

新しい超音波洗浄

—— テキスト&ヒント集 —— 抜粋

この資料は以下の内容です

- 1)超音波洗浄において「超音波」を有効に利用するための説明資料
- 2)「洗浄システム」を検討・提案するための超音波洗浄についての説明資料
- 3)「洗浄装置」を設計するための設計についての説明資料
- 4)実験データを解析するための時系列データ処理についての説明資料
- 5)新しい洗浄方法の提案資



Ver. 2

2011. 11. 14 超音波システム研究所

目次

<洗浄の概要>.....	3
<現状の問題>.....	4
<問題の整理>.....	5
<対処について>.....	6
<新しい洗浄の特徴>.....	7
<論理モデルの作成について>	8
<データの統計解析に関する資料>	9
<新しい洗浄技術開発の手順および注意事項>	10
<効果的な超音波洗浄技術について>	14
<固有の洗浄物に対する具体的検討項目について>	16
< Washing Portfolio>	17
<超音波の周波数と出力を決めるための資料>.....	18
実験データ の資料.....	19
<洗浄水槽の液体と気体の激しい反応を示すグラフ1>	24
<マイクロバブルについて>.....	32
<実施例>.....	33
< 具体的な改良ポイントの説明 >.....	37
<新しい超音波システムの制御 !!>	45
<メガネの超音波洗浄器について>.....	54
参考資料.....	60

<洗淨の概要>

洗淨とは、洗淨物から汚れを除去すること

<超音波洗淨>

定義1(一般的な超音波洗淨)

超音波洗淨とは、洗淨液中に超音波を照射し、発生する衝撃波で洗淨物から汚れを除去すること

定義2(理想的な超音波洗淨)

超音波洗淨とは、汚れが除去された被着体の表面性が満足される状態になるようにすること

定義3(超音波洗淨の原理)

超音波洗淨には、物理作用と化学作用による2種類の要素がある
物理作用はキャビテーションあるいは水の流速により洗淨を行うこと
化学作用は水や洗淨液の化学反応を促進させることで洗淨を行うこと

効果のある洗淨の条件

効果のある洗淨とは

汚れのある洗淨物の界面擬集エネルギーに打ち勝つ超音波エネルギーを界面に与えることで汚れが除去されること

汚れのない洗淨物の表面擬集エネルギーよりも小さい超音波エネルギーを界面に与えることで洗淨物にダメージを与えないこと

条件

- 1) 1年の中で、季節変化の影響による洗淨効果の変化を最小限にする
- 2) 1日の中で、時間経過の影響による洗淨効果の変化を最小限にする
- 3) 洗淨液の変化による洗淨効果の変化を最小限にする
- 4) 除去した汚れの再付着量を最小限にする
- 5) 洗淨液・洗淨物・洗淨治具・洗淨水槽・超音波等の最適化により洗淨効率を高くする

<現状の問題>

- 1) **洗浄条件(洗浄物や汚れ)により目的が異なる**ため一般論を利用できない場合がある
同じ材質の同様な汚れでも、加工方法・製造方法に対する違いにより、汚れの付着状態が異なり洗浄システムは変わってくる場合がある
- 2) 超音波メーカーの問題
超音波メーカーは**音圧を中心とした単純な測定値**を洗浄効果に結びつけて提案しているものが多い
超音波メーカーは規模(資本、売り上げ、社員数 等)が小さく、超音波の基礎事項について幅広く研究することは難しい
例 ロシアの超音波資料を十分に活用しているメーカーは少ない
- 3) **製造方法・材料 等の技術進歩**により洗浄の対象が常に大きく変化している
適切な洗浄を行うためには、
最先端の工学的な技術(機械工学・電気工学・物理学・化学 等)
に対する理解と応用(工夫)が必要である
- 4) **IT技術**に対する取り組みの遅れがある
特に、制御方法と制御による効果の確認技術が大きく遅れている
- 5) 各メーカー独自の技術に対して
適切な超音波洗浄システムを提案するためには
複合技術を追求していく必要がある
例
固有技術が特殊研磨技術の場合
問題は洗剤や超音波に対する洗浄効果が不明であること

固有技術がオリジナル洗剤の場合
問題は超音波による化学反応の影響が不明であること

固有技術が高いレベルの機械加工技術の場合
問題は高い加工レベルにより汚れの付着力が強くなる傾向にあること

<超音波による表面改質>

超音波洗浄の「**表面性が満足される状態**」と言うことは以下のような表面の改質につながります
超音波による物理作用・化学作用は表面に対して様々な効果があります

- 例1 金属表面の応力除去
- 例2 樹脂表面の均質化
- 例3 OHラジカル反応による表面の改質

注:樹脂への超音波照射は洗浄物に合わせたダメージを発生させないための工夫が必要です

<問題の整理>

「 洗淨物から汚れを除去できるエネルギーを安定(注)して発生し続けられなければ超音波洗淨の効果について言及できない 」

一定の超音波の音圧を実現し、制御による音圧変化を行うことが出来る洗淨システムの場合、目的とする洗淨効果について検討することが可能になります
(一定の超音波の音圧を実現する方法については別項目に記載します)

注:安定と言うことは一定と言う場合もありますが、変化することで洗淨エネルギーが安定している場合もあります

注:環境変化(洗淨液の変化、洗淨水槽の形状、材質、気温、湿度 等)、時間変化に対して安定した洗淨力をコントロールしている超音波洗淨装置はありません

注:超音波と洗淨力の関係をキャピテーションのみ、あるいは加速度のみで扱うとトラブルを起こしやすい

「 超音波による洗淨は大変複雑な現象なので、

超音波による洗淨力を安定させることは大変難しい 」

1::洗淨力を一定にするための基礎技術として、超音波による音圧変化を洗淨水槽内で一定にするために水槽の構造力学と洗淨液の流体力学と化学反応に対してそれぞれの関係性を検討する必要があります

2::音圧の時間変化と洗淨力との関係を調べると音圧を制御して目的の洗淨力を実現することが出来ます

3::洗淨液の化学反応の状態と音圧の時間変化の関係を調べ、超音波と各種洗淨条件の制御を行うと洗淨力(あるいは表面の改質)を目的の状態にすることが出来ます

<対処について>

- 1) 洗浄物から汚れを除去できるエネルギーを推定して、超音波の周波数と出力を検討する(キャピテーションによる洗浄効果のレベルを見積もる)
- 2) 洗浄物に対する汚れの付着状態と汚れの特性を考慮して、洗浄液(あるいは洗浄液の状態)を検討する(洗剤や液温 等の時系列変化と関係性を調査する)
- 3) 超音波の周波数に適した洗浄水槽を検討する
(洗浄水槽の材質や形状を超音波が最適に利用できるようにする
洗浄液の流れの最適化と超音波の減衰を最小限にするような機械構造設計をする
水槽の設置方法・設置位置も超音波減衰の大きな要因なのでその点についても注意する)
- 4) 洗浄水槽に適した洗浄液と除去した汚れの流れ(あるいは液循環)を検討する
(洗浄液の流れは超音波の音圧に影響を与え、そのことが洗浄力を大きく変化させる音響流という現象を目的にあわせて利用していく
洗浄効果(目的)にあわせた循環量を設定する
超音波による騒音は非効率な超音波の利用状態ですから液循環等により効率化することで対処できます
但し、騒音と洗浄力の最適化を行うためには総合的に非効率な部分を検証確認して無くす必要があります)
- 5) 洗浄に適した制御(超音波、洗浄液の状態など)を検討する
(超音波の発振制御と液循環の状態を制御することにより目的とする洗浄力を実現できます)
- 6) 以上を洗浄システムとして再検討(最適化・バランス調整)する
(洗浄・リンス・乾燥の各工程に対する位置づけと関連を明確にする
「洗浄水槽・超音波・洗浄液・液の流れ・制御」を最適化する
洗浄物と洗浄目的にあわせ、場合によっては最小の使い捨てで洗浄液を利用する方法を採用することもあります

2-3mの水槽で2-3000リットルの液を使用する場合には、液循環による洗浄効果を最優先する必要があります
水槽・洗浄物・汚れ 等によりシステムの各パラメータをバランスの取れた状態に調整することが重要です)

＜新しい洗浄・改質の特徴＞

特徴

- 1) 各種の洗浄条件(注)の関係性を解析・モデル化し、**総合的な洗浄システム(論理モデル)**を構築する
注:洗浄液、流量、流速、液温、音圧、溶存酸素濃度、気圧、湿度、ph値、洗浄治具、超音波、マイクロバブル、**各パラメータの分布・時間変化**、等
 - 2) 解析手法として**サイバネティクスの考え方に基づいた統計的手法**(化学プラントの制御技術 等)を利用する
- 2) システムの構築に**ITシステムの開発手法(オブジェクト指向)**を取り入れる

説明

やはり、決められた枠組みがないと、問題点を理解していても、**動くプロセスのみを追究し、データの抽象化などが行われた正しいプロセスを軽んずるものです。**

「技術者にとって技術向上の第一歩は、

動くプロセスと正しいプロセスを作ることの違いを認識することです。」...

オブジェクト指向の考え方は内容よりも形式を大事にします。抽象化を武器にして、内容から形式を切り離し、独創的な構想から新たな形式を創り出すことを尊ぶのです。その意味で、哲学の構造主義や、数学の公理主義に近いと思います。

しかし、内容の抽象化を経て得られた**形式の背後には、無数の具体的なものが控えているはずであり、現実世界からかけはなれたものではありません。**

オブジェクト指向と同様に、**洗浄プロセスについても抽象と具象の微妙なバランスの上に成立している**と考えます。

具体的な項目

- 1) 洗浄水槽の形状(構造)を最適化する(洗浄水槽の最適化)
- 2) 最適な液循環システム(液循環の最適化)
- 3) 洗浄物に対する洗浄トレイの影響を考慮したシステム対応
(洗浄物と洗浄トレイ(治具)の最適化)
- 4) 超音波の反射・透過と洗剤に対応した最適な間接水槽
(超音波の性質(反射・透過や洗剤への化学反応)に対する最適化)
- 5) 各種洗浄水槽間の音圧最適化
(洗浄装置全体から見たときの洗浄システムとしての最適化)
- 6) 現状を認識する手法として多変量自己回帰モデルを利用する
(モデル化(多変量自己回帰モデル 等の利用)による洗浄構造の適切な解析)

＜論理モデルの作成について＞

(情報量基準を利用して)

1) 各種の基礎技術(注)に基づいて、対象に関する、

D1=客観的知識(学術的論理に裏付けられた洗浄理論)

D2=経験的知識(これまでの洗浄結果)

D3=観測データ(現実の状態)

からなる「情報データ群」、 $DS=(D1,D2,D3)$ を明確に認識し

その組織的利用から**複数のモデル案を作成する**

2)統計的思考法を、

情報データ群(DS)の構成と、それに基づくモデルの提案と検証の繰り返し
によって情報獲得を実現する思考法と捉える

3) AIC の利用により、様々な**モデルの比較を行い、最適なモデルを決定する**

4) 作成した**モデルに基づいて洗浄装置・洗浄システムを構築する**

5) 時間と効率を考え、以下のように対応することを提案します

5-1)「論理モデル作成事項(効果的な超音波洗浄技術について)」を考慮して
「直感によるモデル」を作成し複数の人が検討する

5-2)実状のデータや新たな情報によりモデルを修正・検討する

5-3)検討メンバーが合意できるモデルにより装置やシステムの具体的打ち合わせに入る

上記の参考資料

ダイナミックシステムの統計的解析と制御:赤池弘次/共著 中川東一郎/共著:サイエンス社

生体のゆらぎとリズム コンピュータ解析入門:和田孝雄/著:講談社

注 化学工学:反応工学、化学プラント工学、LSIプロセス工学、薄膜作成工学 表面工学 等
機械工学:自動制御(システム工学)、熱力学、材料力学、流体力学、加工工学 等
電気電子工学:超音波工学、音響学、医用画像処理、分子エレクトロニクス工学 等
その他:物理学、物性工学、ナノテクノロジー、超分子、最適化、マイクログラビティ応用学、
プロセスマテリアル、ITエレクトロニクス、ドラッグデリバリー、バイオテクノロジー 等
AIC:赤池情報量規準(Akaike Information Criterion 統計モデルの相対的評価)
考え方(全体を貫く基本的な概念):

多くの真実らしき断片を見据え、その奥にある統一的メカニズムを描像する。

<データの統計解析に関する資料>

<統計的な考え方について>

統計数理は以下のように考えられています

統計的な物の見方というのは、

- 1)我々がどのように自分が持っている知識や情報を利用しようとするのかと関する(すなわち、**主観的な発想**に基づいている)
- 2)具体的な経験・知識に基づいた心の枠組みで考える(すなわち、**具体的**である)
- 3)物事の量的な特性に対するいろいろな考え方が豊かになっていく展開(すなわち、**抽象的**である)

まとめ

統計数理には、抽象的な性格と具体的な性格の二面があり、

具体的なものとの接触を通じて
抽象的な考えあるいは方法が発展させられていく、
これが統計数理の特質である

<モデルについて>

モデルは対象に関する理解、予測、制御等を効果的に進めることを目的として構築されます。正確なモデルの構築難しく、常に対象の複雑さを適当に”丸めた”形の表現で検討を進めます。

その意味で、**モデルの構成あるいは構築の過程は統計的思考が必要です。**



図1 全体の音圧が均一な液面の様子（低周波の例）

＜新しい洗浄技術開発の手順および注意事項＞

＜開発の流れ(手順)＞

1. 要求(目的・問題)を調査・分析する

注意事項

事実(現状)の認識が最も重要である

例1 現状の洗浄システムを理解することの難しさ

- 1)ハードの進歩(微細化、新しい材料、新しい汚れ 等)
- 2)システムの複雑化(高い制御レベルの要求、反応速度への対応 等)
- 3)構築には沢山のノウハウが取り入れられている(ノウハウに気が付かないでトラブルが発生している)

例2 「洗浄メーカーと使用メーカーの協力ですばらしい洗浄システムが出来上がる」

と言うのは理想論で、実状は**洗浄目的の明確化(共有化)**が十分に行われていない

理由1 除去する汚れの性質や、汚れの付着の原因が製造に関するノウハウである場合は洗浄の状況について詳細に追及するとメーカーの重要技術が明るみになってしまう

理由2 仕様書にかかれぬ部分に重要(材質の製造・処理方法や保管環境 等)な洗浄条件に関する事項がある

理由3 少ない成功経験による単純な分析・開発が洗浄の失敗につながる

理由4 前提となる「背景・目的・考え方」が明確(論理的)になっていない

例3 洗浄システムの要因を全体で捕らえる必要がある

- 1)洗剤を含めた**洗浄液に関する知識**
- 2)洗浄の対象となる**製品・部品に関する知識**
- 3)**洗浄装置(ハードウェア)に関する知識**
- 4)**洗浄方法(洗浄プロセス 洗浄理論)に関する知識**
- 5)洗浄システムの**最適化に関する知識**

理由1 洗浄は複雑な現象なので、単純な比較実験により効果を結論づけると、変化したパラメータの影響により洗浄結果が変わる場合があります

理由2 各種のパラメータの相互関係を検討しなければ安定した洗浄効果は得られません (そのために論理モデルの構築は大変重要です)

例4 現状の調査・要求の分析は、**必要なレベルを科学的な方法論(注)で行う**

- 1) 技術にとらわれすぎない
- 2) **不明な点は不明として利用・使用する**
- 3) 多大な労力と危険にたいしても調査する
- 4) **正しい分析には経験とセンスが重要である**

理由1 マイクロバブルの性質に代表されるように不確定で解明されていない部分が沢山あることも事実です、すべてを明確にするのではなく経験と現状を考慮した工学的なモデル作成が必要です

注:要求工学

「ゴール指向分析」「ステークホルダー分析」「非機能要求の分析」等

注:乾燥についても現状の調査・要求の分析を科学的な方法で行い、最適な乾燥モデルを作成する

特に、水分の流れに対する適切な対策・対応(網籠はうずの発生により乾燥効率が悪い 等)が必要である

2. 設計する(最終的に、誰が見ても製作できる**設計書を作成する**)

- 1) 調査・分析・設計に時間をかける(分析手法の利用)
- 2) 要求分析には事務処理フローの作成を行う
- 3) **目的を実現する手法が洗淨知識の無い人でも理解できるようにする**
 - (キャビテーションによる洗淨
 - 水の流速による洗淨
 - 化学作用による洗淨
 - その他(複合作用)による洗淨

について論理モデルを利用して効果の推定を行う)

- 4) 量的側面と質的側面を明確にする
- 5) 設計上では、メンテナンス(廃液処理 等)を考慮する

汚れに対する検討事項

- 1) 汚れの分類
 - 1-1)粒子汚れ 1-2)有機汚れ 1-3)無機汚れ 1-4)その他
- 2) 汚れの結合力
 - (分子間結合:水素結合、双極子効果、誘導効果)
- 3) 汚れの結合エネルギーあるいは擬集エネルギー状態
- 4) 汚れの界面擬集エネルギーに対する反応
 - (洗淨剤、洗淨液の温度、超音波、攪拌、蒸気、真空、紫外線、電子線照射 等)

3. 製作する(このとき設計者は製作作業を管理すると共に、全体の調整を行う)

- 1) 大きなシステムは分割し、段階的に製作する。
- 2) 製作するための体制とスケジュールを立てる。
- 3) 製作状況を数値で捉え、評価する。
- 4) 製作状況は定期的に測定と評価を行い、次の行動につなげて行く。

4. 動作確認する(試験の結果が品質の証明となる)

1)テスト

単体テスト、
結合テスト、
システムテスト、
機能テスト、
性能テスト、
負荷テスト、
運用テスト
退行テスト、
検取テスト 等

2)システムの信頼度を把握する指標として、次の稼働率を利用する。

「稼働率=(全運転時間-故障時間)÷全運転時間」

5. 装置(システム)を納品する

納品チェックシステムで確認する

＜効果的な超音波洗浄技術について＞

洗浄液について

- 1) 汚れに対する洗浄液の効果について論理モデルを持つこと
- 2) 汚れによる洗浄液の変化(トムス効果 等)について洗浄効果の論理モデルを持つこと
- 3) 環境変化による洗浄液の変化について洗浄効果の論理モデルを持つこと
- 4) 洗浄液の交換サイクルについて洗浄効果の論理モデルを持つこと
- 5) 洗浄液の管理状態(バラツキ)について論理モデルを持つこと
- 6) 洗浄液の液循環(バラツキ)について論理モデルを持つこと
- 7) 洗浄液に対する超音波の発振状態について論理モデルを持つこと
- 8) 洗剤の界面活性剤による泡や空気(溶存酸素)の性質が変化することについて論理モデルを持つこと (超音波の周波数・界面活性剤の濃度・溶存酸素濃度の関係についてはインターネット上に多数の報告があります)
- 9) 洗浄液に対する洗浄物の影響(量的側面と質的側面)について論理モデルを持つこと
- 10) 洗剤の濃度等(液温、溶存酸素)による洗浄効果について論理モデルを持つこと
- 11) 洗剤による洗浄時の泡の発生状況と泡と汚れの影響について論理モデルを持つこと
- 12) 上記の各項目について時系列データの変化に対する最適化を検討すること

洗浄物について

- 13) 洗浄物に対する材料特性と超音波の影響について論理モデルを持つこと
- 14) 洗浄物の製造方法・表面処理・超音波の関係性について論理モデルを持つこと
- 15) 洗浄物の環境変化(各種バラツキを含む)による影響についての論理モデルを持つこと
- 16) 洗浄物の連続洗浄作業について洗浄効果の論理モデルを持つこと
- 17) 洗浄物と洗浄治具の関係について洗浄効果の論理モデルを持つこと
- 18) 洗浄物・洗浄治具・超音波(音響流、レンズ効果 等)の関係についての論理モデルを持つこと
- 19) 洗浄物の種類・大きさ・洗浄数の変化について洗浄効果の論理モデルを持つこと
- 20) 洗浄物の超音波(音響流 等)による環境変化(液温の上昇 等)の影響について洗浄効果の論理モデルを持つこと
- 21) 上記の各項目について時系列(データ)の変化に対する最適化を検討すること

洗淨水槽について

- 22) 洗淨水槽の液循環について論理モデル(よどみ対応、反応、拡散流 等)を持つこと
- 23) 洗淨水槽の洗淨液の各種分布状態(液温、溶存酸素濃度 等)について論理モデルを持つこと
- 24) 洗淨水槽の超音波の各種分布状態(流速、音圧 等)について論理モデルを持つこと
- 25) 洗淨水槽の材質(表面処理 等)と洗淨液の反応について論理モデルを持つこと
- 26) 洗淨水槽の均一性(反応率、プラグ流)について洗淨論理モデルを持つこと
- 27) 洗淨水槽・洗淨液・洗淨物について最適化を行うこと
- 28) 洗淨水槽・リンス水槽の関係(ラインバランス 等)について最適化を行うこと
- 29) 洗淨水槽の作業性(メンテナンス 等)について作業モデルを持つこと
- 30) 洗淨水槽の改良(間接水槽の利用 洗淨液の変更 等)について論理検討を行うこと
- 31) 洗淨水槽に対する超音波の影響(量的側面と質的側面)について論理モデルを持つこと
- 32) 上記の各項目について時系列の変化に対する最適化を検討すること

説明 溶存酸素: 溶存酸素(Dissolved oxygen, DOと略す)とは、水中に溶存している酸素のこと

音響流: 流体中を強い音波が伝搬すると媒質流体の移動現象が発生します。静止流体中で物体が振動するときも、物体の周りに流れが生じます。いずれも音響流といえます。

レンズ効果: ないものが画像に映ってしまうものや、形が歪んで見えたりする場合を超音波診断ではアーチファクトと呼びます。アーチファクトの中にレンズ効果による虚像があります。

凹レンズ効果では音波は拡散します。

最適化: 特定の制約を与えられた中で結果の最大値(最小値)をもたらす組み合わせを見つけ出すこと。数理最適化の手続きは一般に3つのステップから成ります。

1. 問題のポイントを整理して数理的モデルを作成する。
2. モデルの特性を考慮した適切なアルゴリズムを用いて解を求める。
3. 解をもとに現実の問題の適応方法(解決策)を実施する。

時系列データ: 通常同じ間隔の時間ごとに記録された数値のこと。

自己回帰: 時系列データが持つこの時間的相関は、「自己相関」と呼ばれる。自己相関を持つ系列が逐次的に決定される構造を、「自己回帰(auto-regression)」と言う

プラグ流: プラグ流とは、すべての分子が同じ時間で排出される仮想的な流れ。あるいは押し出し流れ、ピストン流などと呼ぶ。

トムス効果: 「トムス効果」とは、水に極微量(ppb程度)の高分子を、たとえばポリエチレンを溶かすと、その水中を動く物体の抵抗が劇的に減る、という効果である。

拡散係数: $k(\text{定数}) \cdot T(\text{温度}) / 6 \cdot \pi \cdot \mu(\text{粘性率}) \cdot P(\text{粒子の半径})$ アインシュタインの式

<固有の洗浄物に対する具体的検討項目について>

- 1) 洗浄物が樹脂の場合は超音波(レンズ効果)によるダメージが発生する傾向がある
- 2) 洗浄物がガラスの場合は超音波(高周波)によるパーティクルの表面集積がある
- 3) 洗浄物が金属の場合は表面処理に対する超音波の影響(応力除去、表面改質 等)がある
- 4) 超音波洗浄における洗浄槽内の音圧は、溶存空気濃度と溶存気体の分布状態により大きく変化する
- 5) 溶存空気濃度は洗浄槽の形状(大気と接触する面積)・洗浄液の循環状態・液温・大気圧 等により逐次変化して幅広く分布した状態になる
- 6) 超音波洗浄における洗浄槽内の音圧は、液温により溶存空気濃度が変わるのでその値により変化する。但し、60℃以上になると液体の状態から水蒸気の状態になると超音波の減衰要因になるため超音波の音圧は低下する
- 7) 洗浄液の温度を高くすることで表面張力を低下させ洗浄効果を上げる事ができる
(水の場合、最適値は 50~60℃)
- 8) 大切なのは洗浄液の選定。使用する洗浄液の「表面張力の状態」・「界面活性剤の濃度」・「膜と泡の状態」の最適な使用条件が必要(超音波エネルギーを高率よく伝達するために、洗剤などの界面活性剤は間接水槽の利用等で使用される場合もある
一般的には2~3%の界面活性剤は音圧を強くする)
- 9) 各種条件が時系列に変化する中で超音波による音圧を安定した状態にする必要がある
(超音波の「屈折・反射・透過」は音響インピーダンスの変化により変わる
音圧が「屈折・反射・透過」することで洗浄物に与える洗浄効果が変わる)
注: 音響インピーダンス = 音速(伝播速度) * 密度
- 10) 洗浄システムを検討するためには現状のデータ採取が必要である
(例 汚れに対する付着力、超音波の周波数・音圧の関係)
- 11) 超音波による音圧は洗浄物の材質・レンズ効果により大きく変わる
(洗浄治具による音圧の変化は洗浄効果が切り替わるので注意が必要である)
- 12) 超音波による音圧は洗浄液の状態(温度分布、流速分布、溶存気体の分布)により大きく変わる
- 13) 超音波による音圧は洗浄液の循環効率(Do濃度、界面活性剤分布)により大きく変わる
水槽内に淀みがあるような液循環の場合、音圧低下を起こすとともに、汚れの再付着を発生させる
注 Do濃度: 溶存酸素濃度
- 14) Do濃度の変化は自己回帰傾向(自己回帰構造の動的特性)がある
- 15) 水面の波立ちによりDo濃度が変化する
- 16) 水槽の底面にはDo濃度の低い循環しにくい水があつまる
Do濃度の変化を多変量自己回帰モデルを用いて解析することでその系の持つフィードバック特性を直観的に把握することができる

< Washing Portfolio >

超音波の周波数と出力の関係性を示す資料（図2）



キャビテーション洗浄:

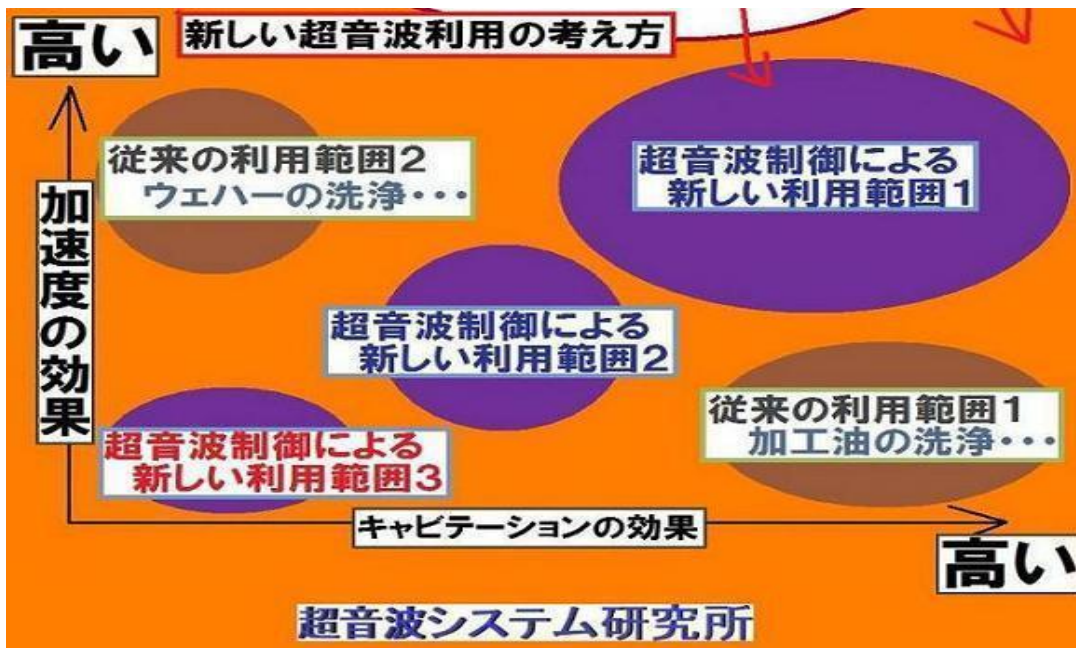
キャビテーション(液体中に加えた減圧力(膨張力)によって空洞を生じる現象)により行われる洗浄

加速流(音響流)による洗浄:

通常、流体中を強い音波が伝搬すると媒質流体の移動現象がみられます。また、静止流体中で物体が振動するときも、物体の周りに一定方向の流れが生じます。いずれも音響流といいます。この音場特性に依存した駆動力により洗浄が行われる

ミックス洗浄:

キャビテーションと加速流(音響流)の両方を利用した洗浄
20kHz-1000kHzを使用した洗浄実験によりミックス洗浄効果を確認しています
洗浄効率を検討していく上で大変重要な考え方です
特に「治具・洗浄物」を考慮していく上で参考になると思います



<超音波の周波数と出力を決めるための資料>

音響流とキャビテーションのバランスを最適化する

- 1) 洗浄液が**淀まない**洗浄水槽を使用する
- 2) 強度について、**特別に弱い部分のない**洗浄水槽を使用する
- 3) 洗浄液の分布を**均一**にする(Do濃度、液温、流速 等)
- 4) **振動子の上面の洗浄液の流れ**を調節する(流量・流速・バラツキをコントロールする)
- 5) 超音波の周波数と出力にあわせた**液循環**を行う
- 6) 機械設計としての**洗浄水槽の強度は超音波周波数に対して設定**する
- 7) **洗浄水槽の製造方法**を明確にして、超音波の水槽による減衰レベルを設定する
- 8) **流体に対する洗浄水槽の特性**を明確にする(例 コーナー部の設計)
- 9) 超音波の周波数・出力に対する**洗浄水槽の特性**を明確にする
(**振動子・振動板の位置**と水槽の関係を調整する
 洗浄水槽の**超音波伝播特性**を明確にする)
- 10) 洗浄システムとしての**制御構造**などとの最適化を行う

以上のパラメータを念頭に超音波洗浄を検討する(あるいは、現状の洗浄を見直す)

コメント

音響流とキャビテーションは相反する現象だと考えています

しかし、どちらかをなくすことは大変難しいためバランスを調整し、最適化することが重要だと考えています(具体的な事項については後述します)



以下は上記説明のための **実験データ** の資料です

< 代表的な音圧と液温の関係(水の場合)>

超音波の発生により液温は一定の温度まで上昇する

40kHz以下の場合:約45°C以下

100kHz以上の場合:約55°C以上

超音波の音圧は液温により変化する(最適な液温範囲がある)

理由1:液温の上昇により溶存気体の量が減少し、超音波の減衰が小さくなるから

理由2:液温の上昇により水蒸気の量が増え、超音波の減衰が大きくなるから

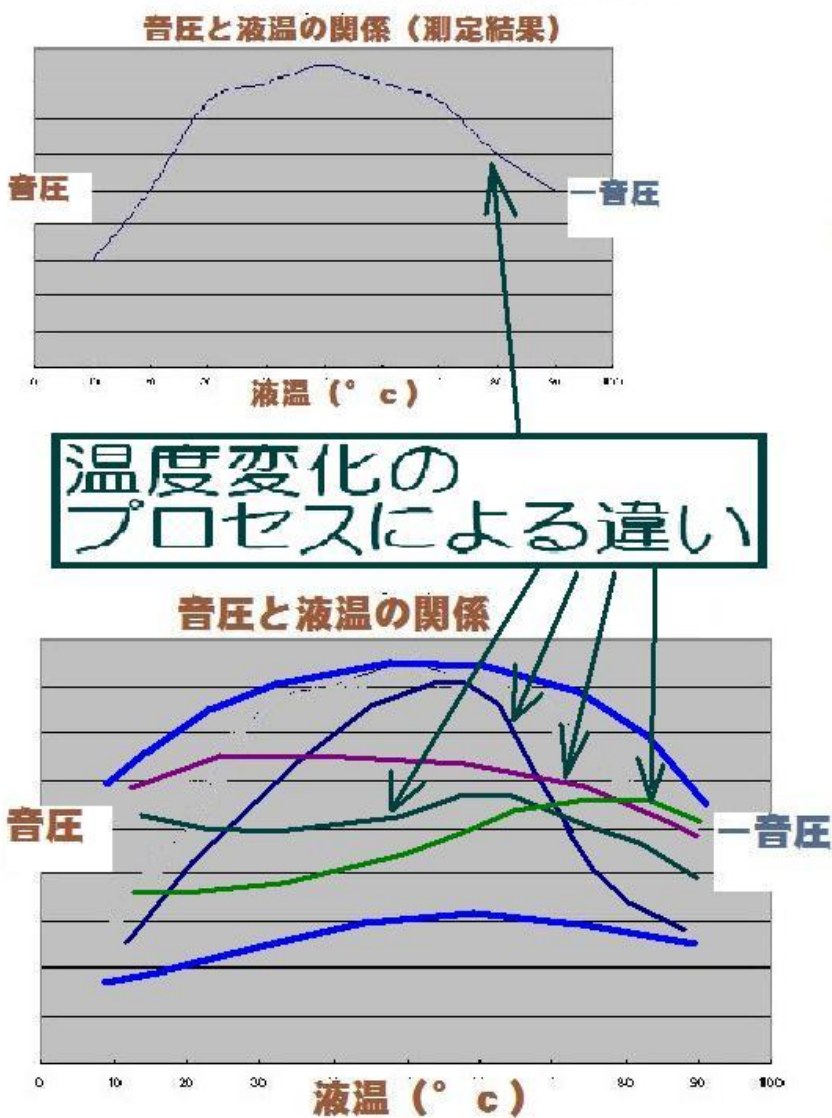


図3 代表的な音圧と液温の関係(水の場合)

液温と音圧について

これはしばしば測定される結果ですが、利用する場合には注意が必要です

論理的な事項として

音速（伝播速度）は水温により

約3－4%（20℃から40℃への変化）の変化があります

従って、測定値の音圧変化が大きい原因は別にあることが考えられます

ひとつの事例として

30℃から60℃の水の状態は、

何もしくなくても分布（温度、気体の比率）が比較的安定しているということがあります

確認の測定をしました

上記を確認するために、液の分布状態を均一にさせると

低かった温度での音圧測定値は最大値以上の値になりました

注：10℃や70℃の均一な環境は恒温槽等を利用して、

環境温度の影響を小さくしないと大きな温度分布が発生します

使用条件の影響に正しく対応（設定）する必要があります、

しかし何もしくなくても安定する状況があるため

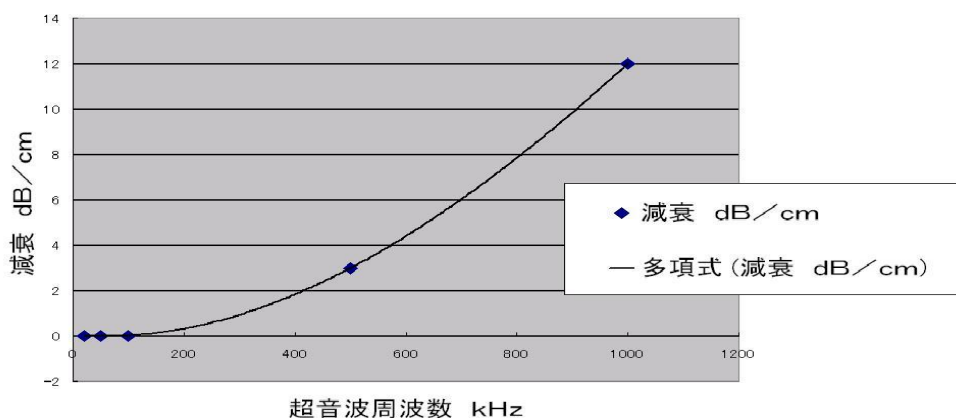
検討が行われない状況ではないかと思えます

従って、個別（注）に検討すれば大きな効果を出すことが可能です

注）超音波の周波数・出力・制御に合わせた、水槽の構造・材質・形状・厚さを設定する必要があります

最適な設計は難しいのですが、「超音波を無効にする設定をしないようにする」という考え方で設計を繰り返すと最適設計になるように思います

空気中の超音波の減衰（1気圧 20℃）



< 代表的な音圧とDO濃度(溶存酸素濃度)の関係(水の場合)>

洗浄水槽の水面は液体と気体の境界で激しい反応が行われている

洗浄水槽の水面の激しい反応によりキャビテーションを発生するための核物質を空気と一緒に洗浄液中に取り込む作用がある(キャビテーション核説)

超音波の発生により液中の溶存空気が除去される(脱気作用)

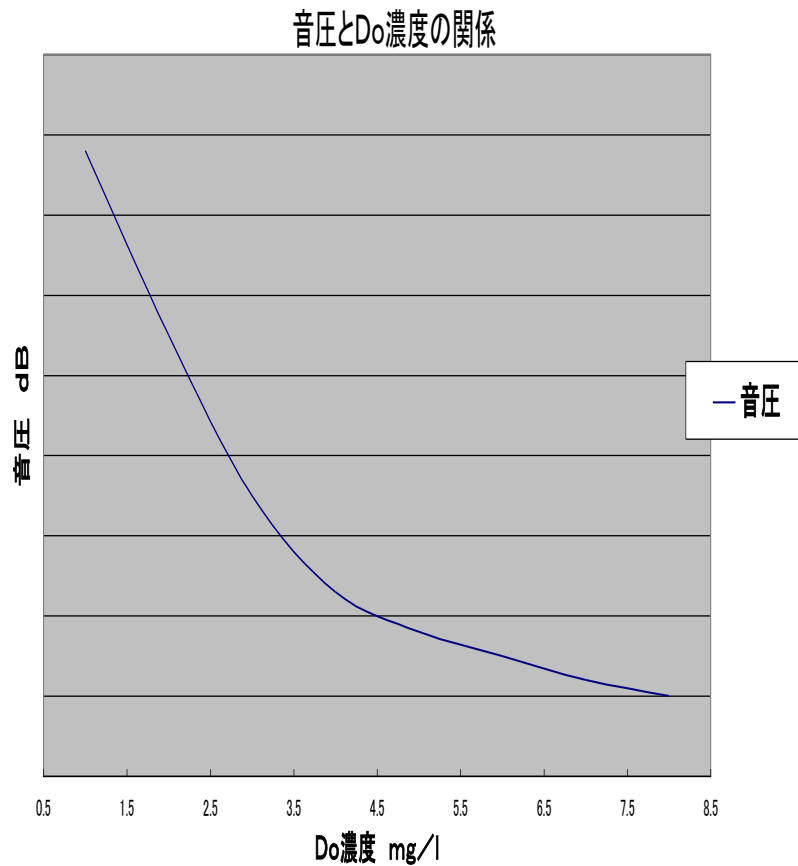


図4 代表的な音圧とDO濃度(溶存酸素濃度)の関係(水の場合)

<液循環の重要性について>

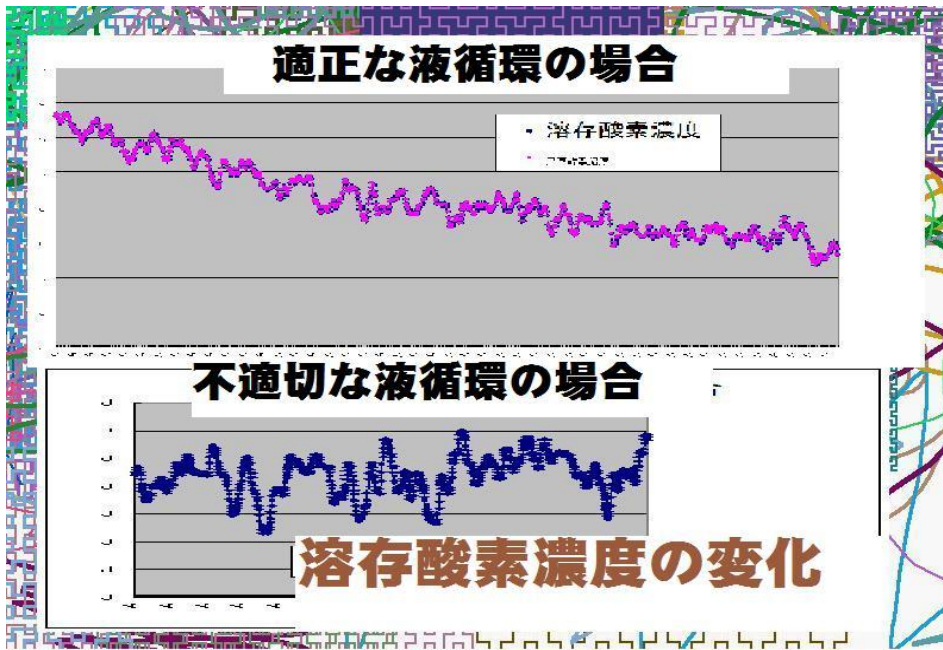


図5 液循環の重要性を示すグラフ

これは、適切な液循環を行うと
溶存酸素濃度を制御することが可能であることを示すグラフです

注意事項として

液面は、大気と激しく反応しています

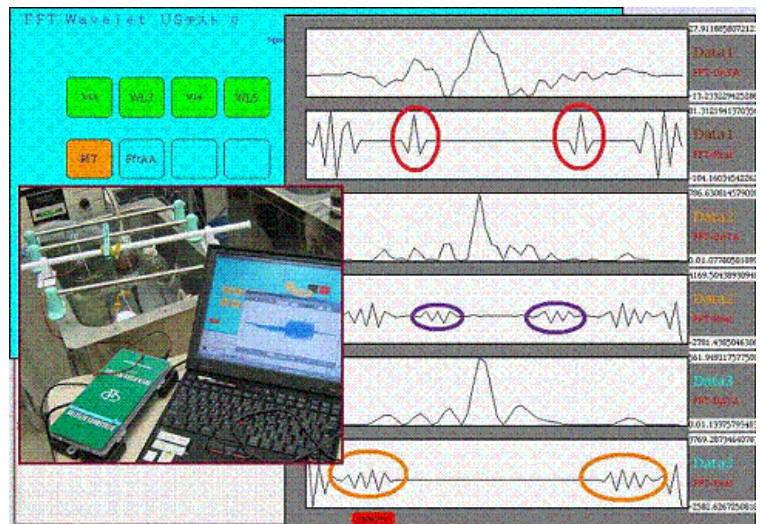
適切な反応により、脱気が可能になります

(但し、循環ポンプと水槽に合わせた流量制御が必要です

液温の制御が可能である場合は、脱気の効率を高くすることが可能です

水槽の液循環は適正に検討して改良すれば

必ず良くなりますので検討を推奨・提案します)



< 脱気装置を利用したDO農度(溶存酸素濃度)の変化 >

洗浄水槽に脱気装置を取り付けた場合の液体と気体の関係を示すグラフ
同一条件による脱気を行ってもバラツキがある
(主要因は 気圧 湿度 液循環 である)

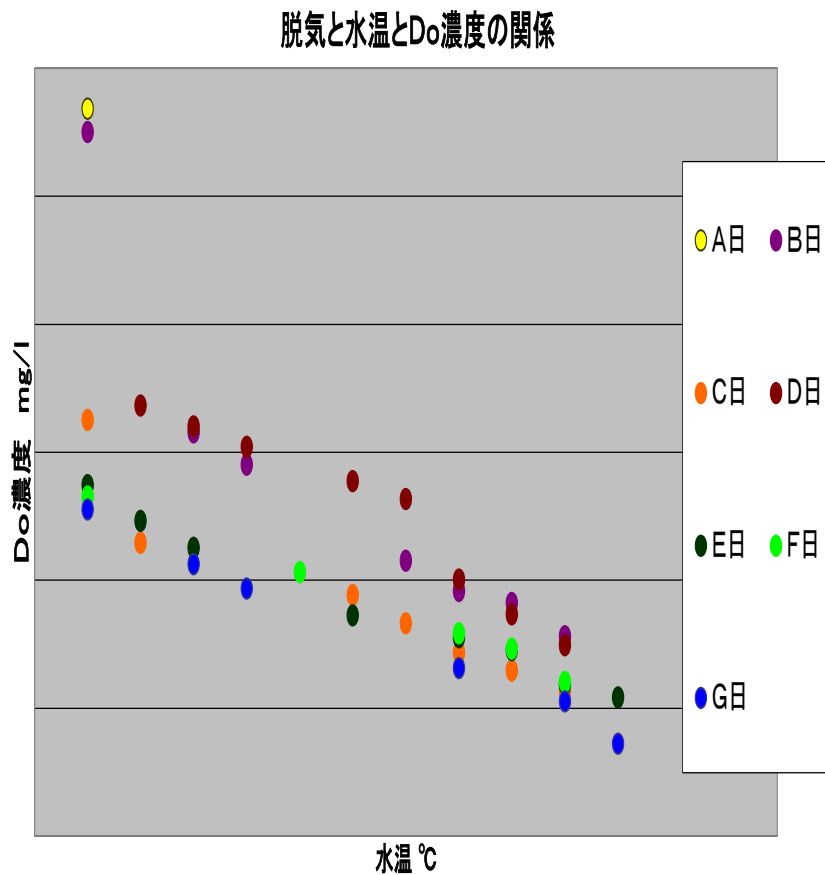


図6 脱気装置を利用した場合の液温とDO農度(溶存酸素濃度)の測定例(水の場合)

<洗浄水槽の液体と気体の激しい反応を示すグラフ1>

季節によりさらに大きなバラツキが発生する場合があります

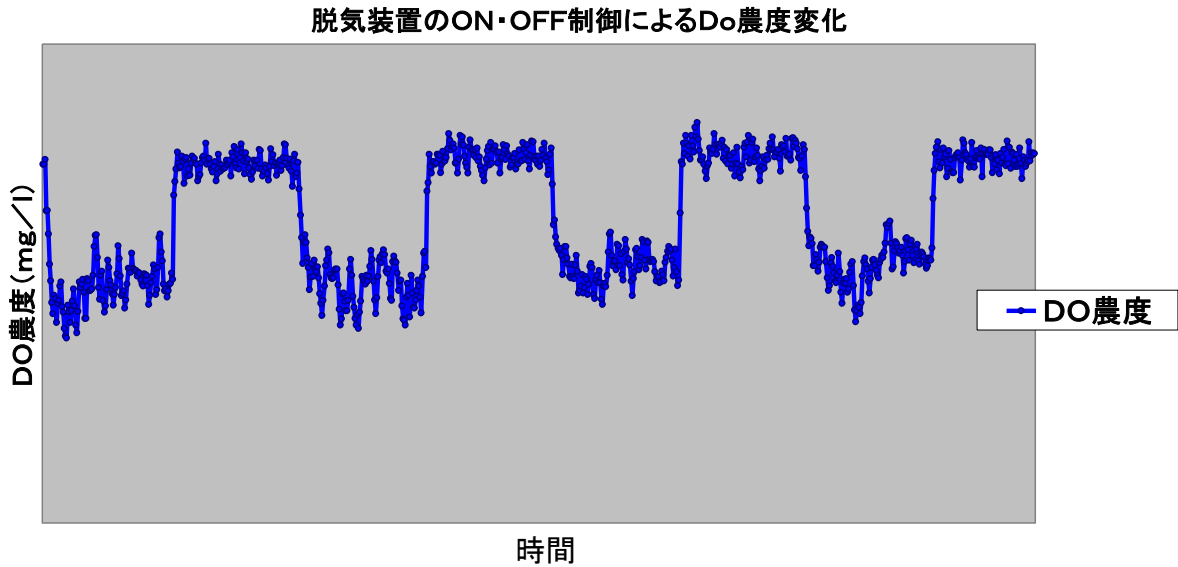


図7 循環ポンプによるDO濃度の変化(水の場合)

<洗浄水槽の液体と気体の激しい反応を示すグラフ2>

ミクロに見た場合に、Do濃度に対する超音波の音圧変化は大きい
液全体の平均的なDo濃度は確実に低下しているが部分的なバラツキがある
このバラツキを小さくする方法としては、液循環と液温管理が必要である

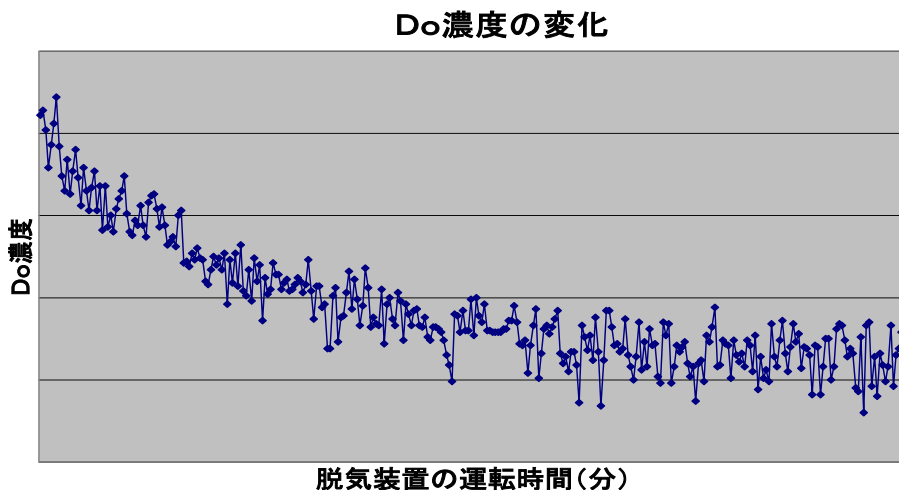
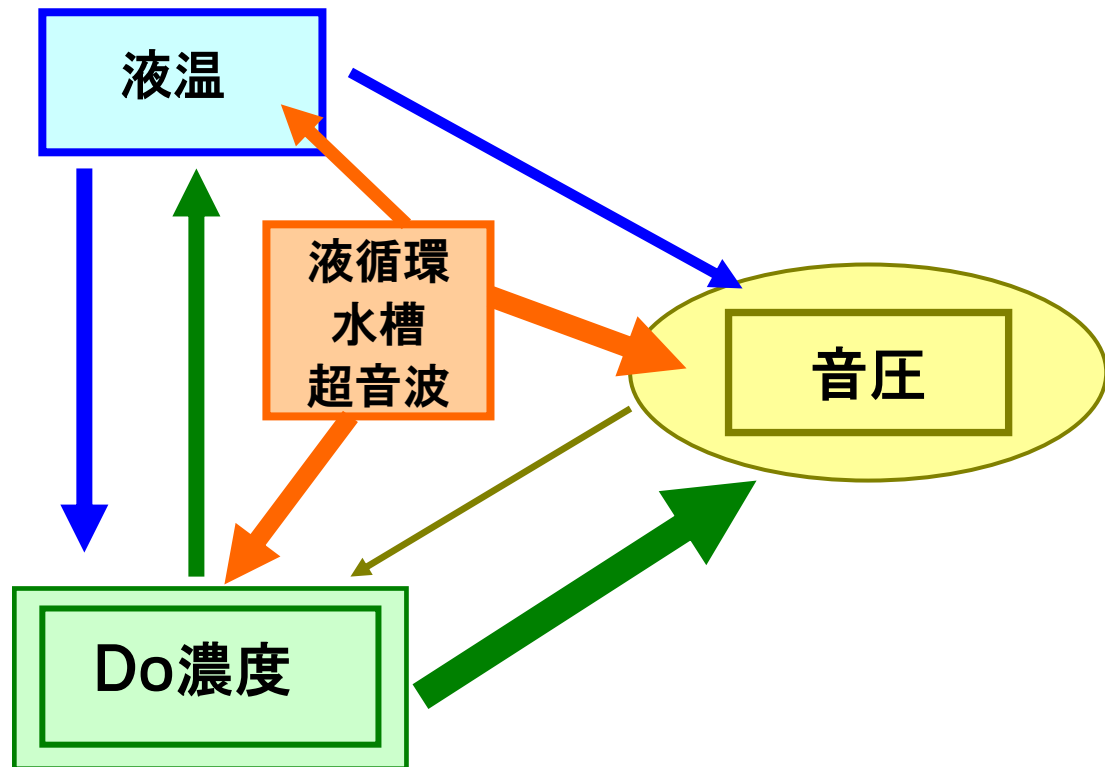


図8 脱気装置を利用した場合のDO濃度の変化(水の場合)

<音圧・液温・DO濃度に対する解析結果1>

関係性の解析(注)を行うと大変複雑(注)な状況が分かる

注:それぞれの要素は強い自己回帰性がある



注:矢印の太さは影響の強さを表している

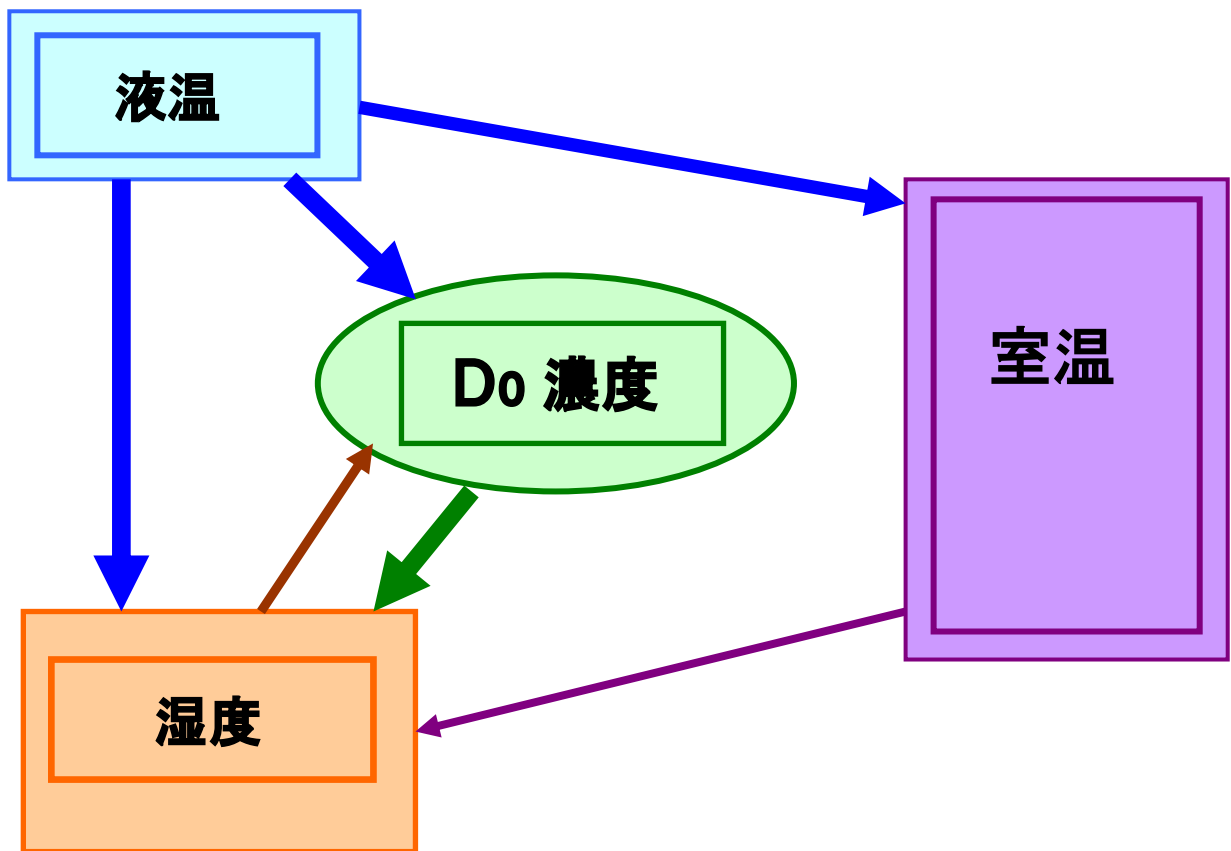
注:時系列データを3変数の自己回帰モデルとして解析する

図9 音圧変化の原因



<室温・湿度・液温・DO濃度に対する解析結果2>

水のDO濃度変化の関係性は、図13-1の通りである
さらに、気圧の値や気圧の変化も無視できない要因である



注: 矢印の太さは影響の強さを表している

図10 水のDO濃度変化の原因

<Do濃度変化の様子を示す測定データ1>

注:Do濃度を制御しないとグラフのような変化がおきています
この変化により音圧は大きく変化しています

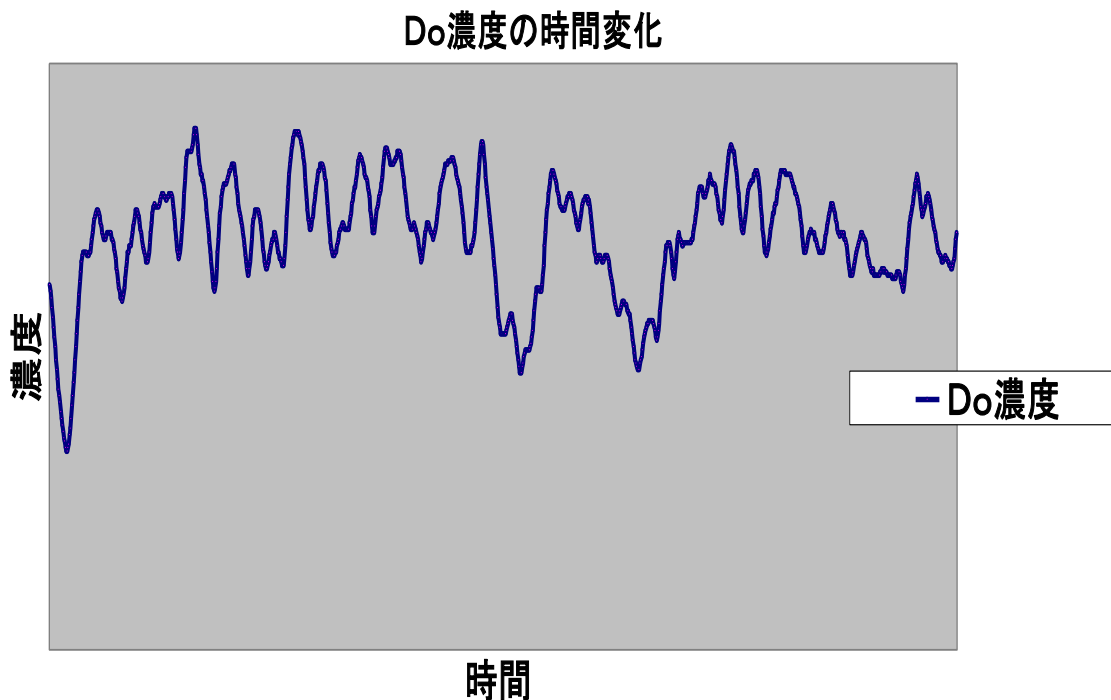


図 1 1 約3時間の標準的な状態におけるDO濃度変化

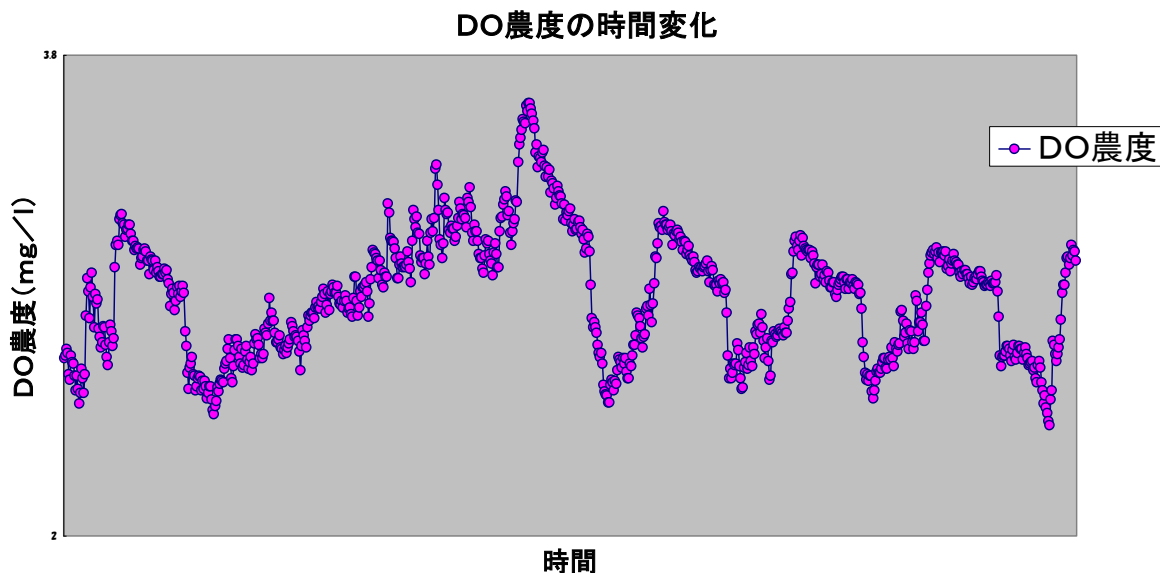
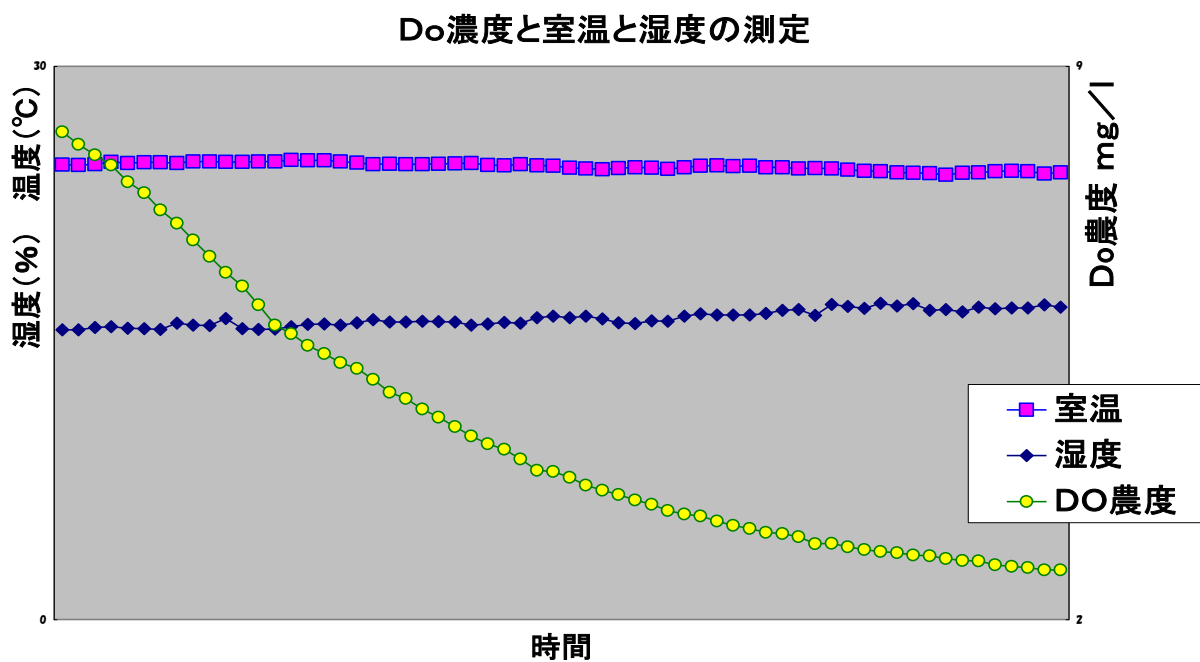
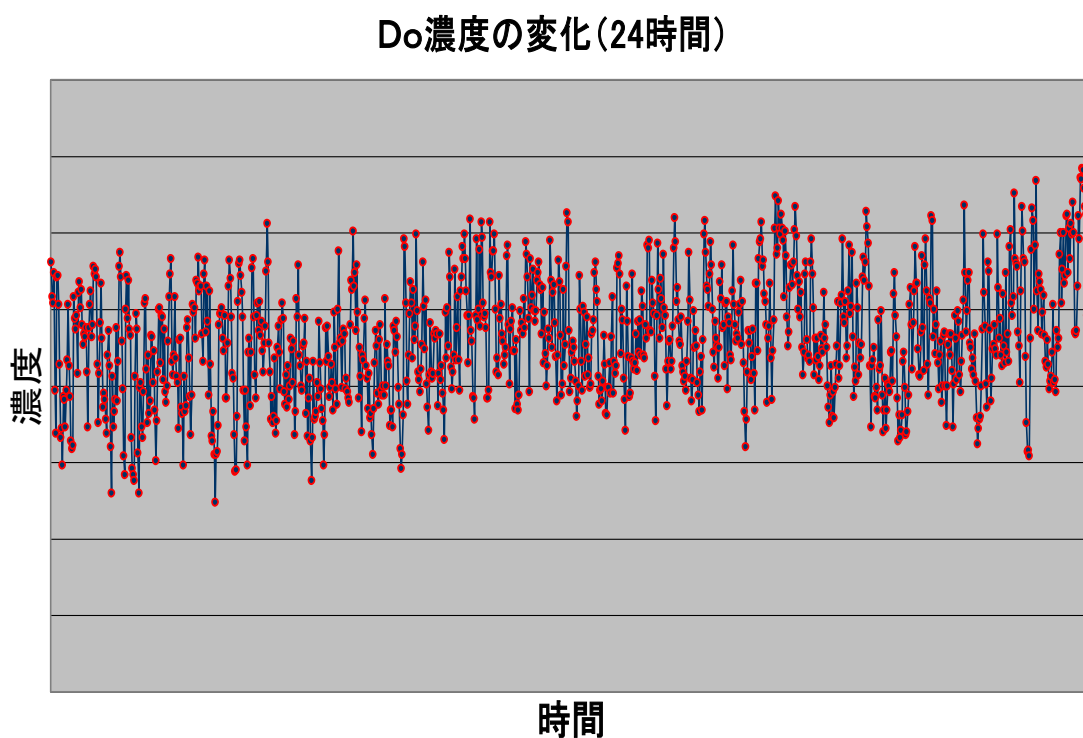


図 1 2 約10時間の標準的な状態におけるDO濃度変化

<Do濃度変化の様子を示す測定データ2> 図13

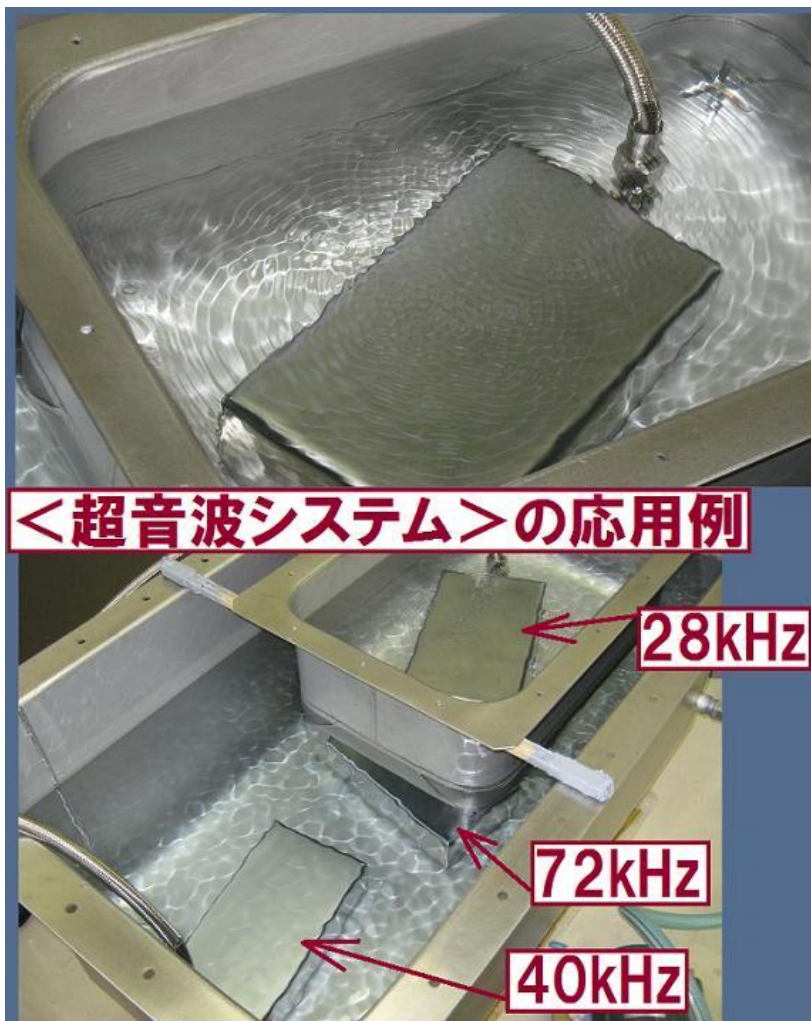


<Do濃度変化の様子を示す測定データ3> 図14

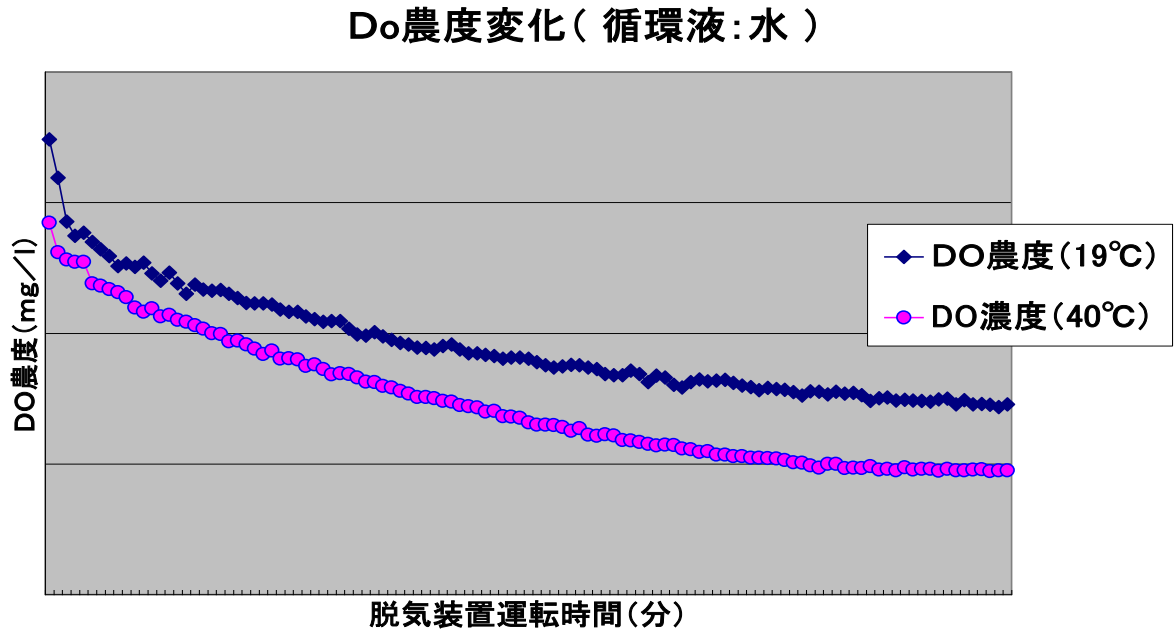


ポイント:安定した環境でも、Do濃度は変化している
 瞬間のDo濃度を測定しても状態を把握することは難しい

超音波により激しく動く液面（高周波の例） 図15



＜脱気装置によるDo濃度変化の様子を示す測定データ1＞ 図16



＜炭化水素の脱気効果＞



図17-1 脱気なし

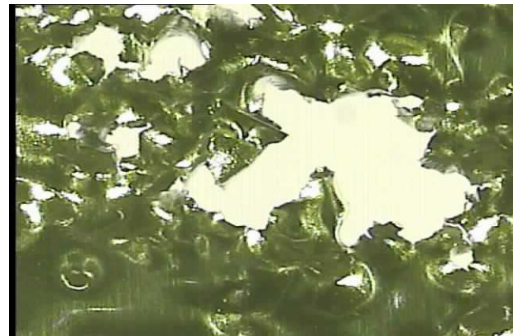


図17-2 脱気あり

＜炭化水素の液循環効果＞



図18-1 液循環無し

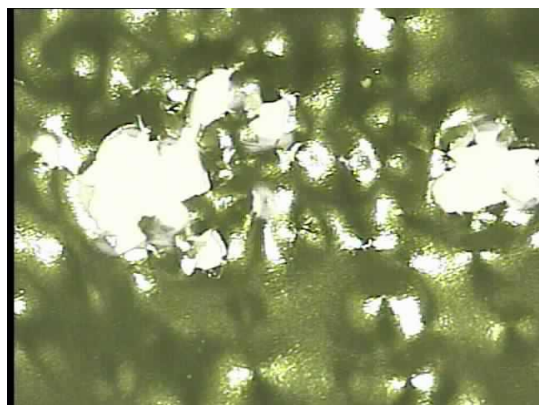
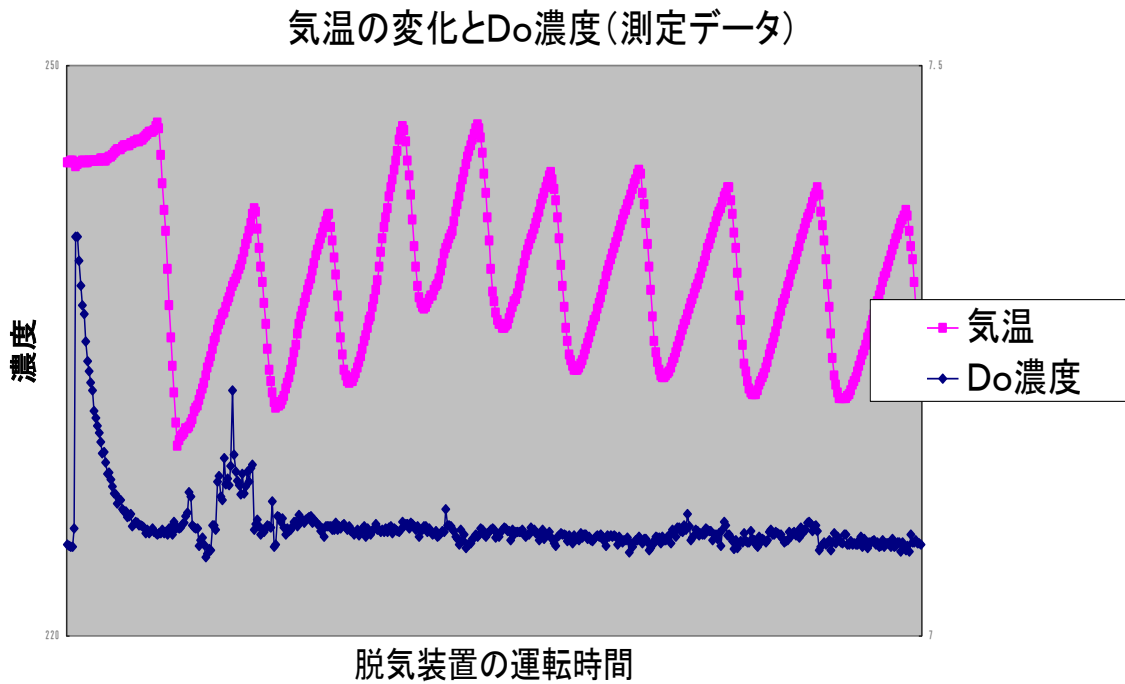


図18-2 液循環あり

＜脱気装置によるDo濃度変化の様子を示す測定データ2＞ 図19

気温に左右されていない脱気を行うと、安定したDo濃度の状態を設定できます

注：毎日この状態(絶対値)を設定するためにはその他の工夫が必要です



＜Do濃度と液温測定＞ 図20

一例を示す測定データです、水槽や液温をコントロール方法により結果は変わります

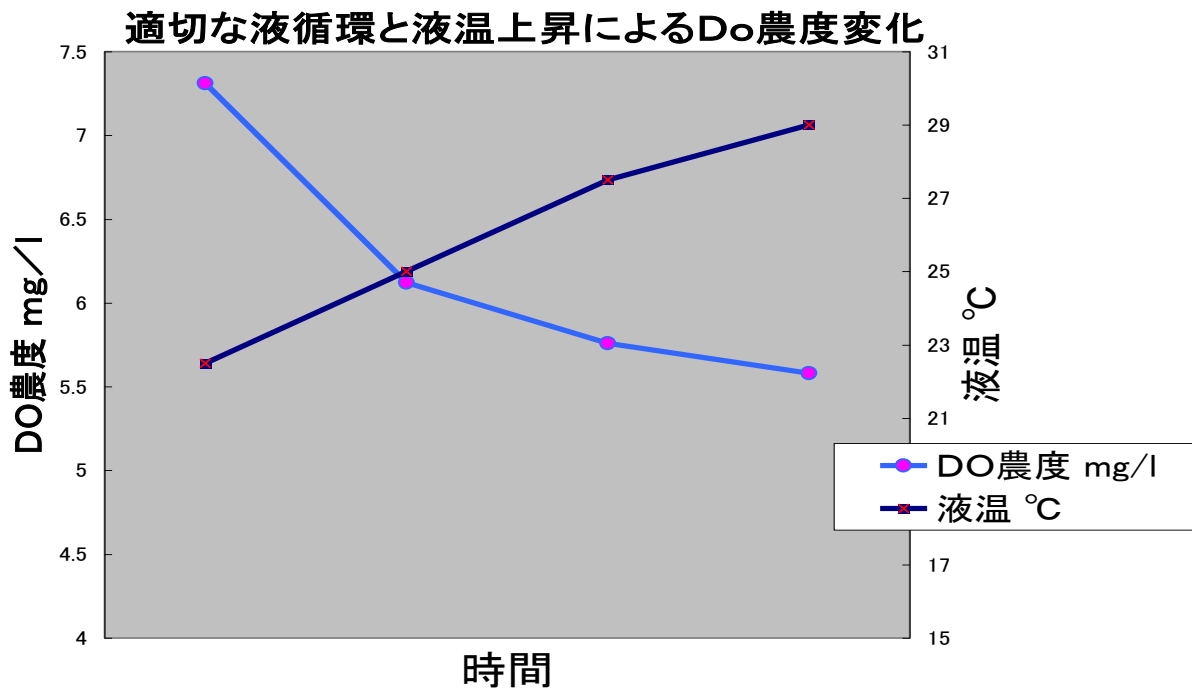


図20 Do濃度と液温測定

<マイクロバブルについて>

液循環用のポンプを以下のように工夫することでマイクロバブルの発生が可能となります
空気を循環液中から取り出し、循環ポンプのインペラで空気をマイクロバブルのサイズにする
そこで、マイクロバブルの性質を調べると次の点があげられます

- 1) 10 μ m程度の気泡は1mをおよそ3時間かけてゆっくり上昇していきます。
 - 2) 発生した気泡同士は非合体で単独に存在することから、分散性に優れています
 - 3) 水の中をゆっくりと浮上し、微小なゴミを吸着して水面に浮上させる性質をもっている。
 - 4) マイクロバブルに強い超音波をあてると微細な泡は70度にまで発熱。その熱を使ってがん細胞を焼くという挑戦が始まっている。
 - 5) マイクロバブルは自ら収縮し、より小さい「マイクロバブル」に変化するという重要な性質を有する
 - 6) ゆるやかな流動と広範囲の拡散特性を有する。
 - 7) 固有の物理化学的特性を有する。
 - 8) 生体に対して生理活性を誘起する。
 - 9) 有機物の混入は、泡の界面の粘性を増加させ、泡の寿命を長くします。
 - 10) マイクロバブルのほとんどは、マイナスの電位を有しており、それが重要な性質として注目されています。
 - 11) 一般に温度が低いほど発生量は多く、高くなると少なくなります。
 - 12) マイクロバブルの圧壊の過程で水中のイオン類が気泡周囲に濃縮することで、静電的な反発力を生じ気泡が完全に消滅することを抑制していると考えられる。(マイクロバブルの圧壊とは、物理的な刺激(水の流動過程で生じる圧縮や膨張、渦流等)を加えることでマイクロバブルが急激に断熱圧縮する現象であり、超高圧・超高温の極限反応場を形成する。この極限反応場により周囲の水分子が分解されて \cdot OHなどのフリーラジカルを形成する。)
 - 13) マイナスの電位は水のpHに依存している
 - 14) マイクロバブルは超音波の散乱特性が優れている
 - 15) マイクロバブルは超音波照射の際に共振現象として崩壊する
- 以上の性質は今後さらに解明されていくと思われませんが、現状では不明な点を多く含んでいます

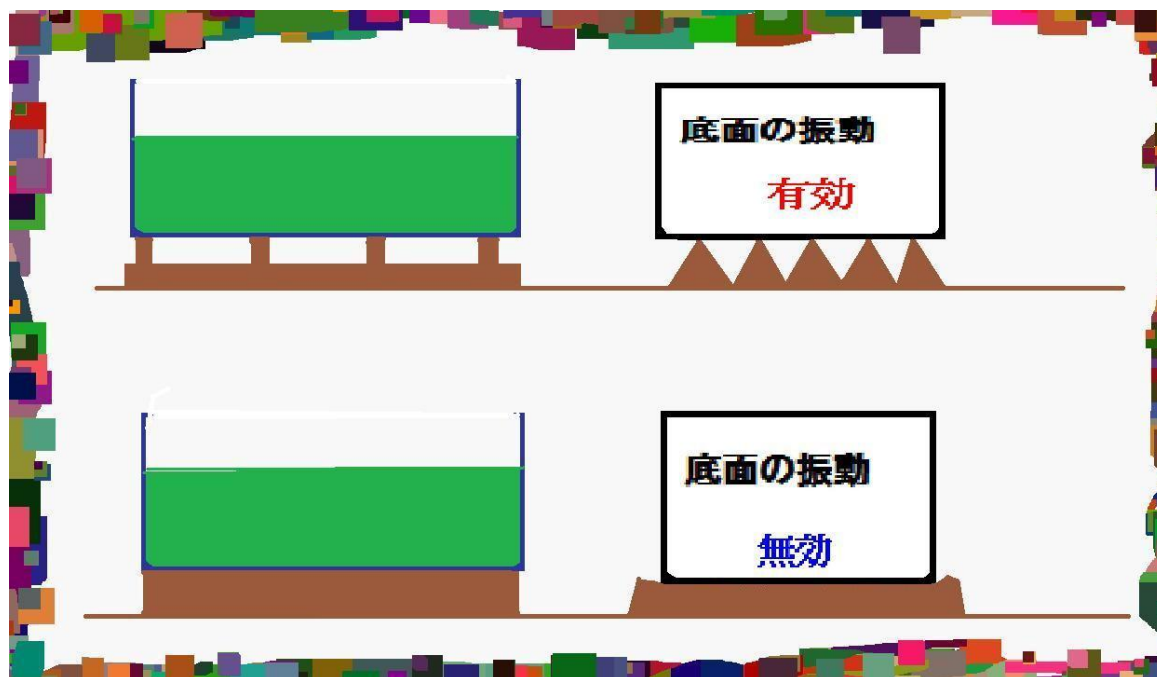
<説明:マイクロバブル・ナノバブルを発生する方法について>

- 1) 脱気が進むとポンプでは脱気レベルはこれ以上できない時点に到達する
- 2) この時点はポンプによる脱気と水面から空気が入る量が安定した状態になる
- 3) 少ない空気をポンプの吸引力で取り出してインペラの回転でせん断することで小さな気泡を造る
- 4) これがマイクロバブルであり、ナノバブルです 注:水槽や液循環が悪いと上記の効果が起こりません



<実施例>

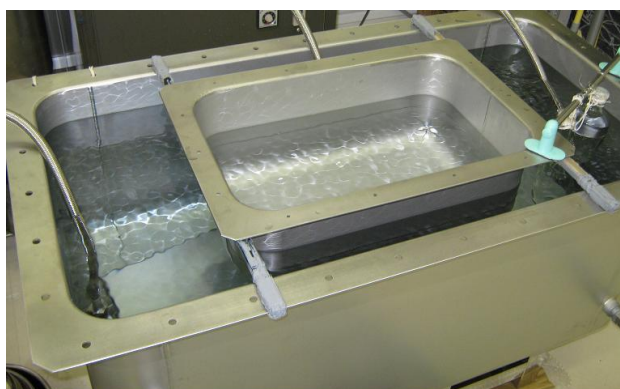
水槽の設置方法に関するヒント 図21



コメント

超音波の振動モードと水槽の液を含めた振動モードを適切に利用することが大切です
振動モードが干渉して非効率になると超音波の効果がなくなってしまいます
振動モードは液の状態により変わりますので、状態を適切に把握して制御することが必要です
現状は多くの場合、水槽の振動モードを無視したような使用例が多く、超音波の効率が低い状態です
上記の上下の図の違いにより、

- 効率は 1) 出力で10倍(超音波の出力 100w と100w以上)
2) 音圧の強さと広がり で 強さ5倍、広がり 20倍
と言う結果を経験しています



複数の超音波(振動子)を利用した

超音波システム

<φ 0. 5mの間接水槽の超音波発振状態の例>



図 2 2

注:間接水槽を使用することで水槽の音圧は高くなり、間接水槽内の音圧はさらに高くなる
(水槽の形状や構造を適切にしないと音圧は低くなる場合もあります)

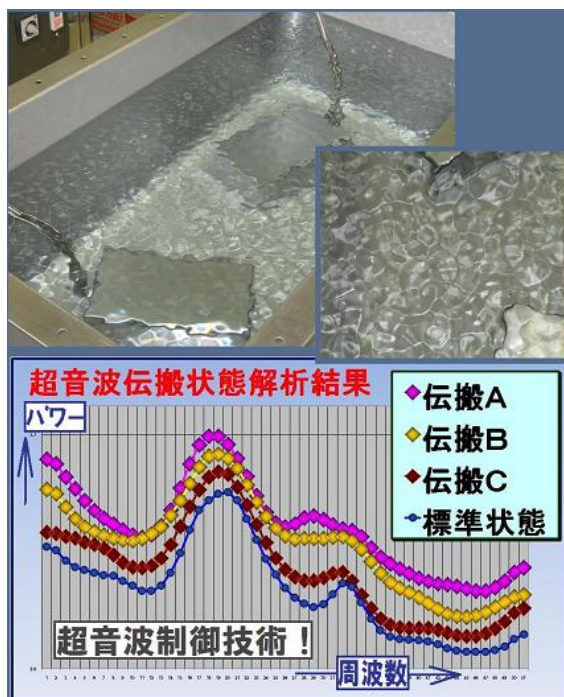
100リットル以下の場合:

ジャグリング制御を行うと1分以内で、音圧が均一なこの状態になります)

理由:水槽構造の影響による、各種条件の安定性が高いため

100リットル以上の液体をある程度均一にすることは難しい問題です

特に、液面の反応やよどみの部分による分布を均一な報告にするためには
ジャグリング制御のような工夫が必要になります



<音圧・液温・DO濃度に対する解析結果> 図23



関係性の解析（注）を行うと大変複雑（注）な状況が分かります

注：それぞれの要素は強い自己回帰性があります

注：矢印の太さは影響の強さを表しています

注：時系列データを3変数の自己回帰モデルとして解析します

現実的な対応としては

「オーバーフロー水槽を利用することで」

適切なコントロールが可能になります

コメント

オーバーフロー水槽の効果は、洗浄液の状態が適切な状態になると

重要なパラメータになります

洗浄目的にあわせて、空気の取り込み量（水面の段差）や

均一化（水量と広がり方、オーバーフロー水槽の設計構造）を最適化する必要があります

（ 流体の解析・機械設計・制御システム開発 等の経験によりすぐに検出対応することが可能です

思い当たる事項のある人は、是非見直しと検討を行ってください

必ず結果が出ると思います

確認のため状態のデータ採取・解析には「時系列データの解析」を行う必要があります ）

<水共振状態>

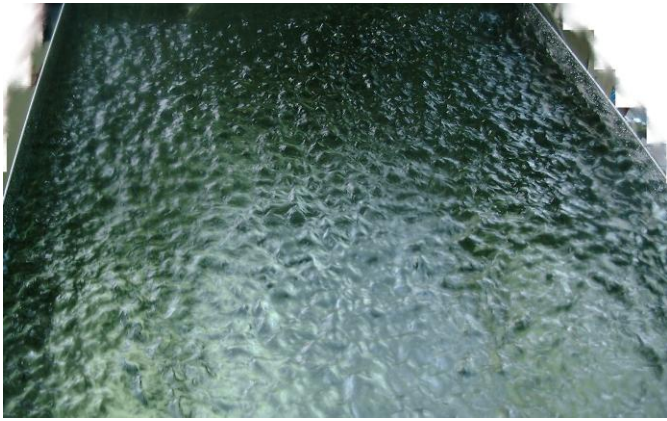
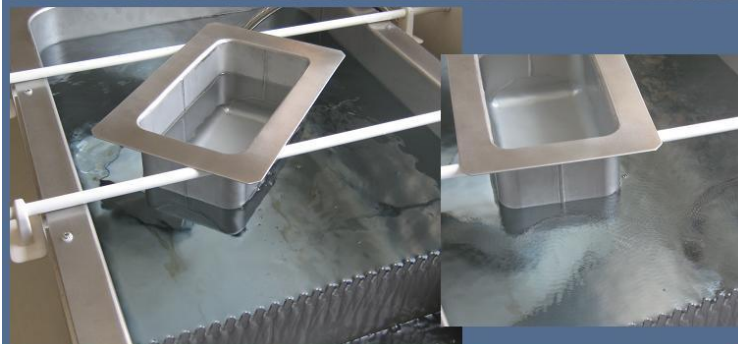


図 2 4 (水槽サイズ:200cm*100cm*45cm(h 液深 30cm))

説明:超音波 1台 と 脱気装置 2台 により共振現象発生
水面全体が均一な音圧になっています



**複数の超音波振動子を利用した
超音波(キャビテーション)制御技術**

< 具体的な改良ポイントの説明 >

超音波の減衰を少なくし、超音波の音圧を強くするために

- 1) 水槽の強度を高くする
- 2) 水槽の角部は曲げ加工にし、溶接部は均一できれいな仕上がり状態とする
- 3) 洗浄液の溶存気体を一部除去する(溶存酸素の場合 2~5mg/l)
- 4) 洗浄液の溶存気体濃度と液温の分布が均一になるように液循環を設定する
- 5) オーバーフロー水槽とヒータがある場合には、液温の上昇と液循環により溶存気体が除去されるように設定する
- 6) 超音波の振動子を水槽の強度が高い場所にセットする
- 7) 振動子の発振を制御する
- 8) 複数の周波数の振動子出力を制御して発振させる
- 9) 振動子の発振周波数と出力を変化させる制御を行う

(振動子の周波数と出力の制御の変わりに(洗浄物に同様な効果があるように) 洗浄治具や洗浄物を制御動作させることでも洗浄効果は実現可能です)

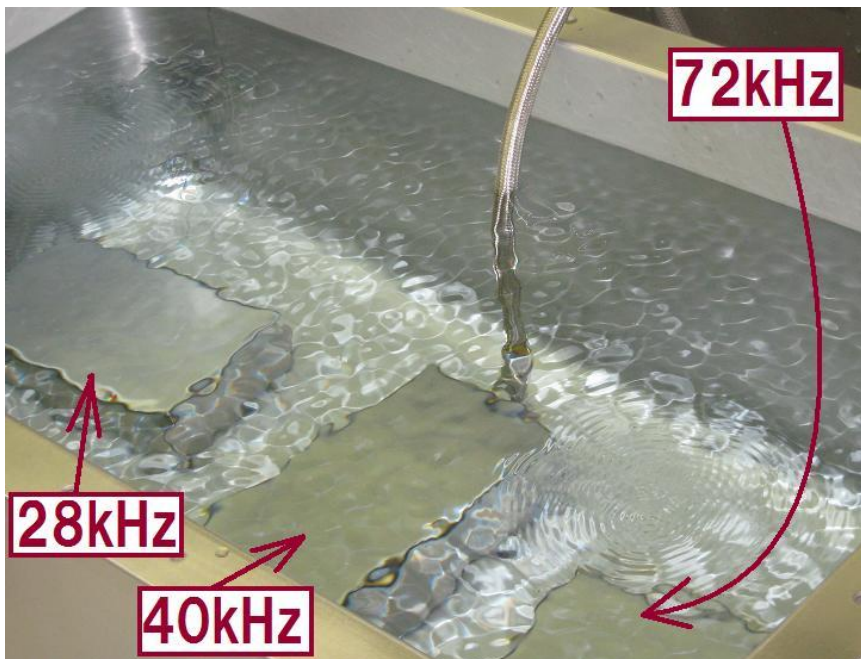
他(洗浄については情報が秘密保持されている場合と複雑なため効果の原因が厳密に追求されていないため、まだまだ沢山の効果的な改良や適合した方法があります)

例 超音波による騒音の問題なども洗浄液や水槽を含めた検討を行うと解決できます

例 超音波によるOHラジカルの発生により、汚れの油成分を分解することが可能です)

以上の対策や検討を適切に行うと超音波の減衰が小さくなり、水槽内で反射を繰り返し数倍から数十倍の音圧を水槽内に実現できます

注: 詳細な方法については個別の対応が必要です



<洗淨水槽の設計>

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

- 1) 水量と超音波の力に対するコーナーの設計(アール加工)
- 2) 超音波の減衰対策としてコーナーでは溶接を行わない構造とする設計
- 3) 水槽構造として強度バランスから板厚を設計
(低周波の超音波では4mmの板厚を必要とする場合があります)
- 4) 強度補強としてのリブや絞り部の設計
- 5) 水槽の固定方法(ガイド部材の取り付け 等)
- 6) 低振動モードを発生させない設置に対する設計
- 7) 最適液循環を行うための配管位置設計
- 8) 全体のバランス(強度)
- 9) サイズ効果に対する経験からの考慮した設計
- 10) 洗淨目的に対する合理的な設計思想
- 11) 製造方法と価格の想定

<溶接部について>

板厚1.5mmの板金に対してR5mmで90度に折り曲げる部分を多くし、溶接部は平面の突き合わせとすることで、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淨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強い超音波洗淨を可能にします

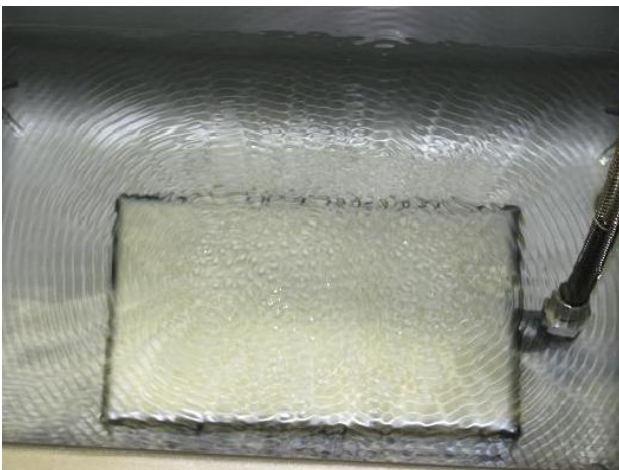
<噴流水による自励振動について>

この自励振動は、高周波の超音波洗淨における新しい方法のヒントになると思います

音場(洗淨物・音響流・放射体・気泡)の条件に噴流の自励振動は洗淨の実状を説明する重要なパラメータではないかと考えています

<アイデアの概要>

気泡の近傍で形成されるマイクロ流を自己組織化することで洗淨力のある音響流が構成できるのではないかとこのアイデアです



<液循環について>

水槽の上部液を取り込み、水槽下部に液を吐出します

上下の液の分布を改善するために、単純な一定流量の条件のもとで3次元的な均一化を行うための現時点での最適位置があります

実際に製作して動作確認を行い、これまでの装置に比べ超音波の音圧が高く安定していたので、水槽条件(配管・溶接)と液量に関する基準モデルが出来上がります

(ノウハウについて 黄金比(近似値 1:1.618)を利用して設計します

洗浄効果のある水槽には 1:1.5~1:18 の比率が沢山あります)

<音響流とキャビテーションのバランスを最適化する>

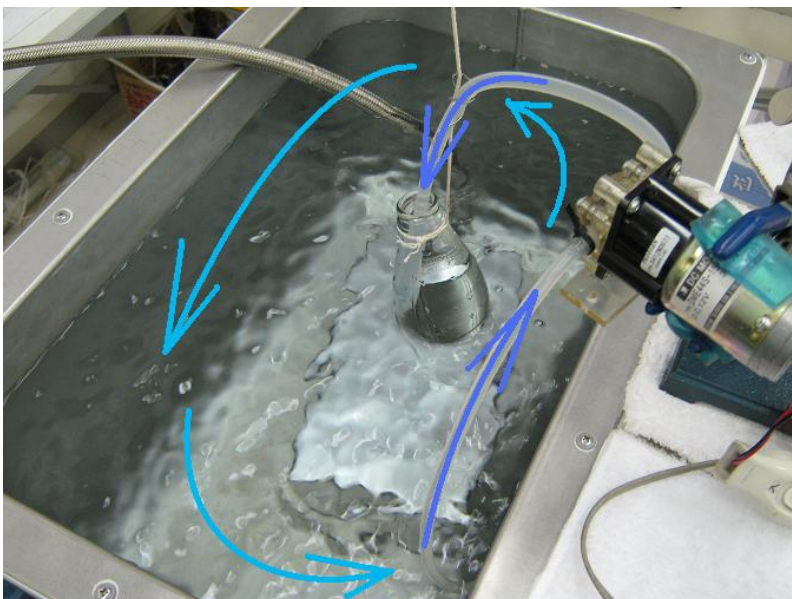
- 1) 洗浄液が淀まない洗浄水槽を使用する
 - 2) 強度について、特別に弱い部分のない洗浄水槽を使用する
 - 3) 洗浄液の分布を均一にする(Do濃度、液温、流速 等)
 - 4) 振動子の上面の洗浄液の流れを調節する(流量・流速・バラツキをコントロールする)
 - 5) 超音波の周波数と出力にあわせた液循環を行う
 - 6) 機械設計としての洗浄水槽の強度は超音波周波数に対して設定する
 - 7) 洗浄水槽の製造方法を明確にして、超音波の水槽による減衰レベルを設定する
 - 8) 流体に対する洗浄水槽の特性を明確にする(例 コーナー部の設計)
 - 9) 超音波の周波数・出力に対する洗浄水槽の特性を明確にする
(振動子・振動板の位置と水槽の関係を調整する 洗浄水槽の超音波伝播特性を明確にする)
 - 10) 洗浄システムとしての制御構造などとの最適化を行う
- 以上のパラメータを念頭に超音波洗浄を検討する(あるいは、現状の洗浄を見直す)

コメント

音響流とキャビテーションは相反する現象だと考えています

しかし、どちらかをなくすことは大変難しいため

バランスを調整し、最適化することが重要だと考えています



<洗浄水槽の設置について>

水槽の設置は、水槽底面の振動を有効に利用するために大変重要です

水槽底面の振動を有効に利用すると超音波の音圧が高くなることで、水槽の強度が問題になります
つまり、最適設計が必要になります

主要な設計パラメータは以下の通りです

- 1: 超音波(周波数・出力)
- 2: 水槽構造(超音波の音圧変化も考慮に入れる)
- 3: 洗浄液(液の劣化も考慮に入れる)
- 4: 水槽設置
- 5: 超音波設置(水槽の振動子(板)設置位置の問題)
- 6: 液循環(液全体の交換頻度も考慮に入れる)
- 7: 洗浄物
- 8: 洗浄治具
- 9: 音響流とキャビテーションの洗浄効果(あるいは洗浄実験結果)

設計上は少なくとも上記のパラメータについて設計思想を明確にする必要があります

コメント

上記のような設計を行うことにより、設計レベルの向上とともに、超音波の効率的な利用が可能となります

超音波の音圧の制御が可能になり、洗浄力を向上させることができます

ポイントとしては、超音波照射による洗浄液の力は、水槽に対する静的な設計では不十分であり、動的な構造設計を必要とするということです

そのためには材料力学に対する知識・経験が大変重要になります

また、循環ポンプ等による回転部品による振動に対する考慮も必要となります(機械振動工学に対しても知識と経験を必要とします)

そして最も重要なことは、材料に対して

- ① 製造技術
- ② 機械的強度推定技術
- ③ 処理技術

を考慮した上で、使用する超音波レベルに対して適応させた設計を行うことです

<洗剤による超音波洗浄時の騒音原因>

- 1) 洗浄水槽の構造による場合
- 2) 洗浄水槽の製造方法による場合
- 3) 流体に対する洗浄水槽の特性が原因の場合
- 4) 超音波の周波数・出力と洗浄水槽のバランスが悪い場合
- 5) 洗浄水槽の液循環が原因の場合
- 6) 洗浄システムとしての制御シーケンスが悪い場合

以上の原因に対応するためには

「流体力学・機械振動工学・超音波工学を理解して洗浄システムを最適化すること」が最も重要になります

具体例：洗剤を使用した場合のうなり音の原因は洗浄水槽内の不安定な洗浄液の流れです

対策としては、洗浄液の均質化（液温、流速、等）を行うことが必要です

場合によっては、強力な部分液循環を行うことで全体的な均質化が促進する場合があります

（単純な対応方法はありません、流体力学・機械振動工学・超音波工学に基づいて

具体的な装置に対応した検討を行う必要があります）

注：以上の通り、流体力学・機械振動工学・超音波工学をより深く研究していく必要があると思います

<洗浄における超音波制御>

ジャグリング制御の基礎となった制御

洗浄における超音波制御の例を提示します

制御条件

水槽・超音波・洗浄液・液循環がある程度バランスよく設定されている

制御手順

- 1) 周波数変化発振による超音波の共振状態を数分間継続する
- 2) 周波数変化発振をOFF状態にする
- 3) より強く、より均一で、時間変化のみが大きい状態の音圧が数分間継続する
- 4) 大きな騒音が発生する前に周波数変化発振をON状態にする
- 5) 上記の1)～4)を繰り返す

注意：上記の数分間は液の均一化に起因する値です

より安定した状態を設定できると強い音圧の状態の継続時間は長くなります

コメント：上記は原則であり、ノウハウです

実施時は各種設定状況に合わせて調整することが大切です

特に液量が多い場合に対しても効果を確認しています（400～1200リットル）

＜オーバーフロー水槽を使用した洗浄＞

脱気装置とオーバーフロー水槽の組み合わせで、音圧コントロールを行うことができます
より効率的に行うためには、液循環と汚れのフローについて検討することが大切です
適切な液循環が行われているかどうかを確認する方法を提示します

洗剤を入れ騒音を聞くことで判断できます

(超音波の騒音は繰り返し聞くと原因が分かるようになります)

供給水の流量と液温により一つの最適状態を設定した水槽の状態

例

洗浄水槽: 75cm * 42cm * 40cm(高さ 液深: 30cm)

オーバーフロー水量: 毎分20リットル

オーバーフロー高さ: 5-10cm

コメント

上記のように検討すると洗浄効果を高める工夫は沢山あります

洗浄物と洗浄目的にあわせて組み合わせを検討することが大切だと思います

＜整流板の設計＞

洗浄液を均一な流速で液循環させるために必要な整流板の設計方法について、注意事項を提示します

整流板の設計標準

50%以上の開口率のパンチング板を使用する

パンチング板を複数枚(2枚以上)使用する

パンチング板は5cm(以上)の距離で設置する

パンチング板は大きいほど良い

パンチング板に直接洗浄液を当てないようにする

(水槽にぶつけた液が反射してパンチング板に当たるようにする)

コメント: 上記は原則であり、ノウハウです

設計時は各種設計状況に合わせて調整することが大切です

私は標準としては5cmのところを2cmで対応しましたが、効果は

その分だけ悪くなりました

整流板の設計とは騒音対策と音圧の均一化対策の部品設計を意味しています



<脱気と洗浄力についての対処方法>

<< 説明の準備としての資料 >>

事実1:脱気により音圧は高くなったが洗浄結果は悪くなった

事実2:脱気により音圧が均一化されたが洗浄結果は悪くなった

事実3:脱気と液循環(吐出位置、循環量、他)の組み合わせにより洗浄結果が大きく変わった

事実4:音圧測定は時間のパラメータによる特性の違いがある(図30, 31)

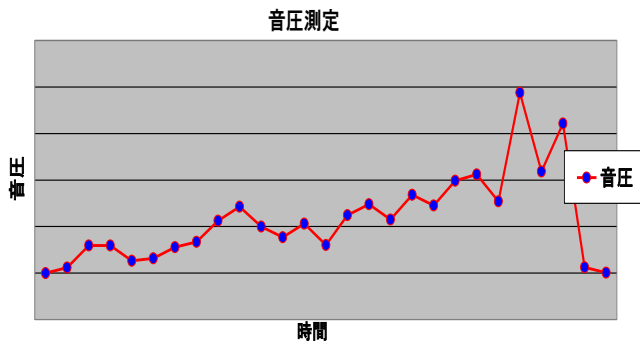


図 2 5

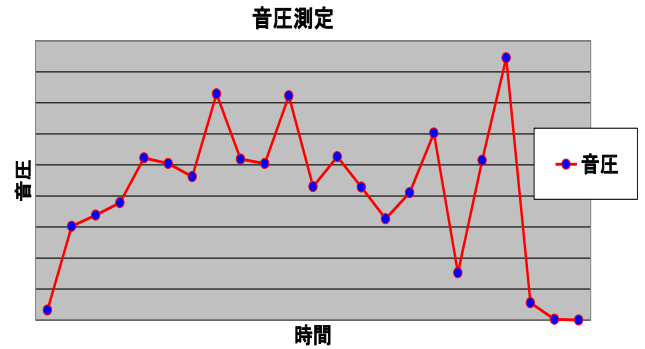
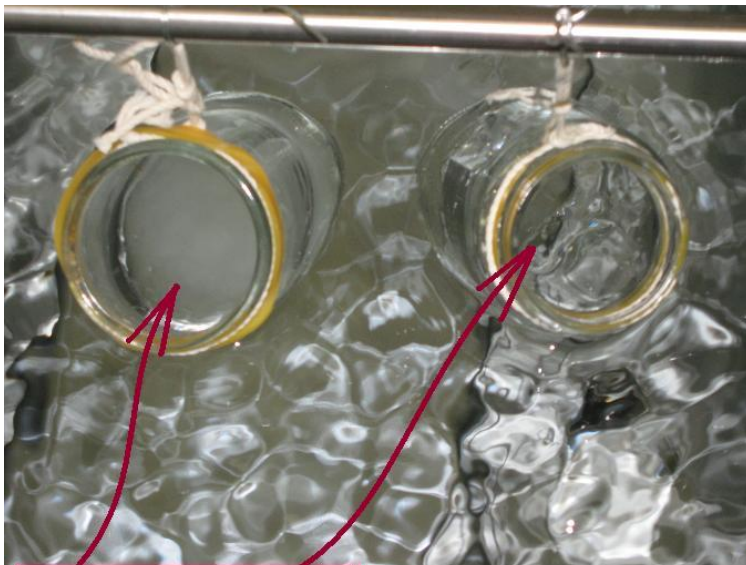


図 2 6

事実5:脱気により洗浄結果が良くなった

情報1:「1MHzの高周波の超音波が、洗浄に使われているが、この場合は、主に音響流や超音波に伴う加速度により洗浄され、キャビテーションの効果は小さいが、いまだ完全には解明されていない」

情報2:「圧力波の場合、複雑さを生むポイントは、液体中の気泡が、それ自身の運動、特に、膨張・収縮(体積)運動によって音を発生することにある。」



案:オゾン水!

<< 新しい考え方 >>

(問題提起 詳細を省略し、概要を提示します)

- 1) 低周波でも加速度による洗浄効果がある
- 2) キャビテーションと加速度による洗浄効果の調整は脱気装置・液循環・超音波発振により制御可能である
- 3) キャビテーションによる洗浄力は、音圧の均一化が進むと音圧を高くしても小さくなる
- 4) 音圧の均一化を進めていくと、水槽・超音波・気泡の固有振動数に適応した状態にする必要がある
- 5) 洗剤と脱気装置の関係の複雑さの主要原因は、洗浄液の変化・変質である(特に、洗剤の性質により溶存空気と外気の関係性の変化は洗剤毎に異なる)

コメント

上記の項目について、洗浄物・汚れの検討を行い、超音波洗浄を提案することが大切だと思います

「超音波→キャビテーション→洗浄」

という連想では現実の洗浄への対応は難しいと思います

洗浄力・騒音に対しては上記の事項についての理解(あるいはモデル化)の上で検討してください

<洗浄カゴについて>

洗浄カゴは超音波を減衰させます、そのために減衰量が小さいカゴを製作する必要があります

カゴの構造としての強度が大切です

上記のようなカゴにより、超音波の減衰を小さくすることが可能です

この技術の応用として、洗浄バットに穴を開けた洗浄治具の利用などが考えられます

安定した超音波の洗浄力のためには、洗浄カゴ・治具にたいしてもっと検討していく必要があると思います

このカゴは騒音対策にもなります

効率よく超音波を安定させるためには詳細な設計・製造が必要です

最終的には、設計のバランスを最適化することがノウハウです

<ダンシングファウンテンに関する資料>

水流が液面に当たる時、非線型な相互作用によって、

液面がダンスを踊るように振動する事があります。

コメント

超音波洗浄に関連した重要な研究だと思います

カオスとしての自励振動現象は今後確実に応用が広がり、洗浄を変えていくと思います

単純な応用は、揚動装置の変わりに実施が可能だと思います

< 新しい超音波システムの制御 !! >

<< シャノンのジャグリング定理の応用 >>

シャノンのジャグリング定理

$$(F + D) * H = (V + D) * N$$

- F : ボールの滞空時間 (Flight time)
- D : 手中にある時間 (Dwelling time)
- H : 手の数 (Hands)
- V : 手が空っぽの時間 (Vacant time)
- N : ボールの数 (Number of balls)

応用

- F : 超音波の発振・出力時間
- D : 循環ポンプの運転時間
- H : 基本サイクル (キャビテーション・加速度のピークの発生する)
- V : 脱気装置の運転時間
- N : 超音波出力の異なる周波数の数

説明

各種データの時系列変化の様子を解析 (注1) して、
時間で移動するボールのジャグリング状態に相当する

超音波の音圧サイクル、
超音波・循環ポンプ・脱気装置の関係性
システムの影響範囲 を見つけます

この関係性からボールN個のジャグリング状態を設定して制御を行うと、
自然なシステムの状態に適した制御となり、効率の高い超音波システムとなります
F・D・Vの関係は時間の経過とともにトレードオフの関係になります、
そのために各種の運転として他の条件を停止させた状態で運転する方法が必要になります
これまでにも、結果としては適切と思える状態が発生することがありましたが
数日から数ヶ月後には適切でなくなり、再調整することがありました
このような経験の中から適切なモデルを検討していましたが、
ジャグリングモデルは大変良く適合するとともに、高い効率と安定性を示しました
超音波の目的 (キャビテーションの強さ、加速度の強さ、 等) に対して、
各種の運転時間調整で対応することが可能です
但し、一般的な時間を提示できないのはシステムの系として
水槽やポンプの構造による影響が大きいいため、そこに合わせる必要があるためです

特に、水槽の強度バランスが悪い場合は適応できません

(理由は水槽自身に大きな振動の吸収あるいは減衰する傾向があるためです)

参考として、単純な応用例

300リットルの水槽で30リットル毎分の循環ポンプと脱気装置の場合

超音波1		-----	
超音波2	-----		-----
脱気装置	---	---	---	...
循環ポンプ		---	---

超音波出力：2分 100-200ワット、 脱気装置 1分、 循環ポンプ 1分

ポイント

システムを「時間で移動するボールのジャグリング状態」として捉えることが重要です
トレードオフの関係にあるパラメータを適切にバランス運転することを可能にします
通信の理論を考えたシャノンがジャグリングの理論を考えた理由もそこにあるように思います

注1) 情報量基準を用いた時系列データの多変量自己回帰モデルによる解析

注2) 新しい発想ですので、特許による制約等はありません、自由に应用発展させてください

(上記の脱気装置(ヒータによる液温管理)と循環ポンプ(オーバーフロー水槽)は水槽構造により不要になる場合もあります

その場合にもモデル化による設定と制御により非常に高い効率が実現できます

1500リットル以上の水槽でも、

2種類の周波数による500ワット以下の1台の出力で制御により安定した強い均一な状態を実現しました

簡単な実験で確認してください、溶存酸素濃度の絶対値は問題ではありません、

バランスをとればどの様な状態(天候や水槽等の環境)でも水槽全体に超音波が広がります

超音波の状態を理解して検討するためには

流体力学(三次元非定常圧縮性粘性流れ・ソリトン・液体の状態)を正しくイメージすることが重要だと思います

しかし、不思議なくらい再現性と安定性がありますので実験で確認することを提案します)

注3) 強い振動が水槽全体に広がるので、水槽の構造に弱い部分があると水漏れ等の問題が発生します
特に、角部での溶接は注意が必要です

注4) 十分な説明は難しいとおもいますが、効率は実際に製作することで上昇しつつあります
(水槽に黄金比を採用することは強度以外に流体に対する影響が大きいように思います)

<モデルと現状のシステムとの関係性について>

(考察する場合の注意事項)

- 1) 先入観や経験は正しくないことがあると考える必要があります
 - 2) モデルの本質を考えるためには、**圏論**(注)を利用することが有効だと思います
(実際に応用化学や量子論などで積極的に利用されています)
- 注: **圏論**は、**数学的構造とその間の関係を抽象的に扱う数学理論**

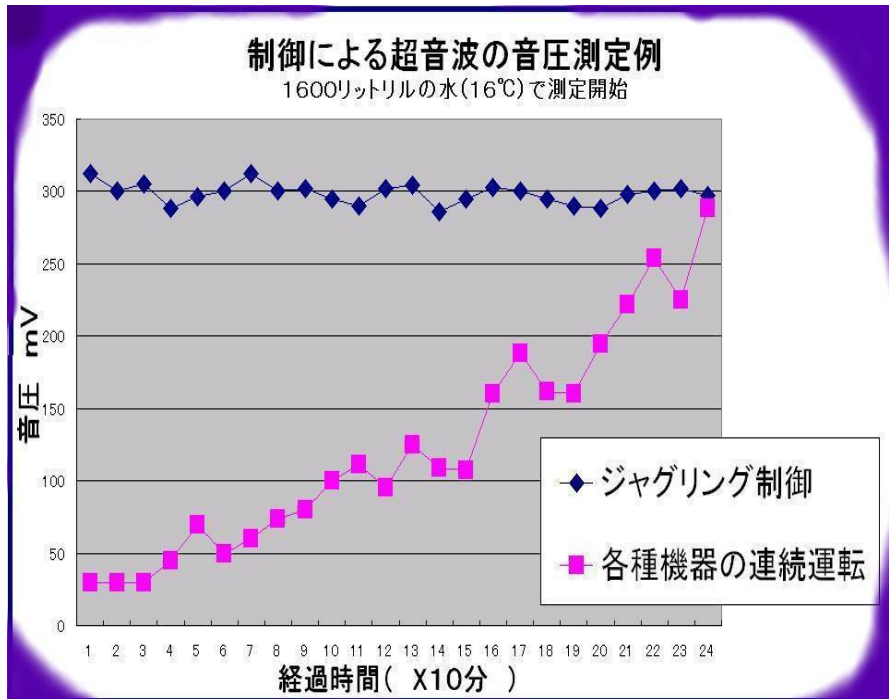


図 27

ジャグリング制御の場合：30分経過した時点で出力を50%にしています
連続運転の場合：2.5時間までは、水槽内に音圧が10mV以下の部分もあります

<アルカリ洗剤を使用した場合について>

洗剤を使用する場合は、洗剤による泡が液面の状態を制限しないようにする必要があります
(場合によっては、洗剤の成分を調整します)

適正に行くと安定した状態を継続することが出来ます

注:汚れとして油を対象にした場合は油の量が一定量を超えないようにする必要があります
(フィルタリングやオーバーフローによる液循環を適正にしないと状態が変化します)

洗剤の化学反応は汚れに対して検討されることが多いのですが、

必要なことは、時間・空気・水・反応速度と超音波(周波数・出力・制御)との関係について

目的(洗浄や改質)がどのように達成されるかと言う検討です

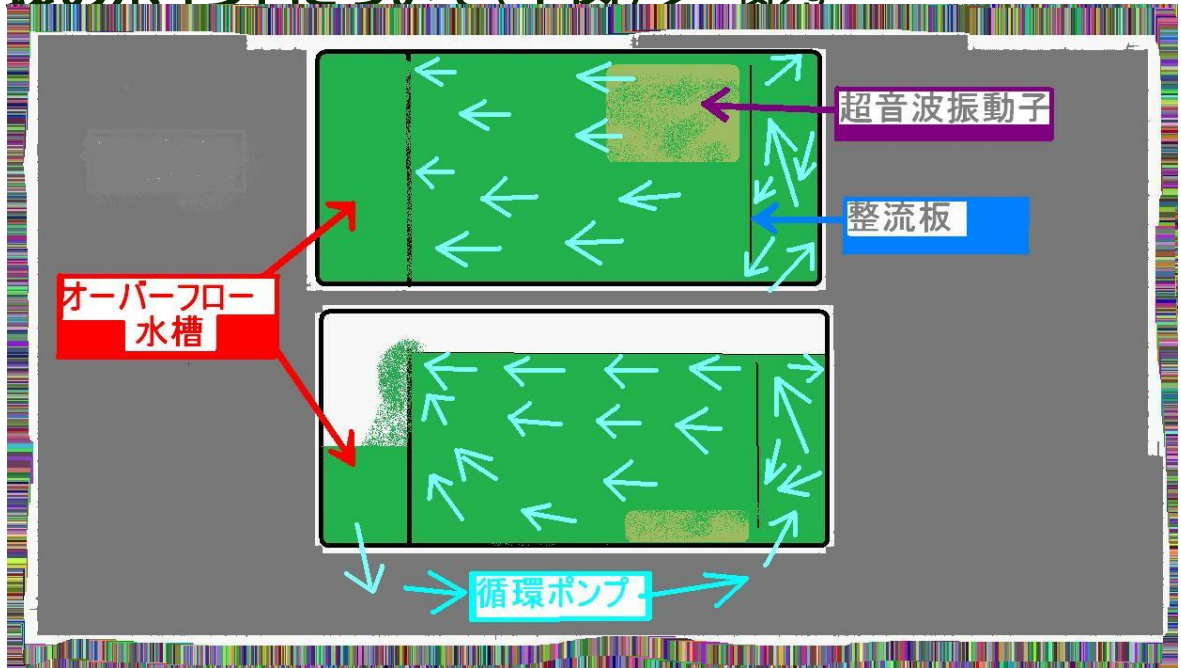
個別の問題が大きいため、実用可能な一般論が研究(公開)されていません

間違えた情報による間違えた超音波の利用(効率の低さ、価格の高さ 等)により、

超音波の普及が広がらないように感じています

(めがねの洗浄器は適正に使用すると10-100倍の効率に変わります)

<液循環のポイントについて(下図)> 図29



1) 水槽と超音波の振動を適正にするために振動子の位置を調整した例

2) 整流板による流れと超音波による流れを適性にした水槽構造の例

注：水槽全体が均一な音圧になります

注：水槽の構造と超音波のバランスを適正に行うために

超音波によるキャビテーションと音響流を見ることが重要です

<オゾンによる効果がバラック原因について>

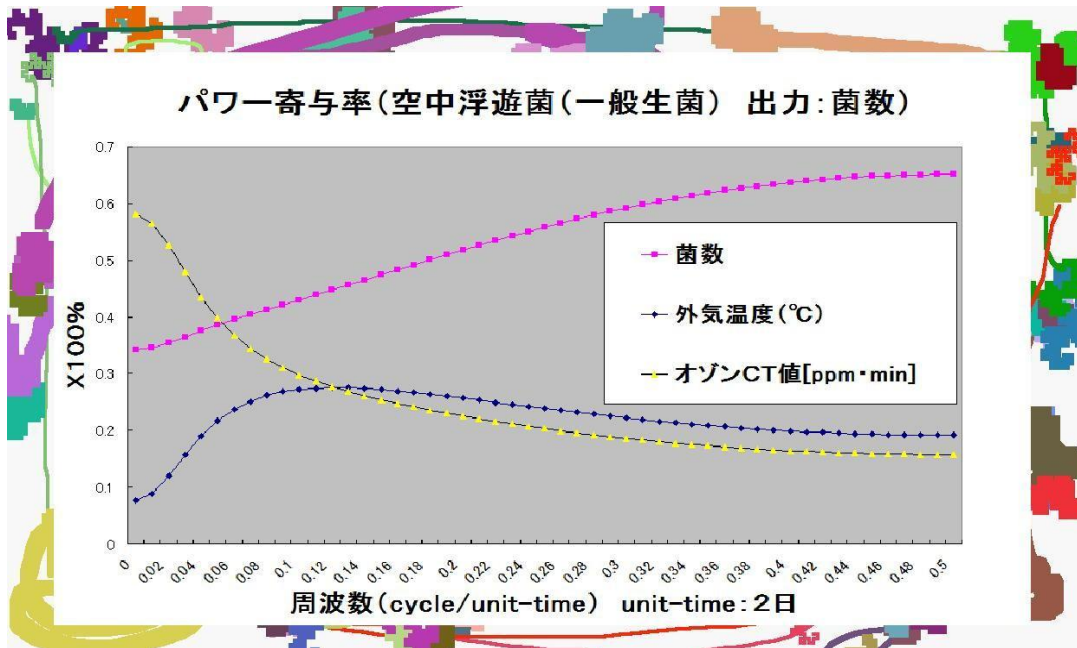


図30

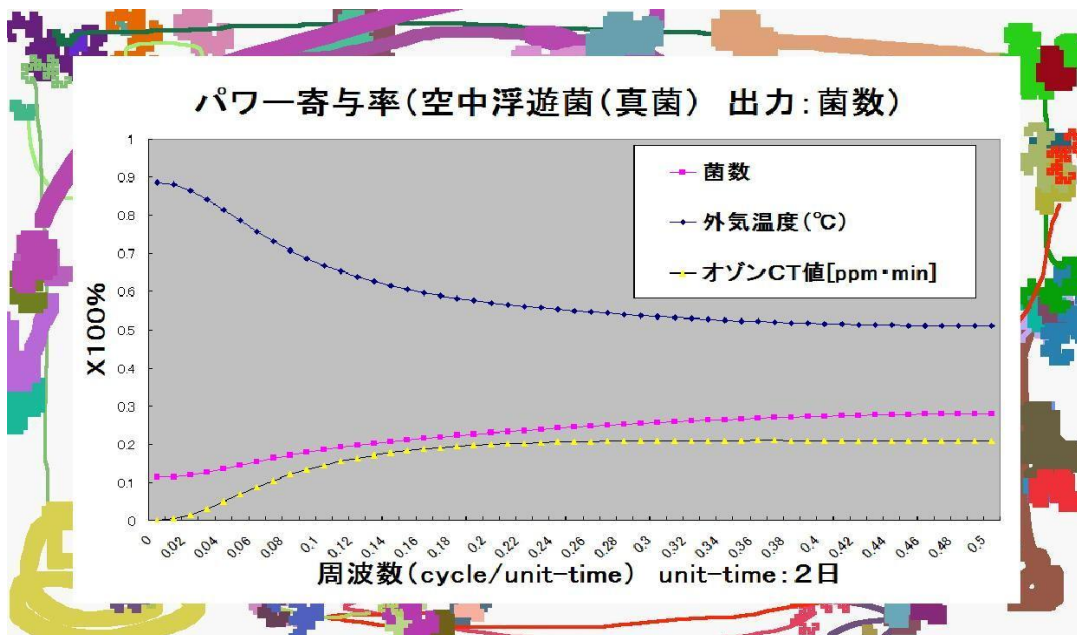


図31

- 1) 外気温の影響
- 2) 菌の種類による影響
- 3) オゾン濃度のバラツキ(反応と重さによる移動)
- 3) 不明(同様な環境でも再現しない場合がしばしばあります)

注: 外気温の影響は大変大きく常にパラメータとして取り扱う必要があります

注: オゾン濃度のバラツキの制御は確実に安全範囲にするために必要なテクニックです

(私は、時系列データの解析に基づいた予測による制御の実験結果からこのように考えています)

理由：

- オゾンガスと霧化状態の水（不安定な状態）による脱臭機能は大きな効果を生じる場合があること
- オゾンと反応する水は超音波による霧化により効果を生んでいると考えられること
- オゾンによる脱臭効果が高いこと
- 脱臭効果は臭いの分子を洗浄することを可能にすること
- 超音波・オゾン・水（OHラジカル、マイクロバブル？）等の組み合わせによる汚れの分解能力が高いこと
- 安全に使用すると大気中に放出出来ること

問題点

現在の技術では臭いや汚れを回収した物質（あるいは液体）の処理方法が不十分である
霧化する水とオゾンに対する安全性（人体への影響、細菌類への対策等）の検討が不十分である(注)

注)

1：オゾン水の噴霧、オゾンガスの散布による脱臭は幅広く実用化されていますが、安全を考慮してオゾン濃度を低く（0.03-0.1ppm）設定しているため十分な脱臭レベルで使用されていません

アメリカ環境保護庁の指摘事項「これまで得られた科学的知見では、健康基準値を超えないオゾン濃度では、室内空気汚染物質はほとんど除去できず、臭いの原因となる多くの化学物質を有効に除去できないことを示す証拠がある」

2：霧化に対する各種製品のトラブルも多数有ります

厚生労働省の指摘事項「滞留水があるとレジオネラ属菌の繁殖と散布の可能性が高い。」

***の指摘事項「貯流水を霧化する場合は、空気との接触がある以上十分な対策は出来ない」

検討項目

超音波の脱臭効果（OHラジカルの利用等）の効率を高める

霧化にマイクロバブルの効果を応用する

オゾン濃度の安全（確実）なコントロール

コメント

超音波とオゾンと水による脱臭・洗浄・改質・装置の可能性は大きいと考えます

特に、脱臭技術として、超音波による霧化は大変重要な技術ですので調査・検討を続ける予定です

<システムの振動について>

「 変化する特性を持った系の振動は広範で複雑である

A)変位に依存する剛性を持ったもの

B)変位に依存する減衰を持ったもの

C)時間に依存する剛性を持ったもの

これらは問題の表面をかじったにすぎない、もっと風変わりな現象もたくさんある 」

超音波の振動を検討する場合、特に忘れがちなのが

水槽や設置部全体の振動(A)

洗浄液・洗浄物・洗浄治具の振動(B)

循環ポンプ・ヒータによる振動(C)

(ポンプの脈動、回転振動、熱応力 等)

上記の組み合わせによる複雑な振動が発生しています

これらが超音波の振動を減衰させないようにすること

が超音波の効率を高めるうえで大切です

適切に減衰させることで騒音を調整させることが騒音対策です

適切に減衰させ音響流を調整することが洗浄力の制御です

この観点でシステムをみると問題点をすぐに改良できます

(これが超音波システムの振動による各種調整に関するノウハウです)

A・B・Cの振動を見ることが出来るようになるためには

注意深い観察の繰り返しと、設計・製作の経験が必要です

(経験から、かならず見れるようになります)

ポイントは全体を一定時間、変化する系の振動と感ずることです)

<システムの振動について No. 2>

自動搬送等のロボットの制御について最近では以下の事項があります

- A) 安い材料で軽量にするため部品の剛性が弱い
 - B) 海外で組み立てるため、組み立てのバラツキがある
 - C) A・Bの問題を制御で対応処理する
- CPUの性能により、あるところまでは改善できますが
根本的な解決には、「制御することで発生する振動の影響」を考慮した解析が必要です

実際のロボット制御では、統計モデルに基づいた予測と制御を行い対応しているものもあります
但し、各部品の剛性バランスが悪い場合は、しばらく動作させてデータ採取とモデル作成を個別に行うような仕様になっています

超音波の振動を検討する場合にも同様なことがいえます
つまり、超音波自身による影響を考慮した制御が必要です
大変難しいことではないのですが、技術者があまり取り組まないジャンルの
「統計数理解析」です

これまでの経験をもとにから実験や改良を行うのではなく、
複雑な現象を統計モデルに基づいて解析することで
最も重要な問題点が浮かび上がってきます

- (理由は現象が複雑すぎるので単純化によるリスクが大きく
データに基づいて行うほうが良いと言うことで
間違いのない自信のある経験で確実に改良できるのであれば
統計処理を加えることで普遍性が追加される可能性があります
経験として、私は、低周波の振動モードと高周波のモードを同時に把握することは大変難しいと思います)

特に推奨させていただくのが

- 1) ダイナミックシステムの統計的解析と制御：赤池 弘次/共著中川 東一郎/共著：サイエンス社
 - 2) 生体のゆらぎとリズム コンピュータ解析入門：和田 孝雄/著：講談社
- です

- (多くの現場で時系列データを採取していても、解析が単純であることが多く
結果につながっていません、ノウハウとしてコンピュータの進歩により大変進歩している
最新の時系列データの解析方法（書店では経済学のコーナー等にありますが）を
学習して身につけることを提示します

注：自己回帰性を考慮した制御を行うと実験に再現性が多くなり、改良がしやすくなります

<メガネの超音波洗浄器について>

メガネの超音波洗浄器の使用方法(ノウハウ)を提示します

- 1) 超音波を強くしたい場合は、洗剤を数滴入れて使用する
- 2) 金魚のポンプを利用して液循環させる
(循環量 毎分400ccぐらい
なるべく水面付近(水面から3cm)からすいこみ
底面の角部に吐き出す
全体がゆったり流れるようにする)
- 3) 洗浄後、新しい洗浄液でもう一度リンス洗浄を行う
(あるいは コップに入れて間接リンス洗浄する
コップはなるべくビーカーに近い形状のものを選択する)
- 4) 洗浄ムラがある場合は、ゆっくり洗浄物を揺らしながら洗浄する
- 5) よごれがひどい場合は、コップに洗剤を入れた間接洗浄で
プレ洗浄を行う (超音波洗浄の基本は精密洗浄です)
- 6) 材質や形状により、洗浄物を洗浄液にすべて入れないほうが強力な洗浄
を行うことが出来る場合がある
- 7) どうしても取れない場合は、
液温を40-60℃にして
超音波のON/OFFを操作しながら洗浄する
(場合によっては、ステンレスの「穴明きお玉」にのせて洗浄する)
- 8) きれいに洗浄する場合には、乾燥が洗浄以上に重要です
(乾燥は「水分の流れを適切に行う必要があります」が、省略します)

超音波の寿命を短くする原因は、熱応力による現象です

上記の操作においても、液温を急激に変更すると大きなダメージを発生させます

水槽の温度と液の温度がなるべく同様に变化するようにしてください

超音波洗浄により40℃の状態から、洗浄液の交換により18℃の洗浄液に切り替えた場合、超音波の取り付け面や超音波により大きく振動する面が熱応力によるダメージを起こします

また、液循環のない状態で使用し続けると不均一な状態が続くため同様なダメージの発生につながります

補足:

洗剤(界面活性剤)は超音波(OHラジカル反応)により分解され少なくなります(場合によっては「OHラジカル反応」で戦場が行われている場合もあります)

言葉による説明は難しいのですが、適切に洗剤の濃度管理を行う必要があります

一般的には、洗浄液が汚れたら新しい洗浄液を作成し交換するのですが、難しい場合には適度に洗剤を追加しながら使用してください

<超音波による霧化方法>



図3 2

液量の制御により的確なサイズの霧化を可能にします

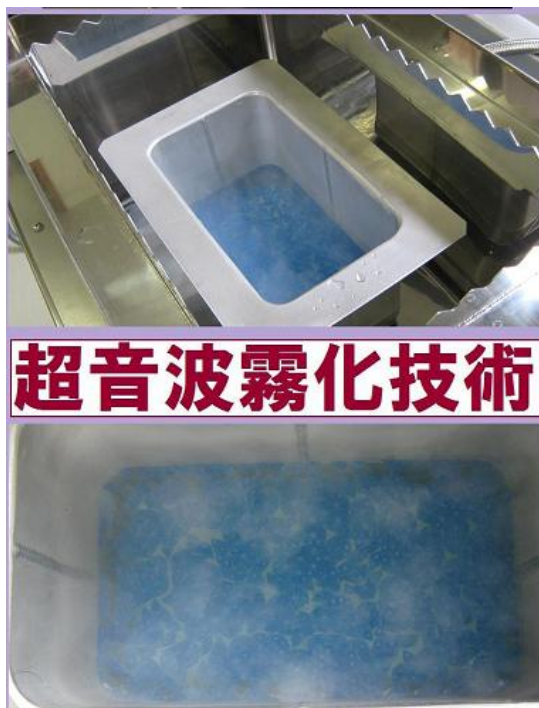
(風に乗って移動できるサイズに調整すると部屋全体に広がります)

注:霧化した液が結合しない工夫と

耐久性を持たせる方法については省略しています

注:流体・機械構造・材料特性・システムプログラム 等の

複合した技術により実現しました



<超音波を発生させた管に液体を流す実験について>

これまでに検討・確認したことを以下に列挙します

超音波出力・流量・脱気レベルの制御調整により

毎分1cc-100リッターの水量で水に超音波が伝わっている状態を確認出来た
使用ポンプ(1cc - 120l/min 注:3種類のポンプ)

管サイズ $\phi 0.3\text{mm} - 0.8 * 1000\text{mm}$

超音波発生は連続60分程度

流量(流速)と管サイズと超音波の関係により超音波の状態が大きく変化する
水量(80L/min)が大きくてもパラメータにより霧化は可能である

開始時に、管路内部の空気をきれいに排出する必要がある(重要)

注:理由 (圧力差によるはく離域・はく離渦の発生 等による)

ギャップが大きい場合、流速が大きい場合、

水に大きなバラツキ(流量・流速・水圧)がある場合

現状の対策は 傾斜を付け、安定した水量でバランスよく供給すること

水温が上がると圧力損失が小さくなり、流れが変わり水圧の変化が起こる

注:ギャップは広がる方向に変化する

注:粘性の変化は境界層の影響があることを考慮する必要がある)

パッキンの変形量にバラツキがあると超音波(振動板)にねじれが発生する

コメント

時系列データ(水量、流速、水温、超音波出力、周波数、音圧、等)

を測定してばらつきの推定を行う必要がある

調整する場合は、構造に関する基本的事項について統一見解で行う必要がある

注意事項

ステンレスの板の間を超音波振動が加えられた水が流れる現象を考える場合

- 1) 音波の伝搬(高次)モードの速度は周波数と板厚の積により大きく変わる
- 2) 周波数が同じ場合、板厚が薄いほうが伝搬速度は速い
- 3) 液温の変化に対する現象は非線形性となる(液温管理が重要である)
- 4) キャビテーション気泡群として考えると、液の脱気レベルにより大きく変わる
- 5) 衝突噴流群として考えると、ノズル形状により大きく変わる

<夢のようなアイデアについて>

1) ソリトンの非線形相互作用は混沌を導かずに、

逆にある条件の元で、自発的に自己組織化された形を生じる。

2) 超音波による波は、複数の波が重なり合っただけではなく、

初期の状態を維持したソリトンの自己集中によって生じるものだとも考えられる。

上記の 1) 2) を西田幾多郎の以下の言葉で解釈・消化したいと考えています

そのことにより、

基本的な性質による超音波の利用が可能になると言うアイデアです

われわれの最も平凡な日常生活が何であるかを最も深くつかむことによって
最も深い哲学が生まれるのである

学問はひっきょう LIFE のためなり。

LIFE が第一等のことなり。LIFE なき学問は無用なり。

コメント

(現代のものづくりにはもっと深い哲学が必要ではないかと言う強い思いがあります)

実際に、新しいシステムや装置を開発する場合に、

「ソフトウェアのオブジェクト」・機械構造・機械要素からの限定はあります。

そして、開発者・設計者の主観による限定もあります。

個人や装置のこれまでの経験や経緯（歴史）に基づいて統一することが、
開発であるように感じています。

従って、この過程から創造が生まれているように思います。

ひとつの例ですが、

smalltalk 等のコンピュータ環境が

「言語であり、環境であり、オブジェクトであり、クラスであり、・・・」

と言うことを統一して Squeak となりさらに新しく展開している状況があると思います。

＜「なべ」や「ボール」による間接洗浄の例＞



図 3 3

（ジャグリング制御を行うと1分以内で、音圧が均一なこの状態になります
高周波の場合は

「H : 基本サイクル

（キャビテーション・加速度のピークの発生する）を適切に設定する」
ことが難しいので実際には数パターンの確認を行って調整し、
各種要因について検討していくことが良いとおもいます ）



<マクロとミクロと超音波の関係>

マクロな波長をもつ超音波が、原子・分子レベルのミクロな変化に反応するメカニズムは、古典力学と量子力学との接点でもあり、ほとんど解明されていないのが現状です。
(大阪大学超精密科学研究センター の資料より)

< コメント >

実際の洗浄や改質においては沢山の事例
(高周波の超音波照射による分子レベルの変化)を確認しています

- 特に、
- 1) 分子構造を分解してしまう場合は改質効果が期待できる
 - 2) 汚れとの結合を分解する場合は洗浄効果が期待できる ように思います

(さらに、反応を均一に加速させる傾向もあるように感じています)

しかし、周波数や出力により結果が変わることもありますので

安定した超音波の制御が必要だと思えます)

注：普及しない原因として、反応速度の変化により、

反応条件としての超音波を制御しなければなりません

実際に、超音波を制御しなければ再現性がなくなってしまいます

(反応するための超音波 (キャビテーション、音響流) サイズを適切にすることが重要です)

80 kHz 以上の超音波で ナノレベル の大きさに対応した事例があります)

参考資料

- 1) ダイナミックシステムの統計的解析と制御:赤池 弘次/共著 中川 東一郎/共著:サイエンス社
- 2) 生体のゆらぎとリズム コンピュータ解析入門:和田 孝雄/著:講談社
- 3) 超音波工学と応用技術:ベ.ア.アグラナート/[ほか]共著 青山 忠明/訳 遠藤 敬一/訳:日ソ通信社
- 4) 流体の科学 上、中:柘植 俊一/著:日刊工業新聞社
- 5) カオスの自然学 水、大気、音、生命、言語から:テオドール・シュベンク/著 赤井 敏夫/訳:工作舎
- 6) 流れのふしぎ 遊んでわかる流体力学のABC:石綿 良三/著 根本 光正/著 日本機械学会/編:講談社
- 7) 自動制御とは何か:示村 悦二郎/著:コロナ社
- 8) 薄膜作成の基礎:麻蒔 立男/著:日刊工業新聞社
- 9) よくわかるナノテクノロジーの基本と仕組み 超微細スケールの世界:水谷 亘/著:秀和システム
- 10) ケミカルエンジニアリング 夢を実現する工学:橋本 健治/編:培風館
- 11) 反応工学 反応装置から地球まで:小宮 山宏/著:培風館
- 12) 超マイクロ世界への挑戦 生物を80万倍で見る:田中 敬一/著:岩波書店
- 13) エンジニアのためのプロセス解析と制御:中川 東一郎/監修:システム総合開発
- 14) 泡のサイエンス:シドニー・パーコウィツ著 林一、林大/訳:紀伊国屋書店
- 15) 表面解析・改質の化学:日本接着学会【編】越智 光一【監修】:日刊工業新聞社
- 16) システムLSI入門:白石 肇/著:オーム社
- 17) 「泡」技術 柘植 秀樹、海野 肇(著) 工業調査会
- 18) 複合化の世界—1+1は2か(単行本) 岡本 秀穂(著)
- 19) 「雪」中谷宇吉郎(著)1940 岩波文庫
- 20) 技術開発のマネジメント—技術革新を促進するタグチメソッド(単行本)
田口 玄一(著), 矢野 宏(著) 出版社: 日本規格協会(1996/05)
- 21) 技術再構築—自動車開発現場からの報告(単行本) 上野 憲造(著) 出版社: 日本規格協会(1993/09)
- 22) 岩波講座物理の世界 物理と情報(3) ベイズ統計と統計物理(単行本)
伊庭 幸人(著) 出版社: 岩波書店(2003/08)
- 23) キリンのまだら—自然界の統計現象 平田 森三(著) 出版社: 中央公論社(1975)
- 24) 岩波講座物理の世界(物理と数理2) 結び目と統計力学(単行本) 和達 三樹出版社: 岩波書店(2002/02)
- 25) 超LSIレジストの分子設計(単行本) 津田 穰(著) 出版社: 共立出版(1990/04)
- 26) 音の世界 W.Hブラッグ 創元科学業書(1951)
- 27) 波動論鬼頭 史城(著) 出版社: オーム社(1954年)
- 28) 振動とはなにか—なぜ起こり、どう克服するか リチャード・ビジョップ著(ブルーボックスB-471)
- 29) 渦巻ポンプ講義 生源寺順(著) 養賢堂(1943)
- 30) 『技術屋の心眼』E・S・ファーガソン 著 藤原良樹+砂田久吉 訳 平凡社1995年
- 31) 金属の疲れと設計 河本実ほか共著、コロナ社、昭47、1
- 32) カオス応用戦略 合原一幸・徳永隆治 監修 オーム社(1993).
- 33) わかる音響学 中村顕一/[ほか]共著 日新出版(1995)
- 34) 情報化時代の見えないヒーロー フロー・コンウェイ ジム・シーゲルマン 日経BP社(2006/12)
- 35) マイクロバブルのすべて 大成博分 日本実業出版社(2006/10)
- 36) 発明 ノーバート・ウィナー みすず書房(1995)
- 37) アラン・ケイ 鶴岡雄二(訳) アスキー出版局(1992)

挿絵については「オリジナルの毛筆風お絵かきソフト (Squeak)」による画像です

あとがき

1) カルノー・サイクルの経緯のように

技術の進歩が科学の進歩を促進する。

(科学と技術の工学的な関係)

こういった関係が「超音波の利用」には必要(注) な気がします

注：実用や応用には多くのパラメータの適切なバランス感覚が必要

特に、設計を考慮に入れた観察が行えるようになるための

経験と直感の訓練により本質的な発見やアイデアが生まれると思います

コメント：

実用と言う制約と、興味深い現象の中から、適切な開発・設計を行うことは
開発者の人間性によるところが大変大きいと思います

諦めずに、粘り強く努力する根拠には、「困難を乗り越える喜び」と

それを理解してくれる「第三者（歴史的、あるいは競合者、理解者）」があると考えています

2) ワットの蒸気機関の改良のように

1) 原理的事柄を研究する (超音波の原理を研究する)

2) ニューコメンの機関を参考に、改良して効率を上げる (プラントの制御を参考にする)

3) 弁の開閉をピストンに連動させて交互に蒸気を供給する (ジャグリングのような連動を検討する)

4) **遊星歯車機構**を実用化する (新しい脱気マイクロバブル構造を検討する)

5) 速度調整を行う (実験と調整を繰り返す)

コメント：

この経過には大変深い検討と試行錯誤の背景を感じます

実用を目的としているため、幅広く・確実に効果を出すための方法になっていると思います

現在では各分野の研究を幅広く理解することが難しいので、経験に基づいた直感と共同研究が大変重要だ
と思います

今後、超音波の利用が進み大きな発展が実現するために検討を続けたいとおもいます

超音波システム研究所について

超音波システム研究所 Ultra Sonic wave System Institute

特に、以下の項目に対して新しい技術を積み重ねています

- 1) **水槽の改良**による超音波の利用効率の改善
- 2) **超音波伝搬状態の測定**による、適正な利用状態
(液体の流れ、液循環あるいはオーバーフロー 他)
- 3) **広域超音波**の利用方法
- 4) **複数の超音波**を目的に対して適切に利用する方法
- 5) 金属・樹脂の**表面改質**による効果
- 6) **洗剤**の適切な利用方法
- 7) **間接容器**(金属、ガラス、網籠、..)の適切な利用方法

<理念>

「われわれの最も平凡な日常の生活が何であるかを最も深くつかむことによって
最も深い哲学が生まれるのである
学問はひっきょう LIFE のためなり。

LIFE が第一等のことなり。LIFE なき学問は無用なり。」西田幾多郎

深い哲学に基づいた超音波の有効利用を広めていきたいと考えています

<プロフィール>

—職務経歴—

1) **メカトロ研究開発 17 年間**

コンピュータネーム刺繍マシン、毛筆プロッター、超音波洗浄装置、..

2) **流体機械設計 12 年間**

マグネットポンプ、キャンドポンプ、オゾンモニター、脱気装置、..

3) **制御(システム)開発 15 年間**

超音波医療機器、半導体製造装置(チップマウンター、テスター)、
産業用スカラーロボット、自動車運転シミュレーション、SOC(システム LSI)診断、..

「超音波システム」という分野を考えた場合、
ベースとして、音響工学、電気工学、流体力学、材料力学、..といった知識が必要です
しかしそれを技術として現実に適応するためには、様々な学習と経験が必要です
さらに、IT 技術を融合すると、高度な統計数理により解析を行うことができます
この組み合わせは、「**超音波技術を大きく飛躍させる**」と、確信しました
私は、以上のことを、これまでの会社経験で掴んできました
そして、この新しい技術を広く普及するために「超音波システム研究所」を始めました

超音波システムに関する、コンサルティングを行っています

超音波システムに関する、問い合わせや相談がある方は

メールでの連絡をお願いします

名称 超音波システム研究所

代表 齊木 和幸

E-mail: uss1@island.dti.ne.jp

ホームページ: <http://www.green.dti.ne.jp/aabccdx/>

設立年月 2008 年 8 月

業務内容 超音波システムに関するコンサルティング
