

超音波による心筋の後方散乱の計測

東北大学 金井 浩

1. はじめに

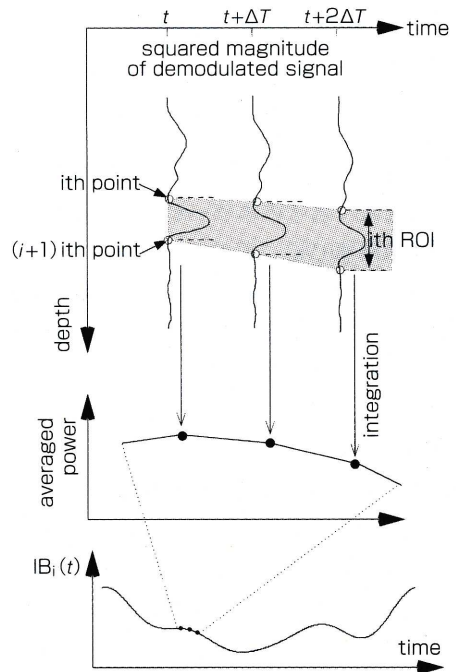
心筋内の主な超音波散乱体は、心筋細胞を取り囲む網目状の構造をもった膠原線維からなる細胞間質であると考えられている。心筋の収縮・弛緩に伴ってその微細構造の変化・音響インピーダンスの変化が生じるため、超音波の散乱特性も変化する⁽¹⁾。この性質を用いた心筋の組織性状診断を行うため、現在医療現場において医用超音波診断装置が利用されている。B-mode断層像を撮像し、各フレームにおいて計測者が断層像上で関心領域 (ROI) の位置と範囲を設定し、心臓壁からの後方散乱強度IB (integrated backscattering) の一拍内での変化CV (cyclic variation) を算出している。疾病によって心筋の収縮能力が低下すると、このCVが低下することから、心筋の組織性状の診断が可能となる。しかし、心臓壁には拍動に伴う併進運動があり、同時に心筋の伸縮により壁厚も変化するため、常に心臓の同一部位のIB信号を計測するように、マニュアルで各時刻にROIの位置と幅を適切に設定し直す必要がある。そこでここでは、対象物の併進運動・厚み変化に応じて関心領域の位置を追跡し、同一部位からの後方散乱 (IB) を一心周期にわたって計測する方法⁽²⁾を紹介する。

2. 伸縮する対象物の同一心筋のIB計測法

心臓壁には拍動に伴う併進運動があり、同時に壁厚が変化するため、同一心筋からのIBを計測するには、各時刻 t で心臓壁の位置を追跡しROIを設定する必要がある。そのため、深さ D の点からの反射信号の直交検波信号 $z(t, D)$ の位相偏移から、対象物の

変位を高精度に推定できる位相差トラッキング法⁽³⁾を用いる。この方法によって、第1図に示すように、心臓壁に設定したROIの両端の2点 $i, i+1$ の深さ(変位) $D_i(t), D_{i+1}(t)$ を追跡し、各時刻でこの2点間をROIと設定し直すことで、心臓壁の同一部位からのIB値 $IB(t)$ の算出が可能となる。

$$IB(t) = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{D_{i+1}(t) - D_i(t)} \int_{D_i(t)}^{D_{i+1}(t)} |Z(t, D)|^2 dD \right] \quad \dots(1)$$



第1図 本手法の概略

心筋の収縮弛緩による心臓壁の深さ方向の位置の変化を追跡し、厚みの時間的変化も求めることによって、後方散乱を求めるための関心領域が同一部位になるよう設定する

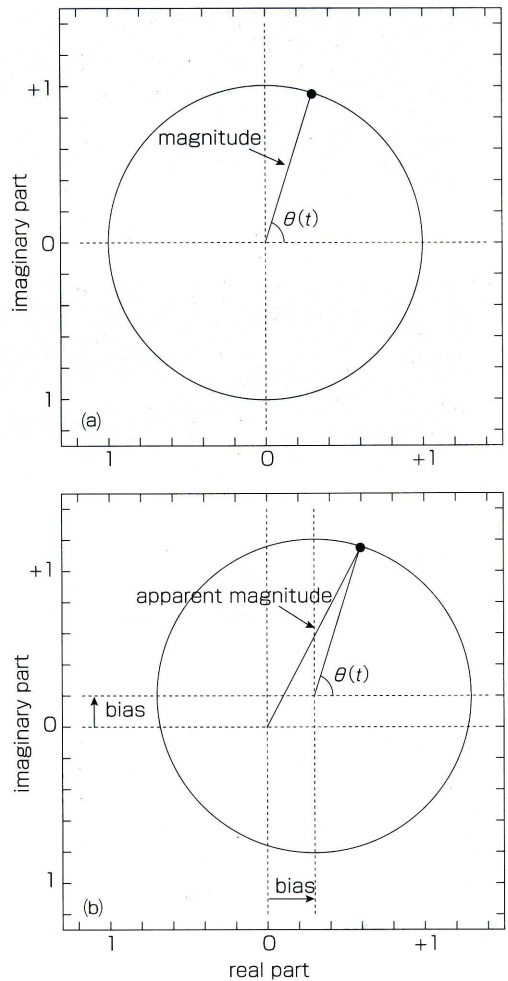
IB信号は、対象物からの反射/散乱信号の平均パワーであるから、RF信号のパワーの時間積分で求められる。しかし、ここでは、対象物の変位を追跡するために反射信号の位相情報も必要となるため、直交検波信号の振幅を用いてIBを算出する。また、超音波の送信方向を1方向とし、数kHzという高い繰り返し送信周波数で超音波を送信することにより、IB計測の時間分解能を向上させている。

3. 高周波成分の成因と除去方法

式(1)に基づいて算出したIB信号に関しては、後述する第6図(a)に示すように、数十Hz程度の高周波成分が重畳している。またこの振幅変動の振幅は、特に速度の大きいタイミングに増加している。このような振幅変動が生じる理由として、検波信号に含まれるバイアス成分との干渉が考えられる。検波信号 $y_0(t)$ にバイアス成分が含まれない場合(第2図(a))は、位置の変化に伴う位相変化があったとしても、その振幅 $|y_0(t)|$ は常にほぼ一定値である。しかし、検波信号 $y(t)$ にバイアス成分 $y_b(t)$ が含まれる場合(第2図(b))、その信号 $y(t)=y_0(t)+y_b(t)$ の振幅 $|y(t)|$ は一定値とはならず、複素平面上で原点からバイアス成分だけ離れた点を中心として回転する。そのため観測される振幅に検波信号の位相回転に対応した変動が現れる。このようなバイアス成分が重畳する理由として、動いている心筋内のROIからの反射波・散乱波 $y_0(t)$ 以外に、超音波プローブのサイドローブ等の影響で生じた心筋以外の組織からの反射波・散乱波 $y_b(t)$ が考えられる。そこで、この $y_b(t)$ 成分を推定し、観測した直交検波波形 $y(t)$ から引くという補正を行うことによって、動いている心筋内のROIからの反射波/散乱波 $y_0(t)$ 成分を推定する。

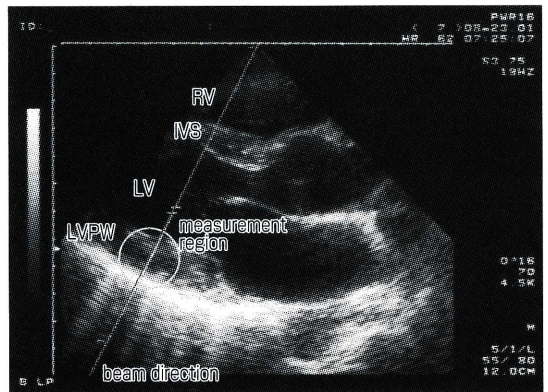
4. ヒトの心臓壁への適用結果

以上の処理を第3図に断層像を示す健常者に適用した。図中の超音波ビームに沿って、反射波・散乱波成分を計測し、上記の手法によって、M (motion) モードを再構成した結果を第4図(a)に示す。さらに、右心室内腔に、心筋以外の動かない組織を設定し、その反射波・散乱波をバイアス成分 $y_b(t)$ と考え、観測信号から差し引いて補正した後のMモードを第4図(b)に示す。細かな変化が大分除去されている。

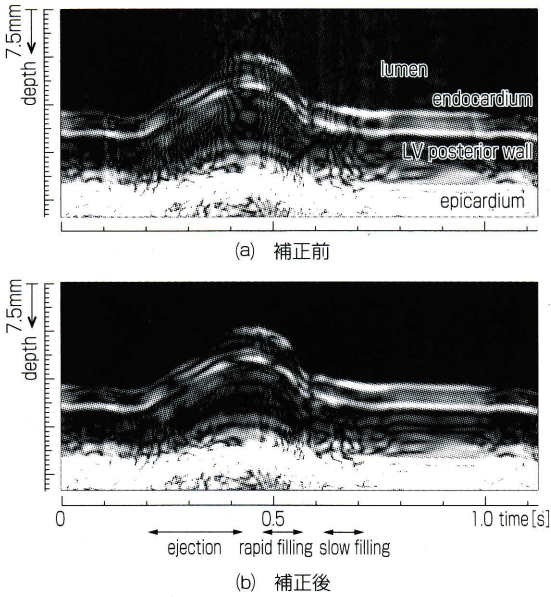


第2図

受信波 $y(t)$ の直交検波波形の振幅・位相は、壁の変位に応じて、複素平面上で回転するが、(a)バイアス成分 $y_b(t)$ がない場合と、(b)バイアス成分 $y_b(t)$ がない場合で異なる

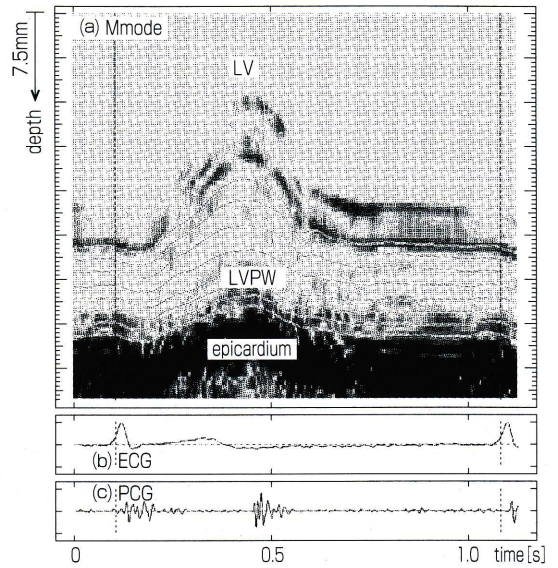


第3図 ヒト健常者の心臓壁の長軸断層像
超音波ビーム上に計測領域を設定



第4図 ヒトの心臓壁のIB信号から再構成したMモード

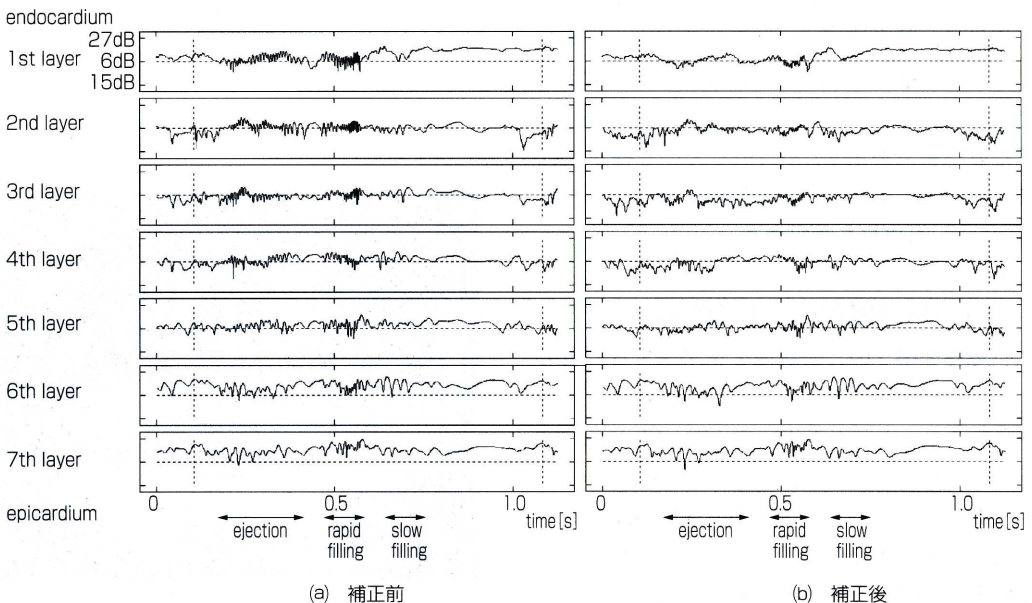
第5図(a)は、ヒトの心臓壁自由壁のMモード上にトラッキング結果を重ねがきしたものである。心電図R波のタイミングに超音波ビームに沿って等間隔に設定した8点に関して、その後1拍にわたる変位が示されている。変位と同時に心筋の厚みも大きく変化することが分かる。



第5図

(a) ヒトの心臓壁自由壁のMモードと、変位のトラッキング結果
(b) 心電図、(c) 心音波形

第6図は、これらのトラッキング軌跡の間に設定した7層に関するIB波形を示す。補正によって細かな変化が大方除かれている。また、上の内腔側では、収縮期に比較して拡張期にIB信号が増加している様子が分かる。



第6図 ヒトの心臓壁の7層のIB波形

IB信号がこのような変動を示す原因としては、収縮期に対し拡張期には、心筋線維が伸ばされて心筋線維の配向が超音波ビームに対して垂直に近づくために、超音波の後方散乱強度が大きくなるためではないかと考えられている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。一方、Millerらによれば、硬い膠原線維に囲まれた心筋細胞の内側の柔らかな組織が、収縮期に縮んで音響インピーダンスが増加し、外側の膠原線維の音響インピーダンスに近づくことによって、音響インピーダンスの差が減少し、反射波/散乱波の振幅が小さくなると考えられている⁽¹⁾。

5. おわりに

本報告では、運動する対象物の同一部位からのIBを計測する方法を紹介し、ヒトの心臓に適用した結果を示した。

謝辞

本報告を纏めるに当たり、東北大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程 勝又慎一氏、同工学部

電子工学科 泉直行氏にご協力を頂いた。また、日頃からご議論頂く、田中元直先生（東北厚生年金病院）に感謝する。

<参考文献>

- (1) M.R.Holland, K.D.Wallace, and J.G.Miller, J. Am. Soc. Echocardiogr., Vol.17, No.11, pp.1131-1137 (2004)
- (2) H.Kanai, Y.Koiwa, S.Katsumata, N.Izumi, M.Tanaka, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.42, Part1, No.5B, pp. 3239-3245 (2003)
- (3) H.Kanai, M.Sato, Y.Koiwa, N.Chubachi, IEEE Trans. UFFC, Vol.43, pp.791-810 (1996)
- (4) B.Hete and K.K.Shung : IEEE Trans. UFFC., Vol.40, pp. 354-365 (1993)
- (5) C.Y.Wong, and K.K.Shung : IEEE Trans. UFFC., Vol.45, pp.504-510 (1998)

【筆者紹介】

金井 浩

東北大学 大学院 工学研究科 電子工学専攻 教授
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-05
TEL : 022-795-7078 FAX : 022-263-9444
E-mail : kanai@ecei.tohoku.ac.jp

月刊自動認識

バーコードシンボル RFID バイオメトリクス

(旧:月刊バーコード)

バーコードシンボル・RFID・バイオメトリクスの3本柱を中心に、自動認識技術全般を網羅し、活用のヒントとなるシステムから最新の技術、知っておきたい基礎知識等の情報を提供。

定 価 : 2,000円

年間購読料 : 20,000円
(14冊・増刊2冊含)

編集誌面

業界view	自動認識技術または周辺技術・業界に関する現状や動向、課題、今後までを、これまで以上に幅広く提供します。
特集	自動認識技術の最新動向をさまざまな角度から斬り、実務に直結した技術・システムの最新情報を集めます。
System Solution	システム構築の背景から概要、メリット、課題までをご紹介します。これから導入する際のヒントとなる活用例や活用提案を紹介します。
自動認識最新線	国内・海外のさまざまなトピックスや注目すべき話題をいち早く紹介します。
クロスUP	業界キーマンや主要各社の動向をインタビューにてお届けします。
テクノトレンド	自動認識関連の今後期待される新技術の詳細・応用提案などを解説します。
プロダクトA	自動認識機器・周辺機器を幅広く紹介。開発の背景から使い方まで把握します。
基礎講座	自動認識技術のプロを目指す方、初心者の方にもわかりやすい入門編。スキルアップに直結した講座を展開します。
シリーズ	自動認識技術に直結、または関連したさまざまな知識を拡げる連載コーナー。疑問の解消に役立つ情報を強化します。
AUTO-ID NEWS	最新機器や会社情報を幅広く紹介します。加えて各産業界の動向をこれまで以上にパワーアップしてお届けします。

年間購読のお申し込みは
販売直通

☎03-3944-8001



日本工業出版

本社 〒113-8610 東京都文京区本駒込6-3-26 日本工業出版ビル
TEL.03 (3944) 1181(代) FAX.03 (3944) 6826
http://www.nikko-pb.co.jp/ E-mail : info@nikko-pb.co.jp

大阪営業所 〒541-0046 大阪市中央区平野町1-6-8-705
TEL.06 (6202) 8218 FAX.06 (6202) 8287

日本橋事務所 〒103-0004 東京都中央区東日本橋3-5-7 ワタナベビル4階
TEL.03 (3808) 1021 FAX.03 (3808) 1023