

P2-135 UHF帯固体惑星内部探査レーダの開発と試作評価試験

伊藤琢博, 葛山祐子, 片山雷太, 真鍋武嗣(大阪府立大),
西堀俊幸, 春山純一(JAXA/ISAS), 松本岳大, 宮本英昭(東京大)

概要

著者らの研究グループでは、UHF帯の電波を用いた地中レーダ（ground penetrating radar: GPR）による地下深さ：～数十mまでの固体惑星内部探査を検討している。開発されたGPR試作機はパルス圧縮方式を採用しており、信号処理による距離分解能とパルス強度の増加が可能である。送受信アンテナには、UHF帯で広帯域に利用可能なVivaldiアンテナが採用され、Particle Swarm Optimization (PSO)法という手法を用いて S_{11} パラメータを最小化したVivaldiアンテナを設計した。

開発されたレーダ試作機およびアンテナを用いて、2013年9月、コーナリフレクタの検知試験を実施した。試験の結果、リフレクタからのエコーを観測することができた。また取得した生データにマイグレーション処理をすることで、リフレクタのイメージを取得することができた。

またレーダ試作機およびアンテナを用いて、2013年11月、異なる深さに複数の金属管が埋められた試験場にて埋設管の検知実験を実施した。現在深さ20 cmに埋設された埋設管のイメージを取得できている。今後は他の深さの埋設管のイメージ解析を進め、試作機の評価をする予定である。

背景

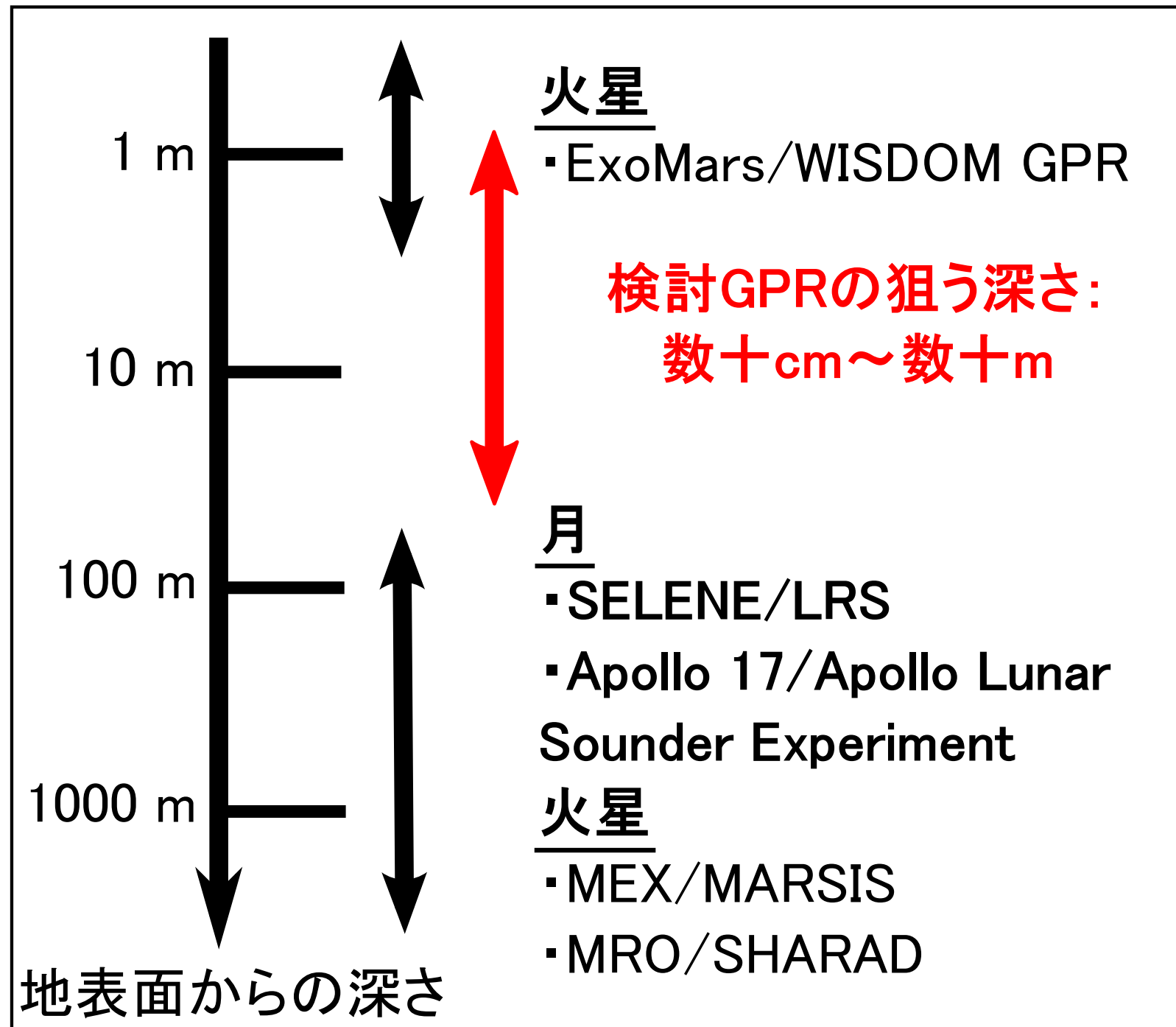
GPRによる探査の意義

固体惑星地下浅部の内部構造を理解することは、月・火星・小惑星などの地質学的な歴史を紐解く上で重要なキーである。この目的に対して、地下内部構造を破壊することなく検知し特定することのできる地中レーダ（ground penetrating radar: GPR）は、有効な手段である。

対象プロジェクト

はやぶさ後継機、SELENE-2、MELOSなどの計画に提案可能なGPRを検討している。検討しているGPRは固体惑星内部の深さ数十mを数十cmの分解能で把握することを目指している。

他ミッションと比較した検討GPRの位置づけ



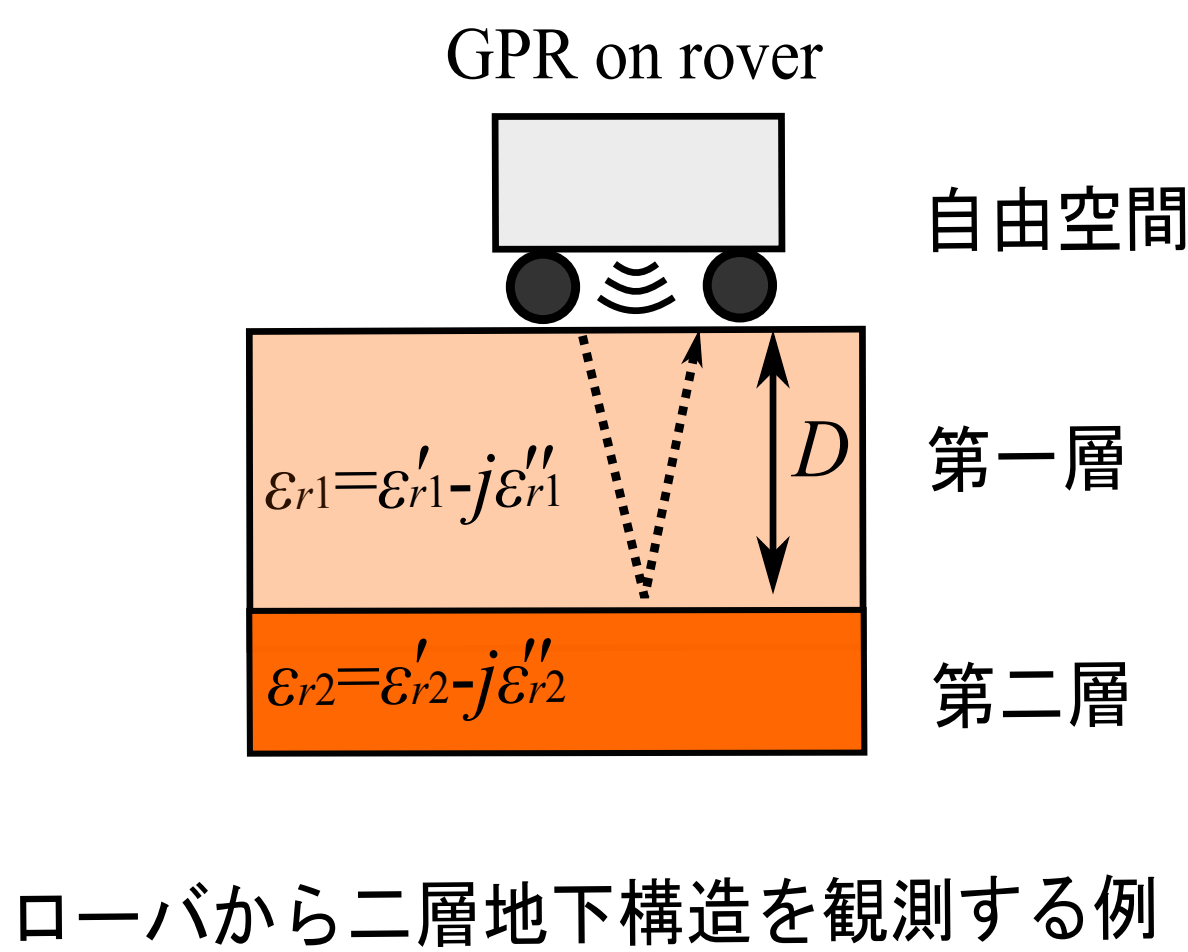
原理

観測方法

GPRから電波を放射すると、電波の一部は地中に透過。透過電波が特性の異なる物質（例：地層、岩、空洞）にぶつくと、反射が発生。地中で反射された電波をGPRにより観測することで、地下構造を可視化。

地中の誘電的特性

・地中を構成する物質の複素誘電率が観測結果に影響を与える。
（例：地中での電波伝搬速度、電波減衰量）



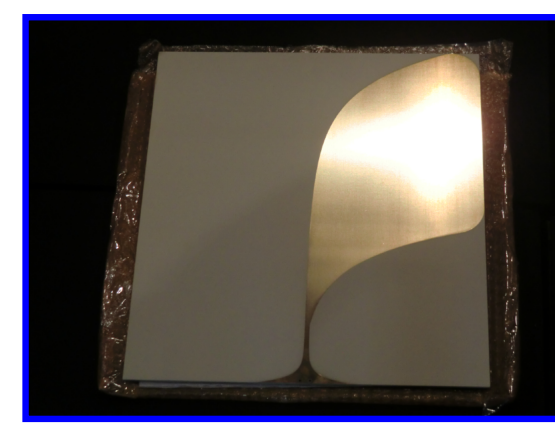
設計開発

GPRの目標仕様

サイズ	30×30×10 cm
重量	～2 kg
消費電力	30 W（観測時）
パルス生成方式	パルス圧縮
周波数変調	Linear FM chirp変調
ウィンドウ	Hanning
放射電力	1 W
送信周波数	300-900 MHz
送信時間	0.33 μs
送信繰り返し周期	1 μs
アンテナ	Vivaldiアンテナ
アンテナS11	-10 dB以下

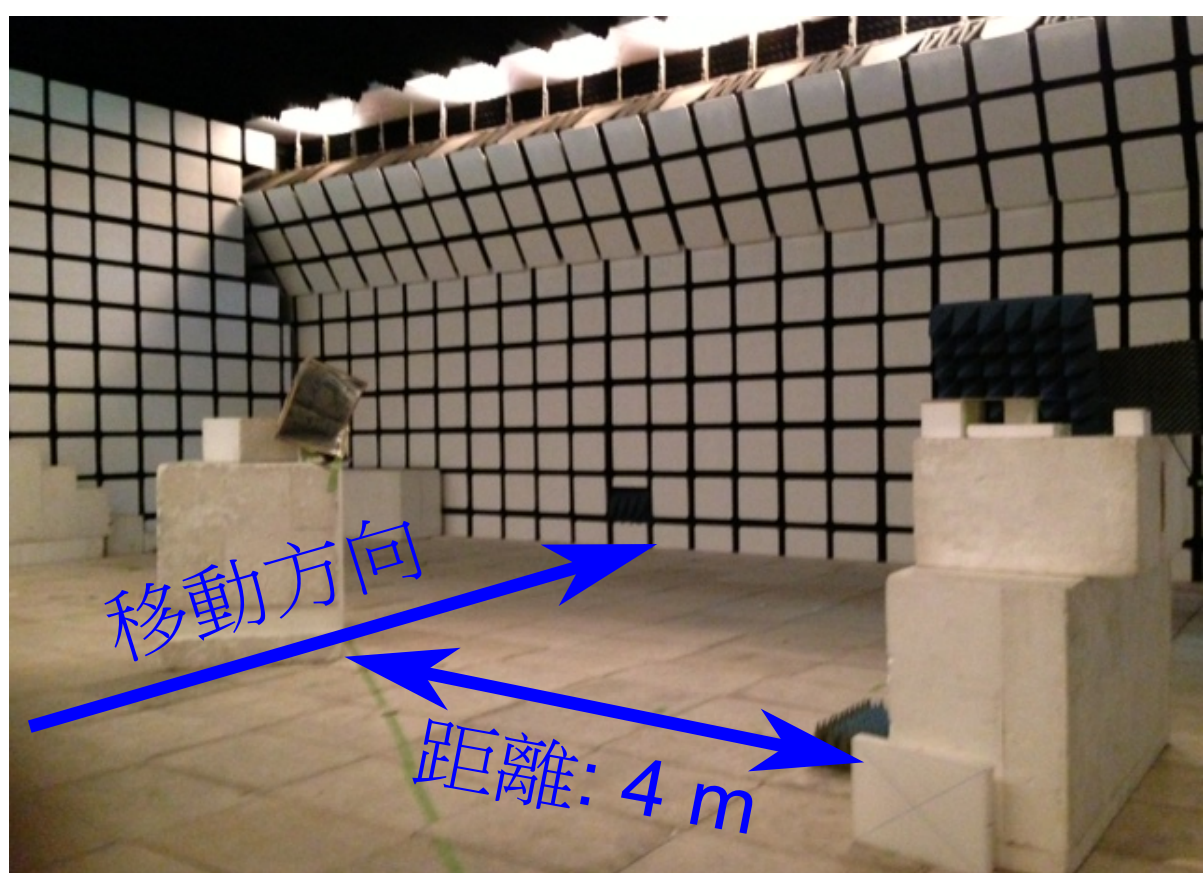
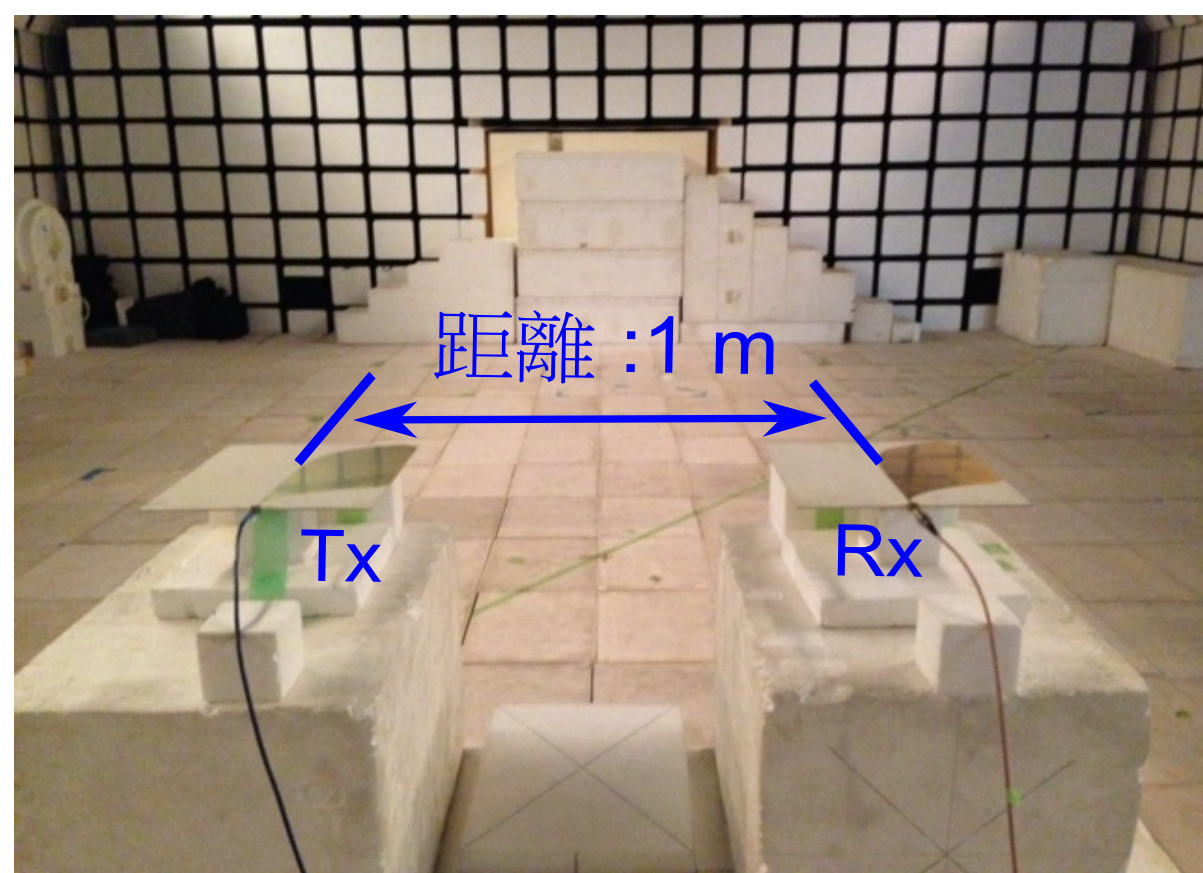


レーダ試作機（内部）

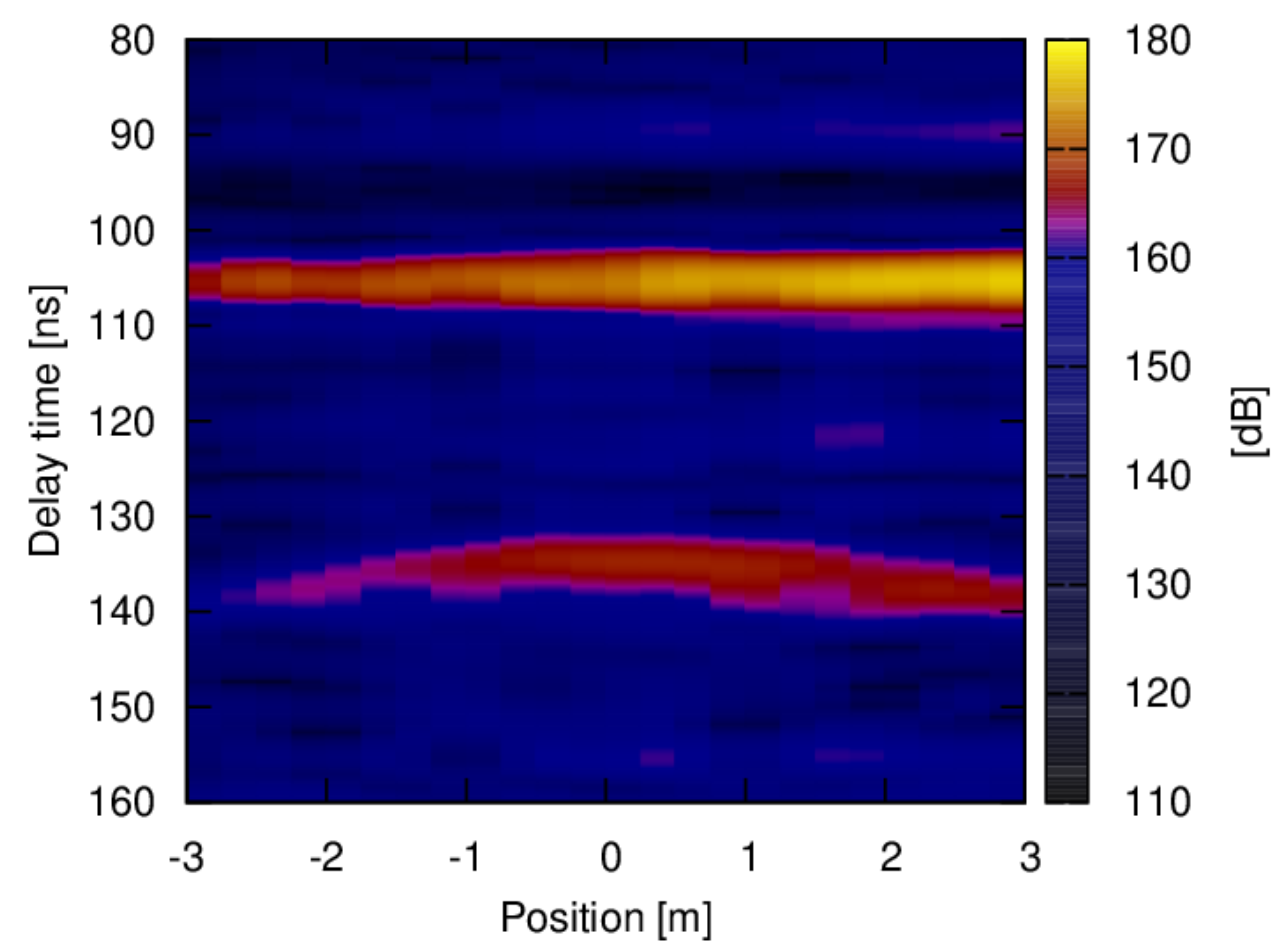


Vivaldiアンテナ試作機[1]

コーナリフレクタ検知試験

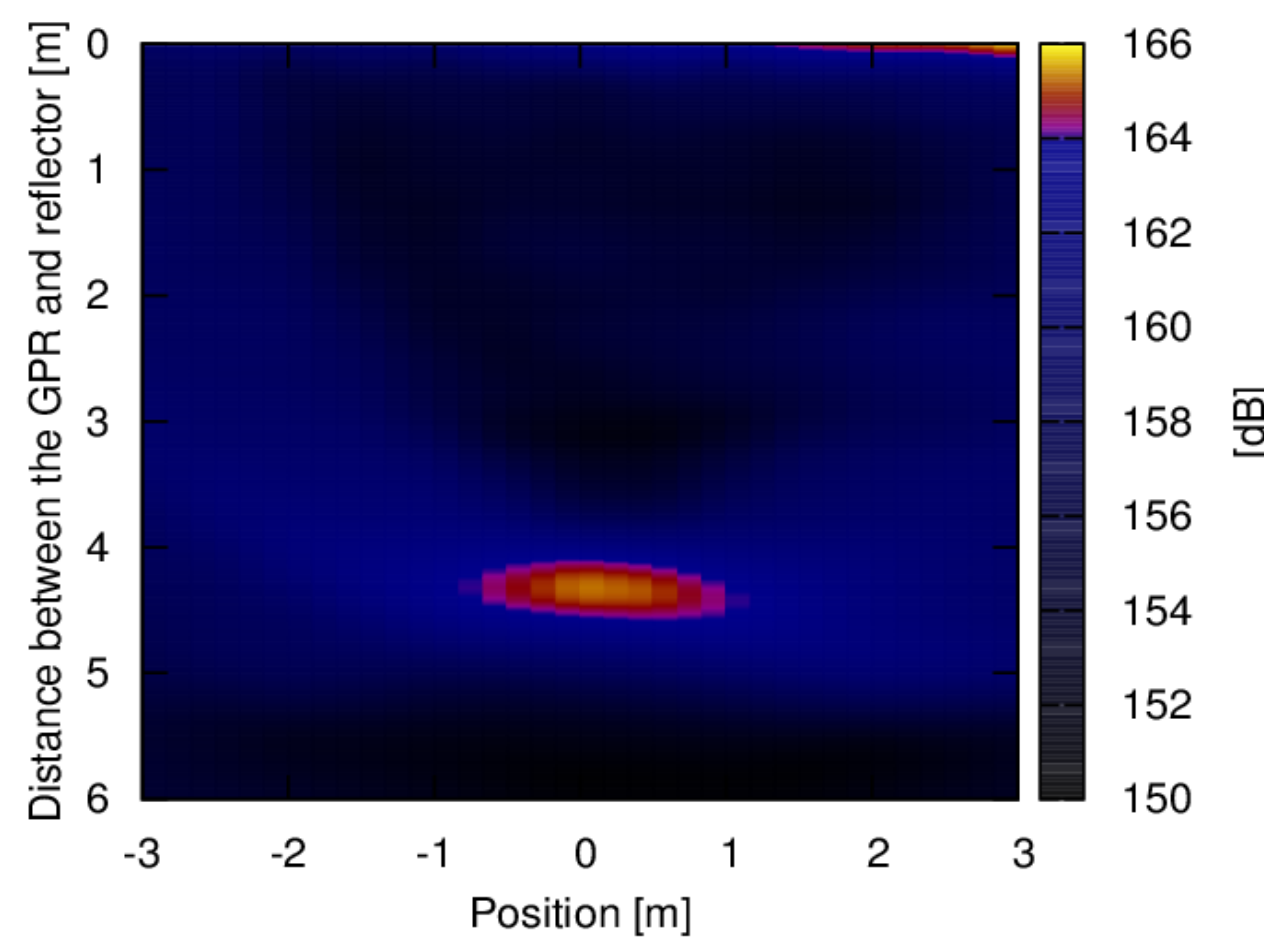


三面コーナリフレクタ検知実験の様子（リフレクタの一边：40 cm）。



反射体イメージ

(Kirchhoffマイグレーション[2]前)。

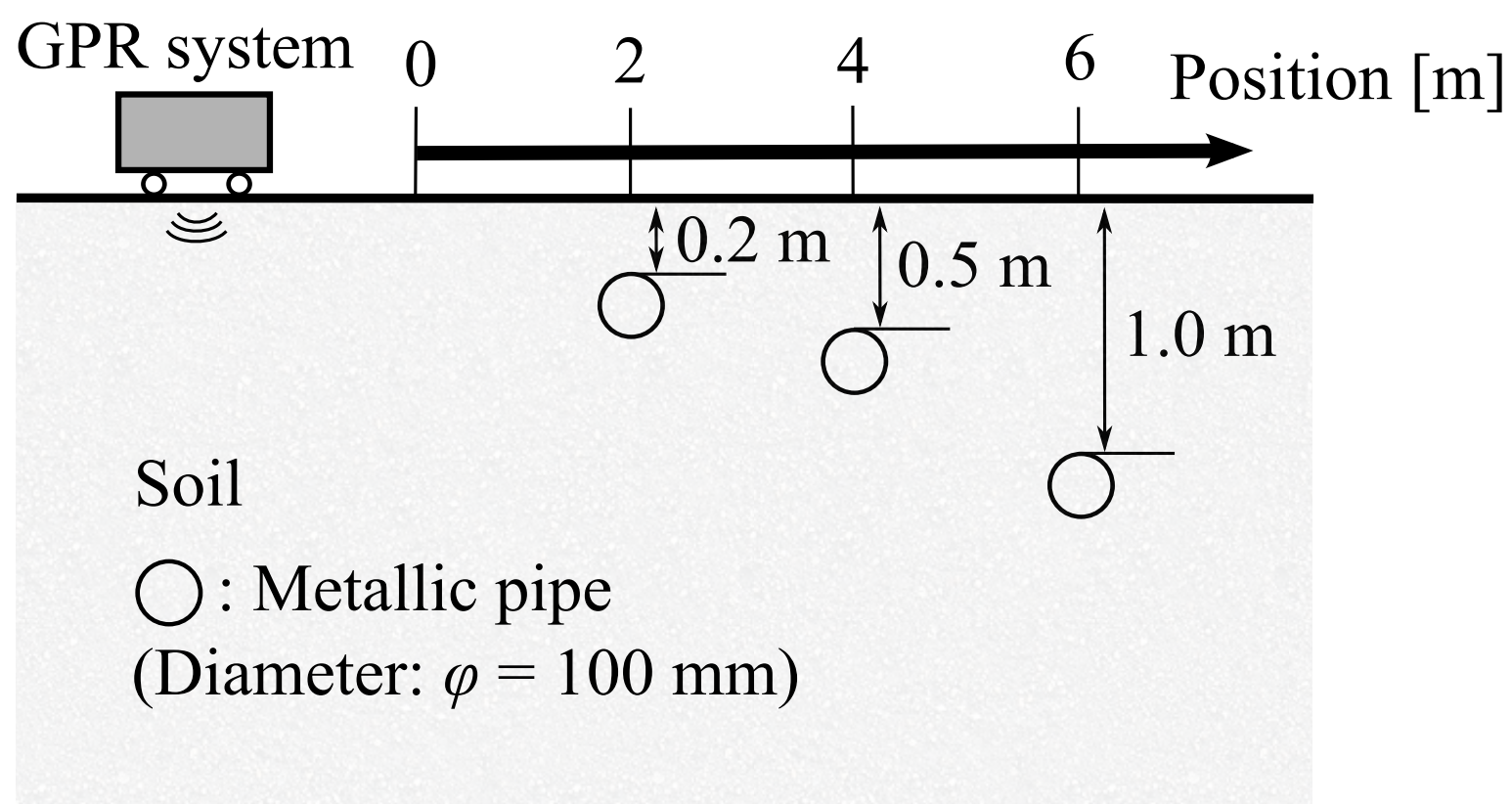


反射体イメージ

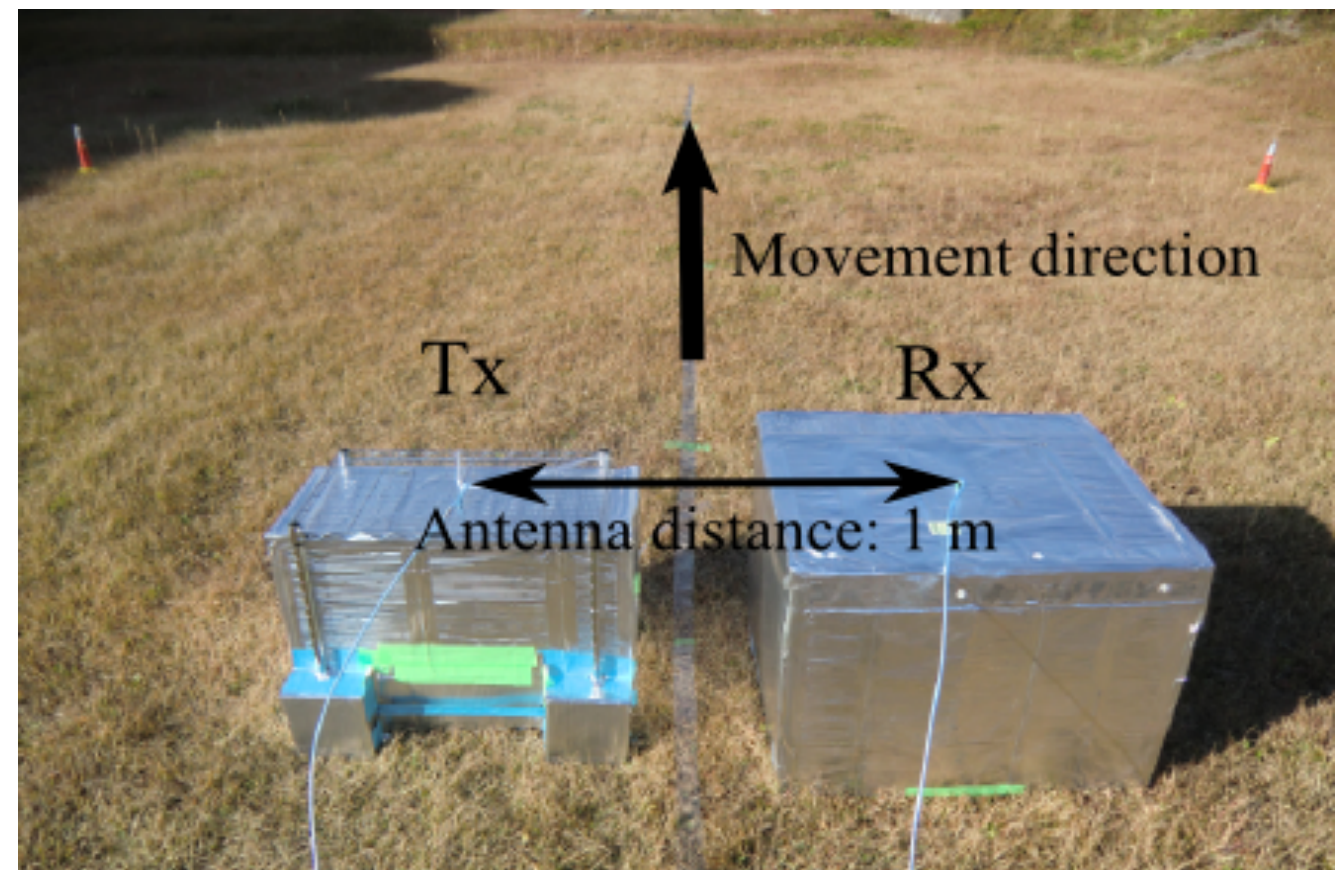
(Kirchhoffマイグレーション後)。

フィールド試験

試験条件

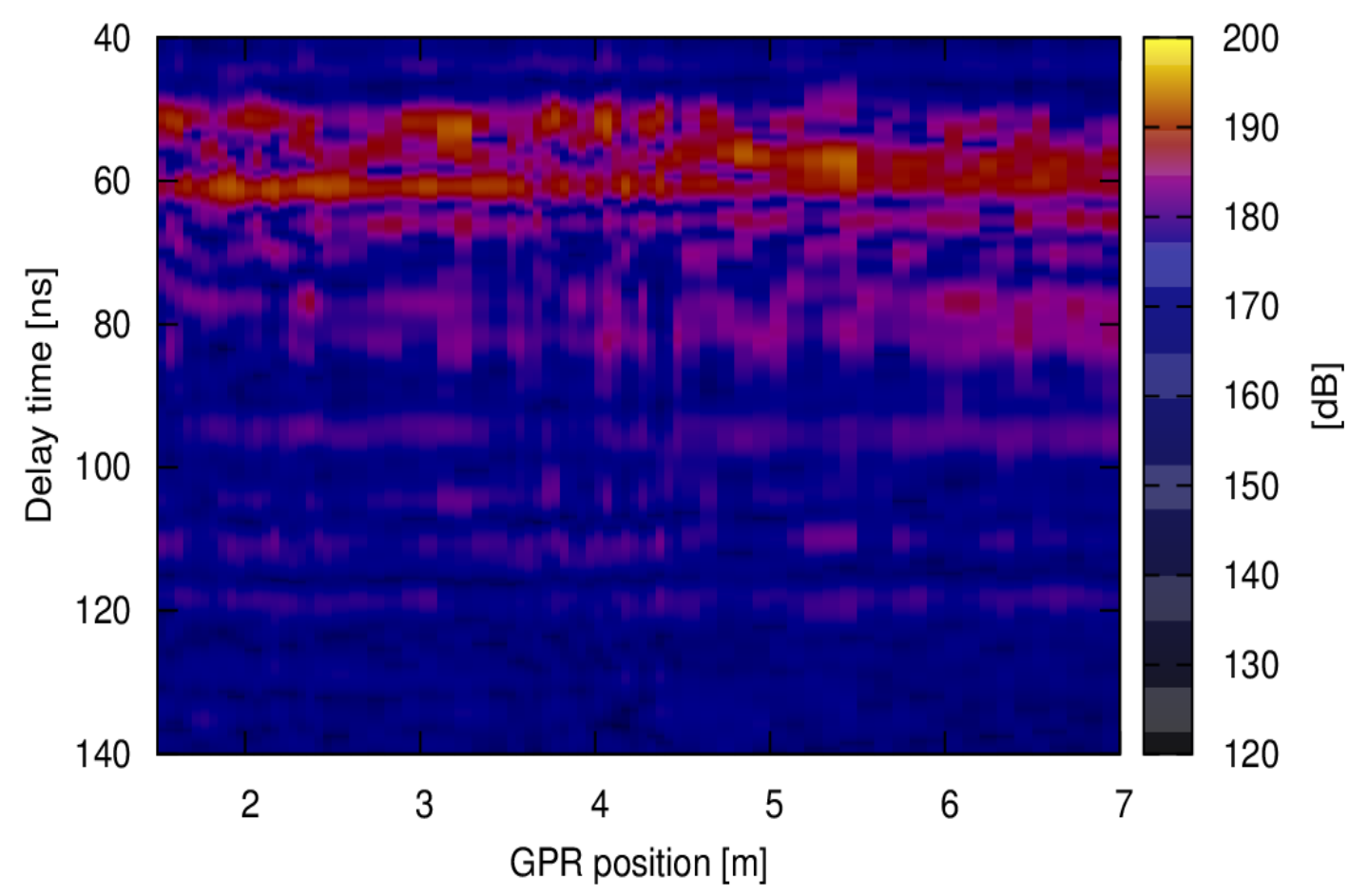


試験フィールド断面図。



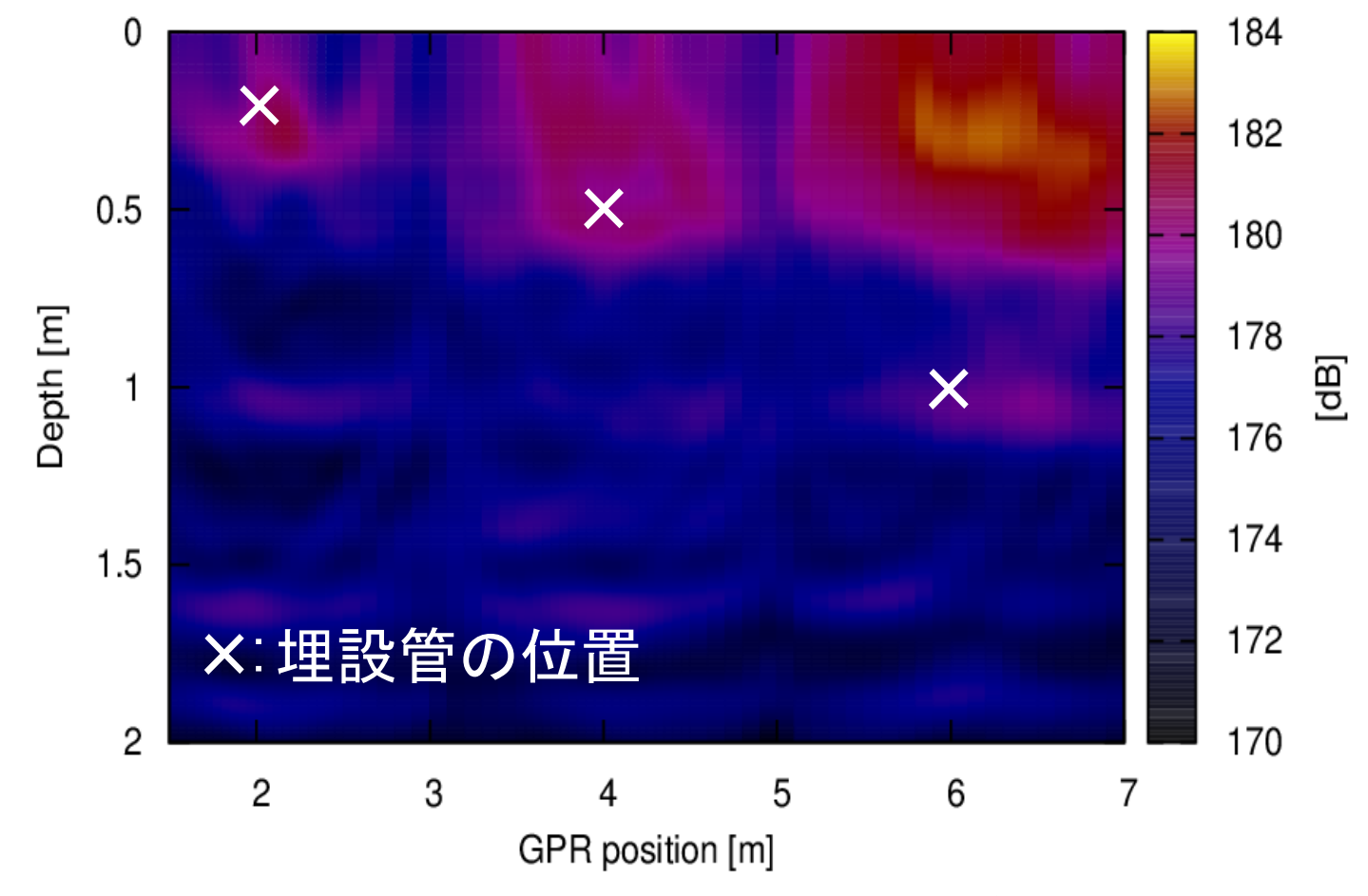
送受信アンテナ設置の様子。アンテナは金属シートを張った箱でシールドされている。

試験結果



B-スキャン

(Kirchhoffマイグレーション前)。



地下イメージ

(Kirchhoffマイグレーション後)。

地中の誘電率は20として計算。

結論

- ・コーナリフレクタ検知実験により、GPR試作機にレーダとしての基本的な検知能力が備わっていることが確認できた。
- ・フィールド試験の結果は解析中であるが、現段階で0.2 mの深さにある埋設管のイメージは明瞭に取得されている。
- ・深さ0.5 m、1 mの埋設管の位置にもそれぞれやや強いイメージが表れている。しかし、深さ0.5 mにある埋設管付近は周辺でも強いイメージが取得されており、原因を今後分析する予定である。同様に深さ1 mの埋設管付近では、本来何も埋まっていないはずの深さ0.2-0.4 mあたりに強いイメージが表れており、今後原因を分析する。

謝辞

コーナリフレクタ検知試験では情報通信研究機構（NICT）のV/UHF帯大型電波暗室を、フィールド試験では光電製作所上野原事業所の試験場をお借りしました。この場を借りて謝意を表します。

参考文献

- [1] 片山, 真鍋, 西堀, “PSO による固体惑星内部探査用 Vivaldi Antenna の最適設計,” IEICE 総合大会 2013, B-1-112, 2013.
- [2] 佐藤, “地中レーダによる地下イメージング,” IEICE Transactions on Electronics, Vol. J85-C, No. 7, pp. 520-530, 2002.