

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06095

研究課題名(和文)人体方向の放射を抑制した多共振型ウェアラブルアンテナの研究

研究課題名(英文)Multi-resonance wearable antenna for suppression of radiation toward human head

研究代表者

森下 久(Morishita, Hisashi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・電気情報学群・教授)

研究者番号：20535356

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文): 救難活動等で使用される防災用無線機と防災用ヘルメットを一体化することを目的として、人体方向の放射を抑制したウェアラブルアンテナを開発した。はじめに、クランク型折り返しダイポールアンテナにL字形スリット付導体リングを装荷することで、非常に簡易な構成でありながら、人体頭部の放射を抑制できることを示した。次に、アンテナの新しい設計手順として、はじめに2重半球殻構造の固有モードを解析し、得られた固有モードに適した給電位置を選定することでアンテナの最終形状を決定する方法を提案した。最後に、人工磁気導体の実現のために、積層セラミックコンデンサからなる単位セル構造を設計した。

研究成果の概要(英文): For the disaster prevention, the helmet antenna has been required to achieve the hands-free operation. The required performances for the helmet antenna are not only the low-profile and small configuration but also the suppression of the radiation toward a human head. Firstly, the crank-type folded dipole antenna on conductor ring with L slit was proposed. The suppression of radiation toward the human head and impedance matching can be achieved simultaneously. Next, novel antenna design procedure was proposed. The characteristic mode of double hemispherical conductor shell was analyzed, and the suitable feeding point was selected for the characteristic mode. Finally, the unit cell structure composed of multi-layer ceramic capacitors was designed to achieve the artificial magnetic conductor.

研究分野：工学

キーワード：アンテナ ウェアラブルアンテナ 折り返しダイポールアンテナ 比吸収率 固有モード解析 人工磁気導体 積層セラミックコンデンサ

1. 研究開始当初の背景

現在、被災地の救難活動において、通信の確保のために低周波帯の移動通信が利用されている。移動通信を代表する無線機能を搭載した電子機器及び通信端末が急速に発展する中、電波の出入り口であるアンテナに対しては、性能の維持または向上を図りながら、小形化・低姿勢化に加え多共振を含めた広帯域化が求められている。その低周波帯を利用した移動通信として、防災無線、簡易無線、消防・救急無線や警察無線等が挙げられる。その中でも防災無線は、地震や火災等の災害を想定した通信であるため、重要視されている。この防災用無線機に使用される周波数帯には、150 MHz 帯、260 MHz 帯、400 MHz 帯が使用されている。この防災用無線機の欠点として、使用する周波数帯が低周波帯のため、アンテナの大きさが大形となることが挙げられる。それは被災地等の狭い空間における行動を制約して、人命救助等の活動に対して遅れを生じさせることが考えられる。また、トランシーバー型の防災用無線機の使用も多く、その活動において片手が使用できない状況が生じ、救難活動及び重量物運搬等の各種作業に大きな制約が生じている。よって、低周波帯の移動通信用アンテナの小形化及びハンズフリー化が必要な課題になる。

防災用ヘルメットアンテナは、150 MHz 帯を利用している防災用無線機を防災用ヘルメット上で構成することで、それらの課題を解消するために検討されている。被災地では2次災害防止のため、防災用ヘルメットを着用して救難活動や避難行動が行われている。その災害現場に欠かすことのできない防災用ヘルメット上に防災用無線機のアンテナ、マイク、送受信機等を一体化させた構造を提案する。防災用無線の使用周波数帯が150 MHz 帯のとき波長は2 m となり、アンテナは大形化する。そのため、アンテナを直接地上に設置する場合や一定の姿勢を保つことが難しい狭い空間における作業時には、その行動が制約される。また、トランシーバー型の防災用無線機を使用する場合においても、片手が使用できないため、その行動が制約される。このとき、防災用ヘルメットに着目すると、人体の頭部はどのような姿勢においても比較的高い場所に位置する。したがって、防災用ヘルメットにアンテナを取り付けることができれば、狭い空間においても効率よく情報を取得または発信することができ、両手で作業に従事することができる。その周波数帯で動作するヘルメット形状に合わせた低姿勢なアンテナを設計することは非常に重要な研究項目であり、研究を通じて得られた結果は、移動通信用アンテナの小形化に大きく寄与するものと考えられる。

2. 研究の目的

防災用ヘルメットアンテナの設計には課題が多く、特にアンテナの小形化及び低姿勢

化に加え、人体頭部方向への放射を抑制することを検討しなければならない。従来の防災用ヘルメットアンテナの設計手順は、アンテナの種類を選定した後、プラットフォームとなる基板や筐体にアンテナの形状を変化させる。さらに、インピーダンス整合などの最適化を行い、アンテナの最終形状が決定する。それに対して、本研究で提案するアンテナ設計は、初めにプラットフォームとなる基板や筐体の共振モードを解析し、その得られた共振モードに適した給電位置を選定することでアンテナの最終形状を決定する。共振モードは、任意形状のアンテナや散乱体の振る舞いをモード共振現象により特徴づけることができる固有モード解析(CMA: Characteristic Mode Analysis)を用いることで求めることができる。本研究では、防災用ヘルメットアンテナのプラットフォームとなる半球殻形状にCMAを用いて、防災用ヘルメットアンテナを設計することを目的とする。

3. 研究の方法

CMAにおける固有電流 J_n は、外部の励振源から独立しており、その導体の形状と大きさのみ依存した導体表面の電流として定義されている。このとき、固有値方程式は

$$X(J_n) = \lambda_n R(J_n)$$

で表される。ここで R と X はそれぞれインピーダンス行列の実部と虚部である。また、 λ_n は第 n 固有モードに関連する固有値と一致する。この固有値方程式は、導体内に蓄積されるエネルギーを表したものである。このときの固有値 λ_n を用いて振幅及び位相を求めることができ、その導体の共振周波数を確認することができる。

そこで、はじめにプラットフォームとなる防災用ヘルメットを模擬した半球殻構造のモデルを用いてCMAを行い、150 MHzにおいて励振可能なモードを見出す。次に、折り返し構造の金属近接によるインピーダンスを改善するため、防災用ヘルメットアンテナの内導体に完全磁気導体を適用することを考える。

4. 研究成果

半球殻形状において最適なヘルメットアンテナを設計するためには、ヘルメットの素材とともに、その内側に半球殻導体も考慮したアンテナ設計が必要である。図1に2重半球殻構造のモデル構成を示す。外殻はヘルメットと同じ寸法である半径125 mmの半球殻導体とし、その内側17 mmに人体への放射を抑制するための半球殻導体を内殻とする。また、解析モデルの材質には完全導体を使用する。なお、解析にはモーメント法を基礎としたFEKO Suite 7.0を使用する。

防災用ヘルメットアンテナ設計のため、図1の2重半球殻構造にCMAを行う。図2に2重半球殻構造の特性角(CA)特性を示す。CA

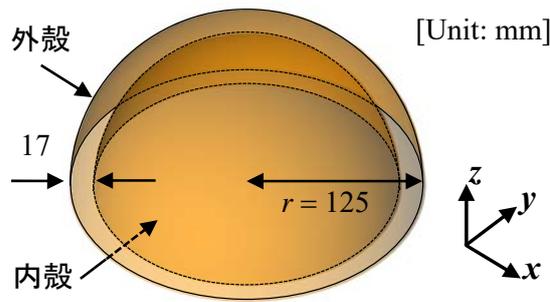


図1 2重半球殻構造のモデル構成

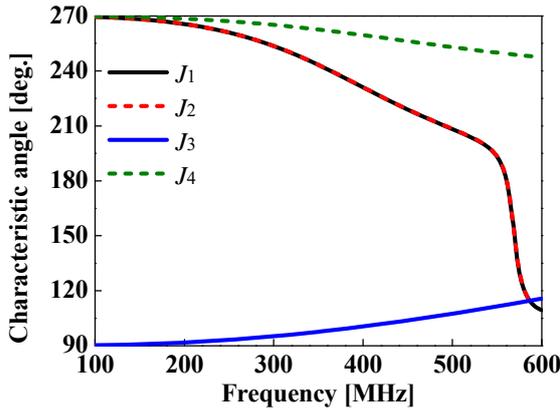


図2 2重半球殻構造のCA特性

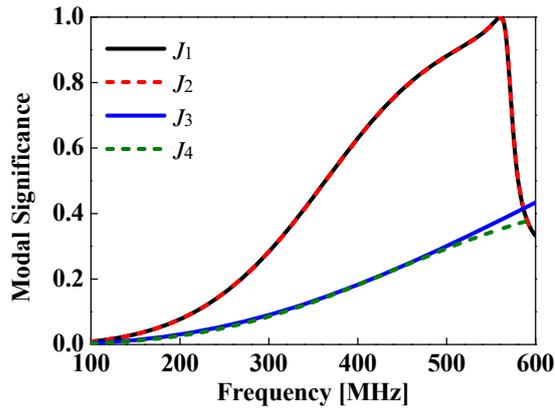


図3 2重半球殻構造のMS特性

特性はその導体の位相を表す。図2より J_1 及び J_2 が周波数 560 MHz のとき、位相が 180° となることが確認できる。また、図3に2重半球殻構造のモード有意性(MS)特性を示す。MS特性はその導体の規格化された振幅値を表す。図3よりCA特性と同様に、 J_1 及び J_2 が周波数 560 MHz のとき、MSの値がもっとも1に近づくことが確認できる。よって、この2重半球殻構造は560 MHzで共振すると考えられる。

このとき、2重半球殻構造の周波数 560 MHzにおけるモード1の固有値が -0.019 となり、最小値となる。よって、 J_1 の電流分布から放射に寄与しないと考えられる弱電流部分を削減する。

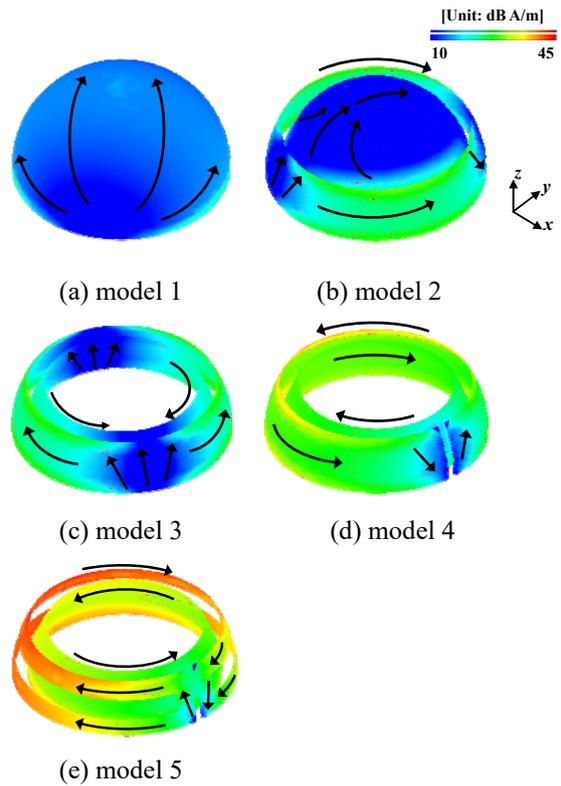


図4 2重半球殻構造 J_1 の電流分布

図4に J_1 の電流分布を示す。図4(a)の弱電流部分である外殻上部を削減したモデルが図4(b)である。外殻上部を削減すると、外殻の上端にも強い電流が分布する。また図4(c)より内殻上部を削減すると、内殻にも外殻と同じような電流分布となる。このとき、本構造は1波長ループとして動作していると考えられる。図4(d)は図4(c)において外殻の弱電流部分に幅 10 mm のスリットを加えたモデルである。スリットを加えると、電流強度は強くなり、電流の向きは一方向となる。したがって、1波長ループから半波長ループのモードに変化したと考えられる。さらに図4(d)から外殻の弱電流部分である中央部を削減したモデルが図4(e)である。このとき、電流強度は最も強くなる。以上より、2重半球殻の弱電流部分を削減することで、折り返し構造が得られた。

図5に2重半球殻構造 J_1 の放射特性を示す。図5(a)より、2重半球殻構造において水平面に8の字指向性の放射パターンが確認できる。図5(b)及び図5(c)より、2重半球殻構造から弱電流部分である外殻上部及び内殻上部を削減しても、水平面の8の字指向性の放射パターンに大きな変化はない。これは導体に流れる電流から1波長ループのモードとなっていることが考えられる。しかしながら、図5(d)より、2重半球殻構造の外殻にスリットを装荷することにより、水平偏波水平面無指向性の放射パターンとなる。これは導体に流れる電流のモードが1波長ループから半波長ループに変化したことが要因として考えられる。

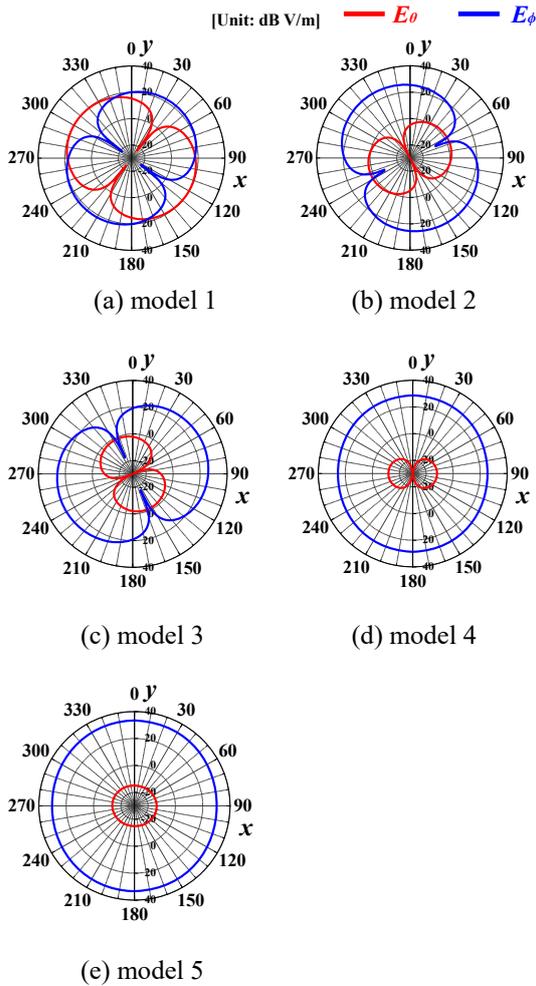


図 5 2重半球殻構造 J_1 の放射特性

また、図 5(e)より、弱電流部分の外殻中央部を削減しても、水平偏波水平面無指向性の放射パターンとなることが確認できる。

CMA により見出された折り返し構造は、外殻と内殻の距離が 17 mm と近接しているため、整合がとれない。先行研究で検討されていた折り返しダイポールアンテナ(Folded Dipole Antenna : FDA)はアンテナ及び内導体(内殻)の素材を銅で検討しているため、金属近接により 50Ω給電と整合をとることができなかった。そのため、FDA のステップアップ比を使用して整合させていたため、アンテナが大型化している。そこで、2重半球殻構造内側の半球殻表面に完全磁気導体(Perfect Magnetic Conductor : PMC)を用いて、インピーダンス特性の改善を図る。このとき、FDA の構造は先行研究と比較するため、1次線と2次線及びその間隔を 3 mm で構成する。

図 6 にアンテナ構成図を示す。図 6(a)より半球殻の半径はヘルメットアンテナに装荷する内殻の半径と同じ 108 mm で構成する。また、図 6(b)より FDA と半球殻の距離は 17 mm として構成する。

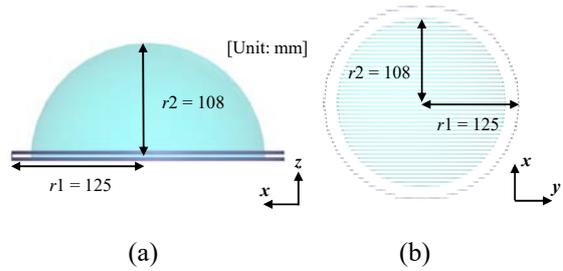


図 6 モデル構成

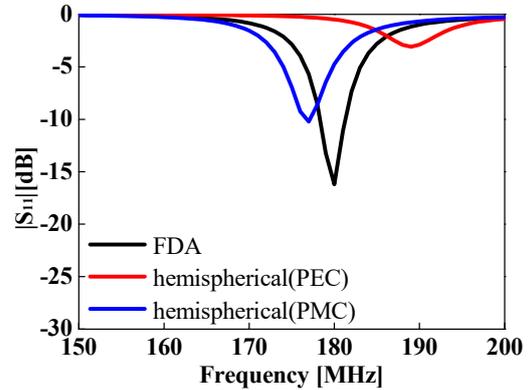
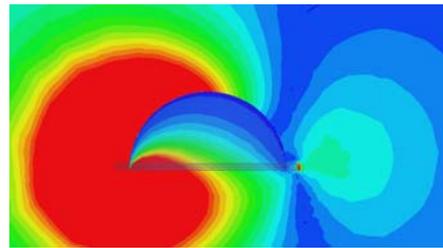
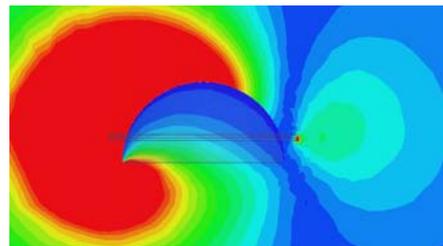


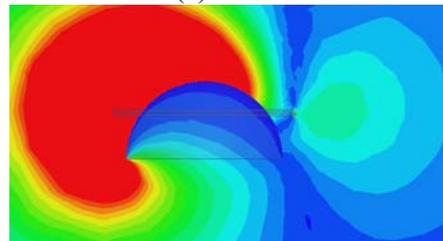
図 7 半球殻に装荷した FDA の $|S_{11}|$ 特性



(a) $h = 0$



(b) $h = 30$



(c) $h = 60$

図 8 アンテナ位置を変化させた電界分布

図7に半球殻に装荷したFDAの $|S_{11}|$ 特性を示す。図7より半球殻導体の無いFDAは周波数180MHzで共振する。半球殻表面をPECとしたFDAは金属近接の影響のため50Ω給電と整合がとれない。しかしながら、半球殻表面をPMCとしたFDAは周波数177MHzで共振し、 $|S_{11}|$ は-10.2dBとなる。

図8に半球殻表面をPMCとして、アンテナの高さ h を変化させたときのFDAの電界分布を示す。図8(a)より、 $h=0$ のとき、半球殻内部へのアンテナの放射が確認できる。図8(b)より、 $h=30$ まで高さを上げたとき、半球殻下部及び内部のアンテナの放射がやや弱くなる。図8(c)より、さらに $h=60$ まで高さを上げると、アンテナの放射は上方に強くなり、半球殻下部及び内部の放射はさらに弱くなる。よって、アンテナの高さを上げることにより、人体頭部方向への放射を低減することができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 野村宣仁, 道下尚文, 森下久, “固有モード解析を用いたヘルメットアンテナ設計に関する研究,” 防衛大学校理工学研究報告, 査読無, 55, pp.53-60, 2017.

〔学会発表〕(計16件)

- ① 野村宣仁, 道下尚文, 森下久, “固有モード解析を用いたヘルメットアンテナ設計,” 信学総大, BI-1-3, 2017.
- ② N. Nomura, N. Michishita, H. Morishita, “Folded Dipole Antenna on Hemispherical PMC Shell for Helmet Antenna Design,” International Workshop on Antenna Technology, F3-III.3, 2017.
- ③ N. Nomura, N. Michishita, H. Morishita, “Characteristic Mode Analysis of Hemispherical Shell for Helmet Antenna Design,” International Symposium on Antennas and Propagation, 2E1, no. 5, 2016.
- ④ 野村宣仁, 道下尚文, 森下久, “ヘルメットアンテナ設計における給電位置の検討,” 信学ソ大, B-1-36, 2016.
- ⑤ 野村宣仁, 道下尚文, 森下久, “ヘルメットアンテナ設計のための半球殻の固有モード解析,” 信学技報, AP2016-51, 2016.
- ⑥ 野村宣仁, 道下尚文, 森下久, “ヘルメットアンテナ設計のための半球殻の固有モード解析,” 信学総大, B-1-115, 2016.
- ⑦ 西山直人, 道下尚文, 森下久, “ヘルメット折り返しダイポールアンテナ,” 信学総大, BS-1-2, 2016.
- ⑧ 野村宣仁, 道下尚文, 森下久, “ヘルメットアンテナ設計のための半球殻の固有モード解析,” 信学総大, B-1-115, 2016.

- ⑨ N. Michishita, N. Nishiyama, and H. Morishita, “Helmet Folded Dipole Antennas,” Asian Workshop on Antennas and Propagation, 2016.
- ⑩ N. Nishiyama, N. Michishita, and H. Morishita, “SAR Reduction of Helmet Antenna Composed of Folded Dipole with Slit-Loaded Ring,” International Symposium on Antennas and Propagation, 2015.
- ⑪ 野村宣仁, 道下尚文, 森下久, “円形地板上低姿勢折り返しモノポールアンテナ,” 信学ソ大, B-1-69, 2015.
- ⑫ 西山直人, 道下尚文, 森下久, “半球殻状誘電体装荷折り返しダイポールアンテナのSAR抑制,” 信学ソ大, B-1-70, 2015.
- ⑬ N. Nishiyama, N. Michishita, and H. Morishita, “Low-Frequency Inverted-F Antenna on Annular Ground Plane,” International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies, WP1-4, 2015.
- ⑭ H. Morishita, N. Nishiyama, and N. Michishita, “Fundamental Study of the Helmet Folded Dipole Antenna,” Vietnam-Japan Microwave, 2015.
- ⑮ H. Morishita, N. Nishiyama, and N. Michishita, “Fundamental Study of the Helmet Antenna for Disaster Prevention,” Thailand-Japan Microwave, FR2-02, 2015.
- ⑯ N. Michishita, N. Nishiyama, and H. Morishita, “Low-Frequency Helmet Antennas,” Asian Workshop on Antennas and Propagation, 2015.

6. 研究組織

(1)研究代表者

森下久 (MORISHITA, Hisashi)
防衛大学校・電気情報学群・
電気電子工学科・教授
研究者番号：20535356

(2)研究分担者

道下尚文 (MICHISHITA, Naobumi)
防衛大学校・電気情報学群・
電気電子工学科・准教授
研究者番号：30535357