

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月27日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560333

研究課題名（和文） 複数の信号表現空間における特徴量を用いた地中レーダ用埋設物識別法の構築

研究課題名（英文） Development of a method of buried target identification for ground penetrating radars using features extracted from some different signal spaces

研究代表者

西本 昌彦（NISHIMOTO MASAHIKO）

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：60198520

研究成果の概要（和文）：本研究は、超広帯域地中レーダに用いる高精度の埋設物識別手法の構築を目指して行ったものである。レーダ応答信号に対して波形校正を行うことにより、計測信号からターゲット応答を精度よく分離抽出でき、その結果、ターゲットの識別性能を向上させることができることを示している。また、探査用超広帯域アレイアンテナの設計・製作を行っている。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop an identification method of buried objects for ground penetrating radar systems. In order to extract a desired target response from a distorted radar signal, a technique for waveform calibration is developed and applied to measured radar signals. The results show that the radar signals are well reconstructed and the target responses included in the signals are successfully extracted. This indicates that the developed method is significant and essential to feature extraction for subsurface target identification.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，電子デバイス・電子機器

キーワード：センシング，地中レーダ，地雷探査，非破壊検査

### 1. 研究開始当初の背景

紛争地域の未処理地雷は一般住民の安全を脅かすと同時に、被地雷埋設国の経済的復興の重い足かせとなっている。このため、人道的地雷除去は世界的な問題であり、日本には地雷探査・除去に関する技術的な国際貢献が強く求められている。地雷探査技術として現在用いられている代表的手法は金属探知器であるが、プラスチック製地雷の検出も可能な地中レーダ型探知器についても、広く研究

が進められている（図1）。しかし、地中レーダではプラスチック地雷でも探知可能であるが、地中や地表面の様々な物体（小石、砲弾片など）からの不要反射のため、地雷と地雷以外の物体の区別が非常に難しい。このため、現在、地雷探査用地中レーダに要求されているのは、地雷と地雷以外の物体を識別するための「高い識別能力」である。しかし、地表面の粗さ、土壌の損失や不均質性の影響に伴うイメージング解像度の悪さのために

識別精度は低く、正しく識別できる割合はわずか1%程度と報告されている。これが地雷の除去処理効率を下げる最も大きな要因であるが、これに関しては、未だ国内外でも基礎研究段階にあるにすぎない。

一方、高度成長期に建設されたコンクリート建造物の多くがこれから耐用年数を迎えることになる。また、最近建設されたコンクリート建造物についても、地震などの自然災害による損傷や施工時の工事不良や材料そのものに起因する劣化などにより、耐用年数を迎える前に倒壊する危険性が高くなる。このため、コンクリート建造物の安全性を確保し信頼性を向上させる上で「建造物の点検・診断」が重要課題であり、建造物を傷つけることなく建造物内部に発生している劣化や変状を定量的に評価できる非破壊検査技術の研究開発が切望されている。弾性波やX線を用いる非破壊検査手法に対して、地中レーダは非接触で深部まで検査可能で、検査技師が特別な技術を習得することなく安全かつ簡便に使用できる有力な検査・診断法である。しかし、現在の地中レーダではコンクリート中の鉄筋のおよその位置は検出できるが、鉄筋径の推定はもちろん、空洞や亀裂などの劣化箇所の検出・識別に対しては難しいのが現状である。

## 2. 研究の目的

上述のように、地中レーダは地雷除去や非破壊検査技術などに大きく貢献できるポテンシャルを有しているが、その能力はまだ開発途上にある。識別・同定の精度を向上させるためには、レーダ信号に含まれているターゲットの情報(特徴量)をできるだけ多く抽出し、それを有効に利用することが重要となる。時間領域特徴抽出では、モノサイクルパルスのような形の整った単パルスを用いることが望ましい。しかし、実際の計測ではアンテナの周波数特性の影響により送受信波形が歪むため、波形の校正が必要となる。特に、超広帯域パルスを使用する場合、波形歪みの

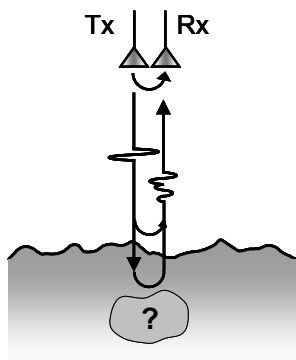


図1. 地中レーダによる埋設物探査

影響は顕著になる。本研究では、研究代表者がこれまで検討してきた各種レーダ信号処理法をベースとして、超広帯域地中レーダに用いる高精度の埋設物識別手法の構築を行うものである。ここでは、計測データからのターゲット応答の分離と特徴抽出、ターゲットの識別性能についての検討、探査用アレイアンテナの設計・改良について開発と検討を行い、従来のイメージングによるターゲット識別を超えた高い識別性能の実現を最終目的とする。また、同時に、実際の計測実験が必要となる、地表面の粗さのパラメータの推定精度についても検討を行う。

## 3. 研究の方法

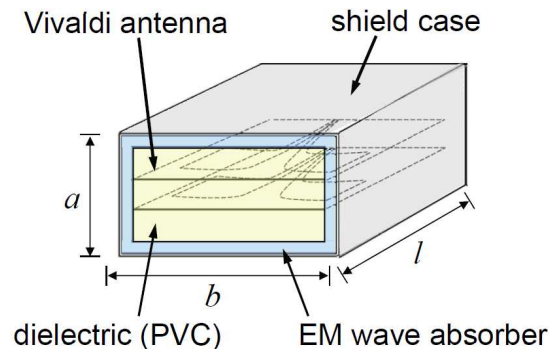
本研究では、全体を以下の4つの項目に分けて開発・検討を行った。

### (1) 探査用アレイアンテナの設計/製作

本研究では、超広帯域パルスを用いるため、性能のよいアンテナが必要となる。設計に当



(a) アンテナ概形



(b) アンテナの構造

図2. シールドケース付2素子ビバルディアンテナ

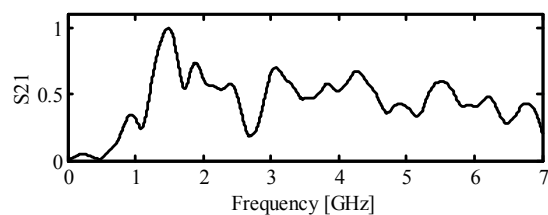


図3. アンテナの反射利得

たっては、シミュレーションによりアンテナのパラメータを決定し、その結果に基づいて実際のアンテナの作成を行う。

(2) 波形の校正とターゲット応答の抽出  
埋設ターゲットからのレーダ応答は、アンテナの周波数特性や地表面との相互作用によって大きく乱されてしまう。本研究では、アンテナの周波数特性を取り除くために逆フィルタを設計し、これを用いて応答波形の校正を行った。これにより、モノサイクルパルス応答が得られ、地表面クラッタと応答波形を明確に分離できるようにする。

(3) ターゲットの識別性能の検討  
ターゲットの識別性能については、識別器として整合フィルタ、及びサポートベクターマシンを用いた場合について検討する。

(4) 地表面粗さのパラメータ推定  
地表面粗さのパラメータ推定については、計測長と推定精度の関係を解析的に導出し、同時に補正法についても検討する。

#### 4. 研究成果

以下に、項目毎に得られた結果をまとめる。

(1) 探査用アレイアンテナの設計/製作  
ごく浅い埋設物を対象とした探査用レーダの超広帯域アンテナとして、シールドケース付ビバルディアンテナを設計・製作した。その外形と構造を図2に示す。送信・受信アンテナには同一形状のビバルディアンテナを用い、誘電体 (PVC) に挟まれて配置されている。誘電体を装荷した目的はアンテナ素子の固定とアンテナの小型化である。その外側にシールドケースを装荷することにより、側面や背面への不用放射を抑えている。しかし、シールドケース内で生じる共振のためアンテナの特性は著しく悪化する。これを避けるため、シールドケース内面に電波吸収体を装荷した。これらの設計パラメータはシミュレーションによって決定している。構成したアンテナの反射利得  $|S_{21}|$  を図3に示す。1GHz以下の低周波域では利得は低い、ここでは

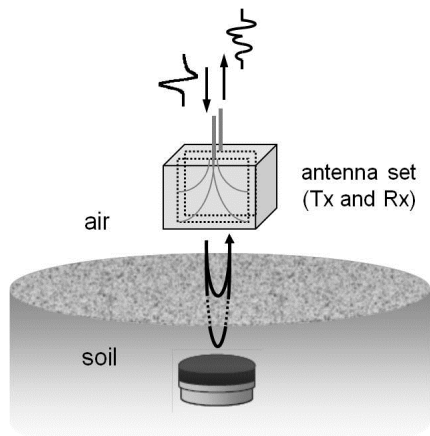


図4. 埋設地雷モデルからのレーダ応答計測

1~6GHz を使用帯域として想定しているため、十分利用可能であることがわかる。

(2) 波形の校正とターゲット応答の抽出  
研究室で行ったレーダ応答計測の構成を図4に示す。また、図5は入射パルスとして用いたモノサイクルパルス波形である。図6に、埋設地雷モデルからの計測波形と校正を行った後の波形を示す。(a)の計測波形では、シールドケース内での共振のため計測波形が振動しており、地表面反射応答とターゲット応答は全く区別できない。これに対し、波形校正後は地表面反射応答として明確なモノサイクルパルスが再構成されており、また、ターゲット応答も明確に分離されている。これらの結果より、波形校正によって、モノサイクルパルスに対するターゲット応答が明瞭に分離/抽出できることが確認できる。このように、提案した波形校正とターゲット応答の抽出により、特徴抽出の精度が高くなり、埋設物体の識別精度の向上や非破壊検査の精度改善が期待できる。

(3) ターゲットの識別性能について  
地雷ターゲットとほぼ同じ大きさの物体 (石、プラスチック塊、発砲スチロール、金属片) を準備し、地雷モデルと同様に埋設して識別性能について検討した。計測サンプル数がま

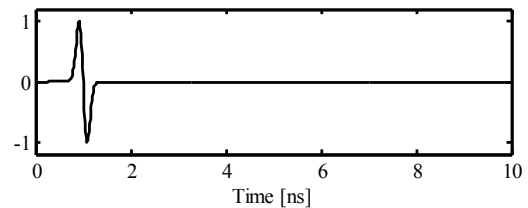
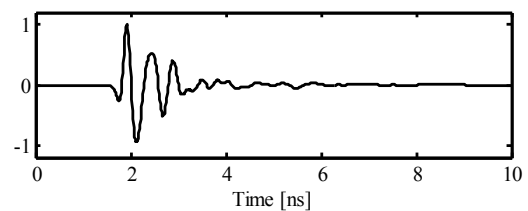
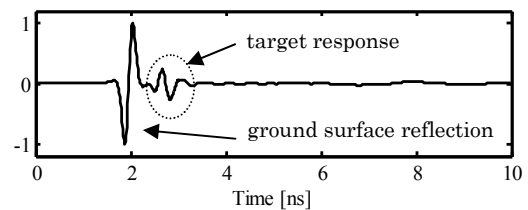


図5. 入射モノサイクルパルス



(a) 計測波形



(b) 校正後の波形

図6. 埋設地雷モデルからのパルス応答波形

だ十分ではないため、統計的に有意な判断を下すまでには至っていないが、各物体からの応答波形は明瞭に区別できていることがわかる。簡便な手法として、整合フィルタを用いた識別においても、4種類の地雷モデルを明確に識別することができることを確認している〔学会発表〕②)。

以上の結果より、モノサイクルパルス応答の測定によって、地中埋設物の時間領域特徴抽出が精度よく行えることを確認した。一方、周波数領域での特徴抽出についても検討中で、今後、さらに研究を進める予定である。

#### (4) 地表面粗さのパラメータ推定

地表面の粗さのパラメータ推定は、埋設物探査の際の地表面クラッタの特徴を探るための有効な資料となる。解析的計算を行うことにより、地表面の計測長と推定精度の関係を明確にし、更にその誤差の補正式を導出した。この詳細は文献⑦及び⑩で報告している。

#### 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 11 件)

- ① M. Nishimoto, D. Yoshida, K. Ogata, and M. Tanabe, "Extraction of a target response from GPR data for identification of buried objects", IEICE Trans. on Electronics, Vol.E96-C, No.1, pp. 64-67, Jan. 2013. (査読有)
- ② M. Nishimoto, D. Yoshida, K. Ogata, and M. Tanabe, "Target Response Extraction from Measured GPR Data", Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2012), CD-ROM, 4 pages, October 30-November 2, 2012. (Nagoya, Japan) (査読有)
- ③ M. Nishimoto, D. Yoshida, M. Himeno, and M. Tanabe, "Calibration of Ground Penetrating Radar Responses for Identification of Shallowly Buried Objects", 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and CNC/USNC/URSI National Radio Science Meeting, July 8-14, 2012 (Chicago, Illinois, USA). (査読有)
- ④ M. Nishimoto, "Analysis of GPR Pulse Responses for Identification of Shallowly Buried Objects", Proceedings of the 2012 Korea-Japan EMT/EMC/BE Joint Conference (KJJC 2012), 265-268, May 18-19, 2012. (Seoul, Korea). (査読無)
- ⑤ M. Nishimoto, K. Tomura, and K. Ogata, "Waveform calibration of ground penetrating radars for identification of buried objects", IEICE Trans. on Electronics, Vol.E95-C, No.1, pp. 105-109, Jan. 2012. (査読有)

- ⑥ M. Nishimoto, K. Tomura, K. Ogata, and M. Tanabe, "Calibration of Target Response for Time-Domain Feature Extraction", Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2011), CD-ROM, 4 pages, October 25-28, 2011. (Jeju, Korea) (査読有)
- ⑦ M. Nishimoto, "Estimation of Soil Roughness Parameters from Surface Height Profile", Proceedings of the 2011 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, pp.3152-3155, July 24-29, 2011. (Vancouver, Canada) (査読有)
- ⑧ M. Nishimoto and K. Tomura, "Design of UWB-GPR Antenna and Waveform Calibration", Proceedings of the 8th Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory, pp.1-4, 2010. (Fukuoka, Japan) (査読無)
- ⑨ M. Nishimoto and K. Tomura, "Inverse Filtering Operation for Reconstruction of Distorted GPR Response", Proceedings of the TENCON 2010, 4 pages, November 21-24, 2010. (Fukuoka, Japan) (査読有)
- ⑩ M. Nishimoto and K. Tomura, "Calibration of GPR Waveforms for Detection of Subsurface Objects", Proceedings of 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC'10), CD-ROM, F1-2, 1 page, Sept. 22-26, 2010 (Toyama, Japan) (査読有)
- ⑪ M. Nishimoto, "Characteristics of Rough Surface Parameters Estimated from Measured Surface Profile of Finite Length", Proceedings of the 2010 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, CD-ROM, 4 pages, July 25-30, 2010 (Hawaii, USA) (査読有)

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① 西本昌彦, "粗面形状の計測値からの粗さのパラメータの推定について", 電気学会電磁界理論研資, EMT-12-166, pp.85-89, 11月16日, 2012. (阿蘇プラザホテル)
- ② 吉田大祐, 西本昌彦, 太田亘, 田邊将之, "埋設物探査用地中レーダの応答波形の解析 (II) -埋設物同定のための特徴量抽出-", 電気学会電磁界理論研資, EMT-12-071, pp.35-40, 5月25日, 2012. (広島市立大学).
- ③ 西本昌彦, 吉田大祐, 姫野誠之, 田邊将之, "地中レーダの応答波形の校正", 2012年電子情報通信学会総合大会, C-1-2, CD-ROM, (岡山大学 3/21-24, 開催, 21日発表) 2012.
- ④ 西本昌彦, 吉田大祐, 姫野誠之, 田邊将之, "埋設物探査用地中レーダの応答波形の解析 -モノサイクル入射パルスに対する埋設地雷の応答-", 電気学会電磁界理論研資, EMT-11-136, 11月17日, 2011. (雨晴

温泉 磯はなび コンベンションホール,  
富山県高岡市)

- ⑤西本昌彦, " SVM によるポーラリメトリック SAR データの分類", 2011 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, CS-1-8, CD-ROM, 9 月 15 日, 2011. (北海道大学)
- ⑥西本昌彦, 野茂勇樹, 戸村公亮, 田邊将之 "シールドケース付きビバルディアンテナの特性 (II)", 電気学会電磁界理論研資, EMT-11-060, 7 月 21 日, 2011. (北見工大)
- ⑦西本昌彦, 戸村公亮, 野茂勇樹, "シールドケース付きビバルディアンテナの特性", 電気学会電磁界理論研資, EMT-11-051, pp.35-40, 5 月 28 日, 2011. (中央大)
- ⑧西本昌彦, "粗面の粗さのパラメータの推定誤差について(II)", 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-1-19, CD-ROM 9 月 17 日, 2010. (大阪府立大学)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西本 昌彦 (NISHIMOTO MASAHIKO)  
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号 : 60198520

### (2) 研究分担者

緒方 公一 (OGATA KOHICHI)  
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号 : 10264277