

修士学位論文要約（平成20年3月）

心筋線維の超音波散乱の 角度依存性計測に関する研究

小野寺鉄平

指導教員：金井 浩，研究指導教員：長谷川英之

A Study on Measurement of Angle Dependency of Ultrasonic Scattering from Myocardial Fibers

Tepei ONODERA

Supervisor: Hiroshi KANAI, Reseach adviser: Hideyuki HASEGAWA

It is desired to evaluate the myocardial fiber direction for quantitative tissue characterization. We have focused on ultrasonic scattering strength in relation to the azimuth and elevation angles of insonification relative to the fiber direction. For this purpose, in this study, ultrasonic echoes from a nylon fiber with a diameter less than the ultrasonic wavelength, a nylon plane composed of the nylon fibers, a two-layered nylon plane, and a porcine heart wall were measured as a function of the insonification angle. Experimental results showed that the amplitudes of the scattered echoes from the objects depended on the azimuth angle θ . In the case of the nylon fiber, the dependency is caused by the change of irradiated surface area. In the cases of the nylon planes and a porcine heart wall, it was suggested that the dependency is caused by the interference of the waves from the surface and from the inside.

1. はじめに

従来の研究により、心筋の線維方向に対しての超音波照射の角度を変えることで、後方散乱が変化することが知られている。Millerらは、動物の摘出心臓を、心筋線維方向が半径方向となるように円柱状に切り出し、受信用と送信用のトランスジューサの同一面内での線維の回転方向に対しての超音波後方散乱と減衰の測定を行った。心筋線維方向に垂直な照射の場合、超音波減衰が最小となり後方散乱波は最大となった。一方、線維方向に平行な場合、減衰は最大となり後方散乱波は最小となった^{1,2)}。一方、我々は、心筋の線維方向と超音波の照射角度に対する超音波散乱の角度依存性に注目している³⁾。Millerらの手法とは異なり、線維の走行面に対して、仰角 ϕ を設定している。本手法の送受信の仰角が $\phi_1 = \phi_2 = 0^\circ$ の場合に相当するのがMillerらの実験手法である。本研究では、心筋線維束を模擬したナイロン線維1本、心筋表面を模擬したナイロン線維を平面的に配列した試料で実験を行い、さらにブタ摘出心臓を用いた *in vitro* 実験を行った。

2. 実験方法

実験の概略は図1に示す。図1に示すように、超音波照射用に集束型トランスジューサ (Tokimec 7ZOI-PF30-C-K445) を、受信用にはハイドロフォン (Panametrics SPRH-1000) を用いた。照射と受信の仰角を、それぞれ ϕ_1, ϕ_2 とし、線維の軸方向の水平面内の回転角度を θ とする。トランスジューサの中心周波数は7 MHz、焦点面でのビームの半値幅は0.65 mmである。

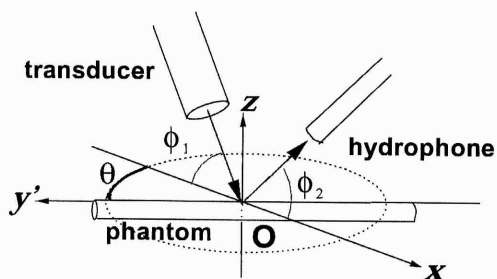


図1: 実験の概略図。

実験中は、トランスジューサの焦点を対象物上の同一領域に固定したまま、トランスジューサの照射角度 ϕ_1 を走査した。また、ハイドロフォンについても同様に対象物との距離を一定に保ちながら、受信角度 ϕ_2 を走査した。これらの円弧上の走査は、トランスジューサとハイドロフォンを含む x - z 平面内で行った。この円弧状の走査は、市販の回転ステージを組み込んだ自作の実験装置を用いて行った。ビームの焦点を中心に、対象物を水平方向に回転させ、線維方向と x 軸とのなす水平角度 θ を変化させた。

実験試料は、(1) 直径 $53 \mu\text{m}$ のナイロン線維1本、(2) その線維を平面的に配列した、1層のナイロン線維の平面、(3) 2層のナイロン線維の平面、(4) ブタ心臓の中隔壁、の4つである。

3. 実験結果

図2に示すのは $\phi_1 = \phi_2 = 30^\circ$ の時の (1) ナイロン線維1本からの受信波形のサンプルである。本研究では、図2中の赤線に示すようにRF波形の包絡線を取り、散乱波の振幅値に注目した。

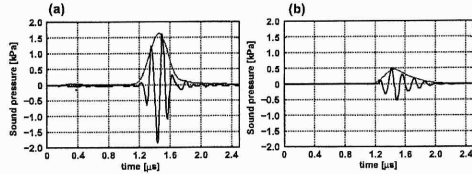


図2: (1) のナイロン線維1本からのRF波形のサンプルとその包絡線 ($\phi_1 = \phi_2 = 30^\circ$)。 (a) $\theta = 0^\circ$ 。 (b) $\theta = 90^\circ$ 。

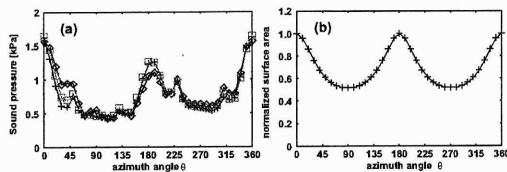


図3: $\phi_1 = \phi_2 = 30^\circ$ における、(a) (1) のナイロン線維1本からの受信信号の振幅値と水平角 θ の関係。(b) $\theta = 0^\circ$ 時の面積で正規化した、ナイロン線維1本に対する照射表面積の変化。

図3(a)は、試料(1)の1本のナイロン線維からの最大値と超音波ビームと線維のなす水平角 θ の関係を示すものである。線維方向と平行に超音波ビームが照射される時には振幅が極大値となり、超音波ビームの方向が線維方向と直交する時には極小値となっている。この振幅の変化は 180° 周期で起きたと考えられる。一般には散乱体内部が一様な場合、散乱体表面の面積分を考え、弱散乱体からのエコー散乱強度は照射される音波の面方向成分の大きさに依存する⁴⁾。簡単のために、ビームの当たる表面積が散乱波に大きく影響すると仮定して、水平角 θ の変化に伴う、ビーム領域内の試料の表面積変化を見積もった。その結果が図3(b)であり、図3(a)と同様な傾向を示したことから、線維1本の場合の水平角 θ への散乱依存性はビーム領域内の試料の表面積変化が主な原因となって起きたと考えられる。

図4(a)に示すように、試料(3)のナイロン線維の2層の平面試料においては、散乱波振幅が $\theta = 0 \pm 45^\circ$ の大きい時と $\theta = 90 \pm 45^\circ$ での振幅が小さい時という2つの状況が観測された。(1)の線維1本の時とは違い、水平角 θ の変化に伴う表面積の変化はないため、それ以外の原因が考えられる。また、図4(b)が示すものは試料(4)のブタ中隔壁からの散乱波振幅の変化であるが、 $\theta = 0, 180^\circ$ のように、線維に平行な照射の時には振幅が小さくなるという傾向が見られた。これは、ナイロン線維の2層の平面と類似した傾向である。また、図4(c)に示すものは、図5に示すように、ナイロン線維の1層の平面からの散乱波の干渉をシミュレーションし、

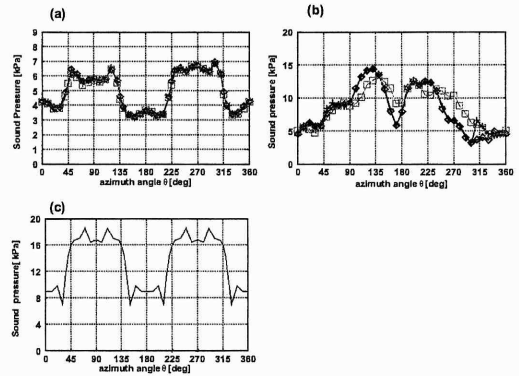


図4: $\phi_1 = \phi_2 = 30^\circ$ における受信信号の振幅値と水平角 θ の関係。(a) ナイロン線維平面(2層)。(b) ブタ中隔壁。(c) ナイロン線維からのシミュレーション

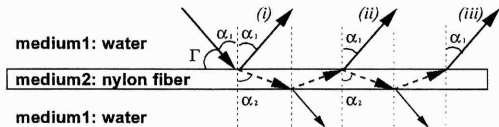


図5: ナイロン線維からシミュレーションの模式図。

合成波形振幅値を検出したものである。焦点内での均一な散乱を仮定し音圧反射率は一定、屈折角による行路差の変化を考慮にいたれた遅延時間を計算した。図中の角度 Γ は $\Gamma = \cos^{-1} [|\cos \phi_1| \cdot |\cos \theta|]$ と定義した²⁾。図4(c)の結果から、図4(a),(b)のような結果の原因は、表面および内部からの散乱波の干渉によると推定できる。さらに心筋線維は完全には直線状にはなっていないため、図4(a)のような 180° 周期の変化ではなく、 $\theta = 180^\circ$ を対称軸とした線対称な傾向になったと考えられる。

4. まとめ

超音波散乱波の振幅値は、線維1本の場合にはビーム焦点内での表面積変化が影響した。一方、ブタ中隔壁においては、表面および内部からの散乱波の干渉によるものであると考えられた。

文献

- 1) S. L. Baldwin, K. R. M. Yang, K. D. Wallace, M. R. Holland, and J. G. Miller: J. Acoust. Soc. Am., **119** 3130 (2006).
- 2) J. G. Mottley and J. G. Miller: J. Acoust. Soc. Am., **83** 755 (1988).
- 3) T. Onodera, H. Hasegawa and H. Kanai: Jpn. J. Appl. Phys. **46** 4897 (2007)
- 4) 超音波便覧編集委員会, 超音波便覧, 丸善, 東京, pp. 48-49, 1999.