

超音波診断装置 ARIETTA 850の開発

Development of ARIETTA 850 Diagnostic Ultrasound System

渡邊 哲夫 ¹⁾	Tetsuo Watanabe	佐光 暁史 ²⁾	Akifumi Sako
辻田 剛啓 ¹⁾	Takehiro Tsujita	藤井 信彦 ¹⁾	Nobuhiko Fujii
園山 輝幸 ²⁾	Teruyuki Sonoyama	前田 俊徳 ²⁾	Toshinori Maeda
香西 和久 ³⁾	Kazuhisa Kozai		

¹⁾株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 開発統括本部 第一製品開発本部

²⁾株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 開発統括本部 第一技術開発本部

³⁾株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 診断システム事業部 第一本部

2016年4月、日立グループのヘルスケア部門として、株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニットが発足した。超音波診断装置グローバルシェアNo.1をめざし、日立グループの総力を結集しフラッグシップモデルとなるプレミアムクラスの汎用超音波診断装置ARIETTA[®] 850を開発した。

Hitachi, Ltd. Healthcare Business Unit (HHBU) started as the healthcare section of Hitachi group in April 2016. ARIETTA[®] 850 is the premium class diagnostic ultrasound system for general purpose, It is developed as the Hitachi's flagship model concentrating Hitachi's resources to target No.1 global market share of diagnostic ultrasound system.

Key Words: 4G CMUT, eFocusing, RVS, RTE, SWM

1. はじめに

1.1 開発の背景

超音波診断装置は、臨床現場での活用領域が拡大しており、2015年から2018年で市場成長率が3%から5%へと拡大することが予想されている。日立は成長戦略として「グローバルシェアNo.1をめざすこと」、「クリニカルイノベーションを提供するリーディングカンパニーとなること」を掲げている。

1.2 開発の目的

日立は超音波診断市場において診療科別戦略の下、放射線科、産婦人科、循環器科の主要3診療科で特徴あるアプリケーションの開発を推進している。

われわれはプレミアムマーケットにおけるグローバルシェア拡大のため、その実現の要となる戦略製品として、プレミアムクラスの汎用超音波診断装置“ARIETTA[®] 850”を開発した。

1.3 製品コンセプト

ARIETTA 850(図1)は、“Pure Image”、“Seamless Workflow”、“Your Application”を製品コンセプトに、“画質”、“ワークフロー”、“アプリケーション”のいずれにおいても、ユーザーの期待に対しプレミアムクラスにふさわしい顧客価値の提供をめざした。

Pure Image : 高画質と、検査者および被検者に合わせた画質調整幅。

Seamless Workflow : 検査者および被検者の負担を軽減する、ワークフロー。

Your Application : 研究目的および臨床現場に適した、他社にない特徴的なアプリケーション。



図1：ARIETTA 850外観

2. Pure Image

超音波診断装置の原点に立ち戻り、空間分解能、コントラスト分解能、時間分解能の三大分解能の改善を追求し、Pure Symphonic Architecture技術(図2)による基本性能の向上に努めた。

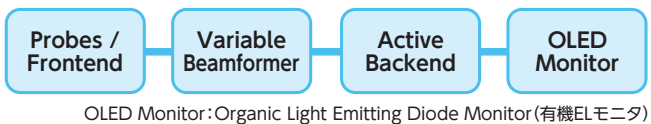


図2：Pure Symphonic Architecture構成

2.1 体表用電子コンベックスプローブ“C252”

体表用電子コンベックスプローブ“C252”は、振動子に電気機械結合係数が90%を超える単結晶圧電材を採用し、従来プローブと比較して、広帯域かつ高感度の音響特性を有する(図3)。ARIETTA 850の最新撮像技術は、本プローブの広帯域特性を生かして、腹部領域において浅部から深部までより均質な画像の描出を可能としている。

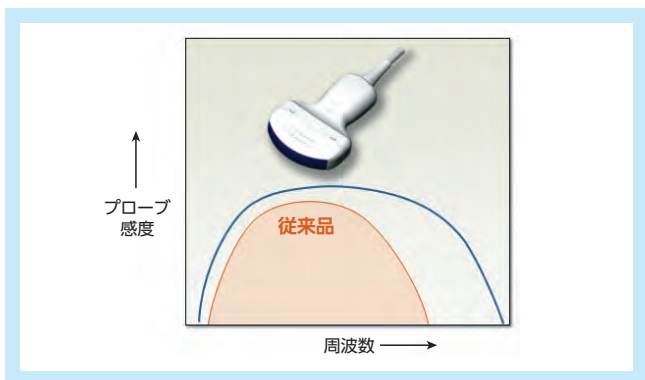


図3：C252外観と周波数スペクトラムイメージ

さらに、ユーザビリティの向上を図るべく、エレベーション方向(振動子の厚み方向)の開口幅を維持しつつ、プローブ先端部の厚みを従来品より薄くした。これにより、画像描出能を維持しながら肋間での煽り操作性を改善した(図4)。

これらの技術は、近年の腹部超音波診断における検査フローの高速化に十分対応し、検査者および被検者負担の低減、検査効率の向上に寄与することを期待する。

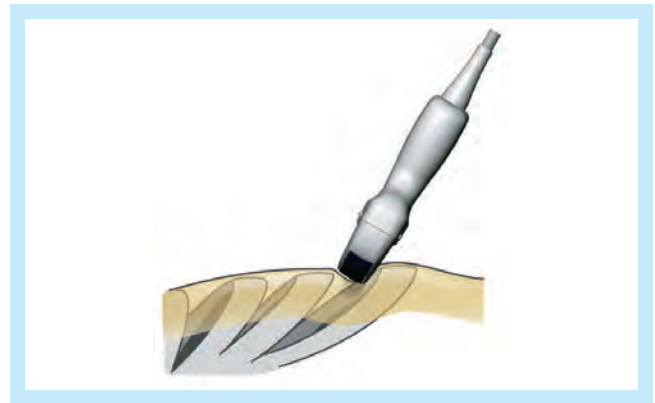


図4：C252肋間走査イメージ

2.2 4G CMUT(CMUTリニア SML44 プローブ)

4G CMUTは、日立が世界に先駆けて実用化した、半導体技術を用いた振動子CMUT(Capacitive Micro-machined Ultrasound Transducers)を採用した最新の超広帯域プローブである(図5)。CMUTは、従来の振動子(圧電セラミックス等)と比較して、音響インピーダンスが生体に近く、従来プローブでは原理的に実現困難であった超短パルス応答、超広帯域特性が得られる。また、最新の当社CMUT技術(4G CMUT)では、CMUTセル構造や各種撮像モードのアルゴリズムを専用最適化し、空間分解能と深部感度を高いレベルで両立した。

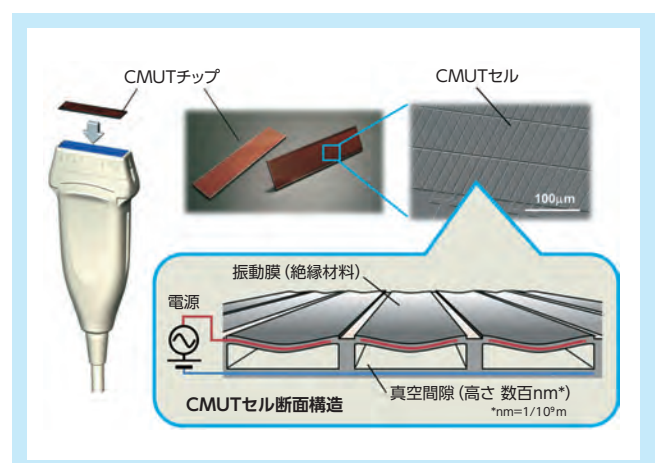


図5：4G CMUT外観と内部構造

CMUTチップには多数のCMUTセルが格子状に敷き詰められている

また、4G CMUTは、格子状にレイアウトされたCMUTセルを高い自由度で選択的に駆動させることが可能で、従来のプローブでは固定化されていたエレベーション方向の超音波

ビーム形状を、診断深度に応じて最適形状に調整することが可能である。

従来のリニアプローブでは、診断シーンごとに低周波、中周波、高周波など複数のプローブを使い分ける必要があった。これに対し、4G CMUTは、超広帯域特性とエレベーションフォーカスの実現により、1本のプローブでさまざまな部位の検査が可能な「ユーティリティーリニアプローブ」として、検査効率の向上に貢献することを期待する¹⁾(図6)。

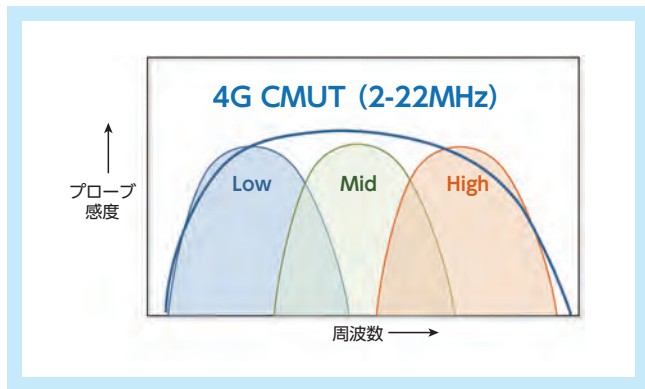


図6：4G CMUT周波数スペクトラムイメージ

2.3 Variable Beamformerが実現する“HI Framerate”と“eFocusing”

“HI Framerate”

ARIETTA 850は、1回の送信で多数の受信ビーム形成が可能な多方向同時受信技術“HI Framerate”を搭載した。その結果、Bモード画像およびカラードブラ画像の高空間分解能と高時間分解能を両立(図7)した。

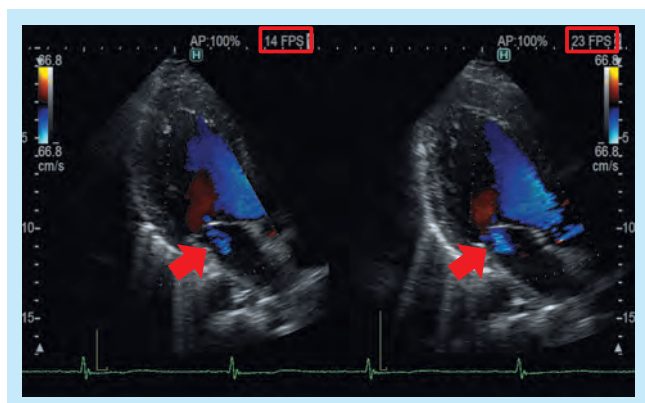


図7：“HI Framerate” Off(左)とOn(右)

“eFocusing”

超音波診断装置の受信ビームフォーミングでは、振動子で受信した信号に対し、受信ビーム上の各サンプル点について所望の遅延時間を与えて整相加算するため、全サンプル点についてフォーカスされた受信信号が得られる。これが受信ダイナミックフォーカス技術である。一方、送信ビームフォーミングでは、一点の送信フォーカス点を設定し、送信時に各振動子に遅延時間を与えることで、送信ビームを形成している。このため、図8に示すように、送信フォーカス点に近い深度で

は送信ビーム幅が狭く方位分解能が良いが、フォーカス点から離れた深度では方位分解能が劣化する。

“eFocusing”は、多方向同時受信技術“HI Framerate”を用い、送信フォーカス依存性を低減する。図9(a)に示すように、1回の送信から得られる受信ビーム領域が重なるように送信ビーム位置をシフトし、位置が重複している受信ビームを合成する。この効果について、散乱点●の画像形成の例で説明する。従来の送信ビームフォーミングにおいて、送信フォーカス点から離れた深度で方位分解能が劣化すると同様に、1回の送信で得られた多方向同時受信信号からBモード画像を形成すれば、図9(b)に示すように各送信波面にしたがって方位分解能が劣化した●の画像が得られる。しかし、各送信において、位相情報を持った受信信号を合成することにより、●の位置においてのみ位相が一致する。それ以外の位置では、この散乱体起因する信号成分は合成によって打ち消され、結果として図9(c)のように方位分解能が向上したBモード画像が得られる。この合成は各深度のサンプル点に送信フォーカスしていることに相当し、つまり送信ダイナミックフォーカスを実現している。従来と同様に、受信もダイナミックフォーカスであるため、“eFocusing”では送受信ダイナ

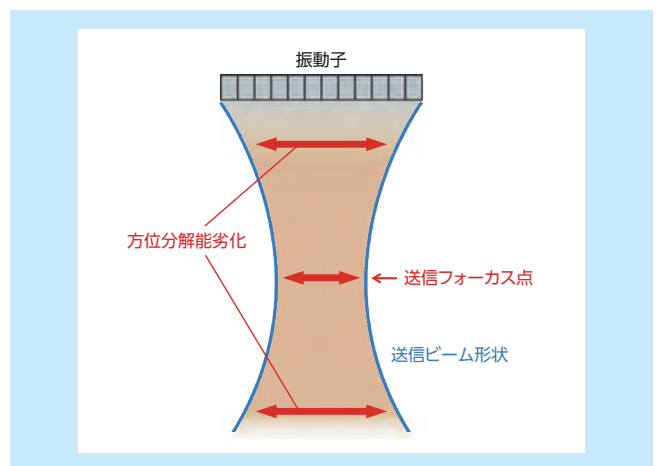


図8：従来の送信ビーム

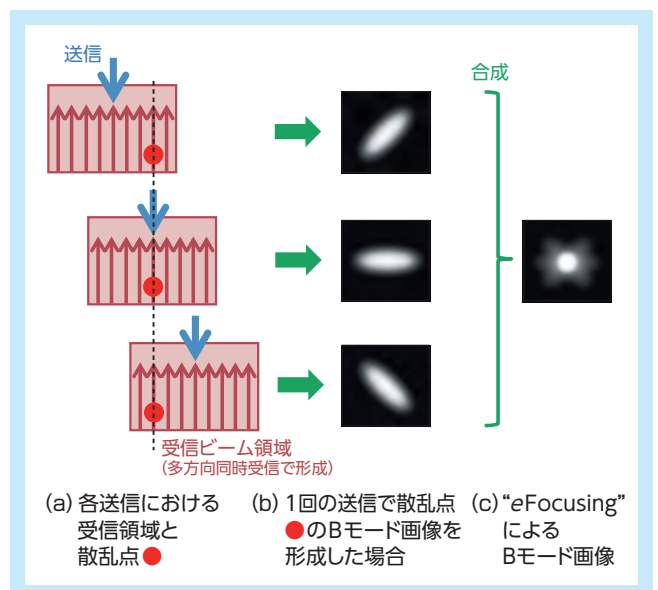


図9：“eFocusing”により得られる効果

ミックフォーカスを実現している。また、複数の送信から得られた受信信号を合成しているため、信号雑音比の向上効果も得られ、ペネトレーションが向上する。図10に“eFocusing”により得られたBモード画像の例を示す。

このように、“eFocusing”では、送受信ダイナミックフォーカシング効果により、従来の問題点であった送信フォーカス依存が軽減され、送信フォーカス深度の設定が不要となる。また、高画質かつ高ペネトレーションなBモード画像の提供により、検査時間短縮などワークフローの改善にも貢献する。

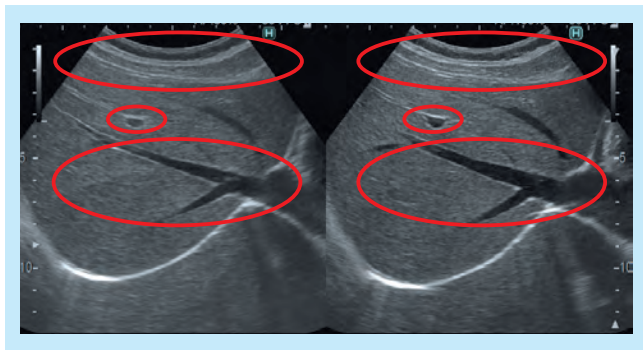


図10：“eFocusing” Off(左)とOn(右)

2.4 Active Backendによる高画質化と、検査者および被検者に合わせた画質調整幅の確保

超音波画像診断は、検査者による調整や好みの差など検査者依存性、被検者の体質や体格による被検者依存性、表在、腹部、産科、循環器、血管などの領域依存性がある。そのため画質調整の幅の広さが求められる。

ARIETTA 850は、従来の製品ラインナップであるHI VISIONシリーズ、ProSound^{®2}シリーズ、ARIETTAシリーズの開発で培った、超音波画像診断に特化したさまざまな画像調整パラメーターを兼ね備え、質的評価に適した画像から形態評価に適した画像までを実現可能な画質調整の幅を持っている(図11)。

- 質的評価：ダイナミックレンジが広く、組織の詳細な情報を描出する画像
- 形態評価：白黒のメリハリを付け、構造物を強調した画像

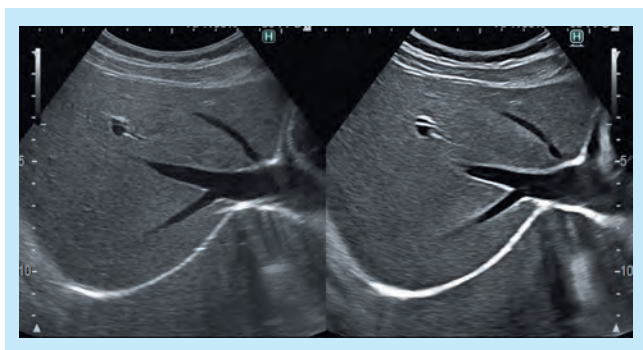


図11：質的評価に適した画像(左)と形態評価に適した画像(右)

ARIETTA 850で臨床ニーズを満たすべく、特に工夫を凝らしたBモード画像の画像調整パラメーターを以下に紹介する。

・空間コンパウンド

空間コンパウンドは、コントラスト分解能および組織辺縁の描出能を向上させる。ARIETTA 850では、コンパウンドに用いる多方向画像の高解像度化を実現した。また、コンパウンドにおける多方向の情報をより有効に利用することで、「自然」なエッジ強調を実現した。これにより、従来の空間コンパウンドの効果を損なうことなく、空間分解能の向上、ボケの低減、エッジ鮮鋭化が可能となった。

・HI REZ^{®3}+BCF

BCF(Border Clear Filter)は、循環器領域における心内膜や弁の視認性向上を目的としている。HI REZと融合させることにより、より視認性の良い画像を提供できるため、循環器、血管および産科領域での検査効率の改善が期待できる。

・Low Echo Reduction

超音波信号の低輝度の調整を容易にする機能であり、ノイズの少ないクリアな画像を提供する。

・Grayscale Enhancement

超音波のグレースケールにおける低輝度部および高輝度部を調整する。これにより、従来さまざまなパラメーターを駆使して行っていたコントラストの調整が本機能により容易になり、ワークフロー改善にも寄与する。

2.5 有機ELモニタによるコントラスト分解能の向上

超音波診断装置の基本モードであるBモードは、Brightnessモードの略で、白黒の階調性つまり白黒の濃淡のみで生体組織の内部構造を表現する必要がある。この濃淡表現の重要な性能指標として、コントラスト分解能が挙げられる。超音波画像を表示するモニタの白黒の階調表現が豊か、つまりコントラスト比が高くなければ、高コントラスト分解能は実現できない。

有機ELモニタは、素子の自発光であり、黒の映像を表現する際、各素子の発光をさせない制御をすることで黒が明確に表現でき、高コントラスト比を実現できる。液晶モニタのコントラスト比が、高性能な物でも1000：1程度であるのに対し、有機ELモニタは25万：1を達成している。超音波診断装置のモニタとして非常に適したデバイスと言える。

3. Seamless Workflow

3.1 操作パネル

超音波検査は、リアルタイムに検査者が被検者と向き合いながら実施するため、操作の煩雑さの低減や検査時間の短縮も、検査者および被検者の負担を減らすうえで超音波診断装置として求められることの一つである。腹部超音波検査においては、Freeze後のCine Searchと、撮像部位を示すBody Markの調整は、断層像を取得するたびに繰り返行われる。従来の操作パネルでは、Cine SearchとBody Markの調整にTrack Ballを共有しており、両操作を実施するためにはTrack Ballの操作対象の切り替えが必要だった。ARIETTA 850では、「Freeze後のCine Searchは“Freeze SW周囲のRotary Encoder”を、「Body Markは“Track Ball”と“Track Ballに

付随したRotary Encoder”と独立のデバイスを用意することで、前述の操作対象の切り替えを省略し、スムーズな操作を実現した(図12)。

さらに、一連の操作に必要な“Measurement Caliper”、“Track Ball”、“Track Ballに付随したRotary Encoder”、“Store”、“Freeze”をパームレストに掌を固定したまま操作できるように配置した。パームレストの奥行サイズを確保することで、上記の操作を行う際の、手首の捻りの軽減にも配慮した。

またARIETTA 850では、“Enter”と“Undo”に加え“L”と“R”を追加することで、選択が必要とされるさまざまな場面でショートカット操作が可能となり、操作の直感性の向上や、検査時間の短縮への寄与を期待する(図13)。

3.2 Ergonomics筐体を実現する、“VDT(Visual Display Terminals)症候群対策”と“ケーブルマネジメント” “VDT症候群対策”

超音波検査では、検査者が体をねじって検査をする場合が



図12：操作パネルレイアウト



図13：操作パネル外観と、“L”および“R”スイッチ

少なからずあり、検査者の身体的な負担は大きい²⁾。

ARIETTA 850は、検査者の首や肩への負担軽減に着目し、VDT症候群の予防に配慮した。そのために、座位と立位のいずれにおいても最適な検査姿勢を維持できるように、操作パネルアームとモニターアームに大きな可動域を確保した(図14、図15)。

操作パネル：上下移動700～1000mm、左右旋回25度

モニター：上下移動172mm、旋回360度、前後224mm

その結果、座位における視線が、日本超音波医学会の提言で推奨されている約10度³⁾の下方視を実現した。また、モニターが前後方向に滑らかに平行移動するように、モニターアームの関節を1軸追加し、検査者とモニターの距離調整を容易にした(図16)。これらの対策は装置サイズを大きくししがちだが、コンパクトな筐体サイズも実現した。

“ケーブルマネジメント”

超音波診断装置の筐体の課題として、VDT症候群の対策に並び、プローブのケーブルマネジメント改善が挙げられる。従来は、検査時にプローブを持ち替えるたびに、プローブのケーブル同士が絡まっていた。その原因は、プローブをプローブホルダから取り出す際に、ほかのホルダに収納されたプローブのケーブルと交差し、プローブを持ち替えるたびにケーブル同士を編みこむためと考えた。

そこで、ARIETTA 850では、操作パネル両脇に、プローブホルダごとに専用のサイドフックを用意し、ホルダ収納時のプローブのケーブルの向きを、プローブをホルダから取り出す向きと水平に東ねられるようにした。その結果、プローブをホルダから取り出す際に、ほかのホルダに収納されたプローブのケーブルと絡みづらくなった(図17)。

また、形状と素材と加工にこだわることで、プローブケーブルをフックに沿わせて滑らかに引き出すことができかつ、しっかりとケーブルを保持することができるように配慮した。

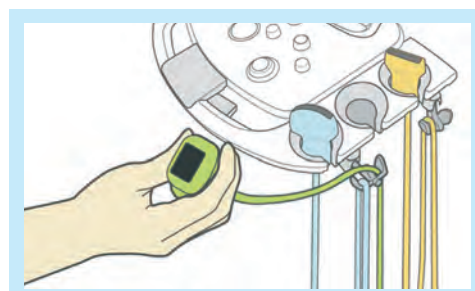


図17：プローブを取り出す際も絡まない

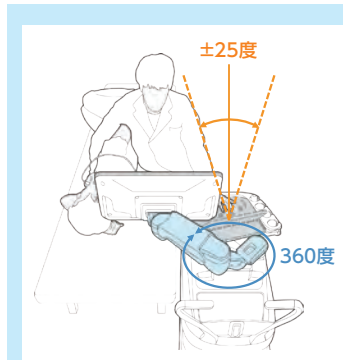


図14：筐体可動域(水平)

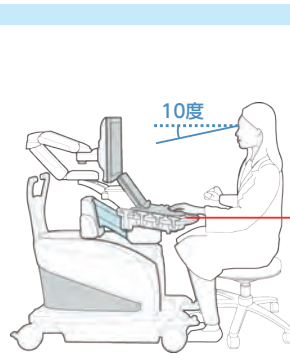


図15：筐体可動域(垂直)

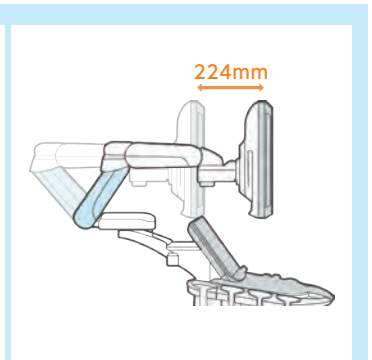
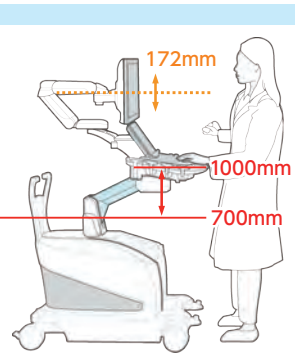


図16：モニターの前後可動

さらに、フックの存在をユーザーが認識しやすいよう、操作パネル両脇のよく見える位置かつ、ケーブルの根元と角度が付いてケーブルを引き出しやすい位置になるように、フックを操作パネル両脇から突起する位置に配置した。ただし、狭い検査室や移動で両脇のフックが邪魔になる場合も想定し、各フックはワンタッチで操作パネル下部に収納可能とし、この状態でもケーブルのスムーズな引き出しと保持を両立可能な形状とした。

3.3 さまざまな自動設定機能

超音波検査の中でも、特に循環器領域は操作が煩雑で、その簡略化が求められている。循環器に特化したプレミアムクラスの超音波診断装置LISENDO[®]4 880でさまざまな自動化機能を開発し、ARIETTA 850に搭載したので、以下にその例を紹介する。

Simpson計測においては、まず拡張末期(Ed)と収縮末期(Es)の時相を自動検出し、時相情報から2分割画面の左側にEd、右側にEsのBモード画像を自動的に表示する。さらに、EdとEsの内腔をそれぞれ自動的にトレース可能な計測を搭載しており、半分以下(従来比)の手順で、左室収縮能指標として一般的なLeft Ventricular Ejection Fraction(LVEF)を算出可能にした(図18)。

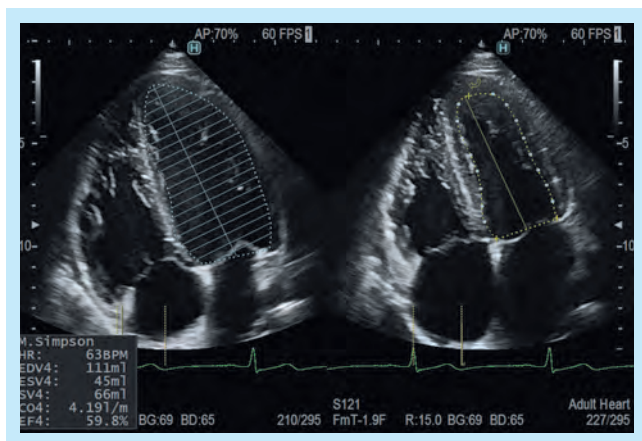


図18：Simpson計測の半自動化

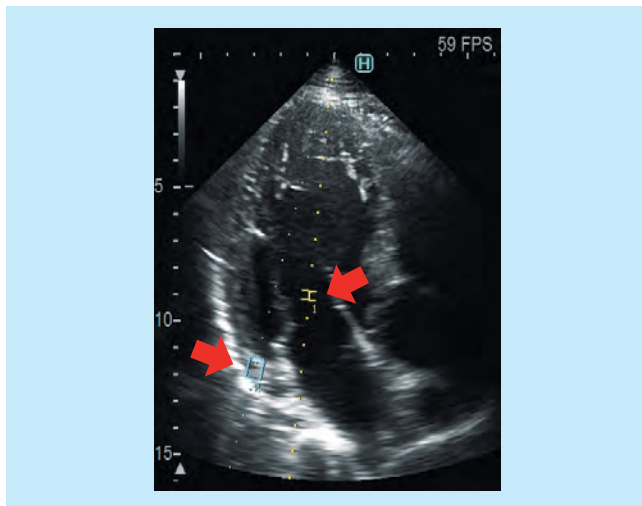


図19：Dual Gate Dopplerにおけるサンプルゲート位置の自動設定

また、ドプラ検査時、「撮像断層の種類を判定」したうえで「サンプルゲート位置の自動設定」を可能にした。これには機械学習データベースを用いることで、精度や汎用性を向上させ、検査者が手動で設定するような位置にサンプルゲートを自動で設定できるようにした。本機能は、Dual Gate Dopplerにも適用(図19)されており、Dual Gate Dopplerのさらなる普及にも寄与することを期待する。

3.4 Protocol Assistant

超音波のスクリーニング検査において、検査時の画質調整などの条件設定が検査者に一任されると、検査者の意図や好みによって撮像される画像の量や質が異なるなどの検査者依存が生じる。また、撮像された画像の並びや調整が異なると、読影時にそれらの差を考慮しなければならなくなり、読影者の負担にもなる。

Protocol Assistantは、事前に登録したProtocol、つまり撮像する画像の種類、撮像する順番および条件設定を、検査時に再現する検査サポート機能である。検査時、撮像する画像のリストが検査画面に表示され(図20)、検査者はそのリストの順番にしたがって検査を実施する。撮像する画像ごとに、事前に登録した画質調整などの条件設定が自動で再現される。また、画像を保存することで、撮像する画像のリストに順次チェックが入っていく。これらの結果、Protocol Assistantを用いることで、撮像される画像の並びや調整が統一された検査が可能となり、検査者依存や読影者の負担を軽減する。さらに、検査者の操作手数が減るため、検査時間の短縮も見込める。また、リスト表示により撮像忘れの防止にも貢献する。



図20：Protocol Assistant実行中の超音波診断装置の検査画面

ARIETTA 850は、Protocolを事前登録する際の煩わしさに配慮し、登録しなければならない調整パラメーターを絞ったうえで、装置上で操作した手順をProtocolとして記憶できるようにした。

Protocol実行中に症例を発見し精査したいなど、Protocol規定外の検査を実施する場合、従来は、手動で一時中断(Pause)操作を行う必要があった。

また、手動でPauseせずに検査を続けた場合、Protocolで規定していない画像がProtocolに紐付けられてしまうなどの課題があった。そこでARIETTA 850は、モード(B、カラードプラなど)変更を検出しProtocol規定外の検査と装置が判

断することで、自動的にProtocolをPauseするAuto Pause機能を搭載した。

Protocol Assistantが普及し、検査効率の改善や、検査の質の向上に寄与することを期待する。

4. Your Application

4.1 乳腺エラストグラフィ

乳がんは、現在国内において、年間9万人以上が罹患し、女性の中で最も罹患数が多いがんと予測されており⁴⁾、その数は年々増加傾向にある。乳がんは進行するほど硬くなることから、2003年に超音波を用いて硬さを可視化する技術 Real-time Tissue Elastography^{®5)}(RTE)として日立から製品化し、現在では臨床現場に無くてはならない機能となっている。これまで、広く普及させるために、簡便性・客観性・定量性の向上⁶⁾に努めた開発を重ねており、現在も進化を続けている。

ARIETTA 850では、製品コンセプトの一つである Seamless Workflowに沿うように、Track Ball周囲のスイッチだけで、自動的に適切なフレームを選択するAuto Frame Selection (AFS)と自動的にフレーム内の適切な領域を選択する Assist Strain Ratio(ASR)を同時に使用可能にした(図21)。WFUMB(World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology)のガイドラインで提唱されている手技である No Manual Compressionと組み合わせることで、最小限の操作で再現性の高い画像を取得することができ、検査者の手技依存性の低減に貢献することを期待する。



図21 : Seamlessに実行可能なASR

4.2 肝臓エラストグラフィ (RTE、SWM)

近年、C型肝炎に対する新薬の登場でC型肝炎ウイルスの排除が可能になってきているが、ウイルス排除後も肝線維化進展の経過観察が重要であることが認識されてきている。また、生活習慣病の患者数増加に伴い、ウイルス性以外の肝炎である非アルコール性脂肪肝炎(Non-alcoholic steatohepatitis : NASH)の増加も懸念されている。これらの慢性肝疾患の診断には肝生検が有効だが、侵襲性や費用の面で繰り返し実施できないという問題がある。一方、超音波エラストグラフィを用いた肝臓の線維化評価は非侵襲に繰り返し実施でき、客観的な評価が可能であることから近年急速に普及している。

ARIETTA 850は、肝臓のエラストグラフィとして、「Strain imagingであるRTE」と「Shear wave imagingであるShear Wave Measurement(SWM)」の両方に対応している(図22)。

RTEは、線維化進展に伴う組織弾性画像の特徴量の違いから算出したLF Index計測により、肝線維化のStage推定が可能である⁶⁾。ここでLF Indexは、肝臓の炎症の影響を受けずに線維化だけを評価できることが示唆されており⁷⁾、臨床的な有用性が期待されている。

SWMは、肝臓の硬さに応じて変化するせん断波速度(V_s)が信頼度表示付きで計測可能である。一般的にShear Wave計測においては、被検者の体動や検査者の手振れなどによってせん断波の伝搬が乱されることがあり、 V_s の値だけではその計測結果の妥当性を判断することが困難な場合がある。そこで日立のSWMでは、せん断波の伝搬計測が妥当であったかどうかを定量的に評価できる指標である V_sN (V_s の有効率を百分率で表示)を搭載している⁸⁾。臨床結果によると、 V_sN が50%以上の計測を採用することで V_s 計測の精度が向上することが報告されている⁹⁾。

以上のようにARIETTA 850の肝臓エラストグラフィは、定量的な肝線維化評価が可能で、慢性肝疾患の診断に寄与することを期待する。今後は、RTEとSWMの同時計測によって線維化と炎症を個別に評価する機能や、脂肪肝に対する減衰計測機能を追加して、肝疾患を総合的に評価できるアプリケーションの開発を進めていきたい。

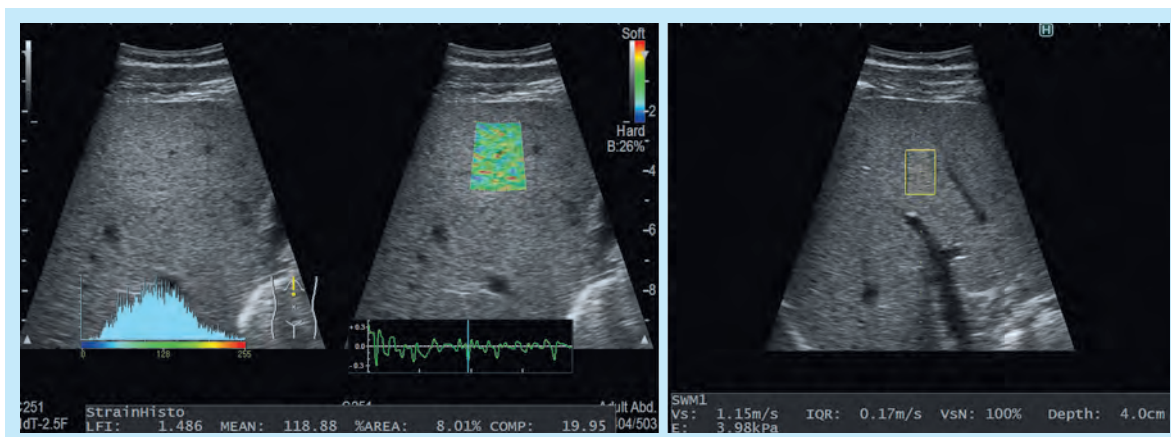


図22 : 肝臓エラストグラフィの各モード。左 : RTE、右 : SWM

4.3 Real-time Virtual Sonography (RVS)

わが国の肝がん死亡者数は2000年代前半を最多として、その後は徐々に減少しつつある。しかし、いまだ年間死亡数が3万人を超えており、疾患対策上極めて重要な疾患である¹⁰⁾。肝がんの内科的局所療法の一つであるラジオ波焼灼療法(Radio Frequency Ablation: RFA)は、電極針を腫瘍に穿刺してラジオ波で熱凝固させる低侵襲な治療法で、日本では2000年代になって普及した。RFAで高い治療効果を得るためには、腫瘍への的確な穿刺が必要となる。われわれは、RFAの穿刺ナビゲーションシステムとしてReal-time Virtual Sonography^{**6}(RVS)を2003年に開発した¹¹⁾。RVSは、CTやMRI画像と超音波画像をFusionする技術で、超音波プローブの動きに追従して、超音波画像と同じ断面のCTやMRI画像を参照表示する。CTやMRI画像にて診断された病変を、RFA治療時に超音波ガイド下で同定するのに有用である。

近年RFA治療は、サイズが大きい腫瘍を治療するために、モノポーラ電極針の複数回の穿刺・焼灼による重ね焼きや、複数本のバイポーラ電極針の穿刺・同時焼灼が行われるようになってきている。熱凝固領域は電極の配置によって変化するため、必要十分な治療マージンを得るためには、腫瘍に対する電極針の穿刺位置を計画することと、その配置に基づく熱凝固領域の形状をイメージすることが重要である。

今回われわれが提案する新しいFusion技術“3D Sim-Navigator”は、RVSを応用したナビゲーションとシミュレーションの融合である¹²⁾¹³⁾。RFA治療の際に、超音波診断装置上で穿刺シミュレーションを行い、電極針と病変との位置を三次元表示する(図23)。また、穿刺ラインとの直交断面であるCプレーンを表示することにより、マークしたターゲットと穿刺ラインの位置関係をリアルタイムに把握することを可能にした。さらに、RFA治療時の電極の配置から決定される物理量である電場Electric field(E-field)をCTやMRI画像上に表

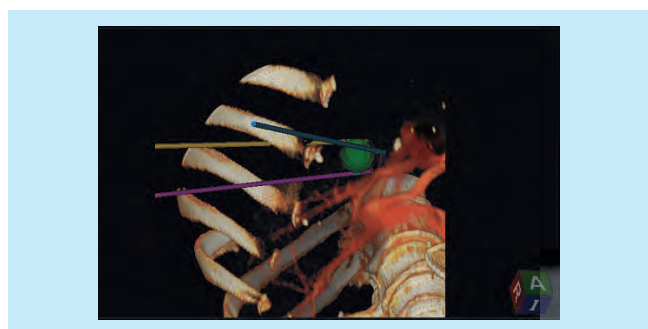


図23 : 3D Sim-Navigatorの三次元表示

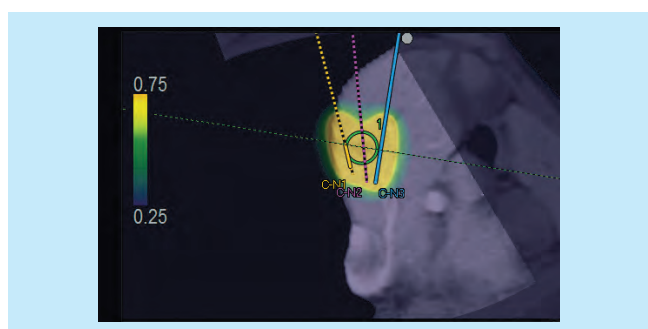


図24 : 3D Sim-NavigatorのE-field表示

示することで、RFAの熱源分布の把握を容易にした(図24)。E-fieldは複数本穿刺の際にもあらゆる電極配置に合わせてシミュレーション可能なので、穿刺ライン検討の自由度を大幅に改善することを期待する。

また、CIVCO社製シブコVirtuTRAXブラケットを用いて針先を追跡することで、RFA焼灼中の針先位置をモニタリング可能にした。さらに、同社製シブコomniTRAXブラケットと組み合わせることで、被検者の体位変換等があっても、CTやMRI画像と超音波画像が同期した状態を保つことができる。

以上のように、RVSはRFA治療方法の変遷に合わせて進化を遂げており、RFAにおける治療計画、穿刺ナビゲーション、焼灼モニタリングシステムとして、肝がん治療に貢献することを期待する。

4.4 産科用3D/4D表示アプリケーション

出産前に胎児の表情を見たいとの産科領域のニーズに対応すべく、産科3D/4D表示アプリケーションを構成する、ポリウムスキャン、ポリウム演算、レンダリング、3Dアプリケーションソフトウェアの全てを一新した。

- ・データを取得するためのポリウムスキャン時、前述の多方向同時受信技術“HI Framerate”と送受信ダイナミックフォーカシング技術“eFocusing”を3D表示アプリケーションへ、“HI Framerate”を4D表示アプリケーションへ適応し、基本性能の改善に寄与する。高精細なポリウムデータを取得可能なスキャンモードである“HIDEF3D”モードは、“eFocusing”を用いることが可能となっている。これにより、フォーカス依存性が低減され、信号雑音比の向上した明瞭な3D画像を提供することが可能となった。
- ・ポリウムデータを構築し信号処理を行うポリウム演算エンジンは、前述のActive Backendと統合した。中間処理における不要なサンプリングレート変換処理を排除し、空間分解能の低下の少ないポリウム演算を実現した。その結果、空間分解能と時間分解能を両立したポリウムスキャンが可能となり、従来比で2倍のポリウムレートを達成した。
- ・立体的な表現を行うためのレンダリングは、ポリウムデータ表示の回転や拡大・縮小操作のレスポンスを改善するため、ARIETTA 850ではレンダリングエンジンに高性能なGPU(Graphics Processing Unit)を用いた。特に、写実的なレンダリング画像を提供する“4Dshading^{**7)}”モード¹⁴⁾は、従来その演算時間の長さに伴うレスポンスの悪さが課題となっていたが、演算速度も従来比で2倍の高速化を達成し、良好なレスポンスを得た。
- ・これらの制御を行う3Dアプリケーションソフトウェアについても、レスポンスの改善を行った。4Dモードの収集開始から表示までに要する時間は従来比で40%低減し、“HIDEF3D”モードの収集完了から表示の開始までに要する時間は80%低減を実現した。

以上のように、ARIETTA 850は、操作性と時間分解能および空間分解能を満たした産科3D/4D表示を提供可能に

なっており、検査効率の向上に寄与することを期待する。

3D/4D超音波画像は形態診断のための表面形状情報を検査者に提供するとともに、母体の感情管理を行っているという側面があり、形態的な特徴を顕在化させるとともに、自然な印象を与える画質が求められる。これらのニーズに応えるため、新しい“4Dshading”機能、“4DshadingFlow”機能、“4Dtranslucence”機能を開発した。

・新しい“4Dshading”機能

従来から、4Dshading機能は生体内の光の内部散乱を模擬した写実的な3D表示を行っていた。ARIETTA 850は、「人肌」の表面における光の振る舞いを模擬した陰影処理を加え、形状を明瞭にするとともに妊婦やその家族に“より自然”な印象をもつ3D表示を行うことができる、新しい“4Dshading”機能を搭載した(図25)。



図25：従来の4Dshading表示(左)と新しい4Dshading表示(右)(CIRS社製胎児ファントムを使用)

・“4DshadingFlow”機能

前述の4Dshading技術を血流表示モードeFlowに応用することで、血流内の光の内部散乱を模擬した写実的な血流表現が可能な“4DshadingFlow”機能を新たに開発し、ARIETTA 850に搭載した(図26)。“4DshadingFlow”機能では、3D表示における血流表現の質感が向上し、従来は認識が困難であった微細な血流の走行も容易に認識可能となった。

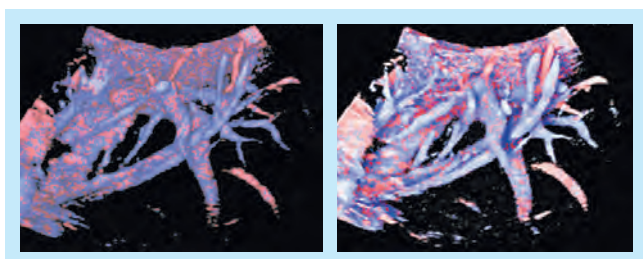


図26：従来の3Dによるeflowの3D表示(左)と4Dshading-Flowによるeflowの3D表示(右)

・“4Dtranslucence”機能

ARIETTA 850ではボリュームデータの“境界”のみを可視化することにより、内部の形態情報を可視化する“4Dtranslucence”機能を開発した(図27)。これまでの3D表示は表面形状を可視化するが、本機能は実質部のような均一な組織は画像化せず、境界のみを画像化するため、内壁の形状などの3D表示を行うことができる。

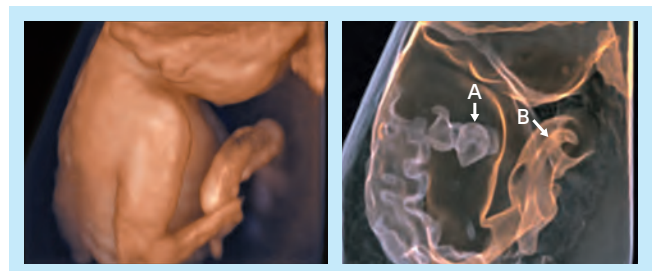


図27：通常の3D表示(左)と4Dtranslucenceによる3D表示(右)株式会社京都科学製胎児ファントムを使用、図中(A)心臓様構造物、(B)血管様構造物

4.5 推定胎児体重(Estimated Fetal Weight : EFW)計測のアシスト機能

EFWは胎児発育を評価するための指標の一つである。妊婦健診では胎児の頭部、腹部、大腿部の超音波断層像を計測し、計測結果と基準値の比較を行うことで、胎児発育が正常範囲か否かを評価している。

超音波断層像を用いたEFW計測において、計測点の設定は一般的にTrack Ball操作で行われる。ここで、各計測点に誤差が含まれてしまうと、算出されたEFWは誤差が蓄積してしまい、正しく基準値との比較が行えない。このため、超音波胎児計測で推奨される計測方法に沿って適切に計測点を設定する必要があるが、この操作は検査者へ負担がかかっており、簡便化が望まれていた。

今回、超音波胎児計測で推奨されている計測対象の特徴を解析し、自動的に計測点を設定する計測アシスト機能を開発した。頭部と腹部の計測点の検出では、まず画像内から頭部・腹部と思われる楕円形となる部位を粗く探索する。探索された部位に対し、エッジ情報などを参考に詳細な楕円形の当てはめを行った後、描出されている画像特徴を参考に計測点を設定する(図28)。脚部の計測点の検出では、まず大腿骨と思われる棒状の領域を推定する。推定された部位に対し、輝度情報を参考に大腿骨の末端までを詳細に探索した後、検出された領域の曲率を考慮して計測点を設定する。

これらのアシスト機能により、簡単な操作で、検査者が手動で設定するような位置に、自動的に計測点を設定できるようになった。検査者により計測点が良好であると判断されれば、結果を確定するだけで計測を終えることができる。操作性と計測精度に優れた計測アシスト機能によって、妊婦健診の検査効率改善に寄与することを期待する。

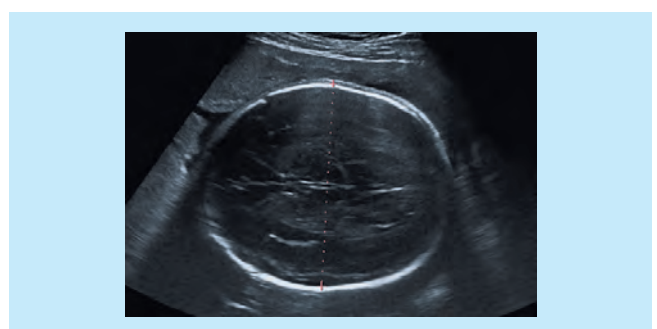


図28：胎児頭部(BPD)における計測点の設定

4.6 Dual Gate Doppler機能による心時相解析

心時相解析が可能なDual Gate Doppler機能を搭載した。Dual Gate Dopplerは、拡張能評価として、PW(Pulse Wave)モードによる左室流入速波形E波とTD(Tissue Doppler)-PWモードによる僧帽弁弁輪速波形e'波の時相を同時に観察することができる(図29)。

E波を基準にしてe'波の描出される時相タイミングが後ろにずれている場合、左房のリザーバー機能が過負荷となり、心不全のような心疾患への早期予測へ有益であることが期待されている¹⁵⁾。PWとTD-PWの組み合わせにより、Dyssynchrony(同期不全)疑いに対する心室中隔と心室側壁のTD-PW波形の時相のずれの確認、または、総合的心機能指標MPI(Myocardial Performance Index)計測に対して、精度良く等容収縮期や等容拡張期を計測することが可能となる。

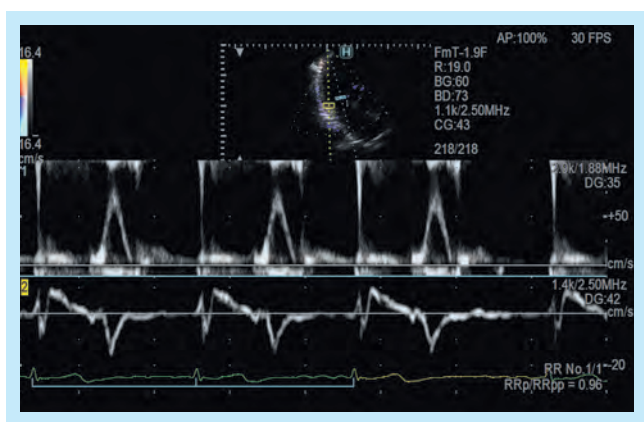


図29 : Dual Gate Doppler機能による心時相解析

5. まとめ

ARIETTA 850が、“画質”、“ワークフロー”、“アプリケーション”のいずれにおいても、プレミアムクラスの製品にふさわしい顧客価値を提供することを期待する。

日立は、超音波診断装置のリーディングカンパニーとして、これからも医療の発展に貢献し続けます。

販売名：超音波診断装置 ALOKA ARIETTA 850^{**1}

認証番号：228ABBZX00147000

販売名：超音波診断装置 ALOKA LISENDO 880^{**2}

認証番号：228ABBZX00092000

販売名：C252 プロローブ

認証番号：228ABBZX00133000

販売名：CMUTリニア SML44 プロローブ

認証番号：228ABBZX00154000

販売名：シブコ VirtuTRAX ブラケット

届出番号：13B1X00089040224

製造販売業者：センチュリーメディカル株式会社

販売名：シブコ omniTRAX ブラケット

届出番号：13B1X00089040226

製造販売業者：センチュリーメディカル株式会社

※1 ARIETTA、※2 ProSound、※3 HI REZ、※4 LISENDO、※5 Real-time Tissue Elastography、※6 Real-time Virtual Sonography、※7 4Dshading、※8 ALOKAは株式会社日立製作所の登録商標です。

*1 ALOKA ARIETTA 850はARIETTA 850と呼称します。

*2 ALOKA LISENDO 880はLISENDO 880と呼称します。

参考文献

- 1) 佐光暁史, ほか : cMUT技術による超音波探触子「Mapie」の開発. MEDIX, 51 : 31-34, 2009.
- 2) 丸山 勝, ほか : 腹部超音波検査時の体位変換は検査者の身体負荷を小さくするか-第2報-
- 3) 日本超音波医学会機器及び安全に関する委員会 : 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-. 2012.
- 4) 2016年のがん統計予測 : 国立がん研究センター がん情報サービス
- 5) 脇 康治, ほか : 超音波診断装置における新世代の乳房 Real-time Tissue Elastography の開発. MEDIX, 65 : 32-36, 2017.
- 6) 外村明子, ほか : Strain Histogram 計測機能の開発と肝臓領域への臨床応用. MEDIX, 54 : 37-41, 2011.
- 7) Fujimoto K, et al. : Novel image analysis method using ultrasound elastography for noninvasive evaluation of hepatic fibrosis in patients with chronic hepatitis C. Oncology, 84(suppl 1) : 3-12, 2013.
- 8) 園山輝幸, ほか : 信頼性表示機能を有する Shear Wave Measurement の開発. MEDIX, 63 : 40-44, 2015.
- 9) Yada N, et al. : A newly developed shear wave elastography modality: With a unique reliability index. Oncology, 89(suppl 2) : 53-59, 2015.
- 10) 肝がん白書 平成27年度 : 日本肝臓学会
- 11) Arai O, et al. : Integration Computer Tomography in Ultrasound Diagnosis Named Virtual Sonography, 2003 Scientific Assembly and Annual Meeting Program of Radiological Society of North America, p.807, 9424IMA-i, 2003.
- 12) 坂本 梓, ほか : RVSを基礎とした新しいアプリケーション 3D Sim-Navigatorを用いたRFA. MEDIX, 64 : 14-18, 2016.
- 13) Hirooka M, et al. : Usefulness of a New Three-Dimensional Simulator System for Radiofrequency Ablation. PLoS One. 2016 Feb 4 ; 11(2).
- 14) 荻野昌宏, ほか : 超音波診断装置向け高品位三次元映像処理技術-4Dshading- 日立評論 VOL.96 : 62-67.
- 15) Wada Y, et al. : Simultaneous Doppler Tracing of Transmitral Inflow and Mitral Annular Velocity as an Estimate of Elevated Left Ventricular Filling Pressure in Patients With Atrial Fibrillation. Circulation Journal Vol.76, March 2012 : 675-681.