

超音波診断装置 ARIETTAの新技术

New Technologies of ARIETTA Diagnostic Ultrasound System

大竹 章文¹⁾ Akifumi Otake

佐光 暁史²⁾ Akifumi Sakou

¹⁾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

²⁾日立アロカメディカル株式会社 第二メディカルシステム技術本部

われわれは日立メディコとアロカの技術、性能を継承しつつ両社の技術の融合によるさらなる高性能化、小型化を行うことで、クラス最高の性能の超音波診断装置 ARIETTA[®]70、ARIETTA60を開発した。高画質化のための新たな信号処理技術 Symphonic Technology を中心に報告する。

We developed ARIETTA[®]70 and ARIETTA60 diagnostic ultrasound systems, the best among the systems in this class, by inheriting the technologies and the performance of Hitachi Medical and Aloka, for realizing higher performance and downsizing. Following is the report on the new imaging technologies towards high image quality centering on the Symphonic Technology.

Key Words: Diagnostic Ultrasound, ARIETTA, Symphonic Technology

1. はじめに

2011年4月、日立グループの超音波診断装置事業を統合する形で日立アロカメディカル株式会社(以下日立アロカ)が発足した。現在、超音波診断装置は12機種、250種以上のProbe(探触子)を製造、販売し国内最大手のメーカーとなったが、2社の装置の異なる操作性や重複する機能、重複するProbeを早期に統合することは、今後日立グループの超音波診断装置のブランド確立を進める上で急務であった。

われわれが最初に着手したのは日立メディコとアロカの双方がお互いを評価しあうことであった。長年異なる会社で超音波診断装置を世に送り出しており¹⁾²⁾、各領域での性能、評価も異なっていた。ARIETTA[®]を開発するにあたり、双方が保有する基本性能、機能、ユーザビリティ、新技术を統合し高い次元で顧客満足を得られるよう目標を設定した。

ARIETTAシリーズには日立メディコとアロカのハイエンド装置の持つ技術資産を統合したARIETTA70と小型で使い勝手の優れたARIETTA60の2機種があり、その柱となる信号処理技術がSymphonic Technologyである(図1)。



図1：超音波診断装置ARIETTA
左がARIETTA70、右がARIETTA60

2. Symphonic Technology

Symphonic Technologyは超音波信号の送信からモニタに表示するまでの径路を

- Probe
- Frontend
- Beam Former
- Backend
- Monitor

の5つのモジュールに分割し、各部において最適な技術を採用または融合することで、装置として最高画質を実現するための技術である(図2)。

超音波診断装置の高画質化は“診断装置と被検体間で如何に効率よく、かつ忠実に、言い換えれば、如何に高感度、広帯域にエネルギーをやり取りできるか”という点が最も重要な課題となる。特にProbeやFrontendには以下の4つの要素に課題がある。

- ① 超音波診断装置 - Probe間の電気エネルギー伝達効率
- ② Probeの電気-機械エネルギー変換効率
- ③ Probe - 被検体間の機械エネルギー伝播効率
- ④ 被検体内における超音波ビーム形状とフォーカシング

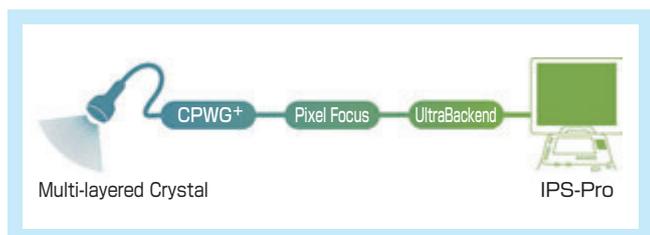


図2 : Symphonic Technology

ARIETTAの画像技術であるSymphonic Technologyは5つの高性能モジュールで構成されている。

(1)Probe

Probeの設計においては、超音波診断装置本体と被検体の間にあって、両者間の信号伝達効率を最適化する必要がある、電気工学、機械工学、音響工学等の技術を駆使した高度な設計が要求される³⁾。今回ARIETTAシリーズ用に新たなProbeグループ(Smart Probe)を開発した。Smart Probeの標準コンベックスProbeや中周波コンベックスProbeに新技術であるMulti-Layered Crystal Technologyを採用しさらなる画質改善を行った。

送信された超音波が反射体で反射してエコー信号として受信された場合、エコー信号の超音波エネルギーは、超音波を効率よく伝播させるためのマッチング層を介して、振動子に伝えられ電気エネルギーに変換される。変換された電気エネルギーはケーブルを介して、本体装置のプリアンプに渡される。近年振動子はアーチファクト低減のために多素子化される傾向にあり、振動子を多素子化すると1素子あたりの音波受信面積は小さくなる。その結果、振動子の出力インピーダンスがケーブル、プリアンプなどの負荷に比べて高くなり、整合不良によるエネルギー損失が増加し、受信感度の低下が発生しやすい(図3)。Multi-Layered Crystal Technologyは振

動子を積層化することにより、ケーブルや装置システムとのインピーダンスマッチングを改善することが可能となった。特に、振動子の電気的インピーダンスが高くなる低周波Probeや、多素子化された振動子を有するProbeでは感度向上が可能となった(図4)。

またARIETTAではこの他にも圧電単結晶材料を使用したProbeもラインナップされている。単結晶とは、工学的には原子が規則的に並び、材料内で全ての結晶軸の方位が一致した材料であり、多結晶は単結晶がランダムに集まったものと定義される。この圧電単結晶を振動子に用いることで、材料内の機械的歪方向を所望の方向に揃えることが可能となり、高い圧電効果を得ることができる(図5)。電気エネルギー

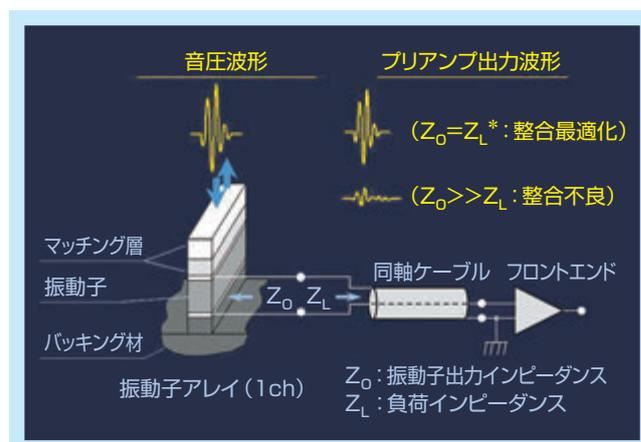


図3 : Probeと装置間のインピーダンス整合

整合不良になると出力波形が減衰し感度劣化が発生する。

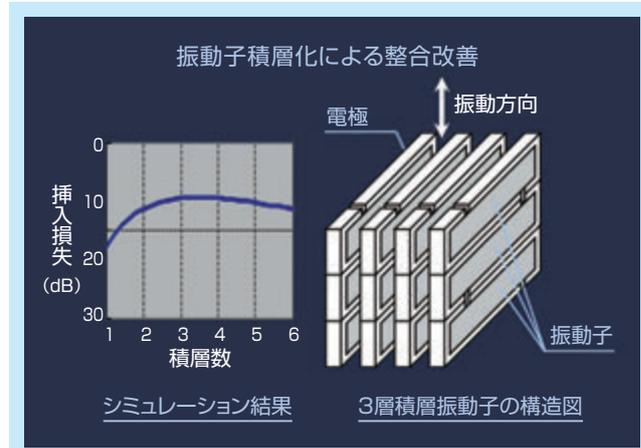


図4 : Multi-Layered Crystal Technologyの積層化技術

損失が少なく感度向上が期待できる。

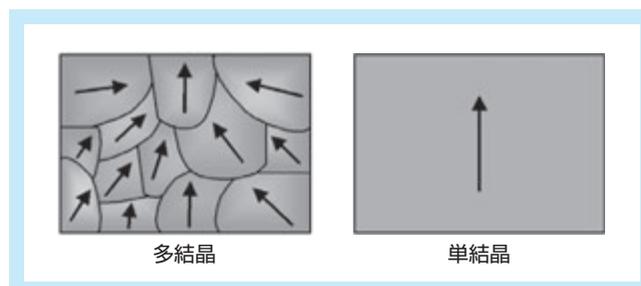


図5 : 圧電材料内の機械的歪方向のイメージ

単結晶は同一方向にエネルギーが集中できる。

と機械エネルギーの変換の大きさの指標となる電気機械結合係数(k33)はPZTにおいては70～80%程度であるのに対して、圧電単結晶材料では90%以上の特性を示し、周波数帯域においても広帯域な応答を示し高感度を実現した。

(2)Frontend

Frontendに用いたCPWG⁺はCompound Pulse Wave Generatorの略で高音圧送信が可能な任意波形送信技術である。任意波形送信とは、振動子の特性を考慮し、発せられる送信波形の周波数、振幅、パルス形状、を高精細に制御する技術である。

近年Probe表面の温度上昇が皮膚に与える影響を考慮し、発熱を抑えるために送信音圧を低く抑えるケースが多い。制限値の設定はProbeの持つ性能を十分に発揮できないため感度不足によって十分な画像を得られないことがある。

Probe表面の温度上昇は振動子での電気-音響変換のエネルギーロスが大きな要因である。このような問題を解決するためにエネルギーロスの少ない送信波形を容易に作成できる任意波形送信機を用いることで、Probeの性能を最大限に発揮できるようになる。上記のMulti-Layered Crystal Technologyや単結晶ProbeとCPWG⁺の組み合わせで温度上昇の問題点を改善することで、分解能と感度の両立した画像を提供することが可能になった。

(3)Beam Former

受信技術ではBeam FormerでのPixel Focus技術が分解能向上に寄与している。多くの装置で採用されているデジタルBeam Formerは、ターゲットで反射したエコー信号をターゲットから各振動子までの距離の差に応じた時間差を伴って受信し診断装置内部で振動子ごとの信号の到達時間差をメモリ上に展開し補正するデジタル遅延処理を行った上で加算している。フルデジタル超音波診断装置では、アナログの遅延線を使用せず受信信号を加算するため遅延処理の自由度が向上し、受信Focus精度は飛躍的に向上した。

Pixel Focus技術を搭載したARIETTAでは、従来技術に加え、さらに個々のProbeでのレンズ、整合層の特性を考慮した屈折補正処理を全Probeに行い、Focus精度における誤差を減少させるとともに、複数同時受信時に異なるビーム方向に個別のアポタイゼーション(重み付け)を行うことで、複数ビームでの精度向上も可能になった。合わせて高精度のFocus技術を実現する新整相ASIC(Application Specific Integrated Circuit)を用いることで受信ビームをより細く形成することが可能となった。

またARIETTAのBeam Formerは従来の複数同時処理から最大で4倍のフレームレート向上が可能である。以上のようにPixel Focus技術を用いることにより全てのモードで空間分解能、方位分解能、時間分解能が改善され画質は飛躍的に向上した。

(4)Backend

超音波画像のBモード断層像は、複数の散乱体が密に存在する場合に、個々の散乱波のキャリア周波数の干渉によりエ

ンベロープの算術和が得られず、散乱強度とは直接相関のない値になりこれを画像化した時に、濃淡の紋様いわゆるスペckルパターンを呈する。多くの臓器では散乱体が密に存在するため、典型的な超音波画像は概ねスペckルを主に見ているとも言える。スペckルパターンは生体組織の構造や性状など実体を直接反映していないため、観察対象の構造の視認性を低下させる一因となっている。そのため最近ではフィルタリング等の画像処理によりこのスペckルを低減する各種の技術が提案されている。

しかし一方で、肝硬変のステージ診断のように組織性状とスペckルパターンの相関を経験的に蓄積し、読影技術のノウハウとして診断情報に利用してきたという経緯もある。そのため一律にスペckルを除去すると、診断に有用な一部の情報も失われ、長年培われた読影技術と相容れない画像になりかねない。

そこでARIETTAはスペckルに含まれる、組織性状と相関のある情報を損なわずに組織構造の視認性を阻害するスペckルを選択的に低減するHI REZ^{**2}処理を画像フィルターとして導入した(図6)。ARIETTAのHI REZ処理は複数方向のスペckル除去処理を同時処理するため演算量が多くソフトウェア処理ではリアルタイム性確保が難しいため、専用のUltraBackendハードウェアを開発し心臓のような高いフレームレートが必要な臨床分野でもリアルタイム画像処理が可能になった。HI REZはリニア、コンベックス、セクタいずれのProbeでも動作可能なため適用領域を選ばない。またHI REZは空間コンパウンド表示とも合わせて使用することが可能でよりアーチファクトの少ないリアルティのある画像を得ることが可能である。

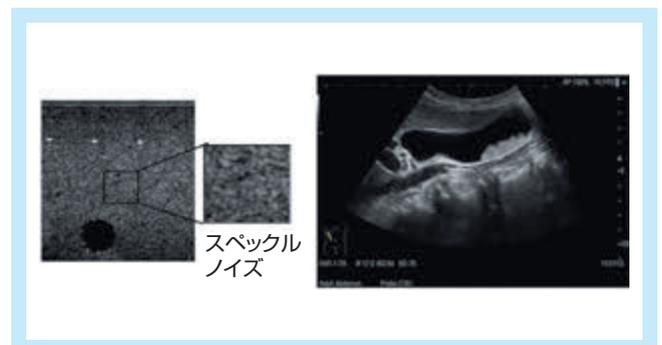


図6：HI REZ処理

左：超音波画像のスペckルノイズ、右：HI REZ処理を行った胆嚢の臨床画像である。

(5)Monitor

観測モニタは広視野、高輝度、高コントラスト性能を実現するため、駆動方式、電極構造、液晶材料、配向膜材料の構成部材を見直した最新の21インチIPS-Pro^{**3}液晶を採用し暗い検査室でも鮮明な画像が得られるようになった⁴⁾。

以上のようにARIETTAはProbeからMonitorまで全てのモジュールで最高の画質性能を発揮、実現するよう妥協なく設計された超音波診断装置である。

3. Ergonomicsと環境性能

近年、欧米を中心に超音波検査者の筋骨格系障害が、クローズアップされてきた⁵⁾。しかし筐体設計に重要なErgonomicsデザインを追求する場合、操作者の筋疲労を数値化することが困難であった。われわれはこの問題に対し2010年に大学と共同で、筋電図による筋負担定量化による検証を実施し、診断装置の理想スペックを数値化した。特に、ARIETTAは座位におけるモニターやパネル操作卓までの高さを筋負担の少ない高さ、位置が得られるよう設計し、可動範囲を改善したモニターアームの効果で、観測モニターへの視線を最大15度下方になるよう設計した(図7)。下方への視線移動は首や肩への負担を減らすことができ、筋骨格系障害からくるVDT(Visual Display Terminal)症候群の予防が期待される。

ARIETTAの環境性能改善の一つに小型で高性能を両立することが挙げられる。われわれは開発初期からこの課題に取り組み、必要な画質、機能、操作性、記録等の要求条件をクリアしつつ小型化するために、できる限り装置内部部品点数や基板枚数を削減することを検討した。幸いここ数年の携帯端末等の発展によりプログラマブルな高性能デバイス(IC)を診断装置に使うことが可能になり、最適なプログラミングにより、回路の拡張性を保ちつつ、小型化、高機能化を行うことが可能になった。このような各部品の効率化や最適化、もしくはICによる集積化によって、特にARIETTA60は従来機HI VISION Avius^{*4}に比べ基板枚数や体積が約50%小型化することに成功し、重量的には89kgと軽量化を実現した。またこの小型化により消費電力は約40%低減することに成功し優れた環境性能を実現した。ARIETTAは検査に必要な周辺機器を全て搭載できる収納力を維持しても、疲労が少なく、使い勝手のよい小型、高性能な超音波診断装置になった。

4. まとめ

われわれの開発した超音波診断装置ARIETTA70、ARIETTA60は日立メディコとアロカの技術、性能を継承しつつ高性能化、小型化を行うことでクラス最高の性能を実現した。超音波診断の各専門分野における高度な検査手技に対応しつつ、競争が激化している超音波診断装置市場をリードする価値を提供し続けるよう今後も開発を進めて行く。

※1 ARIETTA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、※4 HI VISION AviusおよびAviusは株式会社日立メディコの登録商標です。

※3 IPSおよびIPS-Proは株式会社ジャパンディスプレイの登録商標です。

参考文献

- 1) 大竹章文: 超音波診断装置プロサウンド a 10, a 7の高画質化技術について. 超音波検査技術, 33巻, 44-49, 2008.
- 2) 吉田尚浩, ほか: デジタル超音波診断装置「HI VISION Preirus」の開発. 日立評論, 2011年3月号, 34-39, 2011.
- 3) 佐光暁史: 超音波探触子の高性能化技術. 乳腺甲状腺超音波医学, 2014年Vol3, No.1, 2014年1月号, 29-33, 2014.
- 4) 近藤克己: IPS a 技術とその将来技術展望. 日立評論, 2014年10月号, 60-65.
- 5) 日本超音波医学会 研究開発班: 超音波検査者が安全・快適で健康的に働くための提言－作業関連筋骨格系障害と眼の障害を予防するための機器と作業環境－. 日本超音波医学会, 2012.

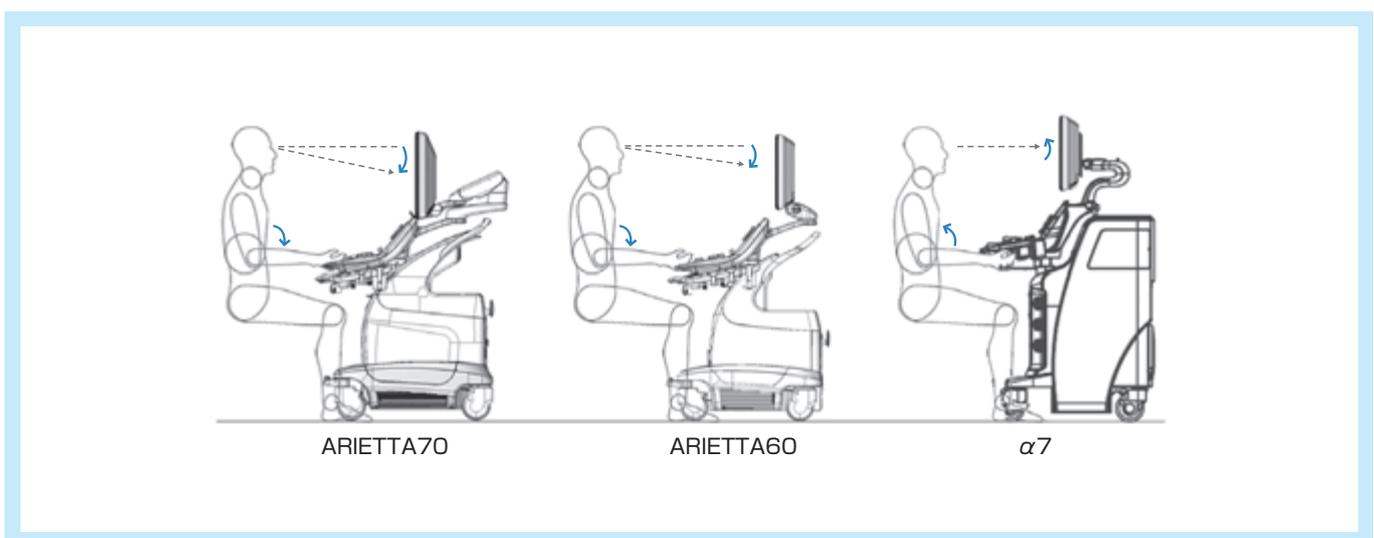


図7: Ergonomicsデザイン

ARIETTA(左、中央)では従来装置(右: alpha7)に比べパネル面に対し上腕が下がり、視線が最大15度下方を向くことがわかる。