

木寺研究室の紹介 (EIコース)

キーワード：
マイクロ波，レーダ，信号処理
癌細胞検知・治療，非破壊計測
イメージング，逆問題
データ解析，テラヘルツ波

概要

- ① マイクロ波マンモグラフィ
- ② マイクロ波癌細胞治療（アブレーション）
- ③ コンクリート内部亀裂・腐食探知モニタリング
- ④ 災害現場等での人体検出モニタリング
- ⑤ テラヘルツ波帯での超高分解能画像化法の確立
 - ・ 独自の信号・画像解析法
 - ・ 産学官連携
 - ・ 研究室情報等

マイクロ波マンモグラフィ

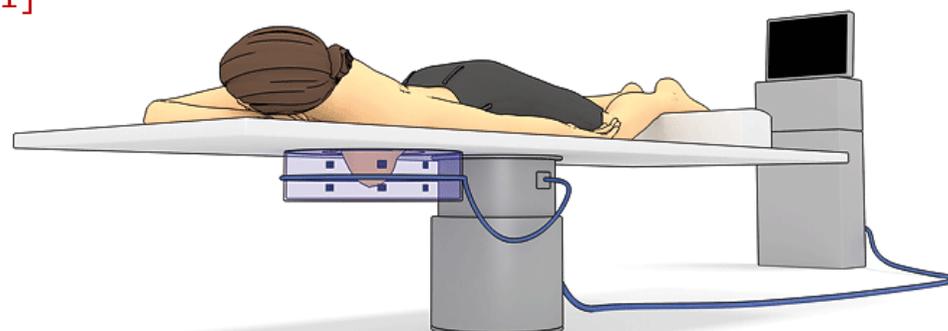
乳癌：

- ・ 癌の罹患率トップ（国内外）^[1]
- ・ 受診率：30%程度^[2]

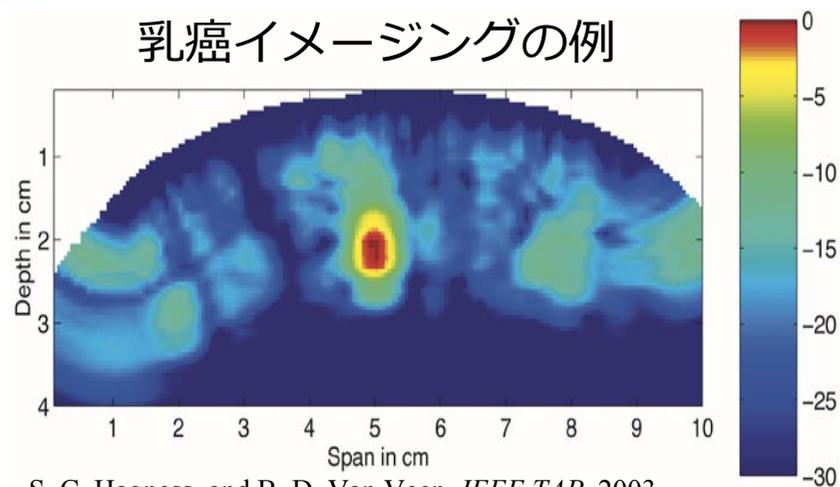
乳癌検知応用技術

- ・ X線マンモグラフィ
初期の石灰化の発見が難しい
- ・ マイクロ波による乳癌検知
がん細胞と正常細胞の
誘電率比：10倍程度
→ 小さながん細胞でも
卓越した反射強度を受信
→ 早期発見が可能

レーダによる乳癌検査



乳癌イメージングの例



S. C. Hagness, and B. D. Van Veen, *IEEE TAP*, 2003.

^[1] 日本乳癌学会 2013年 URL: http://jbcs.xsrv.jp/guideline/guideline/g4/g4_1100/

^[2] 平成26年度 乳がん検診受診者数・受診率（都道府県別） URL: <http://www.mmjp.or.jp/kawakami-clinic/data/h26nyusyukun.htm>

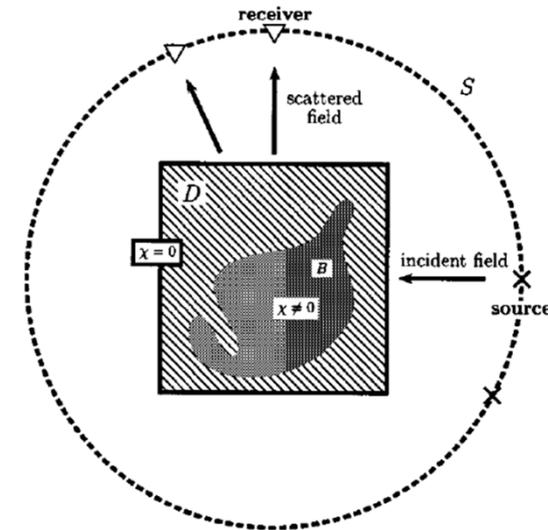
領域積分方程式によるイメージング

領域積分方程式

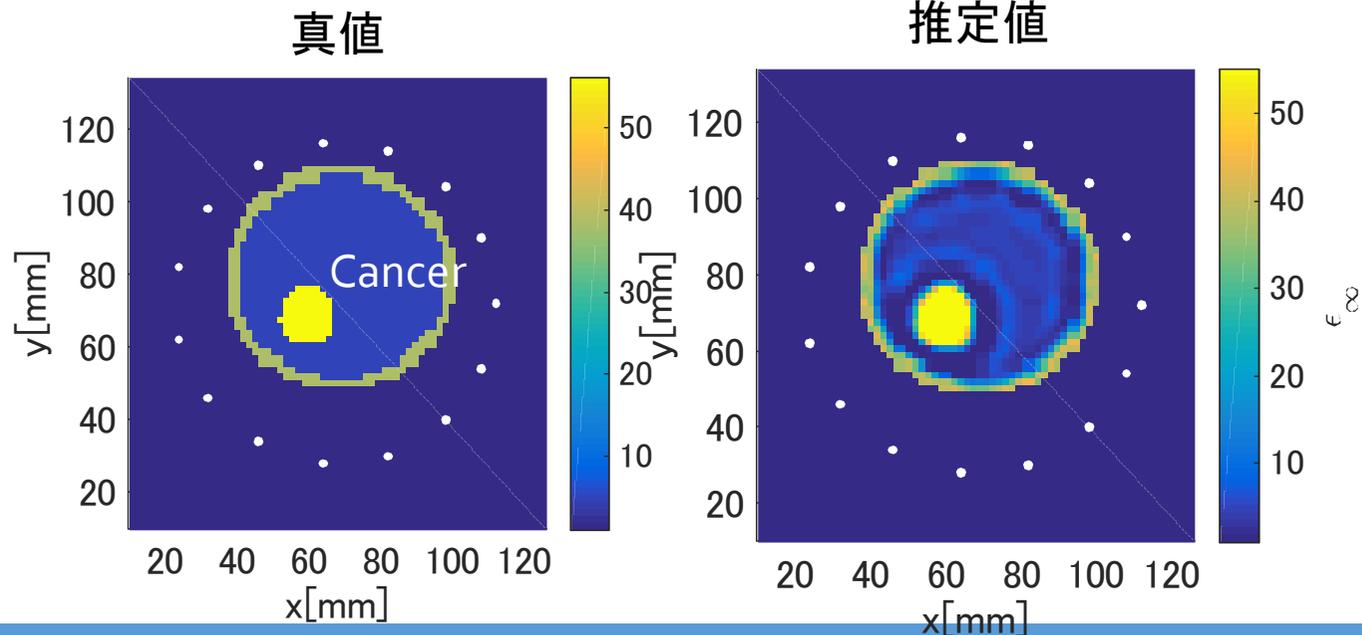
$$E^{\text{scat}}(\mathbf{x}^R) = E^{\text{total}}(\mathbf{x}^R) - E^{\text{inc}}(\mathbf{x}^R)$$

$$= k_b^2 \int_D g(\mathbf{x}^R - \mathbf{x}') \chi(\mathbf{x}) E^{\text{total}}(\mathbf{x}) dv(\mathbf{x}')$$

$$\chi(\mathbf{x}) = \{\varepsilon_r(\mathbf{x}) - \varepsilon_b\} / \varepsilon_b$$



DBIM(Distorted Born Iterative method)による
誘電率推定結果



マイクロ波による癌治療(Ablation)

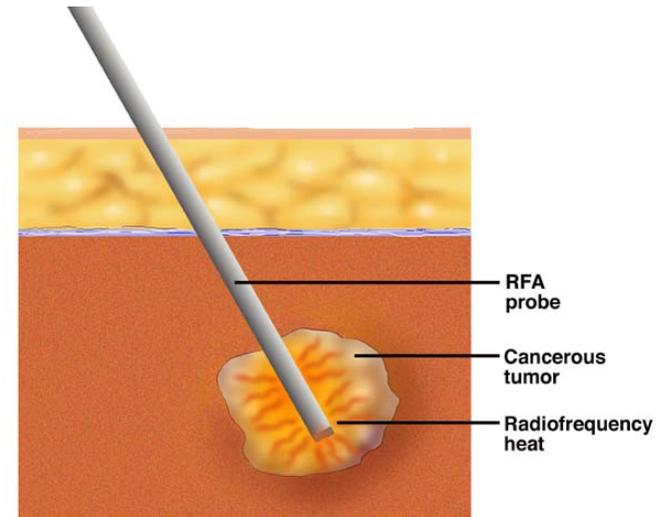
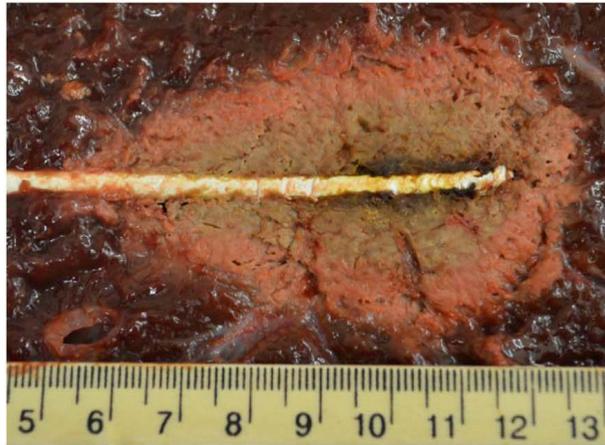
マイクロ波アブレーション Microwave ablation (MWA) :

- ・ 乳がん治療において最も侵襲の少ない治療法
(マイクロ波プローブを癌細胞付近に挿入し、
その周囲を高周波電磁波で焼灼)
→ 肝臓がん, 腎臓がん, 肺がん治療で利用されている

MWA治療でのポイント :

- ・ 焼灼領域をリアルタイムでモニタリングする必要がある
→ マイクロ波を利用したモニタリング (イメージング)

Liver ablation example



© Society of Interventional Radiology, www.SIRweb.org

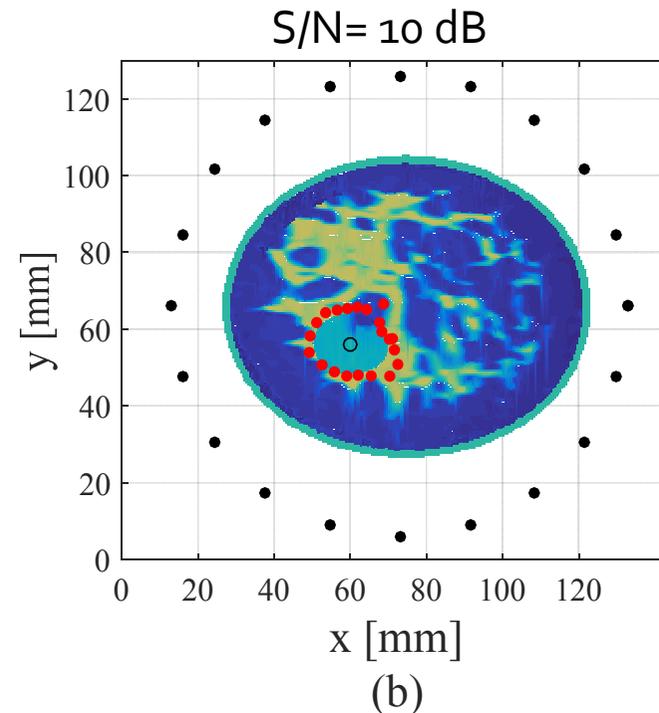
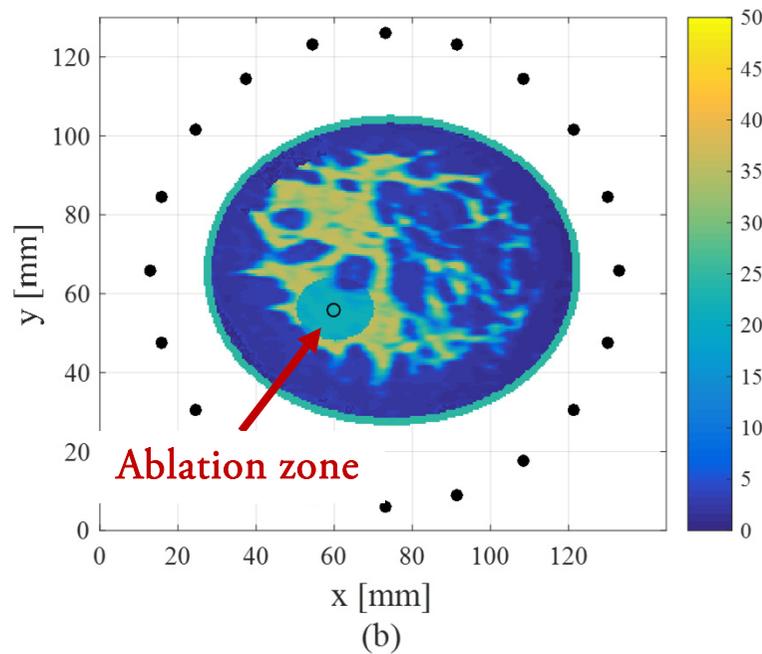
H. Luyen, S. C. Hagness, and N. Behdad., "A Balun-Free Helical Antenna for Minimally Invasive Microwave Ablation" IEEE TRANS. ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 63, NO. 3, MARCH 2015

<http://www.drcradiology.com/imaging/images/rfaz.jpg>

リアルタイムMWAモニタリング

提案法：

アブレーション前後の受信信号の相関関係から境界を高速に推定



計算時間: **within 0.1 sec** (Intel Core i5 CPU 3.3 GHz)

リアルタイム性・高精度・ノイズロバスト性を同時に実現！

S. Kidera, L. M. Neira, B. D. Van Veen and S. C. Hagness, "TDOA-Based Microwave Imaging Algorithm for Real-Time Microwave Ablation Monitoring", International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2018.

コンクリート内部非破壊計測

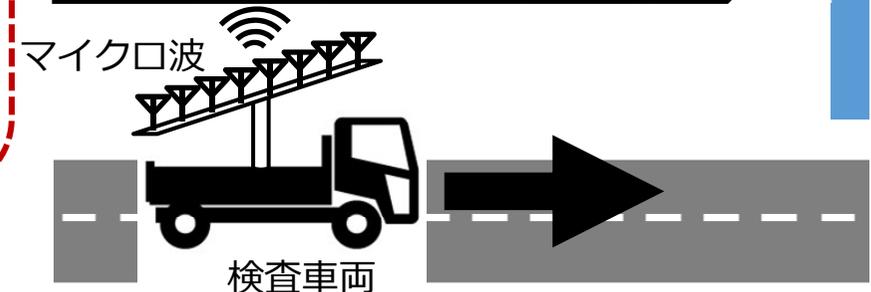
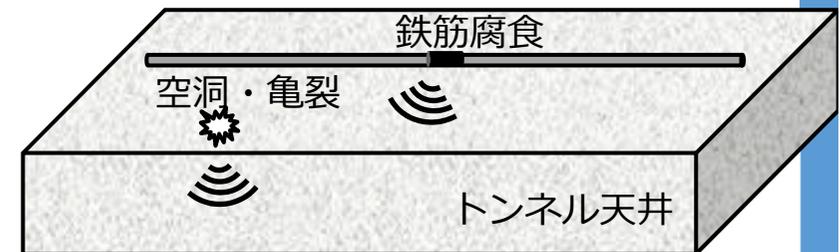
インフラの老朽化
(笹子トンネル崩落事故)

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な領域を迅速に検査できない

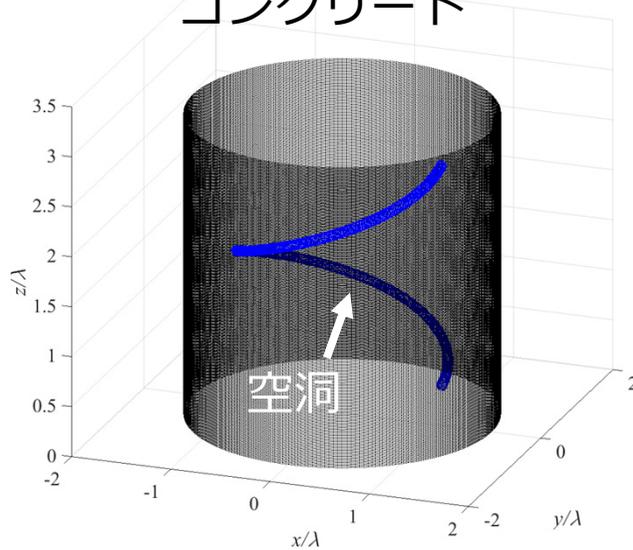
マイクロ波による検査

- ・ 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

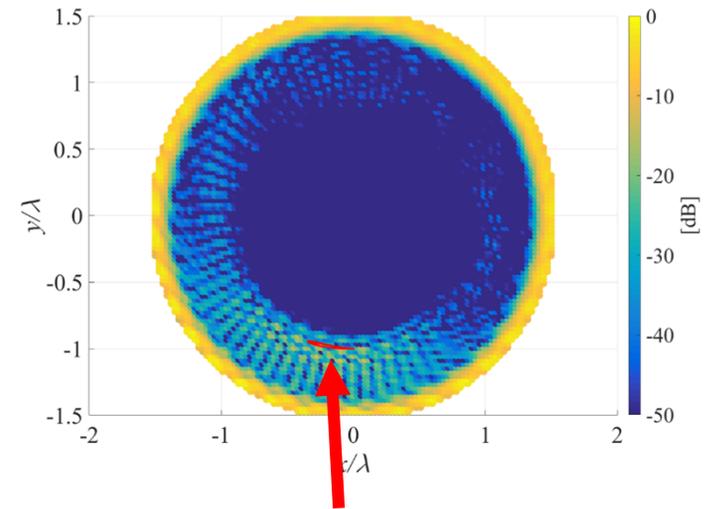


コンクリート内部の空洞画像化

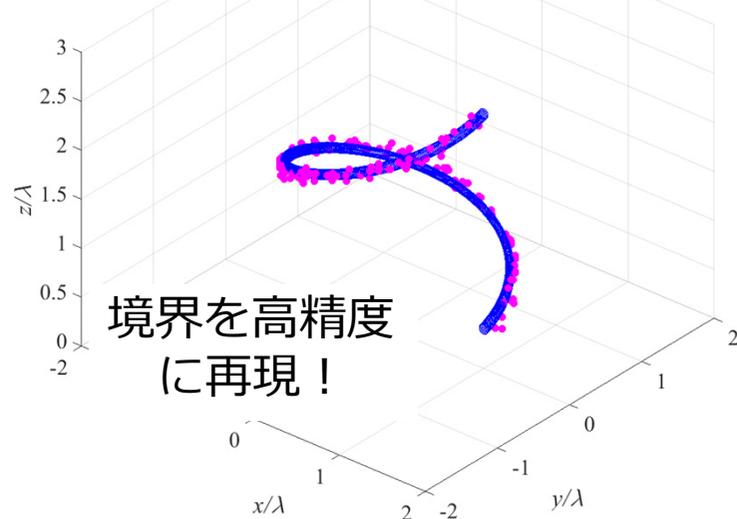
コンクリート



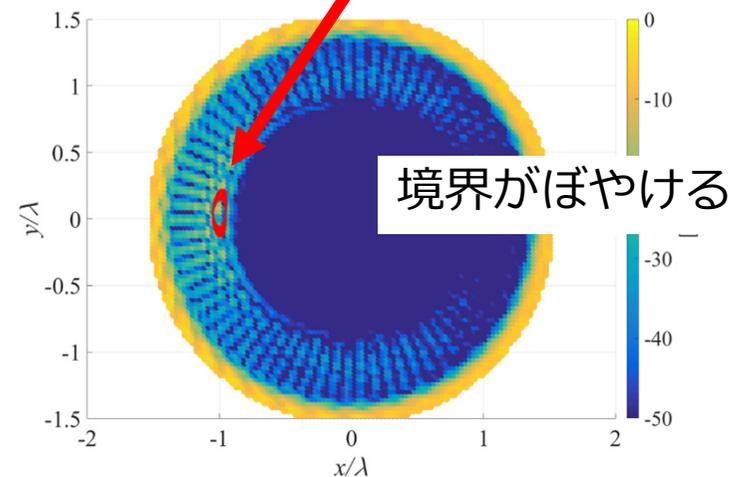
従来技術 (SAR) での推定像



提案技術 (RPM) での推定像



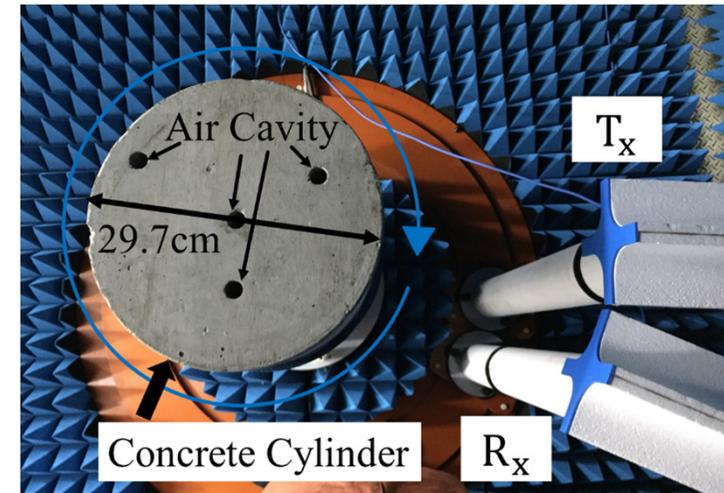
空洞



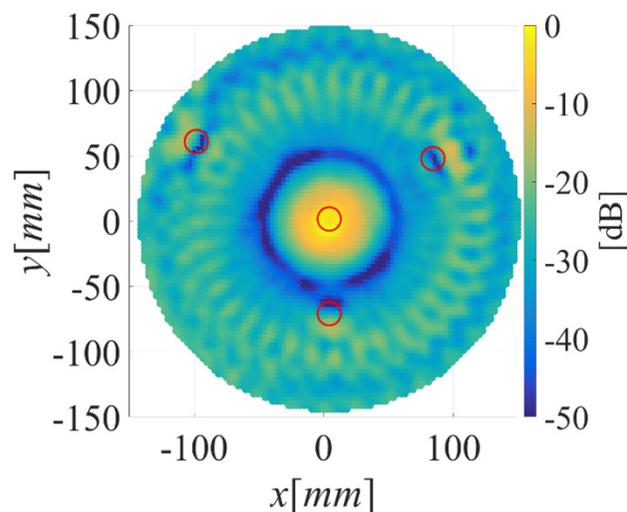
実験による検証

実験システム

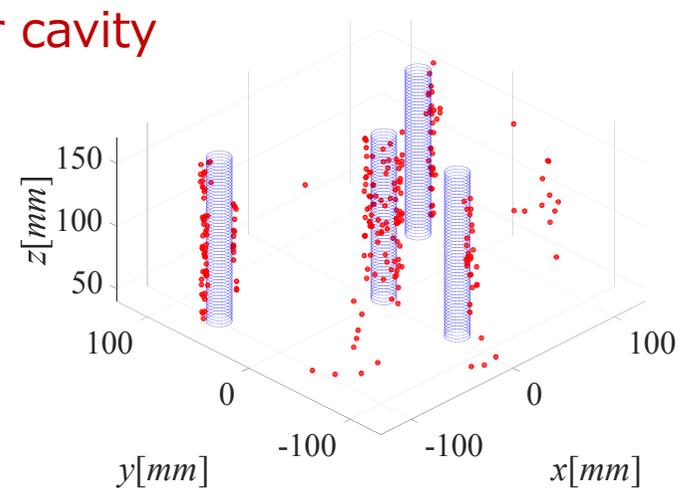
- ダイポールアンテナ（垂直方向 直線偏波）
- 送受信信号解析：
Vector Network Analyzer
- 周波数帯域：1.0GHz – 3.0 GHz
- 距離分解能：7.5cm
- 中心周波数：2GHz（真空中波長：15cm）



従来法(SAR)による推定像



RPM法による推定像



人体検知センサ

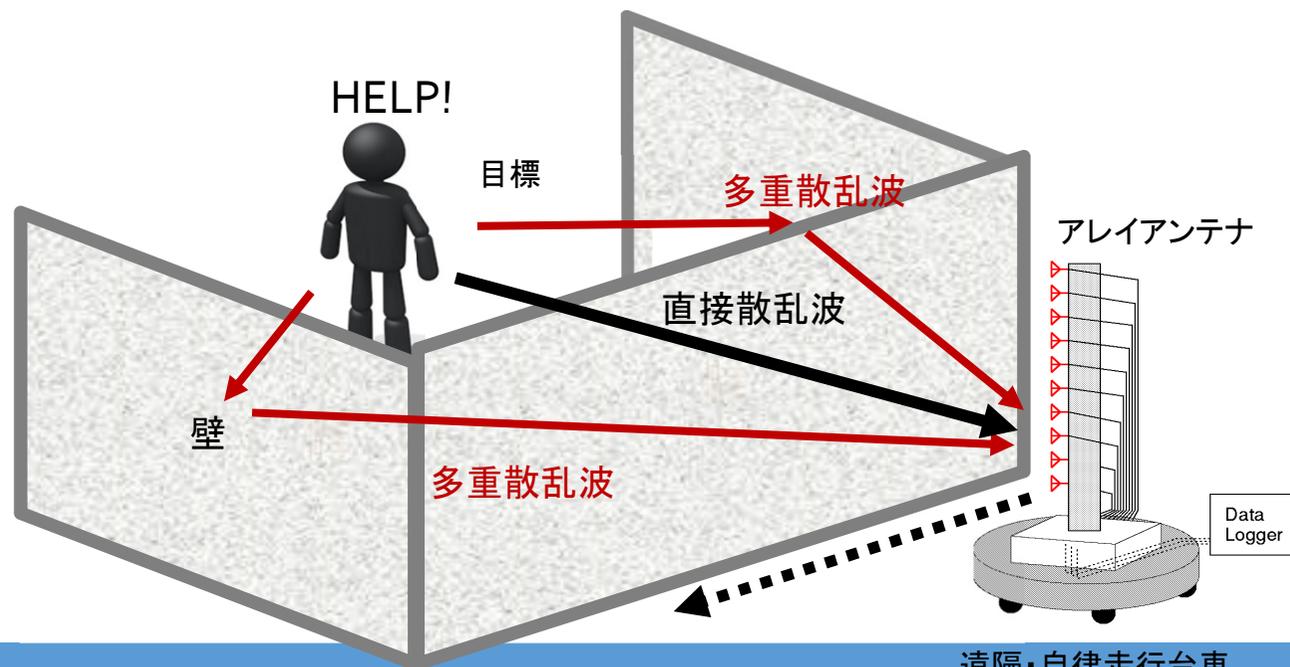
マイクロ波による人体検出・イメージング

- ・ 災害現場の救助センサ：

煙・瓦礫下・壁の向こう側の生存者検知（透視イメージング）

- ・ セキュリティセンサ：

プライバシー保護 + 高い監視性能の両立 ⇒ 高齢者・身障者見守りセンサ



ドップラー・RPM・多重散乱波結合

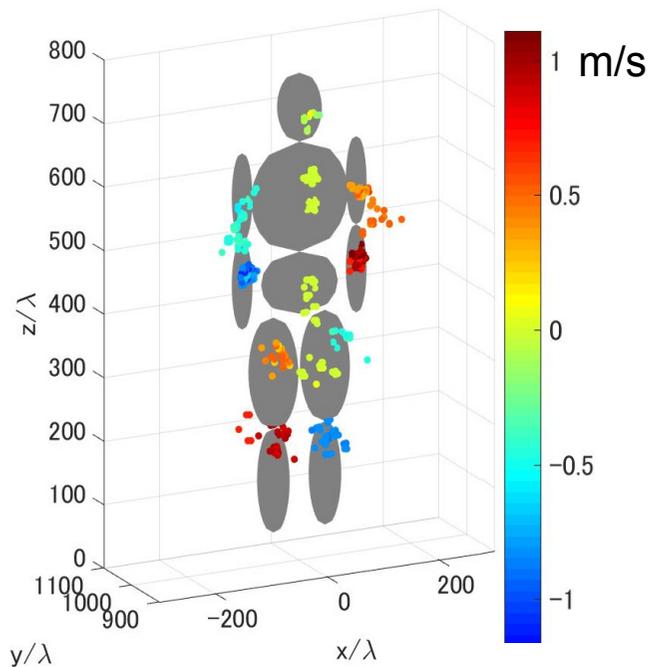
人体検出のための識別・位置・速度・動き予測

RPM + ドップラー速度 + 多重散乱波 + 誘電率 の情報を統合

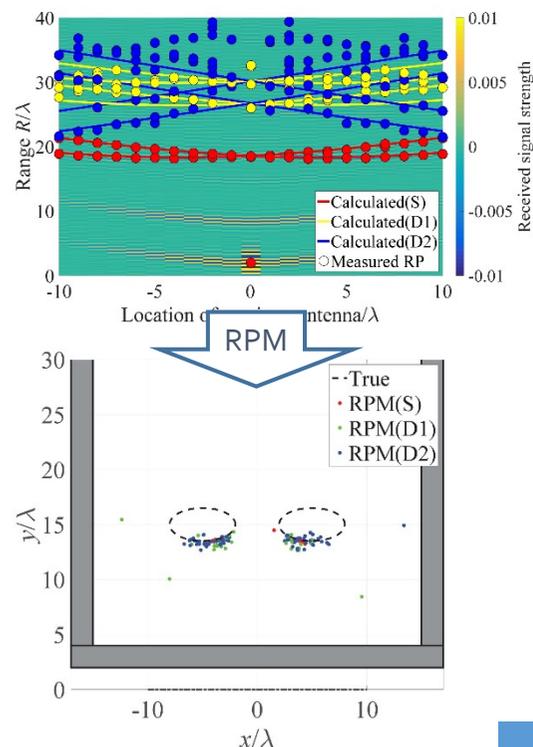
例・多重散乱波 + ドップラー速度：速度ベクトル推定

・RPM + 誘電率：動き予測（状態予測フィルタ等で追跡・クラスタ化）

ドップラー速度 + RPM:

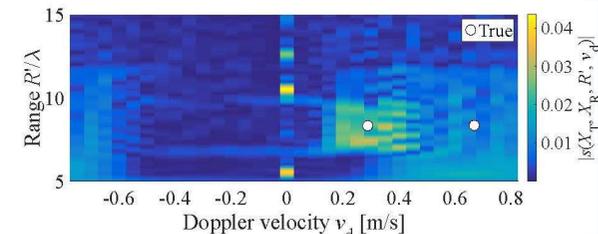


壁の多重散乱波
クラスタリング:

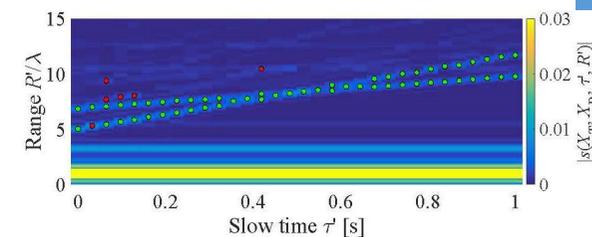


RPM原理を拡張した
超分解能ドップラ速度推定:

フーリエ変換 (従来)



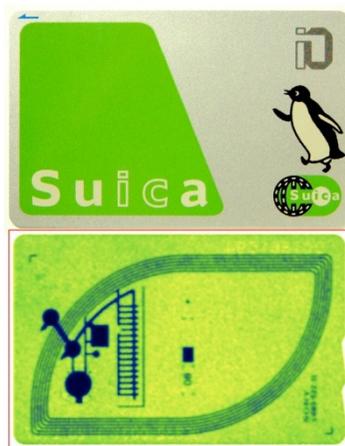
提案法



研究背景 (THz波 Imaging)

- 波長 : 100 μm (3THz) \rightarrow 高い空間分解能(数百 μm 級)
- 数mm程度の透過性 (皮膚表層, 薄い誘電体膜を透過)
- 分光処理により物質固有の吸収スペクトル

→ 非破壊イメージング技術 (異物検査、セキュリティ等)
化学分析 (医薬品検査、薬物検査等)



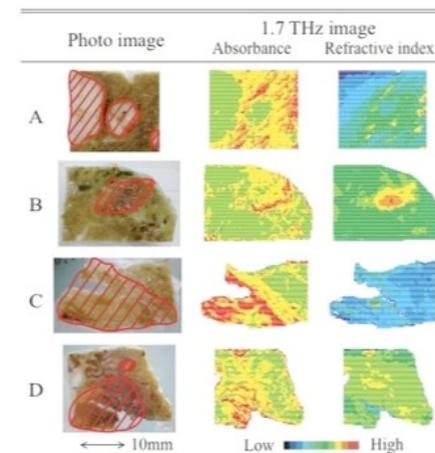
周波数 : 0.6 THz (波長0.5mm)

空間分解能 : 0.5 mm

Dobroiu et al., *Applied Optics*, 43, 5367 (2004)



禁止薬物検査
農薬検査



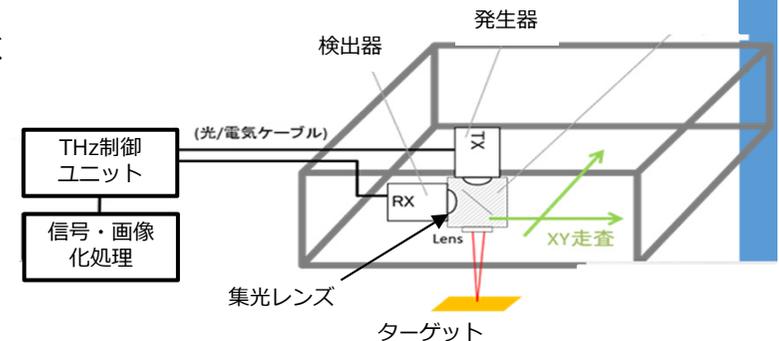
皮膚癌・乳癌診断・病理診断

研究目的 (THz波 Imaging)

従来のテラヘルツイメージング法：
集光レンズによりターゲット位置で結像
→2次元走査により3次元画像化

- ・ 分解能：回折限界 ($3\text{THz}:150\mu\text{m}$)
- ・ 結像位置以外では分解能劣化

既存のTHzイメージング装置



THzデータ解析法：
集光・結像を信号処理で実現
共焦点法・RPM法を導入 → スパースサンプル(数 λ_{THz} 程度)で

- ・ 再現精度： $1\mu\text{m}$ 級 ($\frac{\lambda_{\text{THz}}}{100}$) ・ 分解能： $10\mu\text{m}$ 級 ($\frac{\lambda_{\text{THz}}}{10}$) を実現

データ統合による高次イメージング：

- ・ 多偏波解析 → 複素誘電率分布情報
- ・ 分光イメージング → 吸収スペクトルからの物性識別
- ・ ドップラー速度 → 多粒子の3次元イメージング・速度推定

独自の画像化法

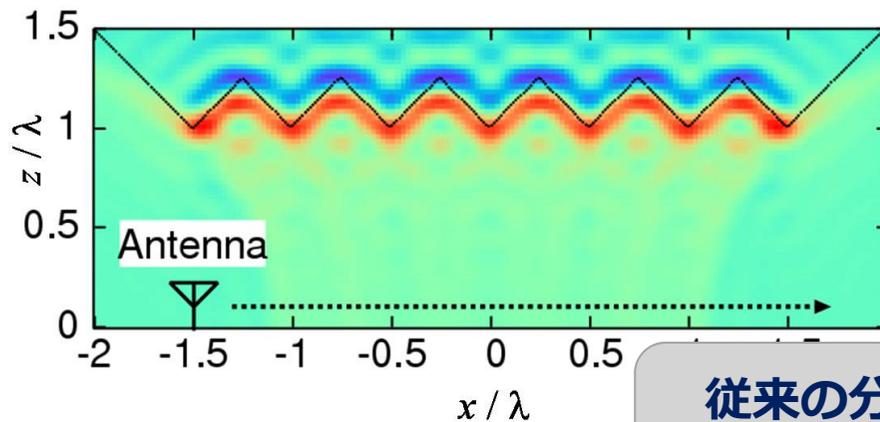
提案法：RPM(Range Points Migration)法 [1,2]

原理：観測される距離点(Range point)を反射点に写像
(ガウスクーネル密度推定による統計的アプローチ)

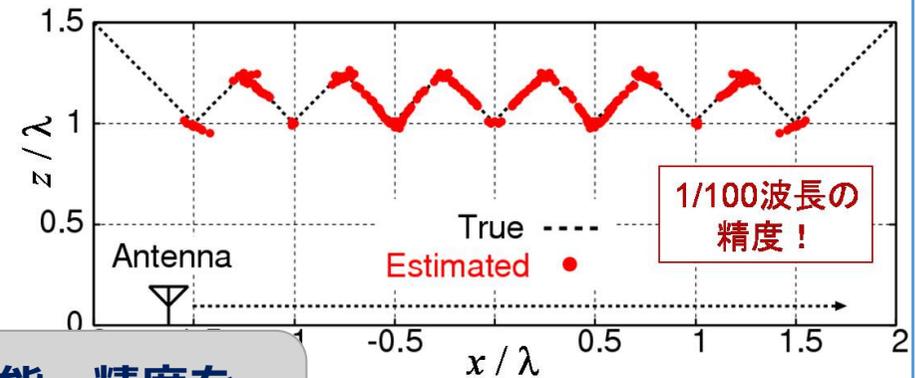
→ 距離と方向のJoint問題をほぼ完全に解決

主な性能・精度：1/100波長・分解能：1/10波長
・高速処理（3次元問題：数秒程度）

従来技術（SAR）での推定像



RPMでの推定像



従来の分解能・精度を
飛躍的に改善！

多重散乱波イメージング

複数・複雑目標の場合：
多重散乱波が存在⇒虚像の要因

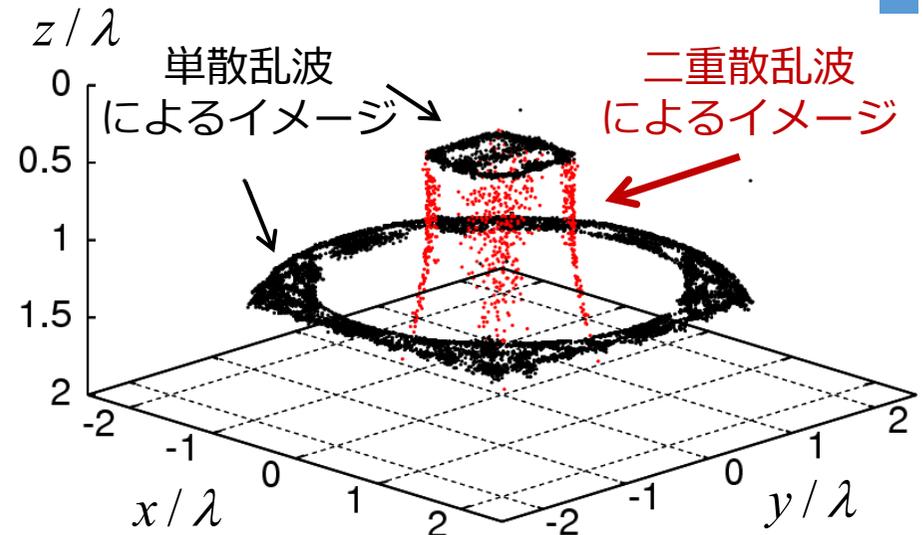
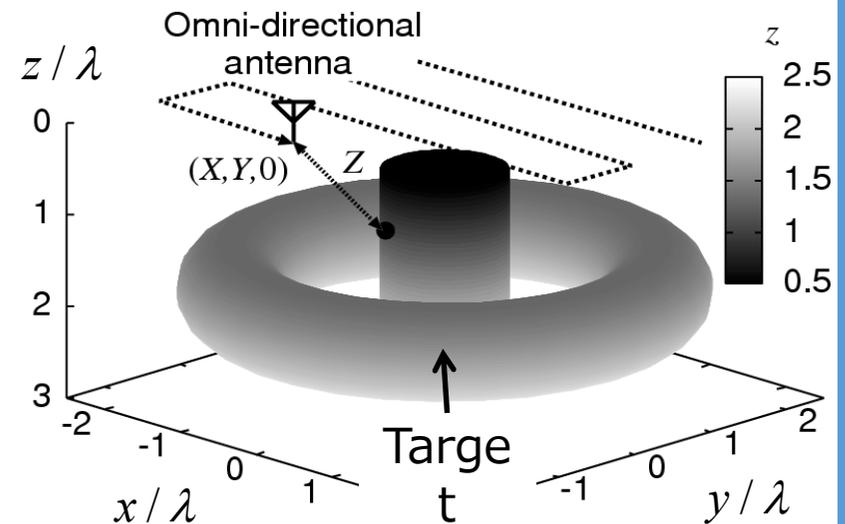
逆転の発想

多重散乱波：
複数散乱点の位置情報を有する



目標再現範囲を拡大
(仮想素子による開口面積拡大)

RPM法 + 多重散乱波合成
⇒従来再現できなかった領域の
イメージングに成功
(S. Kidera et. al., IEEE Trans. GRS, 2011.)



産学官連携

産

- ・ 豊田中央研究所, マツダ研究所 (車載応用レーダ)
- ・ パナソニック (140GHz帯域レーダ)
- ・ 三菱電機 情報技術総合研究所, NEC (画像レーダ技術)
- ・ 富士電機 (非破壊計測レーダ) ・ スペクトルデザイン (THz)

学

- ・ 京都大学 (佐藤亨教授) (セキュリティ応用レーダ)
- ・ 電気通信大学 (桐本教授) (航空機搭載画像レーダ)
- ・ Wisconsin-Madison 大学 (乳癌検知レーダ)

官

- ・ 文部科学省 (科研費, 基盤研究)
- ・ 総務省 (140GHzレーダ, 非侵襲計測)
- ・ 科学技術振興機構 (JST: さきがけ, 地域バリュー)
- ・ 公益財団等 (20件以上)

研究室詳細

教員 准教授：木寺 正平

経歴：2009年にUECに着任(E→M)，2014年9月にI専攻に異動

研究室：西2号館 601,605,607,609号室

2017年度の構成員：M2：2名，M1：4名，B4：3名，研究生：4名

協力研究室：桐本・孫研究室(M専攻) 尚研究室(I専攻)

合同ゼミ，スポーツイベント等



計算機環境

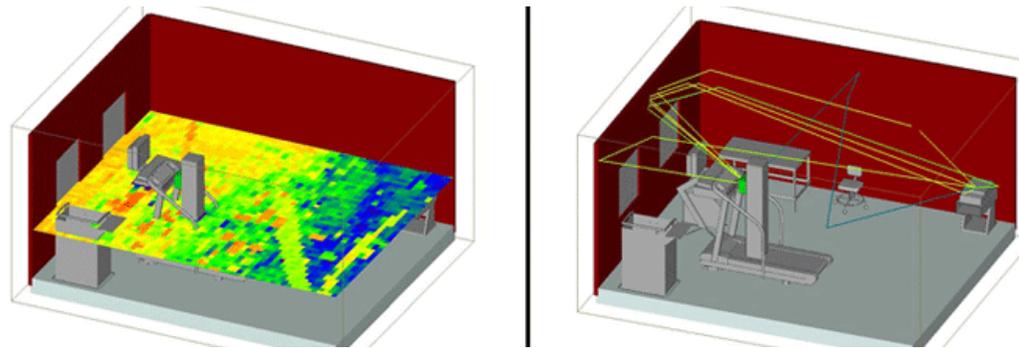
計算機：

PC：Dell Precision T7600, T3610 or T1710 (Workstation)：多数
4GPU搭載並列計算機：2台 → 大規模電磁界解析に使用

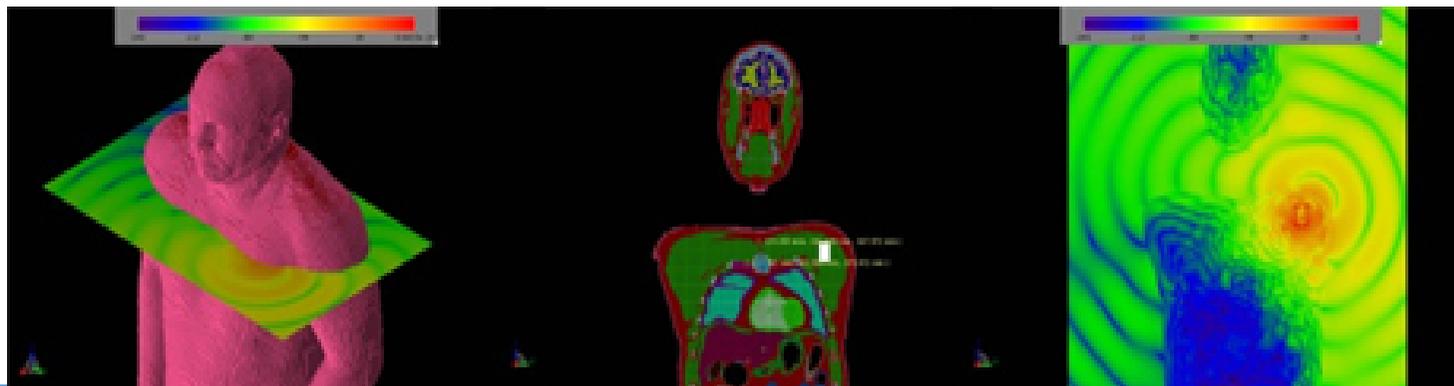
電磁界解析ソフトウェア：

XFDTD BioPro, Wireless Insight, XGTD 等：複数ライセンスを保持

Wireless Insight による屋内伝搬シミュレーション

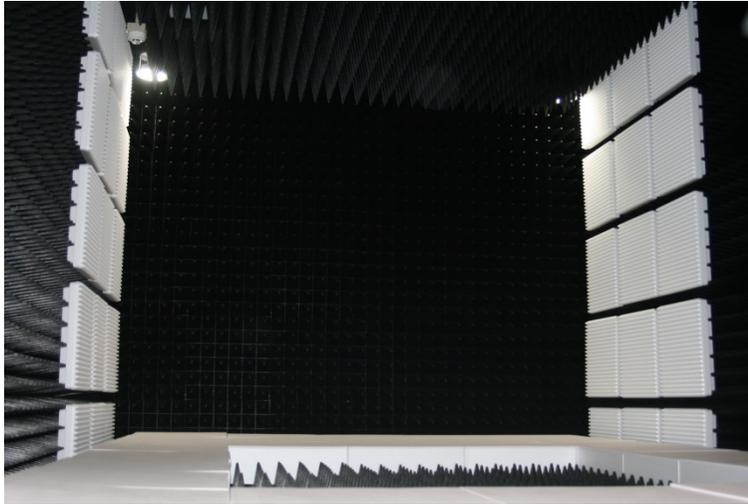


XFDTD BioPro による生体内電磁波シミュレーション

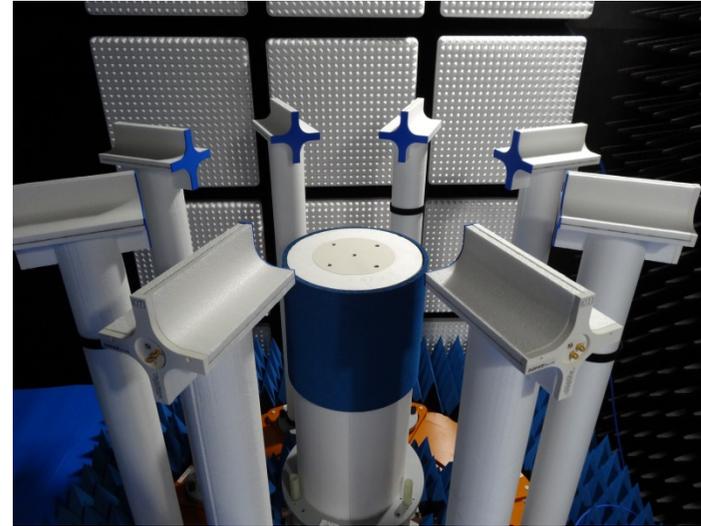


実験設備

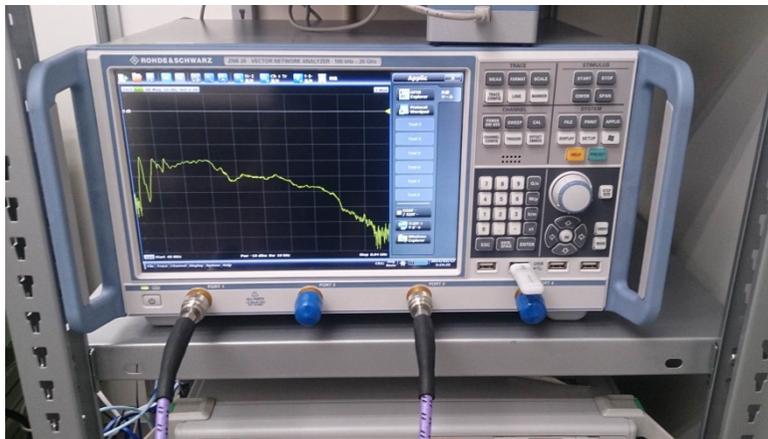
電波暗室



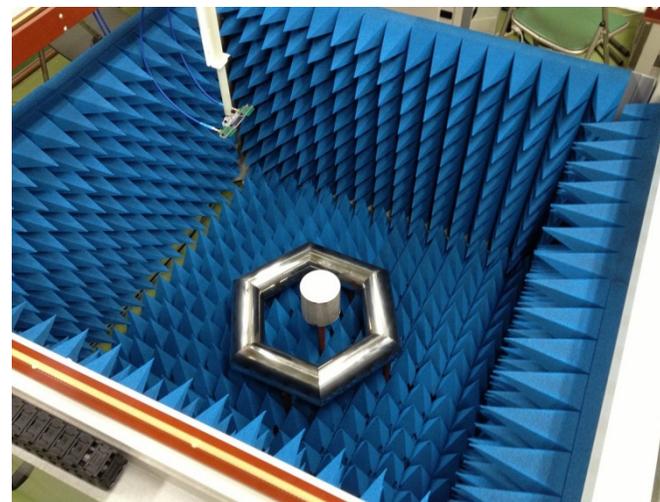
複数UWBレーダシステム



送受信装置(VNA)



3次元走査システム



学生の研究成果

学部生・大学院生（UEC着任9年目）

学部のみ：16名，修士学生：15名

指導学生の研究実績（全て学生が第一著者）

学術雑誌への論文掲載（論文20件，レター10件以上（英文誌）
国際会議発表（30件以上），国内学会発表（30件以上）
国際会議論文賞（7件），目黒会賞（1人），
本学副総代（1人），本学学生表彰（7人）

