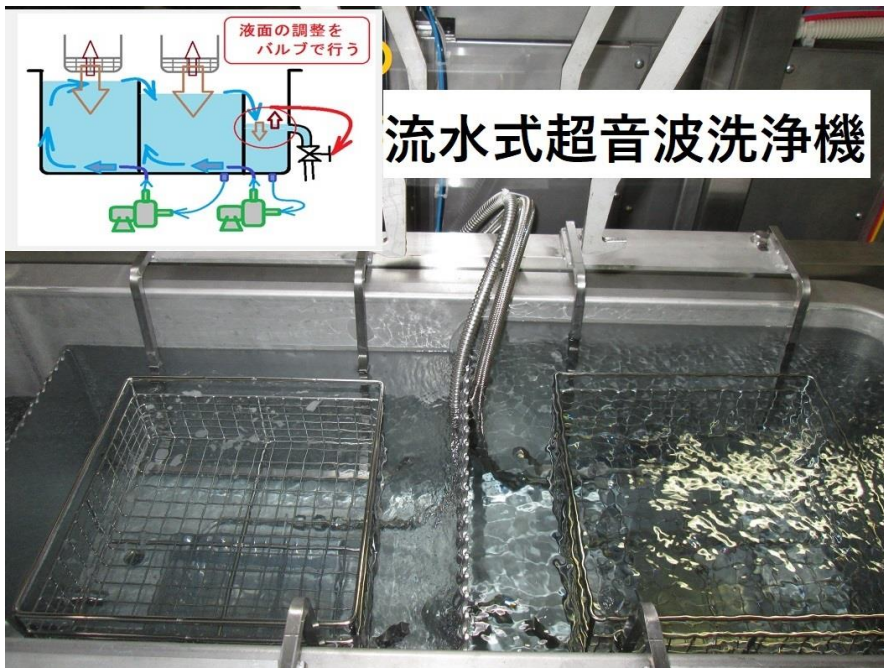
ジャグリング定理を応用した「超音波制御」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1753>

超音波測定解析の推奨システムを製造販売

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1972>





【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/>

以下参考資料

6.1 洗浄装置(洗浄システム) ポイント：液循環の設定



水槽サイズ：2000*2000*500mm
超音波 38kHz 600W (1台 写真右)
超音波 100kHz 400W (1台 写真左下)

洗浄効果実績のある、超音波洗浄装置の具体例



間接容器の利用

1：アルカリ洗剤 洗浄
2：水 リンス

実績が多数あります

洗浄物の汚れ・洗浄液・
の状態に合わせて
様々な対応が可能です

水槽サイズ

①材質：SUS304 (t= 3.0mm)

②寸法(内寸)：W1014×D514×H477mm

洗浄槽1
W1014×D514×H477mm



標準設置 72kHz 40kHz 28kHz



工学的な設計 妥協のバランス・最適化

< 経験・直感・論理 >

< 洗浄水槽の設計 >

洗浄液が均一で溶存酸素濃度の低い状態を可能にする
洗浄水槽の設計方法について、注意事項を提示します

注意点

1) 水量と超音波の力に対する水槽角部の設計が最重要です。

適切な大きさの曲面形状が理想的です(アール加工)

設計バランスは、経験的な事項が多く単純には説明できません。

絞り加工やプレス加工・・・の場合、表面組織や応力分布を悪くすると超音波の伝搬状態が悪くなります。

2) 現実的な水槽製作方法としては

超音波の減衰を最小限にする対策として**コーナーでは溶接を行わないで**
突合せ溶接により製造できる構造とする設計を推奨します。

3) 水槽構造として強度バランから板厚を設計します

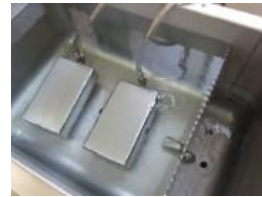
(低周波: 20-50kHzの超音波では4mmの板厚を必要とする場合があります)

板厚と強度により、超音波出力・キャビテーションの標準値としての上限が、決まります)

4) 強度補強としてのリブや絞り部の設計

取り返し(後からの対策・・・)がつかないの**採用を薦めません**

(強度の補強はリブ以外にも多数の方法があります)



5) 水槽の固定方法(ガイド部材の取り付け等)

せっかくの水槽も固定方法により超音波を大きく減衰する可能性があります。

特に、**水槽底面の状態について、注意が必要です。**

この部分は特に、**経験的な事項が多く単純には説明できません。**

注意: 数値は水槽固有の値です

6) 低振動モードを発生させない設置に対する設計

注意点

水槽の低周波の振動モードに対する設計方法としてノウハウを紹介します。

すべての断面 2次モーメントのバラツキの大きさが

パラメータになりますので

出来るだけ、ばらつきを小さくすることがノウハウとなります。

(このことから 円形・円筒形、正方形の底面形状の水槽が

良くない理由が解ります。全く同様なことが、振動子についてもあてはまります)

7) 最適液循環を行うための配管(吸込・吐出)位置設計

目的・サイズ・・・により様々な要因を

最適化する機械設計の総合バランスによる部分だと考えています。

経験と論理モデルによる追及を続けている部分です。

現状、多くの装置は、

液循環の設定で改善できます!



8) 全体のバランス(強度)

材料力学、流体力学、振動工学・・・総合的に設計・判断する必要があります。
加工方法、材料・材質・・・についても十分な判断が必要です。

洗浄システム全体で、**振動系**として検討することが重要です

9) サイズ効果に対する経験からの考慮した設計

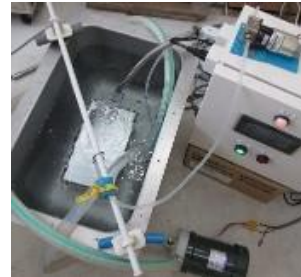
注意点

3 m * 1.8 m * 2 m の水槽と 70 cm * 45 cm * 40 cm の水槽は製造方法、バラツキ、・・・全く異なる設計方法になります
大きな水槽は、最悪の状態（振動モード）に対する対処を最優先します。

10) 洗浄目的に対する合理的な設計思想

水槽の超音波利用目的に対して、常設計思想の確認検討が必要です
新しい洗浄方法につながる場合が非常に多いので

設計思想は重要です。



11) 製造方法と価格の想定

<設計の妥協点 溶接部について>

板厚 1.5 mm の板金に対して、水槽の角部を R5 mm で 90 度に折り曲げるようにします
曲げた面に続く部分を、平面の突き合わせ溶接とすることで、溶接部による超音波の減衰を小さくできます

水槽の製作方法も洗浄力を向上させるための重要な要因です
溶接部・・・の変更により、高い超音波洗浄を可能にします

超音波洗浄装置の具体例



溶接部



水槽サイズ

: 750 * 500 * 950 (液深 10) mm

超音波

: 38kHz 600W

以上