

ミリ波センサーシステムとの干渉検討結果 (電波天文)

情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会
60GHz帯無線設備作業班 (第5回)

2019.9.2 株式会社ディーエスピーリサーチ

シングルエントリーにおける干渉検討条件

- ミリ波センサーシステムが国立天文台野辺山45m電波望遠鏡に与える干渉について検討を実施した。
- 与干渉側の送信出力は、電波望遠鏡の周波数における不要輻射の限度値である -30dBm/MHzとし、参考として不要輻射の値が-40dBm/MHz ~-70dBm/MHzについても考察を行った。

与干渉側システムの諸元	
電波の型式	F3N
変調方式	FMCW
周波数(In-band)	57 ~ 64 GHz
占有周波数帯幅	7 GHz以下
空中線電力	10 mW
等価等方輻射電力	0 dBm
空中線半値角	± 60 deg.
デューティーサイクル	3.3 / 29.7 msec. (MAX.)
キャリアセンス機能	実装無し
シミュレーション周波数	76.5 GHz及び 115 GHz
送信出力	-30 dBm/MHz 参考として -40dBm/MHz, -50dBm/MHz, -60dBm/MHz, -70dBm/MHz

被干渉側 検討条件		
周波数帯域	76.5 GHz	115 GHz
場所	35° 56' 40" N, 138° 28' 21" E, 1350 m 標高	
保護基準*1	-196.5 dBm/MHz	-198 dBm/MHz
アンテナ利得	0 dBi	

*1: Rec. ITU-R RA.769-2

- 1台のパラボラアンテナによる連続的観測の干渉しきい値において、最も厳しい基準を採用
- Rec. ITU-R RA. 769-1には、76.5 GHzまたは115 GHzの記述がないため、43~89 GHz、または89~150 GHzで適用可能な値の間を補間した

シングルエントリーにおける離隔距離

- 次の伝播モデルの損失を加味して、各周波数帯域における離隔距離（屋外）を算出した。

伝 播 モ デ ル		
自由空間損失と大気吸収モデル*	$L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(f_{\text{GHz}}) + 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + \alpha(f_{\text{GHz}}) \times d_{\text{km}} + 92.45 \text{ dB}$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.13d_{\text{km}} + 140.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.31d_{\text{km}} + 143.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$	
大気減衰係数**	76.5 GHz	0.13 dB/km
	115 GHz	0.31 dB/km

* $L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}})$ は周波数および距離による損失（dB）、 f_{GHz} は周波数（GHz）、 d_{km} は距離（km）および $\alpha(f_{\text{GHz}})$ は周波数に依存する大気減衰係数（dB/km）。

**ハーバードスミソニアン天体物理センターの電波天文学者によって作成されたエーエムアトモスフィックモデル（am atmospheric model）を採用。減衰値を計算するために、標高1350 mで相対湿度50%の標準大気を想定。

- 離隔距離計算結果 [km]

送信出力（帯域外放射）	76.5 GHz	115 GHz
-30 dBm/MHz	37.6	23.0
-40 dBm/MHz	16.3	11.1
-50 dBm/MHz	6.0	4.5
-60 dBm/MHz	2.0	1.6
-70 dBm/MHz	0.7	0.5

シングルエントリーにおける離隔距離(人体による遮蔽損を加味)

- 次の伝播モデルの損失を加味して、各周波数帯域における離隔距離（屋外）を算出した。

伝 播 モ デ ル		
自由空間損失と大気吸収モデル*	$L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(f_{\text{GHz}}) + 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + \alpha(f_{\text{GHz}}) \times d_{\text{km}} + 92.45 \text{ dB}$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.13d_{\text{km}} + 140.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.31d_{\text{km}} + 143.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$	
大気減衰係数**	76.5 GHz	0.13 dB/km
	115 GHz	0.31 dB/km
人体による遮蔽損***	3dB	

* $L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}})$ は周波数および距離による損失 (dB)、 f_{GHz} は周波数 (GHz)、 d_{km} は距離 (km) および $\alpha(f_{\text{GHz}})$ は周波数に依存する大気減衰係数 (dB/km)。

**ハーバードスミソニアン天体物理センターの電波天文学者によって作成されたエーエムアトモスフィックモデル (am atmospheric model) を採用。減衰値を計算するために、標高1350 mで相対湿度50%の標準大気を想定。

***ユーザーが被干渉機器の方向を向いてデバイスを利用している場合 参照：情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会60GHz帯無線設備作業班（第2回）資料「シャドローイングとDuty Cycleの干渉検討に与える影響について」

- 離隔距離計算結果 [km]

送信出力（帯域外放射）	76.5 GHz	115 GHz
-30 dBm/MHz	29.8	18.9
-40 dBm/MHz	12.3	8.6
-50 dBm/MHz	4.4	3.3
-60 dBm/MHz	1.4	1.1
-70 dBm/MHz	0.5	0.4

シングルエントリーにおける離隔距離計算結果の考察

- ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）が技術基準の限度値と同じ値である -30 dBm/MHzの場合、電波望遠鏡の受信周波数76.5GHzにおいて37.6km、115GHzにおいては23kmの離隔距離が必要との結果が出た。
- 更にミリ波センサーシステムのユースケースから、電波望遠鏡の近傍で電波が発射される場合はミリ波センサーシステムと電波望遠鏡の間には人体が存在すると考えられるので、人体による遮蔽損を3dB加えた結果、送信出力（帯域外） -30 dBm/MHzの場合、離隔距離がやや短くなり、電波望遠鏡の受信周波数76.5GHzにおいて29.8km、115GHzにおいては18.9kmが必要との結果が出た。
- ミリ波センサーシステムを搭載した製品を設計・製造する場合において、帯域外輻射電力を限度値ギリギリに設計することはなく、また、製品の消費する電力等を勘案すると帯域外輻射をより小さく抑えることが求められる。
- 参考として、ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）を-40 dBm/MHzから-70 dBm/MHzに想定した際の必要離隔距離を計算してみた。人体遮蔽損を含む場合で、送信出力（帯域外）-60dBm/MHz時に電波望遠鏡の受信周波数76.5GHzにおいて1.4km、115GHzにおいては1.1km、-70dBm/MHz時に76.5GHzにおいて500m、115GHzにおいては400mの離隔距離が必要との結果となった。
- 帯域外輻射電力のレベルは個々の無線設備ごとに違うが、帯域外輻射電力を極力抑えることで、電波天文受信設備との運用調整が必要なエリアを狭めることができ、両立性が成立する可能性が十分に見込める。

アグリゲーションモデルを用いた干渉検討

- ミリ波センサーシステムが国立天文台野辺山45m電波望遠鏡に与える集合干渉電力について、アグリゲーションモデルをベースに検討を実施した。
- 与干渉側の送信出力は、電波望遠鏡の周波数における不要輻射の限度値である -30dBm/MHzとし、参考として不要輻射の値が-40dBm/MHz ~ -70dBm/MHzについても考察を行った。
- 集合干渉電力は、次のアグリゲーションモデル及び干渉軽減モデルをベースに算出を行った。

アグリゲーションモデル				
方角	南西		北東	
離隔距離	10km以内	10km~30km以内	10km以内	10km~30km以内
離隔距離内の人口*(人)	24,234	465,420	10,826	208,698
スマートフォン普及率**	60%			
レーダー搭載端末の割合***	1%			
屋外にあるデバイスの割合****	10%			
時間軸における干渉軽減モデル				
デバイスの1日の利用時間の割合	10%			

屋内利用時における干渉軽減モデル		
壁損失（屋内のみ）*	20dB	
野辺山45mパラボラアンテナからの距離における干渉軽減モデル		
パラボラアンテナからの距離	10km超	10km以内
都市構造による遮蔽損失**	10.16dB	適用なし

【軽減モデル】

*Bas, C. U., et al., "Outdoor to Indoor Penetration Loss at 28 GHz for Fixed Wireless Access", arXiv:1711.00168 (2017) <https://arxiv.org/pdf/1711.00168.pdf>

**情報通信審議会 情報通信技術分科会 移動通信システム委員会「79GHz帯高分解能レーダー作業班」参考資料7の「市街地構造による干渉緩和要素」および「植生による遮蔽損」を参照

【アグリゲーションモデル】

*平成29年版 情報通信白書の「スマートホン個人保有率の推移」普及率約60%を参照

**調査会社ガートナーのフォルダブル式モデルの2023年の普及予測を参照

***塩津弥佳, 吉澤晋, 池田耕一, 野崎淳夫, "生活時間調査による屋内滞在時間量と活動量：室内空気汚染物質に対する曝露量評価に関する基礎的研究 その1", 日本建築学会計画系論文集, 1998-63-511, pp. 45-52, Feb. 2017

****http://www.soumu.go.jp/main_content/000159473.pdf

集合干渉電力の計算方法（概略）

1. 離隔距離内（リング状）の人口密度と面積より、距離に応じた平均人口を算出
2. 平均人口にデバイスの普及率を掛け合わせて、該当エリア内の端末台数を算出
3. 離隔距離内に存在する稼働端末数を元に電力合計値を算出（計算式： $10\log_{10}$ （端末台数））

稼働端末計算式：

【屋外】 離隔距離内の人口×スマートフォンの普及率（60%）×レーダー搭載端末普及率（1%）×1日利用時間（10%）×屋外（10%）

【屋内】 離隔距離内の人口×スマートフォンの普及率（60%）×レーダー搭載端末普及率（1%）×1日利用時間（10%）×屋内（90%）×壁損失

【10Km超】 都市構造による遮蔽損失を含める。

対象端末数						
方角	全方位		南西		北東	
離隔距離	10km以内	10km～30km以内	10km以内	10km～30km以内	10km以内	10km～30km以内
対象端末数(屋外)(台)	21	404	15	279	6	125
対象端末数(屋内)(台)	189	3,640	131	2,513	58	1,127
時間軸における干渉軽減モデルを加えた稼働端末数						
稼働端末数(屋外)(台)	2	40	2	28	1	13
稼働端末数(屋内)(台)	19	364	13	251	6	113

4. 次の伝播モデルより離隔距離に応じた電力合計値を算出

伝播モデル		
自由空間損失と大気吸収モデル*	$L(fGHz, dkm) = 20 \log_{10}(fGHz) + 20 \log_{10}(dkm) + \alpha(fGHz) \times dkm + 92.45 \text{ dB}$	
	$L(d_{km}) = 20 \log_{10}(d_{km}) + 0.13d_{km} + 140.12 \text{ dB}$ (76.5 GHz)	
	$L(d_{km}) = 20 \log_{10}(d_{km}) + 0.31d_{km} + 143.66 \text{ dB}$ (115 GHz)	
大気減衰係数**	76.5 GHz	0.13 dB/km
	115 GHz	0.31 dB/km
人体による遮蔽損***	3 dB	

5. ③と④より集合干渉電力を算出

総合干渉電力の計算結果

- 野辺山45m電波望遠鏡を基準とした半径30.5kmの円内における総合干渉電力

	総合干渉電力 [dBm/MHz]					
	76.5 GHz			115 GHz		
被干渉側保護基準	-196.5 [dBm/MHz]			-198 [dBm/MHz]		
送信出力 (帯域外)	全方位	南西	北東	全方位	南西	北東
-30 dBm/MHz	-182.3	-184.7	-186.1	-186.4	-188.8	-190.1
-40 dBm/MHz	-192.3	-194.7	-196.1	-196.4	-198.8	-200.1
-50 dBm/MHz	-202.3	-204.7	-206.1	-206.4	-208.8	-210.1
-60 dBm/MHz	-212.3	-214.7	-216.1	-216.4	-218.8	-220.1
-70 dBm/MHz	-222.3	-224.7	-226.1	-226.4	-228.8	-230.1

アグリゲーションモデルにおける総電力計算結果の考察

- ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）が -30 dBm/MHzの場合、電波望遠鏡から半径30.5km内におけるミリ波センサーシステムによる総合干渉電力は、電波望遠鏡の受信周波数76.5GHzにおいて-182.3dBm/MHz、115GHzにおいて-186.4dBm/MHzとなり、被干渉側保護基準値からは、それぞれ14.2dB、11.6dB超過する結果となった。
- シングルエントリーでの検討と同様に、参考として、ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）を低減した場合の総合干渉電力を計算した。-50dBm/MHzのときに、電波望遠鏡の受信周波数76.5GHzにおいて-202.3dBm/MHz、115GHzにおいて-206.4dBm/MHzとなり、被干渉側保護基準値からはそれぞれ5.8dB、8.4dBのマーヅンを確保できる結果となった。
- 本検討は一定の仮定の下に実施した例であるが、ミリ波センサーシステムの実際の利用形態や使用技術などを考慮すると、一定の干渉電力の緩和が見込めることが分かった。よって、使用エリアの制限等の運用調整により十分両立可能と考えられる。
- なお、製造および販売事業者においては、電波天文受信設備への影響を考慮し、帯域外輻射電力を最大限抑えること、使用エリアの制限が必要となるケースがあることの注意喚起を行うこと（マニュアルへの記載）といった点に配慮する必要がある。