

特定ラジオマイクの周波数移行に向けた回線設計の検討

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 特定ラジオマイクは主に番組制作、コンサート、舞台などで幅広く使用されている。700MHz 帯を使用する A 型ラジオマイクは総務省の周波数再編アクションプランにおいて周波数移行の対象となっているが、具体的に回線設計をした例がなかった。本稿では、ハンド型と 2 ピース型のラジオマイクのアンテナをモデル化し、運用を考慮して人体近傍にラジオマイクを設置したときに人体がアンテナ特性へ与える影響を解析した。その結果に基づいてシステムごとに回線設計を行い、比較、検討したので報告する。各システムを周波数ごとに比較した結果、デジタル化しダイバーシティを用いる効果が大きいことがわかった。

キーワード ラジオマイク、ヘリカルアンテナ、数値人体モデル、周波数移行、ホワイトスペース、1.2GHz 帯、回線設計、ハンド型、2 ピース型

Link Budget of Wireless Microphone for Frequency Migration

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 for television and radio program productions, concerts, stage dramas, and so on. The frequency band for the wireless microphone is planned to migrate to white space and 1.2 GHz bands by the action plan for radio spectrum reallocation developed by the ministry of internal affairs and communications; however, few studies have been performed concerning the link budget of the wireless microphone considering the frequency migration. We designed a handheld type and body-pack type of wireless microphones and calculated the radiation pattern with a numerical model of the human body. Moreover, we examined the link budget with some systems for the wireless microphone. From these results, the diversity effect with the digital wireless microphone is significant for the link budget.

Keyword Wireless Microphone, Helical Antenna, Numerical Human-Body Model, Frequency Migration, White Space, 1.2GHz Band, Link Budget, Handheld Type, Body-Pack Type

1. はじめに

音声、楽器音等の音響信号を無線伝送する特定ラジオマイク（以下、ラジオマイク）は、番組制作、コンサート、舞台などで幅広く使用されている。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]で呼ばれることが一般的である、特に A 型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おり、総務省の周

波数再編アクションプランにおいて周波数移行の対象となっている。その中で、ラジオマイクはホワイトスペース帯、および 1.2GHz 帯に移行することが決まっている[4]。

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。ハンド型は演者が手で持って歌ったりする用途に使用されており、2 ピース型は人体腰部などに設置して使用されている[5]。したがって、ラジオマイクは人体近傍で使用される無線設備である。

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[6]、EVDO マルチキャリアに関する情報通信審議会諮問第 81 号[7]、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[8]などがある。こ

表 1 ラジオマイクの種類

	使用周波数	空中線電力	用途 ^{*1}
A 型	779-788,797-806 MHz ^{*2} 770-806 MHz ^{*3}	10 mW 以下 ^{*2} 50 mW 以下 ^{*3}	業務用
B 型	806-810 MHz	10 mW 以下	業務用
C 型	322-322.15 MHz 322.25-322.4 MHz	1 mW 以下	民生用
D 型	74.58-74.76 MHz	10 mW 以下	民生用

*1 用途は代表例 *2 アナログ *3 デジタル

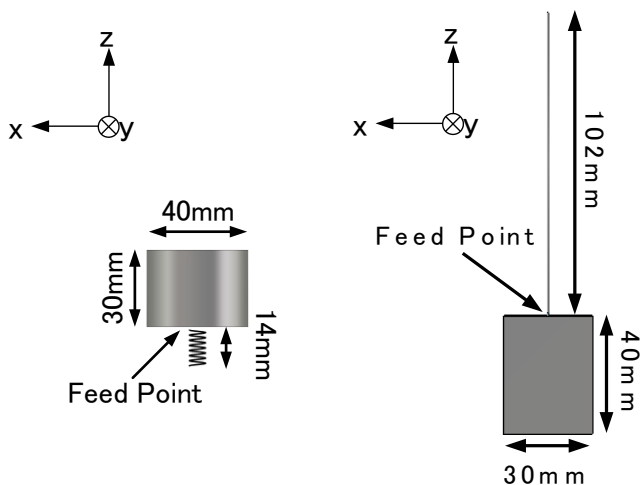
これらにおいては、ハンド型ラジオマイクのアンテナ利得を人体の影響を考慮して-10dBiとし、2ピース型ラジオマイクのアンテナ利得を-20dBiとして回線設計を行った例が示されている。しかし、これらの数値の根拠については具体的に示されておらず、解析等で求められたものではない。また、放射パターンについて人体によってどのように影響があるのかについても述べられていない。

筆者らは現行の700MHz帯のラジオマイクの運用における人体による放射特性について検討を行い、人体による放射特性への影響[9,10]、人体の姿勢による放射特性への影響[11]を検討してきた。本稿では、A型のラジオマイクの周波数移行に向けて、ハンド型、および2ピース型のラジオマイクの運用における人体による放射特性への影響を周波数ごとに計算機シミュレーションで検討した。その検討結果から、現在検討中の低遅延ラジオマイク[12]の回線設計を行い、現行のA型アナログラジオマイクと比較したので報告する。

2. 計算モデル

2.1 アンテナモデル

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図1に示す。また、表2にハンド型、表3に2ピース型のアンテナの形状パラメータを示す。ハンド型のアンテナは一般的によく用いられているノーマルモードのヘリカルアンテナとし、筐体の一部を円筒形の導体でモデル化した。2ピース型は1/4波長モノポールアンテナとし、筐体の一部をモデル化した[10]。解析においては、周波数移行を考慮し、ホワイトスペース帯として500MHz、現行の周波数帯として800MHz、1.2GHz帯として1250MHzとし、動作周波数ごとに巻き数、または長さを変えることでアンテナを設計した。



(a) ハンド型 (b) 2ピース型

図1 アンテナ構造 (800MHz のとき)

表2 アンテナ諸元(ハンド型)

周波数[MHz]	500	800	1250
アンテナ長[mm]	26	14	7.6
巻き数	13	7	3.8
線径	0.5 mm		
らせん半径	3.2 mm		
筐体のサイズ	40 mm φ × 30 mm		
材質	完全導体		

表3 アンテナ諸元(2ピース型)

周波数[MHz]	500	800	1250
アンテナ長[mm]	180	102	58
線径	0.5 mm		
筐体のサイズ	30 × 15 × 40 mm		
材質	完全導体		

図1、表2,3に示したアンテナの自由空間における放射パターンを500、1250MHzで計算した結果を図2~5に示す。図2~5において、振幅値はそれぞれの最大値で規格化した。この結果から、ノーマルモードヘリカルアンテナ、および1/4波長モノポールアンテナとして動作し、水平面内で無指向性の放射特性となっていることがわかる。

なお、800MHzにおける放射パターンについては表2,3のアンテナについて文献[10]で示しており、同様にノーマルモードのヘリカルアンテナ、および1/4波長モノポールアンテナとして動作していることを確認している。

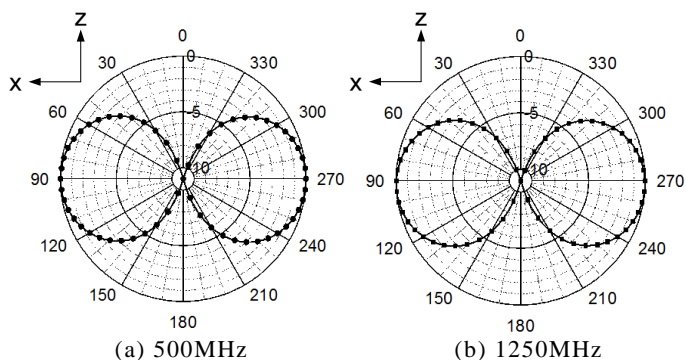


図2 ハンド型の放射パターン(z-x面)

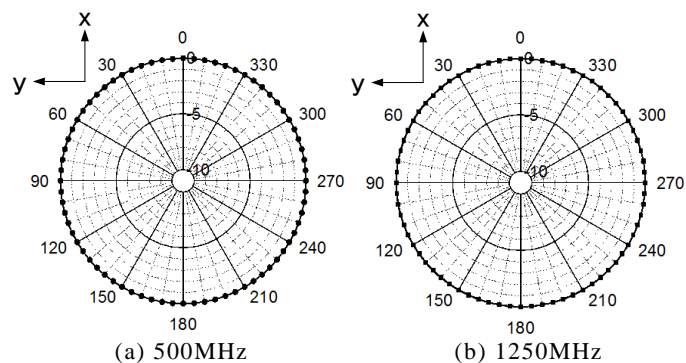
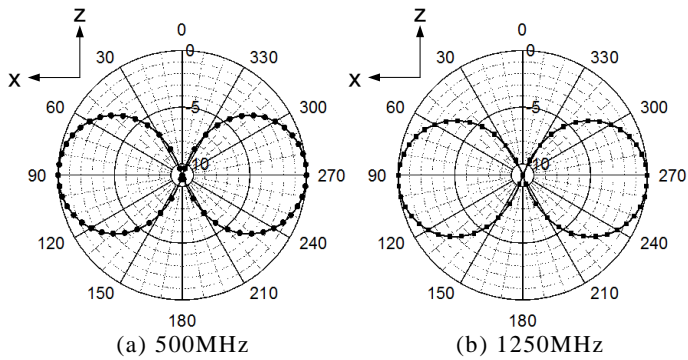
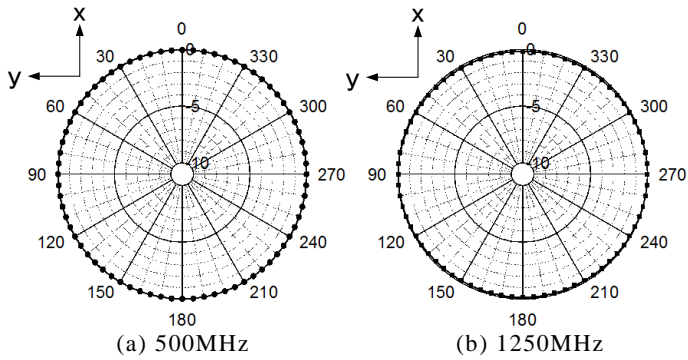


図3 ハンド型の放射パターン(x-y面)



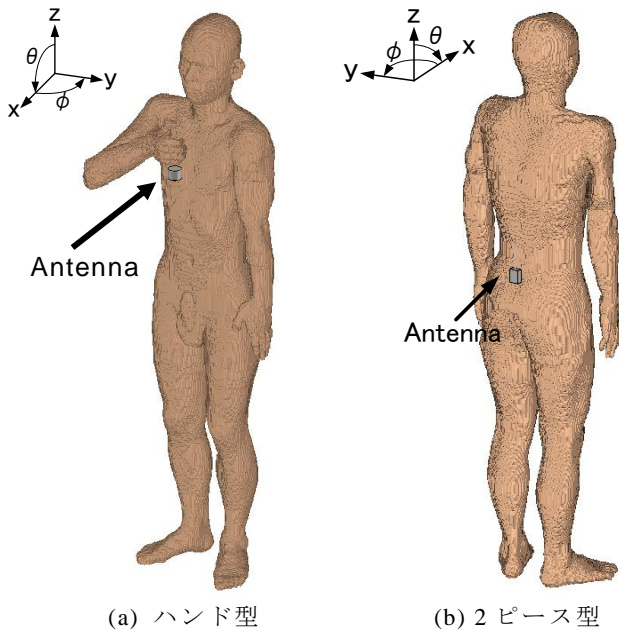
(a) 500MHz (b) 1250MHz
 図4 2ピース型の放射パターン(z-x面)



(a) 500MHz (b) 1250MHz
 図5 2ピース型の放射パターン(x-y面)

2.2 解析モデル

2.1 で示したラジオマイクのアンテナを人体近傍に設置したときの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[13,14]を用いて解析する。本稿で用いる数値人体モデルとアンテナについて図6に示す。数値人体モデルの各人体組織の電気定数については文献[15]から設定した。



(a) ハンド型 (b) 2ピース型
 図6 アンテナの設置位置と人体の姿勢

ハンド型のアンテナの設置位置は図6のように、ハンド型のマイクの長さを 250mm と想定し、口から 250mm 低い位置をアンテナの給電部の高さとなるようにした。また、胸部からアンテナ中心の距離は 80mm とした。2ピース型は、ベルトなどに装着することを考慮して人体腰部からの距離を 40mm とし、給電部が腰の高さになるように設置した。

それぞれのアンテナ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. ハンド型の放射特性の解析

図1(a)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、人体胸部近傍にハンド型の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への影響を検討する。計算結果を図7.8に示す。なお、各放射パターンの振幅値は各周波数のアンテナ単体のアンテナ利得の最大値で規格化した。

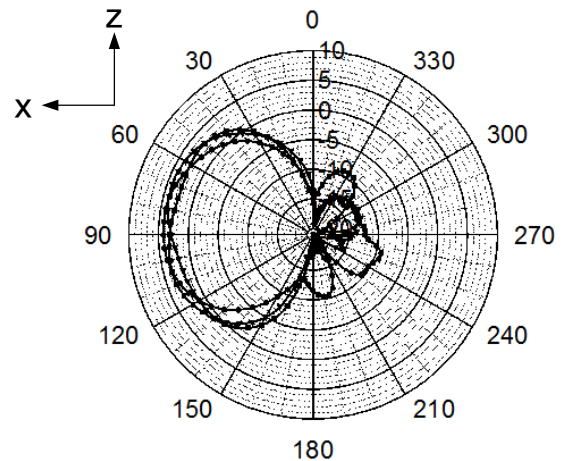


図7 人体近傍での放射パターン(z-x面)

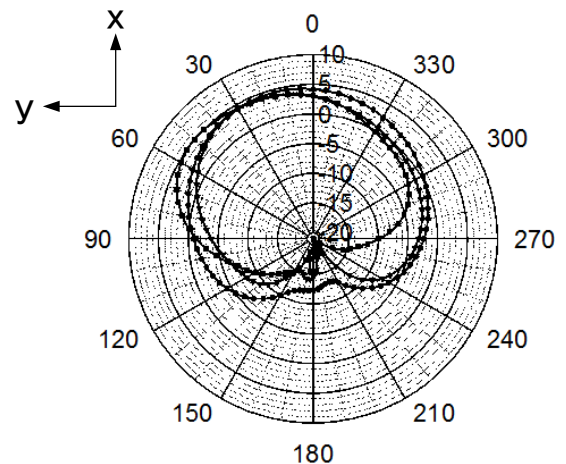


図7 人体近傍での放射パターン(x-y面)

z-x 面における放射パターンを比較すると、各周波数とも人体の遮蔽の影響から人体後方(θ が $180\sim 360$ 度)においてアンテナ利得が小さくなっていることがわかる。周波数が高くなるにつれて波長が小さくなることからその影響が大きくなり、1250MHzにおいてその遮蔽の影響が最も大きくなる。

また、x-y 面における放射パターンを比較すると、腕の反射の影響から、 ϕ が 30 度方向への放射が強くなる。これは腕の反射によって人体からみて前方の左斜め下方向へ反射が影響するためである。特に、1250MHz の場合は腕の影響が大きく、ビームの傾きが他の周波数に比べて大きいことがわかる。

4.2 ピース型の放射特性の解析

図 1(b)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 2 ピース型の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への影響を検討する。計算結果を図 9,10 に示す。なお、各放射パターンの振幅値は各周波数のアンテナ単体のアンテナ利得の最大値で規格化した。

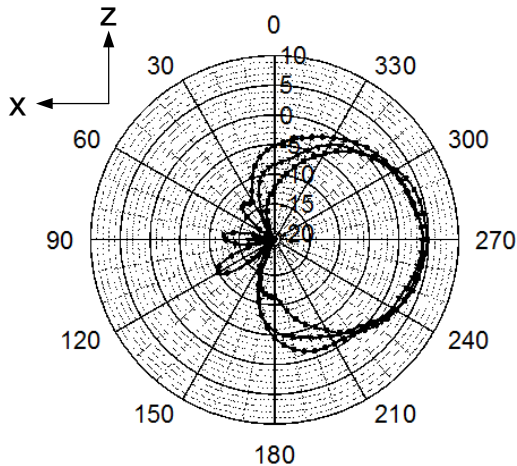


図 9 人体近傍での放射パターン(z-x 面)

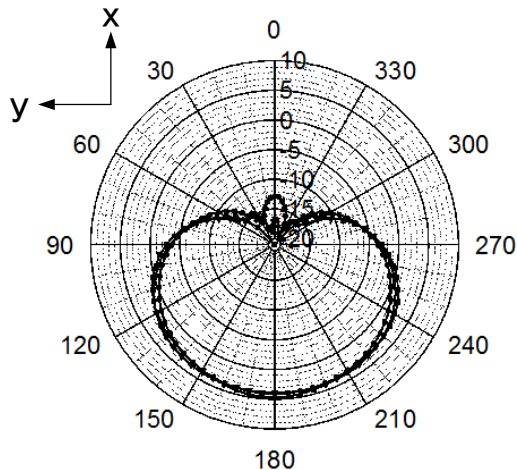


図 10 人体近傍での放射パターン(x-y 面)

z-x 面における放射パターンを比較すると、ハンド型に比べて人体の遮蔽によるアンテナ利得の損失が大きいことがわかる。これは設置する高さがハンド型に比べて低く、人体の遮蔽が大きくなっていると考えられる。また放射パターンについてみると、1250MHz のビーム幅が他の周波数と比べて狭くなり、 θ が 330 度のときに約 3dB 、 0 度のときに約 7dB アンテナ利得が小さくなることがわかった。一方、x-y 面についてみると、それほど大きな違いはないことがわかった。

5. 回線設計

5.1 人体の影響によるアンテナ利得の損失

回線設計で人体の影響を考慮するため、人体の遮蔽の影響を損失として含める必要がある。そこで、ハンド型については、図 7 の z-x 面における $240\sim 300$ 度、および図 8 の x-y 面の $150\sim 210$ 度の範囲におけるアンテナ利得の最大値とアンテナ単体のアンテナ利得の差を人体の遮蔽によるアンテナ利得の損失として評価することにする。その結果を表 4 に示す。

表 4 ハンド型における人体によるアンテナ利得損

周波数	遮蔽損
500 MHz	9.1 dB
800 MHz	12.5 dB
1.25 GHz	14.5 dB

一方、2 ピース型については、図 9 の z-x 面における $60\sim 120$ 度、および図 10 の x-y 面の $0\sim 30$ 度と $330\sim 360$ 度の範囲におけるアンテナ利得の最大値とアンテナ単体のアンテナ利得の差を人体によるアンテナ利得の損失として評価した。その結果を表 5 に示す。

表 5 2 ピース型における人体によるアンテナ利得損

周波数	遮蔽損
500 MHz	10.0 dB
800 MHz	15.2 dB
1.25 GHz	18.5 dB

5.2 フェージングマージン

ラジオマイクは受信側でダイバーシティ合成をする運用を行うことが一般的である。現状の製品レベルでは 2 受信のダイバーシティ合成を行っているものがある一方、現在検討を行っているシステム[12]では 4 受信のダイバーシティ合成についても検討している。

そこで、本検討における回線設計については 2 受信のダイバーシティと 4 受信のダイバーシティについて検討する。フェージングマージンについては文献[6]で検討された例があり、その例に従って計算する。

ダイバーシティを用いる際、独立にレイリー変動する M 個のブランチで、かつおのおののブランチの平均

SNR(Signal to Noise Ratio)が等しい場合の合成後のSNRを γ とする。また、おのこののブランチの平均SNRを Γ とすると、最大比合成法では累積確率分布関数を式(1)のように表すことができる[16]。

$$F(\gamma) = 1 - \exp\left(-\frac{\gamma}{\Gamma}\right) \sum_{m=1}^M \frac{(\gamma/\Gamma)^{m-1}}{(m-1)!} \quad (1)$$

この式に基づき、最大比合成の特性を図11に示す。

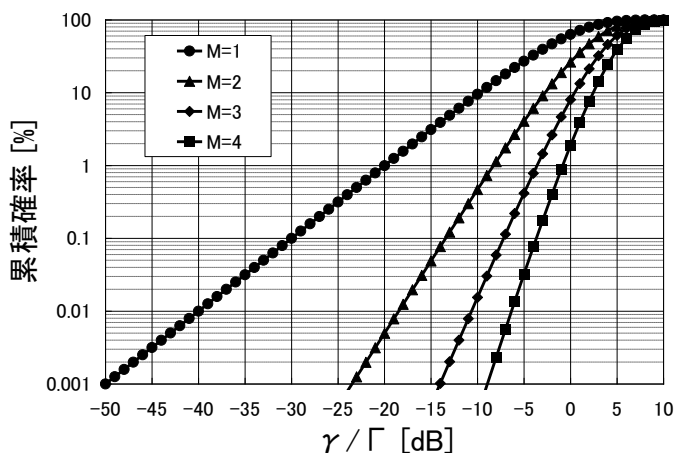


図11 最大比合成のダイバーシティ効果

図11より、累積確率が0.001%を基準にすると、ブランチ数 M が2の場合、 γ/Γ が-23.5[dB]となる。このことから、文献[6]ではブランチ数が2の場合についてフェージングマージンを23.5[dB]と設定している。本検討においてもこの設定に従い、式(1)より、ブランチ数 M が4の場合はフェージングマージンを8.9[dB]とする。

5.3 回線設計

5.1, 5.2に基づき、特定ラジオマイクの各周波数帯における回線設計例を示す。回線設計においては、現行のA型アナログラジオマイク[17]、および現在検討している低遅延デジタルラジオマイク(OFDM 16QAM 2/3)[12]について計算した。

A型アナログラジオマイクについてはリニア方式のマイクとした。なお、現行の製品においてダイバーシティに最大比合成を用いたものはないが、同一の条件で比較するため、すべての条件について最大比合成のダイバーシティを想定し、5.2で示したフェージングマージンを用いて計算した。また、屋内環境[17]を想定し、伝送距離は30mとした。表6~8に500MHz, 800MHz, 1250MHzにおける回線設計例を示す。

表6~8より、現行のA型アナログラジオマイクを1.2GHz帯に適用するとマージンがなく、運用が困難であると考えられる。また、800MHzにおいてもマージ

ンがほとんどないことがわかる。一方、500MHzについては自由空間損失、および人体によるアンテナ利得損失が小さくなるため、ある程度のマージンが取れることがわかった。

表6 500MHzのときの回線設計例

	アナログ (ハンド)	低遅延 デジタル (ハンド)	アナログ (2ピース)	低遅延 デジタル (2ピース)
送信周波数 [MHz]	500	500	500	500
送信出力 [dBm]	10	10	10	10
送信アンテナ利得 [dBi]	0.85	0.85	0.85	0.85
実効放射電力 [dBm]	10.9	10.9	10.9	10.9
伝送距離 [m]	30	30	30	30
自由空間伝搬損失 [dB]	56.0	56.0	56.0	56.0
人体によるアンテナ利得損 [dB]	9.1	9.1	10.0	10.0
受信アンテナ利得 [dBi]	2.14	2.14	2.14	2.14
自由空間受信電力 [dBm]	-43.0	-43.0	-43.0	-43.0
受信電力 [dBm]	-52.1	-52.1	-53.0	-53.0
ボルツマン定数 [dBm/(Hz·K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度 [dBK]	25	25	25	25
信号帯域幅 [kHz]	330	600	330	600
信号帯域幅 [dBHz]	55.2	58	55.2	58
受信機雑音指数 [dB]	6	6	6	6
受信機の固定劣化 [dB]	4	4	4	4
受信機熱雑音 [dBm]	-112.4	-109.8	-112.4	-109.8
所要S/N [dB]	60	-	60	-
ベースバンド帯域幅 [kHz]	15	-	15	-
周波数偏移 [kHz]	150	-	150	-
FM改善度 [dB]	24.8	-	24.8	-
エンファシス時定数 [μ s]	50	-	50	-
FMエンファシス改善度 [dB]	10.2	-	10.2	-
フェージングマージン(2受信)	23.5	23.5	23.5	23.5
フェージングマージン(4受信)	8.9	8.9	8.9	8.9
所要C/N [dB]	25.1	15	25.1	15
受信C/N [dB]	56.3	53.7	55.4	52.8
マージン [dB] (2受信ダイバー)	7.8	15.2	6.9	14.3
マージン [dB] (4受信ダイバー)	-	29.8	-	28.9

表7 800MHzのときの回線設計例

	アナログ (ハンド)	低遅延 デジタル (ハンド)	アナログ (2ピース)	低遅延 デジタル (2ピース)
送信周波数 [MHz]	800	800	800	800
送信出力 [dBm]	10	10	10	10
送信アンテナ利得 [dBi]	0.85	0.85	0.85	0.85
実効放射電力 [dBm]	10.9	10.9	10.9	10.9
伝送距離 [m]	30	30	30	30
自由空間伝搬損失 [dB]	60.0	60.0	60.0	60.0
人体によるアンテナ利得損 [dB]	12.5	12.5	15.2	15.2
受信アンテナ利得 [dBi]	2.14	2.14	2.14	2.14
自由空間受信電力 [dBm]	-47.1	-47.1	-47.1	-47.1
受信電力 [dBm]	-59.6	-59.6	-62.3	-62.3
ボルツマン定数 [dBm/(Hz·K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度 [dBK]	25	25	25	25
信号帯域幅 [kHz]	330	600	330	600
信号帯域幅 [dBHz]	55.2	58	55.2	58
受信機雑音指数 [dB]	6	6	6	6
受信機の固定劣化 [dB]	4	4	4	4
受信機熱雑音 [dBm]	-112.4	-109.8	-112.4	-109.8
所要S/N [dB]	60	-	60	-
ベースバンド帯域幅 [kHz]	15	-	15	-
周波数偏移 [kHz]	150	-	150	-
FM改善度 [dB]	24.8	-	24.8	-
エンファシス時定数 [μ s]	50	-	50	-
FMエンファシス改善度 [dB]	10.2	-	10.2	-
フェージングマージン(2受信)	23.5	23.5	23.5	23.5
フェージングマージン(4受信)	8.9	8.9	8.9	8.9
所要C/N [dB]	25.1	15	25.1	15
受信C/N [dB]	48.9	46.3	46.2	43.6
マージン [dB] (2受信ダイバー)	0.3	7.8	-2.4	5.1
マージン [dB] (4受信ダイバー)	-	22.4	-	19.7

表 8 1250MHz のときの回線設計例

	アナログ (ハンド)	低遅延 デジタル (ハンド)	アナログ (2ピース)	低遅延 デジタル (2ピース)
送信周波数 [MHz]	1250	1250	1250	1250
送信出力 [dBm]	10	10	10	10
送信アンテナ利得 [dBi]	0.85	0.85	0.85	0.85
実効放射電力 [dBm]	10.9	10.9	10.9	10.9
伝送距離 [m]	30	30	30	30
自由空間伝搬損失 [dB]	63.9	63.9	63.9	63.9
人体によるアンテナ利得損 [dB]	14.5	14.5	18.5	18.5
受信アンテナ利得 [dBi]	2.14	2.14	2.14	2.14
自由空間受信電力 [dBm]	-50.9	-50.9	-50.9	-50.9
受信電力 [dBm]	-65.4	-65.4	-69.4	-69.4
ボルツマン定数 [dBm/(Hz·K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度 [dBK]	25	25	25	25
信号帯域幅 [kHz]	330	600	330	600
信号帯域幅 [dBHz]	55.2	58	55.2	58
受信機雑音指数 [dB]	6	6	6	6
受信機の固定劣化 [dB]	4	4	4	4
受信機熱雑音 [dBm]	-112.4	-109.8	-112.4	-109.8
所要 S/N [dB]	60	-	60	-
ベースバンド帯域幅 [kHz]	15	-	15	-
周波数偏移 [kHz]	150	-	150	-
FM改善度 [dB]	24.8	-	24.8	-
エンファシス時定数 [μ s]	50	-	50	-
FMエンファシス改善度 [dB]	10.2	-	10.2	-
フェージングマージン(2受信)	23.5	23.5	23.5	23.5
フェージングマージン(4受信)	8.9	8.9	8.9	8.9
所要 C/N [dB]	25.1	15	25.1	15
受信 C/N [dB]	43.0	40.4	39.0	36.4
マージン [dB] (2受信ダイバー)	-5.6	1.9	-9.6	-2.1
マージン [dB] (4受信ダイバー)	-	16.5	-	12.5

1.2GHz 帯については、低遅延デジタルラジオマイクを用いた上で4ブランチのダイバーシティを用いることでマージンがとれることがわかる。また、他の周波数帯についても4ブランチのダイバーシティ受信は効果的であることがわかった。

6. むすび

ラジオマイクの周波数移行に向けて、ハンド型、および2ピース型のラジオマイクの運用における人体による放射特性への影響を周波数ごとに計算機シミュレーションで検討し、その検討結果から、A型アナログラジオマイクと低遅延ラジオマイクの回線設計を行い、各システムを比較した。

検討の結果、特に1.2GHz帯については4ブランチのダイバーシティを用いることでその効果が大きいことを確認した。今後、試作したラジオマイクを用いて、伝搬実験を行うことでダイバーシティの効果等について検討する予定である。

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] “周波数再編アクションプラン(改訂版),” 総務省報道発表資料, Oct. 2005.

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/saihe>

n/

- [5] 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.
- [6] “「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.
- [7] “「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.
- [8] “「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.
- [9] 小郷直人, 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, Sep. 2011.
- [10] 小郷直人, 濱住啓之, “人体によるラジオマイクの放射特性への影響の検討,” 映情学技報, vol.35, no.54, BCT2011-90, pp.111-116, Dec. 2011.
- [11] 小郷直人, 濱住啓之, “ハンド型ラジオマイクの放射特性に対する人体の姿勢の影響,” 信学総大, B-1-180, Mar. 2012.
- [12] 田口誠, 中村円香, 居相直彦, 岡野正寛, 濱住啓之, “特定ラジオマイク用低遅延デジタル伝送方式の検討,” 映情学技報, vol.36, no.51, BCT2012-101, pp.39-42, Nov. 2012.
- [13] 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.
- [14] T. Nagaoka, S. Watanabe, “Postured voxel-based human models for electromagnetic dosimetry,” Phys. Med. Biol., 53(24), pp.7047-7061, Dec. 2008.
- [15] <http://transition.fcc.gov/oet/rfsafety/dielectric.html>
- [16] 唐沢好男, “デジタル移動通信の電波伝搬基礎,” コロナ社, Mar. 2003
- [17] “ワイヤレスマイクロホン開発部会研究開発報告書,” RCR-TR-15, (財)電波システム開発センター, Jun. 1988.