

超音波振動を利用した脱気によるファントム製作の安定化

2018SC014 林伸悟

指導教員：藤井勝之

1 はじめに

情報通信機器の小型化によりウェアラブル機器を身につけることが一般的となり、それらにより発生する電磁波の人体への作用を評価する必要が高まっている。人体と電磁波の影響を評価するため、実際の人体を用いて評価するのは物理的、道徳的に困難であり、生体組織の電気的特性(比誘電率、導電率)を模擬したファントムの開発が多く行われている [1]。

ファントムの作製方法は料理のレシピと似ており [2]、所望する電気定数を持つファントムが完成するかどうかは作製者の熟練度に依存するところが大きい。また、従来のファントム製造過程では、気泡が混入すると電気定数に影響を与えるため、作製者の経験と勘に頼る部分が多いなどの課題があった。そこで本研究では、ファントムの製造過程に着目し、凝固前に超音波振動を与えて脱気することで従来の経験や勘に頼らずに気泡の混入を回避するファントムの作製方法を提案し、その有効性を検証する。

2 ファントムの作製方法

図 1 は、凝固前のファントムに超音波振動を加えて脱気している様子である [3]。超音波振動を加える装置として、アズワン(株)の超音波洗浄器 MCD-2 3-6747-01 を用いた。本研究で使用した超音波洗浄機で加えることのできる超音波振動の最大周波数は 40kHz であり、最長運転時間は 15 分である。よって本研究では、40kHz の超音波振動を 15 分間加えた。超音波振動の有無によるファントムの電気定数の違いを評価するため、超音波振動を与えるファントム(w/ USV: Ultrasonic vibration) と与えないファントム(w/o USV) の 2 種類を作製した。超音波洗浄機の槽(槽サイズ: 150 × 140 × 100 mm³)に入るようファントムの大きさを考慮し、本稿では表 1 に示す組成比で 300g の筋肉等価固体ファントムを 2 つ、合計 600g を作製した。

ここで、電気特性はファントムのサイズに敏感である為、ファントムを作製するには、組成比だけでなくファントムのサイズも考慮する必要があると指摘がなされている [4]。にも関わらず、本稿にて文献と同じサイズの(15.8 × 15.8 × 15.8 cm³)で作製していない理由は、一般的に入手可能な超音波洗浄機の槽に入らなかった為である。よって、作製したファントムが生体組織の電気特性と一致しない要因を含むことを念頭に置かなくてはならない。しかしながら、本論文の主眼はファントム作製中に混入した気泡を除去し、電気定数の分散を減らすことにある。ファントムサイズと混入した気泡量が電気定数に与える影響は今後の研究課題としたい。



図 1 超音波振動で脱気するファントム作製画像 [3]

表 1 筋肉等価固体ファントムの組成比 [4]

試料	成分割合 [%]	量 [g]
イオン交換水	85.60	513.6
寒天	2.65	15.9
塩化ナトリウム	0.99	5.94
デヒドロ酢酸ナトリウム	0.05	0.3
TX-151	2.14	12.84
ポリエチレンパウダー	8.56	51.36

3 電気定数の測定と脱気の計量

作製した筋肉等価固体ファントムの比誘電率 ϵ_r と導電率 σ [S/m] を測定し、超音波振動を加えることによる脱気の効果を検証した。本論文の電気定数測定には、図 2 に示すようにキーサイト・テクノロジー社のネットワークアナライザー N1500A-004 を使用する。測定方法は同軸プローブ法で、測定する周波数帯は、ウェアラブルデバイスなどの IoT 時代に多くの利用が見込まれる UHF 帯 (300 ~ 3000MHz) とした。測定毎に電気定数が異なるため、超音波振動を加えたファントムと超音波振動を加えていないファントムの電気定数を合計 10 日間、各日 5 回ずつ測定し、その最大値と最小値、平均値を算出した。また、超音波振動による脱気の効果を確認するため、超音波振動を加えたファントムと超音波振動を加えていないファントムの断面を顕微鏡で観察し、目視可能な気泡の数で評価した。

図 3 に測定したファントムの比誘電率と導電率の周波数特性を示す。また、本研究で目標とした IFAC[5] が公開している筋肉組織の電気定数も併せて示す。ファントムに超音波振動を加えなかった場合、比誘電率の最大値と最小値の差は平均 11.25 となり、導電率の最大値と最小値の差は

平均 0.72S/m となった。しかし、凝固前のファントムに超音波振動を加えたことで、比誘電率の最大値と最小値の差は平均 6.53 と約 1.72 倍改善され、導電率の最大値と最小値の差は平均 0.39S/m と約 1.85 倍改善された。

以上から、ファントムに超音波振動を加えることで電気定数の最大値と最小値のばらつきが小さくなることが示され、提案手法の有効性は示されたと考えられる。

図 4 に、ファントムの断面画像と単位面積当たりの気泡の数を示す。超音波振動ありのファントムの断面は、超音波振動なしの断面よりも気泡の数が少ない事がわかる。また、超音波振動を加えたことで、ファントムの単位面積当たりの気泡の数が平均 0.08 から 0.02 へと約 0.25 倍小さくなった。

以上より、超音波振動を加えることでファントム内部の気泡が除去されファントムの密度が上昇したため、電気定数が上昇したと考えられる。



図 2 ファントムの電気定数測定画像 [3]

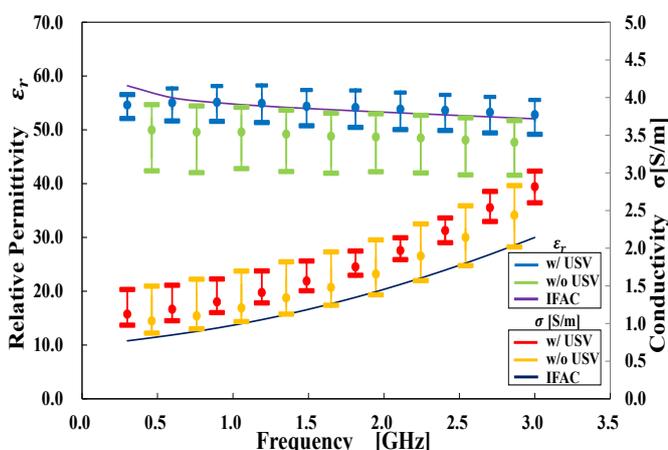


図 3 ファントムの比誘電率と導電率の比較

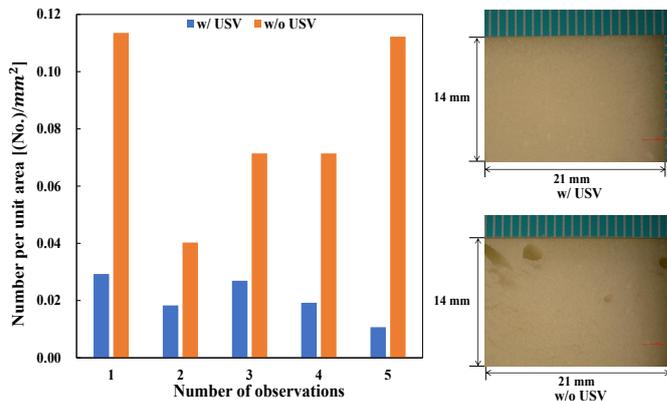


図 4 単位面積当たりの気泡の数と断面画像

4 まとめ

本論文では、製作したファントムの電気定数を安定させるために超音波振動を用いた脱気による新しいファントム製作方法を提案した。実験の結果、超音波振動によりファントム内部の気泡が除去され、製作したファントムの電気定数を安定化させることができることができた。今後の研究課題として、ファントムサイズと混入した気泡量が電気定数に与える影響を定量評価する予定である。

謝辞

本研究を行うに当たり、顕微鏡を貸してくださった本学理工学部の野田聡人准教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] R.Suga, M.Inoue, K.Saito, M.Takashi, K.Ito, “Development of Biological Tissue-Equivalent Phantom in HF Band,” IEICE Communications Express, vol. 2, no. 12, pp. 507–511, Sep.2013.
- [2] L.Hamada, K.Furuya, K.Ito, “Biological Tissue-Equivalent Phantom for Microwave Hyperthermia,” Japanese Journal of Hyperthermic Oncology, vol. 14, no. 1, pp. 31–40, Mar.1998.
- [3] S.Hayashi, K.Fujii, Y.Okumura, M.Umehira, “Effect of Air Bubbles Mixed in During Phantom Fabrication on Electrical Constants,” Proc. of the 2021 IEEE GCCE, pp. 66–67, Oct.2021.
- [4] K.Ito, K.Furuya, Y.Okano, L.Hamada “Development and the Characteristics of a Biological Tissue-equivalent Phantom for Microwaves,” IECE Communication Engineers, vol. J81-B2, no. 12, pp. 1126–1135, Dec.1998.
- [5] IFAC, “Calculation of the dielectric properties of body tissues in the frequency range 300 MHz–3.0 GHz,” IFAC-CNR, Florence (Italy), 1997–2018, <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.php>, accessed Mar.24.2021.