

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 ( 工 学 )	氏名	宋 航
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論 文 題 目			
Time-domain Impulse Radar Imaging for Breast Cancer Detection Using CMOS Integrated Circuits (CMOS 集積回路を用いた時間領域インパルスレーダーイメージングによる乳癌検出の研究)			
論文審査担当者			
主 査	准 教 授	小 出 哲 士	
審査委員	教 授	東 清 一 郎	
審査委員	教 授	藤 島 実	
審査委員	教 授	横 山 新	
審査委員	特任教授	吉 川 公 磨	
審査委員	天津大学教授	Xia Xiao	
〔論文審査の要旨〕			
<p>現在、乳癌の早期検診において、推奨されている技術は X 線マンモグラフィである。しかしながら、X 線マンモグラフィには電離放射線被曝や圧迫疼痛という重大な欠点があり、検診率が上がっていない。</p> <p>上記課題を解決するために、本研究は電離放射線被曝のない、痛くない乳癌の早期検診技術を開発する。X 線の代わりにエネルギーの低いマイクロ波を採用し、小型軽量化を実現するために CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 集積回路を用いて、時間領域インパルスレーダー方式による「痛くない」非侵襲の乳癌イメージング技術を開発する。CMOS 集積回路の長所は低電圧・低消費電力であるが、このために、信号の解像度・ダイナミックレンジが劣る。</p> <p>本研究では、この問題を解決するために、以下の工夫をした。</p> <p>① レーダー受信信号の振幅解像度を向上させるために、データサンプリング時に 32 回繰り返し測定して平均化した後に、データを 10 ns 周期で繰り返し、10 ps ずつずらす等価時間サンプリングを 2048 回繰り返し測定して平均化する手法を開発した。これにより、アナログデジタル変換 (ADC) の有効ビット数を増やすことができ、振幅解像度の向上を実現した。</p> <p>② レーダー受信信号の時間解像度を向上させるために、パルス幅 160 ps (帯域 3~10GHz) ガウシアンモノサイクルパルス生成送信回路、12bit-ADC 回路、トラック・ホールド回</p>			

路, 8×8 アンテナスイッチングマトリクス回路, 増幅回路, 減衰回路などの超高周波回路ブロック間の信号の時間揺らぎ (ジッター) の位相補正技術を開発した。これにより, 時間解像度は 10 ps (システムの物理的限界) まで抑え込むことができた。

- ③ 送受信アンテナ間干渉を除去し乳癌からの微弱信号を取り出すため, 適応フィルターの技術を開発して, 受信信号に含まれる人工的干渉雑音を除去することに成功した。これにより, 人工的干渉雑音に埋もれて検出不可能であった微弱な乳癌信号を抽出することに成功し, 検出精度の向上を実現した。
- ④ 空間解像度を向上するために, アンテナアレイを半球状ドームに実装して乳房の周りを 360° 回転する機構を開発した。これにより, 送受信アンテナの組み合わせにおける製造ばらつきによるデータのあいまいさを除去することができ, 各送受信アンテナの 360×2048×32 回の測定データを 3 次元的に組み合わせると, 空間解像度 5 mm の共焦点画像を構築した。

以上の技術開発により, 世界初の携帯型乳癌検診装置プロトタイプを製作し, 広島大学病院腫瘍外科・乳腺外科において, 5 名の乳癌患者に対して, 臨床医師による臨床試験を実施し, 検出率 100%の性能を実証した。更に, 広島大学病院病理診断科において, 全摘出乳房組織について世界で初めて 3 次元共焦点画像によるイメージングに成功した。

本論文は以下の構成である。第 1 章は背景と目的, 第 2 章は乳癌検出技術の原理, 第 3 章は携帯型乳癌検出装置プロトタイプ, 第 4 章は乳癌検出のための共焦点画像アルゴリズム, 第 5 章は高解像度乳癌イメージングのための人工的干渉雑音除去技術, 第 6 章は乳癌検出の臨床試験, 第 7 章は結論をそれぞれ述べている。

以上のように, 本研究では CMOS 集積回路を用いた時間領域インパルスレーダーイメージング技術を開発し, この技術を用いることで乳癌検出に使用する 3 次元共焦点画像の高解像度化を実現した。その学術的意義は十分高い。また大学病院における臨床試験で 100%の検出率を実証したことの工学的意義も極めて大きい。

よって, 本論文の著者は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。