

プロサウンドF75での体表心エコーの描出困難症例への取り組み

Measures Using Prosound F75 against Cases of Difficulty in Delineating Superficial Cardiac Echo

田中 一史 Kazufumi Tanaka

日立アロカメディカル株式会社 第一メディカルシステム技術本部

臨床現場で必ず遭遇する描出困難症例に対する描画能力向上を検討した。超音波ビーム特性の見直し、送信パルスの低周波化の検討、適応画像処理フィルタの改良、心臓特有のアーティファクトへの本格的な取り組みの各項目について検討した技術をプロサウンド[®]F75に搭載し、描出困難症例に対する性能向上を実現した。これらの検討段階での机上評価の精度を得るため心エコーのアーティファクトを再現できるテストファントムを作成し使用した。

Improvement of the delineation capability with cases of delineation difficulty which are met very often in clinical scene was studied. Technologies, studied about such items as the review of the ultrasound beam, the study of lowering frequency from transmitting pulses, the improvement of adapted image processing filter and the full-scale measures against peculiar cardiac artifacts, are incorporated into the Prosound[®] F75, and the performance improvement against the cases of delineation difficulty was realized. In order to obtain the precision of desk evaluation in these studying stages, a test phantom which allows reproduction of artifacts in cardiac echo works was made and used.

Key Words: Border Clear Filter, Acoustic Noise Reduction, Near-Field Noise Reduction, Echo

1. はじめに

心エコー検査に電子セクタ(フェーズドアレイ走査)が1970年代に導入されて以降、多チャンネル(素子)化、トランスデューサの素材の効率向上、デジタルビームフォーミングの導入と高速化、ハーモニック法の導入などの歴史を経て画質性能が飛躍的に向上したが、フェーズドアレイ走査を用いるが故にリニアプローブを使う表在臓器などに比べて、潜在的に画質性能の面で不利である状況に変わりはない。

われわれは超音波診断装置プロサウンド[®]F75を開発し、高精度な周波数制御が可能な任意波形送信機や高性能なバックエンドを搭載するハイエンド装置として上市した。

F75は心血管領域の高精細な画質に対して高い評価を得ているが、主に心エコー検査での描出困難な患者に対する描出能力をさらに高めて欲しいという要望を受けたので、描出困難な症例での描画性能向上に主眼を置いた開発を行った。本稿ではその取り組みのいくつかを紹介する。

2. 描出困難な症例への取り組み

最新の超音波診断装置のカタログを飾る画像は高精細でクッキリとした美しい画像がほとんどで、各メーカーの基本的

な技術が拮抗しているということもあるが、メーカー間の差異をカタログから見いだすのは困難である。しかしながら実際の臨床現場では、最新の高性能な装置をもってしても「キレイ」な画像が得られない描出困難な症例がいまだに存在する。

超音波診断装置の送受信は、プローブの各振動子から出た音波が一樣な条件の組織中を伝播し、対象物で反射(後方散乱)して各振動子に戻るという前提で超音波ビームの設計がなされているが、体表からの心エコーでは肋骨や胸壁近傍の筋層などの影響により、実際に音波が生体に入ると設計したとおりの超音波ビーム性状を維持できないことがあり、症例によっては心筋からのエコー信号より不要な音響ノイズの方が支配的となり診断に困難を来す場合がある。そのため主に患者の個人差である皮下脂肪の厚み、肋骨の間隔、筋組織の散乱の違いなどを吸収し、描出が困難な症例に対していかに安定した画像を提供するかという課題に対して継続的に取り組んでおり、次項以下、プロサウンドF75で得られた最新の成果を報告する。

3. 超音波ビーム特性の見直し

超音波のビーム特性を改善する代表的な手法としては組織ハーモニック法が既に一般化している。前述のようにビーム特性を阻害する要因の多い体表からの心エコーでは、ハーモニック法の有効性が際立つため普及が急速に進んだ。ハーモニック成分は超音波が伝播する過程で音圧の二乗に比例して発生するために、ハーモニック成分のみのビーム特性に着目すると音圧の強弱差が拡大し、生体中でのビームが細く維持できる。これによりサイドローブなどによるアーティファクトが相対的に抑圧されることにより、超音波の経路近傍にある障害物の影響を受けにくく、悪条件下での結像能力が相対的に高くなる。ハーモニック法は高調波を含まない送信パルス波形が理想とされるが、プロサウンドF75ではハーモニック成分の発生過程をシミュレーションし、実際の使用条件下で心筋組織部分からのエコーに含まれるハーモニック成分のS/N比が最も大きくなるための送信パルスの波形形状を割り出し、これを採用した(図1)。

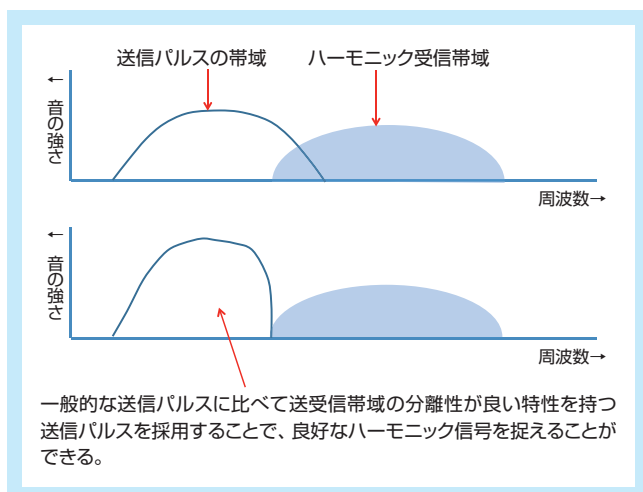


図1：送信パルスの波形形状

ビーム特性を改善するもう一つの手法として、開口(超音波を送信する振動子の集まり)のアポダイゼーションがある。超音波送信の開口面積は大きい方が焦点付近のフォーカス強度が上がる。しかし焦点が外れた場所ではサイドローブが目立つため、開口の端部に向かって緩やかに音圧を下げることでビーム特性を改善しサイドローブを抑えることができる。アポダイゼーションの特性は理想的な伝播媒体中でサイドローブを効果的に抑制し、フォーカス依存性を緩和し方位分解能を向上するように設計されている。しかし実際の生体では開口の一部が体表から浮いたり肋骨で遮られるなどの悪条件も考えられ、計算上理想的なアポダイゼーションがむしろ不利になるケースもある。このような実際の使用条件を考え、プロサウンドF75では悪条件に強いが、元来狙った効果も失わないアポダイゼーションの特性を算出しこれを採用した(図2)。

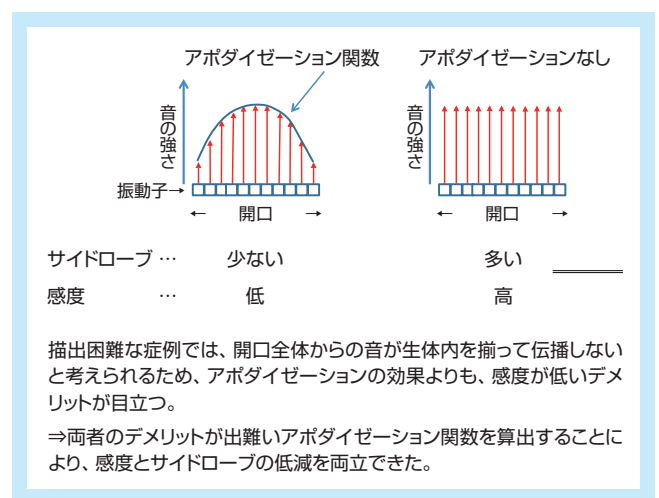


図2：アポダイゼーション

4. 送信パルスの低周波化の検討

最近の超音波診断装置は、一つのプローブに対して送受信周波数を何種類か変更することができる。周波数の上下により深部への浸透度と分解能が変化する超音波の基本的な性質は初心者ユーザーにも広く認知されており、周波数の上下調整は患者間の差異を吸収するための手段として比較的頻繁に用いられる。しかし、近年では一般的になったハーモニック法では送信と受信の周波数に2倍の差があるうえ、送信受信ともに一定の帯域幅を確保したいため、プローブの周波数帯域のほとんどを使い切っている。このため使用する送信周波数、受信周波数ともに大きく変える余地が少ない。プローブの有効な帯域を超える高い周波数を使っても分解能が上がらず感度が低下するだけであったり、逆に帯域を超える低い周波数を使っても浸透度の向上が得られず分解能だけが低下する恐れがある。しかしわれわれは、低周波数の深部の浸透度ではなく、描出困難例における結像力の違いに着目した。プローブの周波数帯域の下端付近の周波数での送信は装置全体としてさまざまな面で効率が悪く、分解能低下と引き換えに得るメリットは無いと従来は考えていた。実際

に低周波送信は、描出が困難ではない患者に対しては分解能の劣化だけが目立ち、一見何のメリットも無いように見えるが、描出困難な症例において、音響ノイズに対する組織エコーの視認性が向上するケースがあることが確認された。プロサウンドF75では高精度な送信波形の整形により、効率の低下を最小限に抑えた低周波送信を可能にしている(図3、図4)。

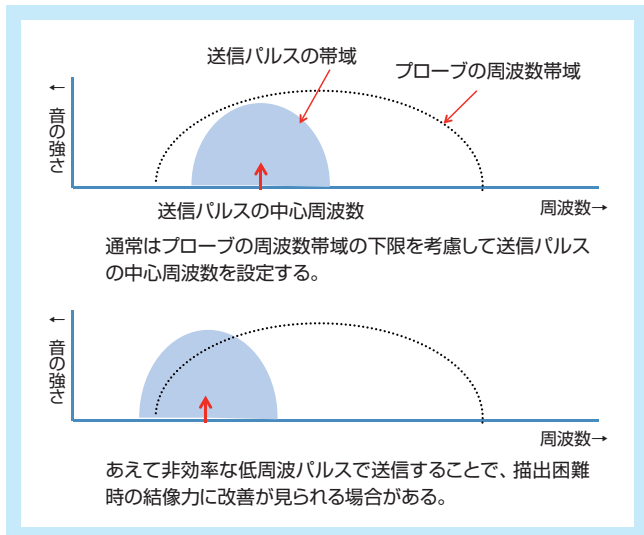


図3：プロサウンドF75の送信波形

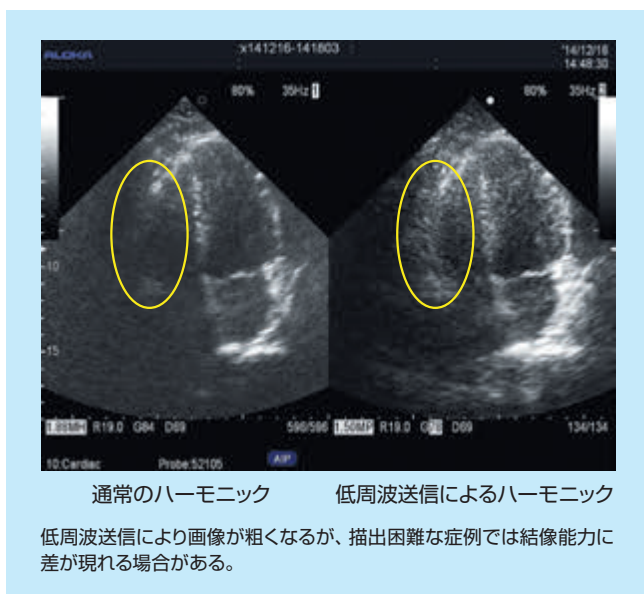


図4：低周波送信の画像例

5. 適応画像処理フィルタの改良

超音波の断層画像はスペckルノイズと呼ばれる斑紋が多く見られるが、この斑紋は超音波の散乱や屈折などの結果の干渉紋として現れる濃淡であり、このエコーが示すパターン自体は組織の性状を直接表していない。このパターンが組織性状と何らかの相関があるとして観察研究する事例は多いが、超音波検査において組織の形態や構造を見極めるうえでは意味のあるものでなく、むしろ視認性を阻害することから、スペckルを除去する試みが古くから行われてきた。ス

ペckルの粒を単純に消すには強いローパスフィルタが必要だが、組織の輪郭や境界もぼかしてしまうため、最近では輪郭強調フィルタとローパスフィルタをエコーのパターンを見て使い分ける適応型フィルタを採用するケースが多い。

プロサウンドF75にも適応型のスペckル除去フィルタであるAIP(Adaptive Image Processing)やHI REZ^{※2}(High Resolution Imaging)を搭載しており、心臓を描出する際の視認性の向上に一定の成果を上げている。さらに、描出困難な症例への対応力を強化するために、従来のフィルタが持つ境界検出だけでなく、多重解像度解析を用いた構造解析により、組織構造の輪郭と境界の情報を得てノイズの抑圧と輪郭強調を行い、より視認性の向上能力を高めたBCF(Border Clear Filter)を開発しプロサウンドF75に搭載した(図5)。BCFは特に心臓をスキャンした際には壁運動が目で追いやすく、動態評価に適した調整とした。

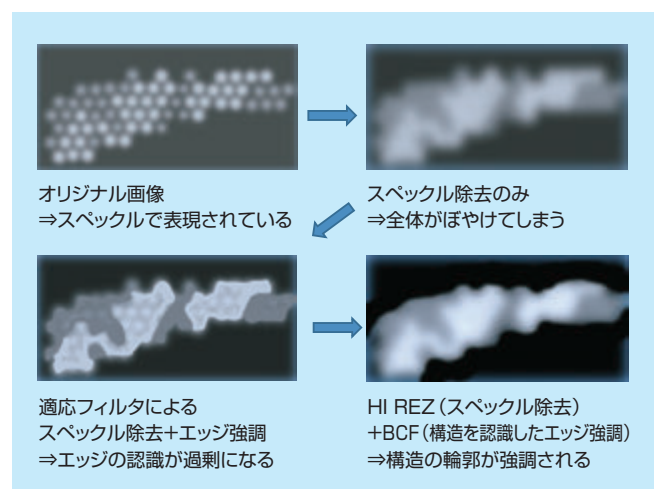


図5：BCFの効果

6. 心臓特有のアーティファクトへの本格的な取り組み

生体内を超音波が伝播する時に、通過する組織が想定した音速と異なったり、超音波の伝播が意図しない方向に屈曲することにより到達時間のズレが生じ、本来の臓器の位置に結像せず異なる位置に虚像として結像することがある。新たに開発しプロサウンドF75に搭載したANR(Acoustic Noise Reduction)処理は、このような結像のずれを判断し虚像を低減する技術である。

電子セクタはビームが放射状に広がるため中深度以降の方位分解能が相対的に不利なこともあり、ビームの結像がずれるとエコー像が横流れしたように表示され、組織構造の境界線が不明瞭になることが多い。ANR処理は、結像のずれが大きいエコー信号を低減することにより構造の境界を明瞭にする効果があり、例えば心尖部から心臓をスキャンする際に心内膜面の視認性が向上する。また、実質臓器に囲まれた血管の壁の描出も明瞭になるため、例えば下大静脈IVC(Inferior Vena Cava)径の呼吸変動を評価する際などの視認性も向上する。さらには超音波の屈曲等による乱れは画像全体の至る所で発生しているため、虚像としては現れなくとも音

響ノイズとなって画面全体のノイズレベルを上げている。これらの音響ノイズに対してもANRは低減効果があるため、結果的に心腔内の抜けを向上する効果がある(図6)。

体表から心臓をスキャンする際に問題となるアーティファクトの一つが、心臓の外にある散乱体に起因するアーティファクトである。例えば、心尖からアプローチした場合の心尖付近の心腔や、傍胸骨長軸像を描出する際の右心室内などに現れる砂を撒いたようなアーティファクトがこれにあたる。これらは「かぶり」とも称され、体表近くの胸膜による筋層などのエコーのミラーリングや多重エコーによるアーティファクトが原因と考えられている。プロサウンドF75に搭載したNNR(Near-Field Noise Reduction)はこのようなアーティファクトの低減を狙って開発された画像処理フィルタである。

「かぶり」と呼ぶこのアーティファクトは砂を撒いたようにまばらで均一なエコー像を呈しており、心筋のような構造を成していない。NNRでは前述のBCFで採用した多重解像度

解析を用いて心筋組織とノイズの構造的な特徴の違いを検出して両者を弁別している。また、心筋は拍動により大きく運動するのに対し、「かぶり」は体表近くの筋層や胸膜などに起因するため相対的に動きが少ないという特徴にも着目し、エコー信号の経時的な動きの情報も加味することによってノイズの弁別能力を高めている(図7)。

7. まとめ

描出困難症例への取り組みは従来からも継続的に行われてきたが、描画性能を定量的かつ再現性のある方法で机上評価する手段をこれまでは持ち合わせていなかった。今回の取り組みに際して、われわれは実際の生体で発生し得る各種のアーティファクトを模擬できるテストファントムの開発から行い、各種検討による結果の良否を厳密に判定することができた。本稿に記した以外にも、信号受信直後のアナログ回路の特性見直しから、表示階調特性の最適化など、信号処理と装置パラメータ全体の再調整を行った。これら一つ一つの項目による改善効果は画像では認識できないほど小さい場合もあるが、新規開発したテストファントムにより僅かな効果であっても定量的に精度良く判定し、その成果を積み上げることにより結果として目に見える性能向上を獲得することに成功した。

プロサウンドF75は高精度な送波パルス整形が可能な送受信機とプログラマブルなバックエンドユニットを備えているため、技術革新の最新の成果を取り込み続けることができる。今後も本稿で述べた基本性能向上の検討を継続しつつ、先進的な解析アプリケーションソフトの強化も行い、装置の魅力と臨床現場での有用性を高めていきたい。

※1 PROSOUND/プロサウンドは日立アロカメディカル株式会社の登録商標です。

※2 HI REZは株式会社日立メディコの登録商標です。

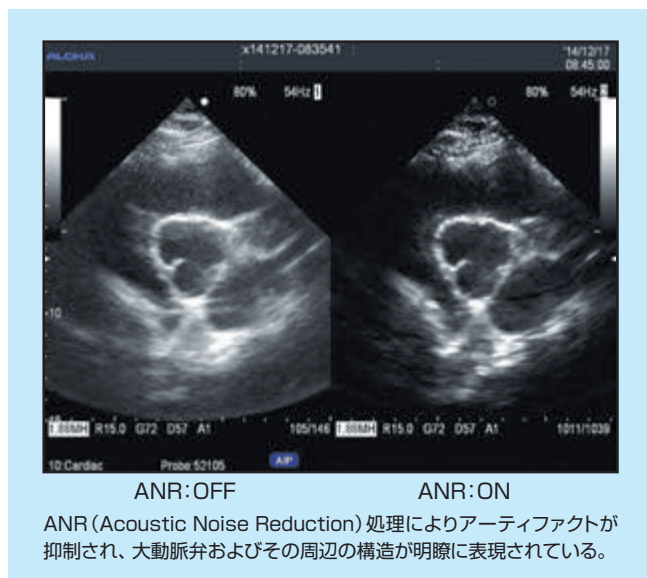


図6：ANR処理の効果

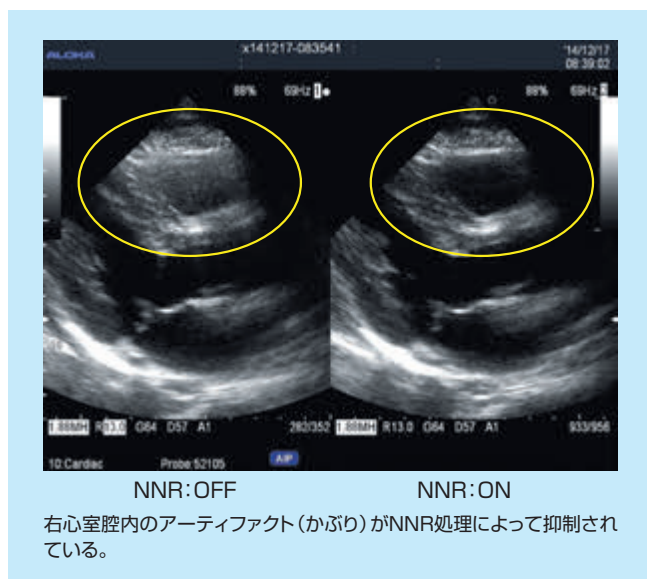


図7：NNR処理の効果