

# 血管検出用マイクロ波レーダ画像に対する 前処理手法と機械学習評価の基礎検討

松本光夏\*, 前村葉子\*, 白石理路\*\*, 藤本孝文\*\*

(\*長崎県立大学大学院地域創生研究科, \*\*長崎大学大学院総合生産科学研究科)

## 1. はじめに

近年、がん治療における外科手術では、患者負担軽減の観点から内視鏡手術が注目されている。一方、内臓脂肪に覆われた血管の損傷リスクは重要な課題であり、電波を用いた血管位置検出技術の確立が求められている。

先行研究では、小型化に適したマイクロストリップアンテナを用いた内視鏡アンテナシステムが提案された[1][2]。直径4 mm、深さ2~4 mmの血管検出が実証されたが、取得されたB-scan画像は地中レーダ探査で観測される双曲線波形とは異なり、視認性が低く、血管の目視特定が困難であった。

本研究では、FDTD (Finite-Difference Time-Domain) シミュレーションで得られるB-scan画像中の血管応答に注目し、教師なしクラスタリングにより、応答パターンと血管埋設条件の潜在的関係性を抽出する。これにより、従来の目視判定では困難であった血管埋設条件とB-scan画像の対応関係を客観的に評価し、血管検出における本システムの有効性評価手法確立を目指す。

## 2. シミュレーション手法とデータセットの構築

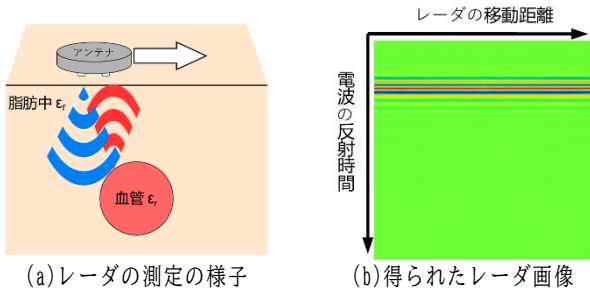


図1. レーダの測定原理

レーダ画像は、図1に示すように脂肪組織に電波を照射し、血管からの反射波により組織内部を可視化する手法である。本研究では、実際の腹腔内環境を模擬したモデルでFDTDシミュレーションを実施した。

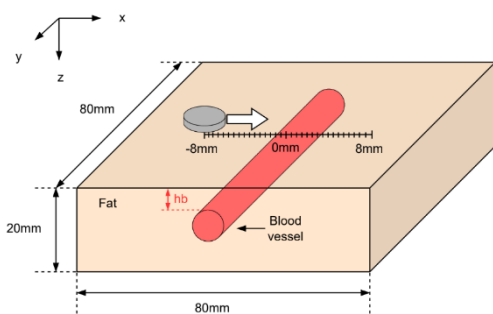


図2. 解析モデル  
(脂肪@16GHz:  $\epsilon_r=4.21$ ,  $\tan\delta=0.268$ )

図2に解析モデルを示す。脂肪組織内に血管が埋設されたモデルを設定し、提案する内視鏡アンテナを表面上で走査することにより反射波を測定した。シミュレーションにより各走査位置における反射信号データ (A-scanデータ) を取得し、これらを並列配置することで血管の埋

設状態を可視化したB-scan画像を生成する。なお、血管からの反射成分を抽出するため、血管を含まない参照モデルから得られる信号を差し引くキャリブレーション処理を行った。

表1. 実験条件 (血管の埋設条件)

深さ [mm]	1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0,6.0,7.0,8.0
直径 [mm]	1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0
誘電率 $\epsilon_r$ ( $\tan\delta$ )	23.3, 25.9, 28.5 (0.761),(0.685),(0.623)

表1に示すパラメータを組み合わせ、合計216パターンのシミュレーションを実施しB-scan画像を生成し、クラスタリング解析用のデータセットを構築した。

## 3. クラスタリング解析

取得したB-scan画像は複雑なパターンを示し、目視による分類評価が困難であるため、教師なしクラスタリング手法であるK-means法を適用した。

特徴量抽出には畳み込みオートエンコーダを用い、エンコーダ部の潜在表現を主成分分析により次元圧縮した。クラスタリング性能はシルエット係数により評価し、約0.25の値を得た。この値は完全な分離には至らないものの、ランダムな分類 (0.0) と比較して意味のある構造の存在を示唆している。

各クラスタにおける血管深度および直径の分布を確認し、ANOVA分析により群間差の有意性を確認した ( $p < 0.05$ )。クラスタ間で埋設条件に明確な差異が認められ、浅部かつ大径血管を含むクラスタが高リスク群として、各クラスタと血管の手術リスクとの対応関係を確認した。

これらの結果から、血管サイズおよび深度に基づくリスクレベルの分類が可能であることが示され、B-scan画像から手術時の血管損傷リスクを客観的に評価する手法の基礎的有効性が確認された。

## 4. おわりに

本研究では、FDTDシミュレーションで得られたB-scan画像に対し、教師なしクラスタリング手法を適用し、血管埋設条件と画像パターンの潜在的関係性を評価した。その結果、目視判定では困難であった血管サイズおよび深度に基づく手術リスクレベルの分類の可能性を示唆する結果を得られた。

今後は、本手法をアンテナ設計の性能評価指標として活用し、設計パラメータの最適化を効率的に進める。また、クラスタリング結果を基盤として、B-scan画像上での血管位置の自動特定システムの構築を目指す。

## 参考文献

- [1]上戸新也,他,“電波型内視鏡アンテナシステムの実験的検証”,映像情報メディア学会技術報告,Vol.46,No.1,BCT2022-6,pp.21-24,2022年1月
- [2]白石理路,他,“肝臓内血管検知のための電波型内視鏡アンテナセンサに関する一検討”,2025年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会論文集,B-32,2025年9月