

150 MHz/2.4 GHz 帯共用防災用ヘルメットアンテナに関する検討

鍵山 憲幸[†] 齋田 祐介[†] 伊藤 敦[†] 森下 久[†] 飴谷 充隆[‡] 廣瀬 雅信[‡] 黒川 悟[‡]

[†] 防衛大学校理工学部電気電子工学科 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20

[‡] 産業技術総合研究所計測標準研究部門電磁波計測科 〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1

E-mail: [†] {em51006, em52003, ed12001, morisita}@nda.ac.jp,

[‡] {m.ameya, masa-hirose, satoru-kurokawa}@aist.go.jp

あらまし 既に普及されている防災用ヘルメット上にアンテナ, 送受信機, イヤホン及びマイクを取り付けたヘルメット一体型防災用無線機の開発を目指している. 中でも, アンテナの小形化及び多共振化が重要であるため, 150 MHz 及び 2.4 GHz で動作する折返しダイポールアンテナを片側の一か所から給電するように結合させた構成を検討する. 初めに, 平面構造と立体構造におけるアンテナの特性を解析する. 次に人体頭部方向への放射抑制について検討する.

キーワード 曲面構造, 折返しダイポールアンテナ, 給電線付折返しダイポールアンテナ, 防災用ヘルメットアンテナ, 誘電体, 測定環境

Study of the Helmet Antenna (150 MHz/2.4 GHz) for Disaster Prevention

Noriyuki KAGIYAMA[†] Yusuke SAITA[†] Tsutomu ITO[†] Hisashi MORISHITA[†]

Michitaka AMEYA[‡] Masanobu HIROSE[‡] Satoru KUROKAWA[‡]

[†] Dept. of Electrical & Electronic Eng., National Defense Academy 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, 239-8686 Japan

[‡] National Institute of Advanced Industrial Science And Technology, Umezono 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8563 Japan

E-mail: [†] {em51006, em52003, ed12001, morisita}@nda.ac.jp,

[‡] {m.ameya, masa-hirose, satoru-kurokawa}@aist.go.jp

Abstract We have studied the helmet antenna for disaster prevention in order to propose the structure that a transceiver, antenna and microphone are mounted on the helmet which has already been served as disaster prevention. Since the helmet antenna needs to have the characteristics of miniaturization and multiband, we have considered the combined folded dipole antenna with one port. First, we analyze the characteristics of the plane and hemispherical antenna model. Next, we analyze the restraint of radiation to the head direction using the human head model.

Keyword Curved surface structure, Folded Dipole Antenna, Combined Folded Dipole Antenna, Helmet Antenna for Disaster Prevention, Dielectric, Measurement environment

1. まえがき

防災用ヘルメットは災害発生時の救難活動や避難活動において2次災害を防ぐために必要不可欠である. 実際に, ヘルメットを装着したまま防災用無線機を携行し救難活動等が行われている. 防災用無線機(150 MHz 帯)の大半はトランシーバタイプであり, 使用する際に片手が塞がってしまい, 救難活動等に大きな制約が生じてしまう. そこで, 防災用ヘルメット上にアンテナ, 送受信機, イヤホン及びマイク等を一体化させた構成を提案する.

これまでに当研究室では, ヘルメットアンテナに関連する基礎検討を行ってきた[1]. また, 広帯域アンテナとして折返しダイポールアンテナ(Folded Dipole Antenna: FDA)に長さ4分の1波長の給電線を付加した給電線付折返しダイポールアンテナ(FDA with a feed line)が報告されている[2]. そして多共振アンテナとしてFDA with a feed lineを2つ結合させた結合型給電線付折返しダイポールアンテナ(Combined FDA with a feed line: CFDA)を現在検討している.

本報告では, 計算に電磁界シミュレータ CST

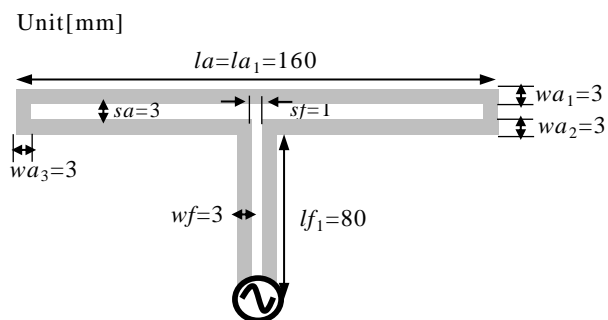
Microwave studio を使用する. 第 2 章及び第 3 章に CFDA を平面及び防災用ヘルメットと同半径の円平面上に構成した際のアンテナ特性について検討を行う. 第 4 章に, 防災用ヘルメットを模擬した半球面上に CFDA を構成し, 平面構造から曲面構造に構成したことによる影響と防災用ヘルメットの材質である誘電体による影響について検討を行う. 第 5 章に, ヘルメットアンテナから放射される頭部方向への電波を抑制する検討を行う. 第 6 章をまとめとする.

2. 平面型 CFDA の検討

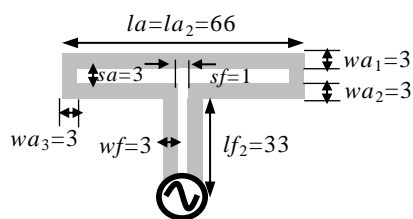
2.1. アンテナ構成

図 1(a)に 1.0 GHz で動作する FDA with a feed line を示し, 図 1(b)に 2.4 GHz で動作する FDA with a feed line を示す. FDA はアンテナ長 la , それぞれの素子幅が $wa_1=3\text{ mm}$, $wa_2=3\text{ mm}$, $wa_3=3\text{ mm}$ とその間隔を $sa=3\text{ mm}$ とする. この FDA に幅 $wf=3\text{ mm}$, 長さ 4 分の 1 波長の給電線を付加し, その給電線間隔を $sf=1\text{ mm}$ とする.

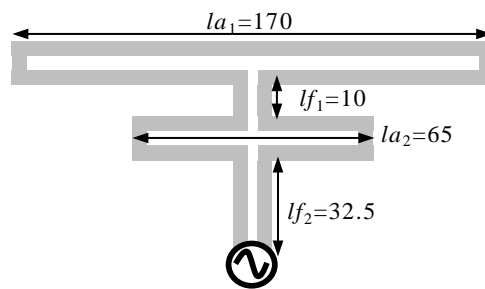
また図 1(c)に 1.0 GHz で動作する FDA with a feed line と 2.4 GHz で動作する FDA with a feed line を結合させ, 1.0 GHz と 2.4 GHz で動作するように各パラメータを調整した平面型 CFDA を示す. なお, アンテナ素子幅等は FDA with a feed line と同様である.



(a) FDA with a feed line (1.0 GHz)



(b) FDA with a feed line (2.4 GHz)

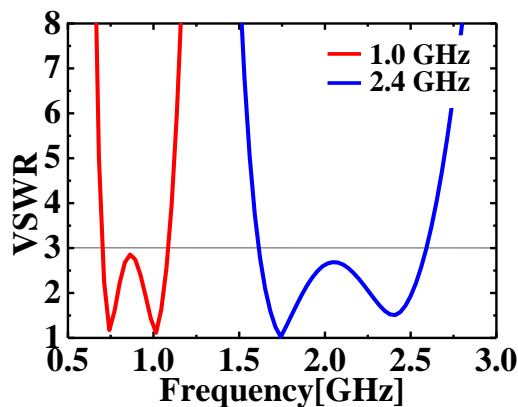


(c) 平面型 CFDA (1.0 GHz/2.4 GHz)

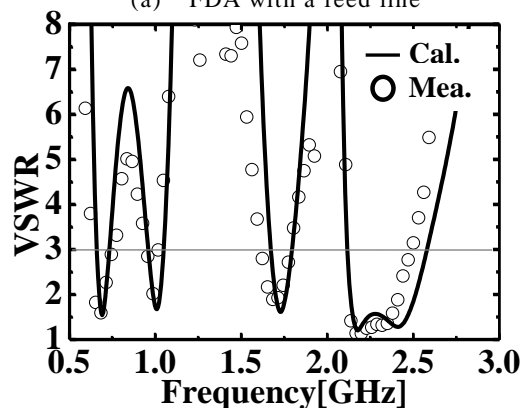
図 1 アンテナ構成

2.2. VSWR 特性

図 2 にそれぞれのモデルの $50\ \Omega$ で規格化された VSWR 特性を示す. また, これ以降文中の全ての図において特性インピーダンス $50\ \Omega$ での特性を示す. 図 2(a)で示すように各 FDA with a feed line は長さ 4 分の 1 波長の給電線を付加することによって, それぞれの動作周波数である 1.0 GHz 帯と 2.4 GHz 帯でインピーダンス変換が行われ, 2 共振特性が得られることがわかる. また, 図 2(b)で示すように, 1.0 GHz で動作する FDA with a feed line と 2.4 GHz で動作する FDA with a feed line を結合させた平面型 CFDA は, 各パラメータを調整することによって 1.0 GHz 帯と 2.4 GHz 帯で FDA with a feed line と同様な特性が得られることがわかる.



(a) FDA with a feed line



(b) 平面型 CFDA

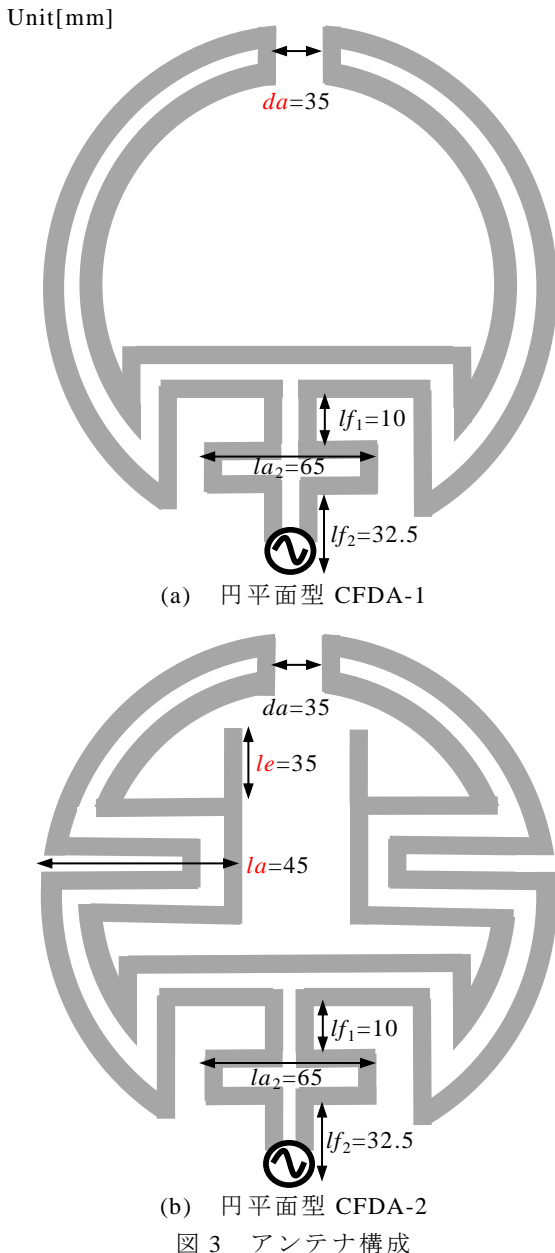
図 2 VSWR 特性

3. 円平面型 CFDA の検討

3.1. アンテナ構成

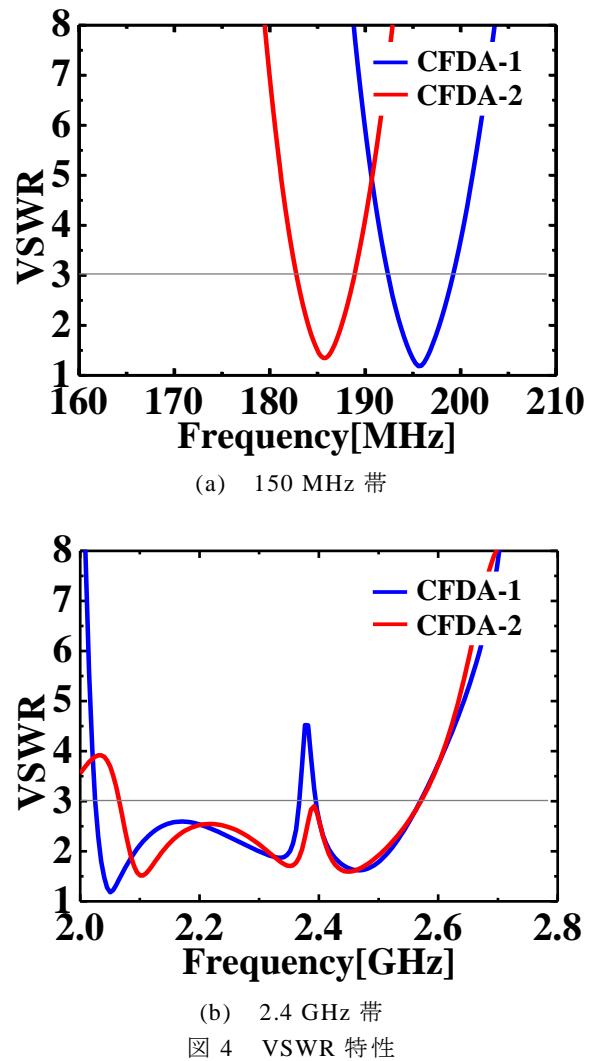
図 3(a)に防災用ヘルメットを模擬した半径 125 mm の円平面において,平面型 CFDA のアンテナ素子を 150 MHz で動作させるために延長させ,円周に沿うように折り曲げた円平面型 CFDA-1 を示す. なお,アンテナ素子幅とその間隔,給電線幅とその間隔は平面型 CFDA と同様であり,アンテナ先端距離を da とする.

図 3(b)に 150 MHz 帯の共振周波数を更に低周波化するために,同円平面内の領域においてアンテナ専有面積を増加させることなくアンテナ素子の延長及び付加素子を装荷した円平面型 CFDA-2 を示す. 延長した素子の長さを la , 付加素子の長さを le とする.



3.2. VSWR 特性

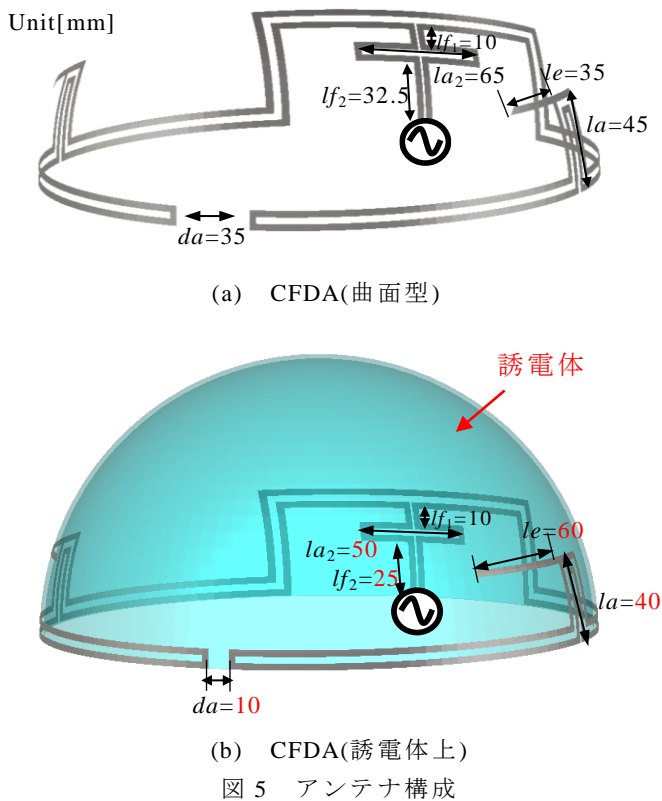
図 4 に各アンテナモデルの VSWR 特性をそれぞれの周波数帯ごとに示す. 図 4(a)で示すように平面型 CFDA のアンテナ素子を円周に沿うように折り曲げて延長させ,アンテナ先端距離を $da=35$ とすると共振周波数が 1.0 GHz(VSWR:1.7)から 196 MHz(VSWR:1.2)まで低周波化することが確認される. また,アンテナ専有面積を増加させることなく円平面内の領域内においてアンテナ素子の延長及び付加素子を装荷し, $la=45$, $le=35$ とすると共振周波数が 196 MHz(VSWR:1.2)から 186 MHz(VSWR:1.3)まで低周波化することが確認される. いずれのモデルにおいても 2.4 GHz 帯については $VSWR \leq 3$ となっていることも確認される. なおここでは 2.4~2.45 GHz を 2.4 GHz 帯とする.



4. 曲面型 CFDA の検討

4.1. アンテナ構成

図 5(a)に防災用ヘルメットを模擬した半径 125 mm の自由空間の半球上に図 3(b)の円平面型 CFDA-2 を構成した CFDA(曲面型)を示す. また図 5(b)に防災用ヘルメットを模擬した半径 125 mm, 厚さ 2 mm, 比誘電率 $\epsilon_r=3.0$, $\tan\delta=0.006$ の誘電体上に図 3(b)の円平面型 CFDA-2 を構成し, 150 MHz 及び 2.4 GHz で動作するように各パラメータを調整した CFDA(誘電体上)を示す. なお, 各モデルのアンテナ素子幅とその間隔, 給電線幅とその間隔は円平面型 CFDA-2 と同様である.



4.2. VSWR 特性

図 6 に各アンテナモデルの VSWR 特性をそれぞれの周波数帯ごとに示す. 図 6 で示すように円平面型 CFDA-2 を防災用ヘルメットを模擬した半径 125 mm の自由空間の半球上に構成すると, 150 MHz 帯及び 2.4 GHz 帯で共振周波数が下がることが確認される. また, 防災用ヘルメットを模擬した誘電体上に円平面型 CFDA-2 を構成し, 各パラメータを調整すると, 150 MHz 及び 2.4 GHz で動作することが確認される.

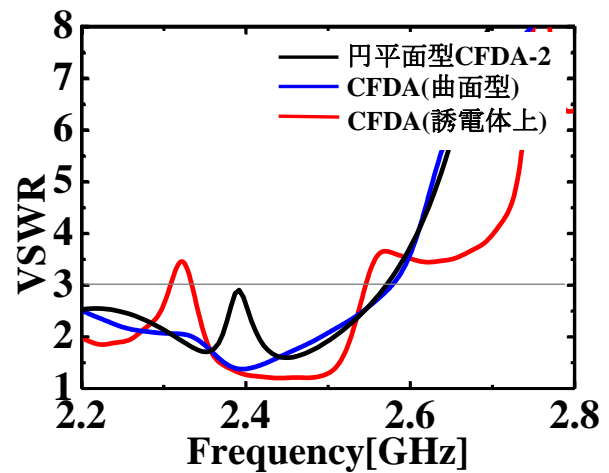
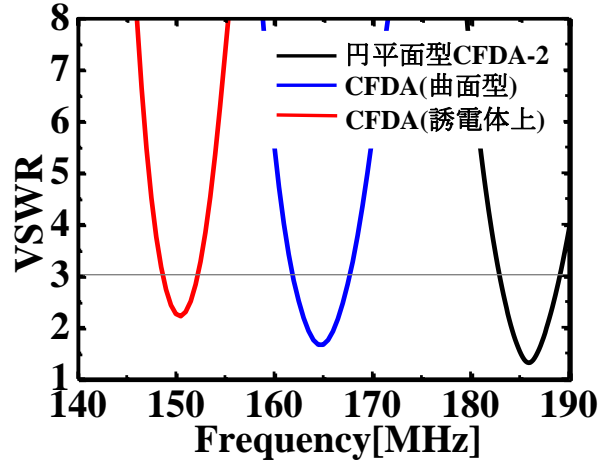


図 6 VSWR 特性

4.3. 放射特性

4.3.1 測定環境

試作アンテナの放射特性の測定には, 産業技術総合研究所の大型電波暗室を使用した. 図 7 に測定を行った際の大型電波暗室の風景を示す. 受信アンテナにはバイコナルアンテナを使用し, 試作アンテナとバイコナルアンテナ間の距離は 4.64 m, アンテナの高さは 1.53 m である. 床からの反射波の影響を小さくするために, 試作アンテナとバイコナルアンテナの中心付近の床面にはフェライトを設置している. また, 150 MHz 帯の測定については, 暗室内の複数個所で測定を行いその平均をとり, 反射波の低減に努めている. 測定周波数は 150 MHz 及び 2.4 GHz である.

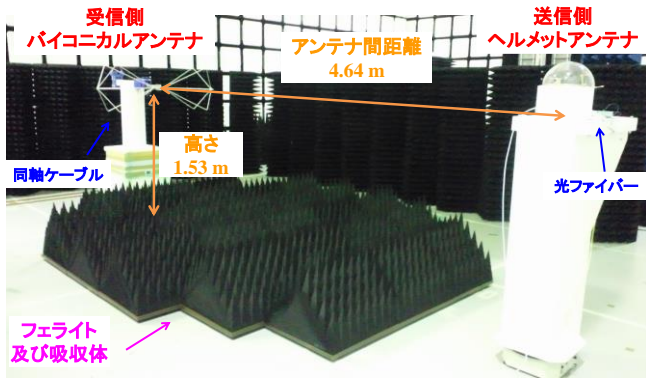
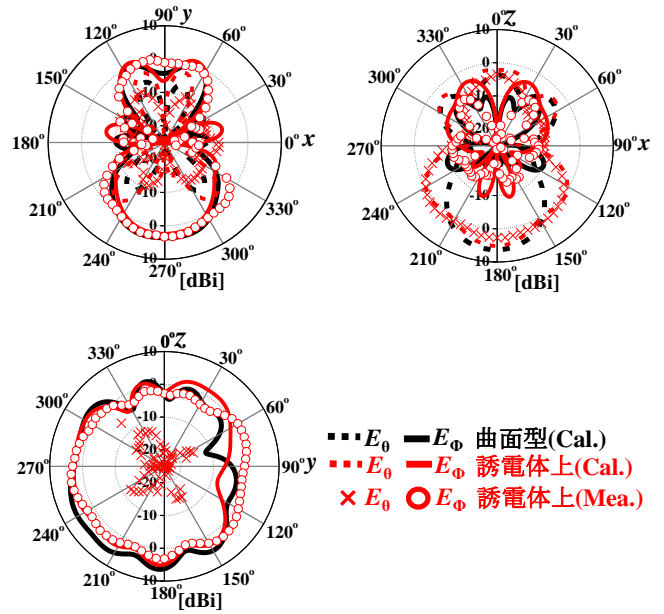


図 7 測定風景

4.3.2 計算及び測定結果

図 8 に各アンテナモデルの 150 MHz 及び 2.4 GHz における放射特性の計算及び測定結果をそれぞれの周波数帯ごとに示す。150 MHz 帯については、CFDA(曲面型)は 0.79 dBi, CFDA(誘電体上)は 0.4 dBi の利得が得られている。2.4 GHz 帯については、CFDA(曲面型)は 6.4 dBi, CFDA(誘電体上)は 5.1 dBi の利得が得られている。各周波数帯において利得の劣化が確認されるが、放射パターンの形状はほぼ一致しており、誘電体による放射特性の劣化等はほとんどないことが確認される。測定結果については、150 MHz 帯の測定は 1ヶ所だけで測定を行うよりも複数個所で測定を行いその平均をとることで、計算値に近い結果を得られることが確認される。



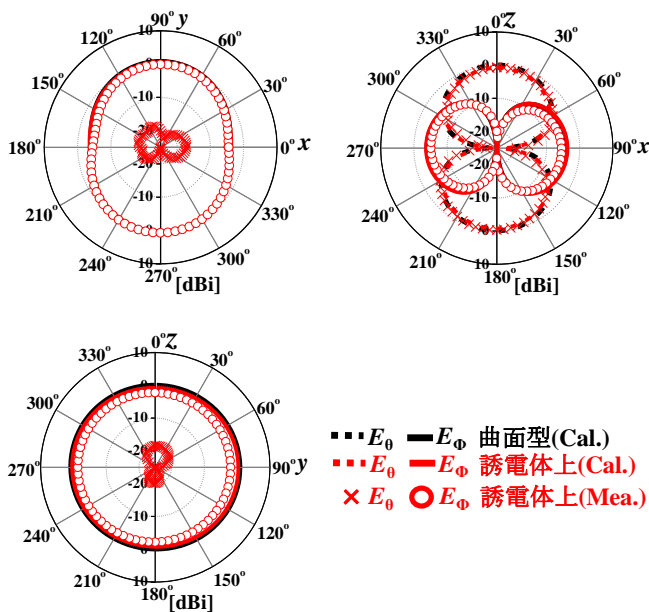
(b) 2.4 GHz

図 8 放射特性

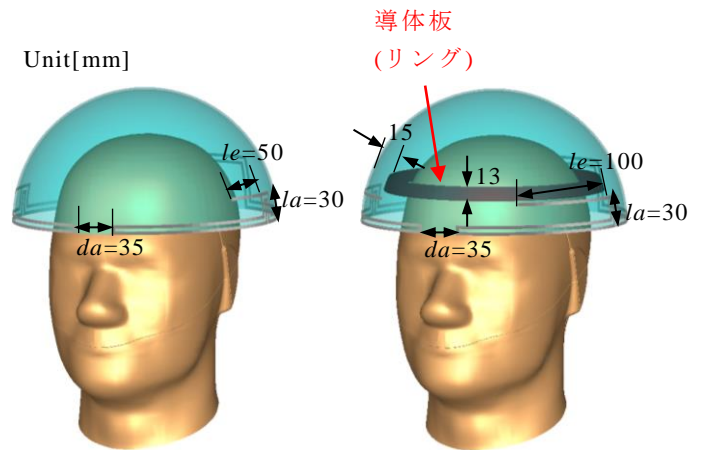
5. 頭部方向への放射抑制に関する検討

5.1. アンテナ構成

防災用ヘルメットアンテナから放射された電波が頭部へ与える影響について調べるために、図 5(b)の CFDA(誘電体上)に頭部モデルを加え、150 MHz 及び 2.4 GHz で動作するように各パラメータを調整した CFDA(リング無し)を図 9(a)に示す。また、図 9(b)に頭部方向への放射を抑制するために、ヘルメットと頭部の隙間に導体板を構成し、150 MHz 及び 2.4 GHz で動作するように各パラメータを調整した CFDA(リング装荷)を示す。なお、各モデルのアンテナ素子幅とその間隔、給電線幅とその間隔は CFDA(誘電体上)と同様である。



(a) 150 MHz



(a) CFDA(リング無し)

(b) CFDA(リング装荷)

図 9 アンテナ構成

5.2. VSWR 特性

図 10 に各アンテナモデルの VSWR 特性をそれぞれの周波数帯ごと示す. 図 10 で示すように頭部方向への放射を抑制するために導体リングを装荷すると, 150 MHz 帯においては VSWR が改善することが確認される. また, 2.4 GHz 帯においては VSWR が劣化しているが $VSWR \leq 3$ であることが確認される.

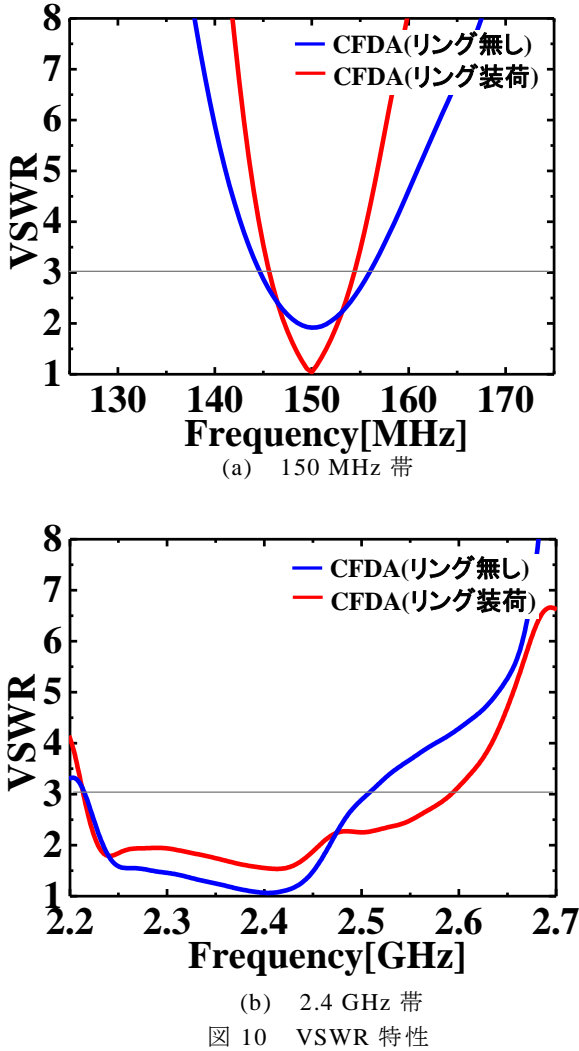


図 10 VSWR 特性

5.3. SAR 解析

図 11 及び図 12 に 150 MHz 及び 2.4 GHz における 10g 平均局所比吸収率(Specific Absorption Rate: SAR)分布を示す. 頭部方向への放射を抑制するために防災用ヘルメットと頭部の隙間に導体リングを装荷すると, 150 MHz 帯で最大 SAR 値が 0.137 W/kg, 2.4 GHz 帯で最大 SAR 値が 1.13 W/kg 減少することが確認される.

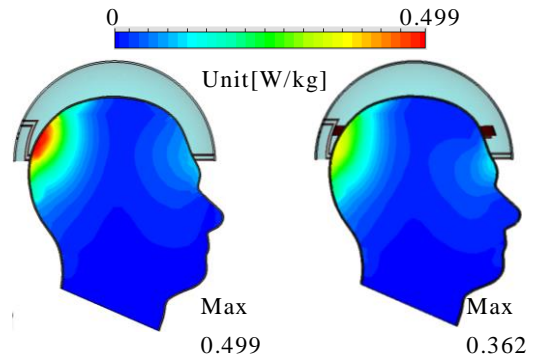


図 11 SAR 分布(150 MHz 帯)

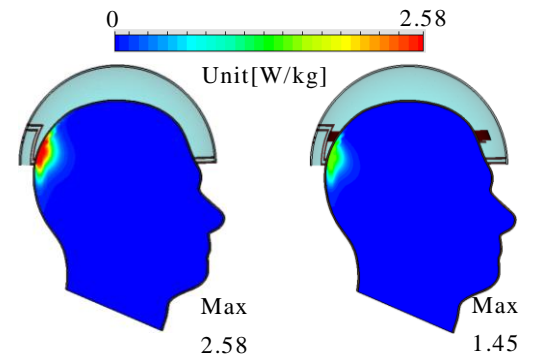


図 12 SAR 分布(2.4 GHz 帯)

6. まとめ

平面上に構成した CFDA は, それぞれの FDA with a feed line の動作周波数帯で動作することがわかった. また, 防災用ヘルメットを模擬した円平面上で CFDA のアンテナ素子を延長及び付加素子を装荷することで, アンテナ専有面積を増加させることなく低周波化できることがわかった. 次に円平面の CFDA を曲面構造に構成しそのアンテナを誘電体上に構成すると, 誘電体による放射特性の変化がほとんどないことがわかった. また 150 MHz 帯の放射特性の測定については, 暗室内の複数個所で測定を行い, その平均をとることが有効であることがわかった. 最後に, 頭部方向への放射を抑制するためにアンテナと頭部の隙間に簡易な構造の導体板を構成すると, 150 MHz 帯及び 2.4 GHz 帯において頭部方向へ放射される電波が抑制できることがわかった.

文 献

- [1] 中尾拓磨, 伊藤 敦, 鍵山憲幸, 森下 久, “防災用ヘルメットアンテナに関する基礎検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, A・P2012-134, pp.69-74, Jan. 2013.
- [2] M.Nagatoshi, S. Tanaka, S. Horiuchi, and H.Morishita, “Broadband characteristics of a planar folded dipole antenna with a feed line,” IEICE Trans. Commun., vol.E94-B, no.5, pp.1168-1173, May 2011.