

# 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 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 木寺 正平

[主領域] 【領域8】 道路資産の保全 公募タイプ：タイプII（技術ブレイクスルー型）

## 研究の背景・目的

### 従来の非破壊検査

- ・ 超音波探傷試験
- ・ 打音検査
- 接触計測のため大規模領域の検査は困難

### 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

- ・ 従来のレーダ方式の問題点：反射強度のみを表示  
物体の物性（複素誘電率）を特定することが困難

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、錆等の  
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・腐食識別法の構築

$f = 10GHz$	$Re[\epsilon_r]$	$Im[\epsilon_r]$
空洞	1	0
コンクリート	7-8	0.01
水	70-90	0.2-0.3
塩錆 <sup>[1]</sup>	5-6	0.5
赤錆 <sup>[1]</sup>	8-10	1.0
黒錆 <sup>[1]</sup>	12-13	2-2.5

# 進捗報告 (1)

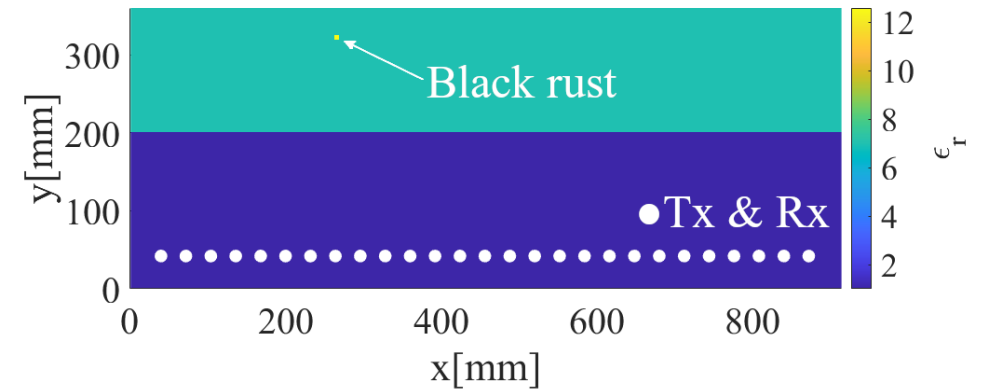
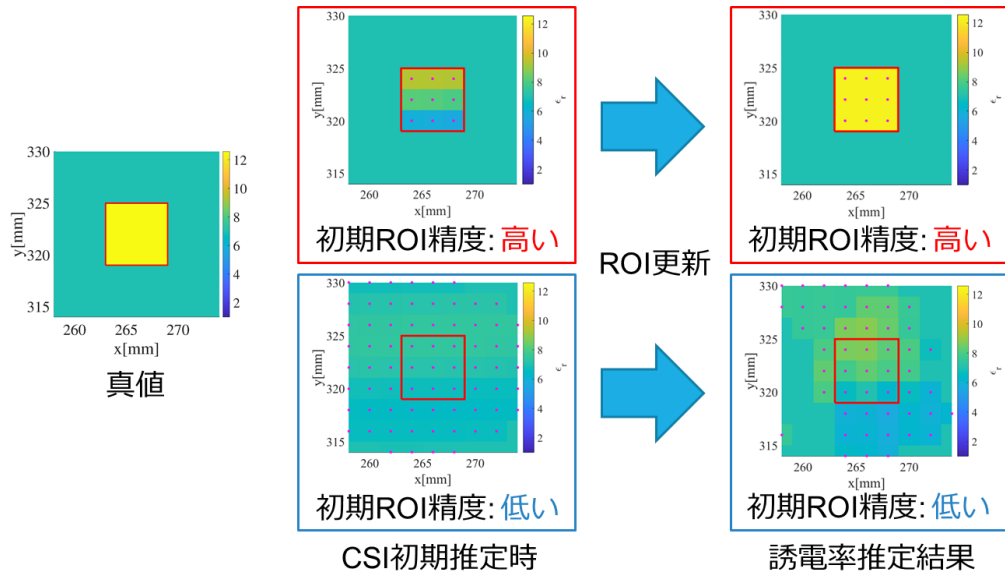
## 【A: レーダとトモグラフィ統合による複素誘電率分布再構成】

前年度ROI更新法の問題点：CSIの初期誘電率分布に依存

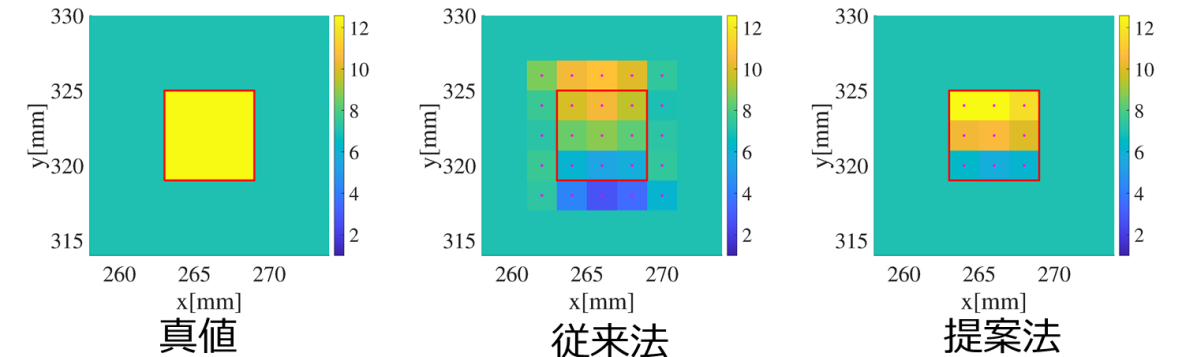
初期誘電率分布の推定精度が十分でない場合、適切なROI更新が実現できない

今年度の提案法 ⇒ RPM法による連続画像より最適なROIをCSIコスト関数により決定

⇒ 従来法に比べて高い精度で複素誘電率及びROIの推定が可能



観測モデルとコンクリートターゲット



各手法の誘電率再構成誤差の評価

RMSE	比誘電率	導電率 [S/m]	ROI[mm <sup>2</sup> ]
従来法	2.21	0.32	8.00
提案法	1.55	0.19	0

各手法の誘電率再構成結果 2

# 進捗報告 (2)

## 【2:多層構造を仮定した複素誘電率分布再構成】

前年度の課題：単一層での背景媒質を想定

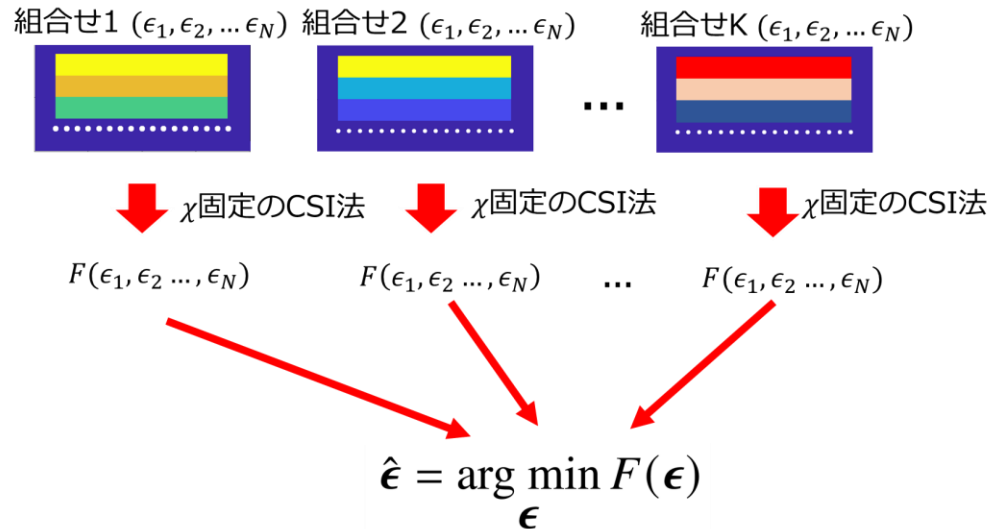
⇒ 実道路：アスファルトと床板の複数層媒質内の空洞・腐食等  
CSIコスト関数に基づく**多層構造の背景媒質の各厚み**

及び**複素誘電率を同時に推定**する手法を導入

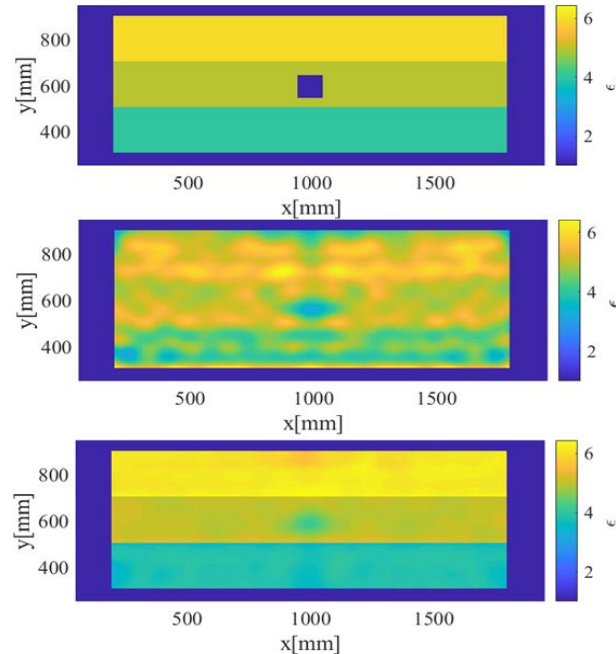
従来のレーダ画像化法：均質な背景媒質を仮定 ⇒ 多層構造で虚像が多発

提案法：**CSIの結果を用いたグリーン関数推定**を導入

⇒ 高分解能かつ高精度画像化を実現



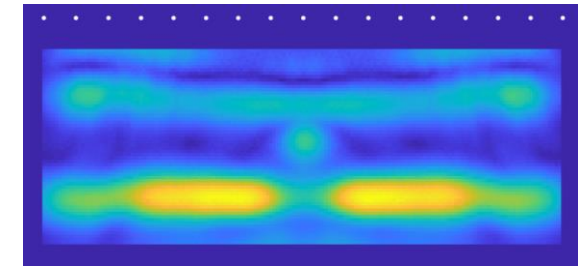
推定値  $\hat{\epsilon}$  :  $F$ が最小となる誘電率の組合せ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_N$ )  
CSIコスト関数の組合せ最適化による多層構造誘電率推定原理



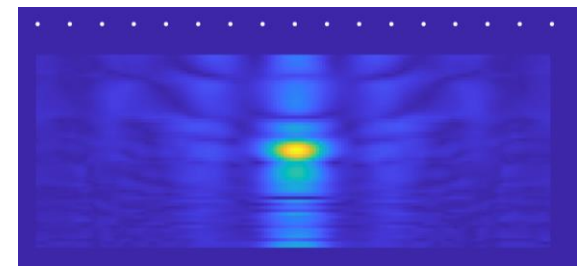
多層構造モデルでの再構成結果  
(上段：真値, 中段：従来CSI,  
下段：提案CSI)



多層構造内部の異物分布



従来レーダ画像



CSI+レーダ画像

# 進捗報告 (3)

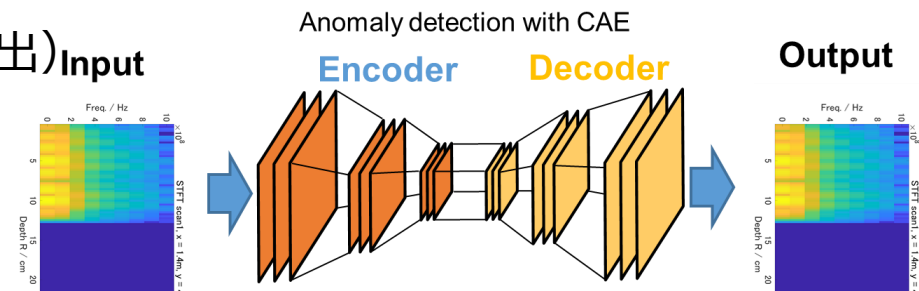
## 【3: 深層学習による異物検知】

進捗状況:

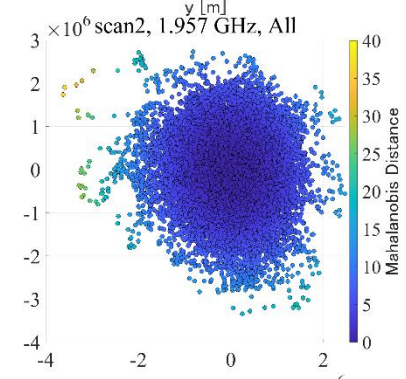
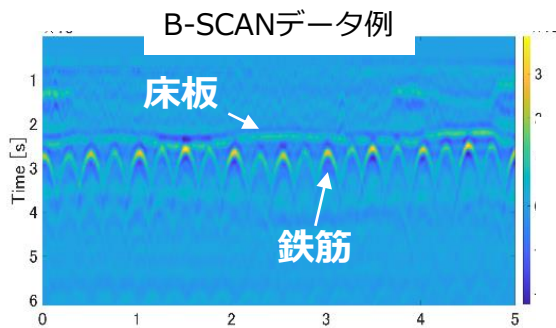
実橋梁道路における実験データ取得 (神奈川県清水橋)

- マハラノビス(MD)距離による異常検出 (教師なし学習・外れ値検出)
- 床板の深さ分布の取得
- ひび割れ部とMD距離の高い相関を確認  
内部異常状態検出自動アルゴリズムとして有用
- 時間周波数解析データを用いたCAEによる異常検出を検討中

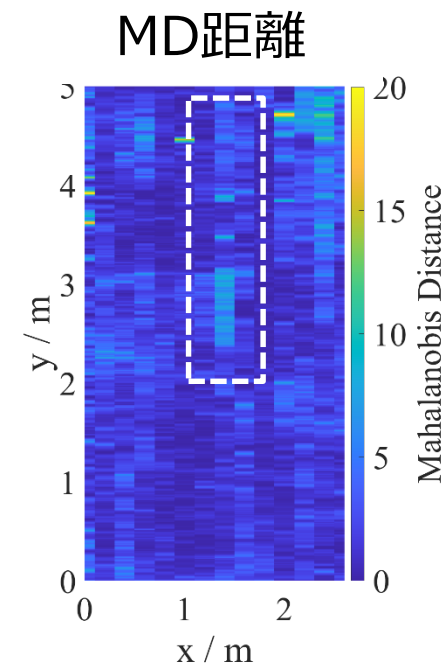
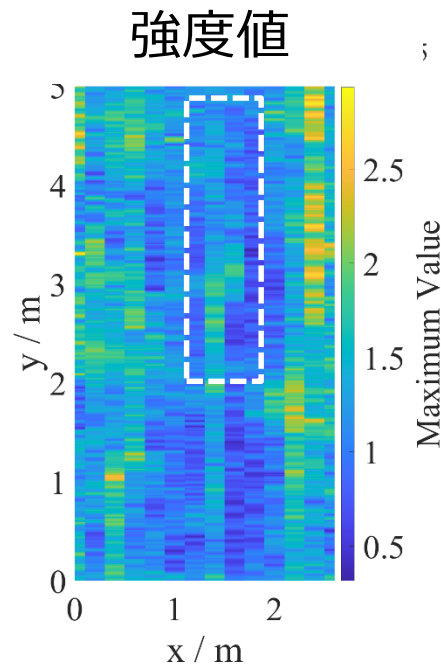
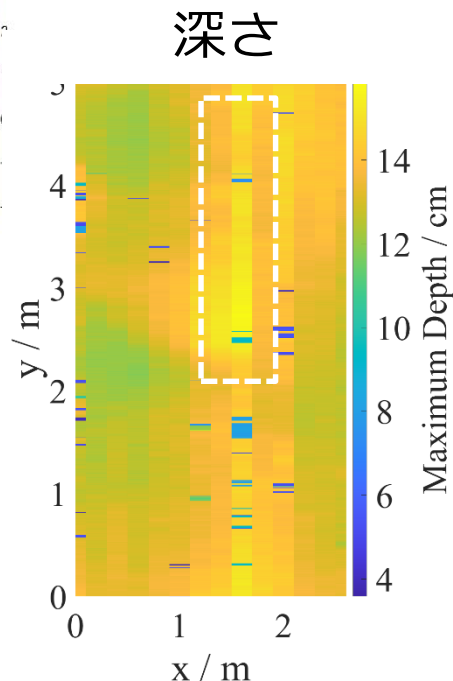
深さ・周波数分布の  
CAEによる異常検出法



CAE: Convolutional Auto-encoder



複素平面分布とMD距離



ひび割れ箇所 (Crack location)

