

# 反射器搭載による 1.2GHz 帯ハンディトランシーバの局所 SAR 低減法

M2019SC004 汲田祐

指導教員：藤井勝之

## 1 はじめに

地震、火山活動、台風、洪水など災害多発国である日本は災害時通信インフラが途絶する機会が多い。こうした有事の際に、トランシーバは非常通信媒体としても使用されている [1]。また、アマチュア局のトランシーバは無線技術の訓練や技術的研究に使用されるだけでなく、小中学生などを対象としたワイヤレス IoT 人材の裾野を広げたいための体験に使用されることが想定される [2]。通信時、アマチュア局のハンディトランシーバの様な通信端末は人体頭部近傍で使用されるため、人体が電磁波にさらされることになる。特に、アマチュア局は一般的に流通されている通信端末 (スマートフォン) と比して許容されている空中線電力が大きい為、電磁波曝露量を把握する必要がある。式 (1) で定義される SAR (Specific Absorption Rate) は電磁波曝露量を評価する指針値である。

$$\text{SAR} = \frac{\sigma E^2}{\rho} [\text{W/kg}] \quad (1)$$

このとき、 $E$ ：電界の振幅 (実効値) [V/m]、 $\sigma$ ：生体組織の導電率 [S/m]、 $\rho$ ：生体組織の密度 [kg/m<sup>3</sup>] である。日本では、職業的曝露を受ける (管理環境下) 集団が無線端末を使用する場合、任意の生体組織 10 g の局所平均値 (SAR<sub>10g</sub>) が 10 W/kg 以下と規定される。それに対し、年齢や健康状態が異なる人が多く集まる場 (一般環境下) では、曝露を回避し最小とするための予防措置をとることは難しいため、5 倍の安全マージを設けた SAR<sub>10g</sub> ≤ 2W/kg が規定されている [3]。業務用無線の周波数帯で使用されるハンディトランシーバの研究例 [4] はあるが、SAR を低減させるための研究はされていない。アマチュア局用の市販 FM ハンディトランシーバには 144MHz、430MHz、1.2GHz と 3 つの周波数帯が使用されているが、どの周波数帯も研究例は少ない。また、被災地ではアマチュア局の免許を保持している人以外にも公衆が集まる場合があり、さらに、小中学校では学生が集まる場合があるので低 SAR 値のハンディトランシーバを使用することが望ましい。そこで、本研究では、144MHz 及び 430MHz 帯に比べ波長が短く、局所 SAR がより高くなると想定される 1.2GHz 帯に着目する。磁界の強度を減少させる効果がある反射器付きアンテナ素子 [5] を 1.2GHz 帯ハンディトランシーバに適用し、人体近接時にアンテナ諸特性を劣化させることなく SAR が低減可能であることを主張する。

## 2 シミュレーションモデルの構築

DJ-G7 (ALINCO) [6] を模擬したアンテナモデルを図 1 に示す。金属製筐体にモノポールアンテナを搭載したものを ANT1、金属製筐体にモノポールアンテナと反射器を搭載したものを ANT2 とする。なお、モノポールアンテナ、反射器は細線近似でモデリングを行う。

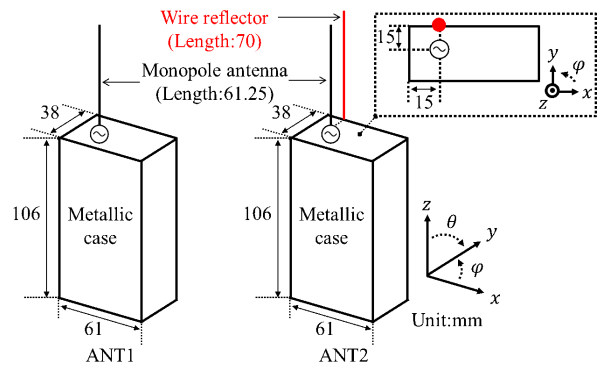


図 1 アンテナモデル

人体が一つある場合のシミュレーションモデルを図 2 に示す。ここでは、SAR の最悪値評価を行うため、1 辺 200 mm の脳等価簡素モデルを使用する。電気定数を比誘電率  $\epsilon_r = 51.56$ 、導電率  $\sigma = 1.076 \text{ S/m}$ 、密度  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$  と 1.2 GHz 用に設定する [7]。また、簡素モデルよりも高精細なモデルとして、リアル数値人体モデル [8] を使用し、現実の条件により近い解析を行う。アンテナの給電点から簡素モデル中央部の表面、リアルモデルの鼻の先端までの直線距離を  $d$  [mm] とする。

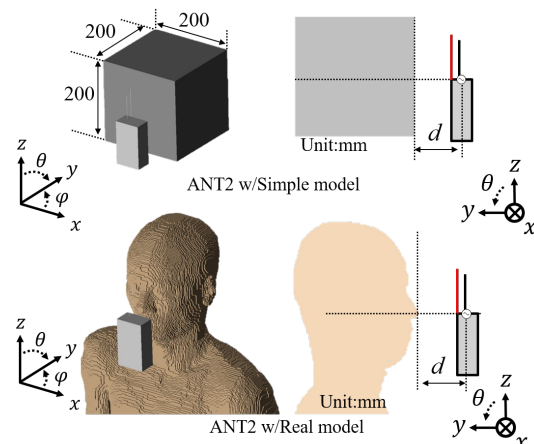


図 2 人体が一つの場合のシミュレーションモデル

人体が二つある場合のシミュレーションモデルを図3に示す．反射器側にある脳等価簡素モデルを User とし，もう一方の脳等価簡素モデルを Another とする．アンテナの給電点からモデル User 中央部の表面までの直線距離を  $d_1$  [mm]，アンテナの給電点からモデル Another 中央部の表面までの直線距離を  $d_2$  [mm] とする．これらのモデルは，市販の FDTD(Finite Difference Time-Domain) 法シミュレータ XFDTD(ver.7.8.0) で解析を行う．自由空間上を想定し，吸収境界を PML(Perfectly Matched Layer) 7 層，解析領域を頭部だけに限定した．

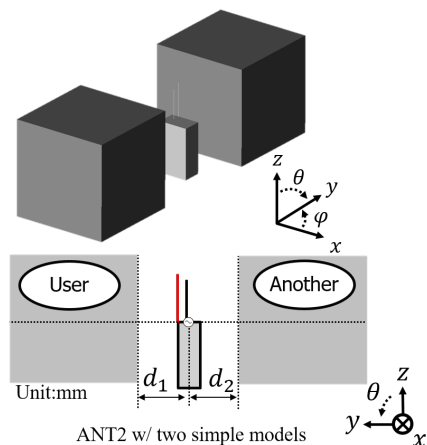


図3 人体が二つの場合のシミュレーションモデル

### 3 人体が一つの場合における数値解析結果

距離  $d$  による  $SAR_{10g}$  のピーク値の変化を図4に示す．人体と端末間の最小距離を 25mm とし，1.2GHz 帯での DJ-G7 の送信電力の許容値 1W で規格化した．簡素モデルと ANT1 を使用した結果， $d = 25 - 30$ mm で  $SAR_{10g} \leq 2W/kg$  を満たさないことがわかる．また， $SAR_{10g}$  の最悪値が約 2.5 W/kg( $d = 25$  mm) であることが確認できた．ANT2 はどの距離においても ANT1 よりピーク値が減少し，また，シンプルモデルとリアルモデルともに  $SAR_{10g} \leq 2W/kg$  を下回ることがわかった．つまり，ANT2 は一般環境下で使用できる程度の  $SAR_{10g}$  値であり，被災地の様な一般環境下に属する人々が密集している所でも規制値を満たしうることが確認できた．

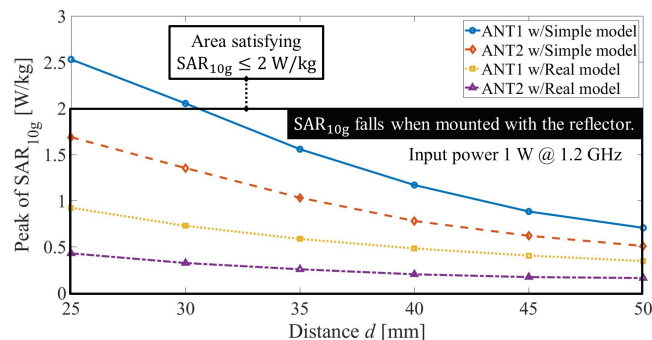


図4 人体が一つの場合の距離  $d$  による SAR ピーク値

距離  $d$  による  $S_{11}$  の変化を図5に示す． $d = 30$  mm 以降で，簡素モデルとリアルモデルともに反射器を搭載することで，給電線との良好なインピーダンス整合が取れ，反射係数が減少したと考えられる．また，どの距離においても ANT1, ANT2 は  $S_{11} \leq -10$ dB を満たしており，反射電力-10% 以下で動作することが確認できた．

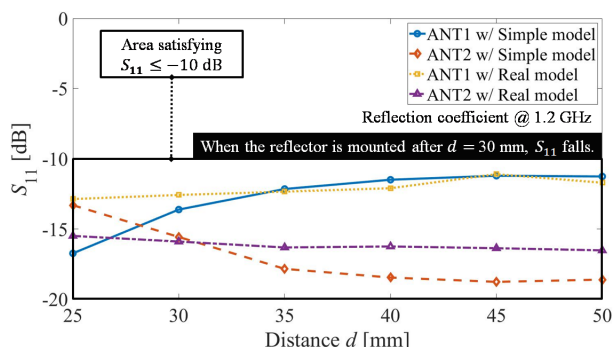


図5 人体が一つの場合の距離  $d$  による反射係数

図6に ANT1, ANT2 単体の放射パターン，人体とアンテナを用いた ( $d = 25$ mm) の放射パターンを示す．ANT1, ANT2 単体の  $z$ - $y$  平面では，アンテナの形状によらず， $0^\circ$  と  $180^\circ$  で利得が減少傾向にあることがわかる． $0^\circ - 180^\circ$  間で ANT1 よりも ANT2 は利得が減少していることがわかり， $180^\circ - 360^\circ$  間で利得が増加していることがわかる． $0^\circ - 180^\circ$  間では放射方向にある反射器により電磁波が反射され，それらの反射された電磁波が  $180^\circ - 360^\circ$  方向に放射していると考えられる．同様に， $x$ - $y$  平面でも反射器の搭載による放射パターンの変化が確認できる．ANT1 と ANT2 は  $z$ - $y$  面， $x$ - $y$  面双方で放射パターンの傾向が一致することを確認できる．ANT1 と ANT2 の最大の利得差は 4.5dBi 以下であり，これらの結果から反射器付きハンディトランシーバと既存のハンディトランシーバの放射指向性はほぼ等しいことが分かった．

簡素モデルの場合，双方ともに ANT1 から ANT2 に変更すると，利得が増加する傾向にあり，最大約 5dBi 変化する．リアルモデルの場合，双方ともに反射器の有無による放射パターンの変化は微量であり，最大約 1.5dBi の変化を確認できる．以上より，反射器を搭載することにより，アンテナ特性を劣化させることなく，SAR の低減が可能であることを明らかにした．

### 4 人体が二つの場合における数値解析結果

人体と端末間の最小距離を 25mm とし，入力電力 1W で規格化した．図7, 8, 9, 10 それぞれに距離  $d_1$  による SAR のピーク値 (ANT1)，距離  $d_1$  による SAR のピーク値 (ANT2)，距離  $d_2$  による SAR のピーク値 (ANT1)，距離  $d_2$  による SAR のピーク値 (ANT2) を示す．なお，局所 SAR のピーク値はモデル User, Another 双方の中での最大値をプロットした．図7, 8 で  $d_1 = 25$ mm のとき，ANT2 で  $d_1 = 40$ mm のみ  $SAR_{10g} = 1.9W/kg$  であり，2

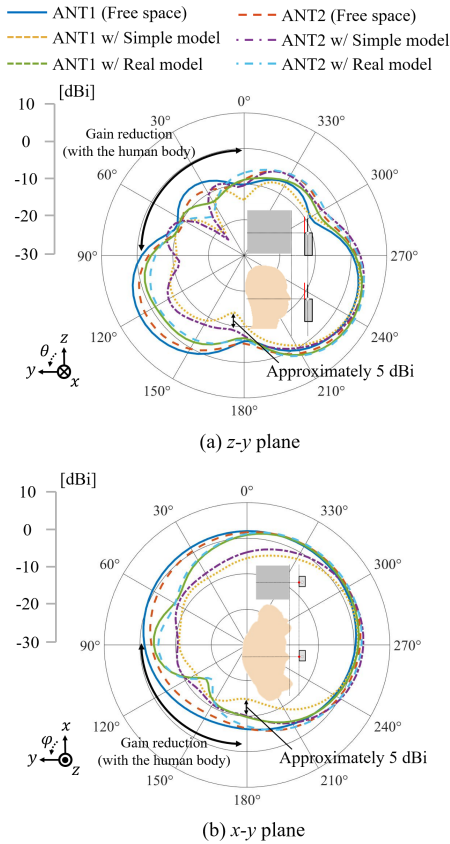


図6 アンテナ単体，人体あり ( $d = 25$  mm) の放射指向性

W/kg を下回ることがわかる．図9, 10 で  $d = 25 - 30$  mm のとき，全ての  $d_1$  で  $SAR_{10g}$  が  $2$  W/kg を上回ることがわかる．これらの結果から，ANT1, ANT2 は管理環境下で使用できることがわかった．また，反射器付きトランシーバの方が従来のトランシーバよりも SAR が増加する傾向にあり，一般環境下で使用するにはアンテナを再設計する必要がある．

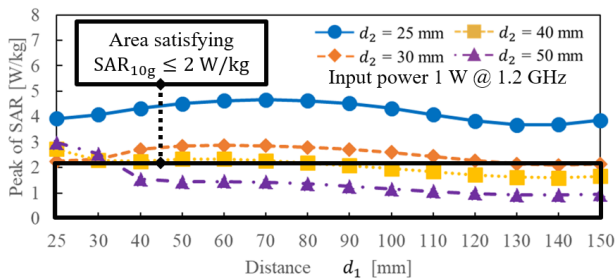


図7  $d_1$  を変化させたときの SAR のピーク値 (ANT1)

図11, 12, 13, 14 にそれぞれに距離  $d_1$  による  $S_{11}$ (ANT1), 距離  $d_1$  による  $S_{11}$ (ANT2), 距離  $d_2$  による  $S_{11}$ (ANT1), 距離  $d_2$  による  $S_{11}$ (ANT2) を示す．図11で，全ての距離で  $S_{11} \leq -10$  dB を満たしていることがわかる．また，図13で，反射係数の最大値は  $-9.5$  dB ( $d_1 = 50$  mm, かつ  $d_2 = 90$  mm) であり， $d_1 = 50$  mm,  $d_2 = 90 - 120$  mm

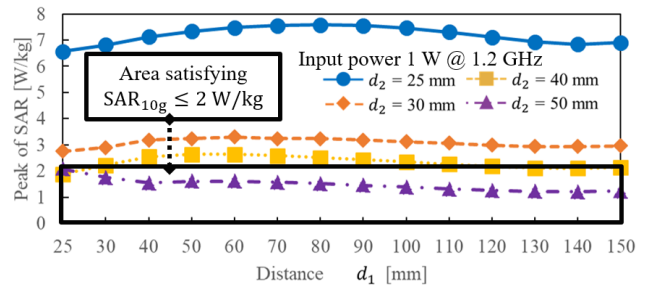


図8  $d_1$  を変化させたときの SAR のピーク値 (ANT2)

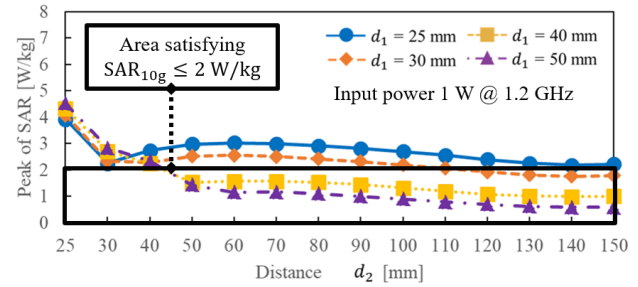


図9  $d_2$  を変化させたときの SAR のピーク値 (ANT1)

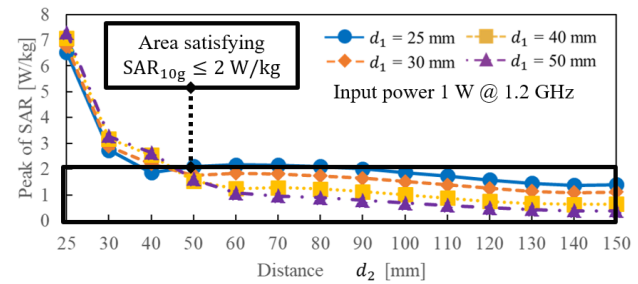


図10  $d_2$  を変化させたときの SAR のピーク値 (ANT2)

間以外は  $S_{11} \leq -10$  dB を満たすことがわかる．従来のトランシーバは人体が二つ隣接してもほぼアンテナとして動作していることがわかる．しかし，図12で  $d_2 = 25, 30$  mm は  $S_{11}$  が  $-10$  dB を上回ることがわかり，図14で  $d_2 = 25 - 30$  mm 間で  $S_{11} \leq -10$  dB を満たさないことがわかる．人体が二つ隣接した場合，ハンディトランシーバに反射器を搭載すると反射係数が悪化することを明らかにした．

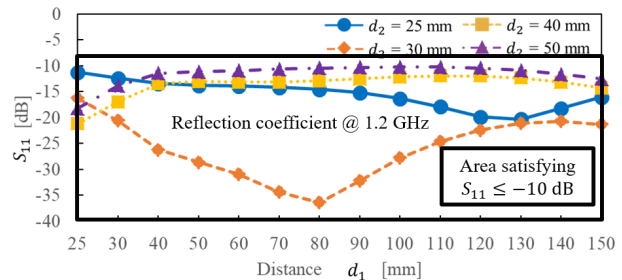


図11  $d_1$  を変化させたときの反射係数 (ANT1)



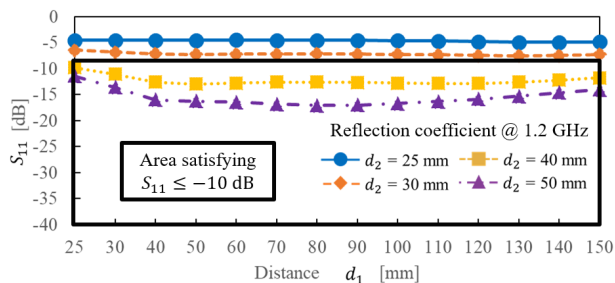


図 12  $d_1$  を変化させたときの反射係数 (ANT2)

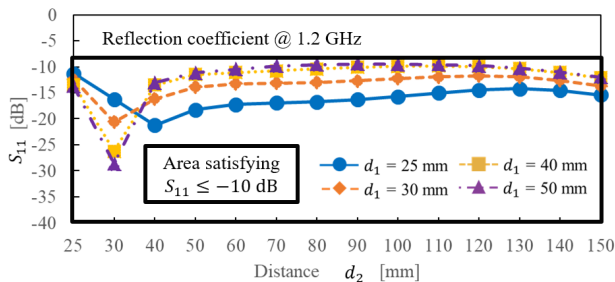


図 13  $d_2$  を変化させたときの反射係数 (ANT1)

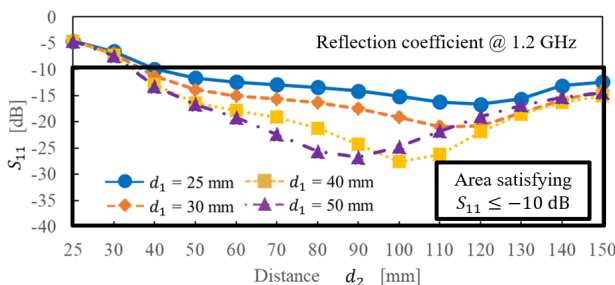


図 14  $d_2$  を変化させたときの反射係数 (ANT2)

## 5 おわりに

本稿では、人体モデル近傍に反射器を搭載した筐体付きモノポールアンテナを配置した場合の SAR，アンテナ諸特性の評価を行った．反射器付きハンディトランシーバを一人で使用した場合，従来のハンディトランシーバよりも低 SAR 化を実現できることを明らかにした．反射器を搭載することで SAR が最大 54% 減少し，また，反射係数は -10dB 以下であり，放射指向性の変化がほとんどないことから，本提案手法は SAR の低減に有効と考えられる．しかし，反射器付きトランシーバを二人で使用した場合，SAR の増加，反射係数の悪化がみられ従来のトランシーバを使用した方が良かった．人体のモデルが二つあるのに対し反射器が一つしか搭載されていないため，反射器が搭載されていない筐体部方向では人体モデルに対して電力の分散が起こらないためだと考えられる．

今後の課題として，144MHz，430MHz での解析があげられる．1.2GHz 帯以外の 144MHz，430MHz 帯のハンディトランシーバはアンテナの素子長が長くなるため，反射器を搭載する場合は反射器の素子長も長くなると考えら

れ，従来のトランシーバ同様に反射器をヘリカル状にしても SAR 低減の効果が得られるか検証したい．また，人体モデルやアンテナ作製を行い，シミュレーション結果と照らし合わせて実測を行いたい．

## 謝辞

本研究は 2020 年度南山大学パツへ研究奨励金 I-A-2 による助成を受けました．

## 参考文献

- [1] Disaster Management Cabinet Office, “emergency communication manual.pdf,” Government of Japan, [http://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hukkousesaku/saigaitaiou/outputhtml\\_1/pdf/emergency-communication-manual.pdf](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hukkousesaku/saigaitaiou/outputhtml_1/pdf/emergency-communication-manual.pdf), accessed Jun. 11, 2020.
- [2] 一般社団法人 日本アマチュア無線連盟, “アマチュア無線による社会貢献活動への取り組み等に関する要望書を提出,” [https://www.jarl.org/Japanese/2\\_Joho/News2020/2020\\_news-10.htm](https://www.jarl.org/Japanese/2_Joho/News2020/2020_news-10.htm), accessed Jan. 15, 2021.
- [3] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz),” *Health Phys.*, vol. 74, no. 4, pp.494-522, Apr. 1988.
- [4] S. Akimoto, S. Kikuchi, K. Saito, M. Takahashi and K. Ito, “SAR evaluation in human body exposed to EM wave from NHA with metallic case”, *IEICE Electron. Exp.*, vol. 6, no. 8, pp. 477-482, Feb. 2009.
- [5] R. Y. -S. Tay, et al., “Dipole configurations with strongly improved radiation efficiency for hand-held transceivers,” in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 6, pp. 798-806, Jun. 1998.
- [6] ALINCO INCORPORATED, *DJG7 User Manual*, ALINCO Inc., 2018. (in Japanese).
- [7] IFAC, “Calculation of the Dielectric Properties of Body Tissues in the frequency range 10 Hz - 100 GHz,” IFAC-CNR, Florence(Italy), 1997-2018, <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop>, accessed Jun. 11, 2020.
- [8] T. Nagaoka, et al., “Development of Realistic High-Resolution Whole-Body Voxel Models of Japanese Adult Male and Female of Average Height and Weight, and Application of Models to Radio-Frequency Electromagnetic-Field Dosimetry,” *Physics in Medicine and Biology*, vol. 49, pp.1-15, 2004.