

# Aplio™ i800による新しい3次元超音波画像と高分解能の実現

東芝メディカルシステムズ(株) 超音波事業部  
川岸 哲也



## 【はじめに】

Aplio i シリーズは、超音波診断をより客観的かつ効率的にするために、新しくアーキテクチャから全てを見直し、開発されたプレミアム超音波診断装置である。これまでに無い鮮明さと分解能を持つ画像を提供し、さらにi800では超高周波画像を用いた高精度・高精細な3次元画像をも可能にした。以下に、新映像化技術と3D再構成技術についてその特長を中心に解説する。

## 【新映像化技術】

超音波診断画像では、超音波ビームのサイドローブが体内のガスや骨等の高エコー源に触れる際に発生する、霞みのようなアーチファクトが大きな課題である。これは、超音波ビームが、図1(a)に示した模式図のように本来映像化すべき走査線上から裾野のように広がっているのが原因である。Aplio iシリーズでは、このようなアーチファクトを極限まで抑えるべく、超音波ビームを鋭くするための技術を開発した。

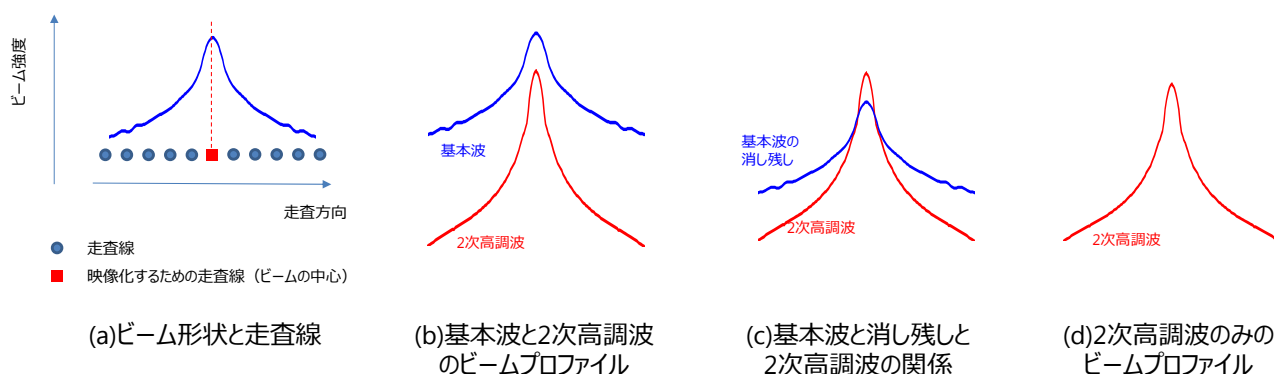


図1 超音波のビームプロファイル

## 1. スキャン面内のビームを鋭くする iBeam forming 技術

アーチファクトを低減し、コントラストの良い画像を得るために Tissue Harmonic Imaging (THI) が開発された。THIでは、基本波が生体伝搬する際に発生する2次高調波を抽出し、送信した基本波成分を除去するための Filter 法や Pulse subtraction™ のような信号処理が使われている。しかしながら、THIのエコー強度は基本波に比較して1/10程度と弱いため、映像化する信号成分から十分に基本波の成分を除去できなければ、基本波のサイドローブが拾ってくるエコーの影響を消しきれずに、本来の期待される THI の効果が十分に得られない。この様子を図1(b)、(c)に模式的に示した。

今回新たに開発した Multi-Sync Pulsar(図2(a))は、送信基本波の正負対称性を格段に高めるなどの波形形成の精度を高め、フィルタ法や Pulse Subtractionにより高純度にTHI成分を抽出することを可能にした(図1(d))。このため Multi-Sync Pulsar を使ったTHIでは、アーチファクトが充分低減された非常に鮮明な画像を得ることができる。さらに、走査線上に同時に複数の波形を異なる送信

焦点で送信することができる。複数の異なる焦点を持つビームを同時に送信し、近距離から深部まで方位分解能をより均一に保ち、深部感度を向上することも実現した。

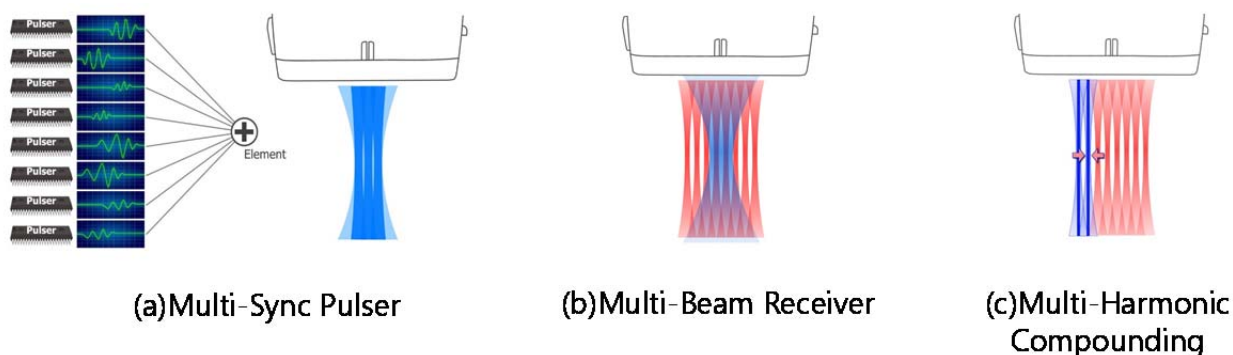


図2 スキャン面内のビーム形成技術

純粋な2次高調波のビームを一度の送信で複数形成することができる Multi-Beam Receiverも高分解能な画像のために開発された。時空間領域でこれまでの数倍の高密度な走査線を生成することが可能になった。この技術によって、フレームレートを低下させることなしに、一つ走査線に複数回の異なる条件の送受信ビームを重ねることが可能になり、より高次元の信号処理が可能になった。実際に Multi-Beam Receiverでは、例えば一度に64本の受信ビームフォーミングが可能であり、これまでと同じ空間分解能を維持しながら、数倍のフレームレートを実現することができる。図2 (b)に多方向同時受信の模式図を示した。

一つの走査線に対して一对の送受信ビームで画像を生成するよりも、複数の条件の異なる送受信ビームを重ね合わせるにより、強度が強く鋭いビームを形成することが可能になる。Multi-Sync Pulserで生成・送信された高精度な基本波により高純度な2次高調波を取り出すことが可能になり、サイドローブの低い理想的なハーモニックビームを得ることができる。そうしたハーモニックビームを Multi-Beam Receiverにより一度に多く生成し、高密度な走査線の一つ一つに複数のビームを重ねることができる。送受信条件の異なる複数のハーモニックビームを重ね合わせて信号処理する (Multi-Harmonic Compounding) ことにより、各走査線上のビームを細く均一に鋭くすることができる (図2(c))。

## 2. スキャン面を薄くする iBeam Slicing 技術

iBeam Slicingは、スキャン面と垂直方向のビーム幅も細く鋭くする技術であり、スキャン面の厚みをこれまでより薄く均一にできる。スキャン面の厚み方向のビームの広がりもスキャン面内のサイドローブと同様に、本来映像化すべきでない領域のエコーを拾ってきてしまうため、アーチファクトの増大や画像の鮮明さをそこなう原因となる。スライス厚みをより薄く均一にすることは、スキャン面内のビーム幅と同様に鮮明な画像を生成する上で重要である。

スライス厚みをより薄く均一にするために、新たにB-mode(2次元画像)のためのマトリクスプローブ(iDMSプローブ)を開発した。このプローブでは、スライス厚みの方向にも振動子が分割されており、それぞれ独立な信号線が接続されている。このため、従来はスライス面内のビーム形成はレンズによる一点固定フォーカスであったのに対して、走査線の全点に関してスキャン面内と同様に電子フォーカスすることができるため、送信開口直下からより薄く均一なスライスを生成することができる (図3)。図4に従来とのスライス厚の比較を示すため、ボールファントムのシミュレーションの画像を示した。特に浅い領域と、

深い領域で、スライス厚方向の全点電子フォーカスによりコントラストが大幅に改善し、ボール状のシストが良好に映像化されているのが分かる。

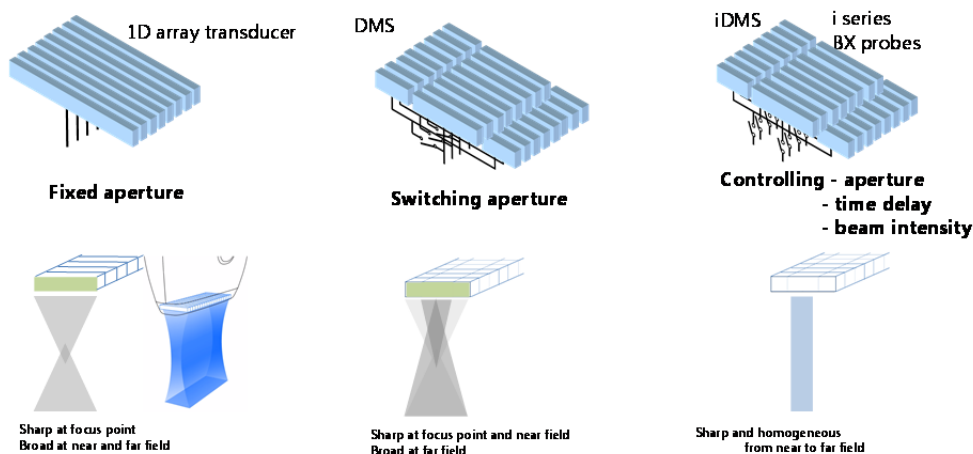


図3 iDMS プローブによるビームフォーミング

図4 シミュレーション結果

以上のように、i シリーズではスキャン面内でのビーム幅に加えて、スキャンの厚み方向のビーム幅（スライス厚）を鋭く均一に3次元ビームフォーミングすることにより、本来映像化すべき走査線上のエコーのみをより純粋に映像化することができる。そのため、これまで画像化が難しかったケースであっても、アーチファクトの少ない鮮明な画像を得ることができる（図5）。この心臓の例では、浅い領域から深い領域まで、鮮明かつ詳細な組織の構造が描出されているのが分かる。この技術は、もちろん心臓だけではなく、腹部、表在等のあらゆる領域に適用可能であり、新しい画質が実現されている。

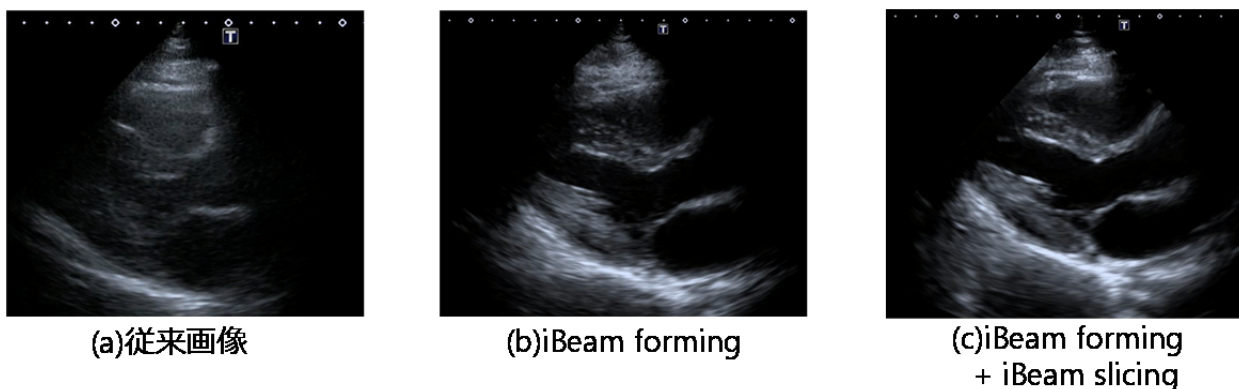


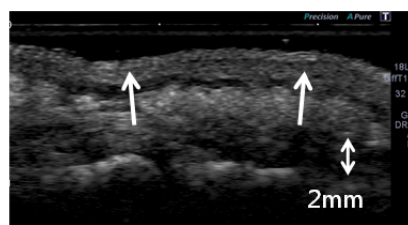
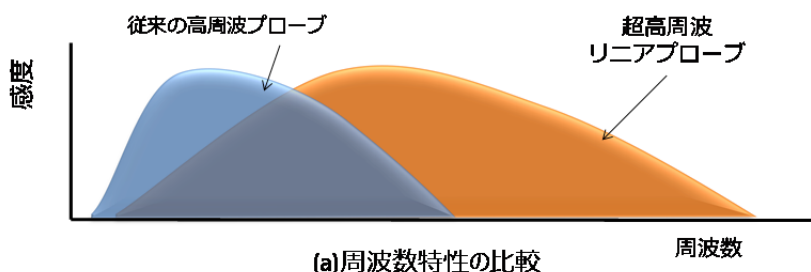
図5 i800 による鮮明で高分解能な画像

### 3. 超高周波技術

i シリーズではこれまでの分解能の限界を大きく超えた画像を提供する超高周波プローブを開発することに成功した。図6(a)に今回開発した超高周波プローブi24LX8の周波数特性を、これまで当社の最高周波数特性を持っていたプローブとの比較で、模式的に示した。さらにiシリーズ本体でも、システムのサンプリング周波数も従来から大幅に向上させることにより、この超高周波の信号を折り返させることなく十分な帯域をもって映像化することを可能にした。プローブと装置本体の両者の性能の飛躍的な向上により、これまで見ることができなかった超高分解かつ鮮明な画像を得ることができるようになった。図6(b)と(c)には指の画像を従来プローブとの比較について示した。数百マイクロンの血管構造やその他の微細な構造も明瞭に描出されているのが分かる。さらに、図6(d)は、爪と骨の間にある血流を

SMI(Superb Micro-vascular Imaging)で描出した例であり、数十ミクロン単位の血流が捉えられている。

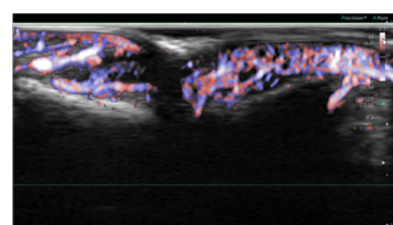
また、このプローブでは超高周波でありながら従来の高周波プローブに匹敵する深部感度を実現することにも成功し、甲状腺、乳腺、MSK等での日常臨床でのより詳細な診断のための画像情報の提供が期待される。



(b)従来高周波画像



(c)超高周波画像



(d)超高周波SMI画像

図6 超高周波プローブの周波数帯域と画像例

### 【3D 再構成技術】

iシリーズでは、これまで説明してきた分解能の良い画像を用いた高精度な3D技術(Smart Sensor 3D)が搭載された。プローブをスキャン面と概垂直方向にプローブを平行移動、扇動させることにより、3次元画像を再構成するものである。この際に、システムはプローブに装着されたポジションセンサから位置情報をリアルタイムに認識することにより、高精細な3次元画像を再構成することができる(図7)。

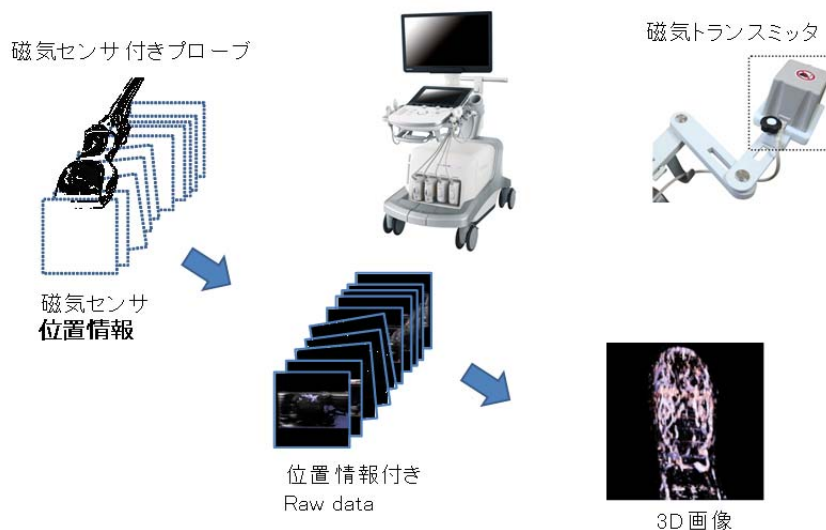


図7 磁気センサによる3D再構成技術

これまでの超音波3D画像は、B面の画質やC面の画質が課題になることがあったが、iBeam技術で

スライス厚が薄くなったiシリーズではこれまでとは明らかに異なる3D画質を実現することができる。図8に指の3D画像例を示した。図8(b)は従来装置とプローブで3D再構成を試みた画像であり、図8(c)は、i800で同じ指を再構成したものである。両者の画質には非常に大きな差があるのが分かる。さらに図8(d)はSMIと組み合わせた画像であり、指先の微細な血流が3次元的に精度良く描出されているのが分かる。また、図8(e)は、複数の指の関節付近B-modeのC面再構成画像であり、軟骨領域等含めて関節の構造が良好に描出されているのが分かる。

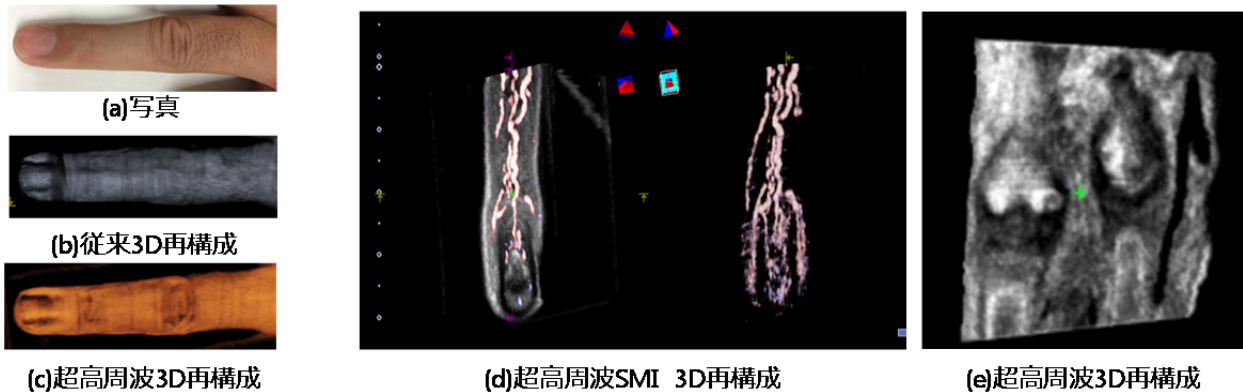


図8 指の3D再構成画像例

#### 【まとめ】

iシリーズに搭載された、新しい映像技術、超高分解能な映像化が可能な超高周波プローブ、B面・C面・ボリュームレンダリングにおいても高画質を提供できる高精度な3D再構成技術を説明した。これらの新技術が、超音波診断の客観性と精度を高めるとともに、新しい診断を切り開いていくと期待される。

#### 【参考文献】

- 1) 今村ほか： プレミアム超音波診断装置 Aplio iシリーズに搭載された次世代映像化技術、超音波検査技術 2016 Vol.41 No.5 October P528-535
- 2) 松永ほか： プレミアム超音波診断装置 Aplio iシリーズに搭載された超高分解能かつ高精度な映像化技術 映像情報 Medical 2016 Vol.48 No.9 SEPTEMBER P9-14