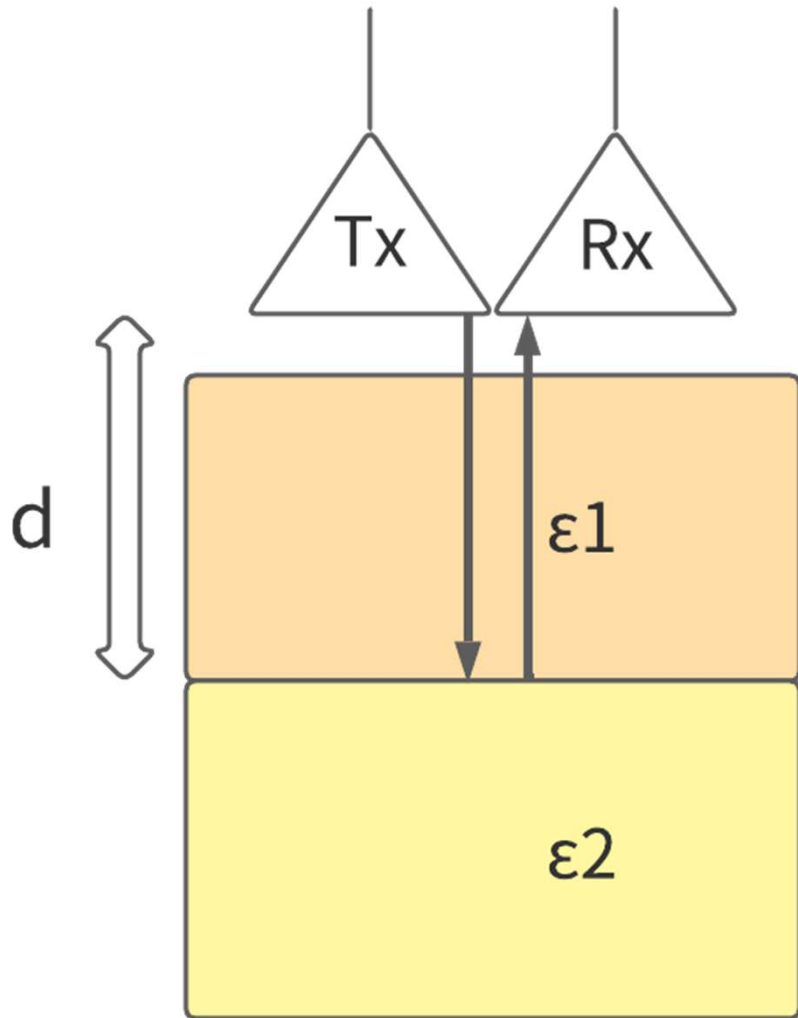


埋設されたパイプの位置・方向推定のための 偏波感受型圧縮センシング

廣瀬夏秋研究室 学部4年

03-210499 高原陽太

研究背景：地中探査レーダ(GPR: Ground Penetrating Radar)



- ・ 電磁波を地中に照射し、地中埋設物を探知
- ・ 放射された電磁波は媒質が異なる境界面で反射
→ 土壌と異なる物質を検知できる

深度 d を送信波が返ってくるまでの時間 τ から

$$d = v\tau/2$$

媒質の境界面での反射波の振幅比 γ は

$$\gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

研究目的

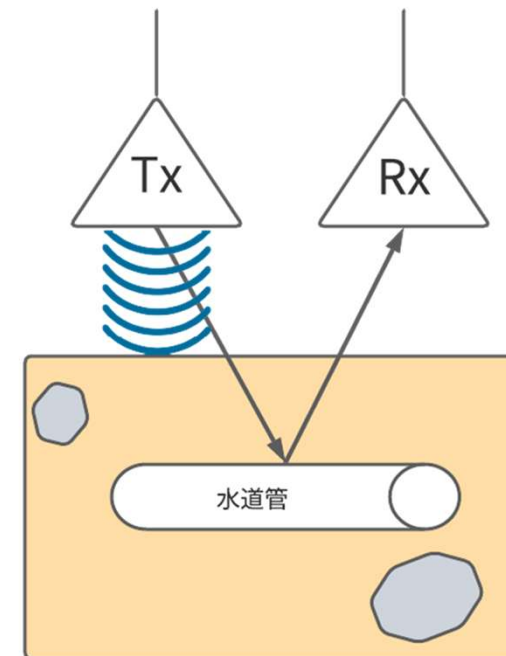
- ・ 工事のため地中調査を行う際、地中の埋設物の有無及び形状、位置を推定しておく必要がある
代表例：ガス管や水道管

→調査段階でそれら埋設物の詳しい情報を得ておくことが重要となる。

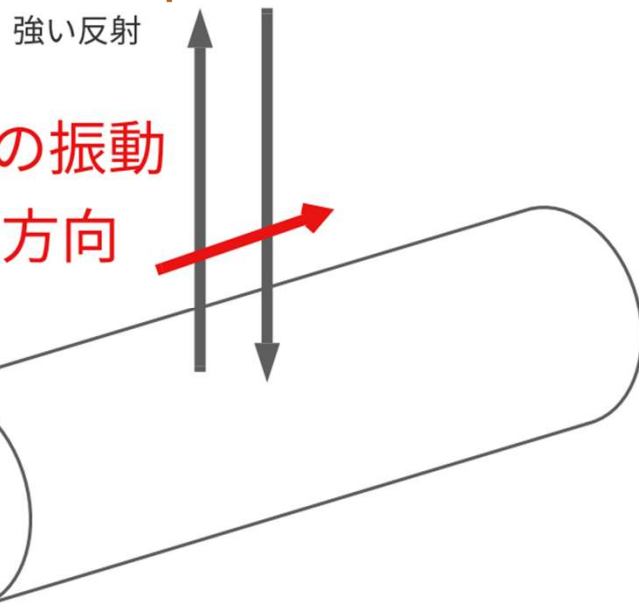
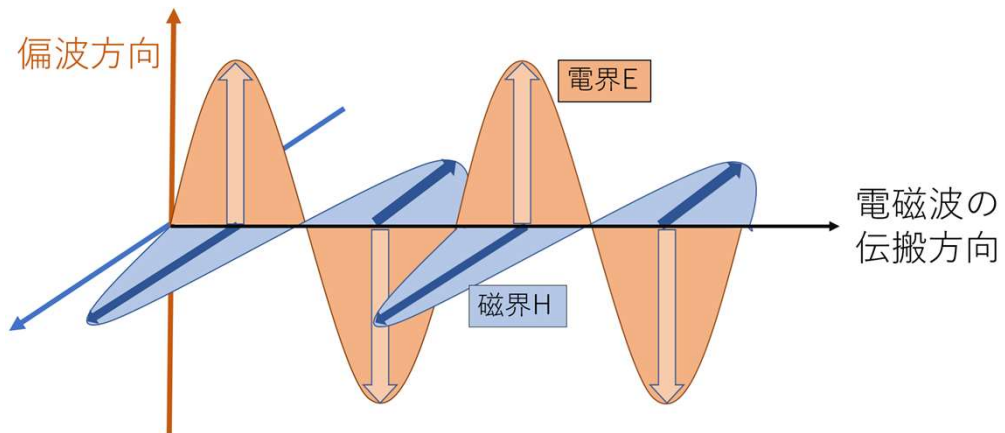
GPRによって埋まっているパイプの位置及び向きも含めた形状を推定する



地中パイプの様子(自分で撮影)



偏波



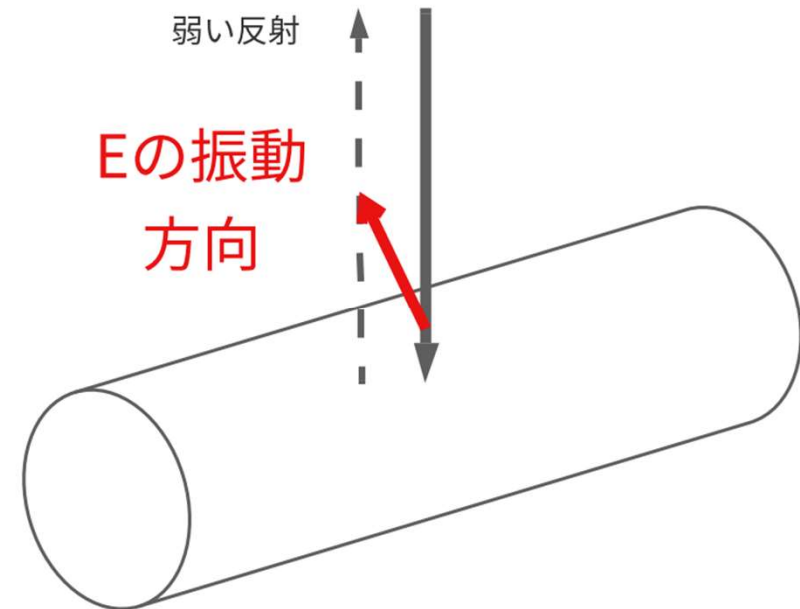
- ・電界と磁界が直交しながら伝搬する波における電界の向き
- ・基本GPRは電磁波を照射し、返ってきた波の振幅、位相から目標物の情報を得るのだが..

[線状物体と偏波の向き]

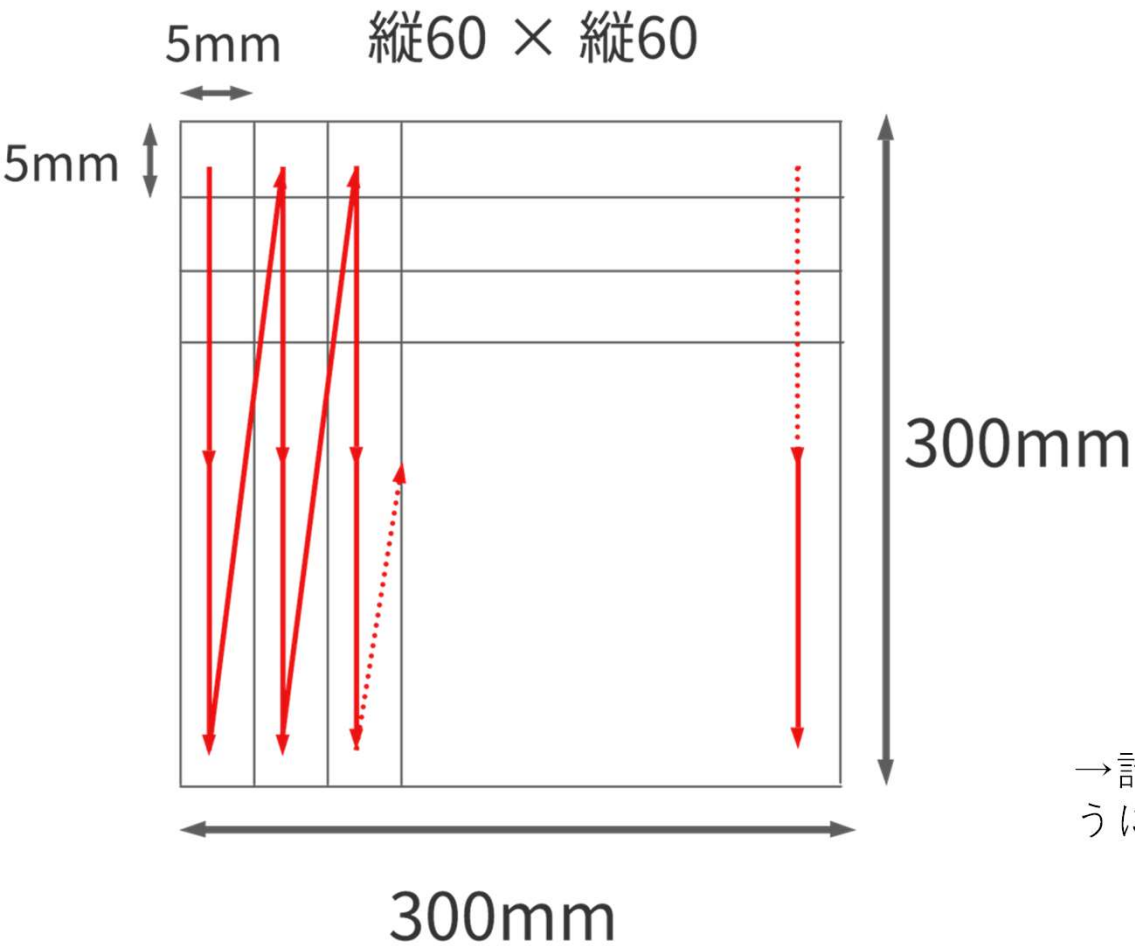
パイプなどの線状物体の方向と偏波方向が

：平行なときに強い散乱

：垂直なときに弱い散乱



GPRの問題点



地上から(x,y)座標について細かく移動処理する必要がある

各計測点で複数の周波数を照射する必要がある

Set parameters

COM port No.: 3

X_POINT: 60 Y_POINT: 60

Interval: 5 mm

START_POINT x: 400 y: 300

START FREQUENCY: 1 GHZ

STOP FREQUENCY: 11 GHZ

FREQUENCY POINT: 201

START INTERRUPT FINISH

Current Pos.: 0 0

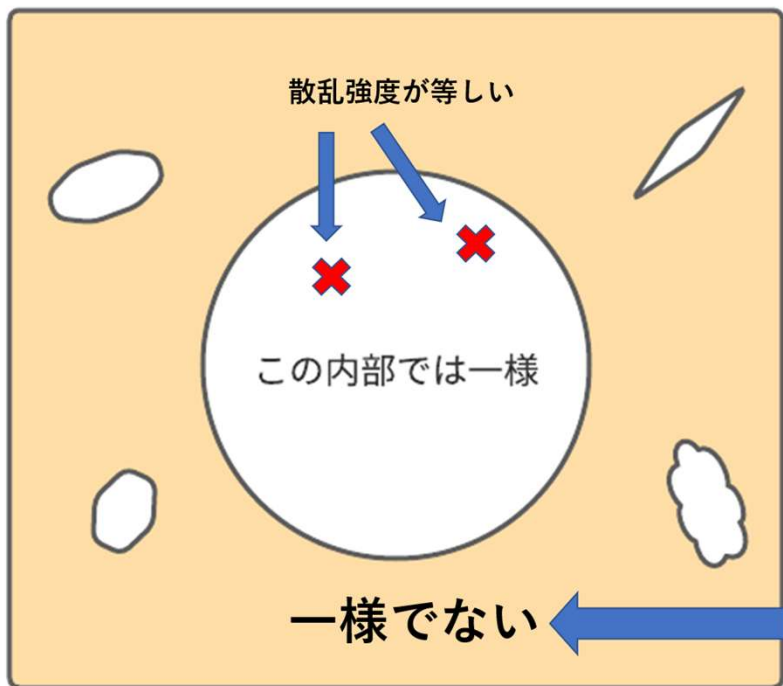
→計測時間を短縮しながら位置、形状を推定できるようにしたい

圧縮センシング

- 圧縮センシングとは、対象となる信号をできるだけ少ない観察点数から復元する技術
- まばらな計測点からデータを補間
→ データ処理にかかる時間を短縮

モデル内一様性による圧縮

R.Imaiらによる埋設物のモデル化



その内部が一様性を持つようなモデルを仮定する。

：同じ材質、表面状態のものは散乱特性が等しい、一様である

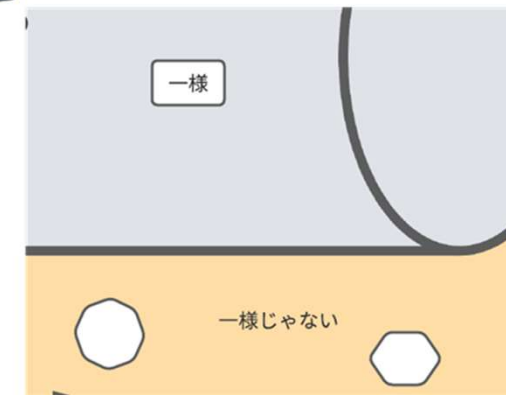
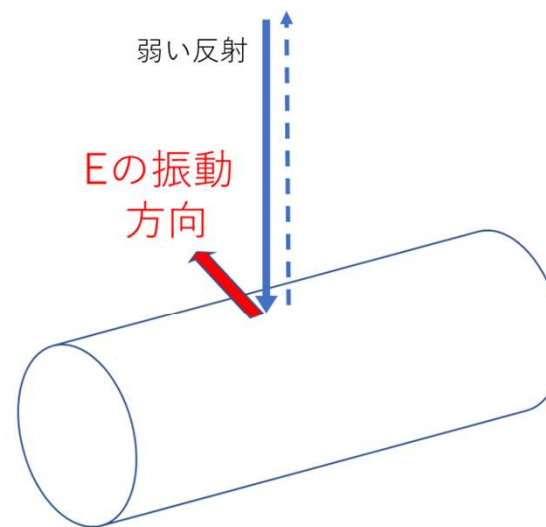
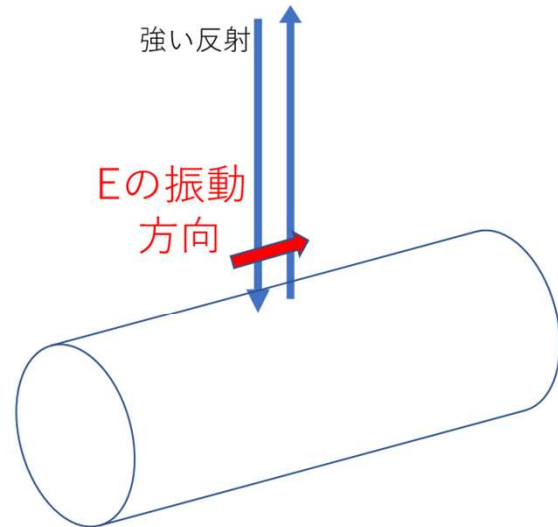
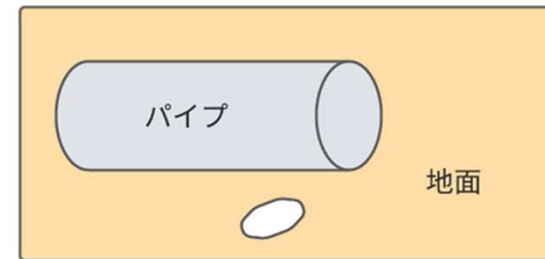
・内部では一様、外部では一様でないところを探す

→埋設物が存在している

モデル外部では
一様ではない

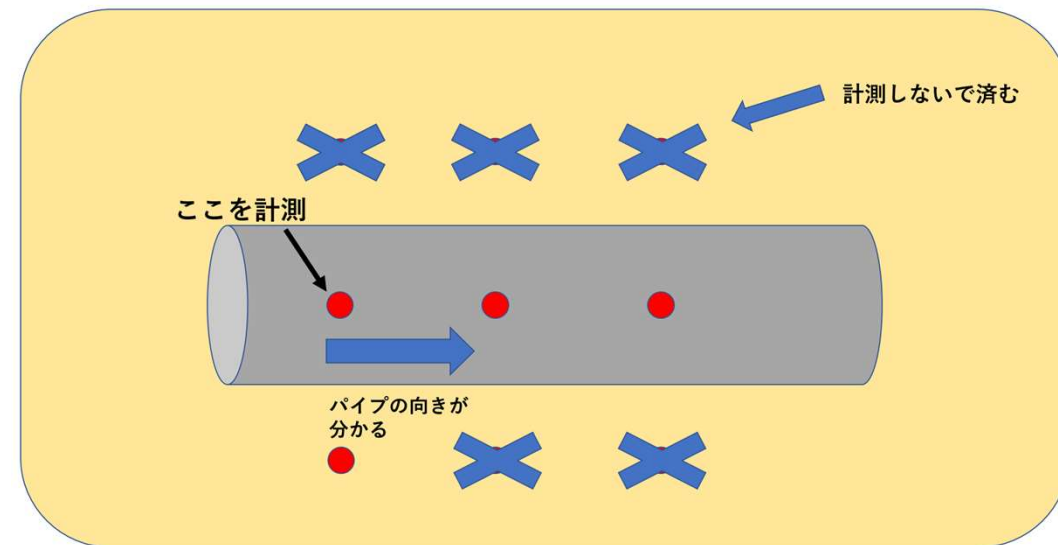
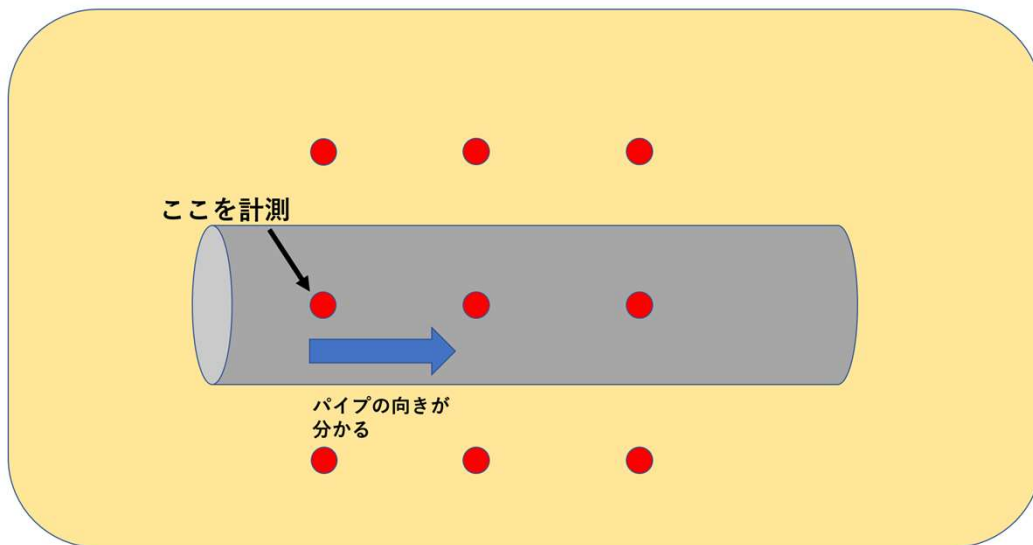
提案手法(モデル化を用いた圧縮)

- ・パイプのモデル化を行う
 - ・上記モデルから一様性を考え、まばらな計測で済むようにする
 - ・新規性として偏波の情報も考慮し、偏波の向きとパイプの向きによってどのように散乱の様子が異なるか考える
- 測定点数が減らせるようにする



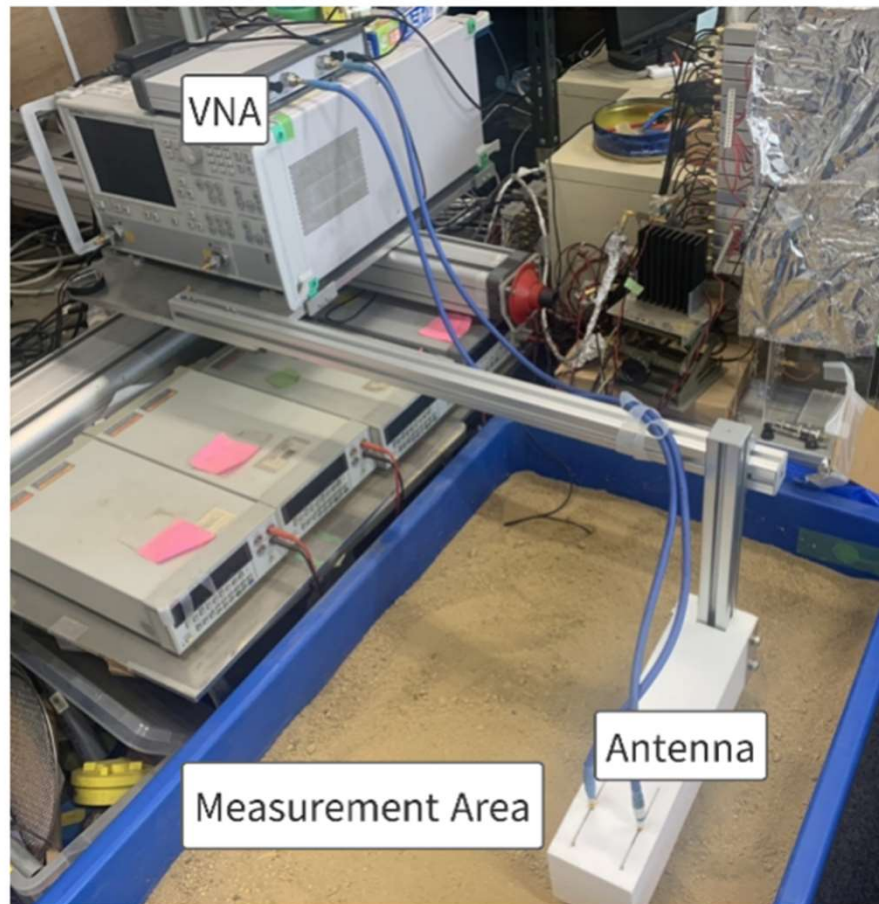
提案手法(偏波感受型の圧縮)

- ・ 垂直偏波と水平偏波を当てることでパイプの向きが推定できる



1点を計測してパイプの向きがわかる
→計測しなくてもいい点が考えられる

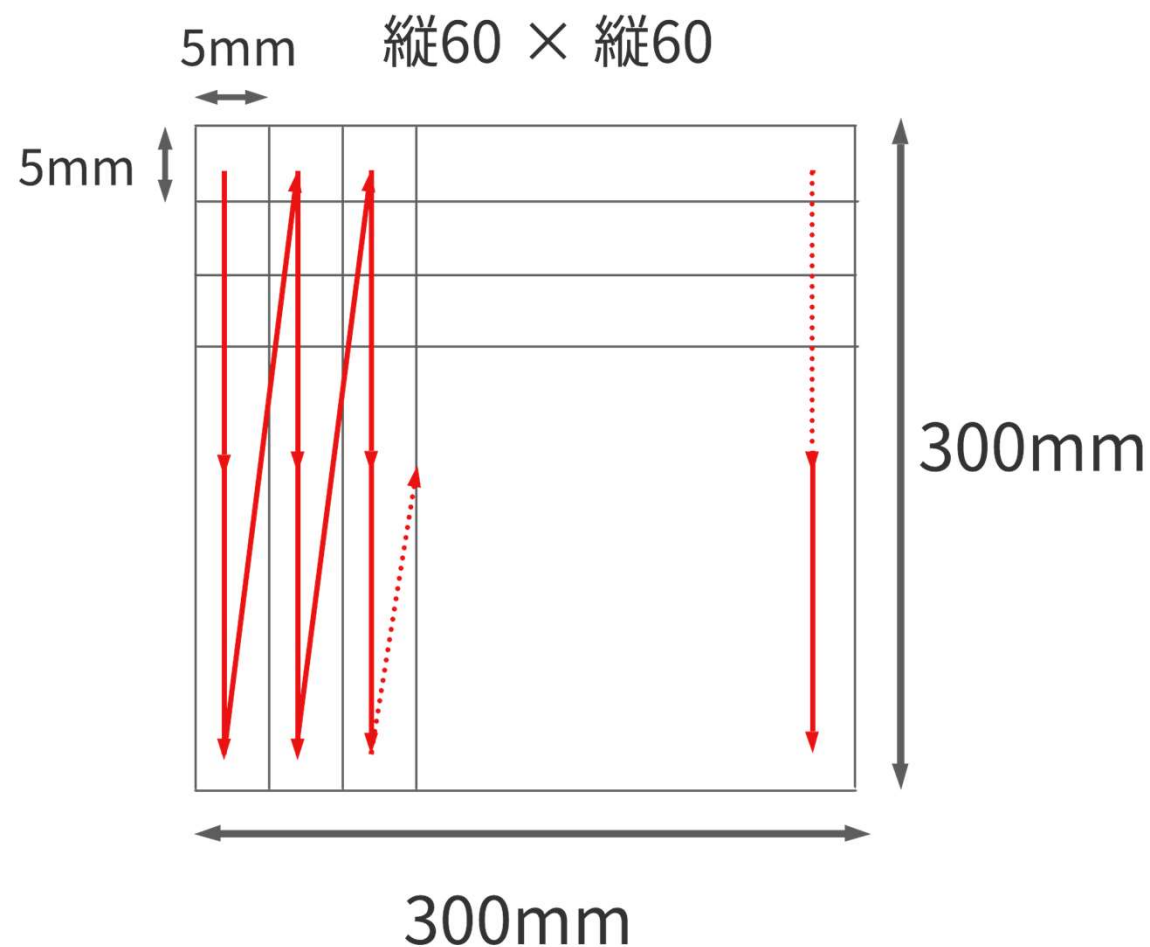
実験手法(データ測定)



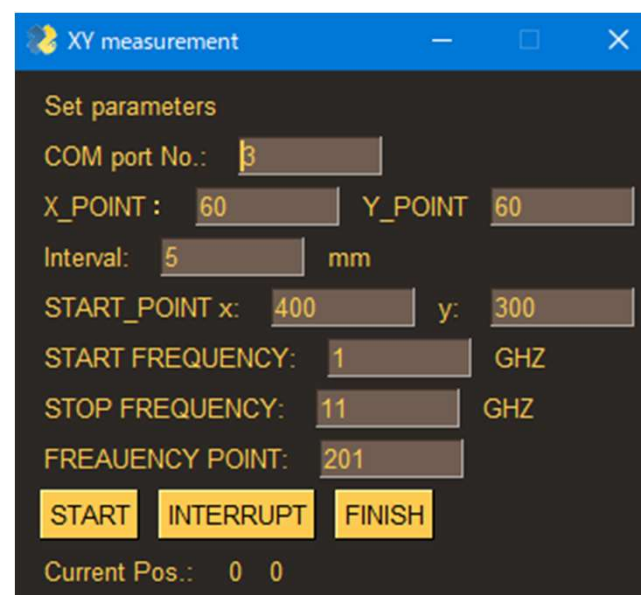
- ・鉄パイプを測定範囲に埋める
- ・ベクトルネットワークアナライザ(VNA)で電磁波を照射し、位置を移動させながら順々に測定する



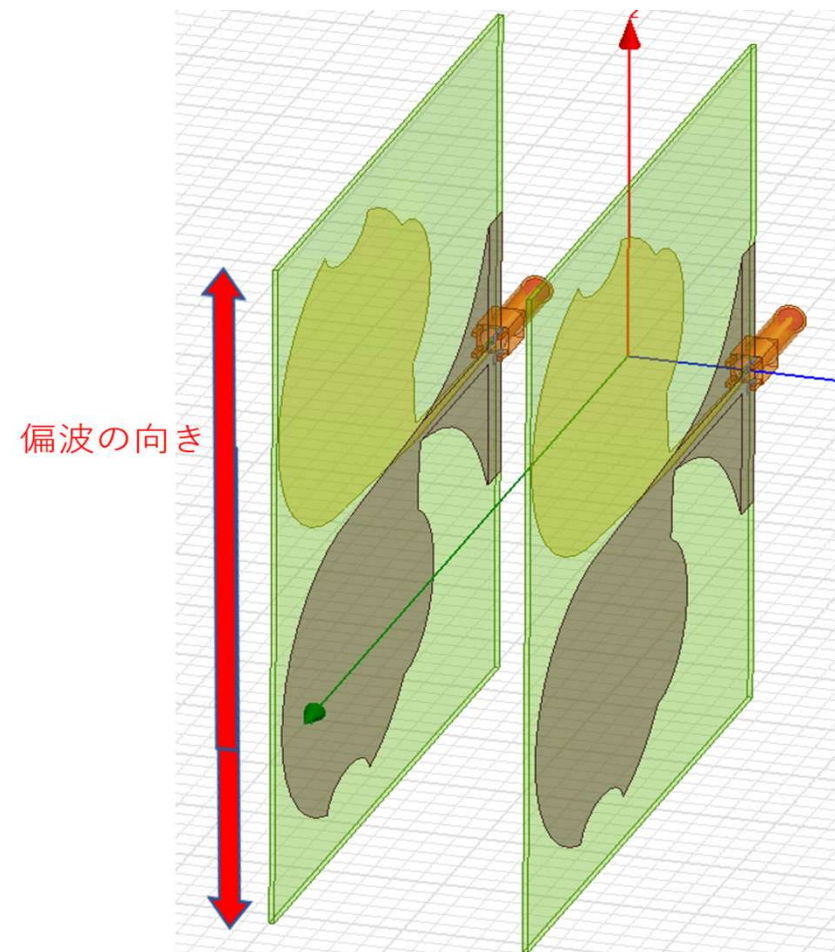
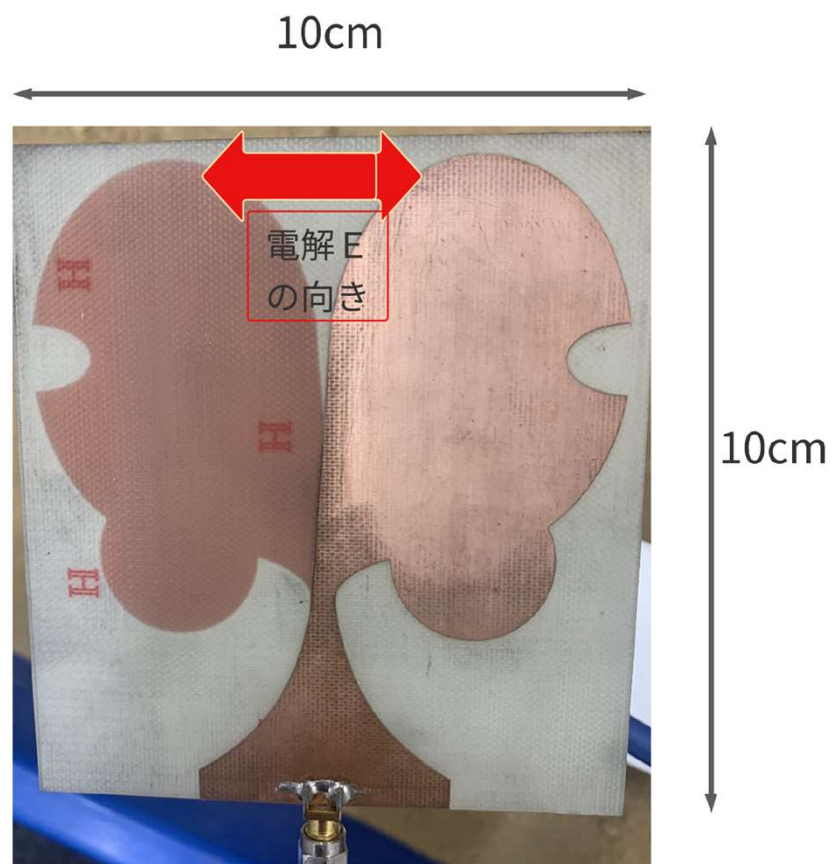
実験手法



(x,y)座標に関して5mm間隔ごとに移動し、それぞれの(x,y)座標で1-11GHzまで等間隔に周波数を照射し、201点計測した
300mm × 300mmについて行った

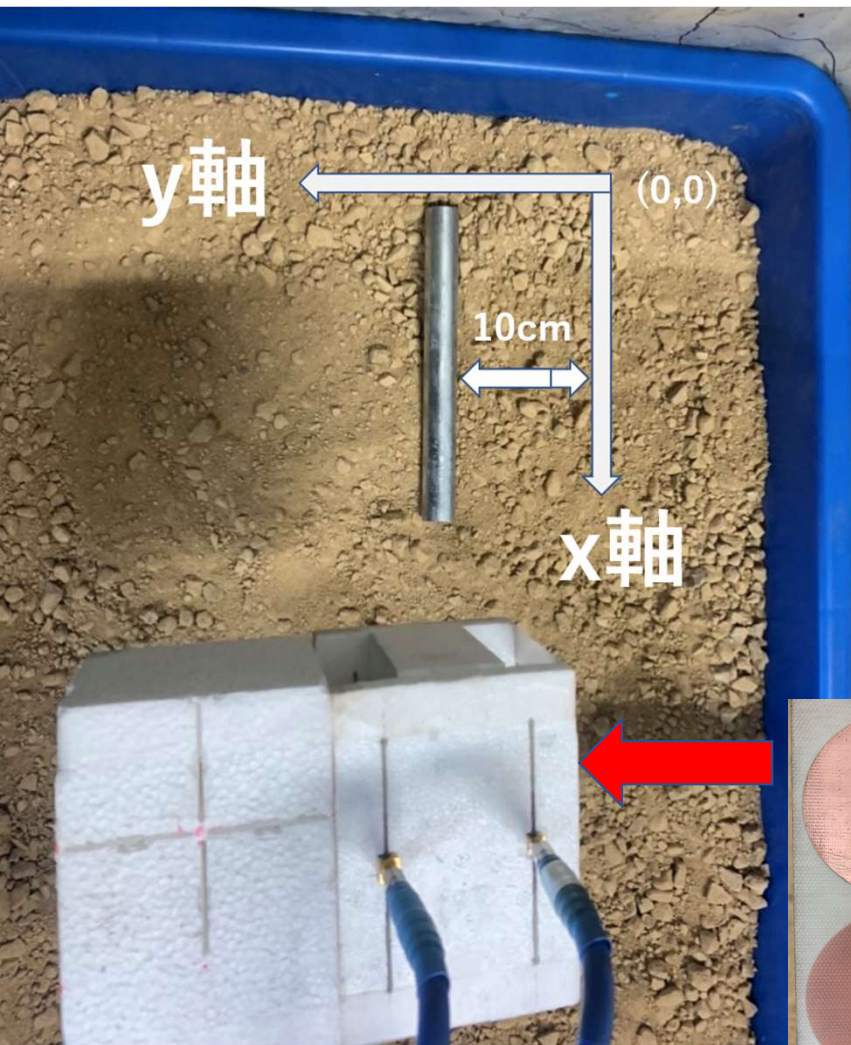


実験に用いたアンテナ

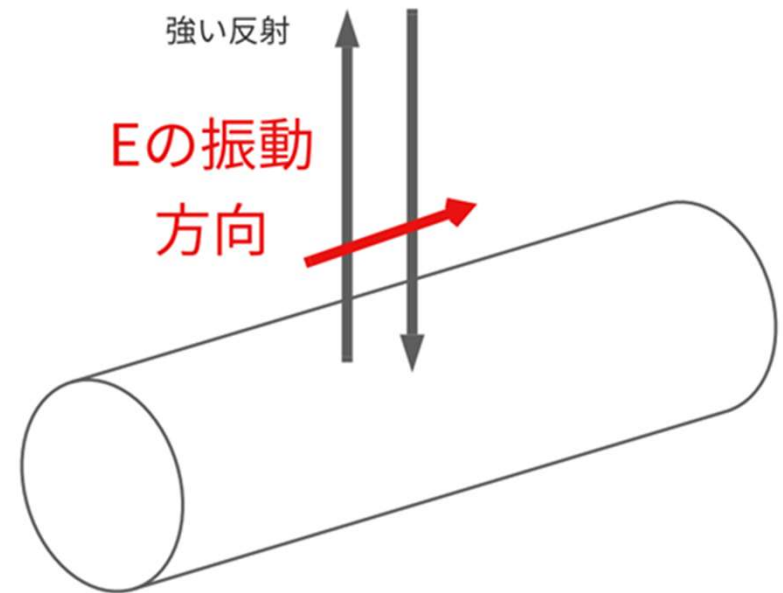


- ・ 左図のように電界Eが振動する(偏波の向き)
- ・ 上図のように向かいあった送信アンテナと受信アンテナをsweepして計測を行う

実験(偏波の向きとパイプの向きが平行)

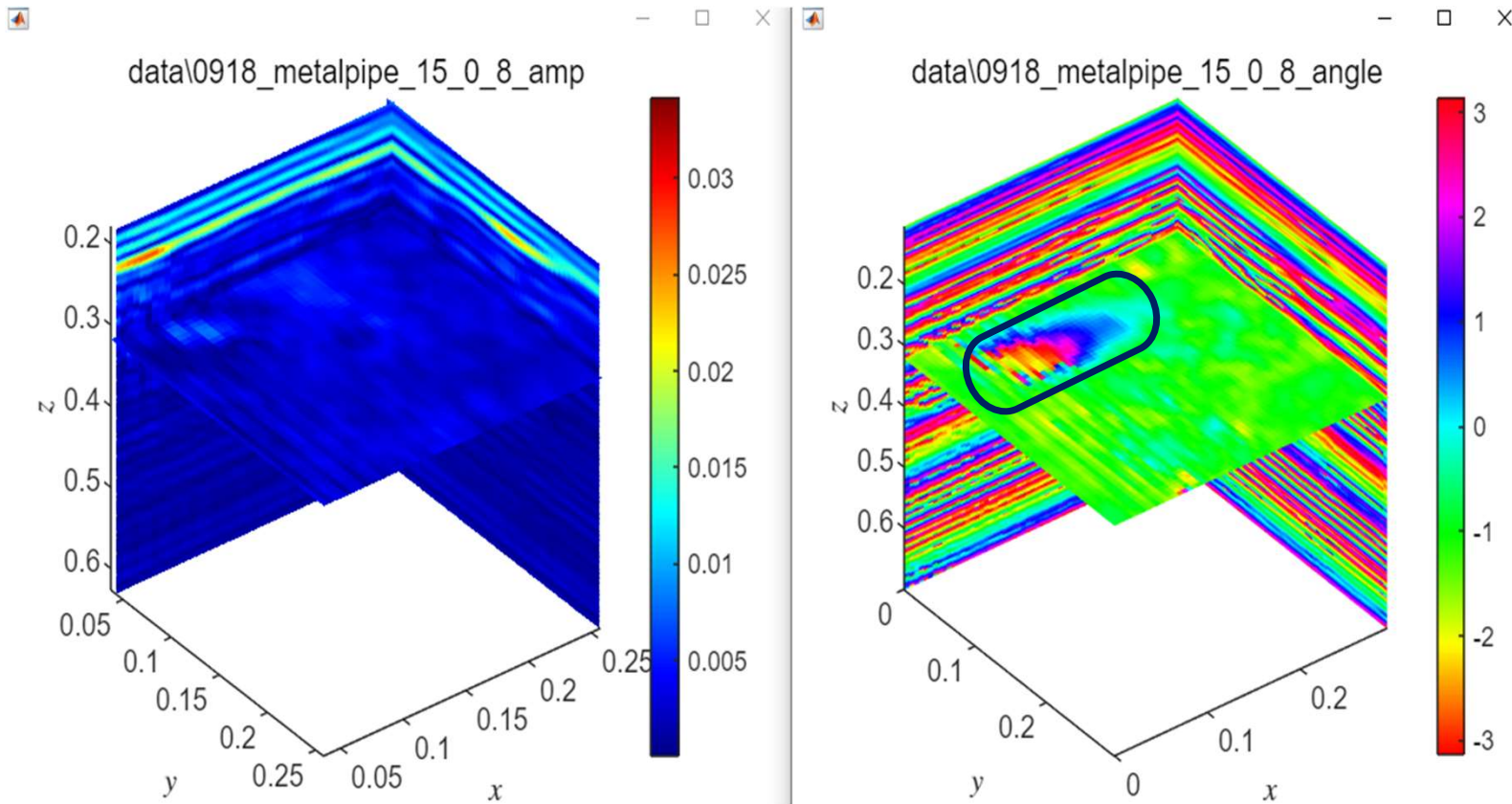


- ・ 偏波の向きがパイプと平行になるようにして測定
- ・ 散乱による受信波が大きくなることを期待
- ・ 送信アンテナ→受信アンテナの散乱係数を
(x,y)平面×深さ方向について振幅、位相に分けて表示



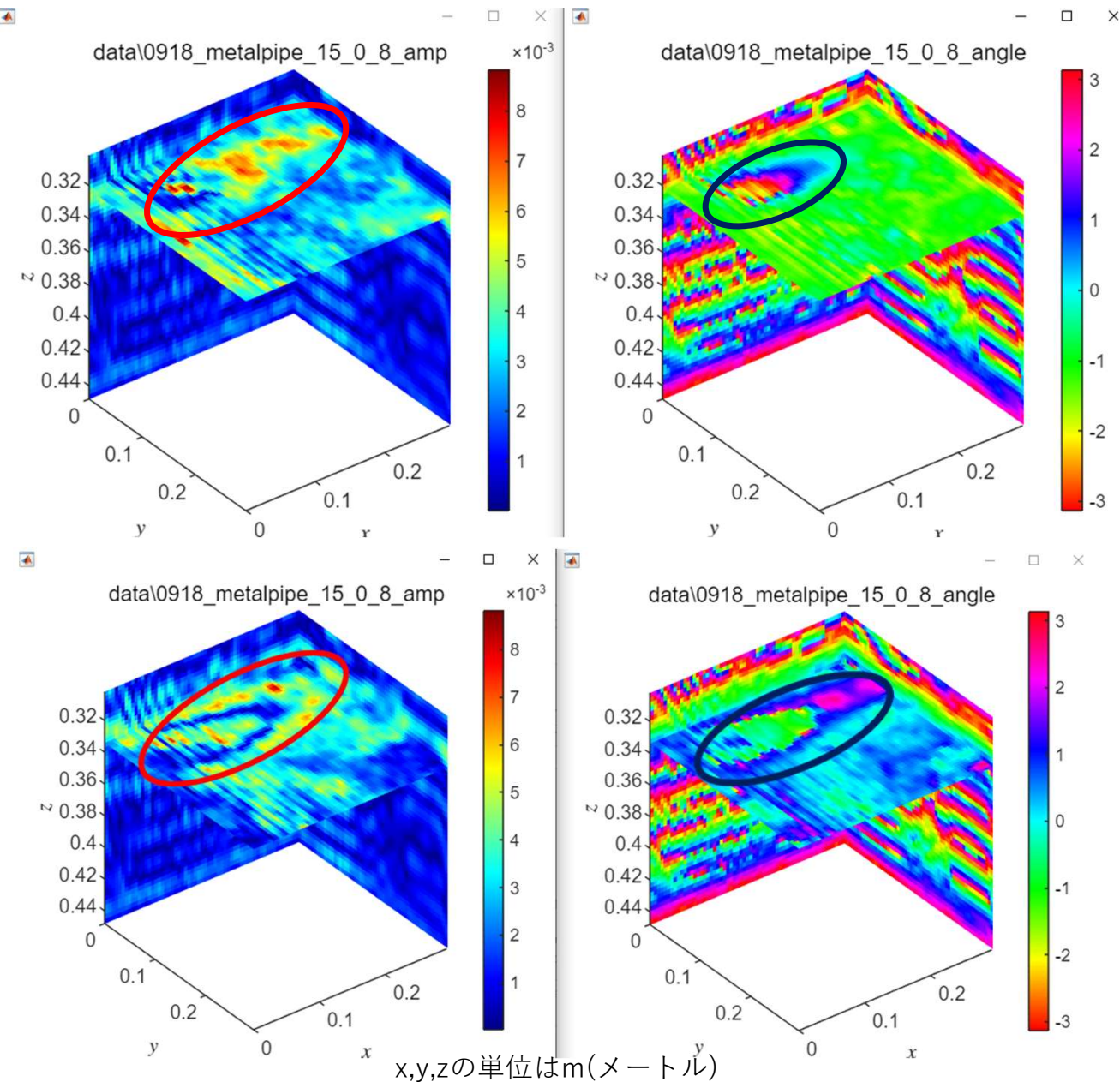
結果(偏波の向きとパイプの向きが平行)

- $y=0.1\text{m}$ 、 x 軸に平行に埋めた(地表から深さ 8cm)
- 受信した散乱係数をパイプの中心位置で区切って表示
- 左が振幅、右が位相



x, y, z の単位は m (メートル)

- 振幅について深さ 0.23m あたりの反応は地表面反射であると思われる
 - 振幅からはパイプの位置が推定できない
 - 地表面からの反射が大きい
- 地中のデータのみ表示

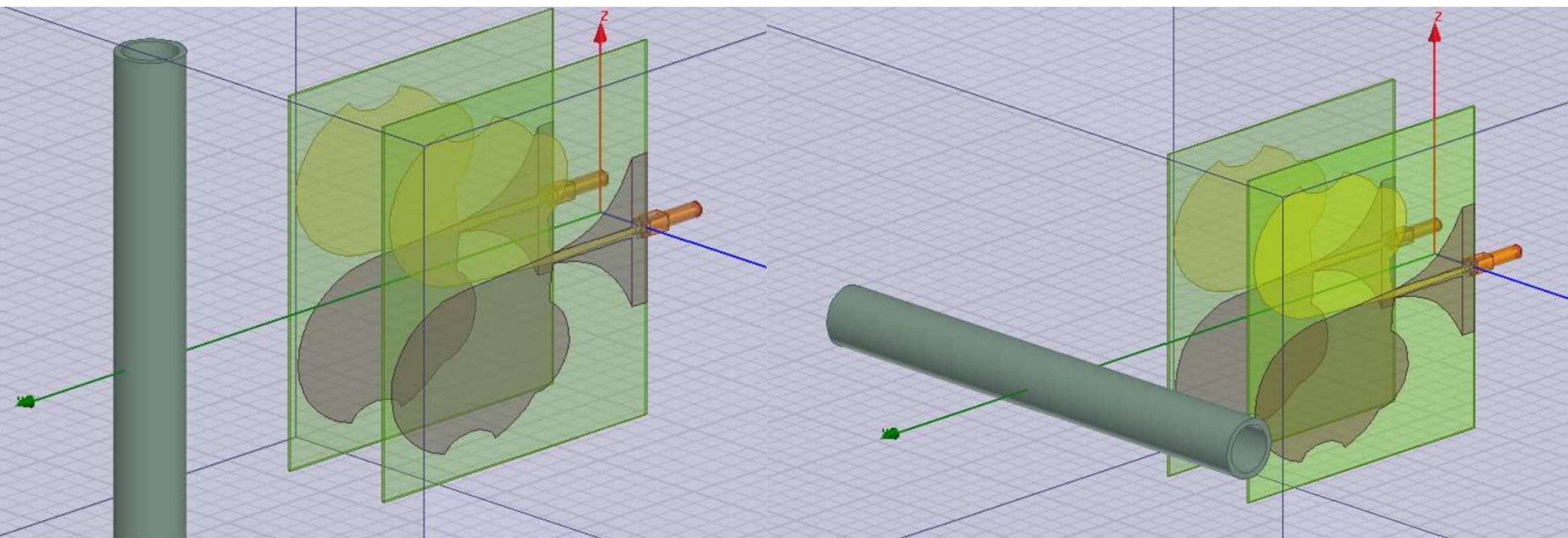


・ 振幅からもパイプの存在、向きが読み取れた

・ 地表面での反射が大きく
それゆえに可視化しにくい
・ 地表面で大部分が反射している
→地中に到達し、実際に反射して
帰ってくる成分は小さい
→地表面反射の除去が重要になってくる

・ 振幅による検知が難しい場合でも
(地表面反射などが原因で)位相なら
見ることができたりする

パイプの向きと偏波の向きの比較

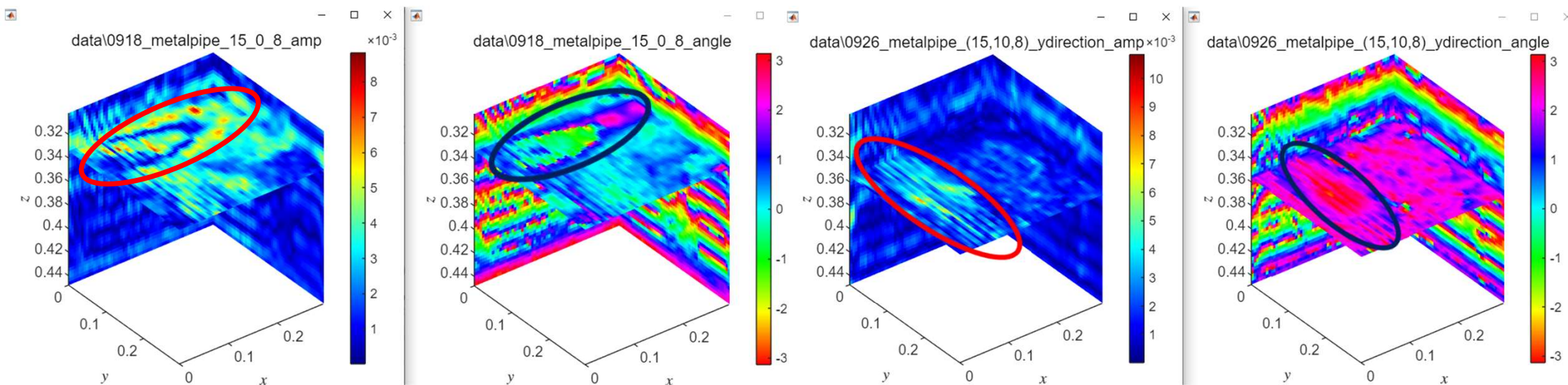


偏波の向きとパイプの向きが平行

偏波の向きとパイプの向きが垂直

- ・ アンテナ面で振動する偏波とパイプの向きを変えて比較

パイプの向きと偏波の向きの比較



偏波の向きが平行

偏波の向きが垂直

- ・ 偏波の向きとパイプの向きを揃えたほうがより可視化できている

まとめと今後の展望

今回の実験により照射した偏波の向きとパイプの向きによって散乱波は偏波依存性を持つことが確かめられた。
⇒パイプの向きを推定することは可能

しかし...

地表面による反射が大きいため地中に電磁波が届きにくく、また受信データへのノイズとなってしまうので、できる限り除去する

[今後]

実際にパイプのモデルを考え、圧縮センシングを用いる
⇒計測にかかる時間を短縮することに取り組んでいきたい。

これらを踏まえて理論を細部も含めて構築する。