

汎用デジタル超音波診断装置 SSA-380A/J2A

SSA-380A/J2A General-Purpose All-Digital Ultrasound Diagnostic System

吉川 憲明
N. Yoshikawa

河崎 修一
S. Kawasaki

樋口 治郎
J. Higuchi

超音波診断可能な部位全般を対象とした、汎(はん)用デジタル超音波診断装置を開発した。この装置は、超音波送受信ビームの形成部を完全デジタル化することにより、時間、空間、コントラストの三つの分解能を飛躍的に向上し、心臓、血管系を中心とする循環器だけでなく、腹部、産婦人科、乳腺(せん)、甲状腺、末梢(しよ)う)血管、経頭蓋的アプローチなど、超音波診断装置の対象とするすべての領域に対応できる。信号処理のデジタル化により、診断部位に応じた最適な設定が容易にできるようになった。さらに、これまで困難であった、断層像の画質と、血液の流れをカラーで可視化する血流イメージングの感度の両立が可能になり、診断能が大幅に向上した。

We have developed a general-purpose digital ultrasound system incorporating an all-digital ultrasound beam former. This system provides greatly improved spatial, contrast and temporal resolution, and offers excellent diagnosis performance for all ultrasound system targets such as cardiovascular, abdominal region, obstetrics/gynecology, small parts (thyroid and breast), peripheral vessels, and transcranial approach.

By means of digital processing, the optimal setting of the system for the region of medical interest can be realized with no compromise between two-dimensional image quality and the sensitivity of blood flow imaging using the Doppler effect, which is a tradeoff in a conventional system.

1 まえがき

当社は、すでに超音波ビーム形成を完全デジタル化した循環器用の超音波診断装置を開発し、高精細の超音波ビームによる断層像の大幅な画質向上、最大4方向同時受信技術によるフレームレートの飛躍的向上を果たした⁽¹⁾。

今回開発した装置は、上述の装置をベースにしたデジタル超音波診断装置であるが、超音波の対象とするすべての診断領域に対応できる汎用機である。

腹部用として大口径の電子セクタプローブと、走査面が凸型であるコンベックスプローブを開発した。この領域は、高画質が要求されるとともに、血液の流れを可視化し、カラーで表示する血流イメージングにとって、減衰の影響を受けやすい部位であり、これまで感度の大幅な向上が望まれていた。この装置は、デジタル処理技術により、これまで困難であった画質と感度の両立を実現した。また、この考えかたを診断部位ごとに適用し、つねに最適な条件で画像を設定できるようにした。

この装置は、アップグレード可能なシステムであり、診断部位の拡大のため、腹部領域、産婦人科、乳腺、甲状腺、末梢血管系、経頭蓋的アプローチなど、さまざまな用途のプローブが対応可能になっている。さらに、最新の臨床ニーズにこたえ、診断のスループットを向上させるために、臨床応用ソフトウェアや、計測ソフトウェア、計測機

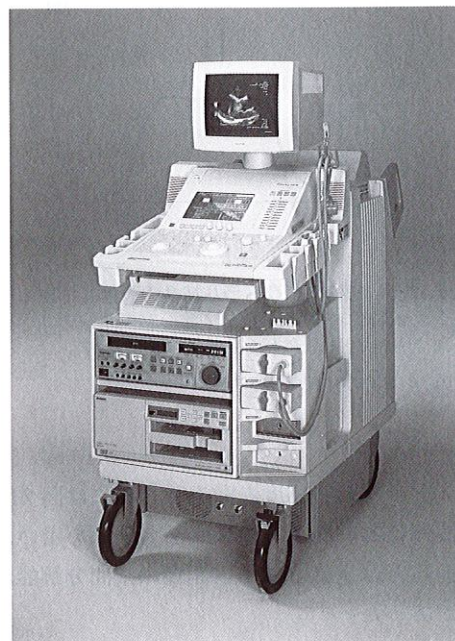


図1. SSA-380A/J2Aの外観 本体、プローブ、観察用モニターと撮影ユニットにより構成されている。

External view of SSA-380A/J2A

能のカスタマイズ機能も対応されている。

図1に、SSA-380A/J2Aの外観を示す。

2 基本性能の向上

従来技術との大きな相違は、超音波のビームフォーミングを行う送信および受信回路の全面的なデジタル化を腹部領域にも適用した点である。

この技術の導入によりカラードップラーの感度（ペネトレーション）を向上しつつ、断層像（以下、Bモード画像と記す）の空間分解能およびコントラスト分解能も大幅に向上した。さらに分解能の向上および適用用途の拡大をねらった腹部用多素子プローブの開発もあわせて行った。

2.1 Bモード画質とドップラー感度の両立技術の開発

従来、Bモード画像の空間分解能を向上させるには、プローブも含めた送受信系のスペクトラム特性は図2(a)に示すように、高周波側にピークをもたせたものになっていた。しかし、腹部領域（特に肝臓など）は生体減衰の影響を受けやすく、この周波数特性では十分なドップラー感度（ペネトレーション）が得られなかった。

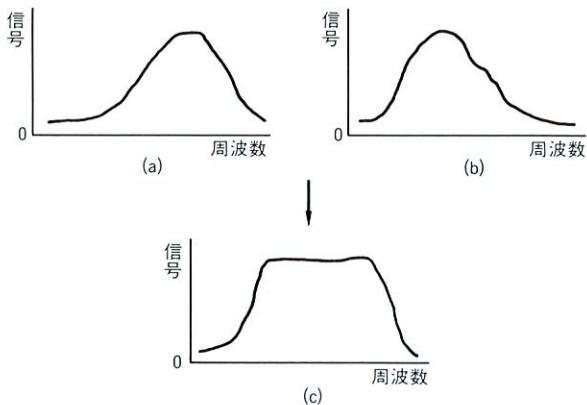


図2. システムとしてのスペクトラム特性の改善 Bモード画像重視のスペクトラム特性を(a)に、ドップラー感度重視のスペクトラム特性を(b)に、両立させたスペクトラム特性を(c)に示す。

Improvement of spectrum characteristics

そこで、ドップラー感度を向上させるには図2(b)のように、低周波側にピークをもつスペクトラムを用いたが、この場合は前述とは逆にBモード画像の空間分解能が低下する問題点があった。

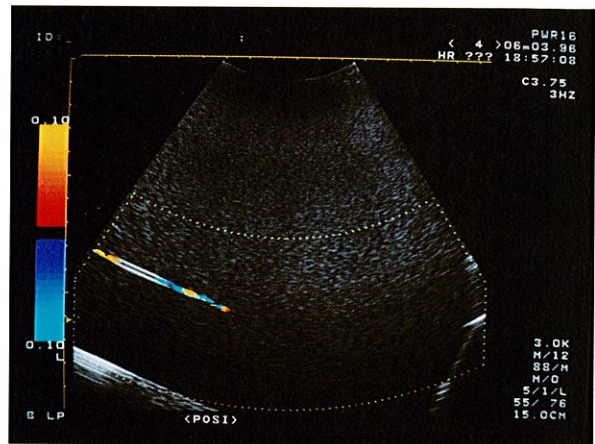
今回開発した新技術の目的は、従来アナログ技術では両立が困難であったBモード像の画質とドップラーの感度をフルデジタル技術を用いることより両立させる点にある。

すなわち、システムとしての送受信時のスペクトル特性を図2(c)に示すように、ドップラー感度向上に寄与する低周波成分からBモード画像の空間分解能の向上に寄与する高周波成分まで確保した。

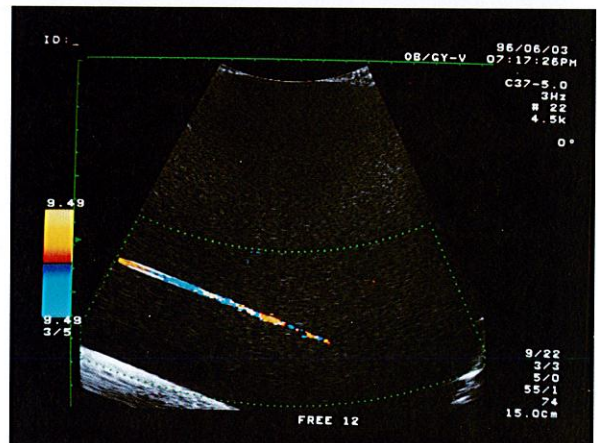
これにより、この装置ではBモード画像の空間分解能を

従来より向上させながら、従来比（パワー比）でドップラー感度を約4倍以上向上させることが実現できた。

図3に、今回開発した装置と従来装置とのファントムを使用したカラー感度比較データを示す。ファントムは肝臓と生体減衰率がほぼ等価なATS社製Model-523Aを用い、模擬血液を流して評価した。図3(b)の画像データで太さ2mmの血管がより深部までカラードップラーで検出できている。



(a)



(b)

図3. ファントムによるカラー感度比較データ ドップラーファントムでどの深さまで血流が検出できるかの比較をしたもので、(a)が従来装置、(b)がこの装置による。

Comparison of color Doppler penetration by Doppler flow phantom

2.2 カラードップラーの空間分解能および時間分解能の向上

従来からカラードップラーの空間分解能で問題になっていたのは方位方向の分解能である。方位方向の分解能に関係する要因としては、大別すると超音波ビーム幅によって決まるものと、超音波走査線密度によって決まるものがある（以下、テレビの走査線と区別するため超音波走査線のことを超音波ラスタと記す）。

まず、超音波ビーム幅によって決まる方位方向の分解能を向上させるため、この装置では同時に送受信できる振動子数を最大 128 チャンネルに増やし、送受信時のビームフォーミングが最適になるようにした。

具体的にビームフォーミングの方法として、PDF (Progressive Dynamic Focus) 方式を循環器バージョンと同様に採用した。PDF 方式とはプローブ振動子面からの距離によらず一様な細い超音波受信ビームを得る方法であり、時間とともにフォーカス点が連続的に深さ方向に移行するように遅延時間制御を行い、生体からの反射信号がつねにフォーカス点領域から得られるようにした。

従来はこの方式を実現するために L、C などを用いたアナログ遅延線が使われていたため、フォーカス点の切換え間隔を狭くすることは精度的に困難であったが、この部分も含めてフルデジタル化することで従来比 1/10 程度まで細かい PDF 間隔が得られた。

これにより、受信ビームを生体浅部から深部までシャープにすることができ、方位方向の分解能が向上した。

さらに、超音波ラスタ密度によって決まる方位方向の分解能を向上させるためには、図 4 に示されるラスタの間隔を細かくすることが必要となるが、カラードップラーの場合は 1 本のラスタ上にある血流情報 (速度、パワー) を解析するためには複数回の超音波パルスの送受信が必要になるため、ラスタ間隔を細かくすると極端にフレーム数が低下し、リアルタイム性 (時間分解能) が悪くなる問題があった。

そこでこの装置では、例えば図 5 に示すように 1 回の超音波の送信に対し、4 本分のラスタ上の反射エコーデータを同時に受信処理することで、従来に比べてカラーのラスタ密度を 2 倍に増やした。さらにフレーム数も 2 倍に向上させることにより、画質とリアルタイム性を同時に改善した。

図 6 に、この装置と従来装置とを生体で比較したデータ

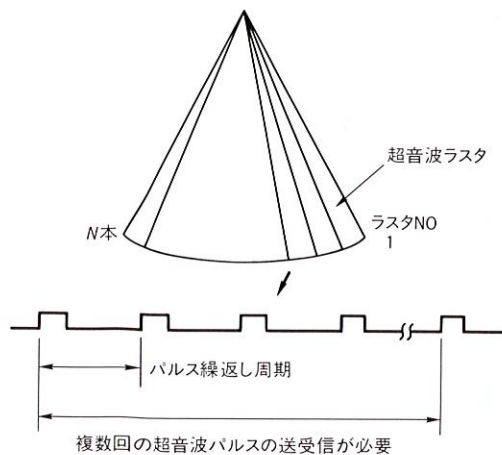


図 4. カラードップラーの 1 本のラスタの構成 カラードップラーの 1 フレームは複数本のラスタにより構成され、さらに 1 本のラスタは複数回のパルスの送受信によって得られる。

Structure of one color Doppler raster

を示す。図 6 (b) でカラードップラー感度の改善とともに、B モード像およびカラードップラー像の空間分解能の改善が顕著に表れている。

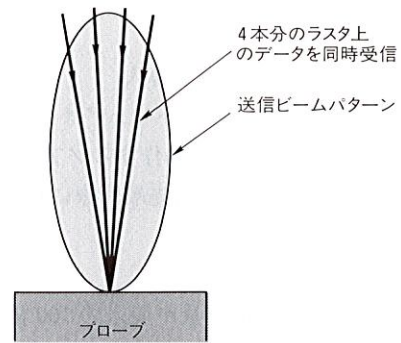
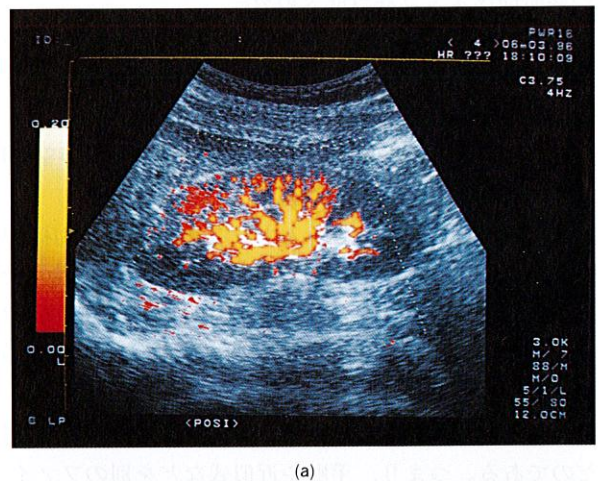


図 5. 4 方向 (ラスタ) 分の反射波を同時受信 1 回のパルスの送信に対して、同時に 4 本分のラスタ上のエコーデータを受信することでラスタ密度およびフレーム数の向上を実現した。

Quad signal processing technique



(a)



(b)

図 6. 空間分解能比較データ (生体) 生体腎臓での比較データ。(a) が従来装置、(b) がこの装置でカラーアンギオ (パワードップラー) モードを使用しての比較。

Improvement of spatial resolution

3 ソフトウェア

ソフトウェアにとって従来との大きな相違は、次の2点である。

- (1) HDD (ハードディスクドライブ) と FDD (フロッピーディスクドライブ) の装備
- (2) 計測機能に新しい概念を導入

従来、超音波診断装置のソフトウェアはROMベースで動作していたが、RAMベースで動作するソフトウェアを開発したことにより、臨床現場と最先端医療に対する貢献度が飛躍的に向上した。

3.1 スループットの向上

HDDの装備により記憶容量が従来の100倍以上増大した。これにより従来機種で9種類あったプリセット設定は16種類となった。さらにイメージプロセス機能を開発し、医師が所望する画質への調整を1回の操作で調整可能にした。イメージプロセスは、従来複数のパラメータをユーザが調整していたものを自動的に調整する機能であり、最大70の診断部位まで登録可能である。

このことにより、プローブを患者に当てるだけで医師が所望する画像を提供し、1患者当たりの検査時間の縮小(スループットの向上)が可能となった。

3.2 多用化するニーズへの対応：ユーザプログラマブルな計測機能(計測ユーザ登録)

計測機能に新しい概念を導入することにより、臨床現場で簡単にユーザにとって最適な計測の提供が可能となった。

計測機能は手技、医療教育、仕向国(地域)、人種などによって微妙に変わる場合があるので、従来もその違いを吸収する仕組みは存在したが十分とはいえなかった。

この問題を解決するためにインタプリタの概念を取り込んだのである。つまり、手順や近似式などを別のファイルにしそのファイルを編集する機能(計測ユーザ登録)と、順次解読していくインタプリタ機能を開発し装置上で動作させたのである。これにより施設ごとに異なる要求を容易にカスタマイズすることが可能となった。図7にその構成を示す。

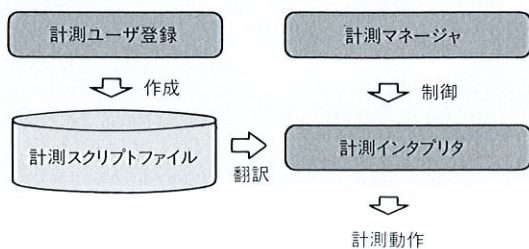


図7. 計測ユーザ登録機能のソフトウェア構成 登録がファイルを更新すればインタプリタにより翻訳される計測動作が最適化される。
Measurement registration software configuration

通常は計測マネージャの管理のもとでインタプリタがファイルを逐次翻訳し、計測機能を実現している。登録機能でファイルを変更すればカスタマイズされた計測で動作するのである。

従来との大きな相違は、ある装置で作成した計測をFDで受け渡すことにより別の装置で動作が可能となったこと、HDの採用により登録数が従来の6倍になったことである。

3.3 ソフトウェアのアップグレード

FDDを装備することにより最新のソフトウェアの供給を容易にした(アップグレードバリエーションの向上)。最新の手法を取り入れたソフトウェアの製品へのフィードバックが容易となった。

また、今回からSSA-380Aは循環器、腹部、汎用の3種類のシステム構成となった。ハードウェアを制御するソフトウェア(共通機能)は、ハードウェアを追加、交換すれば動作し、腹部専用のソフトウェア(たとえば胎児発育計測)はFDで追加可能である。すなわちハードウェアの追加、交換が不要な場合、FDによるシステムのアップグレードが可能となった。

4 あとがき

開発したSSA-380A/J2Aは、汎用のデジタル超音波診断装置であるが、ソフトウェア、ハードウェア、プローブの構成により、循環器主体、腹部主体の装置にも成り得るフレキシブルなシステムである。また、今後も特殊プローブによる診断領域の拡大や、臨床応用ソフトウェアの拡充によるアップグレードで、将来の臨床ニーズにこたえることができる。

文献

- (1) 大久保薫, 他: 基本性能を追求したデジタル超音波診断装置, 東芝レビュー, 49, 2, pp.85-88 (1994)



吉川 憲明 Noriaki Yoshikawa

那須工場医用機器第三技術部グループ長。
超音波診断装置の開発設計に従事。日本超音波医学会会員。
Nasu Works



河崎 修一 Shuichi Kawasaki

那須工場医用機器第三技術部主査。
超音波診断装置の開発設計に従事。日本超音波医学会会員。
Nasu Works



樋口 治郎 Jiro Higuchi

那須工場医用機器第三技術部主務。
超音波診断装置のソフトウェア開発設計に従事。
Nasu Works