

# 中級デジタル超音波診断装置 EUB-6000の開発

Development of Mid-Range Digital Ultrasound Diagnostic Scanner(EUB-6000)

河野 敏彦<sup>1)</sup> Toshihiko Kawano  
栗山 欽治<sup>1)</sup> Kinji Kuriyama  
笠波 恒夫<sup>1)</sup> Tsuneo Kasanami  
花阪 智<sup>1)</sup> Satoru Hanasaka

窪田 潤<sup>2)</sup> Jun Kubota  
岸本 真治<sup>2)</sup> Shinji Kishimoto  
篠村 隆一<sup>2)</sup> Ryuichi Shinomura  
三和 祐一<sup>3)</sup> Yuichi Miwa

1)株式会社日立メディコ 超音波事業部

2)株式会社日立メディコ 技術研究所

3)株式会社日立製作所 中央研究所

ビームフォーマー部のデジタル化は、送受波フォーカス精度を大幅に改善するとともに、チャンネル間クロストークの低減やマルチビームによる高フレームレートの向上により、超音波画像を飛躍的に向上させた。既に高級機分野はデジタル超音波診断装置で占められるようになっており、この技術が中級機へも搭載され、真の普及時代を迎えようとしている。

また、病院内外の通信手段として全ての医用画像の取り扱いを可能としたDICOM規格の確立、Windowsベースパソコンの普及に伴い、画像の電子ファイル化や次々に開発される各種記録メディアへの対応が重要となってきた。

こうした背景の中、我々は上級デジタル超音波診断装置EUB-8000の高画質・高機能を維持したまま中級市場に対応させるため日立独自のデジタル整相ASICを新たに開発し、探触子の切り換えをはじめとするシステム全体の応答性を大幅に改善させ、さらに各種記録メディアへの対応を容易にするためにWindows NTをオペレーティングシステムとしたPCベース超音波診断装置EUB-6000の開発を行なった。

Digital Beamformer has dramatically improved the ultrasound image quality by increasing the accuracy of transmitting and receiving focus, reducing closs-talk between channels, and increasing the frame rate with multi-beam technology. The high-end ultrasound market has been replaced with digital beamformer scanners. Now this technology has been installing on the mid-range scanners and really come into wide use.

It is important to storage the images electrically on the various storage media and support the various storage media because of establishing DICOM standard which supports all of the medical images as for the means of communication of intranet and internet in hospital and popularizing the windows-based personal computers.

To meet the above requirement, we have newly developed Hitachi unique digital beamformer ASIC to achieve the high quality image and performance on mid-range scanner. And we have employed Windows NT operating system on PC-based scanner (EUB-6000) to improve overall system response, especially probe switching time, and support various storage media.

**Key Words:** Ultrasound diagnostic, Digital Beamformer, Windows NT

## 1. はじめに

1990年代に入ってフロントエンドのビームフォーマー部をデジタル化することにより、電子フォーカス精度が向上し、チャンネル間クロストークの低減と合わせて、理想に近い超音波ビームのフォーカシングが可能になった。さらには、マル

チビーム技術との併用で高フレームレート化が可能になり、超音波診断装置の画質を飛躍的に向上させた。しかし、デジタルビームフォーマー回路は従来のアナログ方式と比較すると高価であるため、当初は高性能が要求される上級機のみ

搭載されていた。中級市場に対応させるには、高画質・高機能を維持したまま一層のコストダウンが必要であった。

また、病院内外の通信手段として全ての医用画像を取り扱えるDICOM規格が確立され、超音波画像の電子ファイル化への要求はますます高まっている。一方パソコン業界ではWindowsベースパソコンの普及に伴い、大容量の光磁気ディスク、CD-RやDVD-RAM等の大容量記録メディアが次々と開発されており、これらのメディアへの迅速な対応も必要となっている。さらに、3次元表示・ストレスエコーなどの付加機能への迅速な対応も要求されている。

当社においては、高空間分解能と高コントラスト分解能を両立させるF1 Digital Imaging技術を搭載し、高画質化を達成した上級デジタル超音波診断装置EUB-8000を開発し、平成10年3月より販売を開始した。今回は、ルーチンで使用される中級装置へ、新たに開発したデジタルビームフォーマーASICを基本コアとし上級機並の高画質を実現しつつ、バックエンドに汎用パソコンを搭載し、オペレーティングシステムとしてWindows NTを採用したデジタル超音波診断装置EUB-6000を開発した。

## 2. システムの開発

図1にEUB-6000の外観を示す。モニターにはちらつきのない大型15インチノンインターレースモニターを採用し、装置の横幅は移動性を考慮し510mmとした。また、移動性に優れた4輪独立の直進ロック/回転可能なキャスターを採用し、正面にはプリンターやVCRなどの種々の周辺機器を搭載できるように3ヶ所のスペースを設けた。



図1 : EUB-6000外観写真

さらに計測データや画像記録のために、最大640MB対応の大容量光磁気ディスクとフロッピーディスクを標準搭載している。

超音波装置は、超音波の送受波制御を行うフロントエンド部そして、受波信号を画像化し、モニターに表示するためのバックエンド部、これらを制御するソフトウェア部から構成されている。本装置においては、これら全ての構成要素を一新し、次世代超音波装置のプラットフォームとして活用できるように配慮し、開発した。

### 2.1 デジタル整相ASICおよびフロントエンドの開発

フロントエンド部の性能向上とコストダウンのために、デジタル整相ASICを新たに開発した。開発したASICは100万ゲートでボールグリッドアレイ(BGA)技術を利用し、1つのASICに4チャンネル分の整相回路を搭載しており、基板1枚当たりに32チャンネルを実装可能とした。

デジタル整相のキーコンポーネントにはデジタル超音波装置で最も高精細な12ビットのA/D変換器を採用し、低エコー成分まで忠実に描出できるようにするとともに、150dB以上のシステムダイナミックレンジにより、わずかな病変も見逃さない高画質を実現した。また、超音波画像を大きく左右する送受波ビーム特性をより良くするために、連続可変口径、連続ダイナミックフォーカスに加えて、送波側では各チャンネル毎に任意波形生成機能を持たせ、受波側でも各チャンネル毎にその利得を制御可能とし、口径方向と時間方向の2次元アポダイゼーションを可能とした。これにより、超音波ビームのサイドローレベルを低減させ、高分解能で高コントラスト画像を得ることができた。

一方、臓器の動きに対して忠実に追従するために、同時4方向の並列受波技術を搭載し、B像はもちろんのこと、カラー像でも高フレームレートと高密度画像の両立を実現している。さらにこの特長を生かすため、探触子同士を高速切り換え可能なプローブ切換回路を搭載し、バイプレーン探触子の縦横両断面を左右2画面に実時間で表示する他社にないリアルタイムバイプレーン表示機能を可能としている。

### 2.2 PCベースによる超音波装置の開発

パソコン業界では、処理能力を高めるためにハードウェアが次々と高速化・高性能化されており、CPU、メモリー、ハードディスクどれ一つとっても超音波診断装置のライフサイクルとは比べものにならないスピードで進化し続けている。EUB-6000では、汎用PCマザーボードを超音波装置内に組み込み、パソコン用の市販部品をそのまま使用できるインターフェイスを開発した。これにより、今後開発されていく高速・高性能CPU、メモリー、ハードディスクなどに切り換えることにより、本体処理能力を容易に向上させることができる。

また、PCベース化に伴い、EUB-6000ではオペレーティングシステムとしてパソコンで幅広いシェアを有し、セキュリティ機能に優れたWindows NTを採用した。ソフトウェアの構造は、複数アプリケーションが同時に起動することを考慮し、NT標準インタフェースを採用した。

パソコン用として開発される光磁気ディスクなどの記録メディアはWindows NTをターゲットとし、デバイスドライバー付属で供給されているため、Windows NT と市販のPC マザーボードとの組み合わせにより、この付属デバイスドライバーを利用して比較的容易にDVD-RAMなどの新しい記録メディアを接続することができるようになる。

### 2.3 優れた応答性

研究用途に使用されることが多い上級機とは異なり、中級機は臨床の場でルーチン検査に利用されている。決められた時間に多くの患者を検査するためには、病変部を容易に発見することができる高画質化は当然のこと、ルーチン検査中にストレスを感じさせない応答性や院内を自由に移動できるよう移動性にも優れていなければならない。

しかし、現行のデジタル超音波装置は、探触子やアプリケーションの切り換え時間が10秒以上かかるものが多い。本製品の開発では従来のアナログ装置同様に、頻繁に行われる画質条件の変更やモード切り換えは瞬時に、探触子やアプリケーションの切り換えは可能な限り短時間で切り換えられることを最重要テーマとした。

探触子切り換え時間の短縮では、特に問題となった膨大な送受波遅延データを効率よく、高速にハードディスクからフロントエンド部へ転送する構成とするとともに、転送フォーマットを最適化した。その結果、表1に示すようにリニア/コンベックスでは約1秒、転送量の最も多い電子セクタでも4秒以内という結果が得られた。

また、アプリケーション切り換えに関しても約1秒、頻繁に行われるモード切り換えを始め、表示深度切り換え・フォーカス深度変更などの画質条件の変更は瞬時に実行されるため、ルーチン検査中にもストレスを感じさせない応答性を実現した。

表1 各種切り換え時間

項目	切り換え時間測定結果
探触子切り換え	リニア：約1秒 コンベックス：約1秒 電子セクタ：4秒以下
アプリケーション切り換え	約1秒
モード切り換え(B CFM等)	瞬時

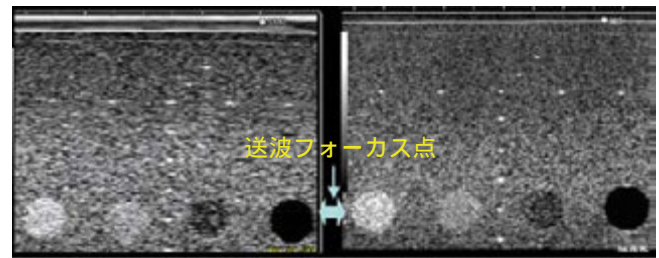
## 3. 高画質の実現

### 3.1 2次元アポダイゼーションによる高画質

口径方向と時間方向の送波2次元アポダイゼーション(重み付け)はサイドローレベルを低減させ、高分解能・高コントラスト画像が得られるだけでなく、焦点をはずれた近傍や深部でのビーム特性を大幅に改善させることができる。しかも、焦域の広い送波ビームを形成し、単一フォーカスでも近傍から深部まで全視野にわたり高分解能でかつ均一性に優れた画像が描出できる。そのため、通常利用されている多段フォーカスに伴うフレームレートの低下を避けることができる。また、マルチビームによる高フレームレート化との併用により、

探触子を素早く動かしても十分に病変部を見逃さずに観察できるため、検査時間の大幅な短縮も期待できる。

図2は、2次元アポダイゼーションを有しない従来のアナログ整相装置と今回開発した2次元アポダイゼーション+デジタル整相装置EUB-6000の高周波画像比較である。従来のアナログ整相装置ではフォーカス点でのみ良好な分解能の画像が得られているのに対し、EUB-6000ではフォーカス点以外の全域にわたり、均一な分解能の画像が得られていることがわかる。さらに深部に存在するコントラストターゲットに関しても、中央部に位置するわずかなコントラスト差のハイエコー/ローエコー部分も輪郭が明瞭に描出され、周辺実質とは明らかに区別でき、内部にあるつぶつぶの構造まで忠実に描出している。このことは、肝臓内部などに存在するわずかな病変でも確実に描出可能であることを意味している。



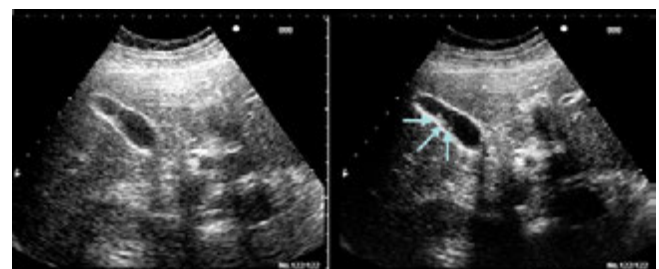
アナログ中級機 デジタル中級機 (EUB-6000)

図2：2次元アポダイゼーションによる画質改善

### 3.2 ハーモニック画像

ハーモニック画像は音響ノイズを低減させ、高分解能でかつ高コントラストの断層像が得られる診断モードとして、近年注目を集めている。EUB-6000では、近傍ではより高画質が得られるよう高い周波数成分を画像化し、深部ではペネトレーションを得るため低い周波数成分を画像化することにより、良好なハーモニック画像が得られるdynamic Tissue Harmonic Imaging (dTHI)を開発した。

また、生体組織からのハーモニック成分は超音波エネルギーの減少と、ビームの広がりにより、深部では発生しにくくなり、基本波画像に比べ深部感度が不足する傾向にあるため、通常検査では両方のモードを交互に使う必要がある。EUB-6000ではワンタッチでこれらのモードを瞬時に切り換えられるようにした。図3に基本波画像とハーモニック画像による胆嚢ポリープの画像例を示す。基本波画像では、胆嚢内部の音響ノイズの影響で、ポリープそのものの存在は確認できるが、数と大きさに関しては不明瞭である。これに対し、ハーモニック画像では音響ノイズが大幅に低減され、ポリープそのものも明瞭に描出されるため3個の存在および大きさを簡単に確認することができる。



通常の断層像 ハーモニック画像

図3：胆嚢ポリープの画像比較

### 3.3 マルチビームによる高フレームレート画像

今回開発したデジタル整相ASICは、マルチビームを実現するために複数の整相回路を配列する必要がなく、時分割で信号処理ができるため、コンパクトな筐体に上級機並の最大4方向の並列信号処理(Quadra Beam Processing)を実現することができた。これによりEUB-6000ではB像はもちろんのこと、カラー像でも高フレームレート・高密度画像が得られ、デジタル整相による良好なビーム特性と合わせて、図4に示すように腎臓の末梢側にある微細血管まで良好に描出させることができた。

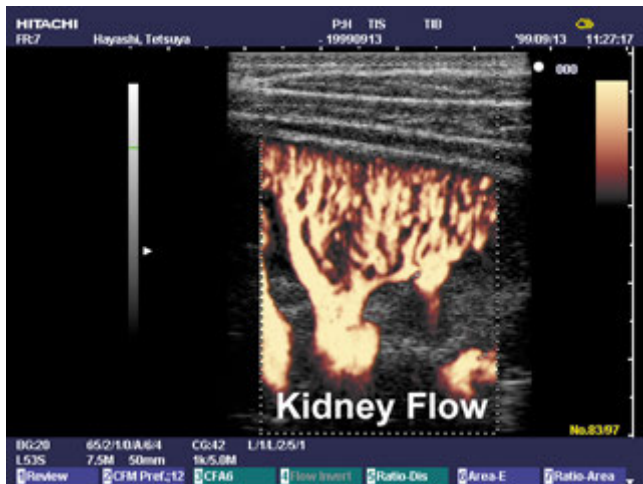


図4：腎臓のカラー画像(CFAモード)

## 4. 新機能の開発

Windows NTの採用により、以下に示すイメージマネジメント(画像ファイリング/検索機能)、ユーザー定義可能な計測機能を開発した。

### 4.1 優れたイメージマネジメントシステム

現在、超音波のルーチン検査では検査記録としてプリンターが利用されているが、カルテへの張り付け作業や経年劣化といった問題を抱えており、こうした問題を解決する手段として画像データの電子ファイル化が注目されている。電子ファイル化することにより、単なる保存目的だけでなく、教育用や学会・研究会などのプレゼンテーション資料として利用したり、遠隔地域からインターネットを介して基幹病院へ画像データを転送するなど、幅広い活用方法が考えられる。

こうしたニーズに応えるため、EUB-6000では画像データを電子ファイル化して外部記録メディアに保存するだけでなく、保存した画像を簡便かつ自由に活用できることを考慮に入れ、目的とする画像を簡単に検索可能なサムネイル表示に対応したファイルマネジメント機能、目的とする患者データが保存されているディスクの検索機能、同一患者のフォローアップ検査時に経時的な変化を容易に比較可能な時系列画像比較機能など、トータルファイリングシステムとして必要かつ十分な機能を全てのユーザーに利用していただけるよう、標準機能として搭載した。

### (1) 画像ファイリング機能

画像をデジタル信号のままキャプチャするため、画像劣化は全くなく、画像情報をそのままハードディスク、光磁気ディスク、フロッピーディスクなどの各種メディアへ記録することができる。

静止画像の場合には、超音波画面をビットマップデータとしてコピー・シクリップボードに貼り付け、この画像データをキャプチャする。また、転送画像が動画像の場合にも、画像をシネ再生しながら1画面ずつキャプチャし、それを1ファイル化して転送画像とすることができる。

キャプチャした画像は、特別な変換ソフトがなくても市販のパソコン上で活用でき、圧縮されている画像も元の画像に解凍できるよう、下記に示す可逆圧縮方式の汎用フォーマットとした。

静止画像: BMP、TIFF(3種類の圧縮方式)、DICOM

動画像 : AVI、DICOM

### (2) サムネイル対応のファイルマネジメント機能

図5にファイルマネジメント用ダイアログを示す。ハードディスク、光磁気ディスク、フロッピーディスクの全てをドライブとして同一ダイアログ上で一括管理できるようにした。さらにサムネイル表示を可能とし、容易に目的とする画像が選択できるようにした。

またユーザがID、患者名、検査日をKey Word欄へ入力すると対応する画像が一度に10枚分表示されるようにして検索への便を図っている。

### (3) ディスク検索機能(LOGインフォメーション)

640MBの容量を有する光磁気ディスクとはいえ、毎日の検査で使用するとすぐに一杯になり、ディスク枚数が増えてくる。こうなると後で目的とする患者のデータを検索するとき、どのディスクに記録されているかを調べることは非常に困難である。

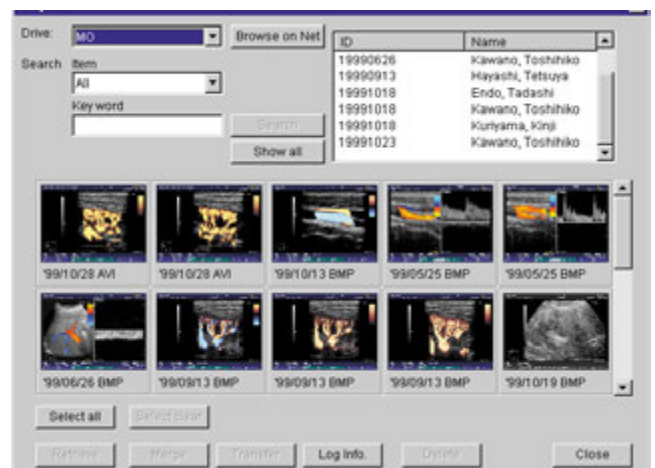


図5：サムネイル対応の画像データ検索画面

この問題を解決するため、画像データを記録すると同時にディスク情報(LOGインフォメーション)も別のファイルに自動的に保存させ、図6に示すディスク検索画面で患者名かIDを入力すると、その画像データが記録されているディスクがどれであるかを検索する機能を搭載した。

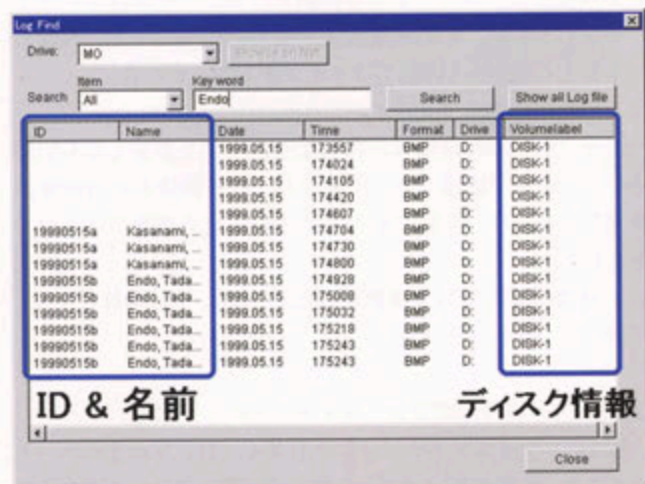


図6：ディスク検索画面

#### (4) 時系列画像比較機能(マージ機能)

同一患者のフォローアップの場合、記録された画像が同一ディスクに保存されているとは限らない。異なるディスクに記録されている画像データを同一モニタ上で比較することができる時系列画像比較機能を開発した。

図7に示すようにハードディスク上に画像を一次保存できるフォルダ(以下、マージフォルダと称す)を確保し、この中に比較したい画像が記録されているディスクを入れ、目的の画像を選択して、マージフォルダにコピーする。この動作を繰り返すことにより、比較対象画像を全てマージフォルダにコピーする。その後、マージフォルダ内の画像を選択して、レビューすることにより比較ができる。

また、マージフォルダ内の画像データを、新しいディスクに保存させこともできる。この機能は、同一患者データを同じディスクにまとめたり、任意の画像を同一ディスクに再保存するのに役立つ。

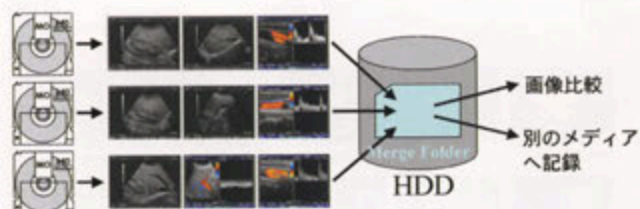


図7：時系列画像比較機能の概念図

#### 4.2 ユーザープログラマブル計測機能

近年、計測機能に関してもユーザーのニーズが多様化している。しかも年々新しい計測機能が必要とされるようになって

いる。しかし、従来装置ではこうした要求に対応するには本体ソフトウェアを変更するしかなく、対応に時間がかかっていた。

EUB-6000ではこうした要求にフレキシブルに対応できるように、計測機能をデータベース化した。

#### (1) 計測のデータベース化

EUB-6000では各計測項目毎にプログラムを作成するのではなく、最小限度の基本ツール(距離・面積・周囲長・速度など)とリンクツール(ドブラ像のトレース機能など)を準備し、実際の計測項目はこれらをデータベースとして組み合わせることで構築する手法とした。図8にEUB-6000における計測項目のデータベース構造の一例を示す。こうしたデータベース化により、a)現状の計測項目に新しい計測項目を追加する、b)既存の基本計測を組み合わせる新しい計測項目を作成することがソフトウェアの変更なしにユーザーレベルで実施できるため、多様化するニーズに迅速に対応させることができるようになった。

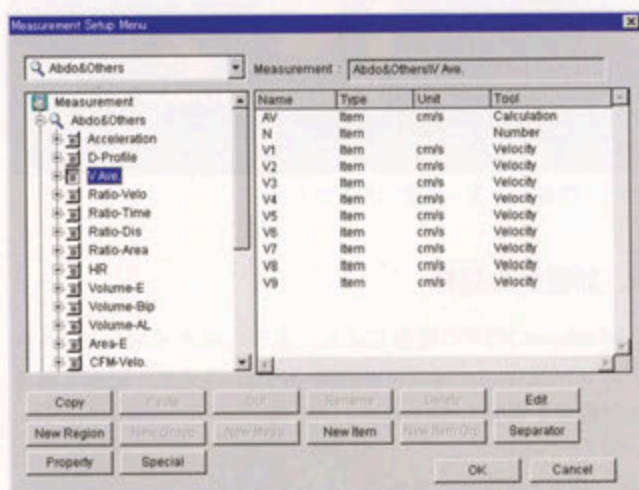


図8：計測のデータベース構造

例えば、図8に示すV-AVE計測において、既存のAV、N、V1、…、V9に加えて、V10なるユーザー要求の計測項目を付加するだけで、ユーザーが独自のV-AVE計測を作成することができる。

#### (2) OBテーブルのインポート/エクスポート

OBテーブルに関しても、標準化されつつあるものの各病院で独自のOBテーブルが作成されたり、テーブルそのものが改訂されている。こうした変化をソフトウェアレベルで迅速に追従することは、非常に困難である。

そこで新規OBテーブルを作成する機能だけでなく、作成したテーブル情報をファイル化してフロッピーディスクなどの外部媒体に出力する(エクスポート)機能や、出力したテーブルデータを別のEUB-6000に組み込む(インポート)機能を開発し、ソフトウェアの変更なしにこうした要求に迅速に対応できるようにした。

## 5. まとめ

超音波診断装置のフロントエンドのデジタル化により、画質は飛躍的な進歩を遂げている。また、マルチビーム技術は高フレームレート・高精細画像をもたらしている。こうした技術がルーチンで幅広く利用されている中級機に適用されることは、超音波画像診断に大きく寄与するものと考えられる。今後も半導体技術の進歩に伴って一層の改善が期待され、さらに普及機クラスを初めとする全ての超音波診断装置がデジタル化されることも予想される。

また、画像データの電子保存化への要求は確実に高まっており、こうしたニーズへ特別なハードウェアの追加なしに対応可能な本装置の画像ファイリング・検索機能は、本格的にルーチンに利用していただける機能と確信している。

今後、EUB-6000の新プラットフォームをベースに製品のシリーズ化を行っていく予定である。

## 参考文献

R.D. Steinberg, Digital Beamforming in Ultrasound. : IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec. Freq. Contr., Vol. UFFC-39(1992), pp.718-721