

# 柔軟性超音波探触子の医用超音波への応用

田中雄介、吉田光良、小倉幸夫

ジャパンプローブ株式会社 〒232-0033 神奈川県横浜市南区中村町 1-1-14

E-mail: {yuusuke.tanaka, m.yoshida, ogura}@jp-probe.com

**あらまし** 柔軟性超音波探触子を用いた医用超音波への応用を報告する。ソフトプローブによる老視評価や口腔内計測、フレキシブルリニアアレイプローブによる曲面からのファントムの画像化について述べた。老視評価はラットの摘出水晶体を計測し、受信波形から音速を計算した。老齢ラットほど音速が速くなった。また、硬度計による計測で水晶体音速が速いほど水晶体硬度が高かった。また、マウスの眼球に探触子を接触させて水晶体の音速を調べると老齢マウスは音速が速かった。口腔内計測は歯肉や皮質骨の厚さを評価した。

**キーワード** 超音波、探触子、水晶体、老視、音速

## Application of flexible ultrasound probe for medical field

Yuusuke TANAKA Mitsuyoshi YOSHIDA Yukio OGURA

Japan Probe Co., Ltd., 1-1-14 Nakamura-chou, Minami-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 232-0033, Japan

E-mail: {yuusuke.tanaka, m.yoshida, ogura}@jp-probe.com

**Abstract** We report the application to medical ultrasound using a flexible ultrasound probe. Evaluation of presbyopia with soft probe and intraoral measurement, and imaging of phantom from curved surface with flexible linear array probe are described. For presbyopia evaluation, the rat's isolated lens was measured, and the speed of sound was calculated from the received waveform. The sound speed became faster as the old rat was. The hardness of the lens was higher as the speed of sound of the lens was higher as measured by a hardness tester. Also, when the probe was brought into contact with the eyeball of the mouse and the sound velocity of the lens was examined, the aged mouse had a high sound velocity. Intraoral measurement evaluated the thickness of gingiva and cortical bone.

**Keywords** Ultrasonic, Probe, Crystalline Lens, Presbyopia, Acoustic Velocity

### 1. はじめに

超音波計測は非破壊検査や超音波診断など工学や医学の分野で利用されている。超音波の送受信は超音波探触子で行うが、超音波探触子は形状が固定で計測対象に合わせて変形することはできない。そのため非破壊検査では凹面や凸面の場合に探触子を試験体に十分に接触できず計測が困難である。医用超音波では被験者に探触子を押し付けて計測するが、計測時に痛みを伴い、骨など凸面では探触子を十分に接触できないので計測が困難である。また、眼科の超音波計測においてはペン型の超音波プローブを角膜に直接接触させて計測しており、麻酔が必要など患者の負担が大きい。我々は計測対象に合わせて探触子の形状を変化させることができる柔軟性超音波探触子を開発し、凹凸面や曲面からの計測について報告してきた[1]。眼科用として柔軟性超音波探触子でまぶたの上から計測することで負担を軽減できる。今回、柔軟性超音波探触子を用

いた医用超音波への応用として水晶体計測による老視評価や歯肉の厚さ計測、ファントムの曲面からの画像化について述べる。

### 2. 柔軟性超音波探触子

#### 2.1 ソフトプローブ

振動子がアレイタイプではないソフトプローブについて述べる。ソフトプローブは振動子にPZT-エポキシの1-3コンポジットを使用しており、図1のように整合層、振動子、ダンパの3層構造である。探触子形状はペン型や図2のようなフラット型があるが、水晶体の計測用に図3のシート状ソフトプローブを開発した。安定した超音波計測には探触子の保持が必要であるが、ペン型の場合は振動子が大きくまぶたの上では探触子の保持が難しい。図4のようにシートの端部を押さえることで探触子の保持を行いやすくし、安定した計測を行う。ソフトプローブで取得できる情報は時

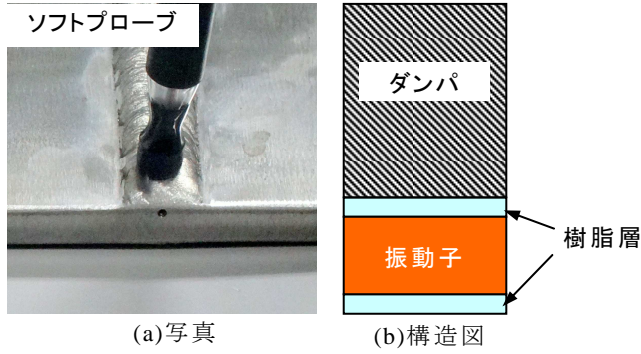


図 1 ソフトプローブ

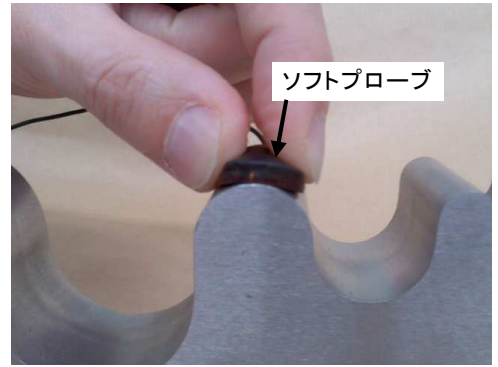


図 2 フラット型ソフトプローブ



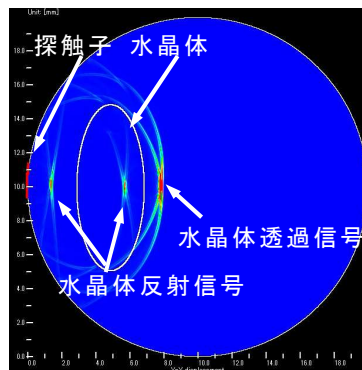
図 3 シート状ソフトプローブ



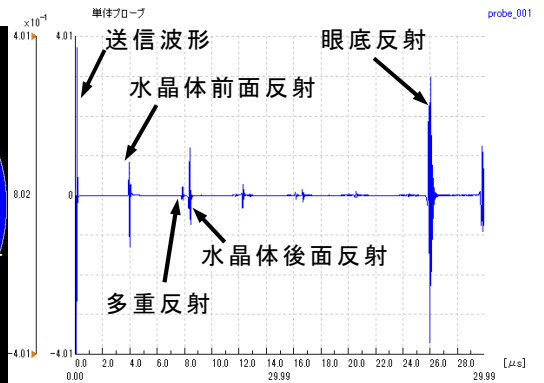
図 4 まぶたの上からの計測



図 5 指に巻いたリニアアレイプローブ



(a)超音波伝搬図



(b)受信波形

図 6 シミュレーション結果

間と振幅の A モード波形である。

## 2.2 フレキシブルリニアアレイプローブ

フレキシブルリニアアレイプローブは短冊状の振動子が並んでいる構造で、シート状の探触子である。図 5 のように指に巻くことができる柔軟性を有しており、曲率半径は最小 5[mm]まで対応可能である。取得できる情報は各素子で A モード波形を受信し、素子ごとの波形を組み合わせて断面画像の B モード画像を構築することができる。

## 3. 水晶体の音速測定

### 3.1 老視と水晶体計測

図 3 のシート状ソフトプローブを用いた水晶体計測

について述べる。老視になると水晶体の厚さ調節機能が低下し、物体が見えにくくなる。通常遠い位置の物体を見るときは水晶体が薄くなり、近い位置の物体を見るときは水晶体が厚くなる。老視では水晶体が硬くなり厚さが変化しにくくなり、特に近い位置の物体が見えにくくなる。水晶体が硬くなることで音速が変化するので超音波により音速を計測することで老視の評価が可能になる。

水晶体の音速は水晶体前面と後面の反射信号の時間差を計測し、水晶体厚さから音速を求める。図 6 はシミュレータ(イーコンピュート、SWAN21)による超音波伝搬図と受信波形であるが、水晶体の前面反射信号と後面反射信号の波形から音速を求めることができ

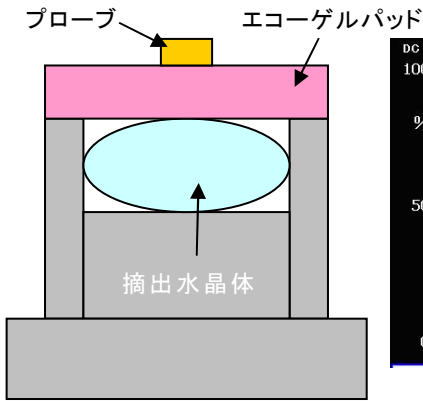
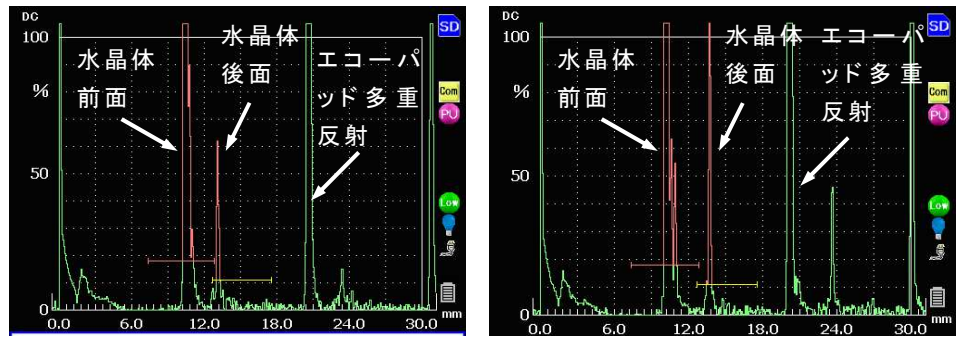


図7 水晶体計測図



(a)8週ラット

(b)79週ラット

図8 ラット水晶体計測波形

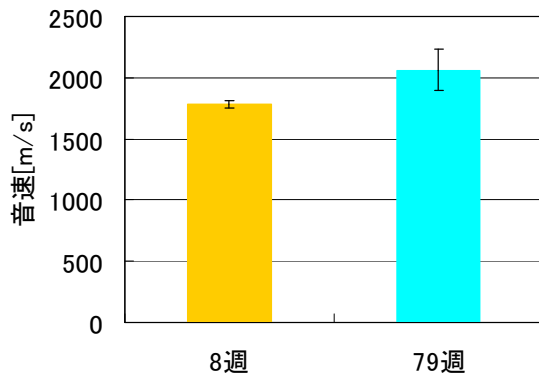


図9 8週ラットと79週ラットの水晶体音速

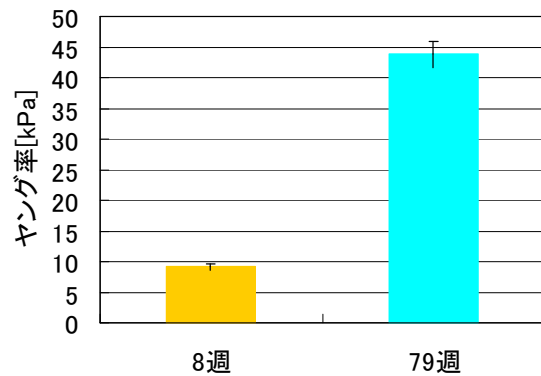


図10 8週ラットと79週ラットの水晶体ヤング率

る。また、水晶体前面の多重反射があるが、水晶体が球面のため多重反射信号が拡散し、水晶体の反射信号に比べて小さい。そのためノイズへの影響が少なく無視できると考えられる。

### 3.2 若年ラットと老齢ラットの水晶体音速

8週ラット(Jcl:SD、8週、雄)と79週ラット(Jcl:SD、79週、雄)各6匹の摘出水晶体の音速を超音波で計測した。用いた超音波探触子はシート状の柔軟性超音波探触子で振動子径1[mm]、周波数10[MHz]である。探触子と水晶体の間に厚さ10[mm]の樹脂遅延材(八十島プロシード、エコーゲルパッド)を配置した。計測は図7のようにステージに水晶体を配置して行い、ステージで水晶体の厚さを計測した。超音波探傷器(菱電湘南エレクトロニクス、UI-27)で駆動し、水晶体前面と後面の反射信号を計測した。

水晶体計測波形の一例を図8に示す。水晶体前面の反射信号と後面の反射信号がそれぞれ観測された。図8では8週ラットの水晶体厚さは3.2[mm]、伝搬時間は1.85[μs]で音速は1730[m/s]である。また、79週ラットの水晶体厚さは4.6[mm]、伝搬時間は2.25[μs]で音速は2044[m/s]である。図9に示すように8週ラットの音速は1780.6±43.3[m/s]、79週ラットの音速は2063.8±180.4[m/s]となり有意差があった(Unpaired-t test,

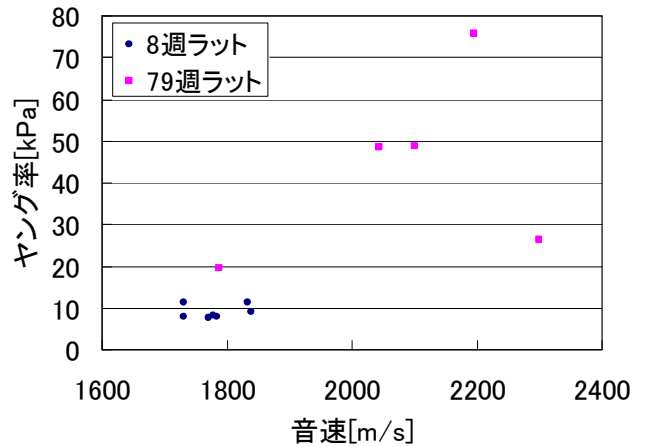


図11 水晶体音速とヤング率の関係

p=0.001)。

### 3.3 水晶体音速と硬度

次に弾性計測装置により摘出水晶体のヤング率を測定した。押し込み速度は0.2[mm/s]、最大荷重は1[N]とした。水晶体のヤング率は図10に示すように8週ラットは7.72±0.99[kPa]、79週ラットは10.49±3.02[kPa]であり有意差を認めた(p=0.048)。図11に示す水晶体音速とヤング率の結果に正の相関係数を認めた(r=0.73, p=0.010)。

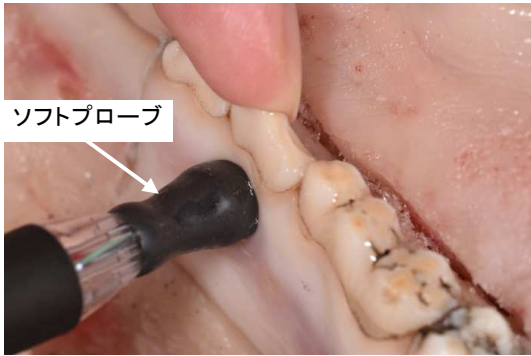


図 12 ソフトプローブによる歯肉の厚さ計測

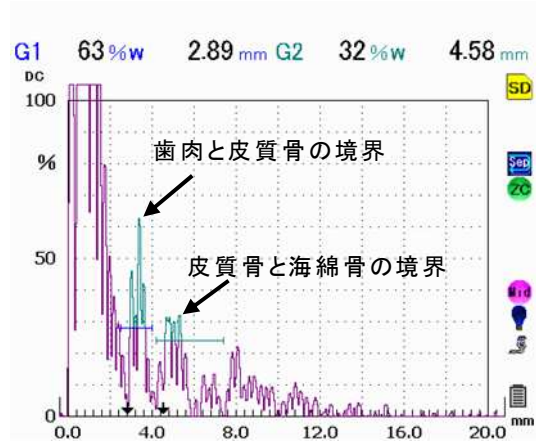
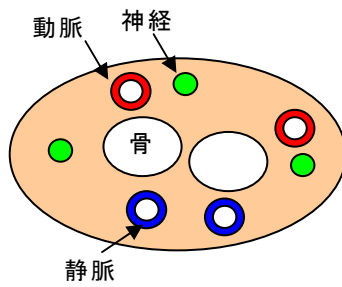


図 13 歯肉の計測波形

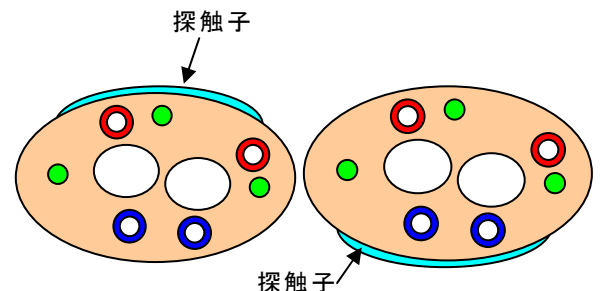


(a) 計測写真



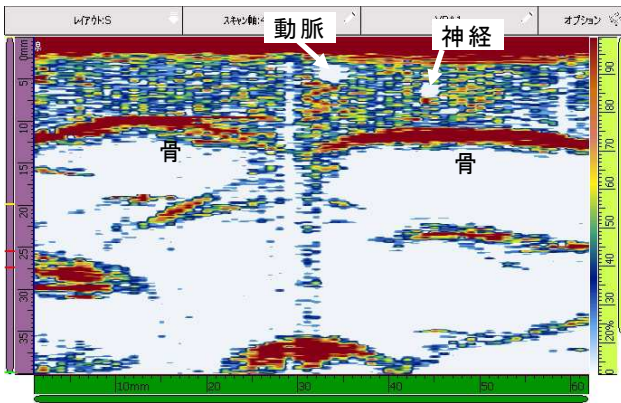
(b) 構造図

図 14 手首ファントム

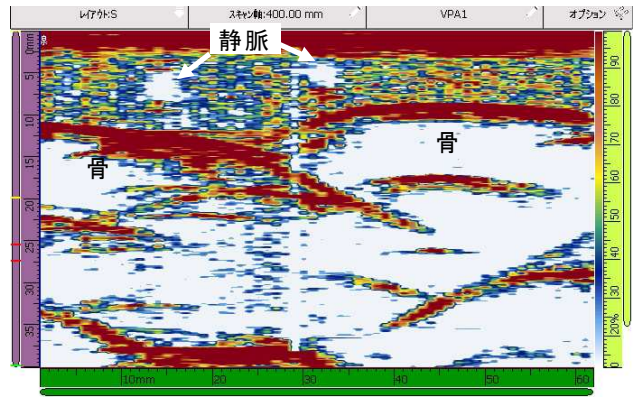


(a) 動脈側から計測 (b) 静脈側から計測

図 15 手首ファントムの計測



(a) 動脈側から計測



(b) 静脈側から計測

図 16 手首ファントムの計測結果

これらの結果から若年ラットと老齢ラットでは水晶体音速に差が発生し、老齢ラットは音速が上昇することが分かる。また、水晶体音速と硬度は相関があり、水晶体音速を計測することで老視を評価することが可能である。

#### 4. 他の医用超音波への応用

##### 4.1 歯肉の厚さ計測

ソフトプローブを用いた歯肉、皮質骨の厚さ計測について述べる。図 12 に示すように歯肉にソフトプロ

ーブを接触させ歯肉と皮質骨の厚さをそれぞれ計測する。ブタの顎を計測し、ソフトプローブは振動子径 3[mm]、周波数 10[MHz]を用いた。探傷器(菱電湘南エレクトロニクス、UI-27)で計測した。図 13 に計測波形を示す。歯肉と皮質骨の境界からの反射信号、皮質骨と海面骨の境界からの反射信号がそれぞれ計測された。皮質骨の音速、歯肉の音速でそれぞれ厚さを求めると歯肉は 1.0[mm]、皮質骨は 1.7[mm]と評価した。

##### 4.2 ファントムの計測

フレキシブルリニアアレイプローブを用いて手首

ファントムの計測を行った。用いたフレキシブルリニアアレイプローブは素子数 64、周波数 5[MHz]、ピッチ 1[mm]である。手首ファントムの構造は図 14 のように骨、動脈、静脈、神経が配置してあり、フレキシブルリニアアレイプローブを曲げてファントムの曲面から計測した。図 15 のように動脈側、静脈側からそれぞれ計測した。計測はリニアアレイ用探傷器(オリンパス、OMNISCAN)で行った。図 16 に手首ファントムの計測図を示す。動脈、静脈や神経が散乱が少なく白抜きになった。また、骨部分は超音波が反射するので骨の下は超音波画像がないことで判断した。ファントムのそれぞれの部分がフレキシブルリニアアレイプローブで計測され、人体の計測への応用が可能であることが分かる。

## 5. まとめ

柔軟性超音波探触子、ソフトプローブやフレキシブルリニアアレイプローブを開発した。ソフトプローブにより水晶体の音速を計測することで老視の評価を行うことや歯肉の厚さ計測への適用について述べた。また、フレキシブルリニアアレイプローブにより手首ファントムを画像化し、人体への応用について述べた。

## 謝辞

慶應義塾大学の坪田先生、小橋先生、天野先生、長島先生、早野先生には水晶体計測で協力いただきました。神奈川歯科大学の木本先生、星先生、丸尾先生、安斉先生には歯肉、皮質骨の計測で協力いただきました。

## 文献

[1]田中雄介、吉田光良、星野秀和、伊津美隆、小倉幸夫、“柔軟性超音波探触子による曲面からの画像化、”電子情報通信学会技術研究報告(超音波)、US2018-20(2018-06)、pp.1-6(2018)