

人体によるラジオマイクの放射特性への影響の検討

小郷 直人 濱住 啓之

NHK 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

E-mail: kogou.n-gg@nhk.or.jp

あらまし ラジオマイクは放送事業では主に 700MHz 帯を用いており、番組の収録、コンサート、舞台などで使用されている。本稿では、ハンド型、2 ピース型のそれぞれについてラジオマイクのアンテナをモデル化し、人体胸部近傍、または人体腰部近傍にラジオマイクを設置したときのアンテナ利得、放射パターンへの人体による影響について数値人体モデルを用いて検討した。その結果、ハンド型と 2 ピース型では人体の影響により放射特性が大きく異なり、また、設置位置によっても大きく放射特性が異なることがわかった。

キーワード 700MHz 帯、ラジオマイク、ヘリカルアンテナ、モノポールアンテナ、数値人体モデル、放射パターン

Effect of Human body on Radiation Pattern of Wireless Microphone

Naoto KOGO and Hiroyuki HAMAZUMI

Science & Technology Research Laboratories, NHK 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

E-mail: kogou.n-gg@nhk.or.jp

Abstract The wireless microphone is used in the 700MHz band and used for program productions, concerts, stage dramas, and so on. We designed a helical antenna and a 1/4 wavelength monopole antenna with a metallic case as a handheld type and body-pack type of wireless microphones and calculated the characteristics of the antenna with a numerical model of the human body. To investigate the effect of the human body on the performance of the antennas, we calculated the antenna gain and radiation patterns when the antenna is in close proximity to the breast or the waist. From these results, we found that the distance between the antenna and human-body and the height of the antenna are significant parameters for the radiation patterns of antennas.

Keyword 700MHz Band, Wireless Microphone, Helical Antenna, Monopole Antenna, Numerical Human-Body Model, Radiation Pattern

1. はじめに

音声、楽器音等の音響を無線伝送するラジオマイクは、番組の収録、コンサート、舞台などにおいて使用されており、音響システムにおいて欠かせないものになっている。ラジオマイクは表 1 のように空中線電力、使用周波数などから A 型[1]、B 型、C 型、D 型[2]の 4 種類で呼ばれることが一般的であり、特に A 型ラジオマイクについては移動中継用 FPU(Field Pick-up Unit)[3]と周波数を共用している。

ラジオマイクの形状は 2 種類あり、マイクと送信機が一体になったハンド型とマイクと送信機が分離した 2 ピース型がある。ハンド型は歌手が手で持って歌ったりする用途に使用され、2 ピース型はアナウンサーや俳優などの衣服に装着して使用されている[4]。そのため、ラジオマイクは人体近傍で使用される無線機器であり、その使用にあたっては人体による電波の遮蔽、吸収によって、ラジオマイクのアンテナの放射特性に影響することが経験的に知られている。

ラジオマイクのアンテナの放射特性に対する人体の影響についての具体的な数値については、ラジオマイクのデジタル化に関する情報通信審議会の諮問第 2009 号[5]、EVDO マルチキャリアに関する情報通信審議会諮問第 81 号[6]、安全運転支援通信システムに関する情報通信審議会諮問第 2029 号[7]などがある。これらにおいては、ハンド型ラジオマイクのアンテナ利得を人体の影響を考慮して-10dBi とし、2 ピース型ラ

表 1 ラジオマイクの種類

	使用周波数	空中線電力	用途*
A 型	797.125 - 805.875 MHz	10 mW 以下	業務用
B 型	806.125 - 809.750 MHz	10 mW 以下	業務用
C 型	322.025 - 322.150 MHz 322.250 - 322.400 MHz	1 mW 以下	民生用
D 型	74.580 - 74.760 MHz	10 mW 以下	民生用

*用途は代表例

ジオマイクのアンテナ利得を -20dBi として回線設計を行った例が示されている。しかし、これらの数値の根拠については具体的に示されておらず、解析等で求められたものではない。また、放射パターンについて人体によってどのように影響があるのかについても述べられていない。

また、ラジオマイクと近い周波数を用いている携帯電話用アンテナに対する人体の影響の検討例としては文献[8-11]などがある。これらの検討では、携帯電話の持ち方によって放射パターンがどのように影響を受けるかについては検討されているが、人体に対するアンテナの設置位置と人体の影響の関係について詳細に検討された例はない。

本稿では、放送でよく用いられる A 型のラジオマイクを対象とし、人体がラジオマイクの放射特性に与える影響について計算機シミュレーションで検討した。ハンド型、2 ピース型のそれぞれについて、日本人平均体型を有する成人男性の数値人体モデルを用いて、人体胸部近傍、または人体腰部近傍にラジオマイクを配置した場合についてアンテナ利得、放射パターンを評価する。アンテナの設置位置を変えた場合についても検討し、位置によって放射特性がどのように異なるのかについても評価したので報告する。

2. 計算モデル

2.1 アンテナモデル

図 1 に本稿において検討に用いるハンド型、2 ピース型のラジオマイクのアンテナの構造を示す。また、表 2 にこれらのアンテナの形状パラメータを示す。ハンド型は最近では一般的に用いられているヘリカルアンテナとし、2 ピース型は $1/4$ 波長モノポールアンテナとし、それぞれ筐体の一部をモデル化した。動作周波数は A 型の周波数帯域を考慮して 800MHz とした。

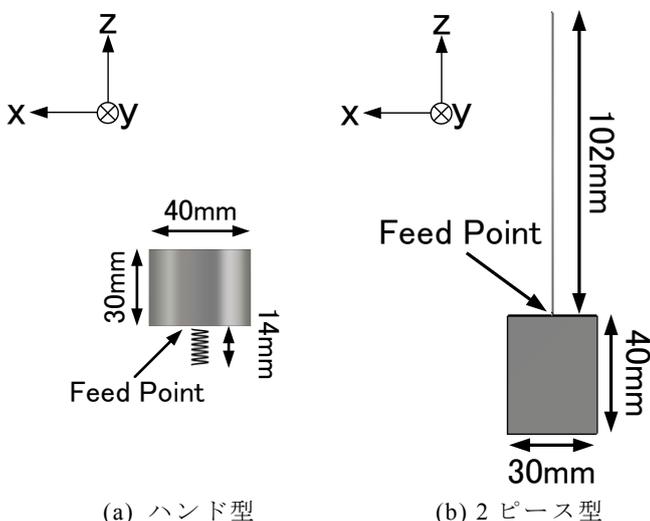


図 1 アンテナ構造

表 2 アンテナ諸元

周波数帯	ハンド型	2 ピース型
アンテナ形状	ヘリカル	$1/4$ モノポール
アンテナ長	14 mm	102 mm
線径	0.5 mm	
らせん半径	3.2 mm	-
巻き数	7	-
筐体のサイズ	40 mm ϕ \times 30 mm	30 \times 15 \times 40 mm
材質	完全導体	

図 1(a), (b)に示したアンテナの自由空間における放射パターンを 800MHz で計算した結果を図 2, 図 3 に示す。図 2, 3 において、振幅値はそれぞれの最大値で規格化した。

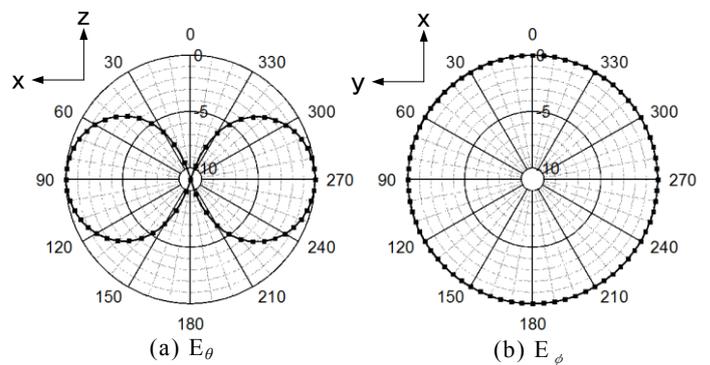


図 2 放射パターン (ハンド型)

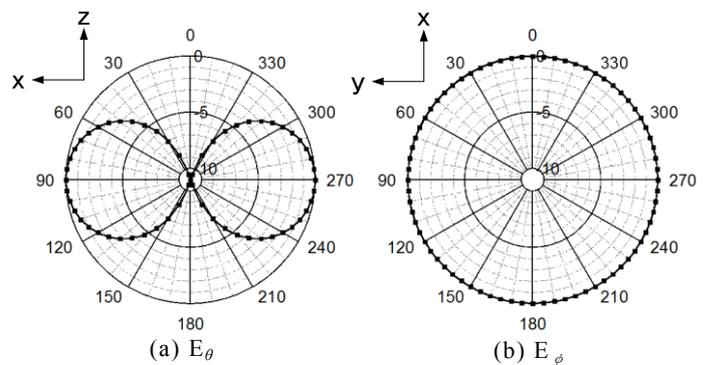


図 3 放射パターン (2 ピース型)

図 2 から、図 1(a)のハンド型のラジオマイクのアンテナがノーマルモードで動作し、水平面内で無指向性の特性をもっていることが確認できる。同様に、図 3 から図 2(a)の 2 ピース型のラジオマイクのアンテナも無指向性の特性をもっていることが確認できる。

2.2 解析モデル

2.1 で示したハンド型のラジオマイクを人体胸部近傍に設置したとき、また、2 ピース型のラジオマイクを人体腰部近傍に設置したときのアンテナ利得、放射パターンを計算するにあたり、人体モデルとして数値人体モデルを用いて解析する。

本稿で用いる数値人体モデルとそれぞれのアンテ

ナについて図4に示す. 数値人体モデルとしては文献[12]の日本人の成人男性モデルを用いた. 本モデルは51種類の生体組織で構成され, 2mmの空間分解能を有するモデルである.

本稿における検討では, 生体組織それぞれに800MHzにおける電気定数を個別に設定して解析を行う. 数値人体モデルの800MHzにおける各組織の電気定数については文献[13]から設定した.

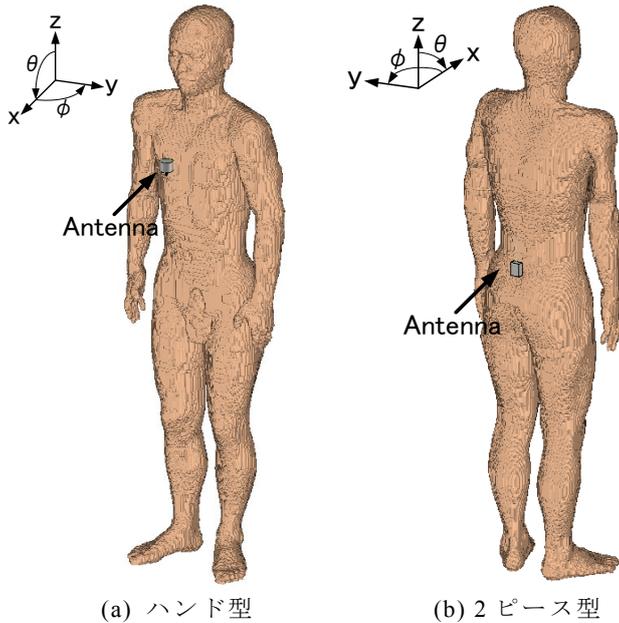


図4 計算に用いた数値人体モデルとアンテナ

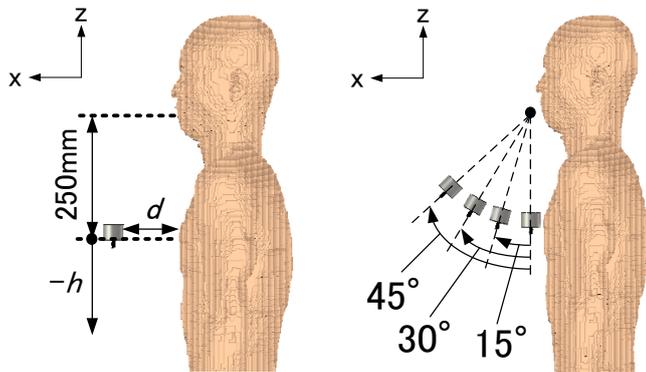


図5 アンテナの設置位置とパラメータ

アンテナの設置位置, および評価を行うにあたってハンド型の解析で使用するパラメータを図5に示す. ハンド型のマイクの長さを250mmと想定し, 図5(a)のように口から250mm低い位置をアンテナの給電部の基準として高さを h [mm]とする. また, 人体胸部からマイク筐体までの距離を d [mm]とする. 角度の違いによる評価については, 図5(b)のように, $d=20\text{mm}, h=0\text{mm}$ の位置を基準として, マイク先端を中

心に15度ずつ変えた場合について検討する.

一方, 2ピース型については, ベルトなどに装着することを考慮し, 人体腰部からの距離を40mmに固定する. その際に, 人体を中心として45度ずつ回転した位置を①~⑤とする.

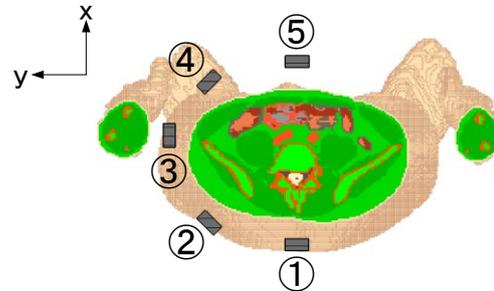


図6 2ピース型の設置位置

ハンド型については, 高さ h , および距離 d の値, 角度ごとにアンテナ利得, 放射パターンを計算し, 比較, 評価を行う. 2ピース型については, 5カ所についてアンテナ利得, 放射パターンを計算し, 比較, 評価を行う.

なお, 放射パターンの計算においてアンテナのインピーダンス整合については考慮しないこととし, 指向性利得による比較を行う.

3. ハンド型の放射パターンの解析

3.1 距離と高さによる解析

図2に示したアンテナ単体のアンテナ利得, 放射パターンを基準とし, 人体胸部近傍にアンテナを設置したときのアンテナ利得, および放射パターンへの人体の影響を検討する. まず, 高さ h の違いによるアンテナ利得, 放射パターンについて検討する. ハンド型において, 高さ h を0, -50, -100mmとした場合の放射パターンの計算結果について図7, 8に示す. 振幅値はアンテナ単体のアンテナ利得の最大値ですべて規格化した. なお, 距離 d は60mmとした.

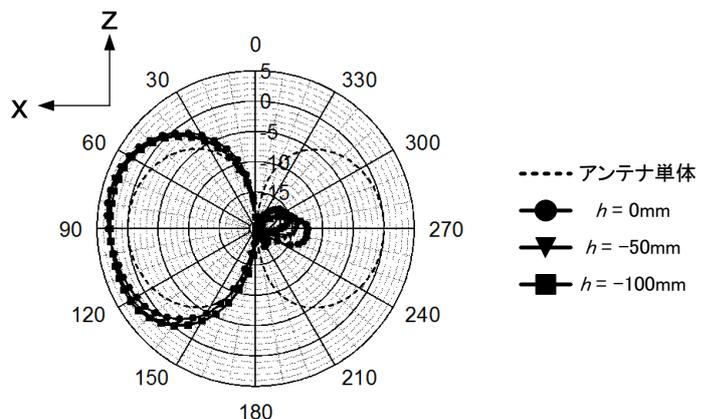


図7 放射パターン : E_θ

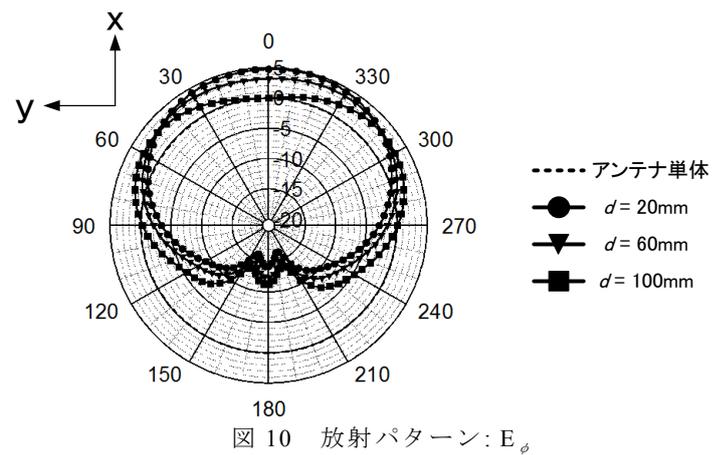
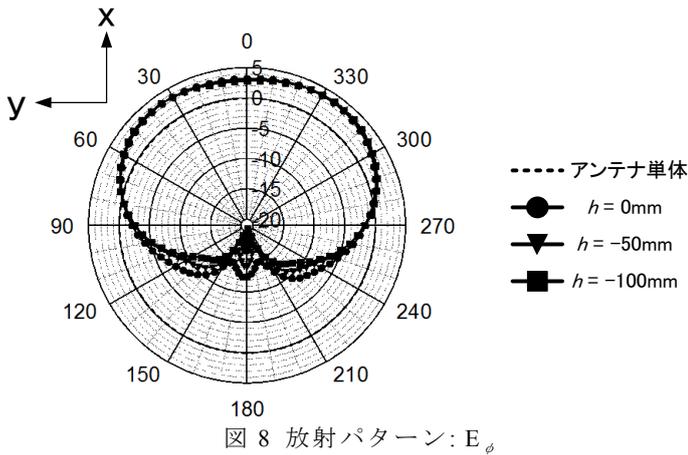


図 7, 8 から, 800MHz では人体後方(図 7 において 270 度方向, 図 8 において 180 度方向)に大きなアンテナ利得の低下があることがよくわかる. また, 前方については, 人体の反射により約 3dB ほどアンテナ利得が上昇していることがわかる.

図 6 において, 270 度方向における人体によるアンテナ利得の低下量は h が 0mm のとき 12.5dB, -50mm のとき 14.5dB, -100mm のとき 17dB であり, 高さが低くなるほど人体による遮蔽が大きくなりアンテナ利得の損失が大きくなることがわかった. アンテナ位置が高い場合は, 肩の上の遮蔽が小さく, 人体後方へのアンテナ利得の低下量が小さいと考えられる.

一般的には高さ h が 0mm の位置で使用されるため, 文献[5]で示されている人体によるアンテナ利得の低下量の値と近いことを確認した.

次に, 距離 d を 20mm, 60mm, 100mm とした場合の放射パターンの計算結果について図 9, 10 に示す. 振幅値はアンテナ単体のアンテナ利得の最大値ですべて規格化した. なお, 高さ h は 0mm とした.

図 9, 10 から, 距離 d が小さい場合は人体前方へのアンテナ利得が人体の反射によって高くなるが, 人体後方へのアンテナ利得の低下量が大きいことがわかる. 一方, 距離 d が大きい場合は人体の影響が小さくなり, 人体前方のアンテナ利得はアンテナ単体とほぼ同じになり, 人体後方への遮蔽の影響も小さくなる.

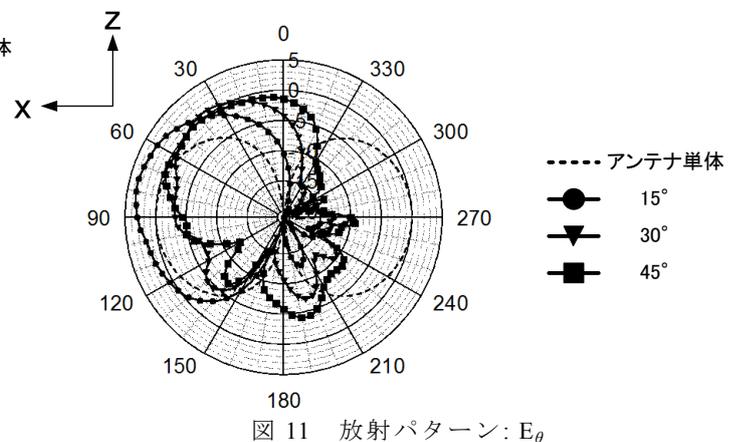
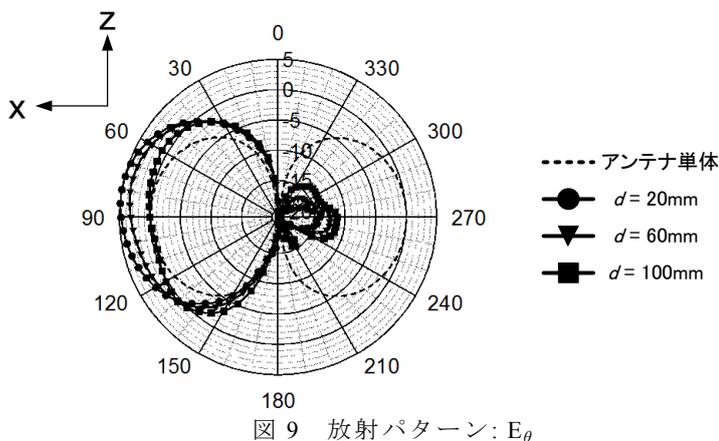
図 9 において 270 度方向のアンテナ利得の低下量は d が 20mm のとき 14.2dB, 60mm のとき 12.5dB, 100mm のとき 11.4dB であり, 波長に比べて距離 d の違いは小さいもののアンテナ利得の差が大きいことがわかる.

また, 図 7, 8 と図 9, 10 を比較すると, 距離 d による放射パターンの違いが高さ h と比べて大きく, 高さ h と比べてその影響の度合いが大きいことがわかった.

3.2 角度による解析

図 5(b)のように, 角度を 15 度ずつ変えた場合について, アンテナ利得, および放射パターンへの人体の影響を検討する.

それぞれの角度にハンド型のラジオマイクを設置した場合について, アンテナ利得, 放射パターンの計算結果を図 11, 12 に示す. 振幅値はアンテナ単体のアンテナ利得の最大値ですべて規格化した.



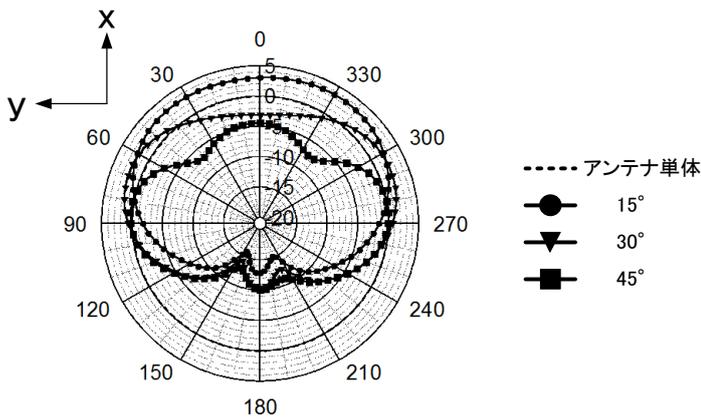


図 12 放射パターン: E_{ϕ}

図 11, 12 より, 高さ, 距離を変えた場合よりも人体の影響は大きいことがわかる. z - x 面についてみると, 角度が大きくなるほど, θ が $30 \sim 60$ 度の方向にアンテナ利得のピーク値が変わることがわかる. また, 角度が大きくなるほど人体から離れる傾向になるため, 3.1 で検討したのと同様に, 人体後方にアンテナ利得が上昇していることが確認できる.

ラジオマイクの角度が 45 度の場合についてみると, 図 12 から ϕ が 180 度において人体によるアンテナ利得の低下量が 10dB であり, これについても, 文献[5]で示されている人体によるアンテナ利得の低下量の値と近いことを確認した.

4.2 ピース型の放射パターンの解析

ハンド型と同様に, 図 3 に示したアンテナ単体のアンテナ利得, 放射パターンを基準とし, 人体腰部近傍にアンテナを設置したときのアンテナ利得, および放射パターンへの人体の影響を検討する.

図 6 に示した①~⑤の位置にそれぞれ設置したときの放射パターンの計算結果を図 13~17 に示す. 振幅値はアンテナ単体のアンテナ利得の最大値ですべて規格化した.

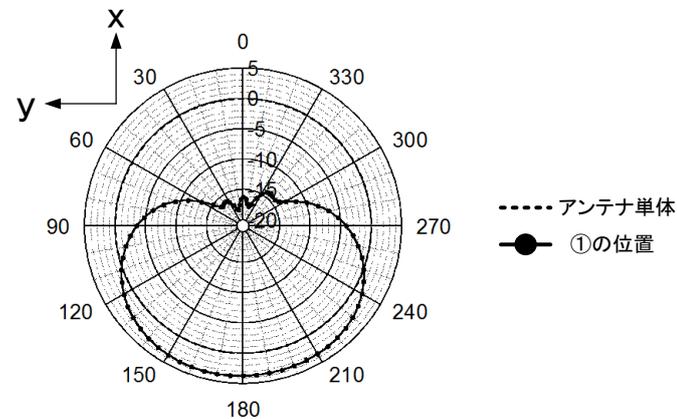


図 13 放射パターン: E_{ϕ} (①)

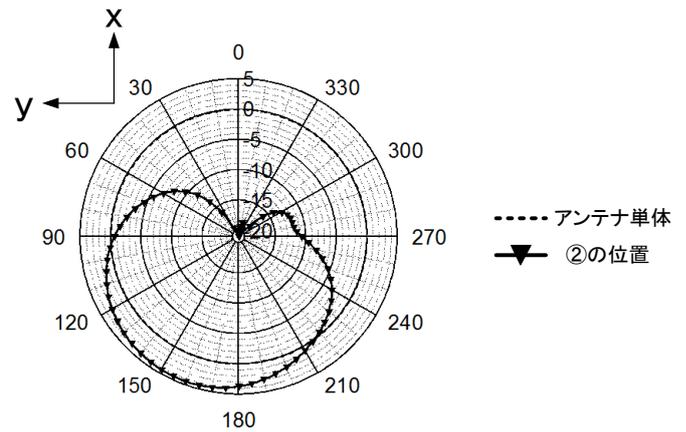


図 14 放射パターン: E_{ϕ} (②)

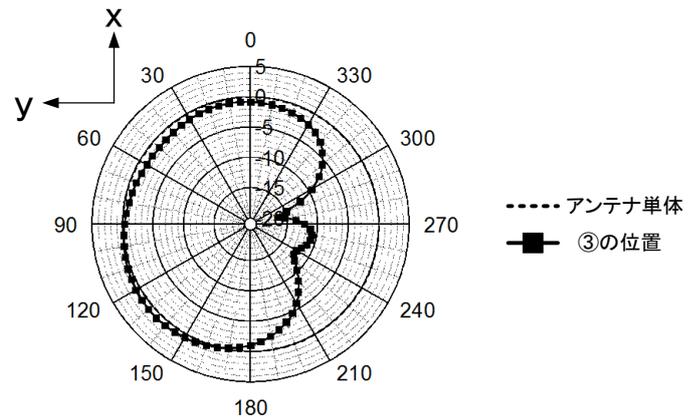


図 15 放射パターン: E_{ϕ} (③)

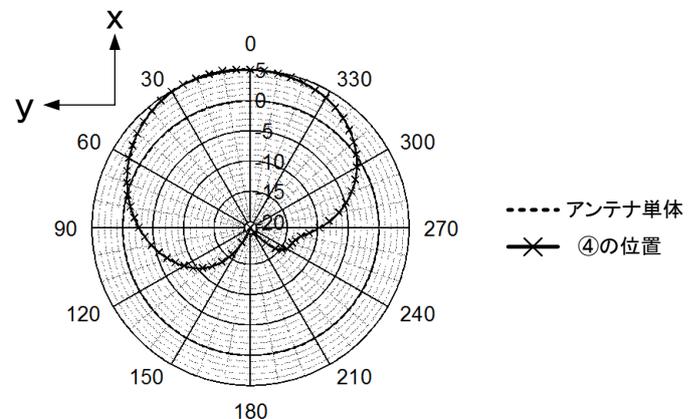


図 16 放射パターン: E_{ϕ} (④)

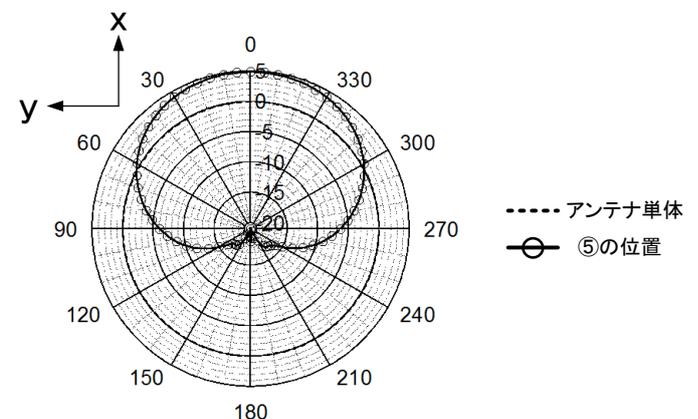


図 17 放射パターン: E_{ϕ} (⑤)

図 13 から、2 ピース型の一般的な設置位置においては、人体前方(x-y 面において ϕ が 0 度)のアンテナ利得の低下量は 16.3dB であった。ハンド型同様、文献[5] で示されている人体によるアンテナ利得の低下量の値と近いことを確認した。

②～⑤については、人体に対する設置位置によって反射する角度が変わり、アンテナ利得のピークの角度が変わるものの、人体の遮蔽によるアンテナ利得の低下量が 20dB 程度となっており、これについても文献[5]とほぼ近い値であることを確認した。

図 15 に示した③の位置については、胴体と腕にラジオマイクが挟まれた位置であり、人体による反射によってアンテナ利得が上昇する分が腕の遮蔽により小さくなっており、胴体に比べて細い腕による遮蔽の影響もある程度大きいことがわかる。

5. むすび

本稿では、人体がラジオマイクの放射特性に与える影響の検討として、ハンド型、2 ピース型について数値人体モデルを用いて計算機シミュレーションで検討した。

ハンド型については、人体に対する高さ、距離、角度の 3 つをパラメータとし、それぞれのパラメータを変化させた場合のアンテナ利得、放射パターンについて計算機シミュレーションで検討した。その結果、人体によるアンテナ利得の低下量は人体後方において約 10dB であることを確認した。しかし、マイクを口元から下げて使用する場合などについてはさらにアンテナ利得が低下することがわかった。

2 ピース型については、設置位置によるアンテナ利得、放射パターンについて計算機シミュレーションで検討した。2 ピース型については人体の遮蔽によるアンテナ利得の低下量が約 20dB であることを確認した。

今回の検討では計算機シミュレーションによる評価であったが、今後、人体ファントムを用いた測定を行い、計算結果との比較を行う予定である。また、今回の計算結果では人体によるアンテナのインピーダンス整合への影響を考慮しておらず、実際には人体近傍にアンテナを設置することでインピーダンス不整合によりさらにアンテナ利得が低下することが想定される[14]。今後、人体によるインピーダンス整合への影響を考慮した検討を行う予定である。さらに、2 ピース型の検討結果から、腕による影響も懸念されるため、人体の姿勢や腕の位置が変わった際の検討も必要であると考えられる。

文 献

[1] “特定ラジオマイクの陸上移動局の無線設備,” RCR STD-22, 3.0 版, 電波産業会, Mar. 2009.

[2] “特定小電力無線局ラジオマイク用無線設備,” RCR STD-15, 5.0 版, 電波産業会, Sep. 2007.

[3] “テレビジョン放送番組素材伝送用可搬型 OFDM 方式デジタル無線伝送システム”, ARIB STD-B33, 1.1 版, 電波産業会, Nov. 2005.

[4] 特定ラジオマイク利用者連盟, “ワイヤレスマイクハンドブック[改訂版],”兼六館出版, Nov. 2001.

[5] “「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち「特定ラジオマイクの高度化に向けた技術的条件」,” 情報通信審議会 諮問第 2009 号, Jan. 2007.

[6] “「携帯電話等の周波数有効利用方策」のうち「高速データ携帯無線通信の高度化に係る技術的条件」,” 情報通信審議会 諮問第 81 号, Dec. 2009.

[7] “「ITS 無線システムの技術的条件」のうち「700MHz 帯安全運転支援通信システムの技術的条件」,” 情報通信審議会 諮問第 2029 号, Aug. 2011.

[8] C. Hill, T. Kneisel, “Portable Radio Antenna Performance in the 150, 450, 800 and 900 MHz Bands Outside and In-Vehicle,” *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol.40, no.4, pp.750-756, 1991.

[9] 常川光一, “小形アンテナの特性測定に用いる模擬人体の検討,” 信学ソ大, B-1-58, p.58, 1997.

[10] 小川晃一, 松吉俊満, 門真健志, “人体頭部に近接したダイポールアンテナの多重波中実効特性に与える肩の影響に関する基礎検討,” 信学論(B), vol.J82-B, no.10, pp.1847-1856, 1999.

[11] 武藤輝, 新井宏之, “セラミックファントムを用いた携帯端末の特性測定,” 映情学技報, ROFT99-100, pp.17-22, Nov. 1998.

[12] 長岡智明, 櫻井清子, 国枝悦夫, 渡邊聡一, 本間寛之, 鈴木保, 酒本勝之, 小川孝次, “日本人成人男女の平均体型を有する全身数値モデルの開発,” 生体医工学, vol.40, no.4, pp.45-52, Dec. 2002.

[13] <http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/dielectric.html>

[14] 小柳芳雄, 河井寛紀, 小川晃一, 伊藤公一, “全身等価円柱ファントムを用いた 150MHz 帯ヘリカルアンテナの局所 SAR と放射特性に関する検討,” 信学論(B), vol.J85-B, no.5, pp.664-675, May 2002.

[15] 小郷直人, 池田哲臣, 濱住啓之, “700MHz 帯ラジオマイク用送信アンテナの人体による放射パターンへの影響,” 信学ソ大, B-1-93, p.93, Sep. 2011.