

超音波診断装置 ALOKA LISENDO 880の開発

Development of ALOKA LISENDO 880 Diagnostic Ultrasound System

渡邊 哲夫 ¹⁾	Tetsuo Watanabe	久津 将則 ¹⁾	Masanori Hisatsu
江田 雅斗 ¹⁾	Masato Eda	藤井 隆司 ²⁾	Takashi Fujii
長野 智章 ²⁾	Tomoaki Chono	嘉山 崇史 ³⁾	Takashi Kayama

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 マーケティング本部

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。

われわれは循環器領域における日立のアイデンティティ確立をめざし、循環器領域に適した機能と性能を盛り込み、株式会社日立製作所の超音波診断装置として初めて上市するALOKA^{*1} LISENDO^{*2} 880を開発した。

Hitachi, Ltd. Healthcare Business Unit (HHBU) started as the healthcare section of Hitachi group in April, 2016. We developed premium ultrasound system “ALOKA^{*1} LISENDO^{*2} 880” as the first model marketed from HHBU. ALOKA LISENDO 880 is developed including functions and performance dedicated to cardiovascular application to establish the identity of Hitachi in this application.

Key Words: Cardiovascular, HI Framerate, “eFocusing”, VFM, Cardiac 3D

1. はじめに

1.1 開発背景

われわれは、2014年より超音波診断装置ProSound^{*3} F75 PremierCVを用い、循環器領域にアプローチを続けてきた。

その中で、左室駆出率(EF)が保たれているが心不全となるなど、従来の心機能計測では解明できない症例が散見されるようになってきた。そのような臨床課題に対し、心腔内の血行動態の視覚化および定量化による新たなソリューションを提供すべく、循環器領域に適したプレミアムクラスの超音波診断装置“ALOKA^{*1} LISENDO^{*2} 880”(図1)を開発した。

1.2 製品形名“ALOKA LISENDO 880”の由来

日立は、2016年度以降に発売される超音波診断装置について、超音波のパイオニアとしてお客さまに愛される“ALOKA”を、製品ブランドの一部に用いることを決めた。

また、英語で音を聞く“Listen”とギリシャ語で内部という意味の“Endo”を掛け合わせ、正確に体内の音を聞くとの意味を



図1：ALOKA LISENDO 880外観

込めて“LISENDO”と名付け、循環器領域に適した超音波診断装置のブランドとして“ALOKA LISENDO”を立ち上げた。

さらに、日立は、世界に先駆け1983年に、カラードプラ機能を搭載した超音波診断装置として“SSD-880”を世に送り出している。初心を忘れず、改めて血行動態の把握に向き合う強い信念を表し、“SSD-880”と同じナンバリングを用いた。

1.3 製品コンセプト

ALOKA LISENDO 880 は、“Pure Image”、“Seamless Workflow”、“Your Application”を製品コンセプトに、“性能”、“使い勝手”、“アプリケーション”のいずれにおいても、循環器領域に適したプレミアムクラスの製品らしい顧客価値の提供をめざして、開発した。

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

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。

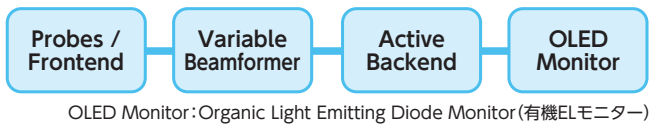


図2: Pure Symphonic Architecture構成

2.1 体表用電子セクタプローブ“S121”

使い勝手の良さと高性能を求めるユーザーニーズに応えるべく、体表用電子セクタプローブ“S121”(図3)を新たに開発した。

グリップ部分は、コンパクトかつブーツ部分に指をかけられる形状にすることで、つかみやすくさまざまな握り方に対応可能にした。先端部分はレンズ面のフットプリントが小さく角の

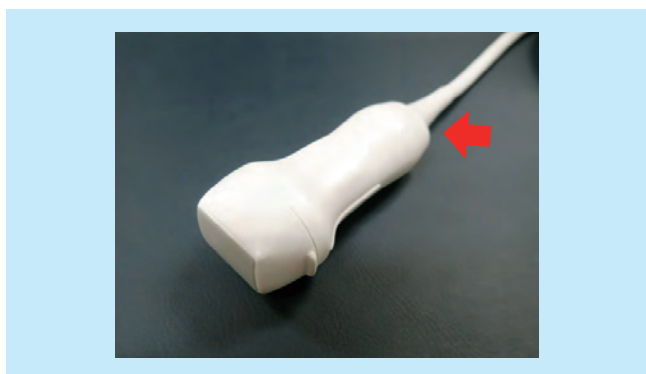


図3: 体表用電子セクタプローブS121外観

エッジに配慮することで、被検査者に対して多様なアプローチを可能にしつつ痛みを与えにくい形状にした。また、ケーブルの細さや重さも、検査の妨げにならないように配慮した。

性能面においては、プローブの周波数特性(図4)に配慮し、空間分解能に寄与する帯域の広さと、ドプラモードで必要とされる高感度を両立した。広帯域かつ高感度な周波数特性、つまり低周波域から高周波域まで効率良く超音波を送受信できるようにするため、振動子には電気機械結合係数が90%を超える単結晶圧電材を採用した。

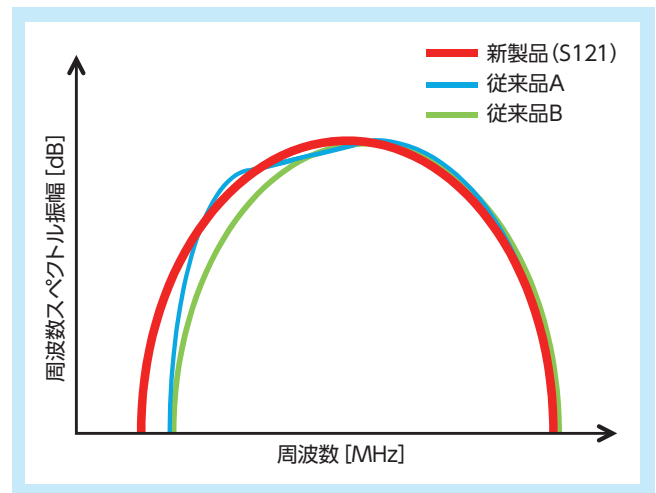


図4: S121周波数特性(イメージ)

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

従来から、フレームレート向上のため、1回の送信で複数の受信ビームを得る多方向同時受信技術が用いられているが、ハードウェアの制約から、2または4程度と少数の多方向同時受信のみであった。また、従来の単純な多方向同時受信では、フレームレートが高くなる一方、方位分解能が劣化するというトレードオフの課題を抱えていた。

ALOKA LISENDO 880は、図5のように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プラ画像

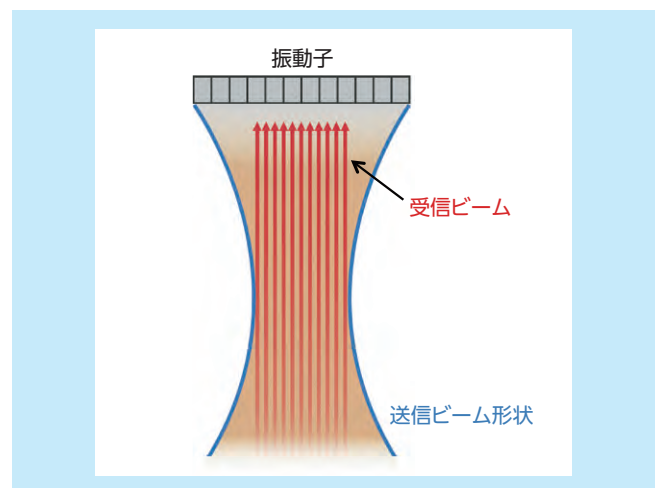


図5: 多方向同時受信技術“HI Framerate”

の高空間分解能と高時間分解能を両立(図6)し、さらにはドプラ波形の検出改善にも寄与する。ドプラ波形検出のターゲットとなる逆流血流は、心臓全体の拍動に合わせて空間的に動いている。また、体表から10cmの深い位置にある数mm程度の広がりを持った軽度な逆流を計測する場合もある。

ドプラ波形を感度よく計測するためには、まずスキャン断面に安定して逆流が表示されるように、つまりスキャン断面が逆流血流を安定して捉えるようにプローブの位置や角度を設定する必要がある。次に、スキャン断面に表示された逆流血流にドプラサンプルゲートを精度よく設定する必要がある(図7)。“HI Framerate”により高空間分解能と高時間分解能を両立したカラードプラ画像が、それらを良好にアシストする。その結果、PW(Pulse Wave)およびCW(Continuous wave)ドプラ波形の検出能力改善が見込まれる。

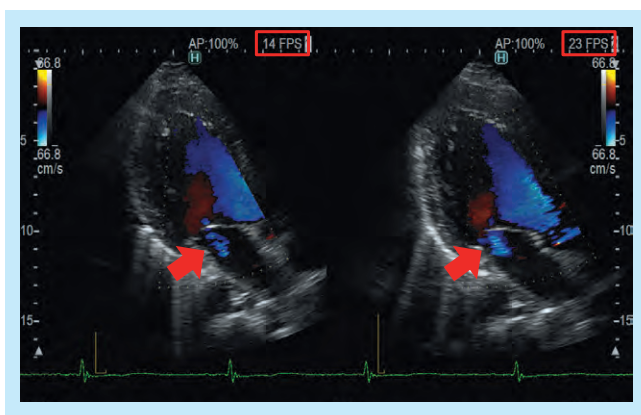


図6：“HI Framerate” Off(左)とOn(右)

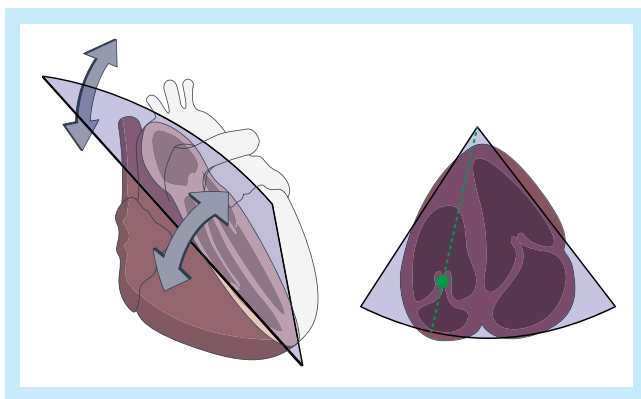


図7：心臓の解剖図と超音波のスキャン断面

“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。

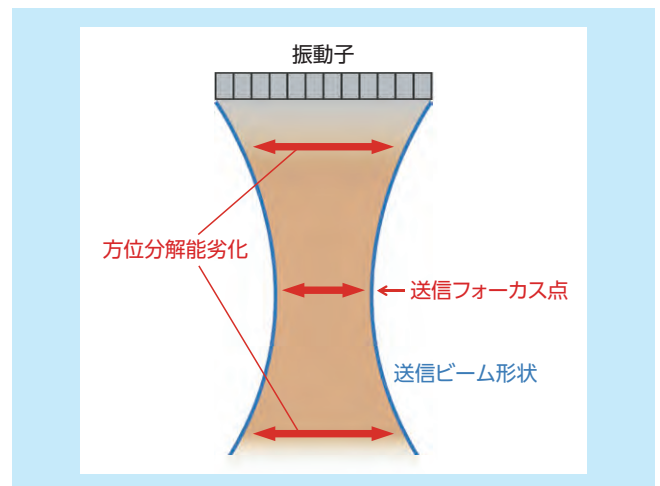


図8：従来の送信ビーム

“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、この散乱体に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

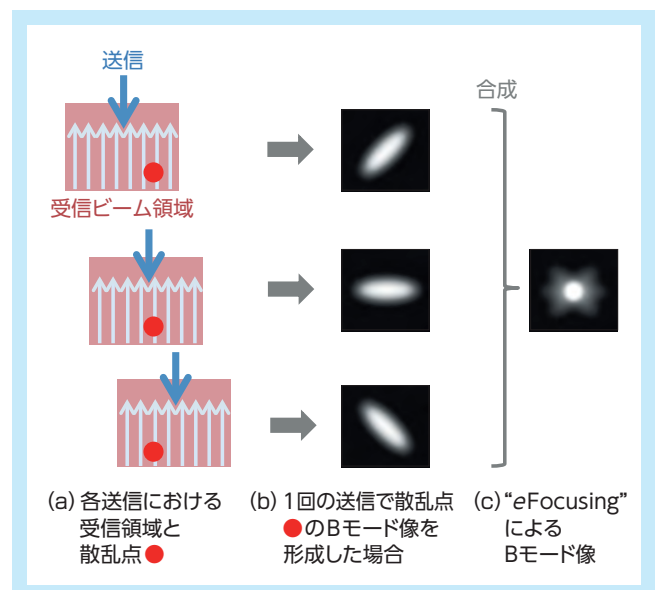


図9：“eFocusing”により得られる効果

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。

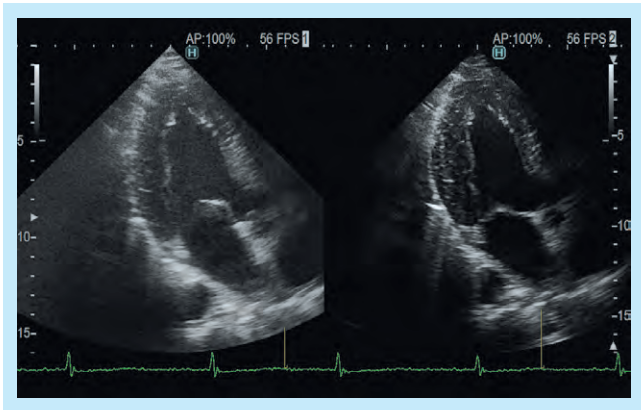


図10：“eFocusing” Off(左)とOn(右)

2.3 Active Backendによる高画質化と、検査者および被検査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がある。また、被検査者の体質や体格による被検査者依存性もある。そのため、画像調整の幅の広さが求められる。

ALOKA LISENDO 880は、従来の製品ラインナップであるProSoundシリーズ、HI VISIONシリーズ、ARIETTA^{®4}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、質的診断に適した画像から、形態診断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)。その結果、課題となっていた検査者依存や被検査者依存の低減が可能になった。

○質的診断：ダイナミックレンジが広く、心筋のより詳細な情報を描出する画像。壁把握および性状評価が可能。

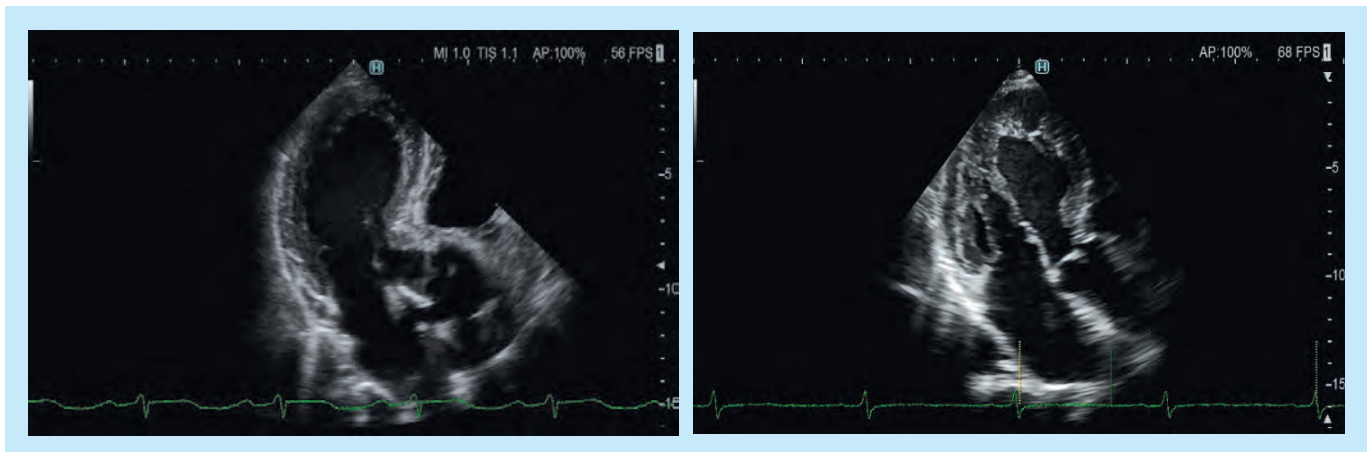


図11：質的診断に適した画像(左)と形態診断に適した画像(右)

○形態診断：白黒のメリハリを付け、構造物を強調した画像。形態把握を主目的とする。

2.4 有機ELモニター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。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ーの白黒の階調表現が豊かでなければ、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(Electro-luminescence)モニターは、素子の自発光であり、黒の映像を表現する際、各素子を発光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。液晶モニター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モニターは25万：1を達成している。超音波診断装置のモニター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、1人の検査者が、片手でプローブを被検査者に当て、モニターに表示された超音波画像を観察しつつ、もう片方の手で操作パネルを操作する。画像観察に集中するため、モニターから視線が移動しないことが望まれる。ルーチン検査において、超音波スキャン中の連続的な操作が必要な代表例として、ドプラ波形の計測が挙げられる。まず断層像がアクティブの状態において“トラックボール(以下T.B.)”でドプラサンプルゲート位置を合わせ、次に“Update”スイッチでドプラのスキャンをスタートし、所望の画像が得られたら“Freeze”スイッチで画像の更新を止め、最後にStoreスイッチで画像を保存する。途中で超音波画像を表示するモニターから目を離して操作パネルを確認すると、スキャン断面がずれて良好なドプラ波形が得られない場合がある。そこで、ALOKA LISENDO 880では、パームレスト付近をホームポジションとし、上記ドプラ波形の計測操作を、ホームポジションに掌の位置を固定したまま手元に視線を移すことなく操作で

きるように、“T.B.”、“Update”、“Freeze & Gain”、“Store”を配置した(図12(a))。また、パームレストの奥行サイズを確保することで、ホームポジションに掌を固定した状態で上記ドプラ波形の計測操作などをする際の、手首の捻りを軽減している(図12(a))。

また、ALOKA LISENDO 880では、ホームポジションに掌を置いて操作可能なスイッチとして、“Enter”と“Undo”の2種に加え、“L”と“R”を追加した(図12(b))。手元で操作可能なショートカットスイッチが増えたことで、近年ルーチン検査でも使用されるようになってきたCardiac 3Dや心機能解析などの複雑な機能の操作が、簡便に、直感的になる。

さらに、循環器の超音波検査においてはTGC(Time Gain Control)を検査中に操作する機会が多い。このユーザーニーズに対応すべく、日立製品として初めて、TGCを操作パネルに向かって左側手前に配置した(図12(b))。操作頻度の高いB GainとTGCが操作パネル手前のアクセスしやすい位置に配置されたことで、検査中のワークフロー改善に寄与する。



(a)ホームポジション



(b)向かって左からTGC、“L”スイッチ、“R”スイッチ

図12：操作パネル

3.2 ドプラサンプルゲート位置の自動設定機能

ドプラ計測のサンプルゲートの設定は、プローブを被検査者にあてながら、T.B.を操作する必要があり、検査者にとって負担になる。その改善をめざし、サンプルゲート位置の自動設定機能を開発した。

まず、Bモード画像の画像認識を行い、撮像している断面の種類を自動判定する。次にその画像でサンプルゲートを設定すべき位置を自動推定する。これらの自動化には機械学習を利用している。検査技師が判定した断面画像や設定したゲート位置を大量に収集し、それらを機械学習のアルゴリズムで解析してデータベースを作成する。そのデータベースを

装置に組み込み、適宜参照して自動設定が行われる(図13)。機械学習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、ドプラモード移行時にリアルタイムに認識処理を行い、左室流入路にサンプルゲートを自動設定できる。また、Dual Gate Dopplerモードにおいては、左室流入路に加え、左室弁輪近傍壁にTDI(Tissue Doppler Imaging)のサンプルゲートを自動設定できる(図14)。臨床的に有用だが、2箇所サンプルゲートを設定する操作の煩雑さが課題だったDual Gate Dopplerの普及に寄与することを期待する。

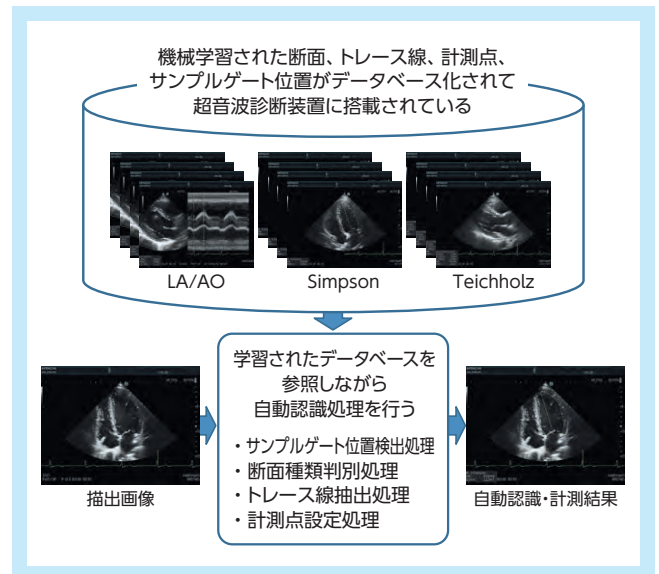


図13：機械学習を利用した自動認識処理

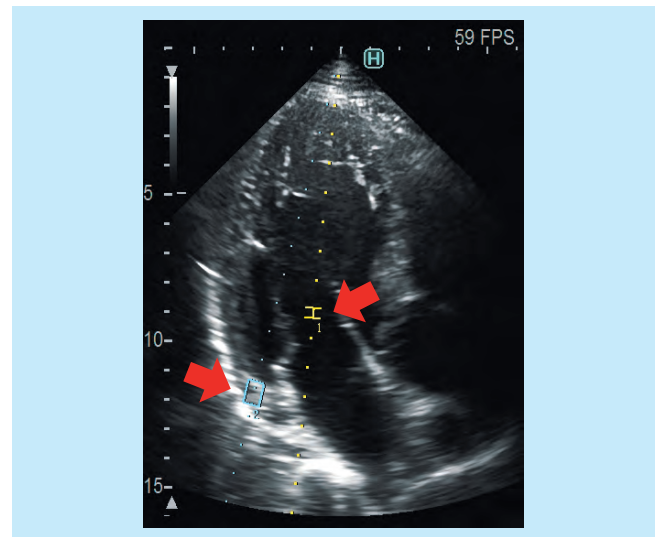


図14：Dual Gate Dopplerにおけるサンプルゲート位置の自動設定

3.3 拡張末期(Ed)、収縮末期(Es)自動検出機能

Simpson計測などでは、EdとEs時相のBモード画像を用いた解析がルーチン検査で必須とされる。ALOKA LISENDO 880は、フリーズ時にECG信号を解析することで、Ed(R波)とEs(T波終端)の時相を自動検出し、これらの時相の画像を自動表示する機能を搭載した。EdとEsの画像

を左右2画面にワンタッチで瞬時に自動表示することが可能になった(図15)。これによって、Simpson計測などEdとEs時相のBモード画像を用いた解析が必要な場合に、手動でフレームを探索する手間を省き、検査時間の短縮に寄与する。

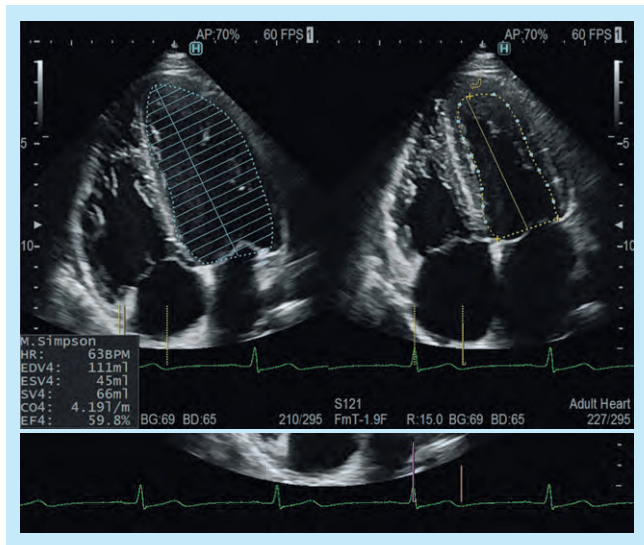


図 15 : Ed(紫)、Es(橙)を自動検出(下図)して左右2画面に分割した後、Simpsonオートトレース(上図)する

3.4 Automated Cardiac Measurement

心機能計測、Simpson(LV、LA、RAにおけるDisc法)、FAC計測、Teichholz計測、LA/AO(Mモード)計測等¹⁾を自動化することによって、検査効率の改善を実現した。従来、これらの計測では、画像(時相)選択、計測カーソルの設定、トレース線の設定などの煩雑な作業を強いられており、定量化や検査時間短縮が課題であった。前述の、ドブラサンプルゲート自動設定機能と同様の方式で自動認識処理することにより、最適な位置に計測カーソルを自動設定できるようにした(図13)。

Simpson計測においては、前述のEd、Es自動検出機能によって、EdとEsのBモード画像を左右2画面に分割した後、本機能によって心内膜の自動トレースを行うことにより、相乗効果を期待できる(図15)。

4. Your Application

4.1 VFM(Vector Flow Mapping)

心腔内では、心筋壁運動等の影響を受け、流れの乱れや渦といった複雑な血流動態が発生し、全身血行動態や心筋壁等への影響を与えていることが予測される。これらの現象は、既存のカラードプラやBモードによる心筋壁運動から類推するに留まっていた。VFMは心筋壁運動を考慮した血流動態を可視化する技術であり、血流機能評価や心臓壁へのShear Stressや心腔内の相対的圧較差表示(図16)が可能²⁾³⁾となっている。VFMはカラードプラを高時間分解能で解析する必要があり、従来装置においては、空間分解能より時間分解能を優先していた。しかし、ルーチン検査で用いる画像に比べ空間分解能が見劣りし、VFM解析の普及にとって妨げとなっていた。ALOKA LISENDO 880は、“HI Framerate”により、カラードプラ画像の高空間分解能と高時間分解能の両立が可能にな

り、通常ルーチン検査に比べて違和感なくVFM解析をすることが可能になった。今後、血行動態のエネルギー損失を示すEnergy Loss⁴⁾機能による心不全の予後予測等の心臓評価の新しい視点の確立や、左室機能の悪化に伴い変化する相対圧較差評価の臨床的有用性の確立が期待される。



図 16 : VFM(相対的圧較差表示)機能

4.2 心不全パッケージ(VFM、Dual Gate Doppler+R-R Navigation)

近年顕在化する高齢化社会において、心疾患は増加傾向にある。その中でも心不全有病率の増加に伴い、その約半数に発生する心房細動(AF)や、さらにその半数に発生する左室駆出率(LVEF)が保たれた心不全である拡張性心不全(HFpEF)患者も同様に増加している⁵⁾⁶⁾。

HFpEFの場合、LVEFに代わる診断指標が求められている。ALOKA LISENDO 880は、このソリューションとして、4.1項で説明した血流動態を可視化できる機能であるVFMを搭載した。心筋壁に異常を来す場合、心臓内の血流動態が停滞化し、淀むことが予測される。この場合、心筋はポンプ機能として、正常な血行動態に戻す自浄作用を起こすため、心筋運動が過負荷になることが予想される。その過負荷により、心筋運動が低下し、心不全に至る。VFMは初期段階の血流動態の変化をEnergy lossや相対的圧較差等により捉えることができる。

これにより、拡張性の心不全であっても心臓に過負荷を与えていることを血行動態から予測可能になることを期待する。

一方、心房細動の場合、不整脈を併発するため、正確な時相での計測が求められる。特に前述のHFpEFにおいて、先天性心疾患の可能性を除外した場合、治療可否判断に対して拡張能指標E/e'の数値は重要である。ALOKA LISENDO 880は、不整脈時の正確な時相判断ナビゲーションとして、先行および先々行のR-R間隔比が1に近い時相を瞬時に探し出すことが可能な機能、R-R Navigationを搭載している。また、断層Bモード画像は、時相判断ナビゲーションが検索対象とする心拍を豊富に取得可能だが、ドプラモードは、数心拍のスペクトラムから最適心拍を判断する必要があり、必ずしも最適時相が得られない場合が存在する。そのような場合に、PWモードによる左室流入速波形とTDI PWモードによる左室弁輪速波形を同時相で表示し、E/e'を計測できる機能、Dual Gate Dopplerを併用する(図17)ことは有益であると期待されている^{7)~9)}。

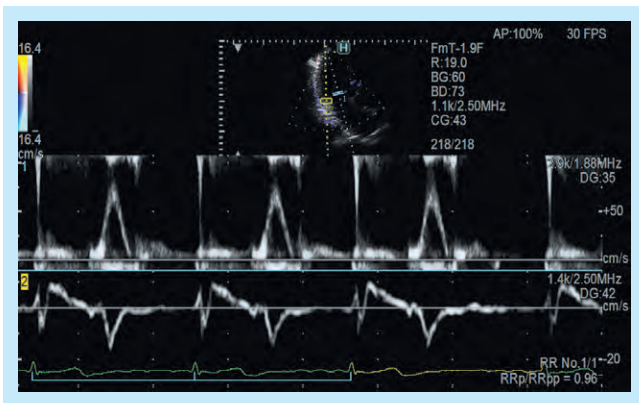


図 17 : R-R NavigationとDual Gate Dopplerの併用

5. Ergonomics 筐体

5.1 VDT (Visual Display Terminals) 症候群対策の筐体

超音波検査では、検査者は片手でプローブを被検査者に当て、モニターに表示された超音波画像を観察しつつ、もう片方の手で操作パネルを操作する。検査部位や検査時の環境によっては、検査者が体を捻って検査をする場合が少なからずあり、検査者の身体的な負担は大きい¹⁰⁾。

ALOKA LISENDO 880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18(a)、18(b))。

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、座位における目線が、日本超音波医学会の提言で推奨されている約10度の下方視¹¹⁾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18(c))。これらの対策は装置サイズを大きくしがちだが、コンパクトな筐体サイズも実現した。

5.2 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。原因は、プローブをプローブホルダーから取り出す向きが、ほかのホルダーに収納されたほかの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んでしまうからである。

ALOKA LISENDO 880では、操作パネル両脇に、専用のサイドフックを、プローブホルダーごとに用意した。

ホルダーに収納時のプローブのケーブルの向きを、プローブをホルダーから取り出す向きと水平に東ねられるようにした(図19(a))。その結果、プローブをホルダーから取り出す際に、ほかのホルダーに収納されたほかのプローブのケーブルと絡みづらなくなった(図19(b))。

また、形状と素材と加工に拘り、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。

さらに、フックの存在をユーザ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、ケーブルが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にするとともに、フック収納時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(図19(c))。

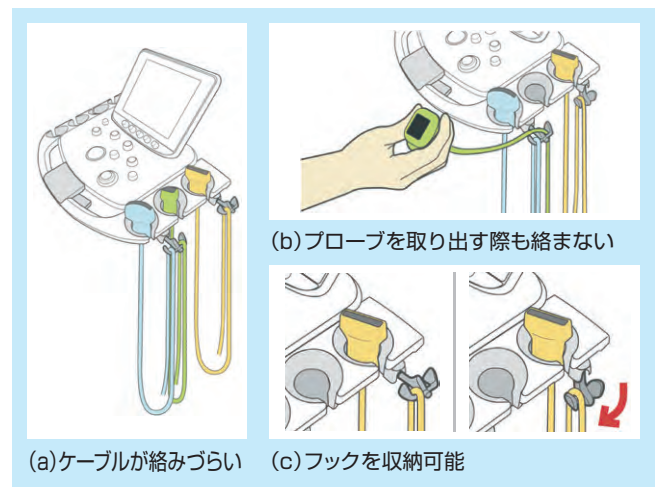


図 19 : ケーブルマネジメント

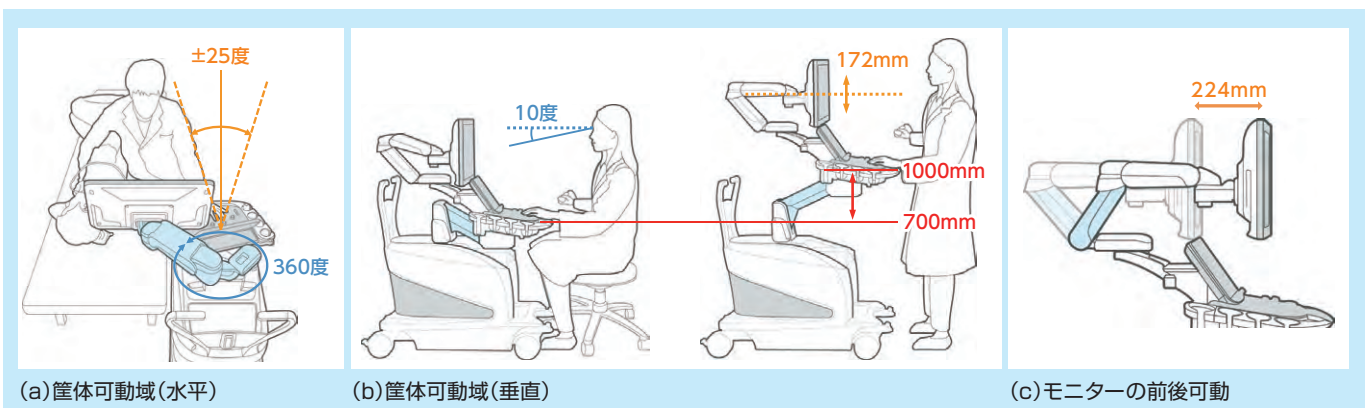


図 18 : 操作パネル、モニターの可動域

6. まとめ

「ALOKA LISENDO 880」は、心血管機能評価の原点とも言える「血行動態の把握」をより正確に行うことができる。また詳細な解析によって、これまで捉えることができなかった「血流の効率的な運動状態や圧力分布」も知ることができる。誰もが安心・安全に暮らせる、笑顔あふれる社会のために、私たちはグローバルなチームワークで、ヘルスケアのイノベーションに挑戦します。

※1 ALOKA、※2 LISENDO、※3 Prosoundおよび※4 ARIETTAは株式会社日立製作所の登録商標です。

参考文献

- 1) RM Lang, et al. : Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 28 : 1-39, 2016.
- 2) 板谷慶一, ほか : 血流可視化技術が切り開く循環器画像診断の新たな領域 : 心臓超音波VFM(Vector Flow Mapping)の現状と展望. *MEDIX VOL.60* : 17-21.
- 3) Itatani K, et al. : Intraventricular Flow Velocity Visualization Based on the Continuity Equation and Measurements of Vorticity and Wall Shear Stress. *Japanese Journal of Applied Physics* 52 (2013) : 07HF16-1-6.
- 4) Damien G, et al. : Assessment of Aortic Valve Stenosis Severity. A New Index Based on the Energy Loss Concept. *Circulation*. 2000 ; 101 : 765-771.
- 5) Sherif N, et al. : Recommendation for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiography* 2016 ; 29 : 277-314.
- 6) Hiroyuki I, et al. : Altered Spatial Distribution of the Diastolic Left Ventricular Pressure Difference in Heart Failure : *J Am Soc Echocardiography* 2015 ; 28 : 597-605.
- 7) Kusunose K, et al. : Clinical Utility of Single-Beat E/e' Obtained by Simultaneous Recording of Flow and Tissue Doppler Velocities in Atrial Fibrillation With Preserved Systolic Function. *JACC VOL.2, NO.10, 2009OCTOBER2009* : 1147-56
- 8) 山田博胤, ほか : Dual Doppler法を使った左室拡張能の評価. *Rad Fan Vol.6 No.3* (2008) : 1-4.
- 9) 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.
- 10) 丸山 勝, ほか : 腹部超音波検査時の体位変換は検者の身体負荷を小さくするか-第2報-.
- 11) 日本超音波医学会機器およ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目の疲労を予防するための機器と作業環境-. 2012.