

超音波とファインバブルによる
表面改質（表面残留応力の緩和）技術

<<超音波振動子の表面改質>>



超音波システム研究所

2020・04・14



均一な超音波伝搬状態
28kHz+72kHz 550W



****ノウハウ****
<間接水槽の位置>
<振動子の位置>



2種類の超音波の同時照射



表面改質処理により可能になる超音波制御例

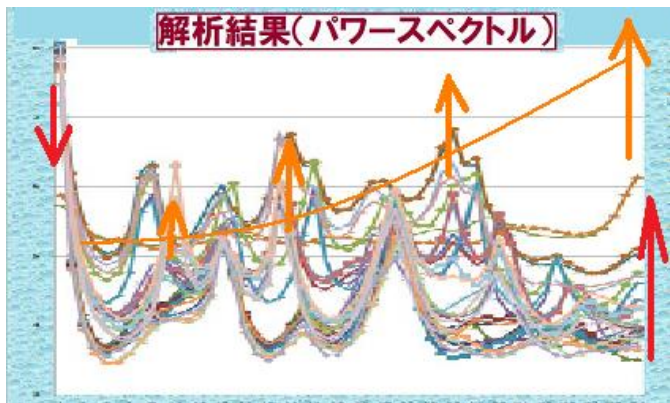
超音波振動子の改良技術

1：原理

振動子の音響特性（注）を改善する

注：超音波振動子を利用した測定・解析（水槽、水槽内の液体、・・・の間接測定）で、パワースペクトルを、次のように改善する。

- 1-1：パワーの値を大きくする
- 1-2：低周波のモードを小さくする
- 1-3：高周波（高調波を除く）成分をフラットにする



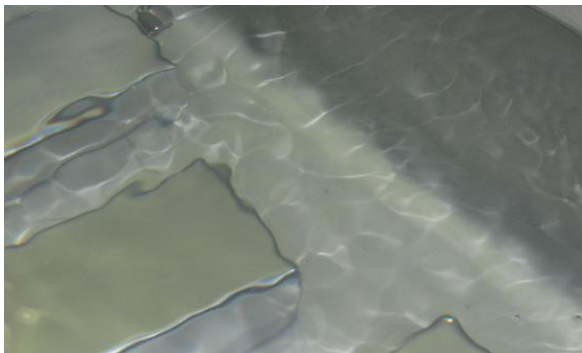
振動子の音響特性の改善により、 低周波のパワーと高周波をミックスさせた 超音波照射量（注）が大きくなる

注：超音波照射時の振動子による測定・解析あるいは
写真撮影による、キャビテーションの観察が次のように改善する

- 2-1：キャビテーション模様が大きくなる
- 2-2：キャビテーション模様が薄くなる
- 2-3：キャビテーション模様が均一に広がる

コメント

振動子の溶接・・・による、表面の残留応力の分布を
改善（表面残留応力：引張応力を緩和させることと、応力分布のバラツキをなくすこと）
していると考えます。



2：方法（技術）

- 1：均一な超音波照射
- 2：音圧レベルのコントロール
- 3：照射（伝搬）周波数のコントロール
- 4：測定・確認

上記の項目は理想的な条件です

改善効果をより大きくするためには必要ですが

上記の内容の一部を利用しても、改善効率は低下しますが、改善は可能です

具体的な方法

例 40kHzの振動子を改善する場合

第一段階(例 3日間 1日あたり理想的には2-3時間 最低30分以上)

注：各超音波の理想的な出力は100W以下

- 1：振動子が2個以上入れられる水槽と
脱気マイクロバブル発生液循環システム（注 次ページ）を用意する
- 2：水槽に40kHz以下の振動子と40kHzの振動子を入れる
- 3：40kHz以下の振動子による単独超音波照射を行う
- 4：40kHzの振動子による単独超音波照射を行う
- 5：水槽に40kHz以上の振動子と40kHzの振動子を入れる
- 6：40kHz以上の振動子による単独超音波照射を行う
- 7：40kHzの振動子による単独超音波照射を行う

第二段階(例 3日間 1日あたり理想的には2-3時間 最低30分以上)

注：各超音波の理想的な出力は200W以上、300W以下

- 1：振動子が2個以上入れられる水槽と
脱気マイクロバブル発生液循環システム（注 次ページ）を用意する
- 2：水槽に40kHz以下の振動子と40kHzの振動子を入れる
- 3：40kHz以下の振動子による単独超音波照射を行う
- 4：40kHzの振動子による単独超音波照射を行う
- 5：水槽に40kHz以上の振動子と40kHzの振動子を入れる
- 6：40kHz以上の振動子による単独超音波照射を行う
- 7：40kHzの振動子による単独超音波照射を行う

**注意：表面改質処理が終了していない状態で、1日に5時間以上連続で
超音波照射を行うと、ひずみやゆがみの分布が広がり逆効果になります**

適切な上記の操作・作業により、

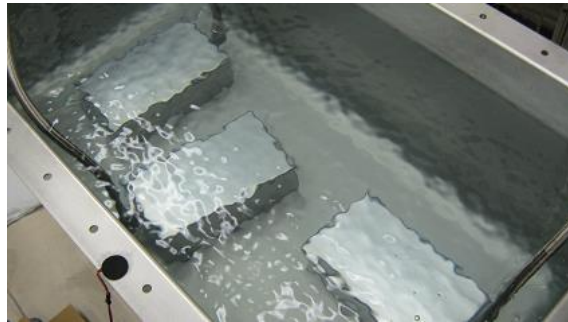
超音波振動子の表面残留応力の分布が改良され

音圧レベルは高くなり、音圧の広がりも大きくなります

（同時に、水槽表面も改質されます

改質された水槽を使用すると、

上記の操作は半分の日数と半分の時間で十分な効果として実現します）



注意

基本的な振動子の超音波振動性能が良くなりますので
 従来になかった問題が発生します
 注意事項を次に説明します

<イメージ> 大きな音を聞かせて作る楽器の手法！！

以下の第三段階については、

第三段階(例 3日間 1日あたり理想的には2-3時間 最低30分以上)

注：各超音波の理想的な出力は100W以下

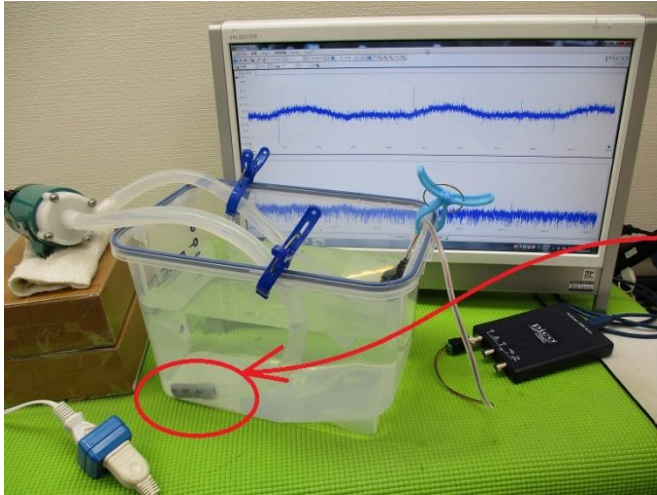
- 1：振動子が2個以上入れられる水槽と
脱気マイクロバブル発生液循環システムを用意する
 - 2：水槽に40kHz以下の振動子と40kHzの振動子を入れる
 - 3：2個の振動子による同時超音波照射を行う
 - 4：水槽に40kHz以上の振動子と40kHzの振動子を入れる
 - 5：2個の振動子による同時超音波照射を行う
- より効果的に行うためには、出力設定や液循環の設定を30分で微調整する

注意：脱気マイクロバブル発生液循環システム



注：マグネットポンプを使用してください

推奨 イワキ マグネットポンプMDシリーズ ホースタイプ 品番 MD-70RZ



適切な液循環の設定(吸い込みと、吐出位置)により、
20 μ 以下のマイクロバブルが発生します。

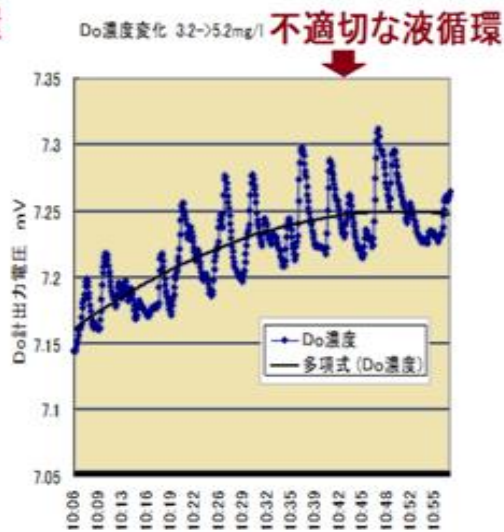
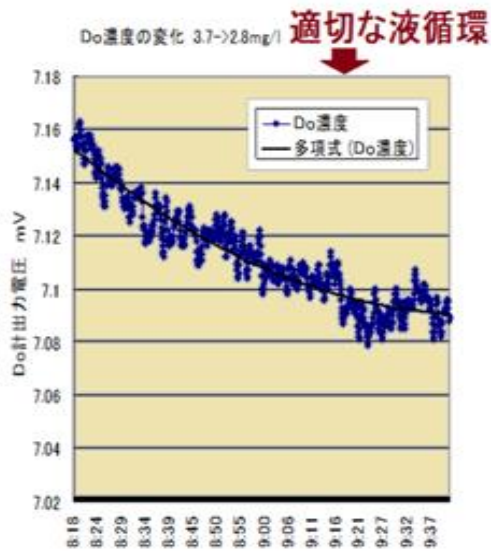
脱気ファインバブル発生液循環システムに対して
 超音波を照射すると
 ファインバブル(マイクロバブル)を超音波が分散・粉砕して
 バブルの測定を行うと

**ウルトラファインバブル(1 μ 以下のバブル)の分布量が
 ファインバブル(1 μ 以上)のバブルの分布量より多くなります**
 上記の状態が、超音波を安定して制御可能にした状態です。

注意事項

液循環の設定により脱気が進まないことがあります
 原理と液の流れをよく検討してください
 (適切に行うと必ず脱気が進み、超音波の音圧変化が目視で十分判断できます)

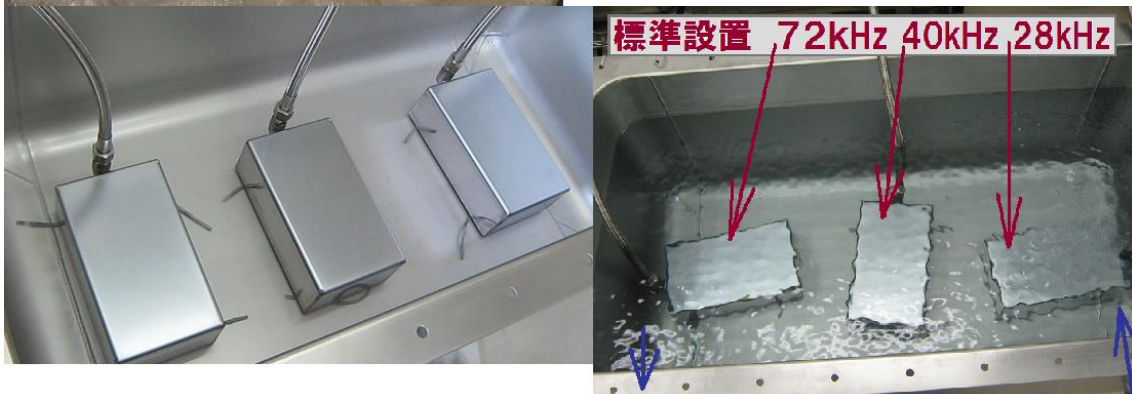
脱気装置と液循環装置の設定(最適化)技術



注意:超音波振動子の設置方法

超音波振動子は専用部材を利用して設置します

(専用部材により、定在波、キャビテーション、音響流の利用状態を制御できます)



3:注意事項(振動子の大きなエネルギー発生による)

1:ボリューム調整

超音波の電源スイッチをONにする場合

原則として出力ボリュームを最小の状態にしてください

超音波の出力レベルが標準状態に比べて、高いので

突入電力により回路が壊れる場合があります

電源をOFFにする場合も

原則として出力ボリュームを最小の状態にしてください

表面改質処理後、1ヶ月間、適切に使用すると上記の注意は不要になります

2:水槽への洗浄液・・の追加

温度差(3℃以上)のある水を

水槽に<5リットル(総液量の3%)以上連続的に>追加する場合は

超音波は必ずOFFにして行うようにしてください

振動子に直接ぶつけるような流れは起こさないようにしてください

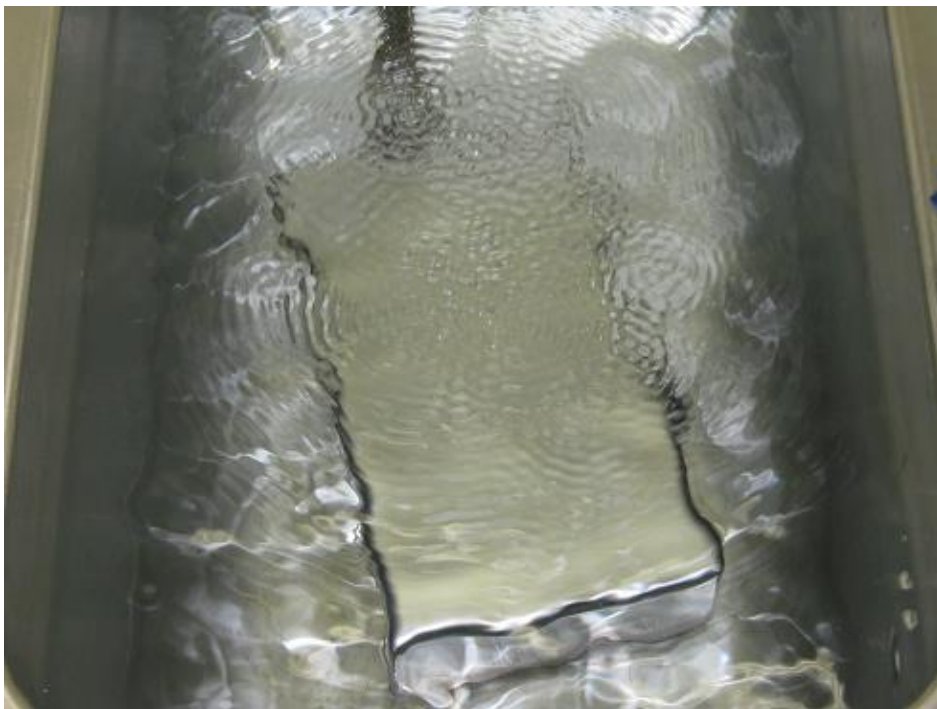
温度差が3℃以下であれば、

洗浄方法として音響流を利用する方法として問題ありません

振動子、発振機に対して

急激な負荷(熱応力・・)のかからないように使用してください

長期間(20年以上)安定して利用するための習慣にしてください



高い音圧で全体に広がる(ミックス)超音波照射状態!!

4 : 効率よく改善するための工夫

4-1 : 水槽

4-2 : 振動子の設置

4-3 : 液循環

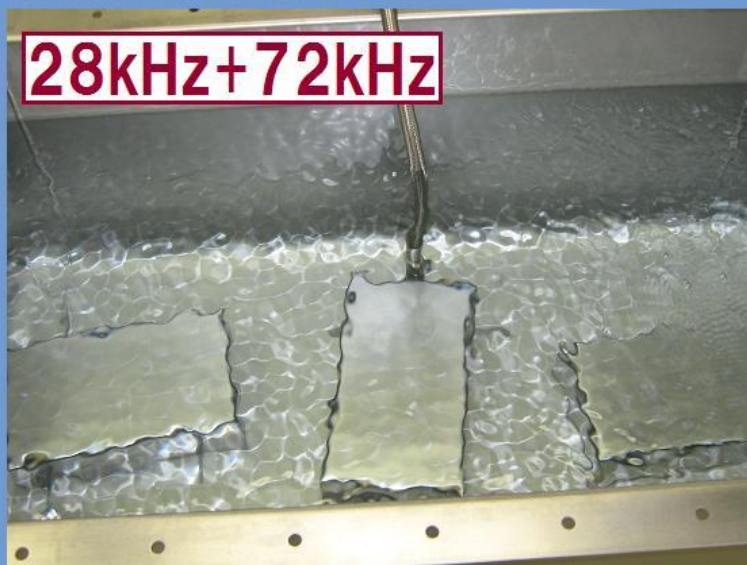
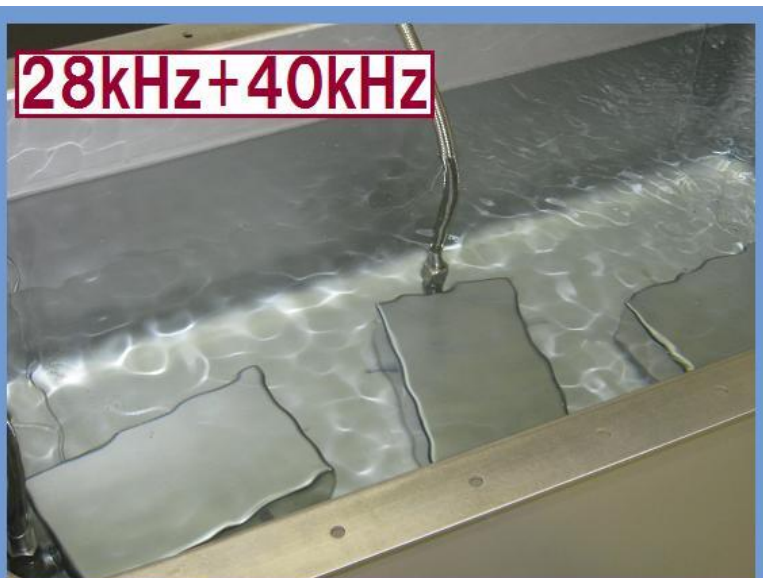
4-4 : 超音波の同時照射

4-5 : 間接容器の利用 (周波数のシフト)

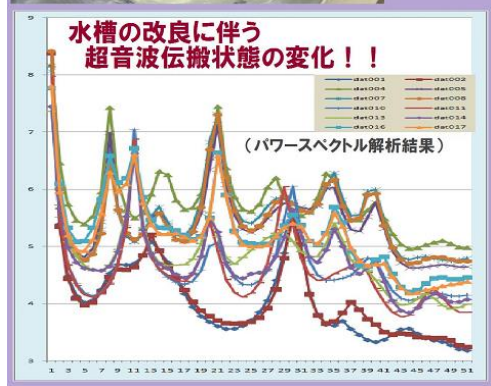
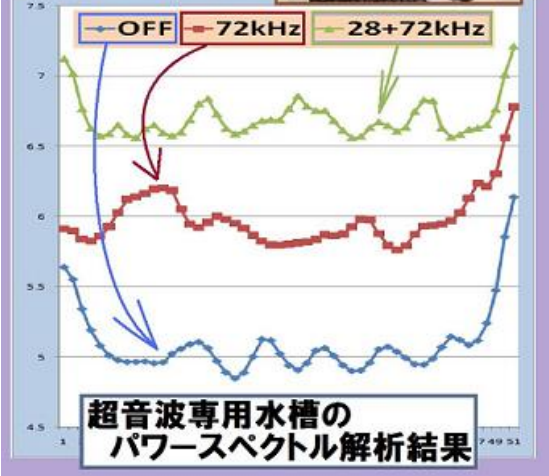
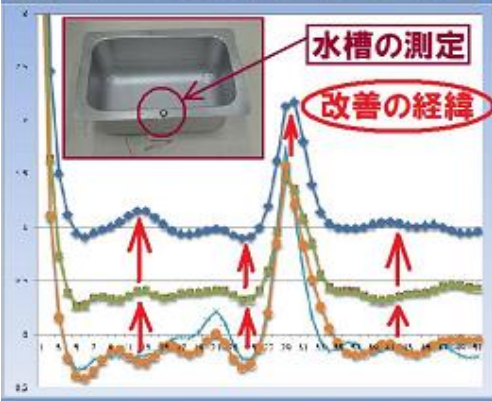
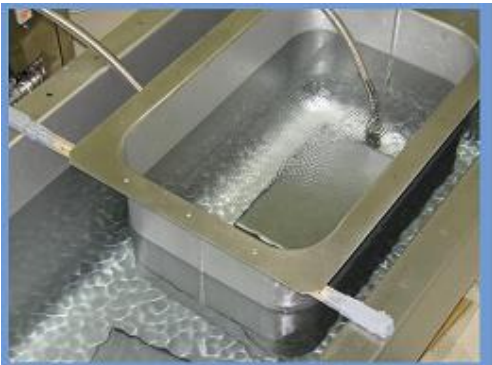
4-6 : メンテナンス (保守)

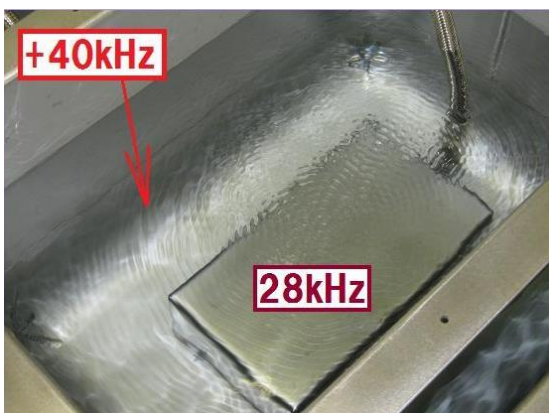
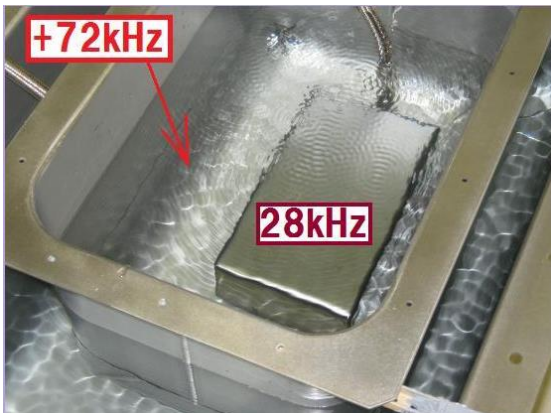
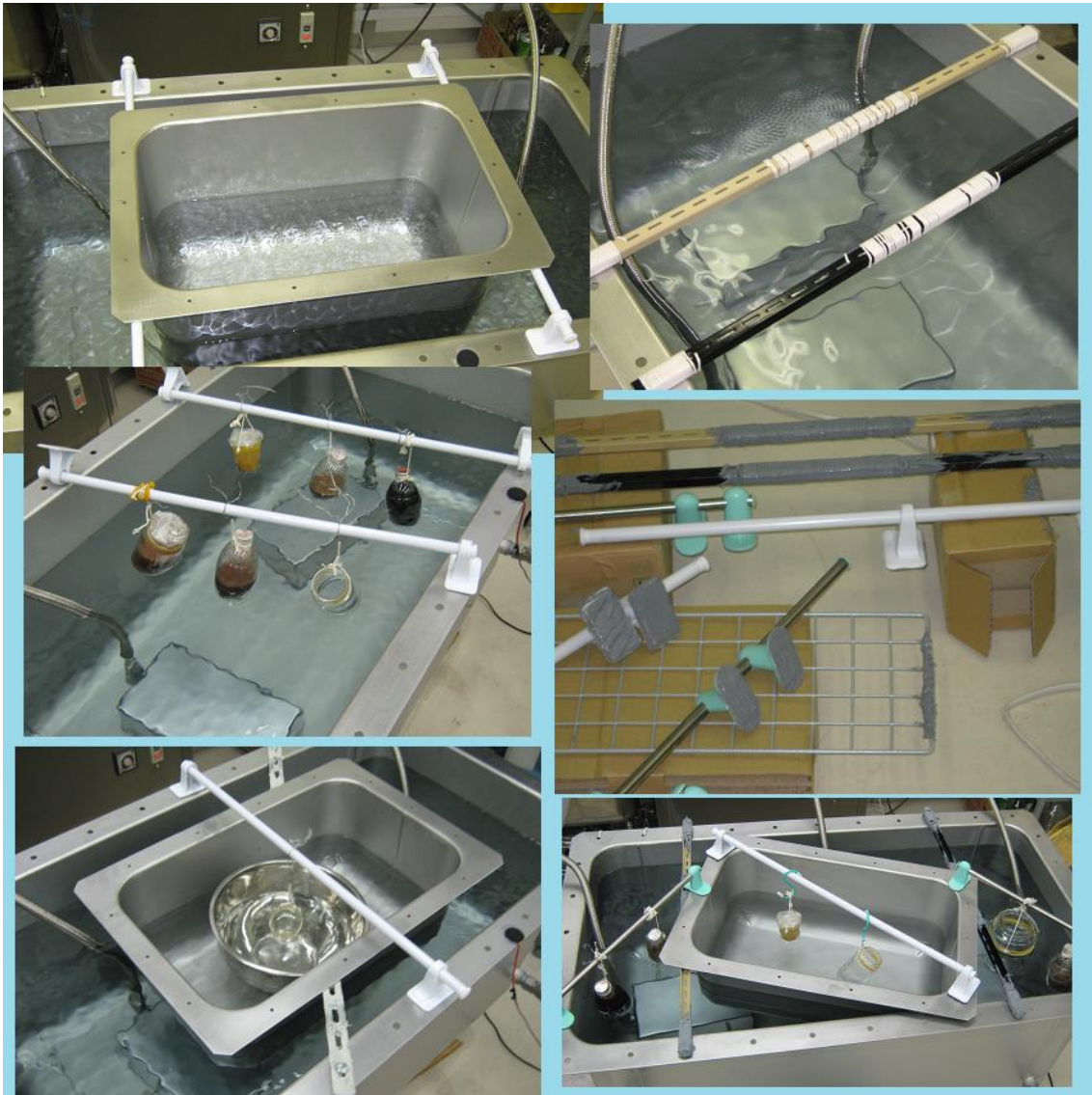
4-7 : 長期的な改良サイクル

4-8 : 現状での最良な方法 (技術)



4-1: 水槽





4-2 : 振動子の設置



4-3 : 液循環

ポンプの「吸い込み・吐出」位置と超音波の関係



流れA 変動大 <低周波> 38kHz	流れB 変動小 <高周波> 100kHz
-------------------------------------	--------------------------------------

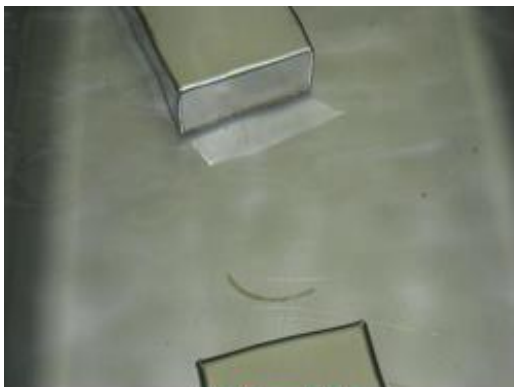
適切に(バランスよく)
ミックスさせる設定



流れA 変動大 <低周波> 38kHz	流れB 変動小 <高周波> 100kHz
-------------------------------------	--------------------------------------

個別の特徴を優先させた設定

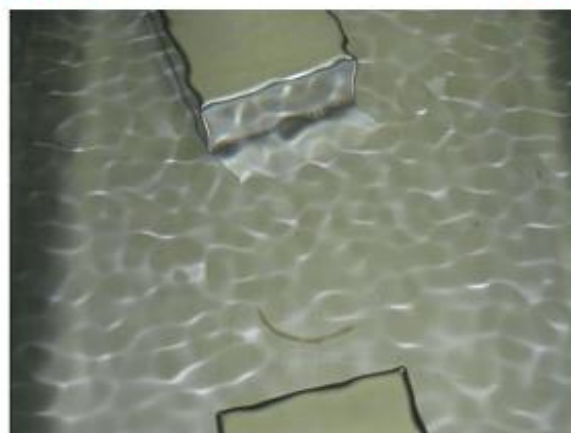
低周波:28kHz < 50kHz < 高周波:72kHz



低周波



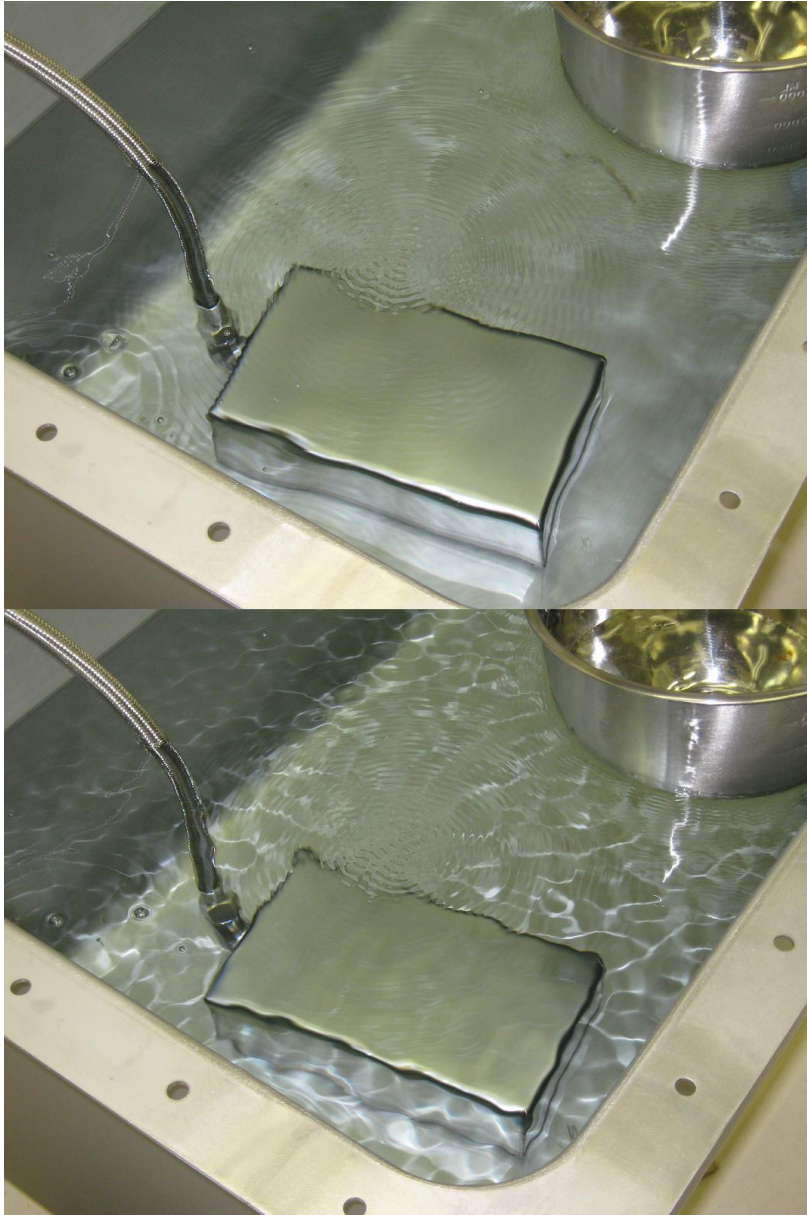
高周波



低周波+高周波

4-4：超音波の同時照射

<新しい超音波の効果について>(ノウハウ)



超音波専用水槽による **2種類の超音波照射実験**

振動子の上面の同心円状の波は、低周波(20-50kHz)の定在波です
高周波(50kHz以上)の出力を適切に調節することで
うろこのようなキャビテーション模様を調節することができます
定在波もうろこ模様も無くなる状態が

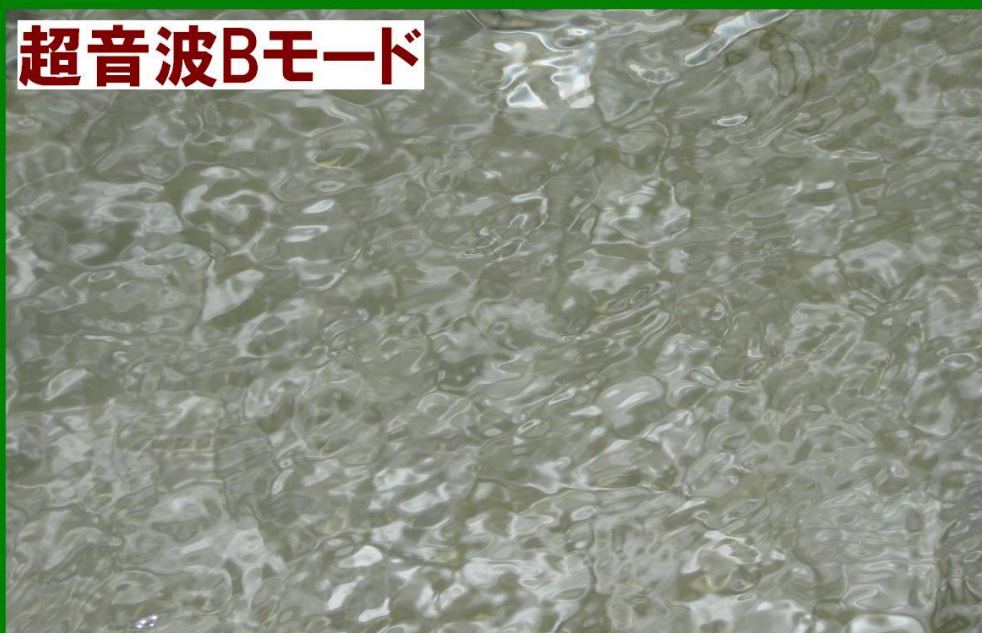
もっとも効率よくミックスした状態(音圧、周波数..)だと考えますが
調整が「干渉して減衰する状態」の付近ですので注意してください
注:「干渉して減衰する状態」は音・水面・水槽の振動ですぐにわかります

超音波の出力制御例

超音波Aモード



超音波Bモード

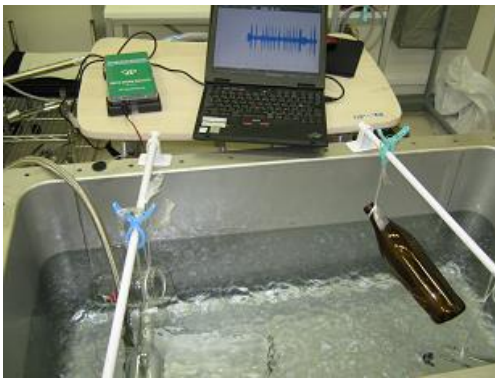
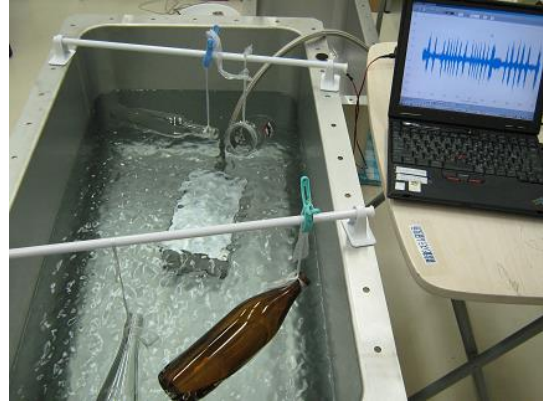
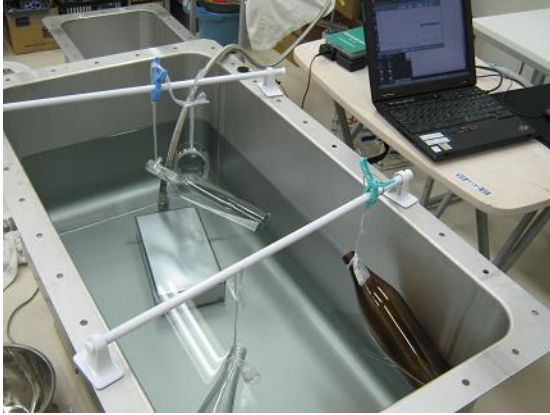


超音波制御による液面の変化

Aモード: 28kHz 160W、 72kHz 250W
Bモード: 28kHz 0W、 72kHz 320W

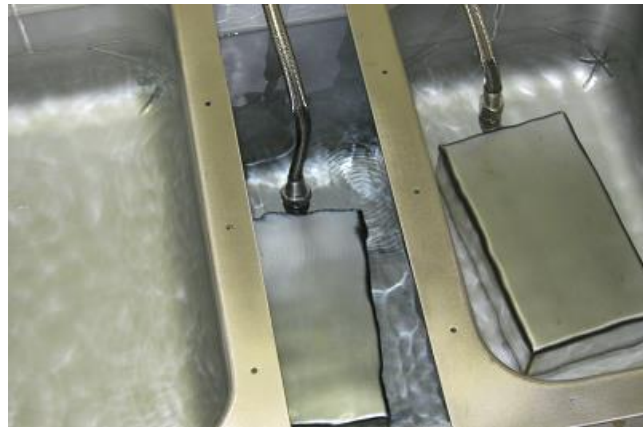
4-5 : 間接容器の利用 (周波数のシフト)

(水槽の改良状況の写真 超音波 7.2 kHz 200-450W)



注：ガラス容器の効果（超音波の反射・屈折・透過）により、水槽の表面を改質します
詳細は、具体的な水槽に対しての設定になります
超音波システム研究所にお問い合わせください

(水槽の改良状況の写真 超音波 2.8, 4.0 kHz 200-400W)



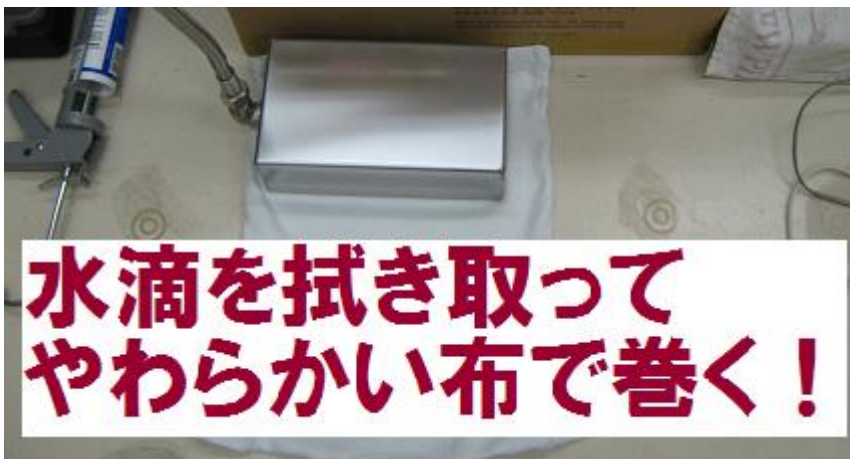
4-6 : メンテナンス (保守)

(長期的な水槽改良のノウハウです!)

水槽や振動子の保守として、1ヶ月以上、**放置状態**にしないでください
長期間使用しない場合は以下のようにしてください



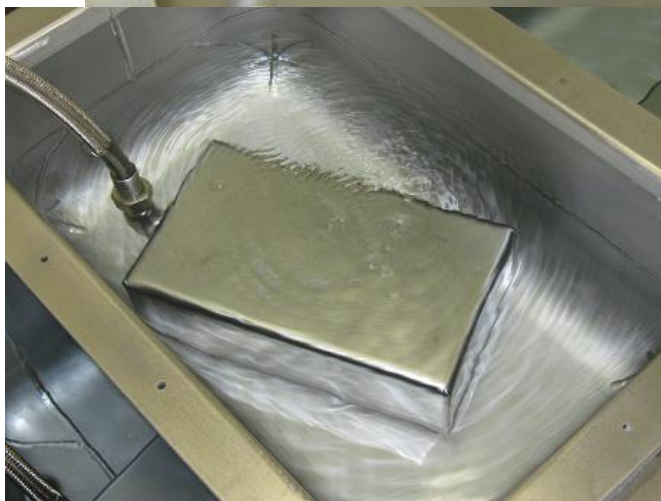
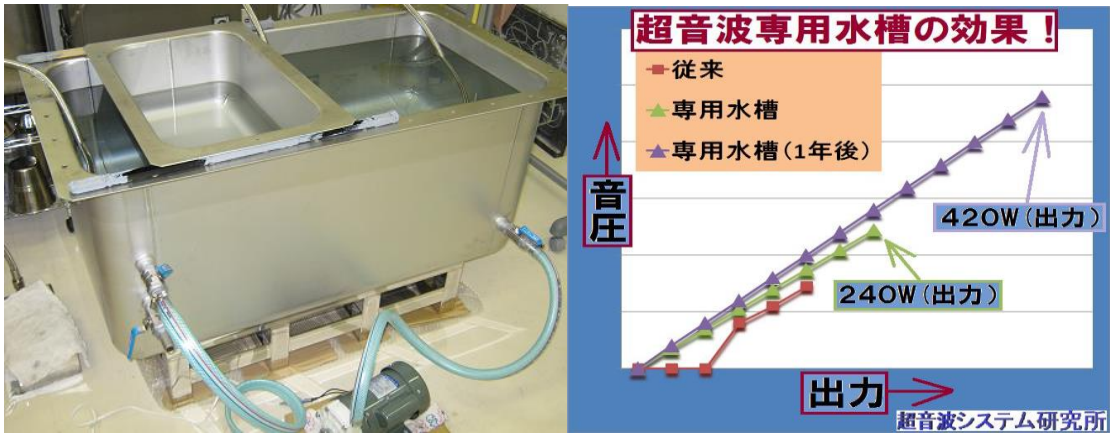
水槽 (や間接水槽) の水滴を十分に拭き取ってください



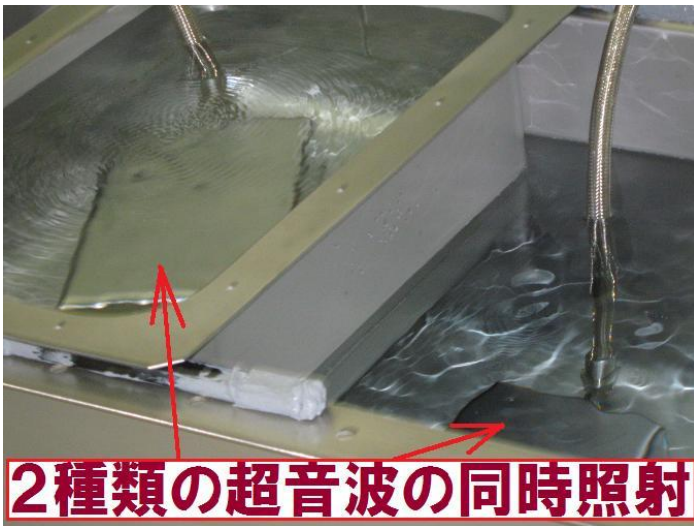
注 : 間接水槽は写真のようにして底面の水滴をふき取ってください
使用状態の水槽底面に均一な負荷が発生するように固定して保存
水槽を立てかけたり横に置いたり (応力分布によるゆがみが発生)
しないでください

4-7: 長期的な改良サイクル

バリエーションのある利用とメンテナンスの組み合わせ



注意：これらは水槽の改良作業として行っています
洗浄作業に応用しても問題ありません



＜間接水槽の固定部材に関する参考写真＞

8：現状での最適な方法（技術）

- 1：均一な高い音圧レベルの超音波照射
- 2：複数の異なる周波数の超音波照射
を実現できる水槽と液循環
- 3：超音波照射（伝搬）状態の測定・解析
- 4：繊細な物づくりのセンス

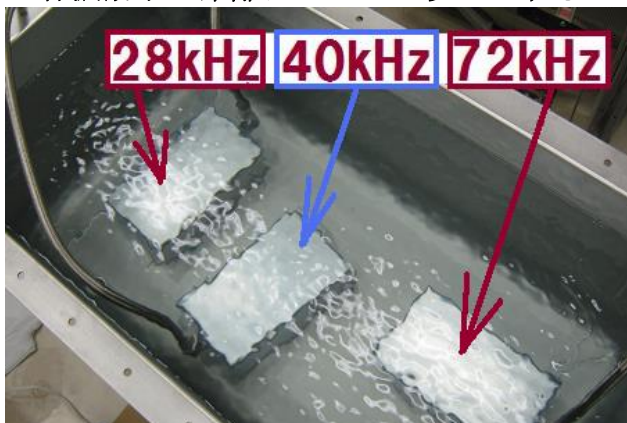
上記は理想的な条件です

上記の条件による方法を以下に提示します

具体的な方法

例 40kHzの振動子を改善する場合

- 1：振動子が3個以上入れられる超音波専用槽を用意する
- 2：水槽に40kHzの振動子と28、72kHzの振動子を入れる
<液面の高さは28kHzに合わせる>
<液量は最大量に設定する>
<各振動子の距離は10cm以上とする>



- 3：72kHzの振動子による単独超音波照射（出力 100W以下）を行う
20-60分
- 4：28kHzの振動子による単独超音波照射（出力 100W以下）を行う
20-60分
（水面の状態が単調であると判断した場合、液面高さの変更を行う）
- 5：72kHzの振動子による単独超音波照射（出力 100W以上）を行う
20-60分
- 6：28kHzの振動子による単独超音波照射（出力 100W以上）を行う
20-60分
- 7：40kHzの振動子による単独超音波照射（出力 100W程度）を行う
10-20分

<以上で 1日目の操作終了> **水槽の水を抜く**

- 8 : 72 kHz の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
20-60 分
- 9 : 28 kHz の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
20-60 分
- 10 : 40 kHz の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
10-20 分



(水面の状態が単調であると判断した場合、液面高さの変更を行う)

- 11 : 72 kHz (出力 最大)、28 kHz (出力 半分) の超音波照射を行う
20-30 分
- 12 : 72 kHz (出力 半分)、28 kHz (出力 最大) の超音波照射を行う
30-50 分
- 13 : 72 kHz (出力 最大)、28 kHz (出力 最大) の超音波照射を行う
30-50 分
- 14 : 40 kHz の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
10-20 分



<以上で 2日目の操作終了>

- 1 5 : 7 2 k H z の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
5-10分
- 1 6 : 2 8 k H z の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
5-10分
- 1 7 : 4 0 k H z の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
15-10分
(水面の状態が単調であると判断した場合、液面高さの変更を行う)
- 1 8 : 7 2 k H z (出力 最大)、4 0 k H z (出力 半分) の超音波照射を行う
10-20分
- 1 9 : 4 0 k H z (出力 半分)、2 8 k H z (出力 最大) の超音波照射を行う
10-20分
- 2 0 : 7 2 k H z (出力 最大)、2 8 k H z (出力 最大) の超音波照射を行う
10-20分
- 2 1 : 4 0 k H z の振動子による単独超音波照射 (出力 最大) を行う
10-20分

<以上で 改良操作 80% 終了> **水槽の水を抜く**

ここからは各種バリエーションを変えて超音波照射を行うこといで
水槽、各振動子すべての音響特性がよくなっていきます
(液面高さの変更は定期的に行ってください)



ガラス瓶・液循環・液面高さ・・・各種の変化が有効!

参考

脱気ファインバブル発生液循環システム

<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/00500e25376ac48c085111d3e6821423.pdf>

振動子設置ノウハウ

<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/215152fe07f65f50643cc7e920c7c306.pdf>

コストを下げて品質を改善した洗浄機の事例 no2 特別

<http://ultrasonic-labo.com/wp-content/uploads/44b5b12b07f104e6bfb9c495337cc0ac-1.pdf>

超音波とマイクロバブルによる表面改質（応力緩和）技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=5413>

樹脂・金属・セラミック・ガラス・・・の表面改質に関する書籍

<http://ultrasonic-labo.com/?p=7530>



マイクロバブル・ナノバブルを利用した
超音波照射技術



超音波の出力制御！

以上