

前方散乱波の相関低下を用いた医用超音波微小石灰化検出法における送信ビーム形成*

○瀧宏文, 阪本卓也 (京大・情), 山川誠 (京大・先),
椎名毅 (京大・医), 佐藤亨 (京大・情)

1 はじめに

医用超音波検査は軟部組織描出能に優れるが石灰化検出能が低い^[1]。そのため、乳がん検診や心臓弁の画像化など微小石灰化の検出が臨床診断上重要な分野ではX線検査が第一選択となる^[2,3]。

我々は石灰化を超音波が通過した際にボルン近似の破綻が生じることを用いた微小石灰化検出法を提案してきた^[4,5]。本研究では提案する石灰化検出法に適した送信ビーム形状、走査線間隔について検討する。

2 石灰化検出法に適切な送信ビーム焦点距離、走査線間隔

石灰化領域は周囲の組織と比較し音響インピーダンスが著しく異なる。そのため石灰化領域を超音波が通過する際ボルン近似が破綻し、石灰化領域を通過後の波形は送信波形から大きく変化する。提案する微小石灰化検出法はこの前方散乱波の波形変化を隣接走査線の相互相関係数の低下として評価し、石灰化領域の推定を行う。

提案法の石灰化検出法の検出精度を改善するため、提案法に適したビーム形状、送信法を調べる。一般的な医用超音波画像を作成する場合、受信ビームは測定後に任意位置で焦点形成可能であるが送信ビームは事前に焦点位置を選択する必要があり、送信ビームの焦点位置は石灰化によって生じる波形の変化に影響を与えられられる。また、走査線間隔が大きすぎると隣接走査線でビームが重ならず相関が低下し、石灰化による相関低下を検出しにくくなると考えられるが、間隔が近いほどフレームレートが低下し時間分解能が悪化する。以上より本研究では提案する石灰化検出法に対して適切な送信ビームの焦点距離、走査線間隔を検討する。

3 計算機シミュレーションによる検討

3.1 シミュレーションモデル

本研究では FDTD^[6]を用いた計算機シミュレーションツールである PZFlex を用いた。図1は本シミュレーションに使用したデジタル組織図の1つであり、5個の異なるデジタル組織図を用いて適切な送信ビームの焦点距離、走査線間隔の検討を行った。デジタル組織図には厚さ2mmの皮膚の下に0.1mm幅の微小脂肪滴を0.5%含む筋層が存在し、直径0.5mmの石灰化領域が深さ10mmに位置している。また、深さ15mmに厚さ1mmの結合組織層を配置した。

超音波プローブは0.5mm幅の素子32個から成るリニアプローブであり、素子間隔は0.1mmである。一度に送信する素子数を16個もしくは17個とし、プローブ表面に対して常に垂直な送信ビームを形成するように各素子に時間遅延を与え超音波を送信した。ただし、送信する超音波パルスの中心周波数を4MHz、比帯域を60%とした。隣接走査線の相互相関を求める際に使用する相関窓の幅を5mmとし、窓の中央を深さ15mmもしくは20mmとした。

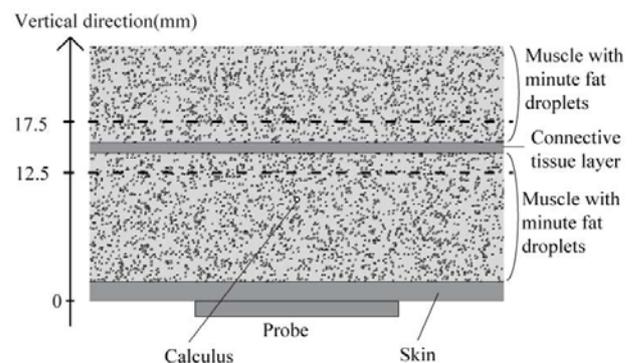


Fig. 1 Digital tissue map with a calcification.

* Transmit beamforming of medical acoustic imaging for small calcification detection using forward scattered wave, by TAKI, Hirofumi, SAKAMOTO Takuya, YAMAKAWA Makoto, SHIINA Tsuyoshi and SATO Toru (Kyoto University).

3.2 計算機シミュレーション結果

石灰化領域後方における隣接走査線間でのエコーの相関係数の最小値が低いほど提案法による石灰化の検出が容易であると考えられる。そのため本研究では石灰化領域後方の相関係数の最小値を5個のデジタル組織図について調べた。図2(a)は焦点距離を石灰化領域のある10 mmに設定したときの、走査線間隔に対する相関係数の最小値を示している。走査線間隔が0.1 mmと0.2 mmのときでは石灰化領域後方での相関係数の落ち込みに有意差は見られなかったが、0.3 mm以上のときは相関係数の落ち込みが有意に小さくなった。

図2(b)は走査線間隔を0.1 mmとしたときの、焦点位置に対する相関係数の最小値を示している。送信ビームの焦点位置を石灰化領域としたとき、石灰化領域後方の相関係数の落ち込みが最大となった。特に、送信ビームをダイナミックフォーカスとしたとき相関係数の落ち込みが小さくなっている。

4 結論

本研究で用いたシミュレーションモデルでは、走査線間隔を0.2 mm以下とし、焦点距離を石灰化位置とすることが提案する石灰化検出法に対して適切であるという結果であった。焦点距離が10 mmのときの送信ビーム幅は深さ15 mmで約0.6 mmであり、隣接する走査線の送信ビームが約70%以上重なるときに石灰化検出能が高くなることが示唆された。

また、焦点距離を石灰化位置とすることが提案する石灰化検出法に対して適切である理由として、図3に示すように、石灰化領域において送信ビーム幅が狭いほど、石灰化領域による送信波形の変化が大きく、相関値の低下が顕著となると考えられる。

参考文献

- [1] Fowler *et al.*, Radiology, 222, 109-13, 2002.
- [2] Lamb *et al.*, Clin. Radiol., 55, 40-4, 2000.
- [3] Jacob *et al.*, J Gynecol. Obstet. Biol. Reprod., 26, 27-31, 1997.
- [4] 瀧他, 音講論 (春), 3-2-10, 2009.
- [5] Taki *et al.*, Proc. IEEE Int. Ultrason. Symp., 2009.
- [6] Hossack and Hayward. IEEE Trans. UFFC. 38, 618-29, 1991.

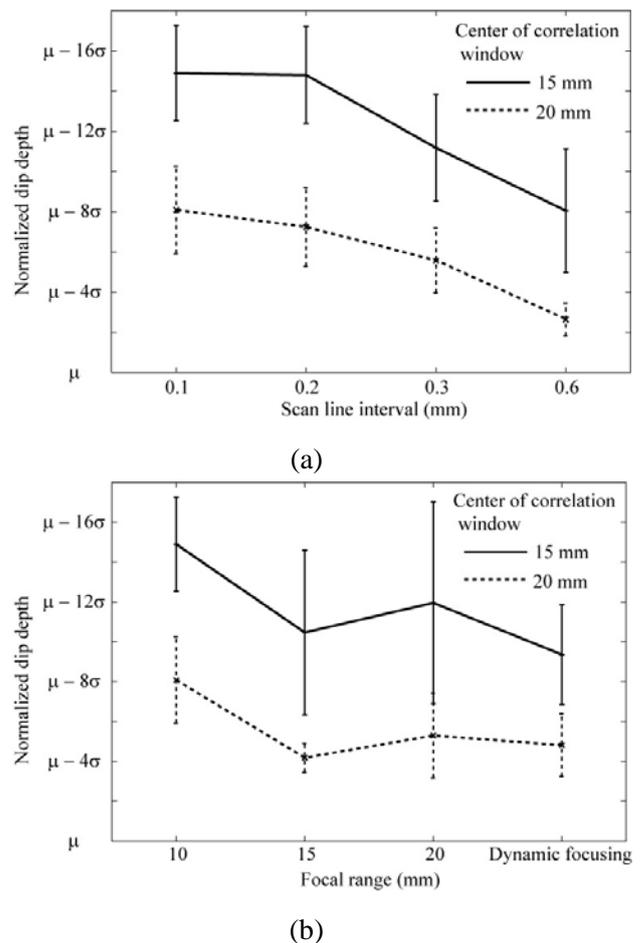


Fig. 2 Average and standard deviation of dip depth of correlation coefficients around a calcification. (a) Comparison of dip depth with respect to scan line intervals, where the transmit focal range is 10 mm. (b) Comparison of dip depth with respect to transmit focal range, where the scan line interval is 0.1 mm.

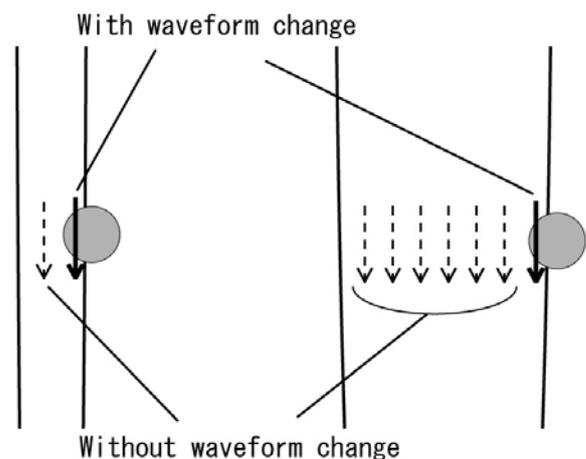


Fig. 3 Schema of waveform change that originated from a calcification comparing a narrow and wide transmit beam.