

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02161

研究課題名(和文) レーダとトモグラフィを融合させた多角的電磁波画像解析の研究

研究課題名(英文) Research for multi-functional electromagnetic imaging method by integrating radar and tomography

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・教授

研究者番号：00549701

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本課題ではマイクロ波による内部構造解析のための画像化手法として、レーダ方式とトモグラフィ方式を双方向に統合した画像解析法を構築した。特に生体組織や地中構造等で想定される不均質な背景媒質におけるレーダ画像化において、トモグラフィ法によるグリーン関数推定および不要応答抑圧を導入することで、従来のレーダ画像の問題点を本質的に改善した。更にレーダ画像で推定された目標領域に対してトモグラフィ法を適用することで、不良設定性を大幅に緩和し、複素誘電率推定制度を改善させた。同手法の有効性を道路非破壊計測モデルおよび乳がん診断モデルの両方において、数値解析および実験データにより検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で構築されたレーダとトモグラフィの双方向融合による複素誘電率イメージング技術は、当該分野における実例が殆どない。また深層学習に基づく校正法を導入することで、これまで実環境下では抽出が難しかった複素誘電率を直接的に推定することを実証したのは、特筆すべき成果である。さらに同技術を社会的に重要な、道路・橋梁等の内部非破壊計測技術や乳がん診断を目的としたマイクロ波医療診断応用において、その有効性が実証されたことも重要な成果である。本成果を基盤として、本手法の完成度をさらに高めるとともに、同技術の実用展開を見据えて、より大規模な問題を効率的に解く技術を開発していくことが重要である。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have developed a new image analysis method for microwave structural imaging method that integrates radar and tomography methods in a bidirectional manner. In particular, the introduction of Green's function estimation and clutter suppression by the tomography method essentially improves the problems of conventional radar imaging in heterogeneous background media, such as biological tissue and underground structures. Furthermore, by assigning unknowns only to the target area estimated by radar imagery, the ill-posed condition of the tomography method is greatly mitigated, and the complex permittivity estimation system is improved. The effectiveness of the method was verified by numerical analysis and experimental data on both a road non-destructive measurement model and a breast cancer diagnosis model, and it was demonstrated that the method can extract complex permittivity information, which has been difficult so far.

研究分野：計測工学

キーワード：マイクロ波イメージング 複素誘電率イメージング レーダ画像化 逆散乱解析 電磁波伝搬 乳癌診断 道路非破壊診断 信号処理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

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・ミリ波・テラヘルツ波等の電磁波によるセンシング技術は、数十 cm から数 mm 程度の内部透過特性を有するため、「トンネル・高速道路等の交通インフラの大規模かつ迅速な非破壊計測（空洞・腐食・液状化探知）」、「癌組織の誘電特性を利用した医療画像診断」、「空港・鉄道セキュリティゲートにおける危険物（薬物・銃器等）探知」及び「テラヘルツ分光解析を統合した各種の非破壊計測及び電気・化学成分分析」等の幅広い応用に有望である。同応用を想定した画像解析法として多種多様な方法が既に提案されているが、それらは、レーダ方式とトモグラフィ方式のどちらか一方のみの方式に基づいている。

従来の代表的なレーダ画像化法である合成開口 (Synthetic Aperture: SA) 処理は、素子走査とコヒーレント積分処理により空間分解能を高めることができるが、位相不確定性による虚像が発生し、空間分解能は波長と開口面積で制限され (図 1 上)、各種応用で想定される目標 (空洞・癌組織等) の形状やサイズを高精度に識別することが困難であった。これに対して、申請者らは、独自のレーダ画像解析法「RPM(Range Points Migration)法」を提案し、「統計的密度推定に基づく距離点群写像」という従来とは全く異なる画像化原理により、高速かつ、1/100 波長程度の画像化精度を実現することを実証してきた。

一方、RPM 法を含むレーダ方式では、目標の複素誘電率の分布を定量的に評価することができない。癌組織や空洞・鉄筋腐食等は、その複素誘電率が背景媒質に比べて有意に高く、同データベースから、上記目標を識別するためには、複素誘電率の空間分布を高精度に再構成することが不可欠となる。複素誘電率再構成法として、トモグラフィ方式がある。同方式では、Maxwell 方程式から導出される領域積分方程式における逆問題を散乱電界より解く (逆散乱問題とも呼ばれる)。同方式においては、既に様々な手法が構築されているが、現実的な問題設定・観測モデルにおいて精度を保持することが非常に難しい、という問題があった。その主要な要因が、観測されるデータ数が未知数 (画像ピクセル数) に対して極めて少ないという不良設定性にある。特に 3 次元問題かつ大規模な領域を画像化する場合、一定の空間分解能を保持するためには未知数が膨大となり (未知数とデータ数の比が 100 ~ 1000 以上) となり、有意な結果を得ることが極めて難しかった。

2. 研究の目的

上記の背景において、本課題ではレーダ方式とトモグラフィ方式を統合することで、厳しい制約条件の下で観測されたデータから、従来の複素誘電率再構成法の精度や分解能を超える手法を確立することを目的とする。まず独自のレーダ方式である RPM 法とトモグラフィ方式を融合し、各方式の問題点を相補的に解決する画像解析法を確立する。これにより今まで抽出が難しかった、対象内部の複素誘電率分布を高精度に再構成することで、各種のセンシング応用において革新的なイメージング技術を構築する。特に以下に示す、社会的重要な高い 2 つの応用課題を想定し、上記基盤研究に基づくアプローチにより、各応用でブレークスルーをもたらすセンシング技術を実現させる。

課題 「コンクリート内部空洞・腐食識別のための多元的非破壊イメージング」

課題 「乳がん検知等を想定した医療画像診断法」

3. 研究の方法

以下に、各課題におけるアプローチを述べる。

課題 「コンクリート内部空洞・腐食識別のための多元的非破壊イメージング」

日本におけるトンネル総長は、鉄道トンネル：2300km 以上、道路トンネル：4100km 以上に及び、高速道路などはその数十倍もの長さがある。その大部分は高度成長期に急速に建設が進められ、近年老朽化や地震等によるトンネル天板崩落、橋梁崩壊、道路陥没等の危険性が非常に高まっている。このため、道路等の内部を迅速かつ高い欠陥識別率でスクリーニングできる技術が待望されている。従来の打音検査や超音波計測は接触計測が必要であり、大規模な領域を隈なく検査することは困難である。またレーザ計測では表面剥離等のみが検出可能であり、コンクリート内深部の空洞、土砂化及び鉄筋腐食等を判別することはできない。一方、マイクロ波による非破壊検査は、空間減衰が無視できるため、数 m 離れたところからの非接触計測を可能にし、かつ低周波側 (1-3GHz) 程度のマイクロ波であれば、コンクリート内部で 50cm から 1m 程度の到達深度を実現できるため、送受信モジュールを車両に搭載し、道路やトンネル内部で走行させながら散乱データを取得することで、大規模な領域を短時

間でモニタリングすることが可能である。

従来のマイクロ波探査では、レーダ方式が主流であるが、複素誘電率の情報を抽出できないため、画像から空洞、鉄筋腐食等の物性識別をすることが極めて難しい。一方、コンクリート、空洞、鉄筋錆等では、複素誘電率は有意に異なることがわかっている。複素誘電率分布を高精度に再構成することで、同技術における識別性能が格段に向上する。一方、従来のトモグラフィ方式では、特に観測方向が制限される非破壊検査モデル(対象を取り囲む素子配置が不可)において、不良設定性(観測データ数が未知数に比べて非常に少ない)が顕著となり、十分な精度が得られないことがわかっている。

上記の問題を解決するため、本課題では、レーダ方式(RPM法)と、トモグラフィ方式を有機的に統合する枠組みを構築し、その有効性を確認する。具体的には、レーダ(RPM)画像から目標(空洞・他の異物)が存在する関心領域(ROI: Region of Interest)をターゲット近傍に絞り込むことで飛躍的に未知数を減らし、かつ ROI 領域も逐次更新させることで、極めて劣悪な逆問題において、高精度形状推定と複素誘電率推定の両方を実現させる(図1参照)。

本課題では、精度及び計算コストや実応用性に優れる、CSI(Contrast Source Inversion)法をトモグラフィ方式として導入する。同枠組みにおいて、RPM 画像による ROI 制限により、未知数を大幅に削減することで、精度と収束速度を格段に高める。具体的には、ROI 以外を背景媒質(コンクリート等)とみなし、ROI 内のみで CSI による再構成を実施し、かつ ROI も CSI のコスト関数を最小にするべく、逐次的に更新される。

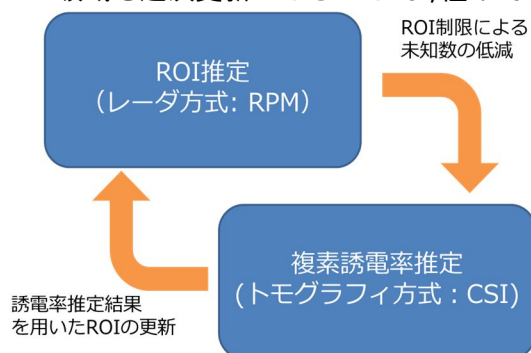


図1: ROI と複素誘電率の同時推定

課題 「乳がん検知等を想定した医療画像診断法」

国内外の乳癌診断においてはX線撮像が主流であるが、放射線被曝及び乳房の強圧迫のため、罹患率が癌の中でトップであるにも関わらず、受診率は10~20%程度に留まり、また10mm未満の初期癌を識別することが難しいため、偽陽性率(癌がない場合に陽性と診断される確率)が50%以上にも上ることが報告されている。一方、マイクロ波による乳がん画像診断は、携帯電話やwifi等で使用される安全な波長帯の電磁波を使用し、装置もコンパクトかつ安価であるため、より簡易かつ高頻度な乳癌スクリーニング技術として有望である。特に癌組織の複素誘電率は、脂肪等の組織の複素誘電率に対して十倍以上程度高いことが確認されており、複素誘電率分布の3次元画像化を実現させることで、X線や超音波では検出の難しい10mm未満のサイズの初期癌の検出が実現できる。

マイクロ波撮像では複素誘電率を再構成するトモグラフィ方式が採用されるが、先述の通り、複素誘電率を再構成する問題は不良設定かつ非線形な逆問題となり、従来の方法では、十分な空間分解能かつ精度を実現することが難しい。特に、3次元的な複素誘電率の分布を、1mm程度の空間分解能で再現させるためには、膨大な未知数(画像ピクセル数)を設定する必要がある。同問題を解決するため、先述の通り、レーダとトモグラフィを双方向に統合し、従来の癌識別精度を格段に改善させる。

また深層学習・転移学習を取り入れることで、トモグラフィ方式における非線形最適化問題を効率的に解く。一方、機械学習のみでは、判別精度が教師データの選択に強く依存するため、その結果を逆散乱解析へとフィードバックさせることで、物理的に不整合が生じない判定法を導入する(図2)。上記の手法の性能評価においては、実際の被験者のMRI画像をベースにした電磁界数値解析及び精緻な生体ファントム等を用いた実験によるデータ等でその性能を検証する。

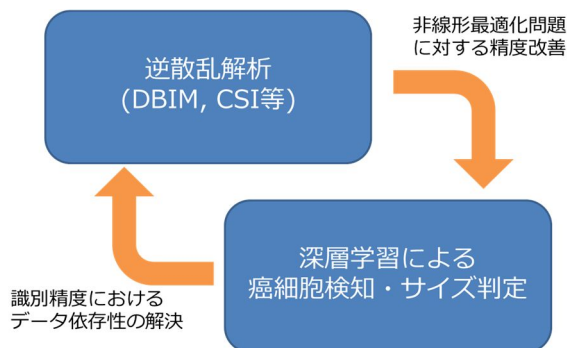


図2: 逆散乱解析法と深層学習の双方向処理に基づく乳癌判定法

4. 研究成果

上記の二つの応用課題で適用可能となる基盤技術として、まず【レーダとトモグラフィの双方向融合による複素誘電率推定法】を構築した。まず、トモグラフィ法に基づくレーダ画像化法について述べる。生体組織や実道路においては各組織や物性の層からなる媒質を想定する必要がある。これを実現するため、トモグラフィ法の一つである CSI 法の特徴に着目する。具体的には、CSI 法で最適化される ROI 内の全電界成分を活用することで、不均質媒質中の伝搬モデルであるグリーン関数を推定し、かつ不均質性に起因する不要応答を抑圧することができる。従来レーダ画像化においては、伝搬モデルにおいて均質媒質を仮定しているため、各層の多重散乱波が虚像として生成されるが、提案手法では CSI 法の推定を活用することで、背景媒質における多重散乱波の影響を考慮したグリーン関数を推定できることから、同情報を用いて異物の箇所だけにレーダ画像を結像することが可能である。

同手法の有効性を道路非破壊診断及び乳癌診断モデルで確認した。まず課題の乳癌診断モデルでの評価について述べる。MRI 画像から抽出された精緻な数値ファントムを想定し、高濃度乳腺モデルを仮定する。図3に各手法のレーダ画像を示す。但し、従来法においては、背景媒質は均質かつ比誘電率を 10 と設定する。同図から従来法の画像では目標付近に応答が結像していないことがわかる。これは背景媒質の不均質性が主因である。一方、提案法においては、目標付近のみに応答が結像していることがわかり、提案法が理論的に適切であることを示している。

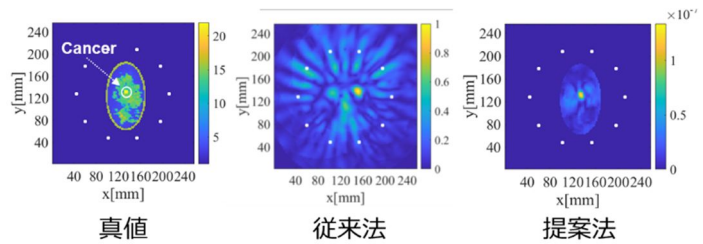


図3：レーダ画像化例（左：真値，中央：従来法，右：提案法）

更に同レーダ画像を用いてトモグラフィ法に適用する。具体的には、先の手法で得られる高精度レーダ画像から、乳腺やがん組織等の高誘電率域を推定し、同推定値を初期値とすることで収束を速め、不良設定問題を解決する。図4に各手法の誘電率推定結果を示す。従来法では、不良設定性から内部の複素誘電率の推定が難しいことが分かる。一方、提案法では高コントラスト領域を一定の精度で推定できていることがわかる。推定精度が不足しているのは単一周波数のみのデータを用いていることが要因であり、今後複数周波数化することで精度は相当程度改善すると予測する。本検討は基盤的な内容であるが、これまでにないレーダとトモグラフィの双方向融合の有効性を裏付けるものである。

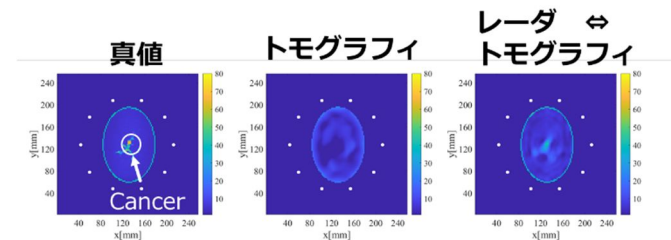


図4：複素誘電率推定例（左：真値，中央：従来法，右：提案法）

次に課題の道路非破壊診断モデルでの検証結果について述べる。数値解析では多層構造の道路を仮定する。図5にトモグラフィ法である CSI を用いたレーダ画像化例を示す(トモグラフィ レーダ)。従来法では背景媒質の誘電率が均質であることを仮定していることから、不均質性に起因する虚像が発生していることが分かる。これに対して提案手法では、多層構造内部の多重散乱波等をモデル化したグリーン関数を用いることで、対象(中央の空洞)のみに画像をフォーカスさせることができることが分かる。次に、同レーダ画像に基づき、ROI を目標近傍に絞り込んだ上で、CSI 法を適用し、埋没目標の複素誘電率を再構成する(レーダ トモグラフィ)。ここで、CSI における状態方程式で用いるグリーン関数を均質な背景媒質で定義されるハンケル関数で近似す

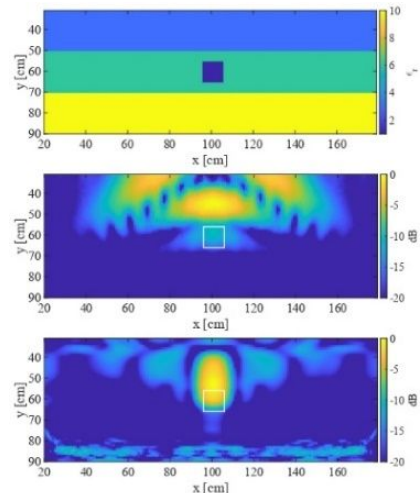


図5：真の分布(上)従来レーダ画像(中)、トモグラフィ レーダ画像(下)

ること、計算量を大幅に削減する。また、未知数が大幅に削減されているため、ROI 制限を適用しない従来の CSI 法と比して高精度な推定が期待される。2 次元 FDTD 法に基づく数値計算を用いた性能評価によって、3 層構造媒質において、レーダ画像による ROI 制限により、従来の制限なし CSI と比して飛躍的に誘電率推定精度を改善していることがわかる。ROI をレーダ画像で推定し、グリーン関数をハンケル関数に近似とした場合、すなわち FDTD を一切用いない手法であっても、埋没物の推定精度が改善していることが分かる(図 6)。

上記の手法は、多層構造媒質におけるレーダとトモグラフィの双方向融合というこれまでにないアプローチであり、アスファルトと床版などの層構造を成す媒質やそのほかの不均質な媒質においても正確なレーダ画像を提供し、かつ ROI を制約することで従来では達成できなかった誘電率推定精度が得られたことを示しており、本技術の実用化に向けて重要な基盤技術が確立されたと認識する。

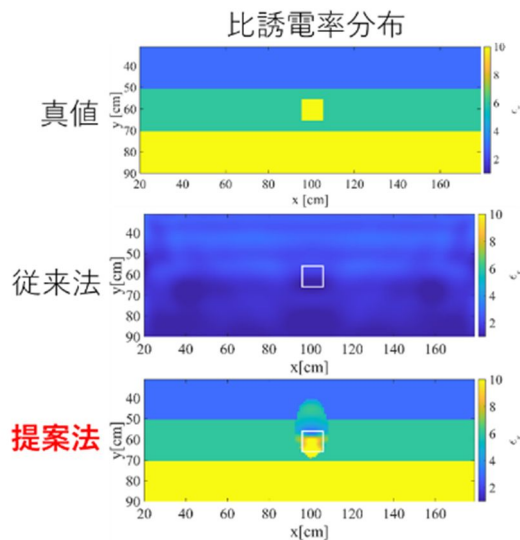


図 6 : 従来法及び提案法(レーダ トモグラフィ)による誘電率・導電率推定結果

課題 においては、【深層学習に基づく誘電率再構成法】も導入した。まず本課題では深層学習に基づく誘電率再構成を導入した。定量的な評価をするため、簡易ファントムを導入する。皮膚を模擬した半球状のシリコン製の筐体に半固体のゲルで脂肪領域を構成する。中心は 18 個の立方体(12mm 辺)を配置することができる。立方体キューブは、脂肪、乳腺及び 3 種の癌細胞の 5 つのパターンを選択できる。図 7 に再構成結果の例を示す。同図から検証データありかつ複数周波数を導入した方法が優位であることがわかる。誤差の要因はキューブ位置再現の不完全性等が考えられる。

一方、高分解能な 3 次元誘電率分布画像を得るためには多層パーセプトロン型のニューラルネットワークでは、出力次元が 1 万程度となるため、膨大な教師データが必要となる。これを解決するため、本課題では空間周波数圧縮と畳み込みオートエンコーダ(CAE)を用いた、高分解能 3 次元複素誘電率イメージング法を提案した。まず 3 次元高解像度画像を 3 次元フーリエ変換で空間周波数領域(WS: Wavenumber space)に変換し、同データを畳み込みオートエンコーダで学習させる、この際に中間層ではデータが効果的に圧縮されているため、これを多層パーセプトロン NN の中間層に組み換え、散乱データから直接的に複素誘電率を画像化する。図 8 に同手法の推定結果を示す。WS 変換なしでは、出力次元が膨大となるため、誘電率の再現が困難であるが、WS 圧縮の結果においては、推定精度が確保されていることがわかる。同手法は散乱データから逆散乱問題を解かず、直接的に誘電率を推定するものであり、実用性が高い。一方で推定結果が教師データに大きく依存するため、先述のトモグラフィ法を用いた複素誘電率推定と最終的に統合することでその信頼性を確保することが今後の課題である。

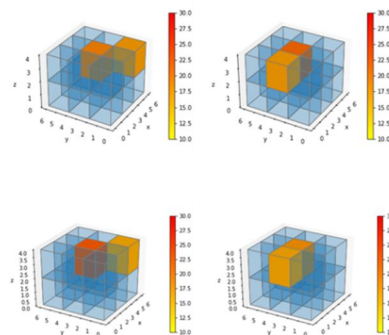


図 7 : 簡易ファントムに対する誘電率再構成結果(上段:真値, 下段:再構成)

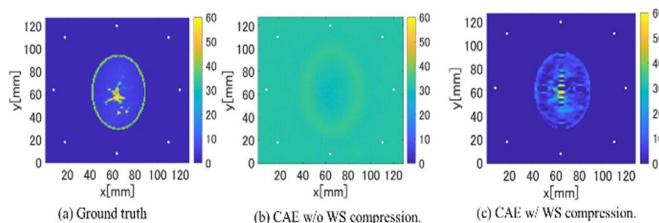


図 8 : 深層学習法による 3 次元(断面)推定例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hirose Umita, Zhu Peixian, Kidera Shouhei	4. 巻 6
2. 論文標題 Deep Learning Enhanced Contrast Source Inversion for Microwave Breast Cancer Imaging Modality	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 373 ~ 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JERM.2021.3127110	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 Suzuki Yutaro, Kidera Shouhei	4. 巻 5
2. 論文標題 Resolution Enhanced Distorted Born Iterative Method Using ROI Limiting Scheme for Microwave Breast Imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 379 ~ 385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JERM.2021.3121962	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 Morimoto Hayatomomaru, Yamauchi Yoshihiro, Kidera Shouhei	4. 巻 19
2. 論文標題 Contrast Source Inversion-Based Multilayered Object Analysis for Terahertz Wave Imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LGRS.2021.3099199	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 Morimoto Hayatomomaru, Kidera Shouhei	4. 巻 19
2. 論文標題 Super-Resolution Multilayer Structure Analysis via Depth Adaptive Compressed Sensing for Terahertz Subsurface Imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LGRS.2020.3043481	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 Sato Hiroki, Kidera Shouhei	4. 巻 5
2. 論文標題 Noise-Robust Microwave Breast Imaging Applied to Multi-Frequency Contrast Source Inversion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 187 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JERM.2020.3041592	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 Matsui Takamaru, Kidera Shouhei	4. 巻 18
2. 論文標題 Virtual Source Extended Range Points Migration Method for Auto-Focusing 3-D Terahertz Imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6. 最初と最後の頁 989 ~ 993
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LGRS.2020.2991155	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 Sato Hiroki, Kidera Shouhei	4. 巻 5
2. 論文標題 Noise-Robust Microwave Breast Imaging Applied to Multi-Frequency Contrast Source Inversion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 187 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JERM.2020.3041592	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 Sato Hiroki, Kidera Shouhei	4. 巻 19
2. 論文標題 ROI Limited Unknowns Reduction-Based Contrast Source Inversion for Microwave Breast Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters	6. 最初と最後の頁 2285 ~ 2289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LAWP.2020.3030054	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 KIDERA Shouhei	4. 巻 40
2. 論文標題 Complex Permittivity Reconstruction for Microwave Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Visualization Society of Japan	6. 最初と最後の頁 22 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3154/jvs.40.159_22	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 Morimoto Hayatomomaru, Kidera Shouhei	4. 巻 19
2. 論文標題 Super-Resolution Multilayer Structure Analysis via Depth Adaptive Compressed Sensing for Terahertz Subsurface Imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LGRS.2020.3043481	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 Kito Kanto, Matsui Takamaru, Kidera Shouhei	4. 巻 11
2. 論文標題 Depth-Adaptive Object Identification Using Terahertz Time-Domain Spectroscopic Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology	6. 最初と最後の頁 598 ~ 604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THZ.2021.3078880	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 Hanabusa Takahiro, Morooka Takahide, Kidera Shouhei	4. 巻 19
2. 論文標題 Deep-Learning-Based Calibration in Contrast Source Inversion Based Microwave Subsurface Imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LGRS.2022.3169799	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 Takahashi Shuto, Suzuki Katsuyoshi, Hanabusa Takahiro, Kidera Shouhei	4. 巻 70
2. 論文標題 Microwave Subsurface Imaging Method by Incorporating Radar and Tomographic Approaches	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 11009 ~ 11023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TAP.2022.3188358	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 -

1. 著者名 Okada Jun, Kidera Shouhei	4. 巻 12
2. 論文標題 Multifrequency Contrast Source Inversion-Based Permittivity Estimation for Terahertz Multilayer Analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology	6. 最初と最後の頁 535 ~ 539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THZ.2022.3193609	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 Umezaki Gaku, Yamauchi Yoshihiro, Kidera Shouhei	4. 巻 6
2. 論文標題 Contrast Source Inversion Enhanced Confocal Imaging for Highly Heterogeneous Breast Media in Microwave Mammography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 494 ~ 500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JERM.2022.3196504	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 YAMAUCHI Yoshihiro, KIDERA Shouhei	4. 巻 x
2. 論文標題 Contrast Source Inversion for Objects Buried into Multi-layered Media for Subsurface Imaging Applications	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 x
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2022ecs6008	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24件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 鈴木克禎, 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波非破壊検査のためのRPM法及びCSI法を統合した複素誘電率イメージング法
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会(MW) 電子情報通信学会技報, vol. 121, no. 400, MW2021-133, pp. 122-127, 2022年3月.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 諸岡貴英, 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波非破壊道路モニタリングのための深層学習を用いた異常検出法
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会(MW) 電子情報通信学会技報, vol. 121, no. 400, MW2021-134, pp. 128-133, 2022年3月.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山内啓宏, 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波地中レーダによる逆散乱解析法を用いた多層構造物の誘電率推定
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会(MW) 電子情報通信学会技報, vol. 121, no. 168, AP2021-66, pp. 53-58, 2021年9月.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhu Peixian, Morimoto Hayatomomaru, Kidera Shouhei
2. 発表標題 Polarimetry Effect in Three-dimensional Contrast Source Inversion for Microwave Breast imaging
3. 学会等名 2021 IEEE USNC-URSI Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ma Haiyang、Sasada Shinsuke、Okada Morihito、Kikkawa Takamaro、Kidera Shouhei
2. 発表標題 Clinical Test of Surface Rejection Method for Microwave Breast Cancer Imaging
3. 学会等名 2021 IEEE USNC-URSI Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamauchi Yoshihiro、Kidera Shouhei
2. 発表標題 Contrast Source Inversion Based Object Reconstruction Buried in Multi-layered Background for Microwave Subsurface Imaging
3. 学会等名 2021 IEEE USNC-URSI Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Radar and Tomography Based Microwave Imaging for Non-destructive Subsurface Applications
3. 学会等名 2021 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA) @ Virtual (Invited) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahide Morooka and Shouhei Kidera
2. 発表標題 "Bi-directional Updating Algorithm for ROI and Dielectric Profile in CSI Framework for Microwave Subsurface Imaging"
3. 学会等名 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hongyang Zhang and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Polarimetric Signature CNN based Complex Permittivity Estimation for Microwave Non-destructive Testing
3. 学会等名 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sato and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Accuracy Enhanced Contrast Source Inversion Algorithm for Microwave Breast Tumor Detection
3. 学会等名 2020 General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiro Hanabusa and Shouhei Kidera
2. 発表標題 Experimental Validation for ROI prior Contrast Source Inversion Algorithm for Microwave NDT Model
3. 学会等名 2020 General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬 海洋 (電通大), 笹田伸介 (広島大病院), 岡田守人・吉川公磨 (広島大), 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波乳癌診断のための表面反射波抑圧法の臨床データによる検証
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2-60,
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朱 沛賢, 森本隼丈丸, 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3次元CSI法における交差偏波の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2-61
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波UWBレーダによる医療画像診断のためのデータ解析法
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, CI-3-4 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shouhei Kidera, Umita Hirose, and Peixian Zhu,
2. 発表標題 Deep Learning Based Inverse Scattering Analysis for Microwave Breast Cancer Imaging
3. 学会等名 2022 IEEE MTT-S International Microwave Biomedical Conference (IMBioC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 G. Umezu, Y. Yamauchi, and S. Kidera,
2. 発表標題 Contrast Source Inversion Enhanced Confocal Imaging for Highly Heterogeneous Breast Media in Microwave Mammography
3. 学会等名 44th IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference 2022 (IEEE EMBC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 P. Zhu and S. Kidera
2. 発表標題 Wavenumber Based Convolutional Auto-Encoder for Three-Dimensional Microwave Breast Imaging
3. 学会等名 44th IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference 2022 (IEEE EMBC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Katsuyoshi Suzuki and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Radar Enhanced Contrast Source Inversion Method for Microwave Nondestructive Evaluation
3. 学会等名 The 2022 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Yamauchi and Shouhei Kidera,
2. 発表標題 Inverse Scattering Enhanced Synthetic Aperture Imaging for Multi-Layered Ground Media
3. 学会等名 The 2022 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山内啓宏・木寺正平
2. 発表標題 地中レーダによる多層構造異物識別のためのレーダとトモグラフィを統合した複素誘電率画像化法
3. 学会等名 電子情報通信学会技報, vol. 122, no. 408, SANE2022-100
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋山夏樹・木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波道路非破壊検査のための鉄筋応答抑圧と異常検出に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技報, vol. 122, no. 408, SANE2022-100, pp. 64-69
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中嶋睦月・木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波乳癌診断のためのレーダとトモグラフィの双方向処理による複素誘電率画像化法
3. 学会等名 電子情報通信学会技報, vol. 122, no. 441, AP2022-235, pp. 7-12
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上田歩実・木寺正平
2. 発表標題 マイクロ波乳癌診断のための臨床試験データに基づく表面波抑圧法の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会技報, vol. 122, no. 441, AP2022-236, pp. 13-18
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山内啓宏・木寺正平
2. 発表標題 地中レーダによる多層構造異物解析のためのCSI法を用いた高精度レーダ画像化法
3. 学会等名 電子情報通信学会技報, vol. 122, no. 135, AP2022-47, pp.74-79
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------