

第97回CIS研究所パートナー会議事録(一般様用)

開催日: 2020年6月28日(日)
場 所: CIS会議室
講 師: 山本 洋一

テーマ: 超音波利用機器

- 1) 20kHz を超える音・聞くことを目的としない音
(聞こえる音でも聞くこと以外に利用すると超音波です。)
超音波の特徴(可聴音と比較):指向性が鋭い・波長が短い・減衰が大きい



会議風景

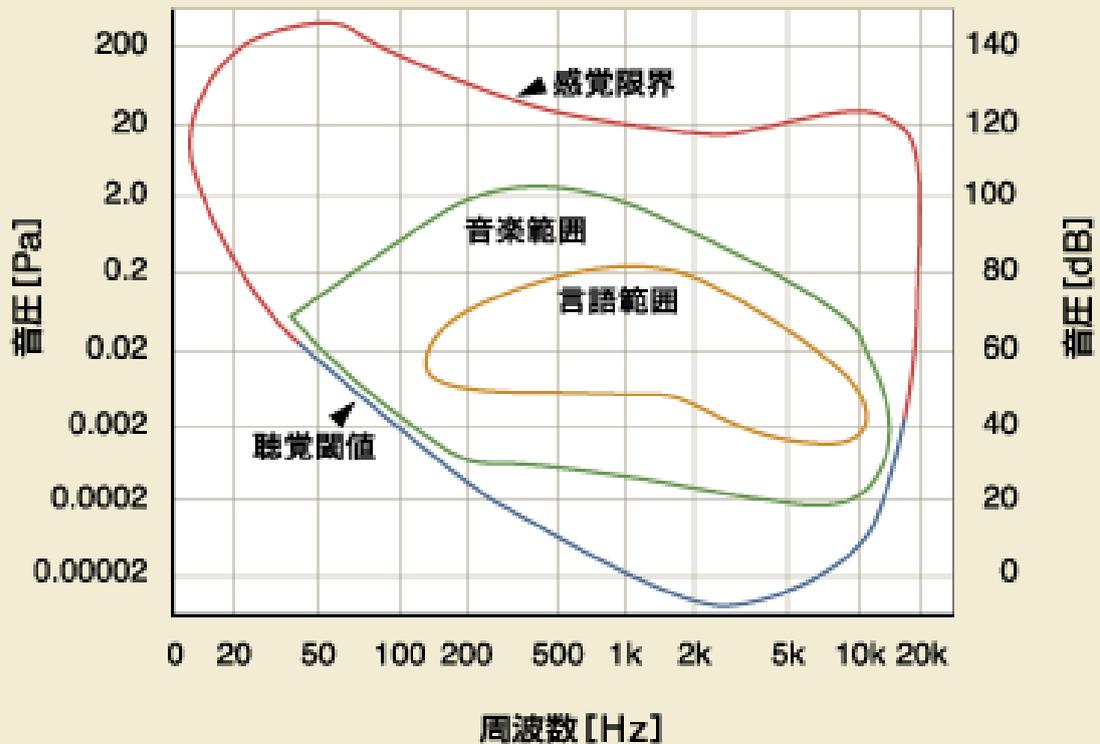
超音波の周波数の下限に関する定義はいくつかあるが、1つは20kHz以上の音波とするものであり、例えば広辞苑では『超音波は振動数が毎秒2万ヘルツ以上で定常音として耳に感じない音』と定義されている。なお、「人間が聞き取れない」周波数ではあるが、発声に関しては20kHzを超える音成分を発することができる人もいる。

一方、超音波の周波数の上限は特に規定されていないが、2007年現在の科学技術では数GHzまでの超音波が発生できるため、このあたりが実質的な上限といえるかもしれない。但し、周波数を高めても伝搬媒体とのインピーダンスが整合していなければキャビテーションが発生して伝搬できないので実用上の上限になる。逆にこの現象を利用して超音波洗浄機等に応用される。

出典:ウイキペディア <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B6%85%E9%9F%B3%E6%B3%A2>



人間が聞き取れる音の範囲



◎転載文献:「エンジニアのための人間工学」(横溝克己、小松原明哲/日本出版サービス/1991)

https://www.honda-el.co.jp/hb/1_1.html

2) 医療機器・医療器具

<http://dev.medicalonline.jp/index/category/from/menu/catid/100-1040>

画像診断

https://www.jstage.jst.go.jp/article/dds/29/3/29_236/_pdf

理学療法

<http://seikei-masada.jp/ultrasonic.html>

超音波スケーラー

<http://www.perio.jp/member/certification/hygienist/file/57-1.pdf>

体外衝撃波結石破碎装置 (ESWL)

<http://www.fujimoto.or.jp/tip-medicine/lecture-54/index.php>

3) 交通・自動車

接近センサー

4) 海上

魚群探知機

https://www.istage.jst.go.jp/article/dds/29/3/29_236/_pdf

ドップラ・スピード計 (対水船速)

<https://www.jrc.co.jp/jp/product/lineup/jln740/index.html>

5) 軍用ソナー

潜水艦ソナー音

https://www.youtube.com/watch?v=W8zuPGhn_V8

<https://www.youtube.com/watch?v=fCY4zwJ-Dal>

6) パッシブソナー

音響監視システム(英語: Sound Surveillance System, SOSUS、ソーサス)

<https://ja.wikipedia.org/wiki/SOSUS>

7) 加工 超音波カッター、超音波融着、等

<https://www.suzuki-ultrasonic.com/lineup/>

8) 補足

アクティブソナーとパッシブソナー

アクティブ型は信号を放射して反射音を解析して探索する魚群探知機は、アクティブ型のソナー(レーダー)です。

アクティブ型は信号を放射して反射音によって測定するため、対象が音を発していなくても音を反射する場合には測定することができる。

アクティブ型は、信号を発して、相手にも自分の位置を教えることになるため軍事艦船では利用方法が限られます。

パッシブ型は集音した音を解析して探索:

スクリュー音やエンジン音(モーター音)などを船舶や潜水艦が発している場合には、解析できる。

対象が静かな場合には集音しても解析不可(潜水停止している潜水艦など)。船体、あるいはソナー・ドームの側面にパッシブ・ソナーを取り付ける形態がある。特に潜水艦の場合、上下方向の設置スペースもそれなりに確保できるので、縦方向・横方向とも、取り付けられるハイドロフンの数は多くなる。

例えば、アメリカ海軍のヴァージニア級攻撃型原潜を見ると、船体の側面に3カ所の四角い張り出しがあるが、これが側面ソナー・アレイである。縦横にハイドロフンを並べているから、それぞれの方向について受聴した音の位相差を調べて、3次元で発信源の方位を知ることができると考えられる。

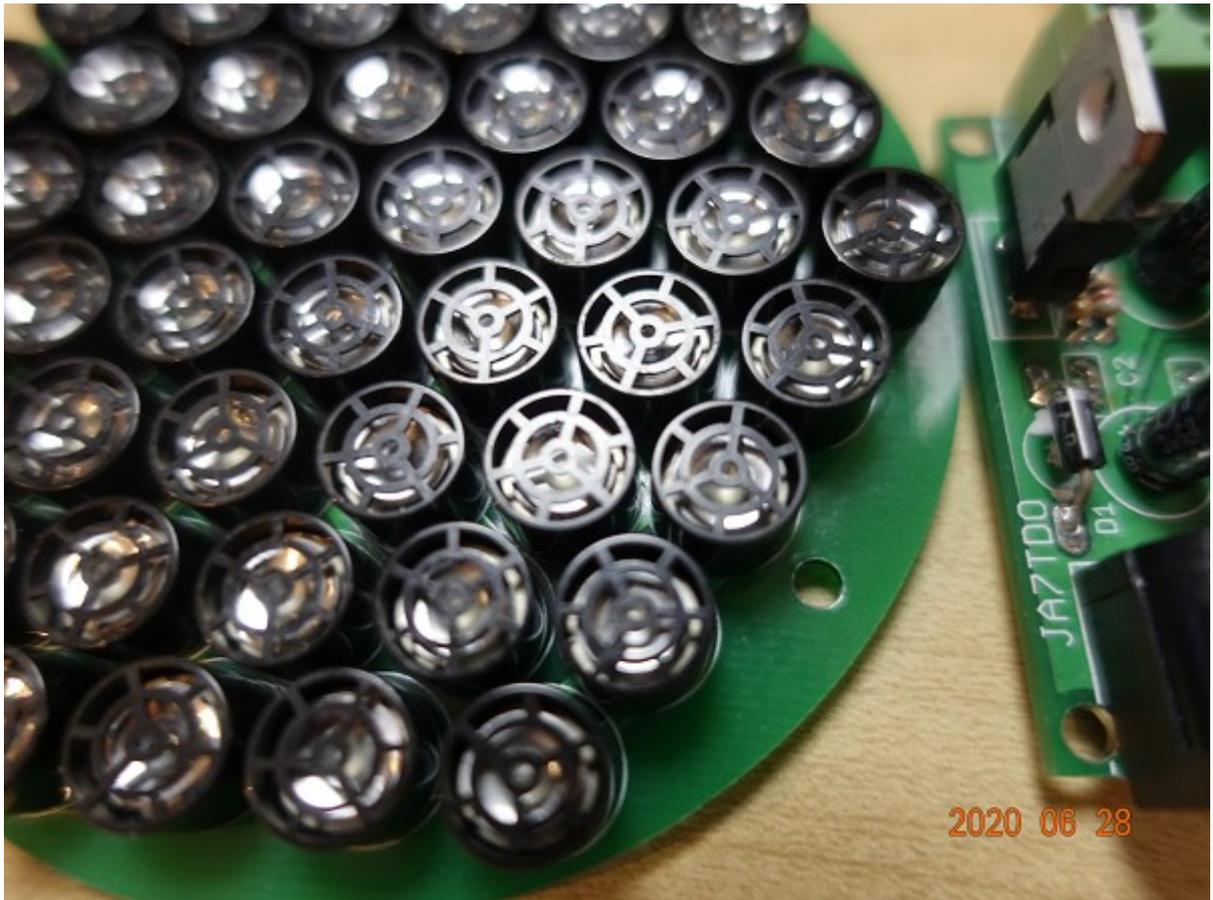
建造中のヴァージニア級攻撃型原潜。色が暗い上に影になっているのでわかりにくいですが、船体の側面に3カ所、側面ソナー・アレイの張り出しがある Photo :



https://news.mynavi.jp/article/military_it-199/

9) 超音波スピーカー

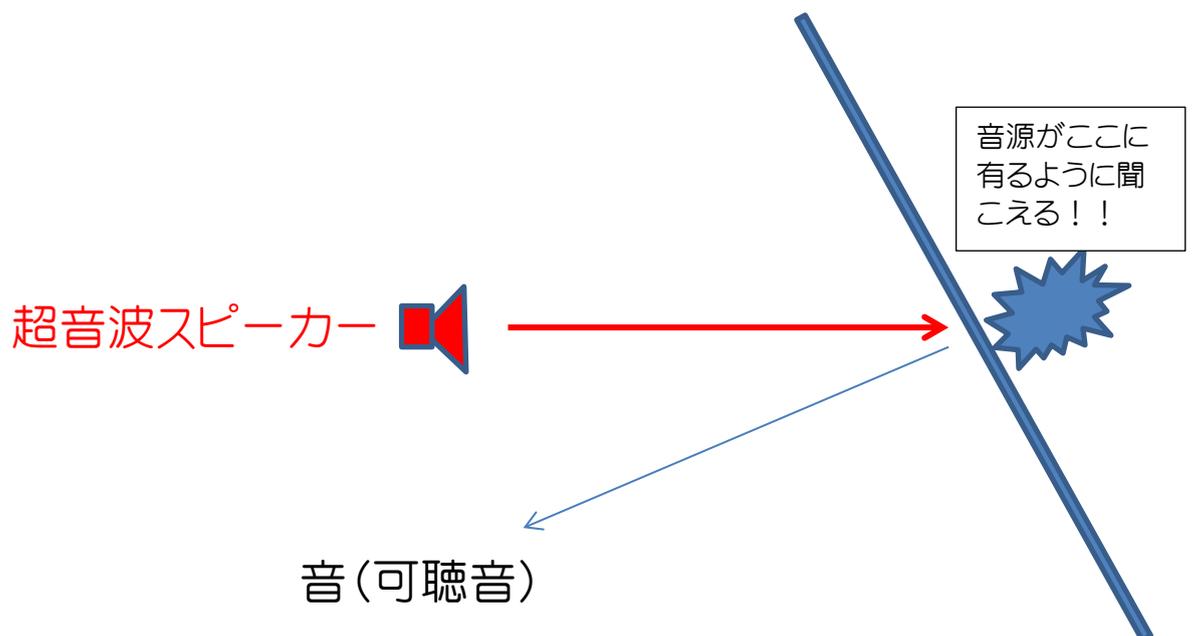
今日の話です



寺川様 ご持参の超音波スピーカー実験システム

実験:

スマホから音源を供給すると、超音波スピーカーの音が反射面と思われる方向から聞こえる。



10) 超音波スピーカーの歴史

リコーの米山、藤本 デノンの川面、笹部 論文発表 同時に実機を発表(1983-6)

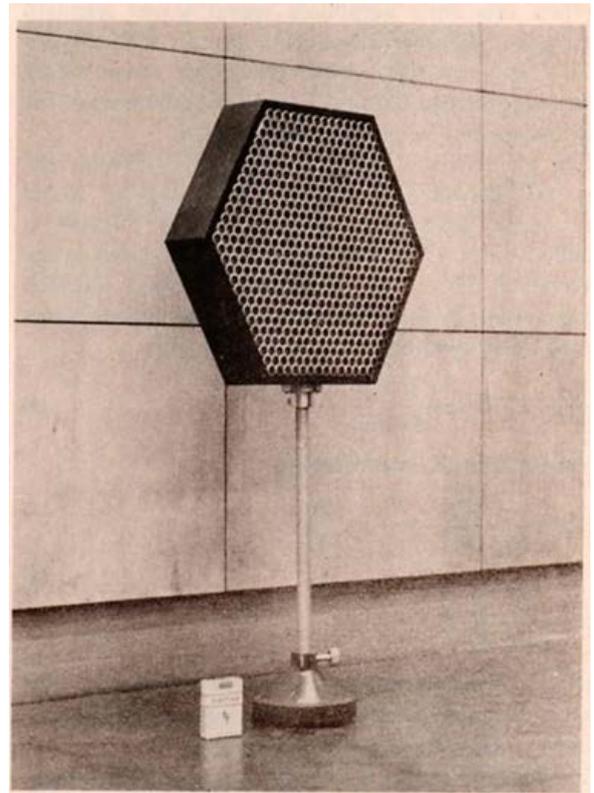
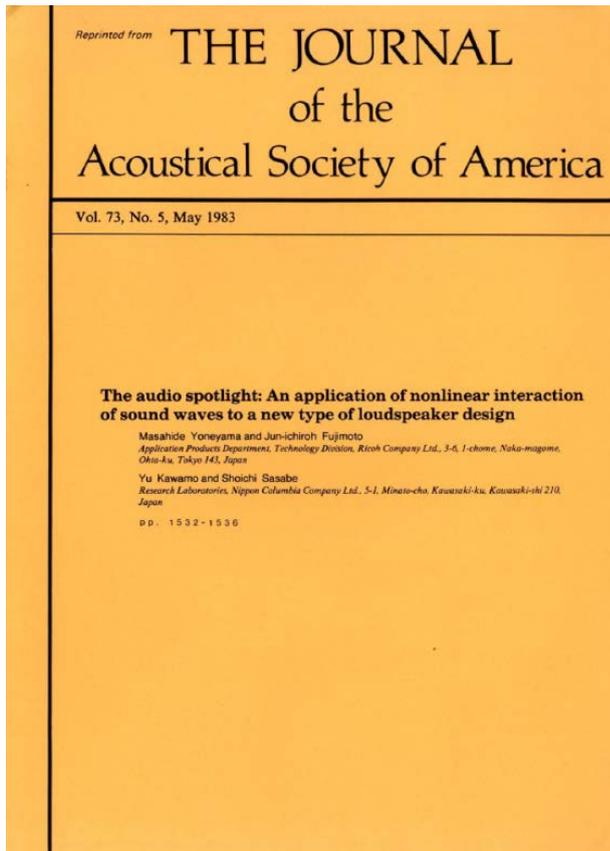


FIG. 2. Front view of the loudspeaker.

The audio spotlight: An application of nonlinear interaction of sound waves to a new type of loudspeaker design

Masahide Yoneyama and Jun-ichiroh Fujimoto
Application Products Department, Technology Division, Ricoh Company Ltd., 3-6, 1-chome, Naka-magome, Ohta-ku, Tokyo 143, Japan

Yu Kawamo and Shoichi Sasabe
Research Laboratories, Nippon Columbia Company Ltd., 5-1, Minato-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi 210, Japan

(Received 12 May 1982; accepted for publication 17 January 1983)

11) 下記の両者の共通の考え方:

規則的に配列するフェーズドアレイ超音波スピーカーを使う。

リコーとデノンの発表のシステム(1982年5月)

- 超音波キャリアによる音の方向性については成功した。
- オーディオ音は彼らの努力にもかかわらず歪みを改善できず、音質が悪くその後改善されることなく実用化を断念し日本の技術は消え去った。

MIT Media Lab. F.JosephPompei、2002年6月 博士論文公開

- 音の方向性を非常に重視するのは、リコーとデノンの発表と同じ。
- オーディオ音は歪みをきわめて小さくする理論を構築。

Chapter 3 Low-Distortion Audio Reproduction

Beginning with the KZK equation:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial z \partial \tau} = \frac{c_0}{2} \nabla_r^2 p + \frac{\delta}{2c_0^3} \frac{\partial^3 p}{\partial \tau^3} + \frac{\beta}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p^2}{\partial \tau^2}, \quad (3.1)$$

11-1) ポンペイ氏の発明

[追記]

* CISパートナーの疑問点:

隣り合う2つの音源の分離特性は十分か?
仕様書を見ると、音の減衰は中心から1m離れた場所で-20dBと記されており音の大きさ10%が漏れて聞こえることになる。これは隣接して音源が有る状況では、不十分である。→-40dBは必要!

デバイスの最大音量について:
展示場の騒音を考えると80dB (SPL) 以上必要ではないか。
また、消費電力は? 効率は?

* 調査結果

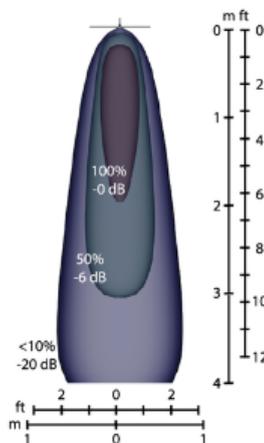
会議後市販されている商品カタログによればシステム消費電力(アンプとスピーカー)は25W、最大音声出力APLは85dB 周波数特性は400Hz~16000Hz 価格は20万円

音楽再生には低音不足感を感じるが、音量は十分と思われる。これだけの性能で実物を見る機会が無いのは、価格が1ユニット20万と高額のためではないだろうか。



SOUND FIELD

SPECIFICATIONS



- 85dB output @ 1kHz
- 25W max power draw
- 16"L x 16"W x 1.4"H
- 40cm L x 40cm W x 3.5cm H
- 4.5 lbs (2.0 kg)
- VESA100 mount pattern, compatible with thousands of standard brackets

Sound from ultrasound; Joe Pompei's Audio Spotlight, USS Patent 6778672
telepathhero.blogspot.com/2013/05/sound-from-ultrasound-joe-pompeis-audio.html

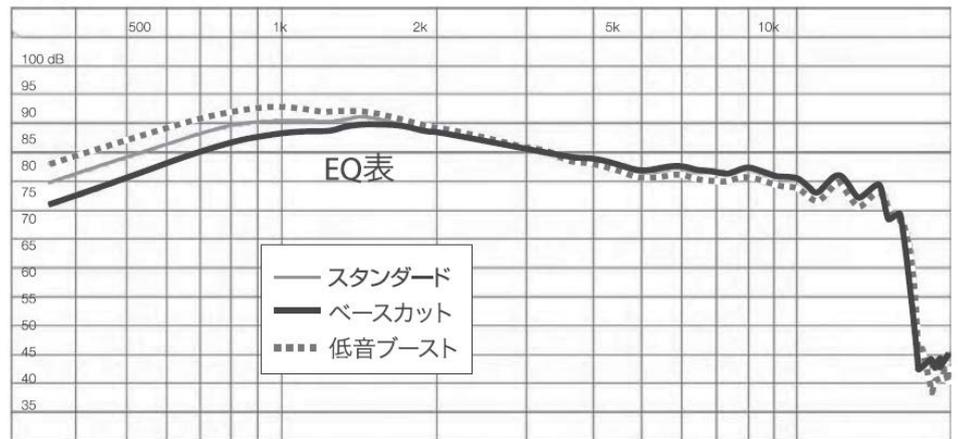
11-2) 商品化されている一例: アメリカン・テクノロジー社



モデル H450 & H460



H460



システム

帯域	400Hz~16KHz	
最大音声SPL出力	H450	85db @ 1khz/1メートル
	H460	91db @ 1khz/1メートル

電力頻度(全装置)

アンプの種類	Dクラス フルブリッジ
--------	-------------

電気

AC電源コードの長さ	1.83m
------------	-------

最大消費電力

ワット量	最大100w
------	--------

12)競合する2つのシステムがある

(1)『オーディオ・スポットライト』

マサチューセッツ工科大学(MIT)メディアラボの博士課程に在籍する大学院生、ジョセフ・ポンパイ氏がこの技術の開発。

(2)『ハイパーソニック・サウンドシステム』

ノリス氏の米アメリカン・テクノロジー社でポンパイ氏の発明と対抗している。
米国陸軍との間で技術開発契約を結んだ。

- この技術を使って近くに誰かいると思わせ、敵を混乱させる。
- この技術をさらに強力にした『音波狙撃中』の開発も進めている。
群集統制に使える、敵軍を弱体化し、「戦闘意欲を喪失させる」。

Yokomichi:

ジョセフ・ポンパイ氏は、病院内の音伝達や、狙った特定場所場所で音楽を楽しめる自分の技術が戦争に使われなくてよかったと喜んでいるという。

<https://wired.jp/2002/02/25/%E8%B6%85%E2%BE%B3%E6%B3%A2%E3%83%93%E3%83%BC%E3%83%A0%E3%81%A7%E3%80%8C%E3%81%AD%E3%82%89%E3%81%84%E5%AE%9A%E3%82%81%E3%81%A6%E3%80%8D%E2%BE%B3%E3%82%92%E4%BC%9D%E3%81%88%E3%82%8B%E6%96%B0%E6%8A%80>

12-1)防災用途

特殊用途として、米国LARD社の、高出力の超音波スピーカーシステムがある。
前記の、ハイパーソニック・サウンドシステムの平和的利用で、出力は130dB(SPL)以下で運用される。

- 断続的に強力な音波を照射された場合、聴覚障害の危険性がある。制圧目的の場合には一度に数秒程度とし、連続照射をしない。
- 指向性を持っているため距離の離れた限られた範囲内に音声メッセージを明確に伝えることにも利用。例えば災害発生時に相手側に無線受信機がなくても被災者に適切な指示を伝えたり、群衆の中の特定集団にのみ指示を出す(周囲の人間の妨げに成らない)事も可能である。



<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Soundweapon1.jpg>

12-2) 音響兵器としての使用事例

•LRAD Corporation製の長距離音響発生装置であるLRAD(Long Range Acoustic Device)がイラク駐留米軍に配備されるとの報道が2004年にあり、メーカー発表によると300台以上配備されている。

•直径80cm程度の椀型か四角形、あるいは六角形をしており、重量は30kg前後で、有効範囲にある対象に向け作動させる事で、攻撃の意欲を無くさせる効果もある。



[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:A_U.S._Soldier_assigned_to_the_38th_Cavalry_Regiment_talks_on_the_radio_during_the_Kosovo_Force_\(KFOR\)_18_Mission_Rehearsal_Exercise_\(MRE\)_at_the_Hohenfels_Training_Area_in_Germany_Jan._19,_2014_140119-A-EM978-001.jpg](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:A_U.S._Soldier_assigned_to_the_38th_Cavalry_Regiment_talks_on_the_radio_during_the_Kosovo_Force_(KFOR)_18_Mission_Rehearsal_Exercise_(MRE)_at_the_Hohenfels_Training_Area_in_Germany_Jan._19,_2014_140119-A-EM978-001.jpg)

* ミリタリーユースであり、中身の詳細には接近できない。

12-3) 日本での使用例

日本での使用例が報告されている。 <https://www.afpbb.com/articles/-/2676149?pid=5059417>

【2009年12月18日 AFP】過激な反捕鯨活動を行う米環境保護団体「シー・シェパード(Sea Shepherd Conservation Society)」は18日、同団体の抗議船スティーブ・アーウィン(Steve Irwin)号が南極海で、日本の調査捕鯨船から音波や放水による攻撃を受けたと非難する声明を発表した。

シー・シェパードは、日本の「第2 昭南丸」が長距離音響発生装置(LRAD)を使ってシー・シェパードの



ヘリコプターを追い払おうとし、さらにヘリコプターがスティーブ・アーウィン号に戻って着陸した直後、放水攻撃を行ってきたと主張。

ヘリコプターのパイロットはLRADについて、「方向感覚を狂わせ、吐き気を生じさせる装置。こうしたものを飛行体に対して使用するの双方にとり極めて危険であり、無責任な行為だ」と非難している。

LRADは合図をしたり警告を与えたりするために使用される装置で、イラク駐留米軍に配備されているほか、ソマリア沖の海賊撃退の目的でも使用されている。

シー・シェパードの抗議船と日本の調査船の間での今シーズンの攻防は、14日に始まったばかりだが、スティーブ・アーウィン号のポール・ワトソン(Paul Watson)船長は、「小競り合いはすでにかなり危険な領域に達している」と警告した。

同船長は、「日本船を氷の間に引き込んで、混乱させようと試みている。だが冰山は両方の船に損害を与える可能性がある」と話している。(c)AFP

<https://www.afpbb.com/articles/-/2676149?pid=5059417>

12-4) 民生機器としての使用例

モスキート音(高周波音、超音波)発生装置、若者撃退装置



飲食店



線路



街頭

撃退対象と周波数

対象	周波数
小型動物、ねずみ、げっ歯類	13.5KHz～17.5KHz
大型犬、キツネなどの中型動物	15.5KHz～19.5KHz
小型犬、猫、鳥など	19.5KHz～23.5KHz
ヒト(10代の若者)	18KHz～38KHz

<http://dev.medicalonline.jp/index/category/from/menu/catid/100-1040>

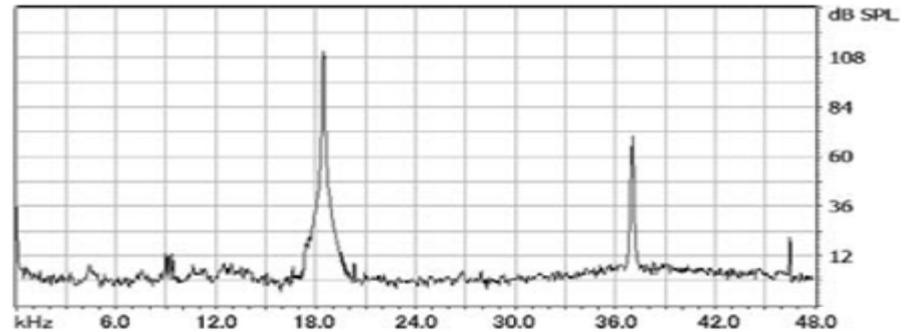
人は、30歳台を超すと、高い周波数の音が次第に聞こえなくなるが、一般に、10代の若者は20KHz当たりの音が不通に聞こえる。 これを利用して、18KHz～38KHzの超音波を浴びせることにより気分が悪くなるなどの間隔が生じて、その場所から移動する。

この装置は、アマゾンなどで一般的に販売されている。

https://www.amazon.co.jp/dp/B086GCSH43/ref=sspa_dk_detail_0?psc=1&pd_rd_i=B086GCSH43&pd_rd_w=lx30o&pf_rd_p=6413bd85-d494-49e7-9f81-0e63e79171a9&pd_rd_wg=Bj07j&pf_rd_r=0HMV0DC31PRESP37P7SJ&pd_rd_r=027cf7f7-aca0-4285-9cbf-d999325f1076&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEyUFkyRUVXM0c2T0xHJmVuY3J5cHRIZEIkPUEwOTEOMjkwMkcwTEZVMTRTNkowsTyZlbnNyeXB0ZWZlbnR1eXQzE2MkdZM09FN0cmd2IkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhYWwmYWNOaW9uPWNsaWNRUmVkaXJlY3QmZG90b3Rmb2dDbGljaz10cnVl



超音波スピーカー



周波数特性

13) 動画の紹介

若者撃退装置

<https://www.mosquito-jp.com/>

超音波撃退器(amazon)

https://www.amazon.co.jp/dp/B086GCSH43/ref=sspa_dk_detail_0?psc=1&pd_rd_i=B086GCSH43&pd_rd_w=lx30o&pf_rd_p=6413bd85-d494-49e7-9f81-0e63e79171a9&pd_rd_wg=Bj07j&pf_rd_r=0HMV0DC31PRESP37P7SJ&pd_rd_r=027cf7f7-aca0-4285-9cbf-d999325f1076&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEyUFkyRUVXM0c2T0xHJmVuY3J5cHRIZEIkPUEwOTEOMjkwMkcwTEZVMTRTNkowsTyZlbnNyeXB0ZWZlbnR1eXQzE2MkdZM09FN0cmd2IkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhYWwmYWNOaW9uPWNsaWNRUmVkaXJlY3QmZG90b3Rmb2dDbGljaz10cnVl

海の動物たちの悲鳴～軍事用ソナーの影響

<https://www.youtube.com/watch?v=fCY4zwJ-Dal>

14) 今後の日程:

第98回	中尾 元一 様	7月26日(日)
第99回	久米 健次 様	8月23日(日)

以上