

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16327

研究課題名(和文) 繊維素材の配向制御により異方性をもたせた低周波用電磁ファントムの開発

研究課題名(英文) Development of anisotropic electromagnetic phantom by controlling fiber material orientation

研究代表者

山本 隆彦 (YAMAMOTO, TAKAHIKO)

東京理科大学・理工学部電気電子情報工学科・講師

研究者番号：50579761

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：模擬生体の活用は医療機器のEMC評価や安全性評価に有用である。従来の模擬生体は300MHz-2.5 GHzの帯域において生体組織とほぼ等しい電気的特性が保証されているが、低周波数帯域における模擬は十分ではない。本研究では、カーボンファイバの添加と配向性制御により、低周波数帯域における電気的特性の向上と異方性を与えることができた。

研究成果の概要(英文)：Using Electromagnetic phantom is valuable for electromagnetic compatibility (EMC) and safety evaluation of electronic devices. Conventional electromagnetic phantom mimics muscle electric property at 300 MHz - 2.5 GHz. However, it does not mimic at low frequency band. New phantom, which mimics the electrical property and anisotropy at low frequency band, was investigated and developed on this study.

研究分野：電磁波工学

キーワード：模擬生体 ファントム 異方性 誘電率 導電率 分極

1. 研究開始当初の背景

薬機法の改正によりすべての医療電子機器は電磁両立性 (Electromagnetic Compatibility: EMC) を満足することが義務づけられている。これは医療機器に限らず多くの電子機器において不可欠な性能試験である。体内埋込型や密着型の電子機器では、生体の影響を考慮し、機器が実際に使用される状態に近い条件下で EMC をはじめとする各種機能試験が行われることが望ましい。こうした中で、動物実験による機器の機能試験を行う場合、対象機器の評価には動物管理のためのケージやポリコーダ、輸液ポンプなどの周辺機器の影響が試験結果に介入する。このため、例えば、薬事法により定められた EMC 試験を行う場合、対象機器が実際に使用される状態に近い条件下での試験は困難である。これに加え、動物実験は近年欧州地域を中心に禁止の風潮が強まっている。

これらの問題を解決する方法の1つとして、模擬生体 (ファントム) を用いる方法がある。広く用いられている従来の高含水ゲルファントムは 300 MHz~2.5 GHz の帯域において生体組織とほぼ等しい電気的特性が保証されているが、例えば薬事法に基づいた EMC 試験項目の一つである伝導性妨害波の試験周波数帯域 (0.15~30 MHz) と比較すると、低周波数帯域において十分とはいえない。また、電磁ファントムの EMC 評価以外のアプリケーションの一つとして人体通信用機器の性能評価がある。これには、種々の電磁ファントムが研究されているが、十分な特性を有するファントムが存在せず、開発が急務とされている。特に、筋肉組織は筋繊維の方向により電気的特性が異なるが、これを模擬するファントムは申請者が知る限り存在しない。

本研究により得られた低周波数帯域を用いて医療機器の EMC 評価をはじめとする機器の安全性評価を行えば、ファントムを用いて生体の存在を考慮しこれまで以上に実使用に近い状態での機器の評価が行える。このため、機器の開発段階において、より実際の使用に近い状態でデータ収集を行うことができ、実用化後に予期せぬ電気安全に関する事故の減少をも期待することができ、国民生活をより安全にできる。

2. 研究の目的

本研究においては、低周波数帯域における電気的特性の測定法に関する検討を行った上で、繊維材料を用いた低周波数帯域の電磁ファントムの電気的特性の改善と異方性付与の3つにわけて研究を進めている。

(1) 周波数帯域における電気的特性の測定法に関する検討

生体材料の低周波数帯域における電気的特性評価には、電極分極が問題となり測定精度が低下する。この問題を低減可能な電極の選定を行い、電磁ファントムの電気的特性を

正しく測定することを目的としている。

(2) 低周波数帯域の電磁ファントムの電気的特性の改善

低周波数帯域においては生体 (本研究では主として筋肉組織) の電気的特性を従来の原材料を用いるのみでは再現できない。ここでは、高導電率を有する物質としてのカーボンファイバを添加し界面分極を利用することで、電気的特性を改善することを目的としている。

(3) カーボンファイバの配向制御による異方性の付与

筋肉などの生体材料はその方向によって電気的特性が異なる。繊維材料として添加するカーボンファイバの配向制御を行うことで、電磁ファントムに異方性を与えることを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 周波数帯域における電気的特性の測定法に関する検討

低周波用電磁ファントムの電気的特性測定には平行平板法を用いるが、電極分極の影響軽減により測定精度が低下する。電極分極の影響を把握し軽減するために、電気的特性の測定結果の分析に電気化学インピーダンス法を使用した。平行平板法を用いて測定した試料の等価回路は、試料のインピーダンスと電気二重層の直列接続で表される。測定セルの等価回路を図1に、コイルコイルプロットを図2に示す。コイルコイルプロットにおいて試料および電気二重層のインピーダンスは2つの隣り合う半円で描かれる。

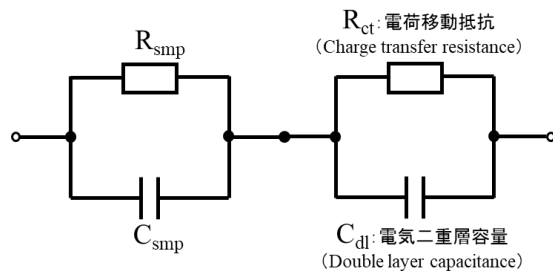


図1 電気特性測定に関する等価回路

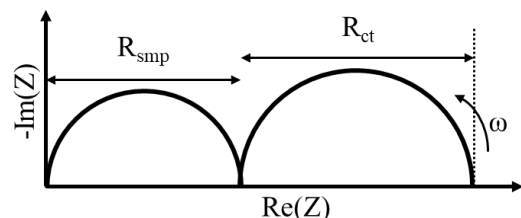


図2 コイルコイルプロット

(2) 低周波数帯域の電磁ファントムの電気的特性の改善

本研究では、種々あるファントムの中で高含水ゲルファントムを対象としている。高含水ゲルファントムの基本材料は、主原料のイオン交換水、導電率増加のための NaCl, 形

状保持のための寒天である。高含水ゲルファントムの特徴として、試作が容易であり再現性が高いこと、寒天により形状が自由であり複雑な形状に成形可能なこと、材料が安価なため全身や半身の模擬など多量の試作が可能なことがあげられる。これまでの材料では低周波数帯域において発生する β 分散の模擬の特長を十分に模擬できない。そこで、基本材料にくわえおよび高導電率材料としてのカーボンファイバの添加とその調合割合の調整に調整について検討を行った。

(3) カーボンファイバの配向制御による異方性の付与

(2) の低周波数帯域での電気的特性改善に仕様したCFはファイバに対して平行な方向と垂直な方向で電気的特性が異なる。特に、CFが電界に対して平行な方向をとるとき、CF内を通過する電流量は垂直な方向をとるときよりも増加するとともに、CFの実効的なインダクタンスが増加する。これは、CFの配向を制御することによって高含水ゲルファントムに異方性を付加できることを意味している。

CFの配向制御の基礎検討を行うためにイオン交換水、塩化ナトリウム、寒天、CFからなる模擬生体に対して、電磁石を用いて材料に対して直流磁界を照射しCFの配向を制御し、電気的特性の測定を行った。

4. 研究成果

(1) 周波数帯域における電気的特性の測定法に関する検討

電極分極は電極素材と溶媒間における化学反応に起因しているため、複数の電極素材を測定に用い電極分極の影響軽減効果の比較を行った。電極に銅、白金、銀/塩化銀電極を用いてNaCl水溶液(0.10%~0.90%)の誘電率を測定・比較した。結果を図3に示す。銀/塩化銀電極が試料の特性を測定できる周波数範囲を最も拡大できた。

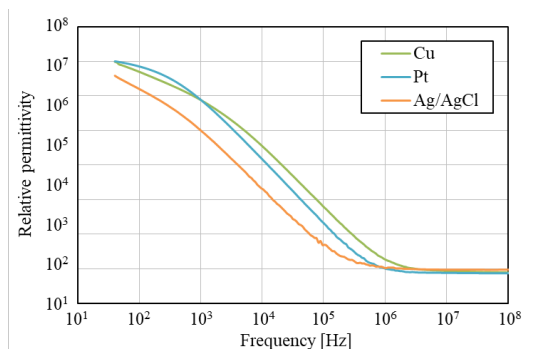


図3 各電極を用いた際の0.9%生理食塩水の誘電率測定比較

(2) 低周波数帯域の電磁ファントムの電気的特性の改善

追加材料として高導電率材料としてのカーボンファイバ(Carbon Fiber: CF, 平均繊維長130 μm)を添加することにより界面分極を発生させ、 β 分散の模擬を試みた。界面

分極とは、不均一な誘電体に電界をかけたとき、異種物質間の境界に電荷が蓄積されキャパシタを形成する現象である。イオン交換水と寒天から成るファントム(以下、水寒天ファントムとよぶ)およびそれにCFを1%添加したファントムの電気的特性を測定した。結果を図4に、さらにコール-コールプロットを図5に示す。水寒天ファントムと比較してCFを1%添加したファントムは半円の数が1つ増加していることがわかる。これは、CFの添加による界面分極が β 分散の模擬に有用であることを意味している。

CFの添加に加え、ファントムの組成比を調整することで電気的特性のさらなる改善を試みた。CFを1%、NaClを0.10~0.30%を添加したファントムの比誘電率および導電率の特性を図6, 7に示す。NaClの濃度が増加すると、比誘電率の周波数特性が高周波側に平行移動し、導電率が全域において増加した。また、導電率に関して、100 kHz以下ではNaCl水溶液の特性を示すのに対し、100 kHz以上ではCFの特性によってさらに増加した。これはCFの界面分極によるもので、低周波ではCFには電流が流れず周囲のNaCl水寒天部分に流れるのに対し、高周波では両方に流れることを示している。

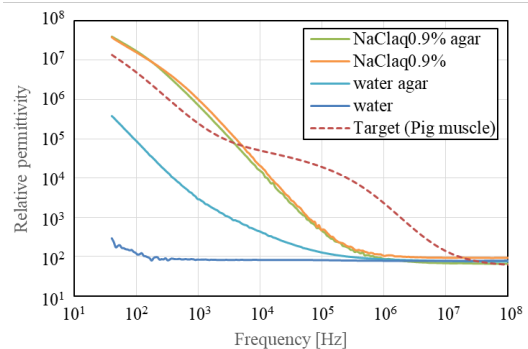


図4 各材料の誘電率

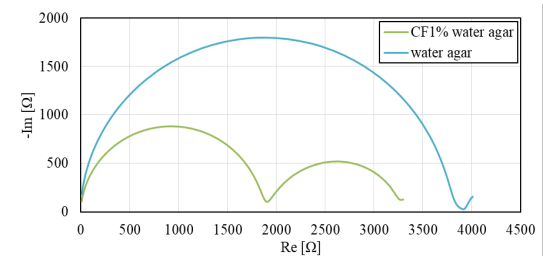


図5 コールコールプロットの比較

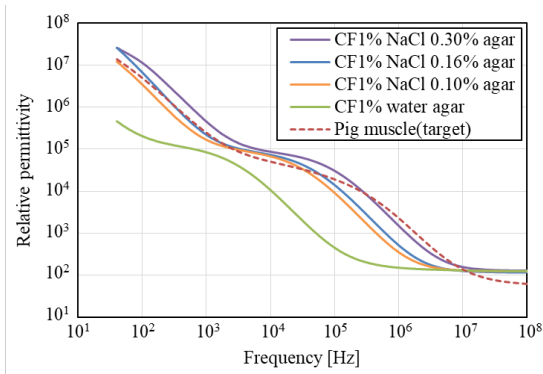


図 6 NaCl の調整と誘電率

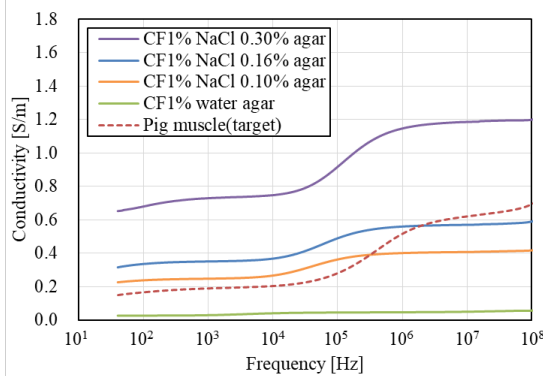


図 7 NaCl の調整と導電率

(3) カーボンファイバの配向制御による異方性の付与

一辺 16 mm の立方体状のファントムを試作する過程において、電磁石を用いて外部から 0.93 T の静磁界を電磁ファントムが凝固するまでの間照射した。さらに、作製したファントムを薄くスライスし、光学顕微鏡を用いて CF の配向を確認した。光学顕微鏡写真を図 8, 9 に示す。その結果、磁界によりファントム内に存在する CF の配向を制御する事が可能である事が確認された。

電気的特性の測定には平行平板コンデンサ法を用いた。結果を図 10 に示す。10 MHz において、比誘電率は Parallel で 252.9, Transverse で 227.8, 導電率は Parallel で 3.60 S/m, Transverse で 3.37 S/m とそれぞれ 11.0 %, 6.8 % の差異を生じさせることができた。したがって、ファントム内の CF を配向制御することにより、ファントムの電気的特性に異方性を付与することが可能であることが確認された。

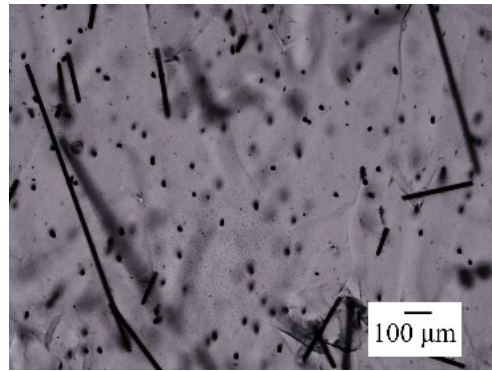


図 8 ファントム内の CF (平行)

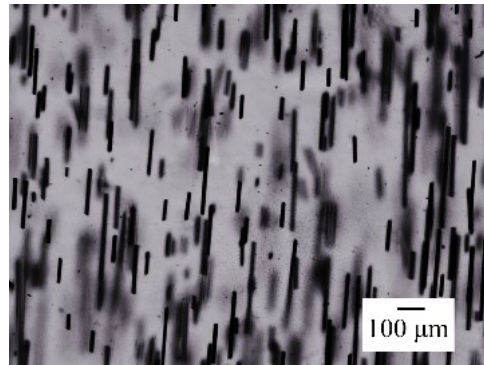


図 9 ファントム内の CF (垂直)

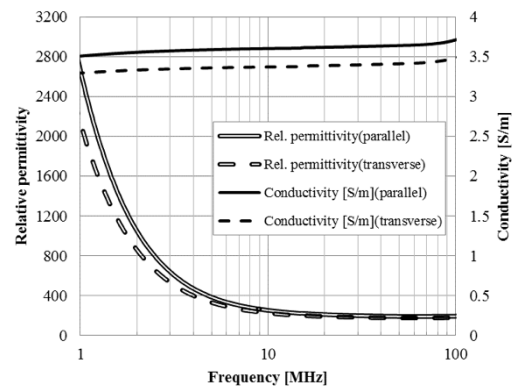


図 10 各方向におけるファントムの誘電率比較

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

1. 山本和輝, 山本隆彦, 越地耕二: 炭素繊維を用いた低周波用電磁ファントムの開発, 第 28 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, Vol. 16, pp. 182-185, 2016
2. 山本和輝, 山本隆彦, 越地耕二: 4 端子法を用いた生体試料の電気定数測定における電圧用電極挿入深度に関する検討, 第 26 回ライフサポート学会フロンティア講演会講演論文集, pp. 163-163, 2017
3. Takahiko Yamamoto, Kohji Koshiji: Electromagnetic high-hydrous gel phantom at a low-frequency band

-Improvement in the electrical characteristics by using a carbon microcoil and investigation of its mechanism-, IFMBE Proceedings World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering , Vol.51, pp.1383-1386, 2015

[学会発表] (計 4件)

1. Takahiko Yamamoto, Kazuki Yamamoto, Ryutaro Ikeda, Kohji Koshiji : Measurement of Electrical Property for Sacrificed Pig muscle and Prototype of Electromagnetic Phantom for Low Frequency Band, World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering 2018, 2018
2. 池田龍太郎, 山本隆彦, 越地耕二 : カーボンファイバの配向制御による向含水ゲルファントムの異方性付与に関する基礎的検討, 第 27 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2018
3. 山本和輝, 山本隆彦, 越地耕二 : 生体組織の誘電率測定のための電極素材に関する検討および犠死直後の動物筋肉の測定, 第 27 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2018
4. 山本和輝, 山本隆彦, 越地耕二 : 高含水ゲルファントムの低周波帯域における電気的特性の改善, 第 25 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2016

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 隆彦 (YAMAMOTO TAKAHIKO)

東京理科大学・理工学部・講師

研究者番号 : 50579761