

令和 6 年 4 月 28 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K16444

研究課題名（和文）新規マイクロ波乳房画像診断システムによる高精度3次元画像識別機能開発

研究課題名（英文）Development of precision three-dimensional image recognition using a novel microwave breast diagnostic imaging system

研究代表者

笹田 伸介（Sasada, Shinsuke）

広島大学・病院（医）・助教

研究者番号：30711329

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：開発中のマイクロ波乳房イメージングシステムの精度向上のため、アーチファクト除去アルゴリズムを開発した。表面反射シグナル抑制（surface clutter suppression）のための2段階アンテナ回転方式クラッター抑圧技術（two-stage rotational clutter suppression method: TSR法）、動的障害信号除去（motion artifact removal）のための相互相関法（cross-correlation法）を開発した。加えて、装置小型化のためにGMP送受信装置を65ナノメートルCMOS-LSI技術で開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乳癌は日本女性の罹患数1位の癌種で、近年急激に増加しており、女性の9人に1人が罹患する。マンモグラフィ検診により乳癌死亡は減少するが、本邦では検診受診率が40%程度と低い。マンモグラフィは乳房圧迫に伴う痛みと放射線被曝のため受診率が低迷している。本研究で開発するマイクロ波乳房イメージングシステムは、痛みや被曝がない低侵襲かつ安価な画像診断である。本研究では、診断精度向上に向けたアーチファクト除去について一定の成果が得られたが、臨床応用に向けて解決すべき課題が残っている。マイクロ波乳房イメージングシステムのさらなる改良により、乳癌検診率向上と乳癌死亡の減少につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：Microwave breast imaging is expected to be a non-invasive and inexpensive method of breast tumor diagnosis. We developed an artifact removal algorithm to improve the accuracy of the microwave breast imaging system currently under development. Two-stage rotational clutter suppression method (TSR method) for surface reflection signal suppression, and cross-correlation method for motion artifact removal were developed. In addition, we developed a GMP transmitter/receiver using 65-nanometer CMOS-LSI technology to make the device more compact.

研究分野：腫瘍診断

キーワード：乳癌 画像診断 マイクロ波 3次元画像 アーチファクト

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 乳癌は日本女性の罹患数 1 位の癌種で、近年急激に増加しており、2018 年統計予測では罹患数が 86,500 人に達すると予測されている。そのため、早期発見可能な高精度の検診法が望まれている。マンモグラフィ検診は乳癌死亡率を減少させるため、標準的な乳癌検診法として使用されているが、日本の乳癌検診受診率は 40% 程度であり、海外先進国の 70~80% と比較し非常に低い。マンモグラフィは乳房圧迫に伴う疼痛と放射線被曝に対する不安が、検診受診率の低迷につながっている。日本女性は高濃度乳腺が多く、マンモグラフィでは発見困難な乳癌が多いことも大きな課題である。疼痛と放射線被曝がなく、従来の欠点を克服する乳癌検診の新たな画像診断法が求められている。

(2) 乳房内組織（正常乳腺、脂肪組織）および乳癌における誘電率の周波数特性の差を利用した乳房画像装置が検討されており、広島大学ではマイクロ波を用いる携帯型乳房イメージング装置プロトタイプを開発した（図 1,2）。簡易な操作により疼痛と放射線被曝がなく乳房内腫瘍を検出できることが特徴である。本画像装置は、乳房ファントムおよび乳房切除組織において乳房内腫瘍の検出に成功し、人に対する使用の安全性を確認した。

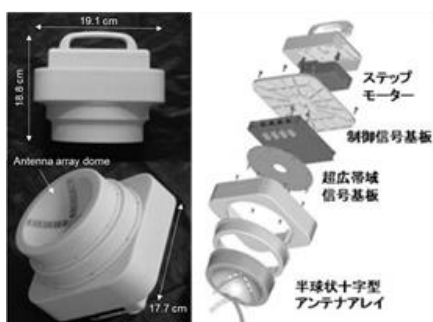


図 1：本研究装置プロトタイプの構造

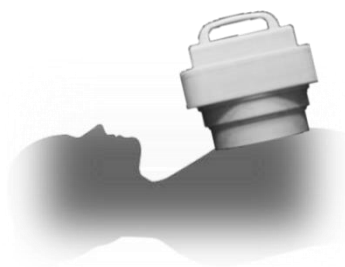


図 2：検査姿勢

2. 研究の目的

開発中のマイクロ波乳房イメージング装置を用いて臨床研究被験者 120 名から得られた臨床データを既存の乳房画像検査データと融合し、空間識別能を改善させることにより乳腺腫瘍の 3 次元形態認識機能を向上させる解析アルゴリズムを作成する。その結果、乳癌検出精度および位置情報識別能が向上し、より臨床に適した乳房画像診断システムの開発を実現する。

3. 研究の方法

(1) 臨床研究データと臨床画像・病理像の照合によるアーチファクト除去への挑戦

乳癌患者 100 名および良性乳腺腫瘍患者 20 名のマイクロ波乳房画像データを取得し、臨床画像データと照合することにより、アーチファクトを特定し、アーチファクト除去アルゴリズムを作成する（図 3）。

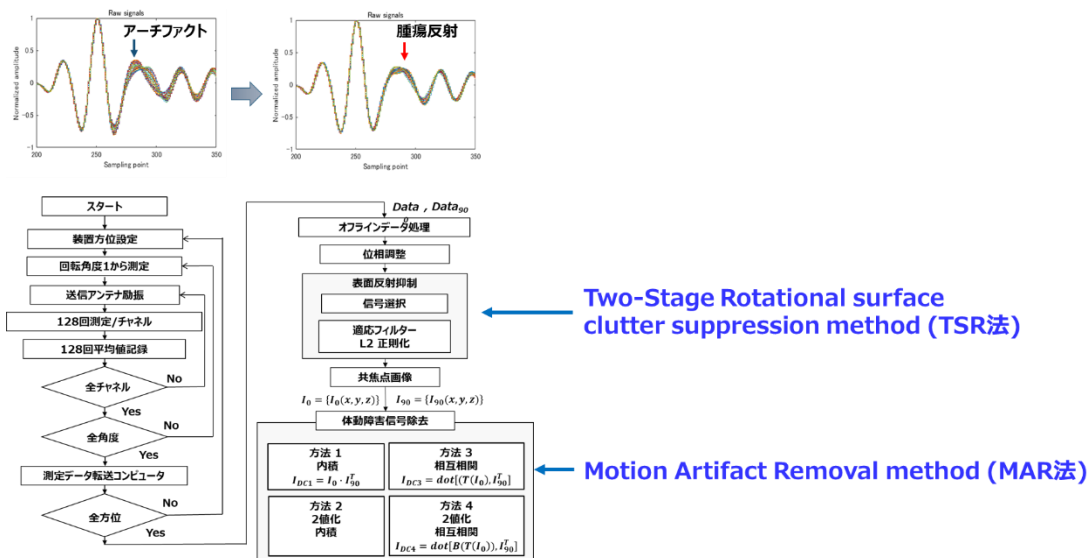


図 3：シグナルの由来とアーチファクト除去の概念

(2) 装置の小型化を目指した CMOS-LSI モジュール開発

CMOS 半導体集積回路技術を用いて、マイクロ波イメージング用に小型ガウシアンモノサイクルパルス (GMP) 送受信装置を開発する。

4. 研究成果

(1) 表面反射シグナル抑制のための 2 段階のアンテナ回転方式クラッター抑圧技術

乳癌検出用レーダー方式マイクロ波イメージング技術の課題は皮膚表面からの反射、アンテナ・皮膚の不完全コンタクト、アンテナ相互干渉などによるクラッター雑音である。マルチスタティックレーダー検出装置における 2 段階のアンテナ回転方式クラッター抑圧技術 (two-stage rotational clutter suppression method [TSR 法]) を開発した。第 1 段階は信号選択技術、第 2 段階は適応フィルタ技術である。本 TSR 技術の新規性は、従来のウィナーフィルタに加えて、事前制約を課す L2 正則化を導入している。アンテナや送受信チャネルのバラツキ変動は第 1 段階の信号選択技術で処理され、異なる表面状態のファントム実験や患者による臨床試験で本方式の評価を実施した結果、表面クラッターを抑圧し、画質を向上できることを実証した (図 4)。

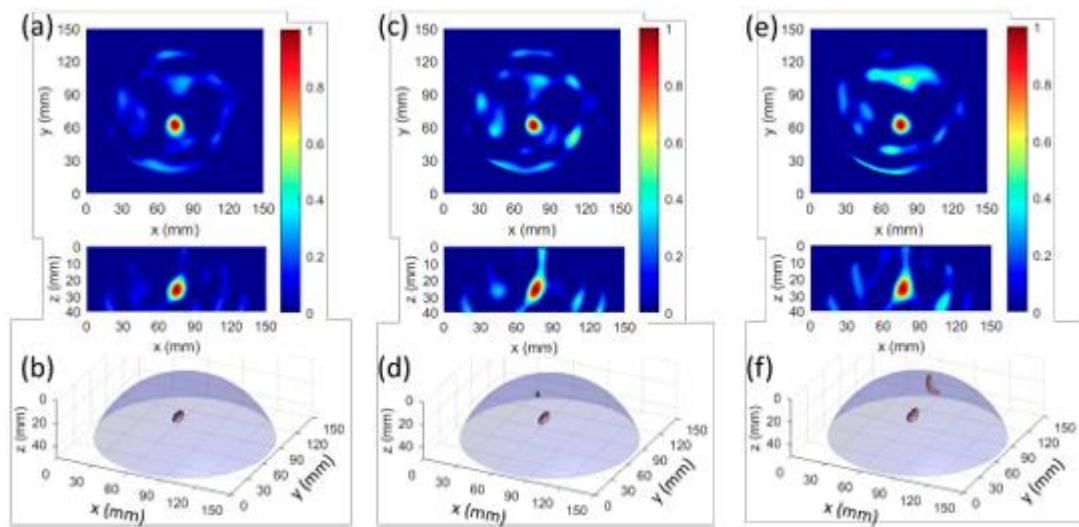


図 4 : アーチファクト除去方法による共焦点画像。(a-b)TSR 法、(c-d)rWF 法、(e-f)rEWF 法。

(2) 動的障害信号除去技術 Motion Artifact Removal method (MAR 法)

マイクロ波イメージング装置で、90° 回転させて 2 回の測定を行う。相互相関後の 2 回のスキャンから共焦点画像データを乗算し、最適な再構成誘電率関数として共焦点画像強度の極大値を抽出する方法を開発した (cross-correlation 法、図 5)。

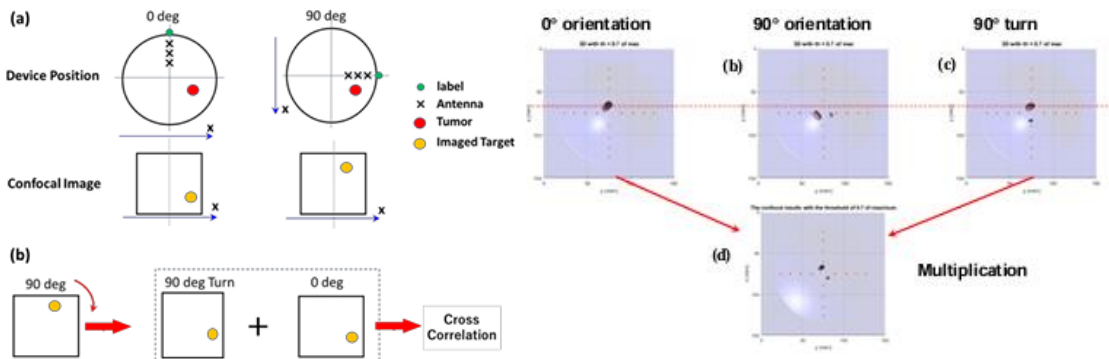


図 5 : Cross-correlation 法の原理

(3) 小型 GMP 送受信装置の開発

マイクロ波イメージング用 GMP 送受信装置を 65 ナノメートル CMOS-LSI 技術で開発した。送信器は GMP インパルス半値幅 192 ピコ秒、周波数帯域 5.9 ギガヘルツ、消費電力 19.79 ミリワットで送信する。受信器は 102.4 ギガサンプル/秒 等価時間サンプリングが可能で、最少ジッ

ター0.58 ピコ秒、入力換算雑音 0.24 ミリボルト、信号雑音比 28.4 デシベル、信号雑音歪比 26.6 デシベル、実効アナログデジタル変換比 4.1 ビット、消費電力 48.87 ミリワットである。この送受信装置は大きさ 1 センチメートルで距離 1 センチメートル離れた 2 個のターゲットを共焦点画像アルゴリズムで分離描画できる。

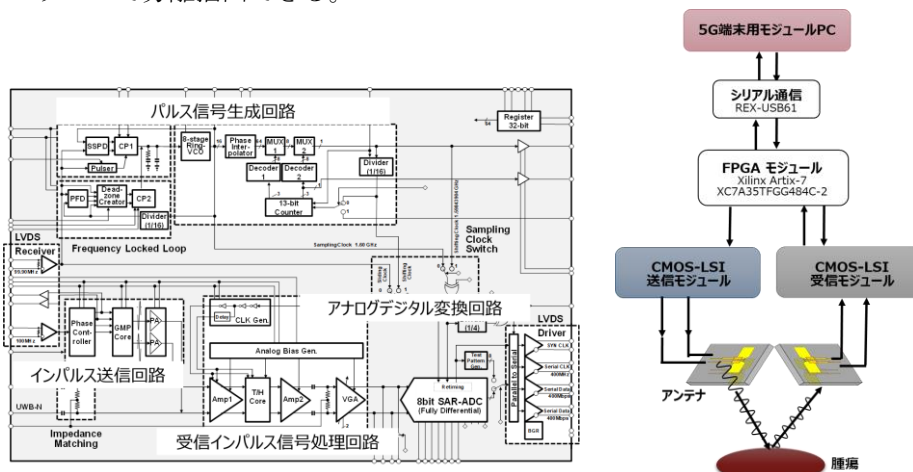


図 6 : 65nm テクノロジーCMOS-LSI 回路

(4) 課題

研究年度終了時において、生体の乳房内多様性におけるアーチファクトの課題が残っている。個別由来シグナルに対するアーチファクト除去に加えて、人工知能を利用したアルゴリズムの開発を進めている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sasada Shinsuke, Masumoto Norio, Song Hang, Emi Akiko, Kadoya Takayuki, Arihiro Koji, Kikkawa Takamaro, Okada Morihito	4. 巻 9
2. 論文標題 Microwave Breast Imaging Using Rotational Bistatic Impulse Radar for the Detection of Breast Cancer: Protocol for a Prospective Diagnostic Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JMIR Research Protocols	6. 最初と最後の頁 e17524 ~ e17524
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2196/17524	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Song Hang, Sasada Shinsuke, Masumoto Norio, Kadoya Takayuki, Okada Morihito, Arihiro Koji, Xia Xia, Kikkawa Takamaro	4. 巻 69
2. 論文標題 A Two-Stage Rotational Surface Clutter Suppression Method for Microwave Breast Imaging With Multistatic Impulse-Radar Detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 9586 ~ 9598
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIM.2020.3004683	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kikkawa Takamaro, Masui Yoshihiro, Toya Akihiro, Ito Hiroyuki, Hirano Takuichi, Maeda Tomoaki, Ono Masahiro, Murasaka Yoshitaka, Imamura Toshifumi, Matsumaru Tsuyoshi, Yamaguchi Michimasa, Sugawara Mitsutoshi, Azhari Afreen, Song Hang, Sasada Shinsuke, Iwata Atsushi	4. 巻 14
2. 論文標題 CMOS Gaussian Monocycle Pulse Transceiver for Radar-Based Microwave Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems	6. 最初と最後の頁 1333 ~ 1345
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TBCAS.2020.3029282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Song H, Sasada S, Kadoya T, Arihiro K, Okada M, Xiao X, Ishikawa T, O'Loughlin D, Takada JI, Kikkawa T	4. 巻 71
2. 論文標題 Cross-Correlation of Confocal Images for Excised Breast Tissues of Total Mastectomy	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 1705 ~ 1716
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TBME.2023.3348480	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hang S, Sasada S, Okada M, Arihiro K, Xiao X, Ishikawa T, Kikkawa T
2. 発表標題 Dot Product of Confocal Images for Portable Radar-Based Microwave Imaging
3. 学会等名 European Conference on Antenna and Propagation 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ma H, Sasada S, Okada M, Kikkawa T, Kidera S
2. 発表標題 Clinical Test of Surface Rejection Method for Microwave Breast Cancer Imaging
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kikkawa T, Song H, Arihiro K, Sasada S	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Jenny Stanford Publishing	5. 総ページ数 396
3. 書名 Biomedical Engineering	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------