

【論文審査の要旨】

超音波画像計測は、その低侵襲性、無被曝性及び実時間計測性から、医用診断において益々重要な役割を担ってきている。しかしながら、超音波画像は X 線 CT や MRI 等の他のモダリティに比べて未だ低画質であり、診断精度の向上に向けて、その改善が進められている。コントラスト、画像分解能、フレームレート及び画像化深度の向上、ならびに偽像や雑音の低減が具体的な課題となる。それらの解決策は、圧電デバイスの構造や材料の工夫による超音波送受信性能の向上と、超音波送受信方法を含む信号/画像処理技術の改善に大別される。両者を同時に推進することが、抜本的解決に繋がる。

このような背景のもと、本論文では超音波トランスデューサの受信特性の改善、及び画像分解能の向上に関する新たな技術について論じている。まず、高 SNR かつ生体深部までの画像化には、超音波トランスデューサのセンサ性能が大きく関わる。そこで、特に受信感度、受信ダイナミックレンジ、及び受信周波数帯域幅の向上を目指した。続いて、信号処理の立場で画質、特に画像分解能に焦点を当てて、その向上を検討した。ここでは画像化対象を、離散的に存在する少数の強反射体と空間的に不規則に分布する微小弱反射体に分けて、それぞれの特性に適合する手法を構築した。

本研究で得られた成果を整理すると、以下ようになる。

- (1) 圧電材料 PZT に生じる圧電電荷を直接利用して、電界効果トランジスタ (FET) のチャネル制御を行う音圧センサとして開発された PZT-FET に着目し、その画像化応用を検討した。PZT-FET は PZT 薄膜が FET のゲート電極に貼付される微細加工に適した構造を有し、DC 的な音圧計測動作は既に確認されている。しかし、画像化に必要な数 MHz 帯での AC 動作は未確認であった。本研究では、バルク PZT とディスクリット FET を有線結合して試行的実験を行い、感度、ダイナミックレンジの PZT 単体に対する大幅な性能向上を確認した。帯域幅は有線結合による浮遊容量が原因で、十分な性能は得られなかったが、今後、薄膜 PZT を用いる一体型デバイスの作製により、画像化に適する広帯域化が期待される。
- (2) 血管や臓器境界等の強反射体に対する超解像手法を提案した。本手法は、通常の画像化の距離分解能が送信パルス幅で決まるのに対し、搬送波波長レベルの分解能の実現を目指したものである。本研究室では、搬送波周波数がわずかに異なる複数のパルス送受信を行い、その結果から信号部分空間と雑音空間とを分離して利用する超解像手法 (SCM: Super resolution FM-Chirp correlation Method) を提案している。本研究ではこれを拡張して、SCM の欠点であった方位方向の不連続、ならびにグレーディングローブによる偽像を抑える新たな手法を提案し、有限要素法

解析とファントム実験を通して、その有効性を確認した。

- (3) 組織内の微小な散乱体からのエコーは、通常の画像化ではスペックルと呼ばれる干渉パターンを形成してしまう。微小散乱体の空間分布は、組織性状診断のための重要な因子であり、これを高解像に計測することは重要である。本研究では、送信パルスの狭帯域性によって計測にかからない周波数成分を外挿しながら、雑音に対して安定かつ高解像に微小散乱体分布を獲得する手法を、経験ベイズ法の枠組みで構築した。隠れ変数である微小散乱体の反射率系列を自己回帰過程でモデル化し、未知自由度を下げることで、安定な求解を可能とすると同時に、自己回帰過程のパラメータも受信エコーから決定することで、診断のための有効な情報を定量化できる。数値評価により、本手法の原理的な正当性を確認したのち、生体画像に対する実験を行って有効性を確認した。

以上のように、本論文は超音波トランスデューサと信号/画像処理の両面から、医用超音波画像の高画質化、高解像度化を推進するものであり、将来の医療診断の進展に大きく寄与し、医用工学的に重要な意義を有する。よって、博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があると認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上で論文発表を行い、学内外から多数の出席者を得て多角的な討論を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。