

医用超音波プローブレンズ用シリコンゴムの音響減衰特性に与える酸化物微粉末添加物の効果

Effects of Fine Ceramic Particle Dopant on the Acoustic Attenuation Properties of Silicone Rubber Lens for Medical Echo Probe

山下洋八†, 細野靖晴、逸見和弘 (†東芝リサーチコンサルティング(株)、(株)東芝)

Yohachi Yamashita, Yasuharu Hosono and Kazuhiro Itsumi (†Toshiba Research Consulting Co.,)

The effects of fine metal oxide particles, BaSO₄, Al₂O₃, TiO₂, ZrO₂, Fe₂O₃ and Yb₂O₃ on the acoustic properties of silicone rubber have been investigated, in order to develop an acoustic lens material with a low acoustic attenuation. Silicone rubber doped with Yb₂O₃ powder having nanoparticle size of 16 nm showed a lower acoustic attenuation than silicone rubber doped with other powders. The silicone rubber doped with Yb₂O₃ powder showed a density of $1.63 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, a sound velocity of 816 m/s, an acoustic impedance Z_{33} of $1.33 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$, an acoustic attenuation of 0.93 dB/mmMHz at 37°C. The low sound velocity and low acoustic attenuation of the lens material contribute to make a low loss acoustic lens for medical array probe application.

1. 緒言

医用超音波診断装置に用いる超音波プローブの特性は能動部品である圧電材料のみならず、受動部品である背面吸収材(バックング材料)および音響整合層材料(マッチング材料)、音響レンズ材料の性能に大きく左右される。特にプローブの中心周波数が7MHzを越えるような高周波プローブでは音響レンズによる超音波の減衰が10dB以上と大きく、感度低下が大きな問題となっている。音響レンズ材料は生体と直接に接触するために生体適合性に優れたシリコンゴムがほぼ独占的に用いられている。¹⁻⁵⁾ほぼ純粋のシリコンゴムは音速Cが約1000m/sであり、密度が約1.0であるために音響インピーダンスC(Z_{33})は約1.0MRaylsである。このために生体の $Z_{33}=1.53\text{MRayls}$ と比べてかなり小さい。これまでにシリコンゴムの密度を増加させるために各種の酸化物添加物が試みられてきた。¹⁻⁶⁾しかしながら、これらの添加物の密度は2.2-4.2と小さいために必要とされる $Z_{33}>1.4\text{MRayls}$ を得るためには44-56wt%、(約16-33vol%)の添加物量が必要とされる。このためにシリコンゴムの減衰率が増加する傾向があった。我々は酸化物と比べて密度が高い各種金属粉末である白金(Pt)、金(Au)、タングステン(W)、パラジウム(Pd)、銀(Ag)、ニッケル(Ni)などのサブミクロンレベルの粉末粒子を少量(2.5-7vol%)、シリコンゴムに添加して、その音響特性を調べた。その結果、10nm程度の粒径を持つPtが優れた特性を示すことを報告した。⁸⁻⁷⁾今回、100nm以下の粒径を持つ各種の酸化物微粉末添加物をシリコンゴムに添加し、その音響特性を評価した。⁸⁾またこれ

らの材料の温度特性を25、37及び50にて測定し、興味ある知見が得られた。

2. 実験方法

シリコンゴム材料としては前回と同様にGE東芝シリコン社のRTVのTSE3032を用いた。⁸⁾このシリコンゴムにTable Iに示された各種酸化物粒子をほぼ同一重量添加し、混合攪拌、脱気を行い、ガラス板上で成型し、40℃で24時間放置して硬化させ30×30×1.0mmの形状のサンプルを作製した。密度はアルキメデス法にて求めた。音速、 Z_{33} 、減衰率を5MHzで測定した。減衰率の測定は温水中(25-50℃)にサンプルを配置し、下部のステンレス板からの反射を5MHzのプローブで受けて、測定した。

Table I Selected dopant for silicone rubber

Sample #	Dopant type	Density (g/cm ³)	Particle size(nm)	Rubber vol(%)	Rubber density
1	None	2.2	(20)	(4)	1.02
2	SiO ₂	2.2	4000	36.5	1.45
3	Al ₂ O ₃	3.97	100	17	1.52
4	TiO ₂	3.89	100	17.3	1.52
5	BaSO ₄	4.5	100	15	1.54
6	Fe ₂ O ₃	5.24	30	12.4	1.54
7	ZrO ₂	5.68	20	10.6	1.51
8	Yb ₂ O ₃	9.2	16	6.3	1.54
9	Pt	21.4	10	2.7	1.54

3. 結果と考察

粘性の高いシリコンゴムへの100nm以下の粉体の

均一な練り込み充填はのかさ比重が低いために困難である。このために低密度 (<5) の添加物はその粒径が 100nm 程度の粉体を用い、高密度 (>5) の添加物では 30nm 以下の粉体を用いた。これらの材料の音響特性の 37 の値を Table II に示す。また、ほぼ純粋のシリコーンゴムを用いた # 1 と Yb₂O₃ を添加した # 8 のサンプルの音速、減衰率の温度特性を Fig.1 及び Fig.2 に示した。

Table II Acoustic properties of silicone rubber doped with different particles measured at 37 °C.

Sample #	Sound velocity (m/s)	Acoustic impedance (Mrayls)	Attenuation (dB/mmMHz)	Figure of Merit
1	976	1.00	0.43	419
2	982	1.42	1.47	1446
3	899	1.36	0.97	875
4	884	1.34	1.05	930
5	923	1.43	1.84	1695
6	957	1.47	2.36	2258
7	887	1.34	0.92	817
8	882	1.35	0.93	822
9	818	1.26	0.71	584

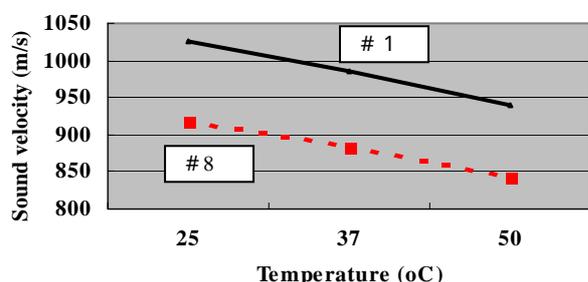


Fig.1 Temperature dependence of sound velocity of sample #1 and #8.

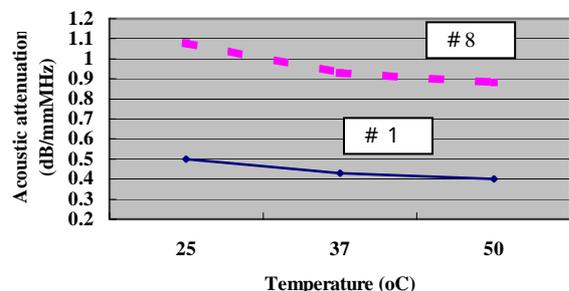


Fig.2 Temperature dependence of acoustic attenuation properties of sample #1 and #8.

Table II から明らかなように密度の低い SiO₂ を添

加した場合にはシリコーンゴムの音速がやや増加する。しかし、密度が高い添加物, ZrO₂, Yb₂O₃ を入れた場合には音速は 900m/s 以下となる。一方、減衰率は添加物密度とは大きな相関関係が見られず、Al₂O₃, ZrO₂, Yb₂O₃ を添加したシリコーンゴムが比較的小さな値を示した。また、Fig-1 及び Fig.2 から明らかなようにシリコーンゴム単体及び添加物を入れたシリコーンゴムの音響特性には大きな温度依存性があり、温度の上昇に伴い音速の低下、減衰率の低下が生じる。25 と 37 ではその音速及び減衰率が約 4%、14%それぞれ低下する。このためにシリコーンゴムの音響特性評価では厳密な温度管理が重要である。

4. 結論

我々は超音波プローブ用の低損失音響レンズ材料を開発するためにほぼ純粋に近いシリコーンゴム (TSE-3032) に粒径の異なる 100nm 以下の各種酸化物微粉末添加物を添加してその音響特性を評価した。その結果、以下の結果が得られた。

- (1) 密度の高い酸化物添加物を添加することでシリコーンゴムの音速が 900m/s 以下の低音速のゴム材料が得られる。
- (2) 減衰率が大きいのは BaSO₄ と Fe₂O₃ であり、密度や充填量とはさほど強い相関がない。減衰率が大きいこれらの材料は又、音速が速い。
- (3) 減衰率が比較的に小さいのは Al₂O₃, ZrO₂ 及び Yb₂O₃ であり、密度や充填量とはさほど強い相関がない。
- (4) シリコーンゴムの音響特性には大きな温度依存性があるために厳密な温度管理が必要。
- (5) これまでに報告した減衰率が小さな添加物である白金に替わる酸化物添加物としては充填の容易な高密度の Yb₂O₃ が有望である。

引用文献

- 1) K. Iinuma and M. Hashimoto: Proc. 26th Conf. Medical Ultrasonics, Tokyo, 1974, Jpn. J. Med. Ultrason., 28 (1974) Suppl.26, p.119 [in Japanese].
- 2) K. Matsuo: Japanese Patent No.1,551,320 [in Japanese].
- 3) N. Shimamoto and R. Handa: Japanese Patent No. 1,799,240 [in Japanese].
- 4) M. Sato and N. Shimamoto: Japanese Patent No. 3,105,151 [in Japanese].
- 5) K. Saito, K. Fukase: Japanese Patent Publication No. 2002-95081 [in Japanese].
- 6) Y. Yamashita, Y. Hosono and K. Itsumi: Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005)4558.
- 7) Y. Yamashita, Y. Hosono and K. Itsumi: Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006)4684.
- 8) Y. Hosono, Y. Yamashita and K. Itsumi: To be published in Transaction IEEE UFFC, **54**(2007)***.