

修士学位論文要約 (平成15年3月)

## 生体組織の粘弾性特性の非侵襲的計測を目指した 音響放射力による超音波加振に関する基礎研究

道下 和昭, 長谷川英之, 金井 浩

A Basic Study on Ultrasonic Actuation Using Acoustic Radiation Force  
for Noninvasive Tissue Characterization

Kazuaki MICHISHITA, Hideyuki HASEGAWA, and Hiroshi KANAI

A transcutaneous ultrasonic remote actuation and measurement method is proposed in this paper by suppressing the intensity of the applied continuous ultrasound with the sum of the two slightly different frequencies,  $f$  and  $f + \Delta f$ , to be lower than the safety guideline ( $1 \text{ W/cm}^2$ ). The cyclic radiation force is intermittently applied by maintaining its envelope waveform of the difference frequency component of  $\Delta f$ . At the same time, an ultrasonic correlation-based method, namely the *phased tracking method*, is employed to measure the minute displacement due to the actuation. The elastic modulus is calculated from the resultant displacement,  $d(t)$ , and the radiation pressure,  $P_R(t)$ . The viscoelastic properties of the object are determined from the frequency characteristics of the elastic modulus. From experiments using silicone rubbers, it was shown that the proposed method has a potential for noninvasive measurement of the viscoelasticity in regional area of an object.

### 1. はじめに

近年, 超音波から生じる音響放射圧を生体組織に加え, その応答を解析することにより, 非侵襲的に組織特性の計測を試みる報告がなされている。しかし, 対象物検出の空間分解能が超音波ビームの焦点の大きさに依存し, 距離分解能を高く取れない問題[1]や, 短時間に計測可能な組織変位を生じさせるために, 日本超音波医学会の安全基準[2]よりもはるかに大きな超音波強度が必要である[3]等の問題がある。

本報告では, 安全基準を考慮した範囲で超音波加振を行ない, さらに本研究グループで開発した位相差トラッキング法[4]を用いることにより, サブミリメートルオーダーの距離分解能で, 加振に伴う対象物変位  $d(t)$  をサブマイクロオーダーの精度でトラッキングする。対象物にシリコンゴムを用いた基礎実験において, 超音波加振により生じた厚み変化  $\Delta h(t)$  から粘弾性特性の推定を行なった。また, レーザドブラ速度計を用いて計測した振動速度  $v(t)$  から算出した弾性特性と比較検討した。

### 2. 実験方法

超音波による対象物変位計測の実験システムの構成を図1に示す。対象物を加振するために, 超音波トランスジューサに送信周波数が  $5 \text{ MHz}$  及び  $5 \text{ MHz} + \Delta f \text{ Hz}$  の正弦波を加算した信号を印加する。このとき加振用超音波と変位計測用の超音波パルスとの干渉を避けるため, 電子スイッチを用いて加振用の超音波ビームの送波タイミングを制御する。図2に示すように, パルス送信繰り返し周期  $\Delta T$  ごとに診断装置の超音波プローブから図2(b)のトリガのタイミングで変位計測用の超音波パルスが送信され, 図2(c)のゲートを掛けて対象物からの反射波のみ

をA/D変換する。加振区間(A)は図2(d)のように変位計測区間(M)の直後から始まり, 次の変位計測用の超音波パルスの送信直前まで加振の超音波ビームを照射すると, 残響成分が変位計測用のパルスと干渉するため, 変位計測に影響しない時刻まで加振用の超音波ビームを照射する区間を短くし, 残響成分が十分減衰するようにした。したがって, 加振用のトランスジューサからの送信波は図2(e)のように間欠的な連続波となり, 対象物に加えられる音響放射圧  $P_R(t)$  の差周波数成分は図2(f)のように包絡線が差の周波数  $\Delta f$  で変動する音響放射圧のパルス列となる[5]。

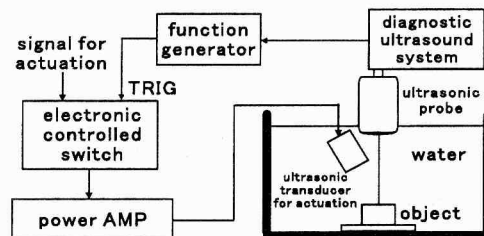


図1: 超音波診断装置を使用した対象物変位計測の基礎実験システム。

区間(M)の直交検波信号  $y(t)$  と  $y(t + 2\Delta T)$  の間の位相差から,  $2\Delta T$  間の平均振動速度  $v(t + \Delta T)$  が得られ[4], これを時間積分することにより変位  $d(t + \Delta T)$  がトラッキングされる。

また, 超音波による計測結果と比較を行なうために, レーザドブラ速度計を用いることにより, 対象物に生じた振動速度  $v(t)$  を計測し, 粘弾性率を算出した。

