

反射波と透過波の複合受信による地雷探査レーダの開発

電気通信大学・教授 荒井 郁男

1. はじめに

地雷の探査方法として、地表面上から地中に電磁波を送信し、反射波を計測することにより地雷を探査する地中レーダ（Ground Penetrating Radar : GPR）があります。現在最も普及している金属探知器は地雷以外の金属でも反応してしまう弱点がありますが、地中レーダは埋設物の形状を映像化できるため、金属探知器の弱点を補うことが期待されています。

この地中レーダについて、実用的な地雷検知を目標に超小型化した高性能地中レーダユニットを開発し、探査の高速化のために多数のアンテナを1次元的に細かく配列することにより、探査時間の高速化と同時に高精細な地中映像を得ることのできる地雷探査レーダを目指します。高精細な地中の3次元映像化を実現することにより、人間の目で地雷を識別できるシステムを構築します。

2. 高分解能地雷探査レーダの特徴

本研究で開発する高分解能地雷探査レーダは、以下の特徴を有しています。

- 1) 符号化パルス信号や FM-CW 信号のような連続性の信号と異なり、直達波の混入や地表面反射波の影響（タイムサイドロブ）の問題が少ない超短パルス電波の使用（パルス幅 150ps）
- 2) 現地での使用を前提とした小型・軽量、操作性の簡易化
- 3) 人間の目で地雷を識別できるよう高詳細映像化のために高分解能信号処理（MUSIC、合成開口処理）を採用
- 4) 現地の要求に応えるためにアレイアンテナの使用により探査時間を短縮

3. 地中レーダシステムの開発

インパルス信号を用いた超小型地雷探査レーダユニットを作製し、最適パルス幅など性能に関する実験・検討を行いました。

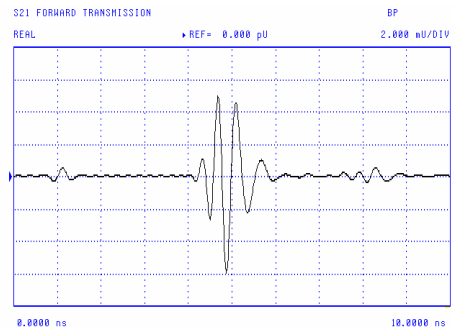
アンテナには、送信用アンテナを 11 個、受信用アンテナを 12 個交互に配置して1次元のアレイを構成しました。用いたアンテナは円偏波である直径 9 cm スパイラルアンテナであり、全長は約 1.1mです。アンテナをアレイ化することにより探査時間の大幅な改善が見られ、従来のように送受信一対のアンテナを走査する方法と比較して約 1/10 に短縮できることを確認しました。これにより、最終的には 1 m²の面積の探査時間は 2~3 分以内となることが期待できます。



図1 超小型地雷探査レーダユニット



広帯域スパイラルアンテナ (Φ=9cm)

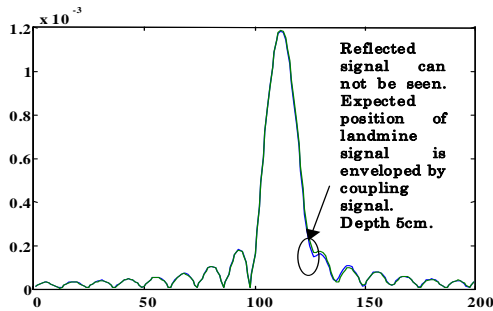


スパイラルアンテナのインパルスレスポンス

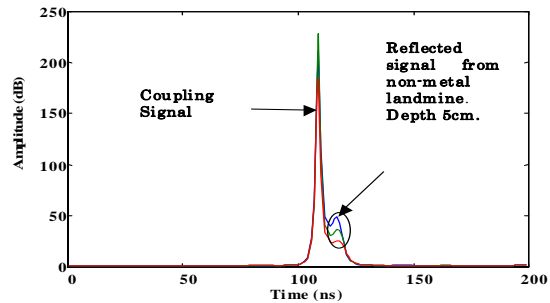
図2 高性能アンテナの開発

地中レーダシステムの高分解能のための信号処理については、深さ方向は MUSIC 法（受信信号中の白色ノイズと計算機上で再現可能な信号を分離し、高分解能に到達時刻、方向、偏波、位置等を推定する手法）と呼ばれる超分解能の信号処理とを併用することにより高分解能化を実現しています。（図3）

水平方向は、合成開口処理の一種であるマイグレーション法（放射状に広がった不鮮明な画像において、放物線の頂点にエネルギーを集約させて物標本来の形状に近づいた映像を得る手法）を適用することにより、高分解能化を実現しています。



TYPE-72のAスコープ像 (FFT処理)



TYPE-72のAスコープ像 (MUSIC処理)

図3 高分解能信号処理技術

4. 土壌の比誘電率測定法の開発

地中レーダは、地中を伝搬する電磁波が土壌の誘電率と異なる物質で反射することを利用してしています。

そのため、土壌の誘電率を把握しておくことは、地中レーダによる地雷探査において現地での地中レーダの調整等で重要になります。

本開発では、土壌中に挿入した管内に設置した送信アンテナから地上の受信アンテナに向けて電波を発信して、その透過波を利用して、送受信アンテナ間距離と電波の受信遅延時間より土壌の比誘電率を測定する技術を開発しています。

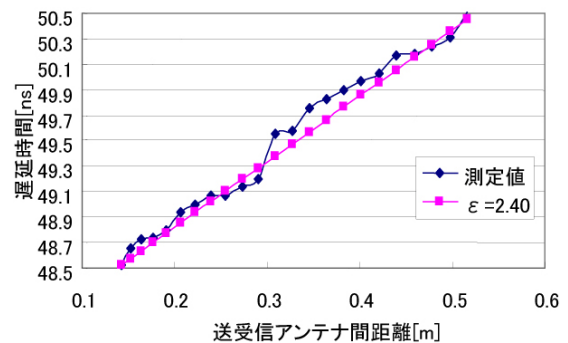


図4 土の比誘電率測定方法の開発

5. おわりに

アンテナをアレイ化することにより探査時間の大幅な改善が得られ、現地での利用に耐えられるほど十分に短時間の探査時間になる見通しが立ちました。今後は、更に探査の高速化、詳細化、高感度化を目指して改良を進めます。その他、アンテナの分散性を考慮した地中レーダの開発、ダイナミックレンジ拡大のための感度時間制御回路（STC：Sensitivity Time Control）の設置、送信信号の広帯域化、映像の高分解能化のため MUSIC 法などの超分解能処理の高速化、探査車両に搭載可能な地雷探知システムの構築を進めます。

※ 地中レーダ本体に透過波を利用する技術については、研究開発を進めた中での実現性の検討の結果、研究総括の判断により研究開発を打ち切りとしています。

【探査例】

① 送受アンテナ対の走査による探査

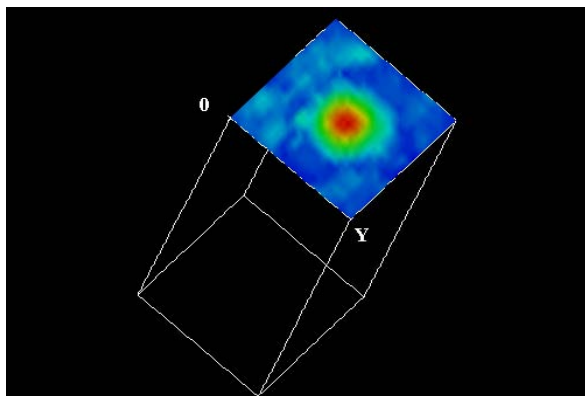


送受アンテナ対と TYPE-72 地雷

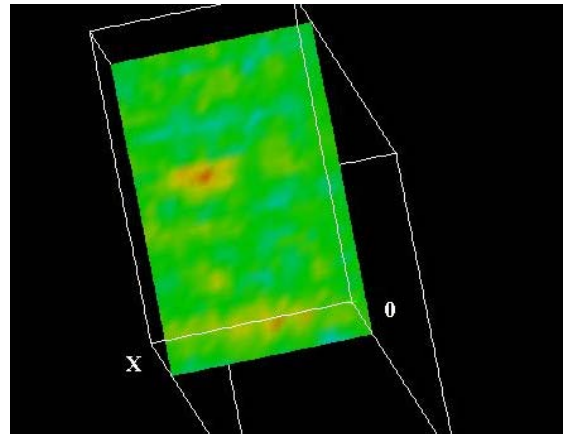
② アレイアンテナレーダシステムによる探査



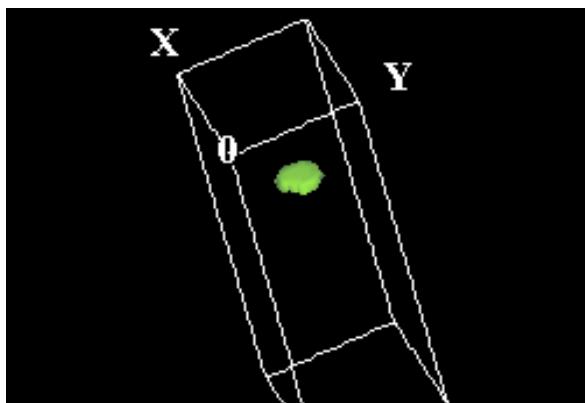
アレイアンテナレーダシステムと TYPE-72 地雷



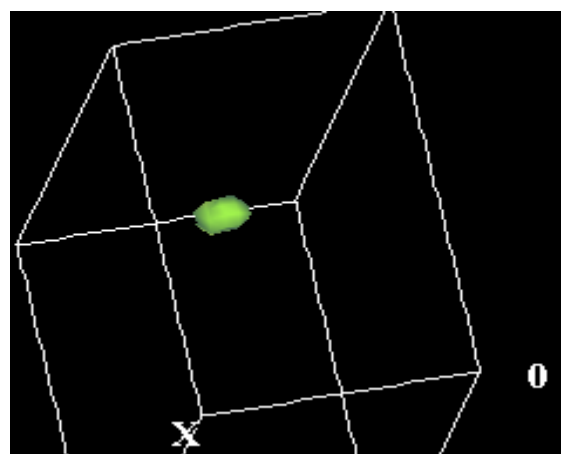
2次元探査映像



2次元探査映像



立体探査映像



立体探査映像