平成26年11月27日

平成26年度建設施工と建設機械シンポジウム

平成24年度研究開発助成成果報告

助成研究名：

「掘削バケット前方埋設物の地中レーダ監視システムの開発」

群馬大学 理工学府 電子情報部門　三輪空司

研究背景

近年、パワーショベル等の建設機械を使用した工事において電話線、光ケーブル、ガス管、水道管等を破損する地下埋設物損傷事故が後を絶たず、事故現場付近の住民へ重大な被害が及んでいる。

対策は？

従来法

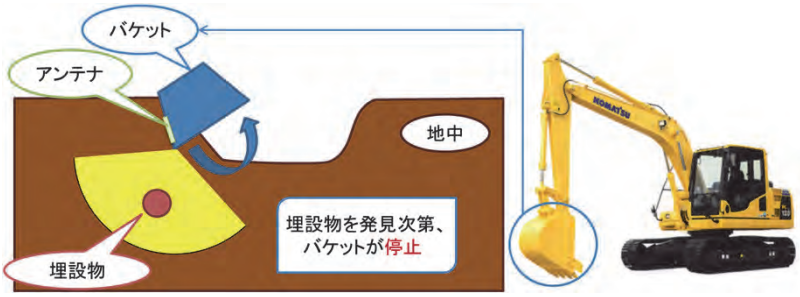
①埋設図面の利用
　地下に埋設されているケーブルや配管の位置を図面で表した埋設図面を利用し、予め埋設物の位置を把握することが可能である。
⇒予め位置推定が可能
⇒図面に記載されていない埋設物が存在

②探査機による事前の調査
　地中レーダ探査や電磁誘導探査等の地表面上からの探査をおこなう。
⇒予め位置推定が可能
⇒位置推定の精度が不十分、多額の費用が必要

研究目的

従来法では位置推定精度が悪く、作業員の不注意や操作ミスによる事故も多い。そこで、本研究では「掘削時前方探査のためのバケット一体型地中レーダシステム」を提案する。

本システムでは、バケットの鋼板上に地中探査用アンテナを一体化させ、掘り進める際、地中を対象にリアルタイム計測を行う。



レーダシステム概要図

研究項目と実施状況

	シミュレーション	ソフト開発	ハード開発	実験
指向性アンテナの開発	八木宇田スロットアンテナ		簡易アンテナの試作	地中内アンテナ特性計測
アンテナの一体化	バケットの影響検討		市販バケットの改造	地中内でのバケット一体アンテナの特性計測
レーダシステムの開発		ドップラ法によるターゲット検出法	リアルタイム計測可能なFMCWレーダの開発	既設埋設管のあるフィールドでの探査実験

H25年度実施済み
H26年度実施中
H26年度実施予定

バケット一体型アンテナの検討

アンテナ要件

①平面アンテナである

⇒バケットとアンテナを一体化する際、バケットの強度を保ちながらバケット面上にアンテナを配置するため、形状としては薄型で平面状である必要がある。

②指向性を有する

⇒計測中、最も不均一の大きい場所はバケットの動きにより大きく状況の変化するバケットのアーム側である。よって、バケット前方に指向性を向ける必要がある。

③広帯域である

⇒レーダとして使用するには広帯域性が必要となる。具体的には、比誘電率を約25とすると、50cm先までを約10cmの分解能で見る場合、帯域幅としては約250MHz程度必要となる。

目的

シミュレーション及び実験を通して上記の3つの条件を満たす地中探査用アンテナの開発する。

設計アンテナの特徴

スロットアンテナ

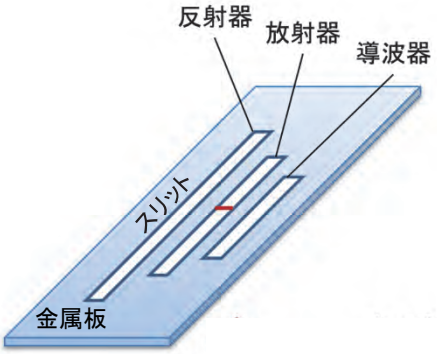
- 比較的広帯域
- 薄型平面アンテナ作成に向く
- 構造的に強い
- 磁気ダイポール
- 底面方向の放射を抑制する
  キャビティを設置

八木・宇田アンテナ

- 素子配列方向に指向性を得やすい
- 狭帯域

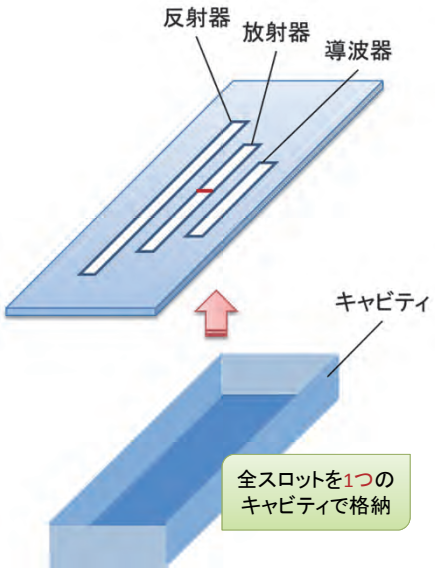
2つのアンテナを組み合わせた

八木・宇田スロットアンテナを採用



八木・宇田スロットアンテナ

キャビティの概要



地板の大きさが無限のスロットアンテナはアンテナ表、裏に電波を放射するが、地板が有限のため地板端部電流がキャンセルされ、アンテナ効率が悪化するため、裏面の電流を抑えるためにキャビティでフタをする

シミュレーションによる最適化

- マックスウエルの方程式を時間、空間で差分化
- 時間領域でアンテナの放射による電磁界を計算
- 3000通りのアンテナ形状について遠方界を評価した

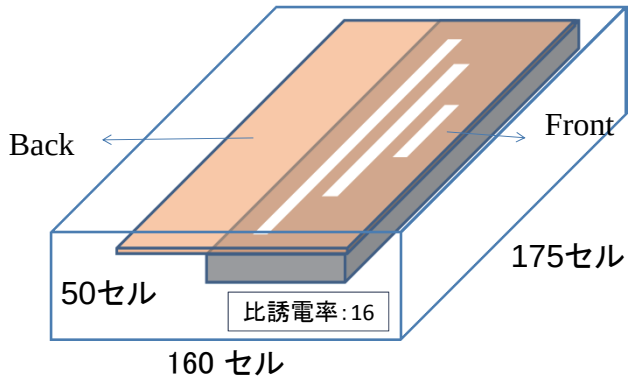
最適化する際の基準

① 帯域幅
② 前後比の大きさ
③ キャビティの厚み
④ 前方方向の指向性

変化させたパラメータ

地板サイズ	300×124mm
キャビティのサイズ	280×44mm
放射器	200mm
導波器	40～192mm
反射器	208～280mm
スロット間隔	4～16mm
キャビティの深さ	8～40mm
給電間距離	48～144mm

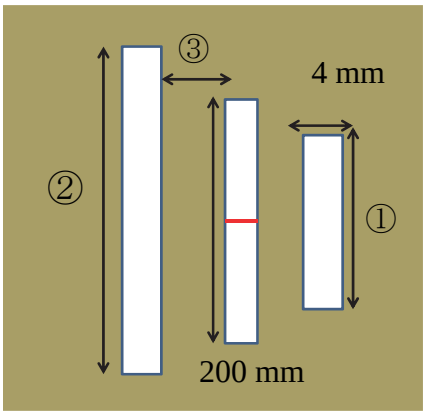
FDTD法におけるモデリング



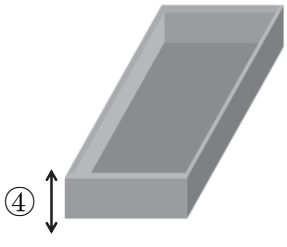
・6層のPML吸収境界条件
・地中の比誘電率15、導電率は0
・その媒質中にアンテナが置かれているものとして、
遠方界を計算

最適なアンテナパラメータ

スロット部

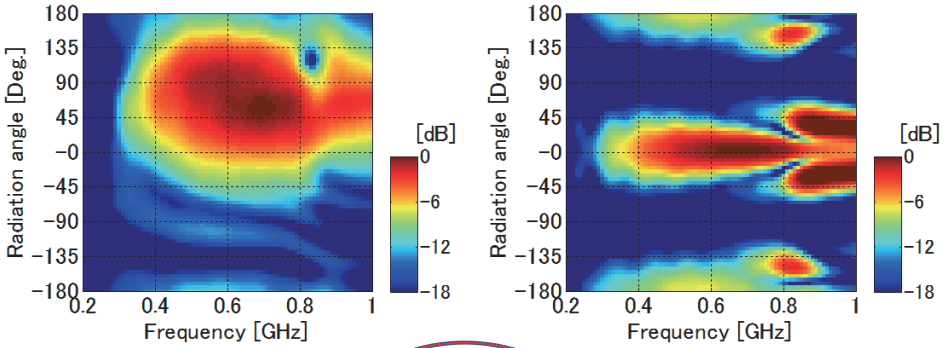


キャビティ部

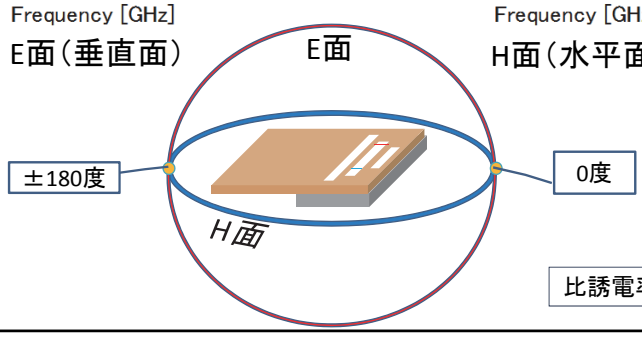


①	導波器の長さ	40 mm
②	反射器の長さ	208 mm
③	スロット間隔	8 mm
④	キャビティの厚み	16 mm

最適化されたアンテナの特性

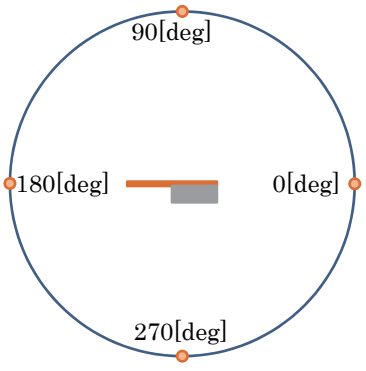


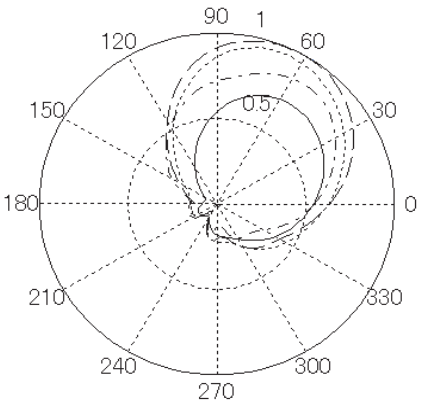
E面（垂直面）　　H面（水平面）



比誘電率：15

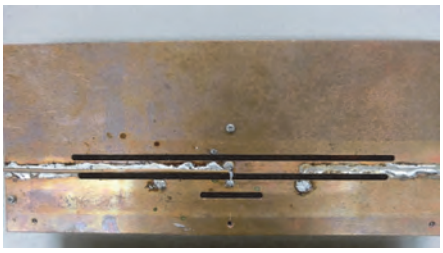
E面指向性特性





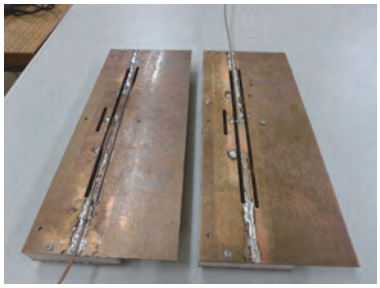
− 400 MHz
⋯ 500 MHz
−− 600 MHz
−. 700 MHz

試作アンテナ



地板サイズ･･･300×124mm
導波器･･･40mm
放射器･･･200mm
反射器･･･208mm
給電点間の距離･･･96mm

材質:アルミ
キャビティ内部･･･280×44mm
キャビティの厚み･･･16mm

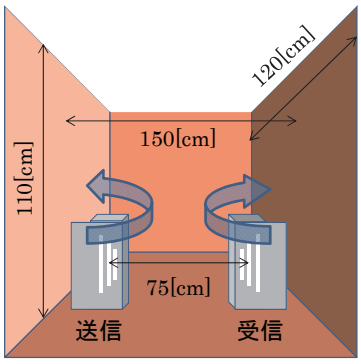


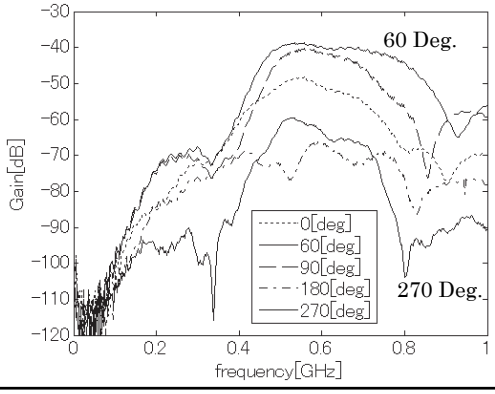
全体図

地中内での指向性の測定

- 地中内にアンテナを0, 60, 90, 180, 270度に傾けて配置して埋め戻し、それぞれの角度におけるアンテナ伝達特性を測定した。

アンテナアナライザー
ZVH8(ROHDE&SCHWARZ)

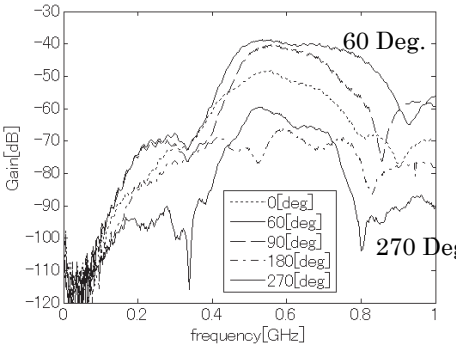




シミュレーションとの比較

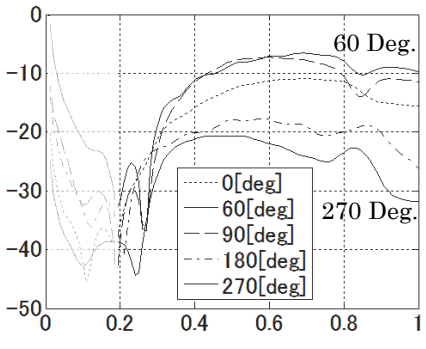
- 測定結果とシミュレーション結果を比較すると、測定結果には地中の水分による減衰の影響が見られるが、傾向は概ね一致している

給電点間距離・・・75cm
地中の比誘電率・・・15



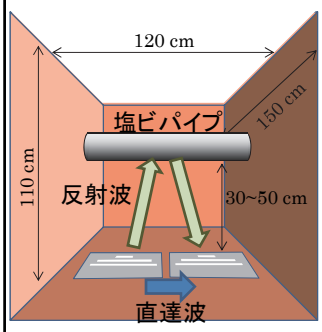
測定結果

比誘電率・・・15

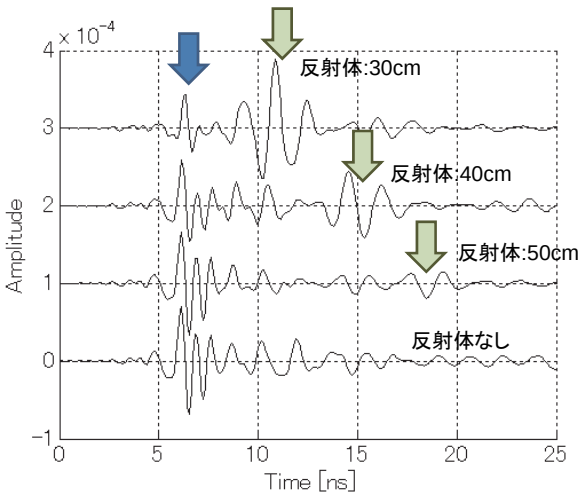


シミュレーション結果

地中内での反射特性計測



・直径10cmの中空塩ビ管を反射体
・送受信アンテナを平行に地中に配置し、反射体までの距離を変化



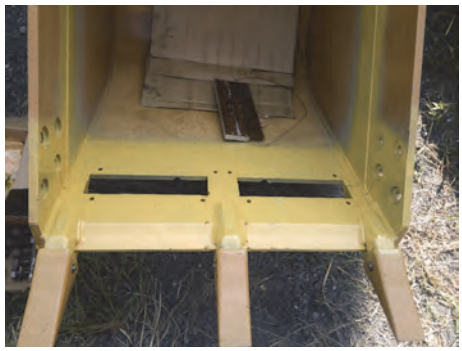
まとめ・今後の課題

- 遠方界を用いた八木宇田スロットアンテナの最適化を行った
- 試作アンテナによる土壌内透過計測実験
  シミュレーション結果と実験結果の比がほぼ一致
  400～700MHzの広帯域（帯域幅300MHz程度）で利用可能
- 試作アンテナによる土壌内反射計測
  アンテナ間の直達波が小さい
  50cm離れた直径10cmの塩ビ管からの反射波を計測可

八木宇田スロットアンテナはバケット一体型アンテナとして利用可能

今後の課題

- 重機を用いた反射体計測実験
- 試作レーダシステムによるリアルタイム計測
- 砂利、礫交じり土等、実フィールドでの適用性検討

バケット一体アンテナの試作状況

三菱キャタピラ製バケット（0.5m^3）にアンテナ設置用の開口部を設け、試作したアンテナを設置し、掘削中のリアルタイム計測実験を行う予定