

リアルタイムマイクロ波マンモグラフィの研究開発 (132107008)

Development of real-time microwave mammography

研究代表者

木村建次郎 神戸大学

Kenjiro Kimura Kobe University

研究分担者

木村 憲明[†]

Noriaki Kimura[†]

[†]株式会社 Integral Geometry Science

[†]Integral Geometry Science, Inc.

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

乳癌による死亡は、国内にて毎年 1 万 2 千人に上り、6. 8 万人が発症している。死亡には至らなくても、乳房の切除が女性に与える精神的苦痛は甚大で、早期発見による最小限の手術は、全ての女性が切に願うことである。本研究では、“アジア人女性の乳房の 3 割以上を占める高濃度乳房に適用が難しくコントラスト比が低い従来の X 線マンモグラフィ”に対し、高感度、被爆のない、次世代の乳癌超精密スクリーニング検査のためのリアルタイムマイクロ波マンモグラフィの α 機を完成させ、臨床研究を推進することを目的とする。

1. まえがき

乳癌による死亡は、国内にて毎年 1 万 2 千人に上り、6. 8 万人が発症し、増加傾向にある。現行の乳癌診断技術である X 線マンモグラフィは、アジア人女性の 3 割を占める高濃度乳房に適さず、その補助技術として用いられる超音波エコーは、S/N の問題、術者依存、再現性の問題がある。一方、これまで、次世代乳癌画像診断技術として、乳癌組織が高比誘電率を持つことに着目したマイクロ波技術が、国内外で注目されてきたが、実用化された前例はない。その理由として、マイクロ波技術を用いた生体スケールの高分解能映像化に必要となる、散乱イメージングの基礎理論、高周波半導体技術が未成熟であったことが挙げられる。近年、我々は、曲面状に配置された発信機から出射された音波や電磁波などの波動が、媒質内を伝搬し、散乱された波動の計測データから、散乱体の 3 次元構造を高速に再構成する多次元散乱場の逆解析理論を完成させた。この理論において重要な点は、「散乱場が満たすべき基礎方程式の発見」、「基礎方程式の厳密解の導出」にある。我々は、この「多次元散乱場の逆解析理論」を実用化することに成功し、現在、鉄道トンネル覆工検査レーダに搭載し、広く活用されている。本研究では、この理論を基に、高感度で被爆のないリアルタイムマイクロ波マンモグラフィの開発を実施し、同時に臨床研究を進め、乳癌スクリーニングへの有効性を示すことを目的とした。

2. 研究開発内容及び成果

本研究では、多次元散乱場の逆解析理論を基にしたリアルタイムマイクロ波マンモグラフィ α 機を開発した。これまで基礎検討段階から総数 1 2 0 人の乳癌患者、健常者に適用し、乳癌組織のハイコントラストな描出に成功した。 α 機を構成する UWB アンテナ、符号化パルス列発生源、検波回路、信号処理回路、計算ソフトウェア、画像表示ソフトウェアを備えた、スタンドアロンで動作可能なリアルタイムマイクロ波マンモグラフィシステムを築き上げた(図 1)。



図 1 : リアルタイムマイクロ波マンモグラフィの α 機

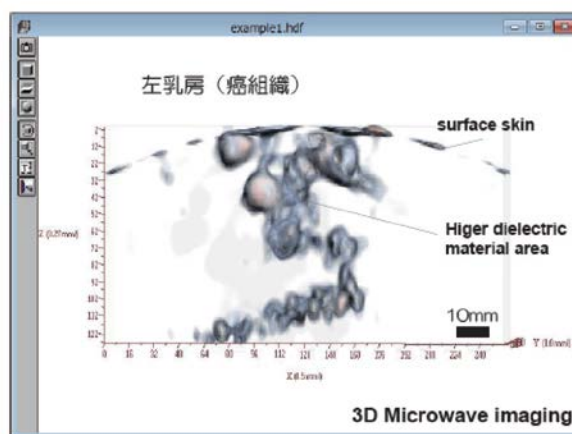


図 2 : 散乱場の逆解析理論を用いたリアルタイムマイクロ波マンモグラフィ画像

○リアルタイムマイクロ波マンモグラフィ装置の開発「機器開発」

① 「自由曲面における多次元散乱場の逆解析理論に基づく画像再構成ソフトウェアの開発」

本研究では、マルチスタティックアレイアンテナ用の多重経路-多次元散乱場の逆解析理論を核とした映像化ソフトウェアを開発した。画像再構成に必要な計算時間として、計算機 i7-3930K(6core-CPU を搭載)を使用した場合、NX=128 (1mm ピッチで 1 ライン 128mm 測定),NY=128 のとき、再構成時間は、1.3 秒である。

② 「リアルタイムマイクロ波マンモグラフィにおけるハードウェアの開発」

マイクロ波の信号源として、周波数帯域が DC-10GHz で、約 100 マイクロ秒に一回の速度でタイムドメインのデータ(反射データ)を取得可能な、高速符号化信号発生装置を開発した。符号には、疑似ランダム符号を用いた。ビットレートのハイレート化、すなわち深さ方向の空間分解能の向上のため、サンプリングオシロ方式の検波用ローカル信号遅延回路を開発した。

○リアルタイムマイクロ波マンモグラフィによる乳癌イメージング「臨床研究」

本研究にて開発したリアルタイムマイクロ波マンモグラフィα機を用いて臨床試験を実施した。健常者、乳癌患者を併せて合計 40 人の試験を実施し、データを分析した。ハイコントラストな乳癌組織の 3 次元画像の描出に成功し(図 2)、従来技術として最も高感度とされる MRI による乳癌画像、切除標本における病理検査に基づく乳癌領域と一致することが示された。また、本プロジェクトで開発したリアルタイムマイクロ波マンモグラフィにより、従来の X 線マンモグラフィや超音波エコーでは検出が困難とされる乳癌の描出にも成功した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本 SCOPE 研究により、リアルタイムマイクロ波マンモグラフィシステムα機が完成した。今後、さらなる性能向上とともに波及性の高い量産機を実現する。従来の乳癌画像診断技術の感度から推定すると、国内だけでも 30 万人以上の乳癌が装置として検出できない可能性がある。今後、本機器を早期に実用化し、一刻も早く検診センターに届けることを第一に活動する計画である。

4. むすび

本研究では、リアルタイムマイクロ波マンモグラフィの試作機が完成し、実際の乳癌患者に適用し、高い感度で乳癌の描出が可能であることが示された。本装置は、我々が開発した“散乱場の逆解析理論”を用いることで、従来の反復計算を要する画像再構成法と異なり、原画を不要とし、高速かつ正確に画像を再構成することができる点が大きな利点である。従来の画像診断技術で描出が困難とされた乳管内進展癌の映像化にも成功している。今後、量産機開発を一刻も早く、完成に向けて着実に前進し、数多くの乳癌の早期発見に貢献したいと考えている。

【誌上发表リスト】

- [1]木村建次郎、美馬勇輝、木村憲明、弓井孝佳、森康成、星島一輝、中田成幸、土井恭二、“非破壊モニタリングのための 3 次元データ解析技術および装置技術”、巨大構造物ヘルスマニタリング—劣化のメカニズムから監視技術とその実際まで pp129-141 NTS (2015 年 3 月 12 日)
- [2]木村建次郎、向殿麦、木村憲明、三木万由子、高尾信太郎、“リアルタイムマイクロ波マンモグラフィの開発”、第 62 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 11-494(14a-D6-9) 2015 年 3 月 11 日～14 日
- [3]木村建次郎、田村沙綾、木村憲明、山下祐司、河野誠之、田中優子、三木万由子、広利浩一、橋本知久、佐久間淑子、高尾信太郎、“マイクロ波散乱場断層イメージングシステムの開発- 撮像速度の向上に関する検討 -”、第 24 回日本乳癌学会学術総会 プログラム抄録集 pp337(DP-2-47-5) 2016 年 6 月 16 日～18 日

【申請特許リスト】

- [1]木村建次郎、木村憲明、“散乱トモグラフィ方法および散乱トモグラフィ装置”
出願日：2014 年 3 月 13 日 出願番号：特願 2014-049536
- [2]木村建次郎、木村憲明、“検査方法および検査装置”、
出願日：2015 年 9 月 29 日 出願番号：特願 2015-192216

【受賞リスト】

- [1]木村建次郎、第一回 京都 SMI 中辻賞、“高分解能サブサーフェスイメージング法の開発”、2014 年 2 月 25 日
- [2]木村建次郎、アカデミックプラザ賞(第 28 回最先端実装技術・パッケージング展)、“物質界面の構造を映像化するサブサーフェスイメージング法の開発”、2014 年 6 月 4 日

【報道掲載リスト】

- [1]“高分解能で非破壊検査画像”、日刊工業新聞 2014 年 4 月 22 日
- [2]“3 次元検査ソフトウェアシステム開発”、日刊工業新聞 一面、2014 年 4 月 29 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1]http://douhiro.com/video/?cd_video=98
『透視の科学～見えないものを見る技術が、世界を守る～』(2015 年 7 月 16 日 更新)
- [2]<https://sciencechannel.jst.go.jp/M160001/detail/M150001021.html>
JST サイエンスニュースに掲載
「事故を未然に防ぐ！ 開発進むインフラ検査技術 (2016 年 3 月 30 日配信)」