

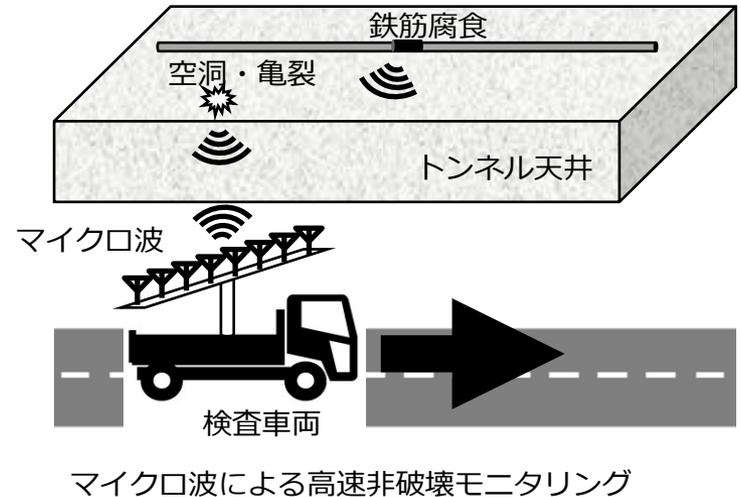
# 課題名：マイクロ波レーダとトモグラフィの融合による複素誘電率定量イメージングを用いた空洞・鉄筋腐食識別についての技術研究開発

研究代表者：木寺正平（電気通信大学），共同研究者：工藤高裕，仲村 慎吾（富士電機）  
公募タイプ：タイプII（技術ブレイクスルー型）  
領域：【領域8】道路資産の保全

## 研究の背景・目的（問題意識・テーマ設定など）

### マイクロ波による検査

- ・ 50cm程度の到達深度(コンクリート)
- ・ 非接触計測が可能
  - 車両搭載で高速データ取得
- ・ 広い指向性
  - **大規模領域**を迅速に検査



本課題の特徴及び目標：

### ブレイクスルーのポイント：レーダとトモグラフィの双方向処理

- ・ 非破壊計測モデル（反射データのみ計測）で，空洞，水等の**複素誘電率値を相対誤差10%以内かつ位置精度10mm（1/10波長）**以内で推定する画像化法を確立
- ・ **多偏波データ深層学習**に基づく空洞・水識別法の構築

# FS成果報告

## 【A: レーダとトモグラフィ統合による複素誘電率分布再構成】

進捗状況：

レーダ(RPM)法とトモグラフィ法(CSI法)統合の数値計算及び実環境評価：

- **数値計算**：位置推定精度:10mm, 複素誘電率精度：**10%を達成**

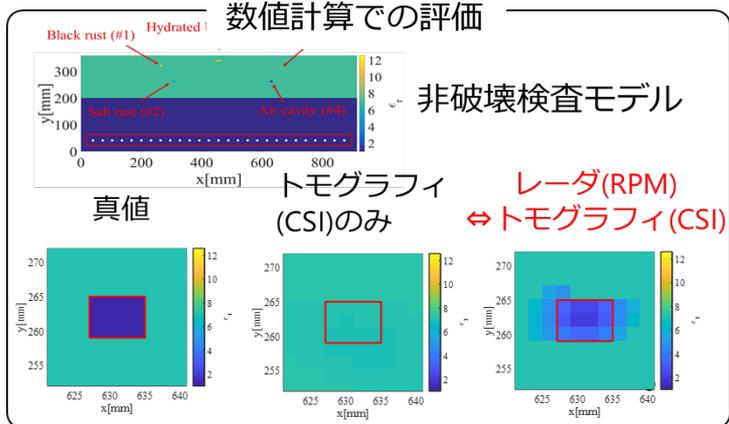
- **予備実験**：円柱内の食塩水（異なる濃度）における評価

DNNを駆使したキャリブレーション法を導入 ⇒ 複素誘電率精度：**20%を達成**

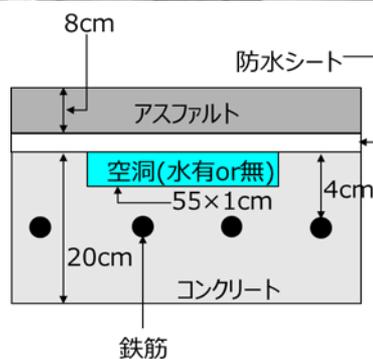
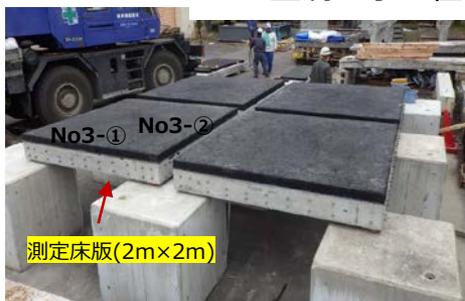
- **実環境実験**：**土木研究所CAESARの協力による実際の床板モデル**での検証

⇒ 床板表面の空洞及び水の位置及び複素誘電率値を誤差20%以内の精度で推定

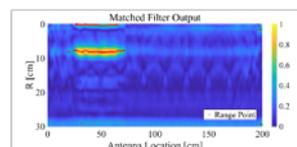
### 数値計算での評価



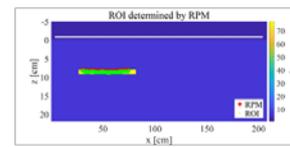
### アスファルトとコンクリート床板内の空洞・水の位置・複素誘電率再構成評価



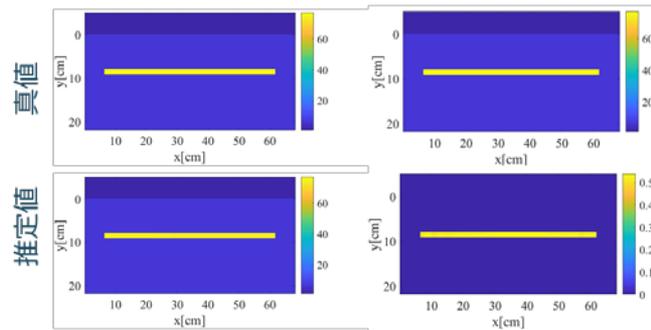
### 散乱データ



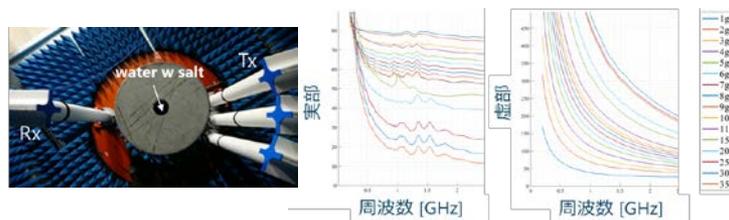
### RPMによるROI制約



### 複素誘電率分布 (左：比誘電率, 右：導電率)



### コンクリート内食塩水の複素誘電率測定



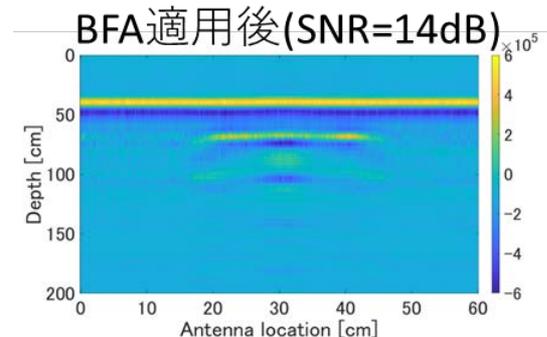
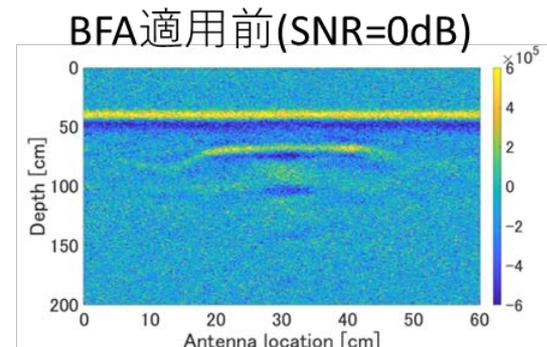
1e, 2e, 3e, 4e, 5e, 6e, 7e, 8e, 9e, 1e0, 1e1, 1e2, 1e3, 1e4, 1e5, 1e6, 1e7, 1e8, 1e9, 1e10, 1e11, 1e12, 1e13, 1e14, 1e15, 1e16

## FS成果報告

### 【B 革新的レーダ画像・信号処理による コンクリート深部の高速・超分解能イメージング】

#### 進捗状況：

- ・ 雑音の統計的な性質を逐次推定する  
ベイズ因子分析(BFA)を導入, **SNRを10dB以上改善**  
⇒ 50 cm 深度の目標も識別可能
- ・ アンテナ特性を考慮したRPM法を導入  
⇒ **1mm程度の誤差**で対象を推定
- ・ RPM法による高速画像化の導入

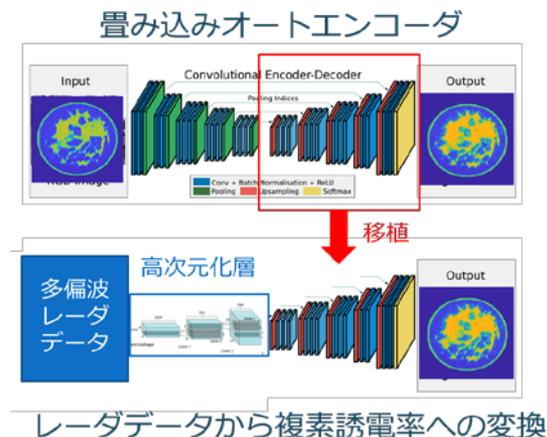


## FS成果報告

### 【C多偏波シグネチャの深層学習による異物識別法の開発】

#### 進捗状況：

- ・ 水平・垂直偏波散乱行列から偏波シグネチャを生成  
同画像をCNNで深層学習させ, 誘電率及び導電率を推定  
⇒ 3次元数値解析で **10%以内**の相対誤差を確認
- ・ 多偏波データから**CAE(畳み込みオートエンコーダ)**へ変換  
⇒ 誘電率分布を再構成する枠組みを確立



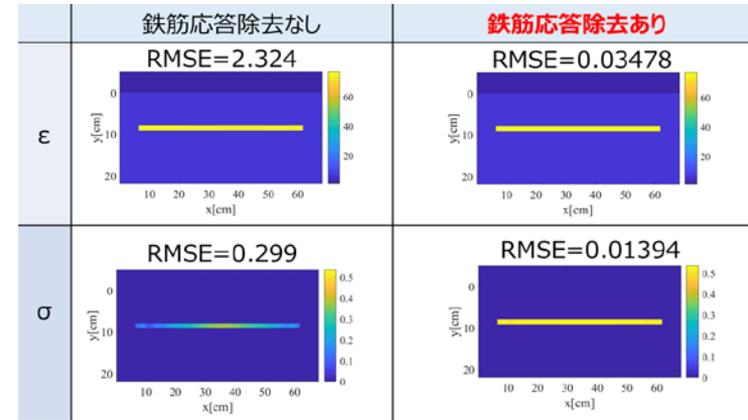
# FS研究で得られた成果・知見と解決すべき課題

成果・知見：

- ・レーダとトモグラフィを融合させることで、**実際のアスファルト床板モデル**において  
**既存のレーダ装置**によって**複素誘電率値と位置・形状推定が可能**であることを実証 ⇒ **世界初**
- ・鉄筋等の不要応答を抑圧することで、再現精度が改善することを確認（右図）

解決すべき課題：

- ・**実験⇒シミュレーションへの変換（キャリブレーション）の問題**  
DNN(Deep neural network)によるキャリブレーション法の改良
- ・**複素誘電率推定誤差と計算時間の問題**
  - ・トモグラフィ方式を3次元問題への拡張 ⇒ 誤差低減
  - ・多偏波データの深層学習による初期値依存性及び収束速度の改善 ⇒ 計算時間の短縮



## 本格研究での実施課題と数値目標（当初から変更なし）

### ①レーダとトモグラフィ統合による複素誘電率イメージング法の確立

深度**50cm**以内に存在するコンクリート内部の空洞及び水分の**複素誘電率**を**相対誤差10%**及び**同形状推定精度10mm以内**で実現

### ②革新的レーダ画像・信号処理によるコンクリート深部の高速・超分解能イメージング

深度**1m以内**の存在するコンクリート内部の空洞・鉄筋等の形状を**10mm以内**の空間分解能で画像化、**1秒以内**の処理時間で実現

### ③多偏波データの深層学習による異物識別法の開発

多偏波データ深層学習と①の複素誘電率イメージング法を統合させ、  
空洞・金属等の検出確率（**真陽性**）**95%以上**、かつ誤検出確率（**偽陰性**）**30%以内**を実現