

検査スループット向上をめざした ARIETTA 850の進歩

The advancement of ARIETTA 850 to achieve high examination throughput

藤井信彦 Nobuhiko Fujii / 山田哲也 Tetsuya Yamada

網野和宏 Kazuhiro Amino / 門前亮平 Ryohei Monzen

間平知美 Tomomi Mahira / 平井孝則 Takanori Hirai

初田亜哉 Masaya Hatsuda

株式会社 日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット

ABSTRACT

2017年4月、グローバルシェア拡大をめざし、
プレミアムクラスの汎用超音波診断装置 ARIETTA^{※1} 850を販売開始した。
その後も、検査スループットの向上をめざし、
基本性能向上、新プローブの接続、アプリケーションの充実を図るために改良を続けている。

We released ARIETTA^{※1} 850, the premium class diagnostic ultrasound system for general applications, to expand the global market share in April 2017. Since then, we are keeping on improving this system to achieve higher examination throughput via basic performance improvement, connection of new probes, and enhancement of application.

Key Word: eFocusing, 4G CMUT, DFI, Protocol Assistant, Combi-Elasto

はじめに

2017年4月、超音波診断装置のグローバルシェアNo.1をめざし、フラグシップモデルとなるプレミアムクラスの汎用超音波診断装置ARIETTA^{※1} 850を発売した(図1)。

製品コンセプトは“Pure Image”、“Seamless Workflow”、“Your Application”の3本柱であり、Pure ImageはeFocusing技術を主軸とした高画質化技術、Seamless Workflowは自動計測機能やProtocol Assistantによる検査者の負担を軽減するワークフローを、Your Applicationは乳腺・肝臓エラストグラフィ等の特徴的なアプリケーションを搭載した。これによりARIETTA 850は、臨床現場から好評を得ている。

販売開始後も日々さらなる改善に取り組んでいる。低速な血流の検出を可能とするDetective Flow Imaging (DFI)、循環器科、放射線科、産科、それぞれに特化したアプリケーション、ワークフローの改善を目的としたProtocol Assistantの改良を行っている。本稿では、それらについて説明する。

図1 ARIETTA 850外観



高画質化 (Pure Image) の実現

1. Bモードの進歩

ARIETTA 850が好評を得ている要因として、eFocusing技術¹⁾と有機ELモニタによって実現したBモードの高画質が挙げられる。特にeFocusingの送受信ダイナミックフォーカシング効果により、従来の課題の一つであったフォーカス設定操作を必要とせず、高空間分解能、高コントラスト(信号雑音比の向上)、高ペネトレーションなBモード画像が提供可能となった(図2)。

図2 ARIETTA 850 臨床画像

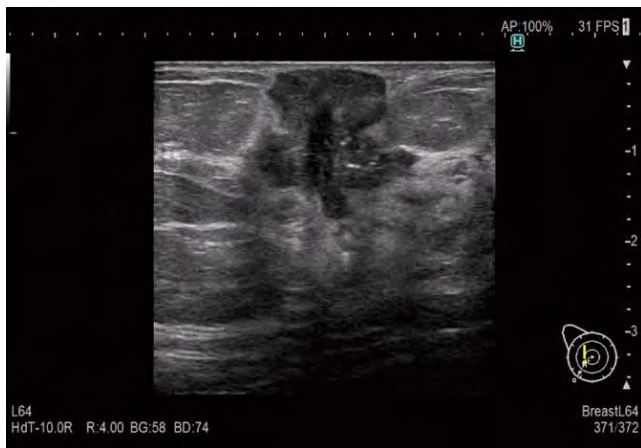


図3 eFocusingの効果



(a) Focusを浅部に合わせた画像



(b) Focusを深部に合わせた画像



(c) eFocusing On画像

図3は、Focusを浅部に合わせた場合(a)と深部に合わせた場合(b)、eFocusingをOnした画像(c)である。(a)では深部の血管腫が明瞭に見えておらず、(b)では浅部の血管腫が明瞭に描出されていない。しかしながら、eFocusingをOnにすることにより、浅部と深部の両方の血管腫が明瞭に描出できるようになる。また、有機ELモニタも従来のLCDモニタに比べて、コントラスト分解能が非常に優れているため、好評価を得ている。

2. カラーモードの進歩

従来のカラーモードには、流速を表示するカラードプラー、感度を重視したパワードプラー、高分解能パワードプラー(eFlow)が存在する。カラードプラーは受信信号の位相の変化から速度を算出し、対象物の拍動やプローブ走査などのモーションアーチファクトを除去するために、速度に対するフィルタを用いる。そのため、モーションアーチファクトのみならず低速血流も同時に取り除いてしまう(図4(a))。

ARIETTA 850は、新しい血流表示モードであるDFIを搭載した。DFIはROI (Region of Interest) 全体の信号を解析し、血流とモーションアーチファクトの画像の特徴から両者を弁別する。その結果、モーションアーチファクトを選択的に除去することが可能となり、低速血流の検出感度が向上した(図4(b))。また、DFI専用の送信スキャンシーケンスを用いることで、カラードプラーの数倍のフレームレートを実現した。

DFIの登場により、腫瘍内部や胆嚢壁など、これまで観察が困難であった低流速血流の検出が可能となった(図5)。

これにより、早期診断や治療方針の早期決定への貢献が期待される。

図4 低速血流とモーションアーチファクトの関係

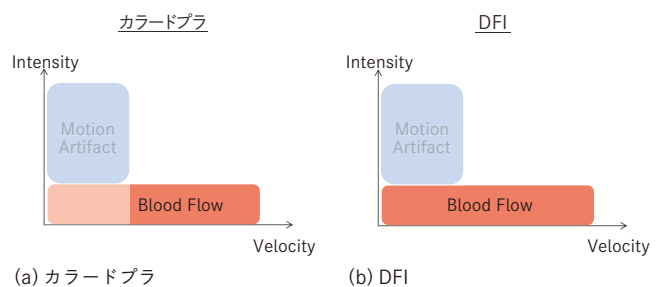
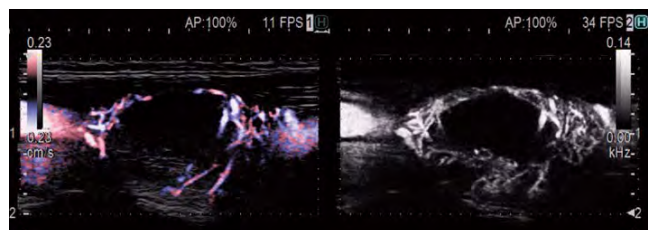


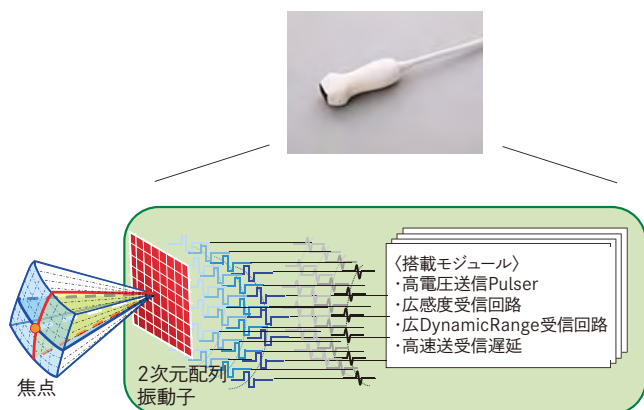
図5 eFlowモード(左)とDFIモード(右)



3. 経胸壁マトリックスプローブの開発

われわれは新たに経胸壁マトリックスプローブ(以下、

図6 MXS1概要図



MXS1)を開発した(図6)。

本プローブは、高い受信性能を得るため、従来のプローブで培われた高感度振動子技術を用いた単結晶振動子を採用し、微細な受信信号を捉えるための高精度アナログ回路をプローブに内蔵した。また、高電圧パルサーをプローブに内蔵し、一度に数千素子の駆動を可能にすることで、高出力な送信を可能にした。これらにより、臨床で求められる必要十分な感度を実現した。

一方、ビームフォーミングは、高速デジタル技術の応用による任意方向のリアルタイム制御を可能とした。また、素子単位での遅延制御を行うことで高精度なビームを生成することができる。これらにより、高空間分解能を実現した。

ルーチン検査を実施する検査者にとって重要となるプローブ形状は、プローブ走査のしやすさに配慮し、小型で握りやすい形とした。

本プローブはマトリックスアレイにより、リアルタイムBiPlane表示と高速Volumeスキャンを可能にした。

これにより、後述のEF (Ejection Fraction) 自動計測機能およびVolume計測の実現など、ワークフロー改善および検査精度の向上への寄与を期待する。

4. 超広帯域リニアプローブ (4G CMUT) の開発

“4G CMUT”は、当社が世界に先駆けて実用化したCMUT (Capacitive Micro-machined Ultrasound Transducers) 技術をさらに改良することにより実現した、超広帯域リニアプローブである²⁾(図7)。そのエンジンとなるCMUTチップは高度な半導体技術を用いて製造され、チップ上にはミクロンスケールの微小なCMUTセルが数千個形成されている。薄くて軽いCMUTセル内の振動膜は生体との間で効率的に音響エネルギーをやりとりすることができるため、従来の圧電セラミックを用いた超音波プローブでは実現困難であった超広帯域な超音波信号の送受信が可能となった³⁾。

さらに、ARIETTA 850は、日立独自のCMUT用THI (Tissue Harmonic Imaging) 方式に代表される最新の撮像技術を搭載して、CMUTのポテンシャルを最大限に引き出している。CMUTの“超広帯域特性による優れた距離分解能とペネトレーションの両立”、“マトリックスによる深度方向に均一なスライス

方向分解能”、これらの特徴はARIETTA 850に新たに搭載されたeFocusingとあいまって、観察領域全体を高い空間分解能で描出することを可能としている(図8)。

進化したCMUTプローブ“4G CMUT”は、超広帯域特性により診断シーンの影響を受けづらく、また種々の撮像モードへ対応することで、複数の診断領域にプローブ1本で対応できる“ユーティリティリニアプローブ”を実現している。本プローブを活用することにより、超音波診断技術の客観性向上、検査者の身体的負担低減、検査効率の向上、といったさまざまなメリットにつながる事が期待される。

図7 CMUTの構造と動作原理図

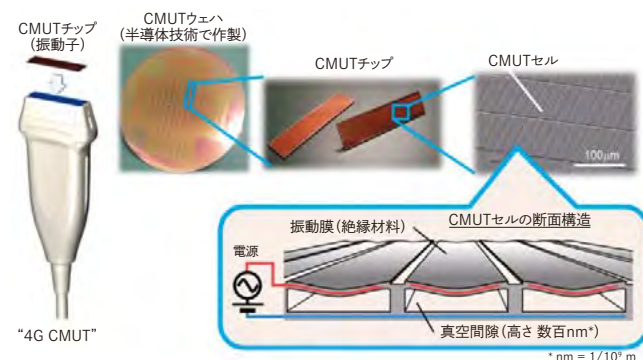
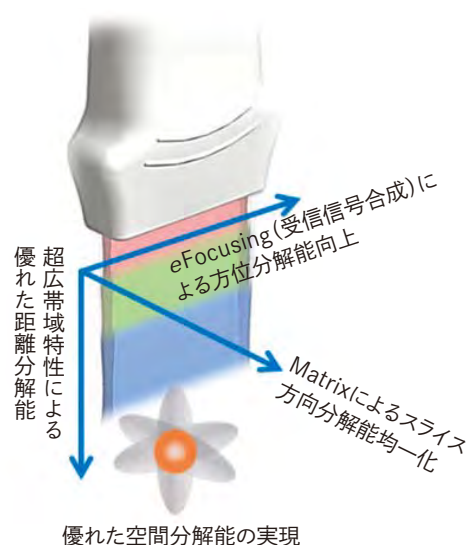


図8 CMUTによる空間分解能の向上



Protocol AssistantによるSeamless Workflowの実現

高齢化社会を迎え、今後の超音波診断装置には、検査者依存の低減による検査時間の短縮および読影の負担軽減が求められる。Protocol Assistantは、検査時間の短縮および読影の負担軽減に貢献する検査サポート機能である。検査手順と、撮像断面ごとに画像調整パラメータやBody MarkおよびAnnotationをあらかじめ登録しておき、検査時に登録した撮

Guide View は、非熟練者の教育や、取得断面の共通化に寄与することを目的とする。参照画像は、超音波画像、他モダリティで取得した画像、シェーマなど、各施設の用途に合わせて自由にカスタマイズが可能である。また、参照画像を登録したプロトコルは出力して、ほかの ARIETTA 850 での読み込みが可能であるため、同じ施設内で複数台装置を所有す

Protocol Assistantのような検査サポート機能は、これまで主にアメリカで使用されてきたが、日本でも認知度が上がってきており、使用施設の増加が予想される。今後は、同一患者の過去画像を表示・比較することで経過観察を容易にする機能や、AI (Artificial Intelligence) 技術により、参考となる症例画像を表示するアシスト機能などを検討していく。

1. MXS1 による自動 EF 計測

心エコー検査において、左室の収縮能評価は非常に重要である。その指標の一つである左室駆出率(LVEF)の算出において、拡張末期と収縮末期の左室体積の差分を計算する。左室体積を算出する手法として、断層像上の左室を楕円体に見立てて計算するModified Simpson (Disk) 法が広く用いられている。しかし、従来の手法は左室体積の差分計算に用いる拡張末期と収縮末期のフレームの選択や、左室内膜のトレースを手動で行うため、検査者の手技に依存する部分が多い。また、同一の心周期において2つの断面を描出できないため、体積の差分計算に異なる心周期の心尖部四腔断面および二腔断面を用いる必要がある。以上から、計測結果の再現性や客観性

を十分に得られないという課題がある。

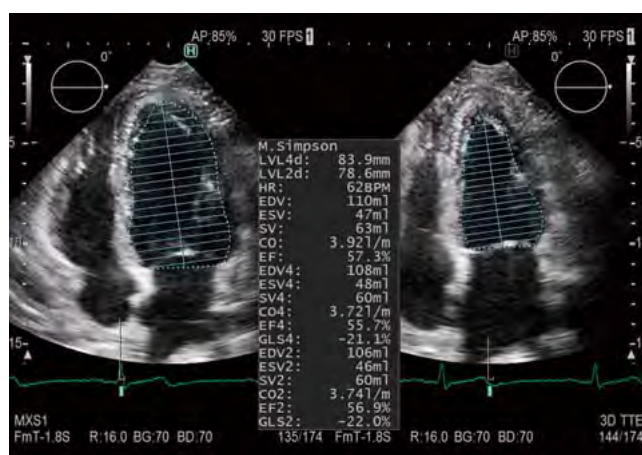
前述したMXS1を用いることで、計測結果の再現性や客観性を改善したLVEFが算出可能なアプリケーションiEFを開発した。

拡張末期と収縮末期のフレームの選択と左室内膜のトレースを自動化したため、誰でも簡単に計測が可能である(図11)。

また、MXS1のBiPlaneモードを用いることで、体積の差分計算に同一心周期の心尖部四腔断面および二腔断面を用いることが可能なため、再現性の高い結果を得ることができる。

これにより、従来の課題であった計測結果の客観性および再現性が向上するため、心エコー検査のワークフロー向上に大きく寄与することが期待できる。

図11 iEFにおける計測画面



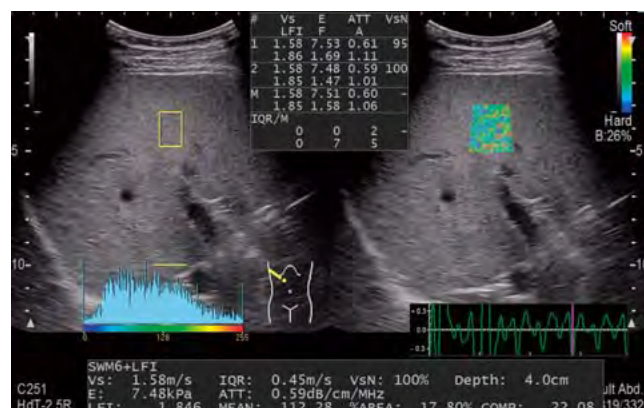
2. Combi-Elasto

超音波で組織の硬さを計測するエラストグラフィは、組織性状を見る新たな超音波診断として臨床応用が進んでいる。エラストグラフィの手法を大別すると、用手的に組織を圧迫して組織の変位から相対的なひずみ分布を表示するStrain imagingと、外部からの加振によって励振された組織の横波の移動速度(Vs: Shear wave velocity、せん断波伝搬速度)からせん断弾性率を推定して表示するShear wave imagingの2つがある。

われわれは、非侵襲的に肝臓の状態を把握する新たな診断手法として、Combi-Elastoを開発した。Combi-Elastoは、Shear Wave Measurement (SWM) と Strain imaging の Real-time Tissue Elastography^{*2} (RTE)を融合させることで、肝臓の疾患ステージに応じて複数の指標を提供可能である。

Combi-Elastoでは、左側にSWMを、右側にRTEを同時に表示して計測できるようにした(図12)。1回の計測に要する時間は、従来のRTEおよびSWMの計測ではRTEが25秒程度、SWMが5秒程度の合計30秒程度だったものが、Combi-Elastoでは10秒程度に短縮した。Combi-ElastoではVs値とひ

図12 Combi-Elasto



ずみ特徴量から、新たに線維化に関連する指標F Indexと、炎症に関連する指標A Indexを計測できる⁴⁾。

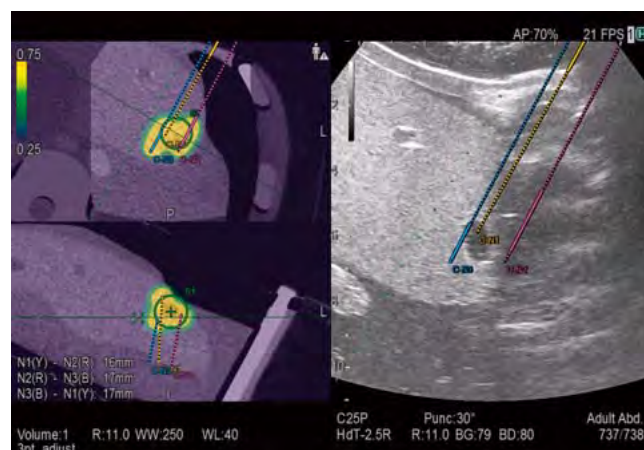
Combi-Elastoは、肝臓イベントに応じて変化する肝臓の状態を把握する複数の情報が簡単に計測でき、肝臓の状態を経時的に診断可能となった。

3. Real-time Virtual Sonography

Real-time Virtual Sonography^{*3} (RVS) は、超音波画像と同一断面のCT、MRI、PET (Positron Emission Tomography) など撮像原理の異なる画像を表示し、統合的な画像診断をサポートする機能である(図13)。また、RFA (Radiofrequency Ablation) の術前の治療計画および計画どおりの治療を補助する機能として、超音波診断装置上で穿刺シミュレーションを行い電極針と病変の位置を三次元表示する3D Sim-Navigator機能⁵⁾、RFA治療時の電極の配置から決定される物理量である電場をCTやMRI画像上に表示するe-Field Simulator機能を搭載している。これらの機能を使用することで画像診断の客観性を向上させ、正確な穿刺をサポートする。

今後、機械学習を用いた自動位置合わせに取り組み、さらなる操作性改善を実現したい。

図13 Real-time Virtual Sonography



4. Auto FS

胎児心臓の収縮能を示す代表的な指標として、左室内径収縮率(%FS)がある。%FSは一般的にMモード法を用いて計測される。検査者は、四腔断面の拡張末期を描出し、計測対象部位にMモードカーソルを設定する。拡張末期と収縮末期のおおのの時相で前壁および後壁の内膜面に距離測定カーソルを手動で設定し、各時相での距離変化から計算している。しかし、Mモードカーソルは固定で心臓全体の動きに追従できないため、時相により計測対象部位が変化する。このため心臓の収縮を正確に反映できていない。

Auto FSは、超音波画像上の任意点を自動追従する2Dトラッキング処理により、前壁および後壁の心内膜の動きを追跡し、拡張末期から収縮末期までの距離変化を算出する。検査者は、四腔断面の拡張末期を描出し、計測対象部位の前壁・後壁の心内膜面上に距離測定カーソルを設定する。その後、距離設定カーソルをトラッキング処理することにより得た経時的な距離変化量から自動で%FSが算出される(図14)。トラッキング処理により動きを追従することで、内腔の短縮だけでなく心臓全体の動きに追従することが可能なため、従来法と比較し実際の心臓の収縮率に近い指標を得ることができる。Auto FSは%FSよりも心臓の収縮能を適切に評価できると期待されている。

図14 Auto FSにおける計測画面



今後の超音波診断装置の展望

本稿ではこれまで、ARIETTA 850に新たに搭載されたプローブやアプリケーションに関する説明を行ってきた。これらが、「画質」、「ワークフロー」、「アプリケーション」のいずれにおいても、プレミアムクラスの製品にふさわしい顧客価値を提供することを期待する。

最後に今後の超音波診断装置の展望について述べる。現在、超音波診断装置は診療科だけでなく院内の部屋単位(病棟、救急など)にまで設置されている。そのような医療機器は超音

波診断装置だけでなく、設置されている装置は同じ構成、目的では設置されておらず、それぞれに求められる役割が異なる。また、検査だけでなく治療との係わり合い等、装置の高性能化、コストパフォーマンスの向上により使用される機会は今後さらに拡大する。それに伴い、検査者の負担軽減の重要性は高まり、生産性の向上を含めた検査時間短縮が必要となる。患者の目線からは、しかるべき診断にたどりつくことができないと、検査が多い、受診回数が多い、薬剤投与期間や入院期間が長引くなどの問題も発生し、無駄な検査、医療費の増加につながる。

上記のような、「用途の拡大」や、「検査時間短縮」、「正確な診断」といった課題を解決するために、今後は「操作ワークフローの改善」、「超音波診断特有の難しさの改善」に取り組んでいきたい。これらは、超音波診断装置に対する信頼を向上させるための取り組みとして必須である。

まず、「操作ワークフローの改善」であるが、今後、診断に使用するデータ量はますます増えていくことが考えられる。そのため、データアクセスのレスポンスを改善し、スマートデバイスの扱いに慣れた現在の検査者にとって違和感のないユーザーインターフェースを提供していく。装置筐体のデザインも、正確で効率的な診断をめざし、検査者の検査行為に沿った最適化設計を行っていく。

次に「超音波診断特有の難しさの改善」である。難しさは2点考えられ、1点は「検査者・患者依存による客観性・再現性の難しさ」、もう1点は「超音波画像の読影の難しさ」である。

「検査者依存の低減」に関しては、撮像条件の自動設定の性能向上が挙げられる。すでにARIETTA 850にはAuto Optimizerと呼ばれる機能が搭載されているが、撮像アシストとしてさらなる性能向上が必要である。特に、超音波の基本となるBモード画像の最適な送受信周波数の選択やカラードプラやパルスドプラの速度レンジの最適化が考えられる。また、これは依存の低減だけでなく、検査スループットの向上にも寄与する。「患者依存の低減」には、画質性能の向上が挙げられ、超音波特有の多重反射のようなアーチファクトの低減、S/N向上、また、病変部の認識がしやすい画像の提供に、プローブ開発も含め、これまで以上に注力する。

もう1点の難しさである「読影の難しさ」に関して、これを解決することは客観性を高めることと同義である。客観性を高めるための情報量という観点から考えるとボリュームデータは圧倒的に優れている。また、超音波診断装置の特徴としてリアルタイム性が挙げられ、ボリュームデータかつ時間方向に情報が増えることで、診断に必要な情報量は格段に増加する。現在さまざまな分野への応用が期待されているAI技術に目を向けると、AI技術とボリュームデータを組み合わせることにより、ボリュームデータから診断に適した断層像の取捨選択や、断層像に対して病変の可能性を指し示すような、読影をサポートするアプリケーションへの貢献が見込まれる。これらの取り組みにより読影の難しさを低減させ、早期の治療や医療プロセスの効率化につなげていくことをめざす。

最後に、企業として経済価値の創造だけでなく社会や環境

の課題への取り組みによる社会的価値の創造を念頭に、ecologyに配慮した超音波診断装置の開発をめざしていく。

※1 ARIETTA、※2 Real-time Tissue Elastography、※3 Real-time Virtual Sonographyは株式会社 日立製作所の登録商標です。

参考文献

- 1) 久津将則: 超音波診断装置「ARIETTA850」の新しいビームフォーミング技術“eFocusing”とBreast imagingでの画質改善, 映像情報メディカル, 49(12):63-68,2017.
- 2) 佐光暁史, ほか: cMUT技術による超音波探触子「Mappie」の開発, MEDIX 51, 31-34, 2009
- 3) 橋場邦夫: MEMS技術を用いた超音波トランスデューサ, 日本音響学会誌, 第71巻5号, 239-246, 2015
- 4) Yada N, et al. : Diagnosis of fibrosis and activity by a combined use of strain and shear wave imaging in patients with liver disease. Digestive Diseases, 35 : 515-520, 2017.
- 5) M. Hirooka, et al.: Usefulness of a New Three-Dimensional Simulator System for Radiofrequency Ablation, PLoS One, vol. 11, no. 2, Feb. 2016.