

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03274

研究課題名(和文) マイクロ波UWBレーダによる超分解能生体内部画像化法の研究

研究課題名(英文) Research for super-resolution imaging method of microwave ultrawideband biomedical applications

研究代表者

木寺 正平(Kidera, Shouhei)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：00549701

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、マイクロ波UWB(Ultra Wideband)レーダにおける生体医療診断及び治療のための、従来の空間分解能・精度を超える生体内部画像化法を構築することである。独自のレーダ画像化法を内部画像化へ拡張させることで、従来レーダ方式である合成開口処理法では得られない画像化精度を達成させるとともに、トモグラフィ方式を融合させることで、従来の複素誘電率再構成精度を改善させることを示した。またマイクロ波治療においては、より少ない先見的な情報で焼灼範囲をリアルタイムで再構成する手法を構築し、シミュレーション及び実験により、その有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で提案した手法は、独自のRPM法とトモグラフィ法を統合する方法であり、その学術的独創性は高く、その成果は複数の論文誌や国際会議で論文賞を受賞するなど、国内外で高い評価を得ている。また特にマイクロ波による癌診断技術は、既存のX線診断と比較して、安全性・コスト・簡便さなどに優れた高頻度スクリーニング技術として有望であり、実機実験による実証を含めた本課題の成果は、同技術の実用化に向けての重要な進展を得もたらすと予測する。今後は、レーダ方式とトモグラフィ方式の統合に関する検討を実機実験及び臨床データにより確認していくことが重要である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop an innovative internal imaging method for biomedical diagnosis and treatment in microwave UWB (Ultra Wideband) radar, which would overcome the conventional limitation of spatial resolution and accuracy. By extending the original radar imaging method RPM (range points migration) method to internal imaging, it is possible to achieve the imaging accuracy that cannot be obtained by the conventional synthetic aperture processing method, and by combining the tomography method, it has been demonstrated that a reconstruction performance of complex permittivity map would be greatly improved. In addition, in microwave cancer treatment, we introduced a method to reconstruct the ablation zone in real time with less a prior information, and confirmed its effectiveness through simulations and experiments.

研究分野：計測工学

キーワード：マイクロ波画像診断 レーダ信号処理 逆問題解析 マイクロ波がん治療 画像化 複素誘電率

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マイクロ波帯の UWB (超広帯域) レーダは、医療画像診断において、既存技術における問題点 (超音波: 接触計測が必要, X 線: 放射線曝露, MRI: 大規模な装置・電磁シールドが必要, テラヘルツ波: 到達深度: 数 mm 程度) を解決する技術として注目を集め、安全・コンパクトかつ高頻度での生体内部スクリーニング技術として有望である。

特に既存の乳癌診断技術である X 線 Mammography では、被曝及び乳房が強く圧迫される等の身体的負担が大きく、罹患率はトップであるにも関わらず、受診率は 10~20% 程度に留まる。また癌細胞の初期状態 (石灰化) を発見することが難しいなどの問題点があり、誤検出確率は 50%~70% と高い。一方、マイクロ UWB 電磁波は、被曝等の身体的負担が無く、内部透過信号から癌細胞の散乱周波数特性や誘電率・導電率等の特徴量を定量的に抽出することが可能であり、特に初期乳癌 (石灰化) の検出精度の向上が見込まれる。

既にマイクロ波レーダによる生体内画像化に関する研究は、国内外の多数の研究機関に実施されている。しかし、同研究は主にアンテナ・計測装置設計に基づくものが多く、散乱データ処理においては、既存の合成開口処理 (SAR) 法が用いられている。しかし、SAR やその派生処理法は「波形積分の原理」に基づくため、高分解能 3 次元イメージングを実現するには、膨大な計算量を要し、空間分解能は高々 30mm 程度 (2GHz 帯域の場合) であった。またレーダでは対象の誘電率の情報を抽出できないため、特に高い誘電率を有する組織とがん細胞等を識別することが困難であった。またレーダ画像化においては、乳房表面からの卓越した反射波を抑圧する必要があり、特に反射波が変動する場合においてはその抑圧が困難であるという問題があった。

2. 研究の目的

上記の問題に対して、本研究では、まずレーダ画像化の性能を保持するために独自の Envelope 法に基づく乳房表面推定と表面反射波モデルを用いた不要波抑圧法を導入する。更に独自のレーダ画像化法である RPM 法 (Range Points Migration 法) を生体特有の不均質・周波数分散性媒質に適合させ、画像化精度及び分解能を向上させる。またトモグラフィ方式を導入し、レーダ画像との統合を図ることで、対象の複素誘電率分布を高精度に推定する方法を導入することで、がん細胞検出やテラヘルツ波による表層内部画像化または、マイクロ波によるがん焼灼治療技術における生体内部画像化技術を確立し、電磁波による生体内部画像化における従来の性能を飛躍的に改善することを目的とする。実際の被験者の MRI 画像を基にした電磁界解析及び生体ファントム実験により、同手法の実用性能を検証し、完成度を高める。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するため、本研究期間では以下の課題を解決し、その有用性を検証する。

(1) 【RPM 法の内部画像化の拡張と高速化及び不要波抑圧】

独自のレーダ画像化である RPM 法を内部画像化へ拡張する。同拡張においては、計算時間が膨大になるという問題があるため、精度を保持しながら高速化する手法を検討する。また、体表面 (皮膚) からの反射波は、内部組織の反射強度に比べてきわめて大きいため、同表面反射波を最小限にまで抑圧する必要がある。本課題では、体表面とセンサの相互結合を考慮した表面波モデルを導入し、抑圧性能を高める方法を検討する。

(2) 【RPM 法とトモグラフィ方式の統合】

複素誘電率を再構成するトモグラフィ法は、癌組織の識別等に有用である。一方で、不良設定逆問題を説く必要があるため、精度を保持させるには対象とする未知数を削減する必要がある。同問題に対して、レーダ手法である RPM 法を導入する。まずは RPM 法を内部画像化へ拡張させ、その基本原理を確立した後に、トモグラフィ方式と統合する。

(3) 【マイクロ波アブレーションによるがん細胞組織焼灼領域画像化】

生体組織は導電率が高いため、マイクロ波のエネルギーを熱として吸収する。このため、プローブを用いてがん細胞が存在する領域にマイクロ波を照射することで、同領域を焼灼し、がん細胞を死滅させることができる。本研究課題では正常細胞の焼灼を回避するために、同アブレーション領域をリアルタイムで画像化する方法を提案する。

4. 研究成果

以下に各課題についての詳細を述べる

(1) 【RPM 法の内部画像化の拡張と高速化及び不要波抑圧】

RPM 法を誘電体内部への画像化へ拡張した。同拡張では、背景媒質が既知という仮定の下、幾何光学近似及び FDTD 法に基づく伝播経路推定を導入することで癌組織等の対象目標境界を高精度に推定させる手法を提案した。FDTD 法での伝播経路推定は高精度であるものの、計算時間が膨大となる。このため、幾何光学近似を導入し、また生体表面形状推定を Envelope 法という独自の手法を用い、またその特性を利用することで、表面形状と内部画像化の精度を保持しつつ、500 倍の高速化を実現させることに成功した。これは単純な形状モデル (円筒上のファントム) において実験データにより、その有効性を示している。

また、RPM 法と Envelope 法による表面形状推定と、トモグラフィ法である DBIM

(Distorted Born Iterative Method)を統合させることにより、完全非接触な状況で乳房表面の高精度計測と、乳房内部の複素誘電率値の再構成の高精度化を実施し、精緻な乳房モデルによる数値計算解析により、その有効性を示した。

DBIM 法における解析領域を高精度に決定するため、予め表面形状を推定する必要がある。一般に送受信素子と乳房表面の皮膚組織は数 cm 程度近接して配置されているため、生体組織と送受信素子の相互結合(カップリング)による影響から、表面反射波の変動が無視できないため、形状推定精度が劣化する。本課題では報告者が独自に開発してきた Envelope 法と呼ばれる手法を用いて、高精度に乳房形状を推定する方法を導入した。同手法ではまず、適当な参照波形での距離推定から Envelope 法により乳房境界を得る。同境界情報と一般的な乳房の誘電率を用いた均質媒質を仮定した FDTD 法により、反射波形を推定する。同波形と観測波形の相互相関処理により、距離誤差を補正する。同処理を数回繰り返すことで乳房形状を更新する。図 1 に波形補正なしとありの場合の形状推定結果を初期値とした DBIM 法による再構成結果を示す。同図より波形補正なしでは、形状推定が図 1 に示す真の形状と異なり、DBIM の結果がよくない。これに対して、波形補正 2 度を実施した場合、その形状推定精度は RMSE 1mm 以内と高精度になり、これによって DBIM の推定精度も改善していることがわかる。

また、内部画像化においては特に生体表面(皮膚組織)からの表面反射波を効果的に抑圧する必要がある。上記の手法では FDTD により波形を推定したが、同計算には多大な時間が必要となる。同問題を解決するため、部分微分モデルを用いた反射波形再構成モデルを構築した。図 2 は、乳房内に 2mm 四方の癌組織を配置した場合の各アンテナ(縦軸:観測角度)における時間応答である。同図より、皮膚表面からの反射波が卓越し、がん細胞の応答に干渉することがわかる。また従来の単純な平均処理での波形モデルでは、相互結合による波形変動による残差応答があることがわかる。一方、提案法では、癌の応答を保持しながら、表面波を最小限まで抑圧することができる。定量評価として、抑圧比である PPRP(Peak-to-peak response ratio)は従来法が -30dB に対して、提案法は -42dB と 10dB 以上の抑圧性能の改善を得ることが可能となった。また同手法の処理時間は 1 秒程度であり、従来に比べて飛躍的な高速化が可能となった。

(2)【RPM 法とトモグラフィ方式の統合】

従来のトモグラフィ方式では、未知数を全ての解析領域(ROI)に割り当てる必要があるため、データ数が少ない状況の場合は、不良設定問題となり、精度を保持することができない。このため、本課題では RPM 法や合成開口処理などのレーダ方式により、事前に ROI を絞り込むことでトモグラフィ方式での誘電率再現精度を高める方法を検討した。ここでは DBIM 法に基づき、RPM 法をレーダ画像化とする。ここでは RPM 法により初期 ROI を求め、同 ROI を DBIM 法のコスト関数を最小化するように、DBIM の各更新において反復改良する。図 3 に簡易な計算モデルにおける各手法の結果を示す。背景媒質の大きさは 200mm × 200mm 以上であり、未知数は ROI 制限無しの場合 40000 程度である。一方、RPM 法による初期 ROI 推定により、未知数は 370 程度まで削減できる。更に、初期 ROI からコスト関数に基づき ROI を更新することにより、本来の ROI 及び誘電率分布に近づくことがわか

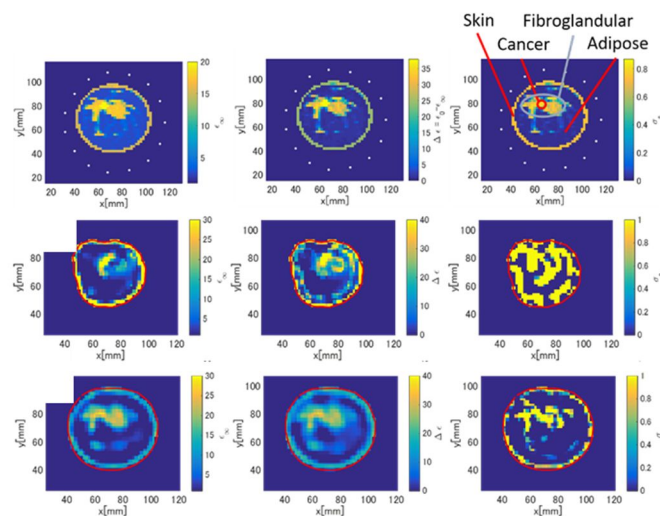


図 1: 波形補正のありなしによる表面形状推定精度と DBIM による再構成結果(左:比誘電率(周波数:無限)中央: ϵ' (ゼロから無限周波数までの誘電率差、右:導電率),上段:真値,中段:波形補正なし、下段:波形補正あり)

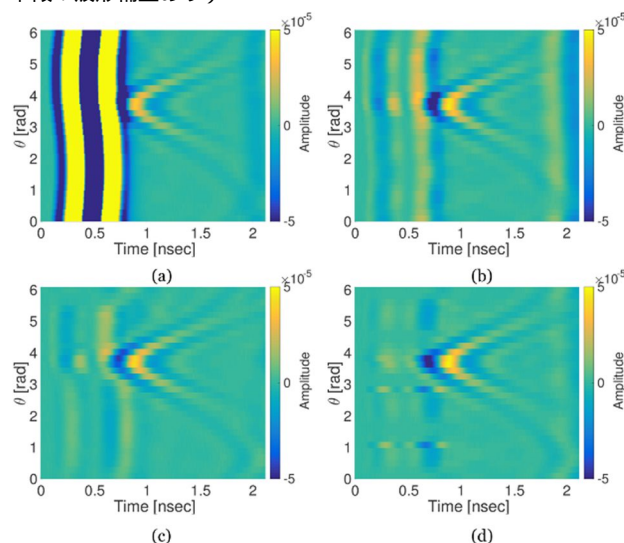


図 2: 各手法における表面反射波抑圧の結果(左上:抑圧前,右上:平均波形による抑圧、左下:代表的な従来法、右下:提案法)

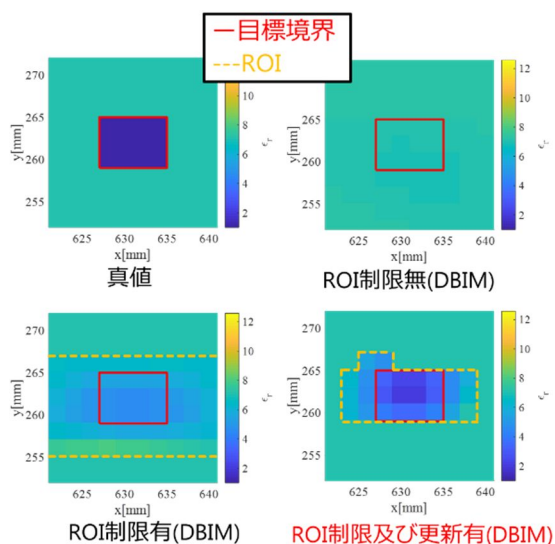


図 3: 各手法における誘電率再構成結果(左上:真値,右上: DBIM(ROI 制限なし),左下: DBIM(ROI 制限あり、更新無し),右下: DBIM(ROI 制限あり、更新あり)

る。同手法により、対象の複素誘電率と空間的分布の二つの重要な情報を反復改良により高精度に抽出できることが示された。同手法はこれまでのアプローチにない独創的なものであり、その成果は重要なインパクトを与えると考えられる。

また、トモグラフィ方式において重要な課題のひとつとして、分解能(解像度)がある。レーダ方式の分解能は波長と周波数帯域幅で決定されるが、トモグラフィ方式の場合は未知数の数で決定される。すなわち高い解像度での情報を得るには相当の未知数を与える必要になるが、データ数が少ない場合は所望の精度を得ることができない。同問題を解決するためには、ROIの中から背景媒質に近似できる組織をのぞくことが重要である。特に脂肪組織は、皮膚や癌組織に比べて複素誘電率が有意に小さいため、同脂肪組織を背景媒質に組み込む。具体的には、第一段階においては低解像度のDBIM法により得られる画像より、複素誘電率が低い部分を抽出し、脂肪組織とみなし、ROIから除外する。その後、ROIが削減された高解像度のDBIM法を適用し、複素誘電率が高い箇所を高分解能で画像化させる。

図4に、従来法及び提案法のROI推定と再構成結果を示す。提案法ではDBIMの初期解像度を1mmと設定する。同図より初期ROIでは本来の乳腺等の領域にROIを割り当てることができていることがわかる。また、従来法では特に ϵ において、乳腺領域等で有意に高い値を確認できないが、提案法では脂肪と乳腺領域を凡そ正しく推定することができる。表1に相対誤差10%以内に収まる累積確率を示す。提案法は従来法に比べて、すべてのパラメータで大きな改善度を得られることがわかる。

(3)【マイクロ波アブレーションによるがん細胞組織焼灼領域画像化】

マイクロ波アブレーションにおけるリアルタイム画像化法として、既に比誘電率(複素誘電率の実部)の低下と焼灼前後の到来時間差を利用した手法を提案していた。しかし、温度が低く誘電率低下が顕著でない場合には、その精度が劣化することが確認されていた。このため、新たに複素誘電率の虚数成分変化も考慮した波形再構成に基づく領域推定法を提案し、2次元及び3次元数値解析シミュレーションにより、1秒以内で1mm以内の推定精度で焼灼領域を推定する手法を確立した(図5)。一方、本手法では、焼灼前後の平均的な複素誘電率値が必要である。一方、同電離土は個人差によるばらつきが無視できないため、S11データを利用した複素誘電率推定法と統合した。アブレーション治療用に設計されたプローブをがん細胞に挿入し、乳房の周囲に複数の受信素子を配置する。送信プローブにおいてS11データを取得する。実際のデータ取得においてはVNA(ベクトルネットワークアナライザ)を利用するために、送信プローブでのS11は受信素子でのS12データと同時に取得することができるため、S11を得るためのハードウェア的改変は不要である。上記の数値計算による性能検証により、**焼灼前後の誘電率及び導電率は約2%以内の推定精度**で推定が可能であることがわかった。また同推定値を用いた焼灼領域推定像が図7下であり、真値を用いた結果に比べて大きな推定精度の劣化はみられないことがわかる。同成果は、アブレーション領域の複素誘電率を逐次推定しながら、アブレーション領域を決定することができるため、実用化に向けて非常に重要な成果である。

実験的検討: また、図6に示す、アブレーション装置と簡易な乳房モデルを用いた実験的検討により、同手法の有効性を検証した。アブレーションプローブとして、同軸スロットアンテナを用いる。ファントムとして半球状のPETカップに乳房組織の平均的な誘電率を有する組織を模擬した、誘電率の異なる2つの半固体のファントムを用意する。

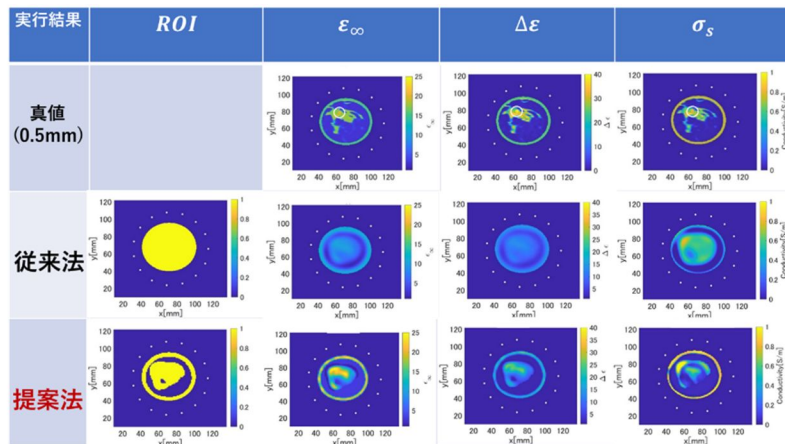


図4: DBIM法による再構成結果 (ROI制限ありとなしの比較) ϵ_{∞} : 無限大周波数での比誘電率, $\Delta\epsilon$: ゼロと無限大周波数の比誘電率の差, σ_s : 導電率

従来法と提案法の比較		相対誤差10%以内に収まる累積誤差確率			
	計算時間	未知数	ϵ_{∞}	$\Delta\epsilon$	σ_s
従来法	約32時間	10735	12.5%	1.46%	27.7%
提案法	約15時間	6848	38.1%	34.8%	44.1%

表1: 各手法(従来法ROI制限なし、提案法ROI制限あり)の計算時間及び精度比較

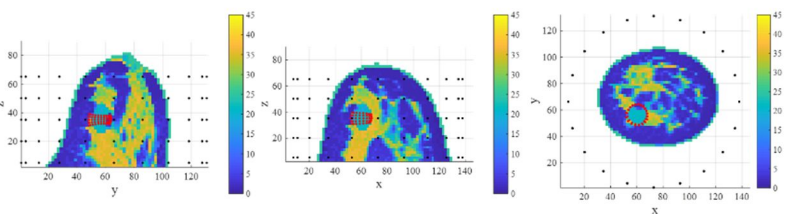


図5: 3次元乳房ファントムにおけるアブレーション領域推定結果(赤点)

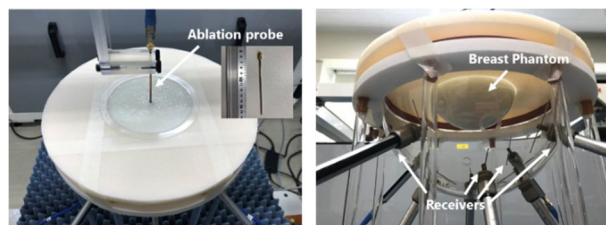


図6: 実験装置と乳房ファントム

ファントムの下部で、8素子の受信素子を配置し、同素子で取得されたデータにより、半球状のPETの形状を推定する。図7に推定結果を示す。同図より、半球の形状をほぼ正確に推定できていることが確認される。誤差のRMSEは約2mm程度であり、高精度な推定が実現されている。また推定に要する時間は100msec程度であり、実験においてモリアルタイム性を確認することが可能となった。

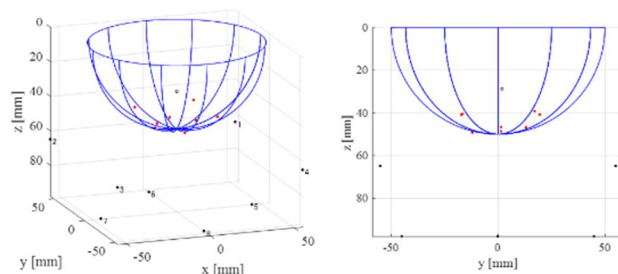


図7：実験データによるアブレーション推定結果（赤点）

逆散乱解析法の導入：上記の手法ではアブレーション前後のプロープ付近の誘電率変化が空間的に一様であることを仮定しているが、実際にはプロープ付近では高温であり、周囲は低温であるため、複素誘電率分布は一様ではない。より先見の情報が少なく、かつ不均質なアブレーション分布も再現できる手法として逆散乱解析法を統合した方法を提案した。

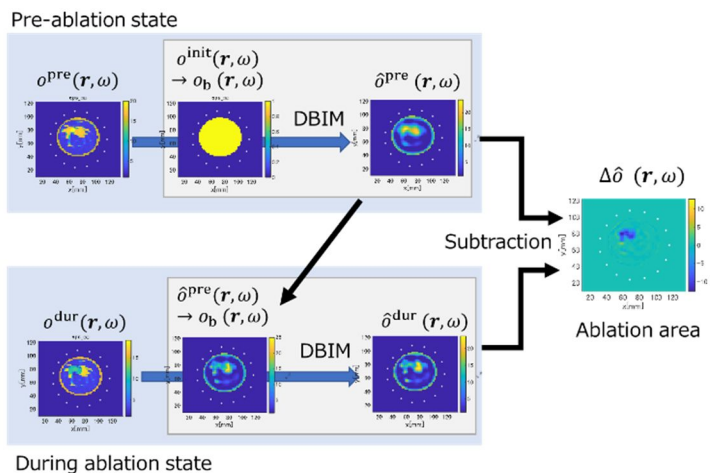


図8：アブレーション前推定値を初期値としたアブレーション領域誘電率分布推定の原理

本課題では、まず均質な背景媒質を想定し、アブレーション前の誘電率分布をDBIMで再構成する。同分布を初期背景媒質と設定して、アブレーション中の分布をDBIMで再構成する、同差分から焼灼領域を推定する。初期分布においてアブレーション前の分布を利用することで、収束速度及び精度を高める。図8にその原理図を示す。更に、整合フィルタ処理により雑音耐性を高める。

アブレーション前の推定におけるDBIMでの初期値は均質媒質とし、順問題解析はFDTD法、更新則は共役勾配法を用いる。白色性ガウス雑音を仮定する。図9にSNR=30dBにおける、従来法と提案法の再構成結果を示す。更新回数は10回で、推定時間は1分程度である。同図より、提案法は本来のアブレーション領域の誘電率分布を高い精度で再構成していることがわかる。また、SNR=10dBにおいて、整合フィルタの有無による推定結果を表2にまとめる。同結果より、整合フィルタにより、低SNRにおいても、高SNRと同等の再現精度が保持されていることがわかる。

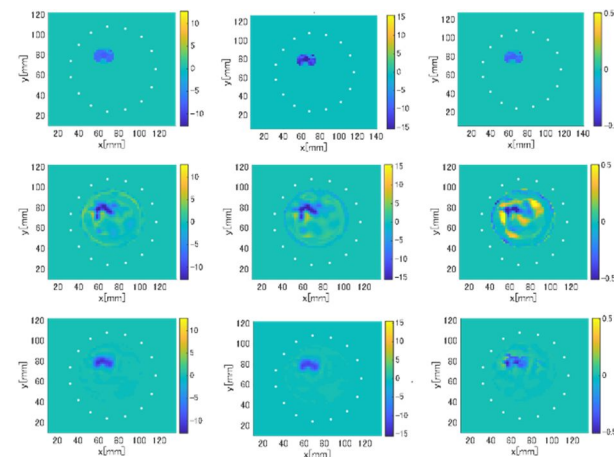


図9：DBIMによる再構成結果(上段：真の分布，中段：従来法，下段：提案法)

成果のまとめと今後の展開

本課題は、マイクロ波を用いた高分解能生体内部画像化に関する課題であり、特に医療応用としてのがん診断及び治療におけるマイクロ波センサの有用性を実証するものである。独自のレーザ画像化法とトモグラフィ方式を融合させる試みは世界的にも例がほとんどなく、その学術的独自性・新規性は高く、複数の論文誌や国際会議で論文賞を受賞するなど、国内外で高い学術的な評価を得ている。また実機実験による検証から、マイクロ波による癌診断への実用化に向けての重要な進展を得ることができ、社会的に極めて重要な課題の解決に向けて、大きな貢献をなすものとする。今後は、医療機関等と連携し、臨床試験データなどを用いて、本課題で提案する手法の検証を実施し、実用化に向けての取り組みを更に進めていくことが重要である。

		ϵ_{∞}	$\Delta\epsilon$	σ	誤差のRMSE
整合フィルタ		誤差 ≤ 2	誤差 ≤ 2	誤差 ≤ 0.1	
なし	従来法	44.4%	30.1%	43.5%	5.171912
	提案法	64.8%	56.7%	52.5%	2.622221
あり	従来法	49.9%	42.2%	40.8%	3.010399
	提案法	92.2%	92.0%	66.9%	1.616284

表2：整合フィルタ有り無しでの再構成精度(SNR=10dB, Class 3)

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 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuki Noritake and Shouhei Kidera	4. 巻 18
2. 論文標題 Boundary Extraction Enhanced Distorted Born Iterative Method for Microwave Mammography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters	6. 最初と最後の頁 776-770
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LAWP.2019.2902351	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 Shouhei Kidera, Luz Maria Neira, Barry D. Van Veen and Susan C. Hagness	4. 巻 11
2. 論文標題 TDOA-Based Microwave Imaging Algorithm for Real-Time Microwave Ablation Monitoring	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Microwave and Wireless Technologies, Cambridge University Press.	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S1759078717001258	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kazuki Noritake and Shouhei Kidera	4. 巻 E102-C
2. 論文標題 Surface Clutter Suppression with FDTD Recovery Signal for Microwave UWB Mammography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Electron	6. 最初と最後の頁 26-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1587/transele.2019ECS6006	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 Shuto Takahashi and Shouhei Kidera	4. 巻 17-4
2. 論文標題 Acceleration of Range Points Migration Based Microwave Imaging for Non-destructive Testing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters	6. 最初と最後の頁 702-705
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LAWP.2018.2812862	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22件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Kazuki Kanazawa and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Waveform Matching Based Real-time Ablation Monitoring for Microwave Breast Cancer Ablation
3. 学会等名 2018 12th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Noritake and Shouhei Kidera
2. 発表標題 Boundary Extraction Enhanced Inverse Scattering Method for Microwave Mammography
3. 学会等名 2018 12th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouhei Kidera and Kazuki Noritake
2. 発表標題 Accuracy Enhanced Distorted Born Iterative Method with Envelope Based Boundary Extraction for Microwave Mammography
3. 学会等名 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤 和輝, 木寺 正平
2. 発表標題 マイクロ波乳癌アブレーションのための3次元高精度リアルタイム画像化法
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会, C-2-78
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 則武 和輝, 木寺 正平
2. 発表標題 マイクロ波マンモグラフィのための境界抽出法と逆散乱解析法の融合の 3 次元拡張
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会, C-2-77
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤和輝, 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波乳癌アブレーションのためのリアルタイム画像化と複素誘電率推定の統合
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, C-2-65
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouhei Kidera, and Kazuki Noritake,
2. 発表標題 Boundary Extraction Based Imaging Method by Incorporating FDTD Based Wavefront Analysis for Microwave Mammography
3. 学会等名 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2017), (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuto Takahashi and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Acceleration of RPM-Based Microwave Imaging for Non-Destructive Testing
3. 学会等名 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2017), (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuo Takatori and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Permittivity Imaging Method by Incorporating Range Points Migration and Ellipsometry for UWB Short Range Radar
3. 学会等名 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shouhei Kidera and Shuto Takahashi,
2. 発表標題 Accurate Boundary Extraction Method by Range Points Migration for Microwave Non-destructive Monitoring
3. 学会等名 2017 Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2017), (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鷹取龍緒, 黄勇, 工藤高裕, 木寺正平
2. 発表標題 UWB近距離レーダのためのRPM法とエリプソメトリ法の融合による非接触誘電率推定法
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 則武 和輝 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波マンモグラフィのための境界抽出法と逆散乱解析法の融合
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤 和輝 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波乳癌アブレーションのための波形再構成に基づく高精度リアルタイム画像化法
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Sato and S. Kidera,
2. 発表標題 Multi-frequency Integration Algorithm of Contrast Source Inversion Method for Microwave Breast Tumor Detection
3. 学会等名 41st IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference 2019 (IEEE EMBC 2019), Berlin, Germany, July, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Noritake and S. Kidera,
2. 発表標題 Three-dimensional Distorted Born Iterative Method Enhanced by Breast Boundary Extraction for Microwave Mammography
3. 学会等名 41st IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference 2019 (IEEE EMBC 2019), Berlin, Germany, July, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kanazawa and S. Kidera,
2. 発表標題 Experimental Validation for Microwave Based Real-time Monitoring for Microwave Ablation Treatment
3. 学会等名 41st IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference 2019 (IEEE EMBC 2019), Berlin, Germany, July, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Umita Hirose and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Breast Tumor Characterization with Raw Data Based Machine Learning for Microwave Ultra-wideband Mammography"
3. 学会等名 Proc. of 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2019), Xian, China, Oct., 2019.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石ゆり子,木寺正平
2. 発表標題 逆散乱解析法を用いたマイクロ波アブレーション画像化法
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2-68, 広島大学, March. 2020.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤宏樹,木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波マンモグラフィのための周波数統合型CSI法を用いた複素誘電率再構成法
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2-69, 広島大学, March. 2020.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 宏樹, 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波マンモグラフィのためのROI制約付きCSI法を用いた複素誘電率再構成法
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, CS-2-5, 大阪大学, Sep. 2019.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣瀬 海太, 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波マンモグラフィのためのレーダデータ学習に基づく癌細胞識別
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, CS-2-4, 大阪大学, Sep. 2019.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuto Takahashi and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Incorporation Algorithm with RPM and DBIM in Bayesian Framework for Microwave Non-destructive Testing
3. 学会等名 2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC 2019), New Delhi, India from March, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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