

審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 林 宏 翔

本論文は、乳癌の新しい診断法である超音波 CT (Ultrasound Computed Tomography: USCT) を用いた方法に関して、数理モデルの構築とその理論的解析及び数理モデルに基づく数値シミュレーションを実施し、実験との比較を通し、その有効性を議論している。

現在、乳癌検診では、マンモグラフィーが標準的な方法の一つとして用いられているが、乳腺密度の高い乳房などでは、腫瘍を見落とす場合があることが報告されている。また、超音波エコーによる診断も利用されるが、画像の解像度が低く初期癌の発見に困難を伴うことや、診断結果が検査士のスキルに依存しやすいことなどの問題点を持つ。一方、超音波を用いた手法では、造影剤を用いる必要がない、安価で特別な施設を必要としないなどの利点を持ち、現在、超音波を用いながら 1mm 以下の解像度を達成する手法として、超音波 CT による診断法の開発が期待されている。本研究では、この様な状況を背景に、超音波 CT による診断法と関係して、リングトランスデューサーを用いた超音波波形トモグラフィー手法において高解像度の画像を構築するための手法を検討している。特に、コントラストソース反転(CSI)法に関して、ノイズを含む画像データに対して、安定に画像の再構築を達成し、解像度を向上させるための最適化に関する正則化パラメータの選定法を提案し、従来の音線追跡法に基づいた超音波 CT に比べて解像度を向上させる方法を開発している。また、高効率に画像の再構築を行う手法として、低周波数側から高周波数側に向けて異なる周波数で画像構築をしていくことにより、高解像度の画像を少ない反復回数で構築する方法を提案し、数値実験モデルを用いてその効果を評価している。さらに、ファントムを用いた実際の実験との比較により、その有効性を示すとともに改善すべき点についても議論を進め、今後の研究の発展の道筋を提示している。

本論文は、「Ultrasound waveform tomography with the ring transducer for the breast imaging (乳房イメージングのためのリングトランスデューサーによる超音波波形トモグラフィー)」と題され、全 6 章から構成されている。

第 1 章の「Introduction」では、研究の背景として乳癌の早期発見の重要性及び、既存の診断装置・方法とその問題点について説明し、超音波 CT の可能性と本研究の目的について述べられている。第 2 章は「Forward problem of wave propagation」と題され、リングトランスデューサーにおいて、送信された超音波が媒質内を伝播し、リング状に配置された受信部で受信されるまでの過程を順問題として数学的に定式化し、減衰を伴う圧力伝播に対する方程式を周波数空間においてヘルムホルツ方程式に変換し、グリーン関数の挙動を調べることにより、数値計算手法の妥当性および超音波伝播の 3 次元性の影響などを評価している。第 3 章は、「Inverse Problem: Contrast Source Inversion」と題され、超音波 CT により、媒質内の音速分布と減衰率分布を取得するための逆問題を解く手法として、コントラストソ

ース反転(CSI)法を採用し，その数学的定式化及び最適問題としてノイズに強い正則化手法を提案し，数値シミュレーションを通してその有効性を示している．第4章は，「Multi-frequency accelerating strategy」と題され，低周波数側から高周波数側に向けて異なる周波数を使って逆問題を解くことにより，より高速に効率よく収束解を見つける方法について提案し，数値シミュレーションによりその有効性を示している．第5章は，「Practical reconstruction from experimental data」と題され，ファントムを用いた実験に対し，本研究で開発された手法を用いて画像の再構築を行い，実際の形状との比較により，その有効性を示している．第6章は「結論」であり，得られた知見をまとめている．

以上，本研究では，超音波CTによる乳房イメージングに関して，従来，試行錯誤的に開発を進めて来た部分を理論的に再構築し，画質改善及び高速化のための方法を提案し，その有効性について議論するとともに，今後さらに改善すべき点を，具体的に示している点で，その工学的意義は大きい．

よって本論文は博士（工学）学位請求論文として合格と認められる．