

ワークフローと映像化，定量化技術を追求した 超音波診断装置 Aplio™ SSA-770A

Aplio™ SSA-770A Workflow-Oriented Diagnostic Ultrasound System with Imaging and Quantitative Technologies

吉川 憲明

YOSHIKAWA Noriaki

超音波の送・受信をつかさどるプローブフロントエンド部から信号処理部や表示部まで改新した，新しいプラットフォームの超音波診断装置を開発した。検査の流れを考えた操作性や，画質改善や超音波コントラスト剤に対応するための新しい映像化技術を備えている。また，診断の定量化に役立つアプリケーションソフトウェアを用意しており，臨床の場だけでなく，研究用途にも使える拡張性を持っている。更に，画像ファイリングシステムや病院内のネットワークに直接接続でき，病院業務の効率化に貢献する。

The Aplio™ SSA-770A diagnostic ultrasound system is on a new platform realized by developing the whole architecture from the front end (transducer and ultrasound transmitting and receiving parts) to the back end (signal processing and display parts). This system enables workflow based on the clinical examination and features various types of imaging technology to enhance the image quality and add new value to the diagnosis such as ultrasound contrast agent imaging, as well as application software that assists in diagnosis by quantifying the clinical data. The Aplio™ SSA-770A is useful for both clinical and research use.

1 まえがき

近年の超音波診断装置における診断上及び技術的なトピックスは，次のとおりである。

- (1) コントラスト剤が開発され，臨床に供されるようになった
- (2) ハーモニックイメージングに代表される，生体内で発生する高調波成分を映像化する技術
- (3) ネットワーク技術が普及し，超音波診断装置も病院内で一つのモダリティとしてネットワーク上に存在するようになった

更に，機能・性能を実現するうえで，高集積度でアナログ/デジタル混在の専用ASIC(特定用途向けIC)が医用機器の分野でも開発できる環境が整ったこと，PCに使われている基本ソフトウェア(OS)に代表されるソフトウェアのデファクトスタンダードが市場に存在し，そのリソースが使えるようになったことである。

一方，臨床面では，画質や感度といった基本性能の向上や，診断を効率化するためのワークフローの改善，臨床アプリケーションソフトウェアの機能の追加，向上に対する要望は増すばかりである。

これらの状況に柔軟に対応でき，かつ研究用途にも使える高級機として超音波診断装置 Aplio™ SSA-770A を開発した。開発のコンセプトワードとして，Navigation(検査の流れ

を考えた操作性)，Visualization(最新の映像化技術に対応)，Quantification(診断の定量化)，Communication(画像ファイリングやネットワーク対応)を設定し，NVQCを合いことばに開発を進めた。Aplio™ SSA-770Aの外観を図1に示す。



図1. 超音波診断装置 Aplio™ SSA-770A - 記録機器が内蔵できるオールインワンタイプで，病院内移動も容易である。
Aplio™ SSA-770A diagnostic ultrasound system

記録機器が内蔵できるオールインワンタイプで、院内の移動も容易である。

2 新プラットフォーム

大規模 ASIC の採用により、回路規模が印刷配線基板 (PWB) の枚数で 1/3 になった。これにより、消費電力が 12 % 削減できた。これを性能向上分を入れて換算すると、省電力率は従来比で 35 % に相当する。重量比でも 13 % 軽量化した。

2.1 フロントエンド

システムの中で、超音波の送・受信やその制御を行う部分をフロントエンドと呼んでいる。後述するプローブすなわち超音波トランスデューサの材質から駆動方式まですべて見直し、前述のハーモニクイメーキングなど様々な映像化技術に対応できるようにした。

ブロードバンドビームフォーマは、プローブの全帯域をカバーする広帯域の信号処理能力を持つ。従来機種に比べ信号処理能力が 6 倍になって、超音波ビームを広帯域・高精度で制御できるようになり画質を向上させることができた。

2.2 バックエンド

大規模な 3 種類の超音波信号処理用 ASIC のほか、高速の DSP (Digital Signal Processor) を採用し、従来機種で使用しているサイズの PWB 5 枚分を一つの ASIC に集約した。これに加えて、高密度 PWB の採用で従来サイズの PWB 11 枚を 1 枚に集約できた。この結果、前述のように PWB 枚数が約 1/3 になり、小型・軽量化と低消費電力化につながった。

2.3 プローブ

ハーモニクイメーキングに代表される様々な映像化技術に対応するため、超音波を効率よく出せるようにセラミック材質や先端構造を見直した。更にケーブルの細径化 (標準的なプローブで従来比で約 10 % 減)、先端部の軽量化 (循環器用: 同 18 % 減, 腹部用: 同 10 % 減) を図った。形状についても丸みを持たせた握り部分にして、検査者が長時間操作しても疲れにくいようにした。超音波の断層像を見ながら患部を針で穿刺 (せんし) して検査用試料や薬剤の投与を行うための針固定アダプタも用意した。このように性能の向上のみならず、検査を容易にし、応用を広げられるよう設計されている。プローブの外観を図 2 に示す。

2.4 ソフトウェア

これまで述べた、プローブを含めたフロントエンド部、信号処理から表示系を担うバックエンド部はソフトウェアで制御されている。システムの基本構成としてネットワーク機能を持っており、DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) に代表される医用画像ファイリングの標準プロトコルに対応している。

ソフトウェアは、臨床アプリケーション機能の拡充などシ



図 2. 超音波プローブの例 - 部位ごとに 15 種の形状・特性の異なるプローブを用意している。左から、表在用高周波リニアプローブ、腹部凸プローブ、循環器用セクタプローブの例を示す。
Ultrasound transducers

ステムアップグレード実現のためのベースである。

3 APLIO™ SSA-770A の技術

次に、APLIO™ SSA-770A の技術をコンセプトワードに沿って述べる。

3.1 Navigation

ワークフローを意識した操作性の改善である。診断にかかわる装置の操作手順をサポートするソフトウェア IASSIST™ は、その先進的なソリューションの一端である。

テンプレートやビジュアルエディタなどの機能により、検査手順と各検査の設定条件を時系列的に登録することができ、操作パネルのクリックオペレーションにより検査を進行させることができる。検査プロトコルの自動化、検査手順の可視化、操作ミスの回避を狙う。現在、手順が煩雑で失敗の許されないコントラスト剤^(注1)の注入手順に対応し、手技の困難さを大幅に改善できた。

コントラスト剤は投与後時間が経つと血液の肺循環を通して消滅するので、検査は限られた時間内で進める必要がある。更に、コントラスト剤が臓器実質に流入する時期、臓器内を灌流 (かんりゅう) する時期、臓器内から流出する時期にそれぞれ診断情報が含まれる。このため、1 回の投与に含まれるパネル操作は数十ステップにも及ぶ。1 回の検査に許容される薬剤の投与は 3 回程度であるため、正確な手順の進行が求められる。このような場面で IASSIST™ は威力を発揮する。

IASSIST™ の動作中の画面を図 3 に示す。画面左に縦に並んでいるのがアクティビティと呼ばれる装置の設定項目で

(注 1) 超音波診断装置用コントラスト剤は薬剤メーカーにて開発されており、無害な溶液中に空気や不活性ガスなどの気体を直径が 1 μm から 8 μm ほどの泡状にしたものである。生体内に静脈などから注入することにより、超音波の受信感度を強化できる。更に超音波の反射特性を利用して、コントラスト剤からのエコーを選択的に映像化し、臓器実質内の毛細管レベルの微小血流を検出できる。

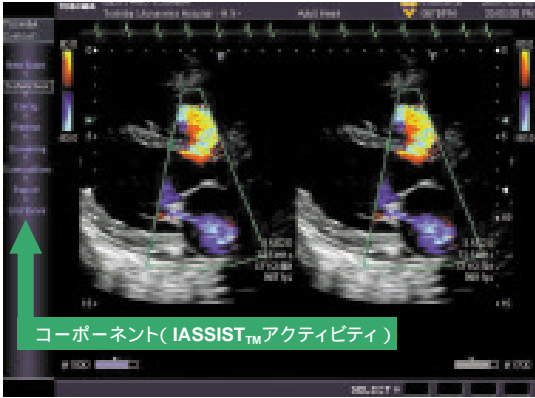


図3 . IASSIST™ 操作画面(例) - 画像左側に検査手順の流れと現在の検査の状態がわかるようになっている。
Example of IASSIST™ screen format

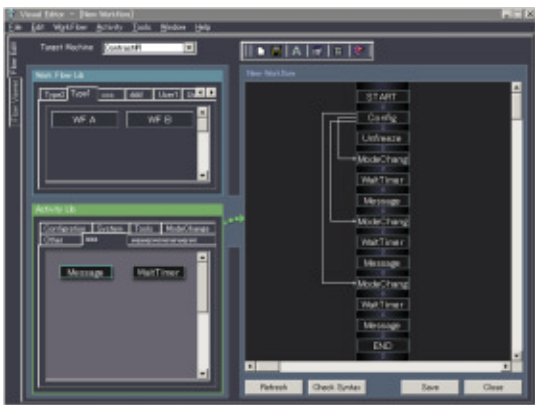


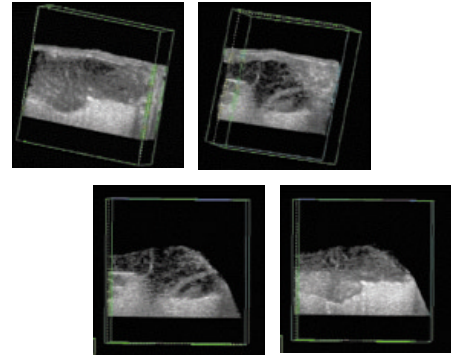
図4 . IASSIST™ 設定画面 - 検査の中で装置の設定や操作手順をあらかじめ決めておくメニュー画面である。
IASSIST™ configuration screen

ある。一つのアクティビティにはいくつかのパネル操作が埋め込まれている。操作者がパネルのキーをクリックするとアクティビティが一つずつ進み、診断手順に従いとまった操作が行われる。図4はアクティビティの設定画面の例である。ビジュアルエディタになっており操作しやすい。

3.2 Visualization

当社の優位性は、コントラスト関連の様々な手法を提案してきたことである。

一つは、Advanced Dynamic Flowである。これはドブラ技術の応用であるが、血流の信号を広帯域で処理することと、周波数解析に工夫を行うことで高いフレーム数と高精細の分解能を実現した。まだ動物実験中であるが、次世代のコントラスト剤を使用した心筋のPerfusion、つまり毛細血管レベルでの血液の流れの可視化である。図5は犬の冠状動脈及び心筋内の微小血管にコントラスト剤が流入している状態を可視化できたもので、この実験をされた先生の話によると



高周波プローブ : 5 - 11 MHz

図5 . 心筋コントラスト像(心筋梗塞の犬の例) - 心筋内の血流が網の目のように検出されている。心筋内に供給、貯留されるパブルが三次元表示される。世界でも初めて可視化できた心筋三次元像である。(資料提供 : 大阪大学医学部 別府 慎太郎先生, 石蔵 文信先生。)
Contrast-enhanced image of myocardium (dog's heart)

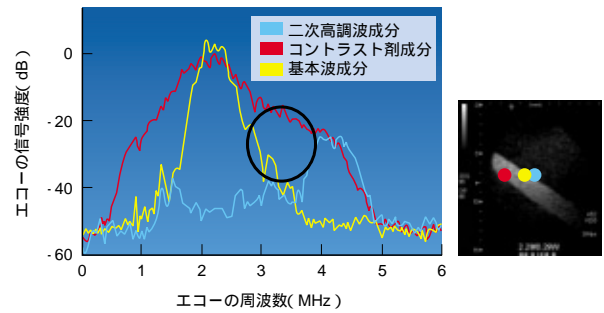


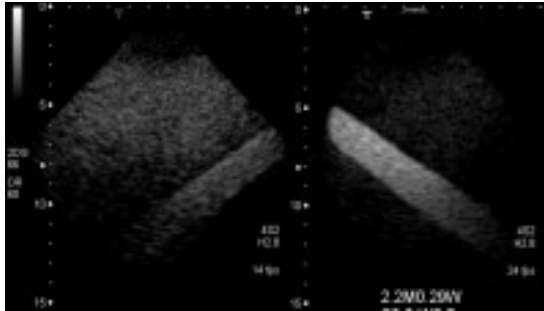
図6 . 1.5 ハーモニック信号スペクトラム - エコー成分から、臓器実質成分や高調波成分を検出し、コントラスト剤のみの成分(左図の部分)を分離する。右図の色丸の信号成分が左のグラフの色線に示されている。
1.5 harmonic imaging signal spectrum

「このような画像が見られたのは初めて」とのことであった。

二つ目は、1.5ハーモニックである。これは図6に示すように、コントラスト剤によるエコーの信号帯域と生体の実質エコー帯域の特性を利用して、コントラスト剤のみの信号(図中のの部分)を取り出す技術である。これは次世代のコントラスト剤の応用のうち、特に循環器における心筋内部の血液の灌流を可視化できる技術として今後の臨床での応用が期待される。実験による効果を図7に示す。右の画像の斜めの明るい部分がコントラスト剤によりエンハンス(受信エコーの増強)された部分で、左の画像より信号と雑音の比(S/N)が改善されていることがわかる。

3.3 Quantification

診断画像の定量化技術のことである。このシステムは、消化器内科、循環器科、産婦人科、外科、小児科、泌尿器科、と老若男女を問わず全身を診断することができる。このときに、機能診断に定量化が重要である。基本的な距離や面積など



従来の映像化法 1.5ハーモニック法

図7. 1.5 ハーモニック ファントム(音響的擬似生体)像 - 写真右側の1.5ハーモニックイメージで管を流れる擬似血流(右)が従来の画像(左)に比べてS/Nよく検出されている。

1.5 harmonic ultrasound phantom image

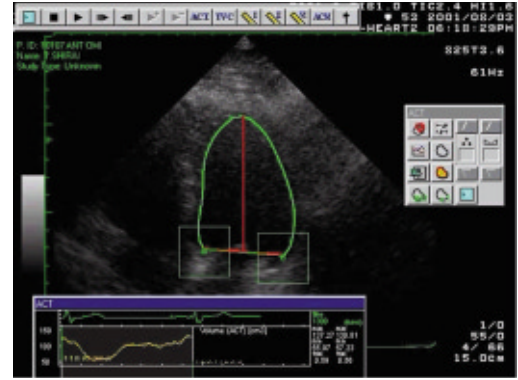


図9. アドバンスドACTによる計測例 - 心腔内のトレース後に心臓機能評価のためのパラメータを自動的に計測表示する。

Example of advanced ACT measurement

の計測のほかに、ドプラ効果を応用した血流計測、更に流量、体積などの応用計測も可能である。ここでは、心臓の内膜の自動トレース機能を開発し応用したアドバンスドACT (Automated Contour Tracing)を紹介する。これは、心内膜を自動抽出する技術を基に、心腔(しんくう)内の容積を学会標準の推定法^(注2)で自動計算するものである。

心内膜を自動抽出する方法は、図8で示すように、左心房と左心室の間にある僧房弁輪(2か所)と心尖(しんせん)部の3点を指定するだけで、後は装置が自動的に心内膜を自動抽出し、前記演算結果を表示する。画像が出しにくいタフな患者も含めて十分高い診断能が得られ、ルーチンワーク

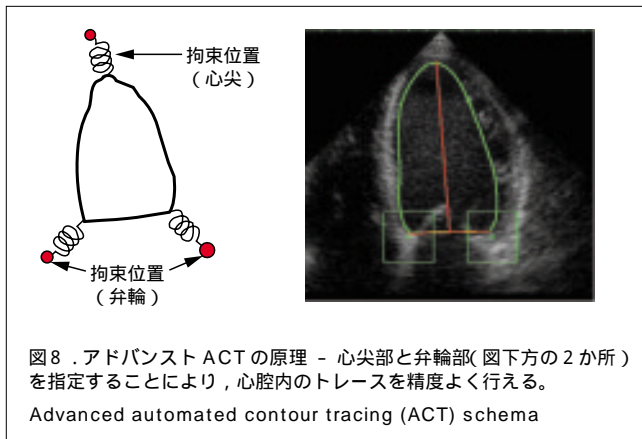


図8. アドバンスドACTの原理 - 心尖部と弁輪部(図下方の2か所)を指定することにより、心腔内のトレースを精度よく行える。

Advanced automated contour tracing (ACT) schema

(注2) Modified Simpson Method: これは心腔内を円柱に分割し、容積を計算する。収縮時容積、拡張時容積、駆出率(心臓のポンプ機能の評価パラメータ)などの基本的数値を表示するとともに、時間変化曲線を表示し、心臓機能診断に貢献する。

に貢献する。計測結果の例を図9示す。検査中に心臓機能の評価が行えることが特長である。

4 あとがき

新しいプラットフォームの超音波診断装置を開発した。ワークフローの改善やコントラスト剤を使った特長ある映像化技術、心臓の機能評価用アプリケーションソフトウェアについて述べたが、ほかにも、被験者に運動負荷をかけて狭心症を診断するストレスエコーなど循環器領域の診断機能の充実を行った。

今後、プローブの拡充や定量化ツールの拡充、臨床アプリケーションソフトウェアの開発により、ご購入いただいたお客様の装置を陳腐化させないアップグレードを継続していく。

当社は、全社的に展開しているMI(Management Innovation)手法を駆使して、VOC(Voice Of Customer)に添った開発を行っている。

“Innovation for the customer, Growth with the customer”がわれわれの合いことばである。



吉川 憲明 YOSHIKAWA Noriaki

医用システム社 医用機器・システム開発センター
超音波開発部 参事。超音波診断装置の開発に従事。
日本超音波医学会会員。

Medical Systems Research & Development Center