

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：55501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870811

研究課題名(和文) 生体イメージングのための広帯域・非分散アンテナの開発と適用

研究課題名(英文) Development and Application of Broadband Antennas with non-Dispersion for Biological Imaging

研究代表者

伊藤 直樹(伊藤直樹)(Ito, Naoki)

宇部工業高等専門学校・制御情報工学科・准教授

研究者番号：50604849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：乳がん検知を目的とした非接触による生体イメージングシステムの実現に向けて、超短パルス信号を用いたマイクロ波レーダの検証を進めた。本システムで重要な要素となる広帯域・非分散アンテナの研究を行い、広帯域特性を有するアンテナを実現した。また、本アンテナを計測システムに適用し、合成開口技術を用いて画像の再構成を行った。アンテナシステムの改善および、不要な反射波の低減を図り、胸部モデルであるファントムの深さ約 10 mm に挿入した、大きさ $3 \times 3 \times 2.5$ [mm] の腫瘍相当の誘電体の画像を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Breast cancer incidence and mortality increase every year. It becomes important to detect early stage tumors for healing. We focus on the advances in biological measurement, such as, imaging for breast cancer detection use of the ultrashort-pulse radar techniques. We have developed the broadband antennas for the measurement system. We have improved the system by reduction of the unnecessary reflected signal, and we have also performed the imaging diagnostics using confocal microwave imaging for the breast cancer detection using phantom model which is approximate to the actual breast tissue. We have detected the dimension of the target as the tumor is $3 \times 3 \times 2.5$ [mm], which is located at around 10 mm depth from the top of the phantom model.

研究分野：マイクロ波・ミリ波工学

キーワード：生体 イメージング 広帯域 アンテナ マイクロ波

1. 研究開始当初の背景

近年、日本では、約 20 人に 1 人の女性が乳がんを経験すると言われており、社会問題化している。乳房に起因する罹患数は、50,695 人(2005 年)、乳房に起因する死亡者数は、11,918 人(2009 年)となっている。

乳がん検診の重要性が認識されているにも関わらず、検査法である X 線マンモグラフィの受検率はいまだ十分でない。その主要因として、X 線マンモグラフィを使用する場合、検査時の強い圧迫のため肉体的な苦痛を受けることや、被ばくの観点から使用が制限されていること、偽陽性が高いことなどが挙げられている。一般的に胸を触る自己診断で見つかる乳がんの大きさは平均で直径約 20 mm と言われており、発見時には、43%が直径 21~25 [mm] に達しているという報告もあり、早期の乳がん検知は高い生存率に繋がるため、小さいサイズの腫瘍検知が求められている。

2. 研究の目的

乳がん検診の重要性が認識されているにも関わらず、検査が普及しない状況を打破するため、超短パルスマイクロ波を用いたレーダの検証を進めると共に、本システムで重要な鍵となる広帯域・非分散アンテナの研究を行う。また、信号処理法を工夫することで、表面反射波の抑制を行い、検証モデルの高度化、分解能・検知深さ・検知エリアの拡大による検出確度の向上を図り、リアルタイムかつ視覚的に分かりやすい腫瘍の表示が可能である『女性に優しい安全安心な診断装置の開発』を目指す。

3. 研究の方法

研究目的を達成するため、複数の電磁界解析ソフトウェアを用いた広帯域・非分散アンテナの計算機シミュレーションを行い、周波数特性が広帯域となるアンテナ回路パターン設計・製作・評価を実施する。電磁界解析ソフトウェアを用いて回路パターンのレイアウトを設計して、微細加工技術を用いて試作の製作を行い、ベクトルネットワークアナライザ、パワーメータや送受信ユニットから構成される評価系を用いて、高周波デバイスの周波数特性の評価を実施しアンテナ単体評価の後、システムに実装して検証を重ね、アンテナシステムの最適化を図る。図 1 に計測システムの構成を示す。計測システムの高度化を目指し、周波数フィルタリング処理などの信号処理に加え、取付カバーの工夫により、表面反射波の低減を目指すと共に、ハードウェア・ソフトウェア両面からのアプローチにより、検知深さ・分解能の向上を図る。さらに、検証モデルの高度化を目指し、より現実と近いモデルでの検証を行うと共に、検知エリア・検出確度の向上を目指す。

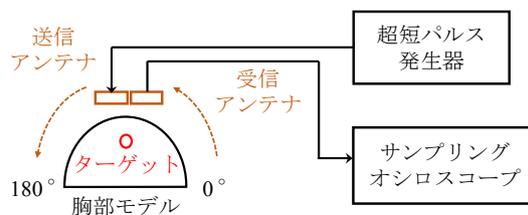


図 1. 計測システムの構成

4. 研究成果

(1) 広帯域・非分散アンテナの計算機シミュレーションおよび、広帯域特性を有する小型・平面アンテナの評価を行った。小型・平面アンテナとして、ボウタイアンテナ（基板サイズ 36×25 [mm]、基板厚み 0.52 mm）および、ビバルディアンテナ（基板サイズ 52×120 [mm]、基板厚み 1.5 mm）について検証を進めた。

図 2 に、ボウタイアンテナを対向に設置した場合の反射損失と挿入損失の測定結果を、図 3 に、同様の評価系において測定した放射パターンの結果を示す。ボウタイアンテナでは、4~13 [GHz] (1 GHz ステップ) において、それぞれ -49.7、-44.4、-37.6、-36.3、-37.9、-37.3、-40.2、-40.3、-44.8、-44.9 [dB] の挿入損失であった。また、中心方向を 0 度とし、-90 度~+90 度における放射パターンの測定を行ったところ、4~13 [GHz] (1 GHz ステップ) において、それぞれ 93、129、58、73、75、64、66、54、53、43 [度] の半値幅であった。以上の性能評価を通じて、広帯域特性を有するボウタイアンテナの有効性を確認した。

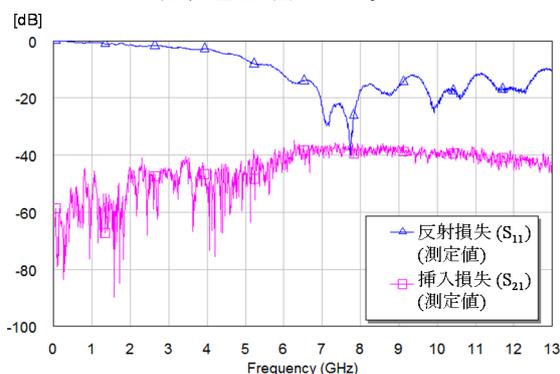


図 2. ボウタイアンテナの反射損失と挿入損失

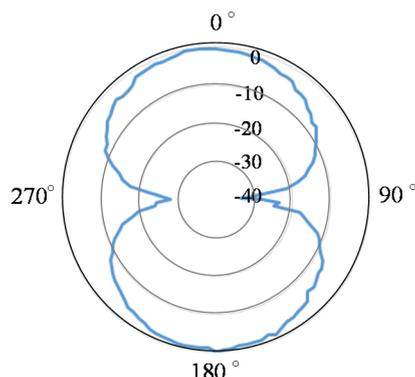


図 3. ボウタイアンテナの放射特性

図4に、ビバルディアンテナの反射損失と挿入損失の測定結果を示す。ビバルディアンテナでは、4~13 [GHz] (1 GHz ステップ) において、それぞれ -34.0、-30.9、-29.4、-27.1、-28.2、-30.6、-33.6、-36.2、-35.7、-38.5 [dB] の挿入損失を実現し、放射パターンの測定では、4~13 [GHz] (1 GHz ステップ) において、それぞれ 70、40、40、30、26、22、20、14、18、14 [度] の半値幅を実現した。以上の性能評価を通じて、広帯域特性を有するビバルディアンテナの有効性を確認した。また、本アンテナの偏波面の違いによる検証を行い、6 GHz において 38.7 dB の差を実現した。

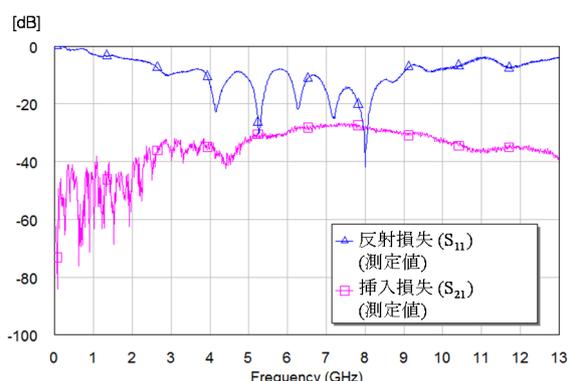


図4. ビバルディアンテナの反射損失と挿入損失

(2) 広帯域・非分散アンテナの広帯域特性の改善を行った。広帯域特性の実現に重要な要素となる小型・平面アンテナの balan 回路において、伝送線路の回路パターンの特徴部分の長さや幅だけでなく、スルーホール サイズや位置の違いによる周波数特性の検証を重ねた。設計したマイクロ波帯の balan の反射損失 (S_{11}) について、ポート長さ L を変更して検証を行った。 $L = 17.5, 19.5, 21.5$ [mm] における -10 dB 帯域幅は、それぞれ、8.89, 9.05, 8.38 [GHz] であった。また、-15 dB 帯域幅は、それぞれ、3.18, 3.08, 5.02 [GHz] であった。以上より、-10 dB 帯域幅では、 $L = 19.5$ mm のときが、-15 dB 帯域幅では、 $L = 21.5$ mm のときが最も良好な特性を実現できていることがわかる。

ポート幅 W を変更したときの反射損失のシミュレーションを行った。 $W = 0.8, 1.0, 1.2$ [mm] における -10 dB 帯域幅は、それぞれ、8.89, 9.02, 9.07 [GHz] であった。また、-15 dB 帯域幅は、それぞれ、3.18, 4.23, 5.03 [GHz] であった。以上より、-10 dB 帯域幅および -15 dB 帯域幅において、 $W = 1.2$ mm のときが最も良好な特性を実現できていることがわかる。

また、高周波回路の基板材料の厚み 0.254 ~ 0.83 [mm]、および、比誘電率 2.2 ~ 6.15 の範囲におけるアンテナの反射特性および放射特性の検証を行った。これら材料のパラ

メータの変更などによる検証を通じて、-10 dB 帯域幅を 8.6 GHz から 11.2 GHz と、2.6 GHz の広帯域化を実現することができた。

(3) 計測システムにおけるサンプリング時に使用するトリガ信号について、伝送線路における反射信号による影響を低減したシステム構成に変更することで、信号レベルを約 2.2 倍に改善することができた。また、本システムにおいて、ログスパイラルアンテナ A (70×75 [mm])、B (37×51 [mm])、C (49×48 [mm])、ビバルディアンテナ A (120×52 [mm])、B (50×30 [mm])、ボウタイアンテナ A (48×34 [mm])、B (36×25 [mm])、C (35×25 [mm])、D (26×19 [mm])、E (77×73 [mm]) を送受信アンテナとした場合の超短パルス信号の透過特性や胸部モデルからの反射波信号の分散特性について検証を行った。アンテナの種類だけでなく、アンテナとモデルとの距離、送受信アンテナの間隔、アンテナからの電波の照射角度の違いによる検証を行い、信号レベルを約 2.8 倍に改善することができた。

(4) 超短パルス計測システムおよび、人体の胸部を模した胸部ファントムを用いて、腫瘍相当のターゲットとして、小型の誘電体をファントム内に挿入し、一定間隔で計測システムを駆動させたときの反射信号の解析を行い、内部画像の再構成に関する実証実験を行った。アンテナの種類だけでなく、アンテナとモデルとの距離、送受信アンテナの間隔、アンテナからの電波の照射角度の違いなどによる検証を行い、計測システムにおけるアンテナシステムの改善および、システムにおける不要な反射波の低減を図り、システム全体のダイナミックレンジの向上を目指した。その結果、ファントムの深さ約 10 mm に挿入した、大きさ 3×3×2.5 [mm] の誘電体の画像を得ることができた。今後は、アンテナシステムの最適化および、解析する周波数の選定、検知エリアの拡大を行い、検知精度の向上を目指す。

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6件)

① D. Kuwahara, N. Ito (他9名, 2番目): “Development of local oscillator integrated antenna array for microwave imaging diagnostics”, Journal of Instrumentation, 査読有, December 2015, Vol. 10, pp. 1-9
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/10/12/C12031/pdf>

② N. Ito (他9名, 1番目): “Development of

a Multi-channel Horn Mixer Array for Microwave Imaging Plasma Diagnostics”, 査読有, Journal of Plasma and Fusion Research: Regular Articles, April 2015, Vol. 10, pp. 3402034_1-4
DOI:10.1585/pfr.10.3402034

③ D. Kuwahara, N. Ito (他 8 名, 2 番目): “Development of Horn Antenna Mixer Array with Internal Local Oscillator Module for Microwave Imaging Diagnostics”, Rev. Sci. Instrum., 査読有, July 2014, 85, 11D805, pp.11D805_1-3
DOI:10.1063/1.4885471

[学会発表] (計 13 件)

① D. Kuwahara, N. Ito (他 8 名, 2 番目): “Development of Local Oscillator Integrated Antenna Array for Electron Cyclotron Emission Imaging Diagnostics”, 58th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, October 31-November 4 2016, San Jose, California, USA

② A. Mase, Y. Kogi, D. Kuwahara, Y. Nagayama, X. Wang, N. Ito (他 3 名, 6 番目): “Application of Radar Reflectometer to Plasmas and Other Fields”, 18th International Congress on Plasma Physics, June 27-July 1 2016, ICPP 2016 Kaohsiung, Taiwan (invited)

③ D. Kuwahara, N. Ito (他 8 名, 2 番目): “Development of a local oscillator integrated antenna array for microwave imaging diagnostics”, 17th International Symposium Laser Aided Plasma Diagnostics, September 27-October 1 2015, Chateraise Gateaux Kingdom Sapporo, Hokkaido, Japan (invited)

④ N. Ito (他 9 名, 1 番目): “Development of a Multi-channel Horn Mixer Array for Microwave Imaging Plasma Diagnostics”, 24th International Toki Conference, November 4-7, 2014, Ceratopia Toki, Toki City, Japan

⑤ D. Kuwahara, N. Ito (他 8 名, 2 番目): “Development of Horn Antenna Mixer Array with Internal Local Oscillator Module for Microwave Imaging Diagnostics”, 20th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics, June 1-5, 2014, Atlanta, Georgia, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 直樹 (ITO, Naoki)
宇部工業高等専門学校・制御情報工学科・
准教授
研究者番号: 50604849

(2) 研究協力者

間瀬 淳 (MASE, Atsushi)
近木 祐一郎 (KOGI, Yuichiro)