

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360187

研究課題名(和文) 初期乳がん検出にもちいるマイクロ波マンモグラフィ技術の確立

研究課題名(英文) Development of Microwave Mammography for Early Breast Cancer Detection

研究代表者

竹中 隆 (TAKENAKA TAKASHI)

長崎大学・工学部・教授

研究者番号：40117156

研究成果の概要(和文)：マイクロ波領域の電磁波を用いて初期乳がんを検出する技術の開発を行った。マイクロ波パルス乳房に照射し、乳房により散乱されたパルスの時間波形を乳房の周りに配置した受信アンテナにより計測する。計測された波形を計算機で処理して乳房内部を映像化することにより、乳がんの大きさ、形状および位置を特定する。開発した技術を用いると直径5mm程度の乳がんの検出が可能であることを数値シミュレーションで示した。また、乳房を模擬するファントムと計測用アンテナアレイを試作した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a microwave imaging technique for detection of early breast cancer. A breast is irradiated with a microwave pulse and the scattered pulses are collected at receiving points located around the breast. By processing the measured scattering data with computers, the internal structure of the breast is imaged and the size, shape and location of tumor are identified. Numerical simulations show that the developed imaging technique can detect tumor of 5 mm in diameter. A breast phantom and a prototype antenna array for measurement were also made.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：電磁波工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：マイクロ波イメージング、乳がん検出、逆散乱解析

1. 研究開始当初の背景

我国においては、乳がんの患者発生数は年間約35,000人、死亡者数は年間約10,000人であり、女性の罹るがんでは罹患率が最も高い。X線マンモグラフィ(乳房エックス線検査装置)は、臨床的に目に見えない乳がんを検出するための方法として、集団検診においては最も効果的な診断方法とされている。しかしながら、罹患率が最も高い40歳代では

高濃度乳腺乳房や不均一高濃度異常が多く、X線マンモグラフィ診断が難しいといわれている。また、(1)極めて初期の微小石灰化を示していない腫瘍や乳腺の発達した乳房組織に対しては感度が低いため、この方法(X線マンモグラフィ)による乳がん検診を行ったとしても、乳がんの約15%は見逃されている(偽陰性)；(2)X線マンモグラフィにて得られるレントゲン写真は、二次元投

影像であるため、その判読には経験を積んだ専門医が必要である；(3) X線（電離放射線）は、胎児への影響が強く、がん遺伝子の活性化、がん抑制遺伝子の不活性化に寄与すると言われており、X線マンモグラフィは、妊娠中あるいは妊娠の可能性のある女性や、乳がん家族歴を持つ女性に対して使用することは望ましくない；(4) 乳房を2枚のパネルで挟む際に被曝量の低減と乳房組織の均一性を目的として強く挟むので痛みがある；(5) マンモグラフィ判読がつかない場合には、乳房に針を刺す針生検を行うことがあるがその結果がんでない（偽陽性）ことも多いなどの問題点が指摘されている。

従って、集団検診の受診率を改善し、生存率を高めるために、より安全で痛みがなく高い感度と識別能力を持ち、かつ低コストで取り扱いやすい検査方法が望まれている。

2. 研究の目的

新しい画像診断方法の一つとして乳房組織の電気定数（誘電率、導電率）の違いに着目したマイクロ波を用いる方法が検討されている。マイクロ波を用いた乳がん検出法は大きく2つの手法に分けられる。一つは、レーダの原理に基づく方法であり、周囲の組織と異なる組織が存在するとき、その組織から反射したパルスの伝播時間を使って異なる組織の存在を検出する方法であり、検出に要する処理時間が短い利点を有するが、組織が何であるのかを特定できない。もう一つは、逆散乱解析手法に基づくトモグラフィ法で、生体内部の電気的特性に関する分布（誘電率分布及び導電率分布）を映像化する方法であるため、画像処理に時間がかかるが組織を特定（検出された異常組織が悪性腫瘍であるのかどうかを特定）できる利点を有する。

本研究では下記の特徴を有する逆散乱解析手法に基づくマイクロ波マンモグラフィ技術の確立を目的とする。

- (1) 電気定数分布（誘電率分布、導電率分布）を映像化するので、組織の特定（正常組織か腫瘍かの特定）が専門家でなくても容易にできる。
- (2) 3次元画像が得られ、さまざまな方向から腫瘍の位置、形状、大きさを容易に読み取れる。
- (3) 電離放射線被曝の心配が無いため安全性が高く、被検者が安心して受診できる。検査技師に対しても安全であり、操作が容易である。検査技師は計測中も被検者の傍らで装置の操作を行える。
- (4) 偽陽性（誤診）による心理的・身体的不利益や、偽陰性による悪性腫瘍の見逃しを避けられる。
- (5) 低コストの撮像装置である。

3. 研究の方法

(1) 乳房内部の画像を再構成する逆解析部のアルゴリズムを並列化して高速化を図る。研究代表者らの時間領域逆散乱解析法は並列処理に適しており、並列計算処理を行うために分散メモリ型PCクラスタを24台のPCで構成する。各PC間での相互のデータ送受信に対してはMPI（Message Passing Interface）の実装であるMPICH2を用いる。PCの使用台数の増加に伴う全計算量に占める通信量の増加による計算時間増大を改善するため、高速・広帯域のギガビットネットワークを用いる。

(2) 散乱波を数値計算するFDTD解析アルゴリズムのGPUを用いた並列処理の予備的検討を行う。GPUを組み込んだ1台のPC上でFDTD法の並列処理の動作確認を行う。

(3) 乳房を照射し、その散乱波を計測する広帯域アンテナアレイを設計・試作する。試作した送受信アンテナの特性（周波数特性、指向性）を測定し、試作アンテナの評価を行う。広帯域アンテナを複数（24個）用いて計測用アンテナアレイを構成したときの相互影響を数値的に検討し、相互影響を最も低減した配置のアンテナアレイを試作し、実験的に低減化を確認する。

(4) 胸筋を考慮できるように画像再構成基本アルゴリズムの改良を行う。

(5) PCクラスタにGPUを組み込み並列-GPU高速画像再構成アルゴリズムを実現する。分散メモリ型PCクラスタを構成する24台の各PCに実装したGPUに並列FDTD解析アルゴリズムを実行させ、単一PCによる画像再構成アルゴリズムの計算と比較し、高速化率を検証する。

(6) 広帯域アンテナアレイ及び計測位置可動部からなる計測部を試作し、アンテナ支持台及び給電線からのクラッターを低減させる方法を検討する。

(7) 最近の研究で計測された乳房の電気的特性を模擬するマイクロ波帯の乳房ファントムを作成する。

(8) 整合液タンク、整合液、広帯域アンテナアレイ及び計測位置可動部からなる計測部を試作し、整合液タンク、アンテナ支持台及び給電線からのクラッターを低減させる方法を検討する。

(9) 乳房マイクロ波ファントムと計測部を用いたファントム像再構成実験を行い、再構成画像の画質及び分解能を評価する。高速・高分解能な並列-GPU画像再構成アルゴリズムにより、直径2mmの乳がん（直径20mm以下は初期乳がん）の検出を実現する。

4. 研究成果

(1) 乳房内部の画像を再構成する逆解析部のアルゴリズムの並列化を行った。実際に並

列計算処理を行うために分散メモリ型 PC クラスタを 24 台の PC で構成した。各 PC 間での相互のデータ送受信に対しては MPI (Message Passing Interface) の実装である MPICH2 を用いた。また、PC の使用台数の増加に伴う全計算量に占める通信量の増加による計算時間増大を改善するため、高速・広帯域のギガビットネットワークを用いた。



図 1. 24 台からなる PC クラスタ

(2) 乳房を照射し、その散乱波を計測するアンテナアレイとして 24 個の計測用ダイポールアンテナアレイを試作しアンテナ間の相互影響を検討した。

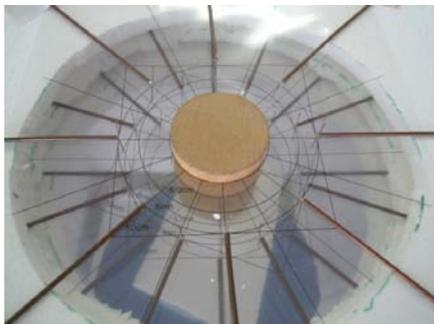


図 2. 24 個のダイポールアンテナからなるアレイ

(3) 乳房のみを対象とした画像再構成アルゴリズムを拡張し、乳房に接する胸筋の影響を考慮した胸部モデル用に改良した。

(4) 像再構成アルゴリズム中で散乱波を数値計算する FDTD 解析部は長い処理時間を要する。FDTD 解析アルゴリズムの高速化を図るため、GPU を用いた FDTD 解析アルゴリズムの並列化を検討し、CPU による FDTD 解析アルゴリズムの計算と比較して、数値シミュレーションによる高速化を検証した。

(5) 乳房を照射し、その散乱波を計測するアンテナアレイのアンテナ素子としてパッチアンテナの設計を行った。24 個のパッチアン

テナを配置した計測用アンテナアレイを FDTD 解析するには計算機容量が不足するため、パッチアンテナの指向性や周波数特性を近似する線状アンテナの設計を行い、アンテナ間の cross 計測を検討した。

(6) グリセリン、シリコーン、寒天ゲル、精製水、ポリエチレン粉末等を用いて、胸筋、脂肪組織、乳腺組織、がんを模擬するマイクロ波用乳房ファントムを作成した。その誘電率および導電率を測定して実際の乳房組織の電気定数に近い値を示すことが確認された。

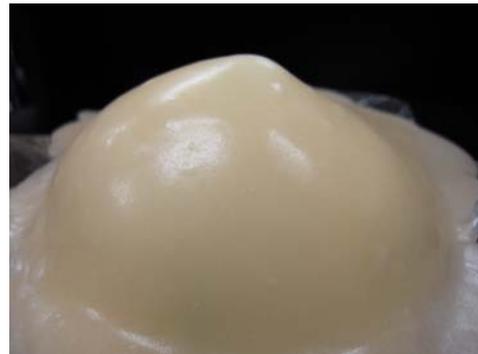


図 3. マイクロ波用乳房ファントム

(7) 内部に整合液を入れる計測ケースの側面及び底面に広帯域特性を有するモノポールパッチアンテナを合計 24 個配置したアンテナアレイを電磁界シミュレータ CST Studio Suite 2006 を用いて粒子群最適化法により設計した。設計パラメータ値をもとに試作した乳がん検出用アンテナアレイのリターンロス特性及び透過特性の測定値はシミュレーションによる結果に近いものを得た。

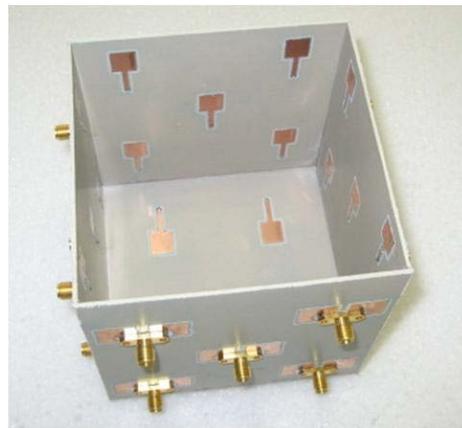


図 4. 24 個のモノポールパッチアンテナからなるアレイ

(8) 近年、乳腺組織の誘電率、導電率がこれまでに考えられていた値より高いことが分かり、乳腺組織と脂肪組織とのコントラストが高く、がんとのコントラストが低い乳房の内部を映像化する必要がでてきた。このため散乱界データに含まれる周波数成分のうち低周波数から徐々に高周波数の成分を考慮する像再構成アルゴリズムを開発した。また、遺伝的アルゴリズムを併用した像再構成アルゴリズムを開発し、高精度の再構成像が得られることを確認した。

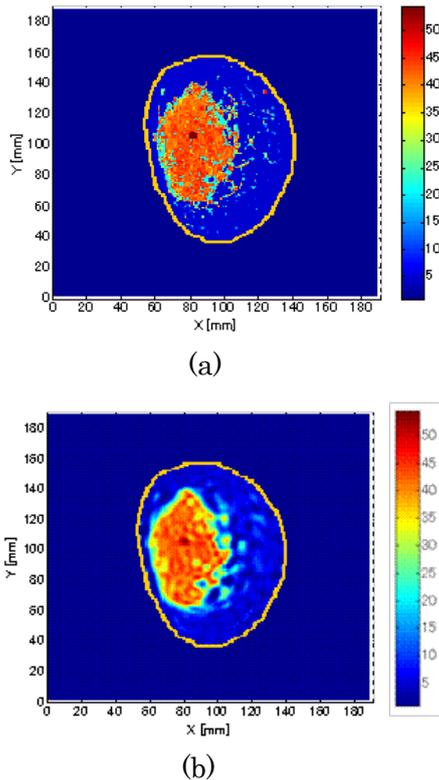


図5. 乳房内部の誘電率分布,
(a)真値 (b)再構成像

本研究で開発したマイクロ波マンモグラフィ技術を進展させるため、次の課題の検討が必要である。

- (1) 本研究では FDTD 法の GPU を用いた並列処理は FDTD 解析空間のみしか適用していないので、PML 部分にも並列処理を行い更なる高速化を図る。
- (2) 乳房の形状を既知とすることにより、安定に高精度の再構成像を得ることができる。このため、乳房の形状を3次元計測するシステムと本研究で開発した像再構成技術とを組み合わせたシステムを構築する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① T. Moriyama, Z. Meng, and T. Takenaka, Forward-Backward Time-Stepping Method Combined with Genetic Algorithm applied to Breast Cancer Detection, *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, no. 2, pp. 438-442, 2011.
- ② J. E. Johnson, T. Takenaka, K. Hong Ping and T. Tanaka, Advances in the 3-D Forward-Backward Time-Stepping (FBTS) Inverse Scattering Technique for Breast Cancer Detection *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, Vol. 56, No. 9, pp.2232-2243, Sep. 2009
- ③ H. Zhou, T. Takenaka, J. E. Johnson, and T. Tanaka, A breast imaging model using microwaves and time domain three dimensional reconstruction method, *Progress In Electromagnetics Research*, 93, pp.57-70, 2009.
- ④ T. Moriyama, Yuji Yamaguchi, K. Anak Hong Ping, T. Tanaka, and T. Takenaka, Parallel Processing of Forward-backward Time-stepping Method for Time Domain Inverse Scattering, *PIERS Online*, Vol. 4, No. 6, Pages 695-700, 2008.
- ⑤ J. E. Johnson, T. Takenaka, T. Tanaka, Two-Dimensional Time-Domain Inverse Scattering for Quantitative Analysis of Breast Composition, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 55, No. 8, pp. 1941-1945, 2008

〔学会発表〕(計6件)

- ① L. Lizzi, P. Rocca, A. Massa, T. Fujimoto, and T. Takenaka, Synthesis of a Wideband Antenna Array for Microwave Imaging Applications, *Proc. of 5th European Conference on Antennas and Propagation*, Rome, Italy, Apr. 2011.
- ② T. Moriyama, Z. Meng, and T. Takenaka, Two-step Inversion Procedure for Microwave Breast Imaging, *Proc. of Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Marrakesh, Morocco, Mar. 2011.
- ③ T. Takenaka, T. Moriyama, K. Hong Ping, and T. Yamasaki, Microwave Breast Imaging by the Filtered Forward-Backward Time-Stepping Method (Invited), *Proc. of URSI-20th International Symposium on Electromagnetic Theory*, in Flash Memory, Berlin, Germany, Aug. 2010.
- ④ K. Hong Ping, T. Takenaka, T. Moriyama and T. Tanaka, Two-Dimensional Forward-Backward Time-Stepping Approach for Tumor

Detection in Dispersive Breast
Tissue, Proc. of Mediterranean Microwave
Symposium MMS'2009, Tangiers, Morocco,
Nov. 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹中 隆 (TAKENAKA TAKASHI)
長崎大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：4 0 1 1 7 1 5 6

(2) 研究分担者

田中 俊幸 (TANAKA TOSHIYUKI)
長崎大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：5 0 2 0 2 1 7 2

(3) 連携研究者

藤本 孝文 (FUJIMOTO TAKAFUMI)
長崎大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：4 0 2 6 4 2 0 4

(4) 研究分担者

森山 敏文 (MORIYAMA TOSHIFUMI)
長崎大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：2 0 4 5 2 8 7 3