

論文

超音波洗浄機の低騒音化

神田浩一*¹⁾ 長谷川徳慶*¹⁾ 佐見津雅隆*²⁾ 柳沢正樹*¹⁾
 牧野晃浩*¹⁾ 高田省一*¹⁾ 加藤光吉*¹⁾

Noise reduction of ultrasonic cleaners

Koichi KANDA, Norichika HASEGAWA, Masataka SAMITSU, Masaki YANAGISAWA
 Akihiro MAKINO, Shoichi TAKADA and Kokichi KATO

Abstract The use of ultrasonic cleaners is increasing in order to protect the environment. Ultrasonic cleaners, which use cavitation, radiates high level noise. This makes the working environment worse. a method for decreasing this noise was examined in this research. It was found that countermeasures by sound insulation materials and sound absorbing materials were effective. Effective noise reduction is attained by combining sound insulation with Resilient skin.

Keywords Cavitation, Subharmonics, Dumping, Sound insulation, Sound absorption, Resilient skin

1. はじめに

近年、有機溶剤やフロンの利用規制から水系洗浄としての超音波洗浄機の利用が拡大している。超音波洗浄機のうち、1MHz前後の高周波を使用するものは、超音波による水分子の振動加速度を利用して汚れを被洗浄物から剥離させている。

他方、数10kHz以下の周波数帯の超音波洗浄機では、キャビテーションといわれる現象を利用して被洗浄物に付着している汚れを破壊して洗浄液中に分散させている。キャビテーションとは、水中で超音波振動の減圧力による空洞が発生し気泡となり、それが次の圧縮力で押しつぶされる現象である。

このキャビテーションにより広帯域のノイズが発生しそれが空気中に放散する。また強力超音波は水中の振動の非線形現象を生じさせ、その結果、振動子の発振周波数の2分の1、3分の1等のサブハーモニクスが発生することが確かめられている¹⁾。これらが可聴域にわたる騒音として作業環境悪化の要因になっている。

そこで、本研究では可聴域の騒音レベルの大きい40kHz以下の洗浄機を対象として以下の実験を行った。

- (1)キャビテーションによる水槽の振動による音響放射の低減のために、水槽に制振材を貼付する方法
- (2)空気音の低減のために、外装による方法。
- (3)上記の方法を組み合わせ、騒音レベルおよび音場分布を測定した。

*¹⁾ 計測応用技術グループ

*²⁾ 計測応用技術グループ(現墨田分室)

2. 実験方法

実験方法を図1に示す。実験は水槽からの音響放射特性を把握する目的から、当研究所の無響室を利用して行った。

超音波発振器には、市販のものを使用している。発振周波数は26kHz、出力600W、周波数掃引方式の発振器を用いた。

超音波振動子は市販の投げ込み型振動子を使用した。共振周波数は26kHz、定格入力600W、振動面寸法は300×200mmである。

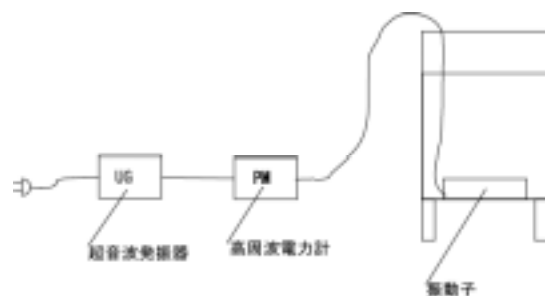


図1 実験装置の構成

洗浄槽はステンレス製で内寸がW400×D300×H400mm、板厚は2mmのものを基準水槽として製作し、これを水槽1とした。水槽1の形状を図2に示す。

基準水槽に対して、制振材を付加したものと水槽の板厚の違うものを計3種作成し、基準水槽との比較を行った。

製作した水槽の一覧を表1に示す。水槽2及び水槽3には制振材を貼付した。それぞれを制振材A, 制振材Bとした。水槽4は基準水槽の3倍の板厚の鋼板を使用した。

制振材Aは複層の制振材で, 厚さ 10mm のアスファルトピッチの上にガラス繊維クロスと直径 6mm の円形亜鉛鉄板(あわせて厚さ 0.8mm)を接着している。

制振材Bは高分子系の単層制振材で, 厚さは 2mm である。面密度は, それぞれ 4.0kg/m²と 4.2kg/m²である。

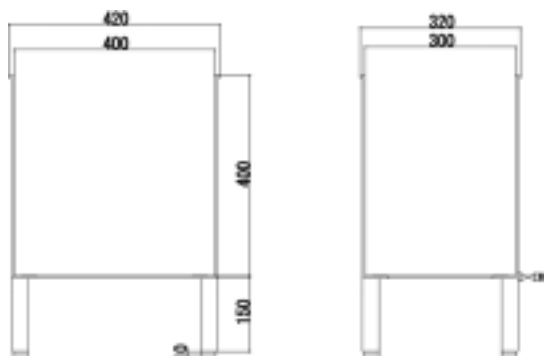


図2 基準水槽形状

表1 製作した水槽一覧

仕様		水槽1	水槽2	水槽3	水槽4
内寸	w (mm)	400	400	400	400
	d (mm)	300	300	300	300
	h (mm)	400	400	400	400
板厚 t (mm)		2	2	2	6
材質		SUS	SUS	SUS	SPC
槽壁付加物		なし	制振材A	制振材B	なし

実験では振動子入力を 480W, 洗浄水の温度を 40 とし, 水深は振動子の振動面より約 205mm とした。これは 40 における水中の 1/2 波長の倍数に設定したものであるが, 超音波洗浄機は運転状態によって騒音レベルが変動するので, 実際にはキャビテーションが最大になるように水深を増減させた²⁾。キャビテーションの確認は音圧レベルの飽和傾向と気泡の発生の目視によった。

各水槽についてケース, 蓋の有無, 外装内への吸音材の付加などの各条件で測定した。外装の形状は図3のように箱形で, 水槽に上部からかぶせる形状にしている。外装の材質は 1.6mm 厚の鋼板を使用している。吸音材はロックウール吸音ボード(25mm 厚, 密度 69.6kg/m³)をケースの内面に両面テープで接着した。測定位置は図4に示す3カ所である。測定点Bは作業者位置を想定して設定している。

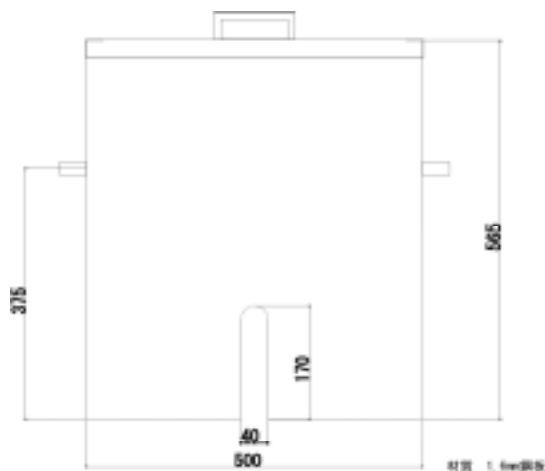


図3 外装形状図

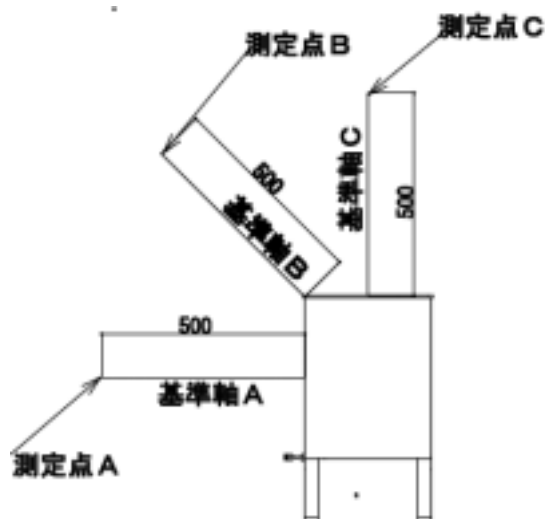


図4 測定状況図

3. 結果及び考察

3.1 測定結果

水槽1の周波数分析の結果を図5に示す。水槽1の測定点Aでのパワースペクトルである。周波数 13kHz 近辺のピークが非線形現象によるサブハーモニクスとみられる。その周辺の高い音圧レベルを示しているのがキャビテーションノイズである。また, 4 kHz 近辺のピークは水槽の大きさおよび水深に依存する「水の共振」とみられる³⁾。水槽ごとに外装の条件を変えて3箇所の騒音レベルを測定した結果を表2にまとめている。

表2 等価騒音レベル測定結果

水槽	ケース	吸音材	蓋	等価騒音レベル (dB)			備考
				測定点A	測定点B	測定点C	
水槽1	-	-	-	95	97	102	基準水槽
水槽1		-	-	82	96	102	"
水槽1		-	-	80	80	78	"
水槽1		-	-	75	94	103	"
水槽1		-	-	73	76	76	"
水槽2	-	-	-	80	89	103	制振材A付加水槽
水槽2		-	-	69	76	76	"
水槽2		-	-	68	86	101	"
水槽2		-	-	60	66	69	"
水槽3	-	-	-	86	87	105	制振材B付加水槽
水槽3		-	-	77	76	74	"
水槽3		-	-	72	70	71	"
水槽4	-	-	-	92	88	105	厚板水槽

適用 - 非適用

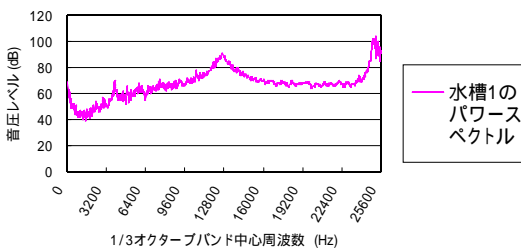


図5 正面音圧レベルの周波数分布

基準水槽である水槽1では、測定点A(正面方向)で95dB、測定点B(斜め上方)で97dB、測定点C(上方)で102dBと高い騒音レベルが認められる。

3.2 水槽の仕様による騒音

厚板を用いた水槽4では基準水槽に比べて、測定点Aで3dB、測定点Bで9dB騒音が低減された。水槽4の面密度は、基準水槽に対してほぼ3倍である。遮音性能における質量則を適用してこの水槽の音響透過損失を求めると、水槽1に比べて水槽4の透過損失が理論上9.5dB大きくなる。実測ではリニア特性の音圧レベルが正面で5dB低減していた。

制振材Aを貼付した水槽2では測定点Aで15dB、測定点Bで8dB改善された。制振材Bを貼付した水槽3では測定点Aで9dB、測定点Bで10dB改善された。

各水槽の損失係数は図6の通りである。水槽2及び3の損失係数に大きな差異は認められない。それにも関わらず正面の騒音レベルで改善効果の差がでた理由について検証した。

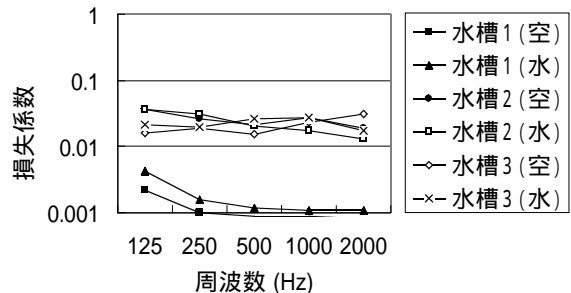


図6 水槽の損失係数

水槽2及び3の水を、水中マイクロホンをスピーカとして加振し、ステンレスの槽壁と制振材表面の振動速度を比較した結果を図7、8に示す。

水槽2では7.5kHz以上の共振ピークで槽壁と制振材表面の振動速度に差異が認められた。槽壁の振動に対して、制振材表面の振動速度が低下していた。

これに対して、水槽3では特に振動速度の低下は認められなかった。

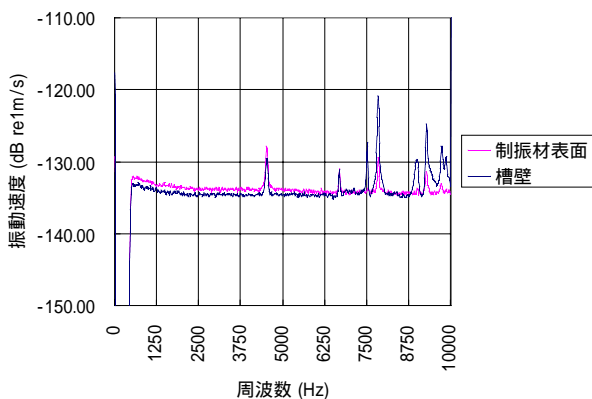


図7 水槽2の振動速度

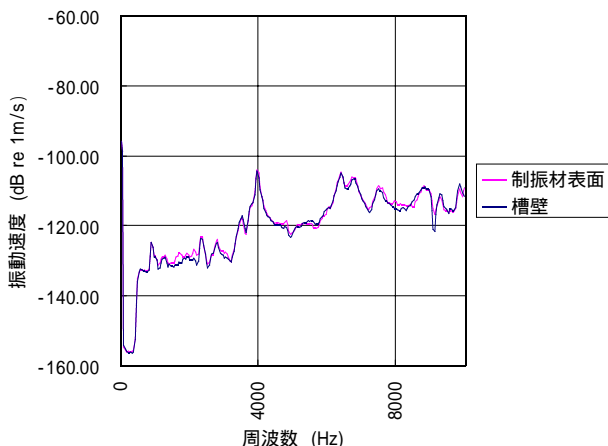


図8 水槽3の振動速度

ここから、音響透過損失の増加をなす要因として、水槽2では槽と積層制振材Aの組み合わせが、弾性表皮による放射音低減効果と推察される。重く柔軟な層と弾性層による積層材であるため、厚み縦振動の共振周波数より高い周波数で音響放射を低下させたと考えられる⁴⁾。

3.3 音圧分布

水槽1及び水槽2の正面の音圧分布を図9, 10に示す。水槽2は水槽1に比べて全体として音圧レベルの低下が見られるが、特に中央部分での低減効果が高いことから、槽壁からの音響放射が有効に低減されていることが分かる。

3.4 外装の効果

外装、蓋、吸音材をすべて付加した場合には、測定点Aにおいて水槽1で 20dB、水槽2で 20dB、水槽3で 14dBの改善量が確認された。ここで特記しておく、水槽と外装との間には機械的な接合部がない状態である。このように、水槽と外装とが振動絶縁される状態にすることで、吸音が有効に機能していると見ることができる。

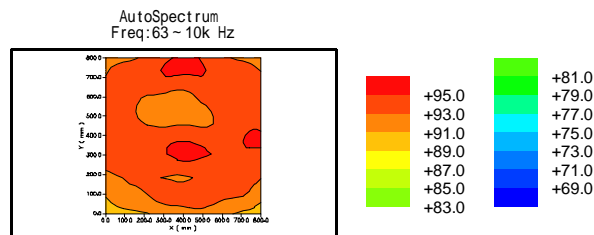


図9 水槽1の正面音圧マップ

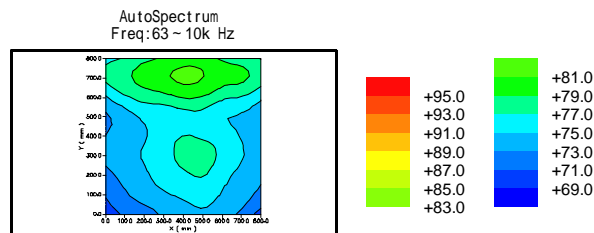


図10 水槽2の正面音圧マップ

4. まとめ

積層制振材を用いた弾性表皮による遮音性能の向上と、ロックウールの吸音効果を組み合わせると、26kHzの超音波洗浄機の効果的な騒音低減を達成した。制振材の違いによる騒音低減効果の差異に関しては、さらに究明していきたい。

なお、超音波洗浄機においては、洗浄物の出し入れの際等に、数kHzの共鳴音が発生することがある。本研究による方法では、この共鳴音の対策は難しいが、著者らは別途その対策方法を検討している。これらの技術が今後の超音波洗浄機の開発に活用されて行くことを期待したい。

参考文献

- 1) 実吉純一他：超音波技術便覧, 142, 日刊工業新聞社 (1984).
- 2) 日本電子機械工業界：超音波工学, 242, コロナ社 (1999).
- 3) 実吉純一他：超音波技術便覧, 72, 日刊工業新聞社 (1984).
- 4) L.L.Beranek: Noise and Vibration Control, 320, McGraw Hill (1971).
- 5) 長谷川錦治：秋期研究発表会講演論文集, 音響学会, 375-376 (1982).
- 6) 池田国治他：超音波 TECHNO, 30-34, 日本工業出版, January (2000).

(原稿受付 平成13年8月1日)