

(2) 他システムとの共用検討結果

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4回）

2019.8.6 株式会社ディーエスピーリサーチ

1. 小電力データ通信システム（実機検証の結果）
 - － データ通信システム（WiGig）

2. 特定小電力無線局（ミリ波レーダー）
 - 2－1 車載レーダー
 - 2－2 踏切障害物検知装置

3. 電波天文

1. データ通信システム (WiGig)

屋内利用のデータ伝送システム（WiGig等）への干渉検討結果

○キャリアセンス時に与える影響

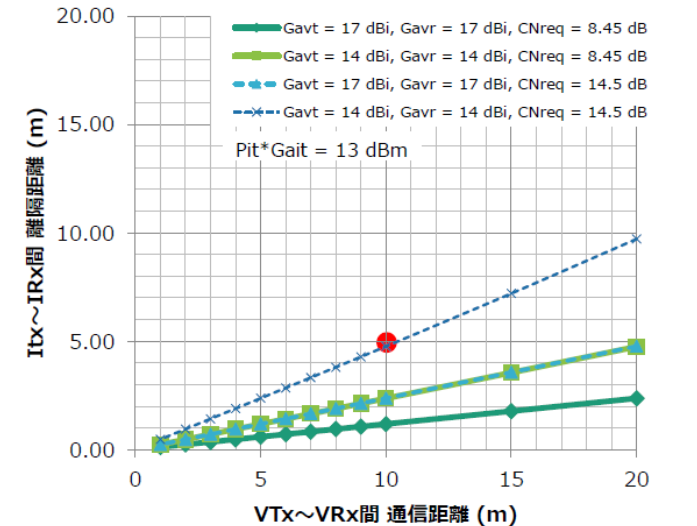
被干渉側装置のアンテナ端においてキャリアセンスレベル閾値（-48dBm）以上の電力を受ける場合が示唆されるが、シミュレーションは100%連続送信を条件として実施しているため、実環境では送信時間率10%程度であり且つ、アンテナの指向性特性より11.1%程度であることから、実際にはキャリアセンスをブロックする可能性は1.11~11.11%程度となる。

○被干渉側装置通信時における干渉の影響

被干渉側装置が正対せずに通信を行っている状態でも、被干渉側装置の通信距離10m時に、5mの離隔距離が必要との結果となったが、送信時間率及びアンテナの指向性特性から離隔距離は更に短くなる。

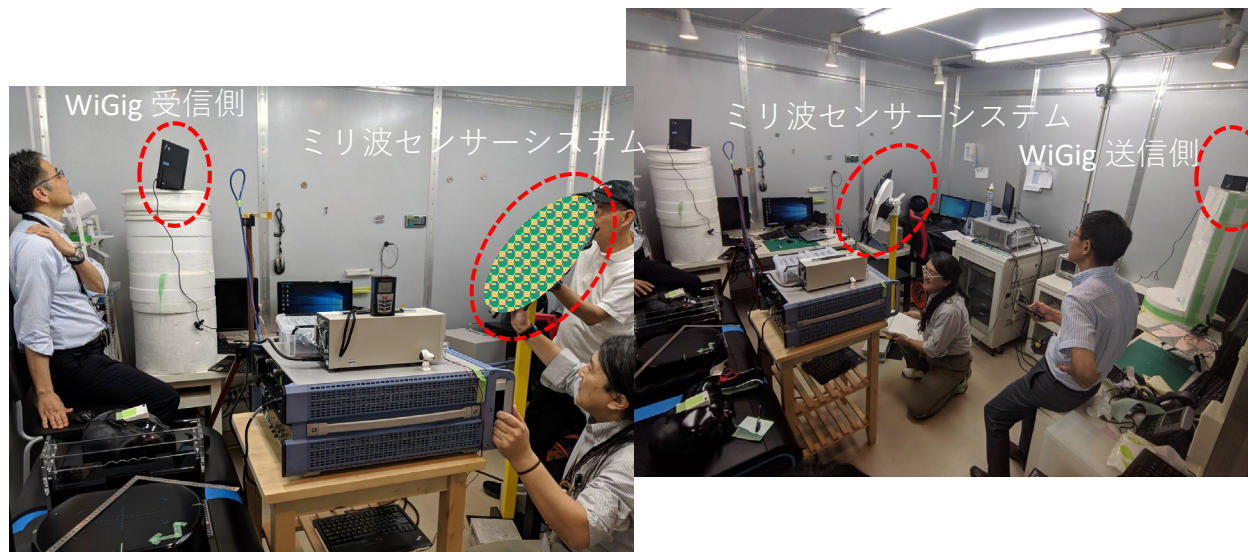
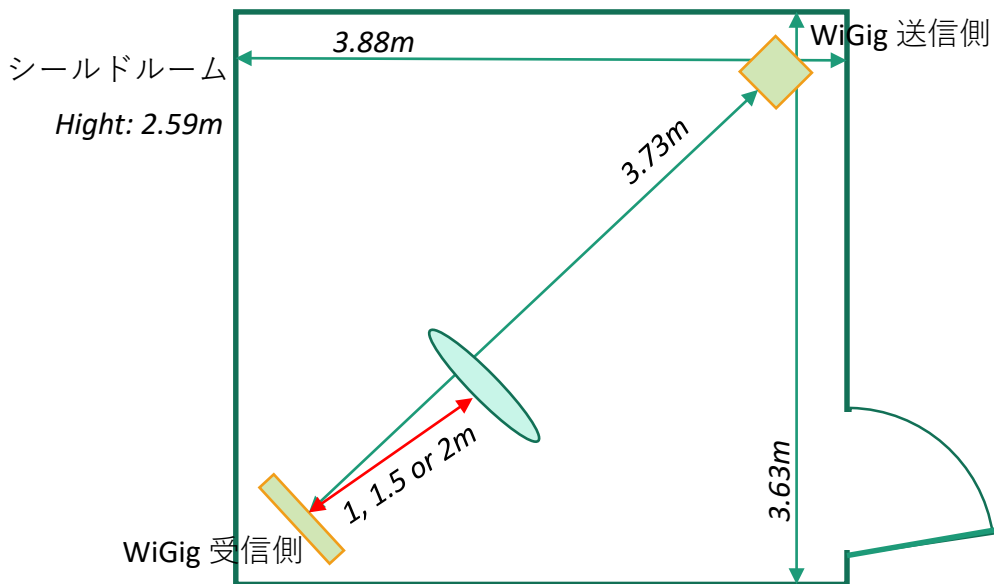
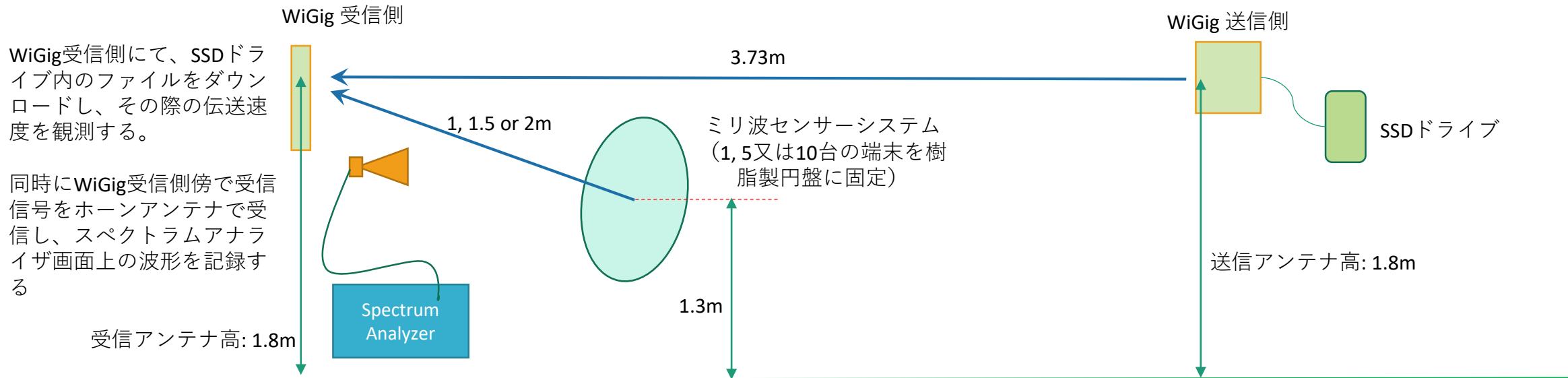
これらの結果から、屋内利用時のデータ伝送端末とは、共存可能と考えられる。

また、実際の通信状態では、ユースケースからも与干渉側装置から発射される電波は人体に向いており、与干渉側装置との間には人体によるシャドーイングの影響が発生する。よって、実際の通信状態では更に離隔距離を短縮することができるものと考えられる。

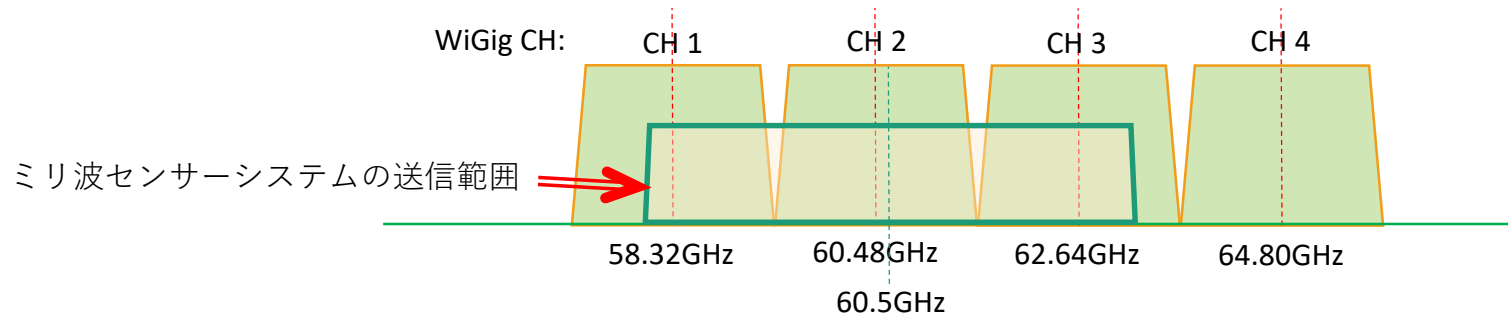


WiGigの通信距離に対する与干渉装置との所要離隔距離

WiGig 実機検証試験



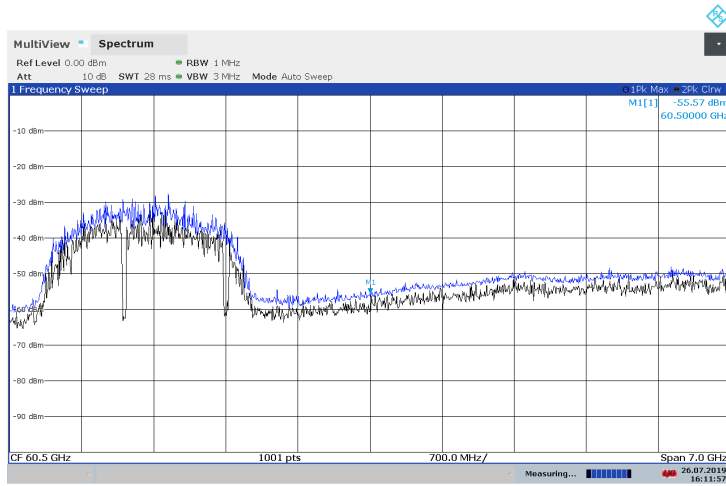
WiGig 実機検証試験



与干渉距離 (WiGig受信側～ミリ波センサーシステム)	ミリ波センサーシステム数 (台)	WiGig 通信CH 伝送速度, 低下率,(付図番号)	
		CH 1	CH 2
1.0 m	10	880 Mbps,12%, (付図 4)	880 Mbps,12%, (付図 5)
1.5 m	1	960 Mbps,4%, (付図 6)	960 Mbps,4%, (付図 7)
	5	960 Mbps,4%, (付図 8)	936 Mbps,6.4%, (付図 9)
	10	896 Mbps,10.4%, (付図 1 0)	880 Mbps,12%, (付図 1 1)
2.0 m	10	904 Mbps,9.6%, (付図 1 2)	880 Mbps,12%, (付図 1 3)
1.5 m	0 (WiGig only)	960 Mbps,4%,(付図 1)	1000 Mbps,ref., (付図 2)
	10 (No WiGig)	(付図 3)	

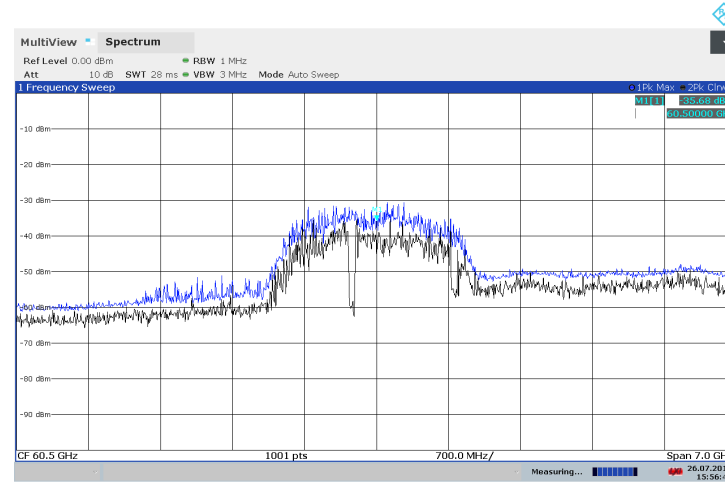
ミリ波センサーシステムからWiGigへの干渉影響は、与干渉距離1.5mと比較すると、ミリ波センサーシステムの台数が増えると伝送速度の低下がみられたが、干渉影響のないときの伝送速度に比べると4～12%程度の低下となり、シミュレーションの結果とほぼ合致する結果となった。

WiGig 実機検証試験



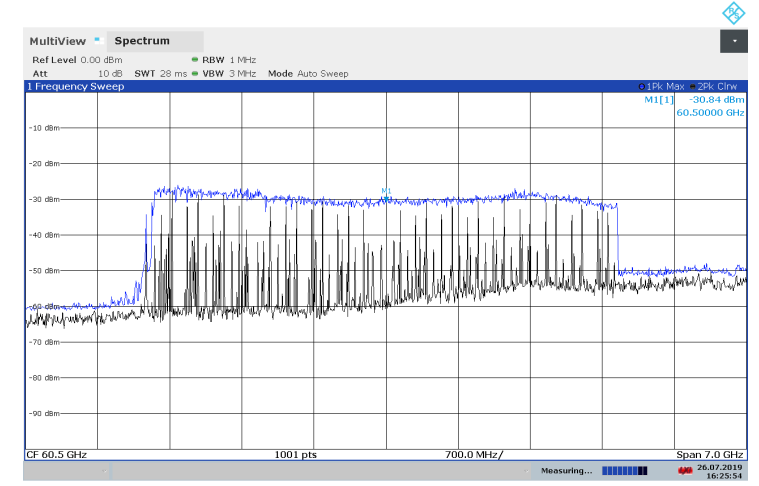
16:11:58 26.07.2019

付図 1 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 1, 与干涉側無 (リファレンス)



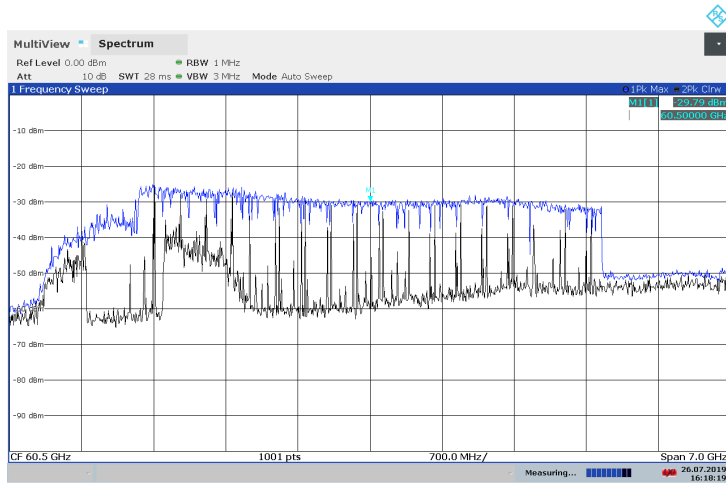
15:56:47 26.07.2019

付図 2 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 2, 与干涉側無 (リファレンス)



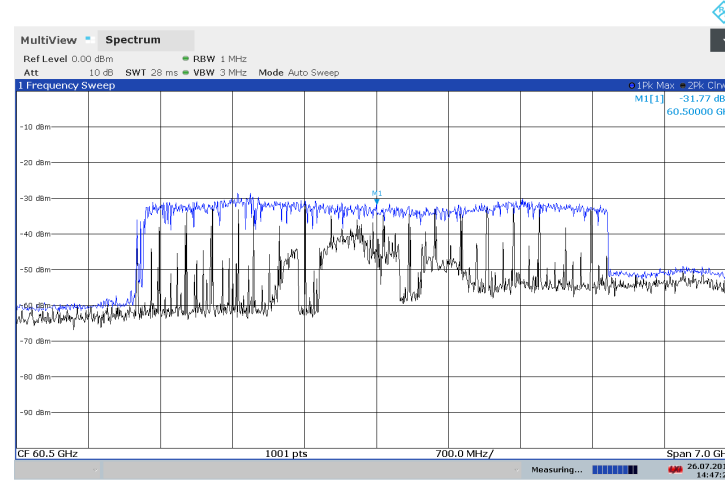
16:25:54 26.07.2019

付図 3 与干涉距離 1.5m, WiGig 無, 与干涉側のみ (リファレンス)



16:18:20 26.07.2019

付図 4 与干涉距離 1.0m, WiGig CH 1, 与干涉側10台

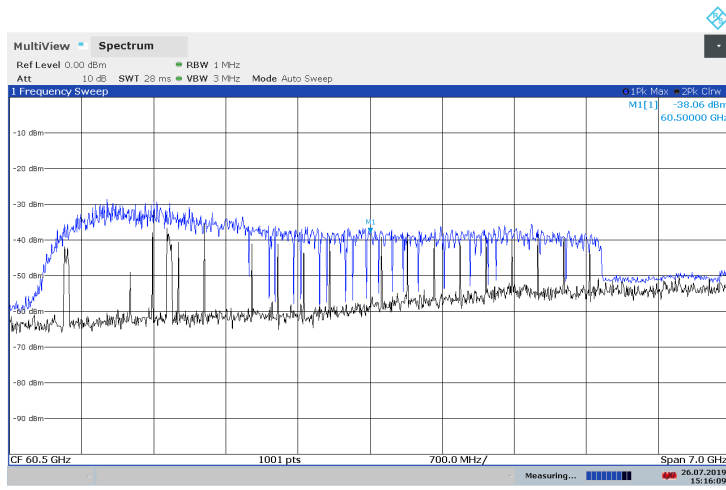


14:47:22 26.07.2019

付図 5 与干涉距離 1.0m, WiGig CH 2, 与干涉側10台

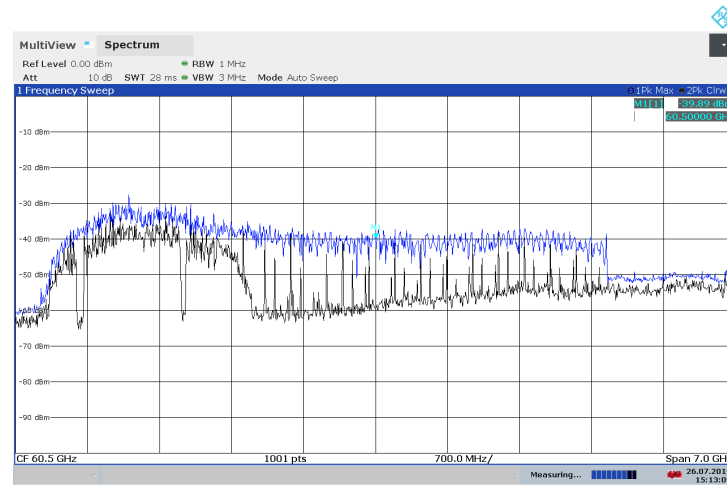
スペクトラムアナライザ画面波形の青色はMAX HOLD、黒色はClear Writeモード、両者ともPositive Peakモードに設定

WiGig 実機検証試験



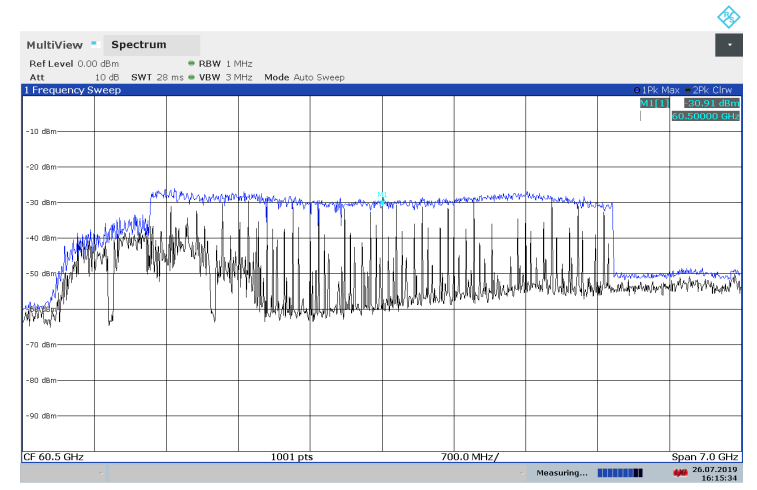
15:16:09 26.07.2019

付図 6 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 1, 与干涉側 1 台



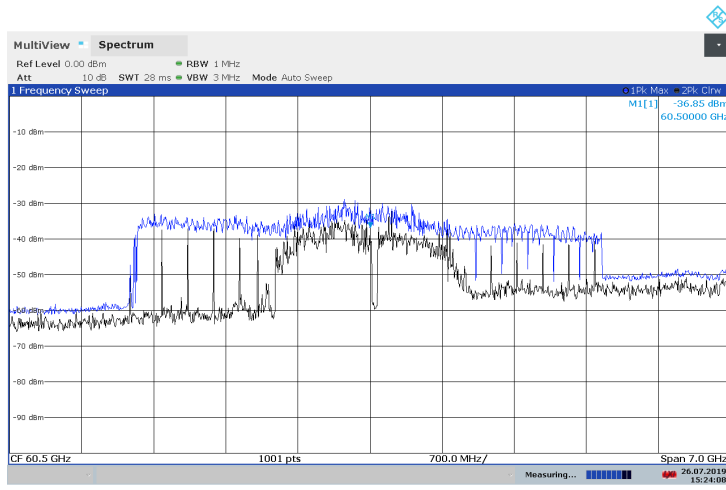
15:13:10 26.07.2019

付図 8 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 1, 与干涉側 5 台



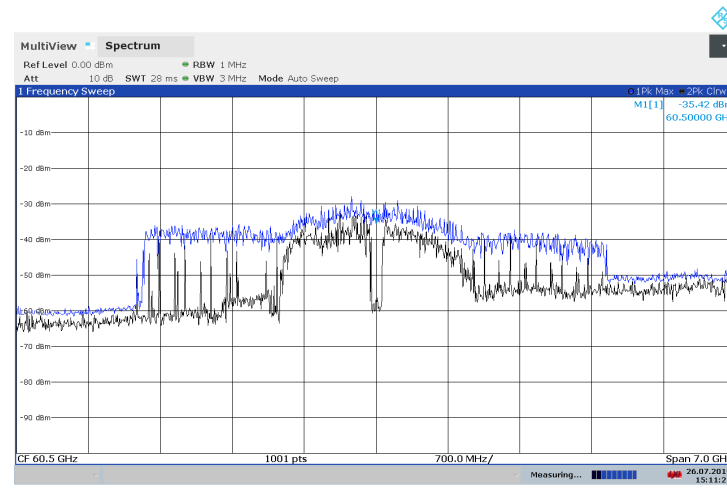
16:15:35 26.07.2019

付図 10 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 1, 与干涉側 10 台



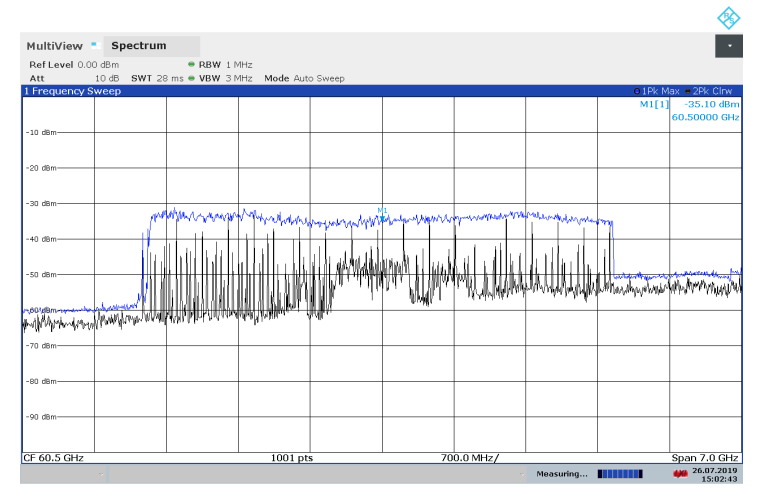
15:24:09 26.07.2019

付図 7 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 2, 与干涉側 1 台



15:11:22 26.07.2019

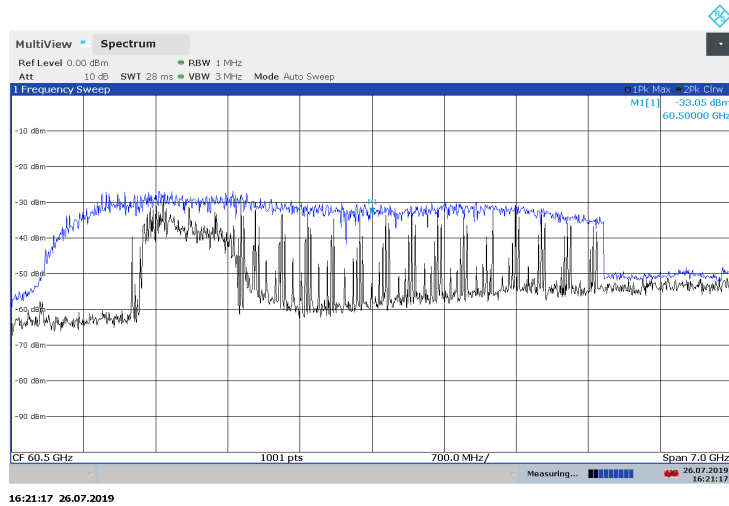
付図 9 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 2, 与干涉側 5 台



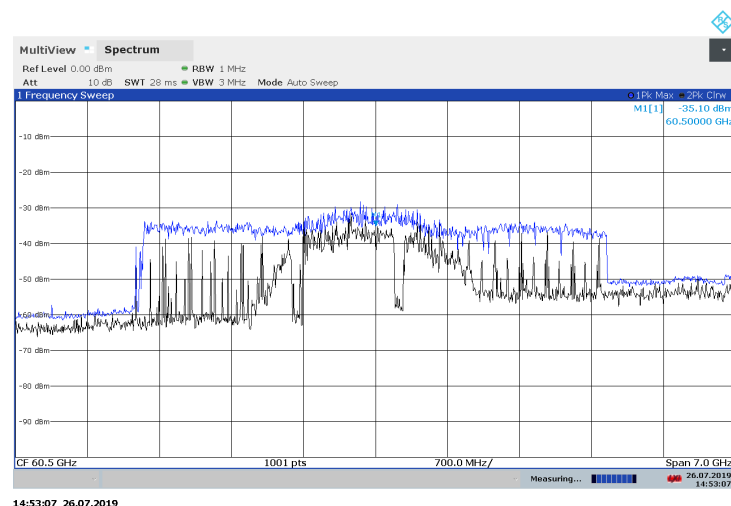
15:02:43 26.07.2019

付図 11 与干涉距離 1.5m, WiGig CH 2, 与干涉側 10 台

WiGig 実機検証試験



付図 1 2 与干涉距離 2.0m, WiGig CH 1, 与干涉側10台



付図 1 3 与干涉距離 2.0m, WiGig CH 2, 与干涉側10台

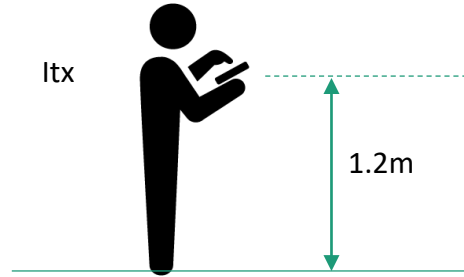
実機検証試験に用いた主な使用機材

機器名	型式等	製造会社等
WiGig 送信装置	ThinkPad WiGig Dock	IBM
WiGig 受信装置	ThinkPad X1 Tablet	Lenovo
スペクトラムアナライザ	FSW85	ROHDE & SCHWARZ
Standard Horn Antenna	SAR-2507-15-S2	SAGE
Low Noise Amplifier	SBL-5037533550-1515-E1	SAGE

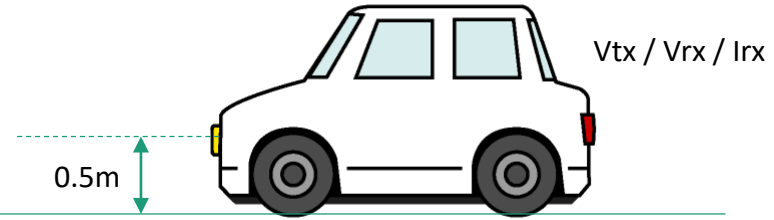
2 - 1 車載レーダー

特定小電力機器 ～ ミリ波レーダー

ミリ波帯センサーシステムの電波を受信する際の受信電力と自電波の受信電力の比較



人が携帯端末を持っている地上高を1.2mと設定



自動車のレーダー位置を地上高0.5mと設定

シミュレーションに用いたパラメータを示す。なお、被干渉側のパラメータは平成27年陸上無線通信委員会報告書に記載の値を採用した。

与干渉装置送信 I_{tx}	周波数	f_i	60.48	GHz
	送信電力	P_{it}	10	dBm
	送信アンテナ利得	G_{ait}	3	dB
	距離	D_i	1~120	m
I_{rx}	受信アンテナ利得	G_{air}	40	dB

被干渉装置送受信 V_{tx}/V_{rx}	周波数	f_v	60.48	GHz
	送信電力	P_{vt}	3	mW
	送信アンテナ利得	G_{avt}	40	dB
	空中線半値角	HPA	5.2	deg.
	反射断面積	σ	10	m ²
	距離	D_v	20	m
	受信アンテナ利得	G_{avr}	40	dB
	帯域幅	B_{rx}	1	kHz
	検知距離	R	1~120	m
	スキャン角度		+/- 14	deg.
	大気減衰量	L_a	0	dB
	降雨減衰量	L_r	0	dB
	受信機雑音指数	NF	10	dB
所要C/N	CNreq	3	dB	

所要CNRは、希望波受信電力(S)と干渉波受信電力(I)が同値の場合、障害物検出が困難なことから、SIRマージンとして設定。

特定小電力機器 ～ ミリ波レーダー

計測対象との離隔距離を可変した際の反射受信電力とミリ波センサーシステムから受信する電力の比較を示す。

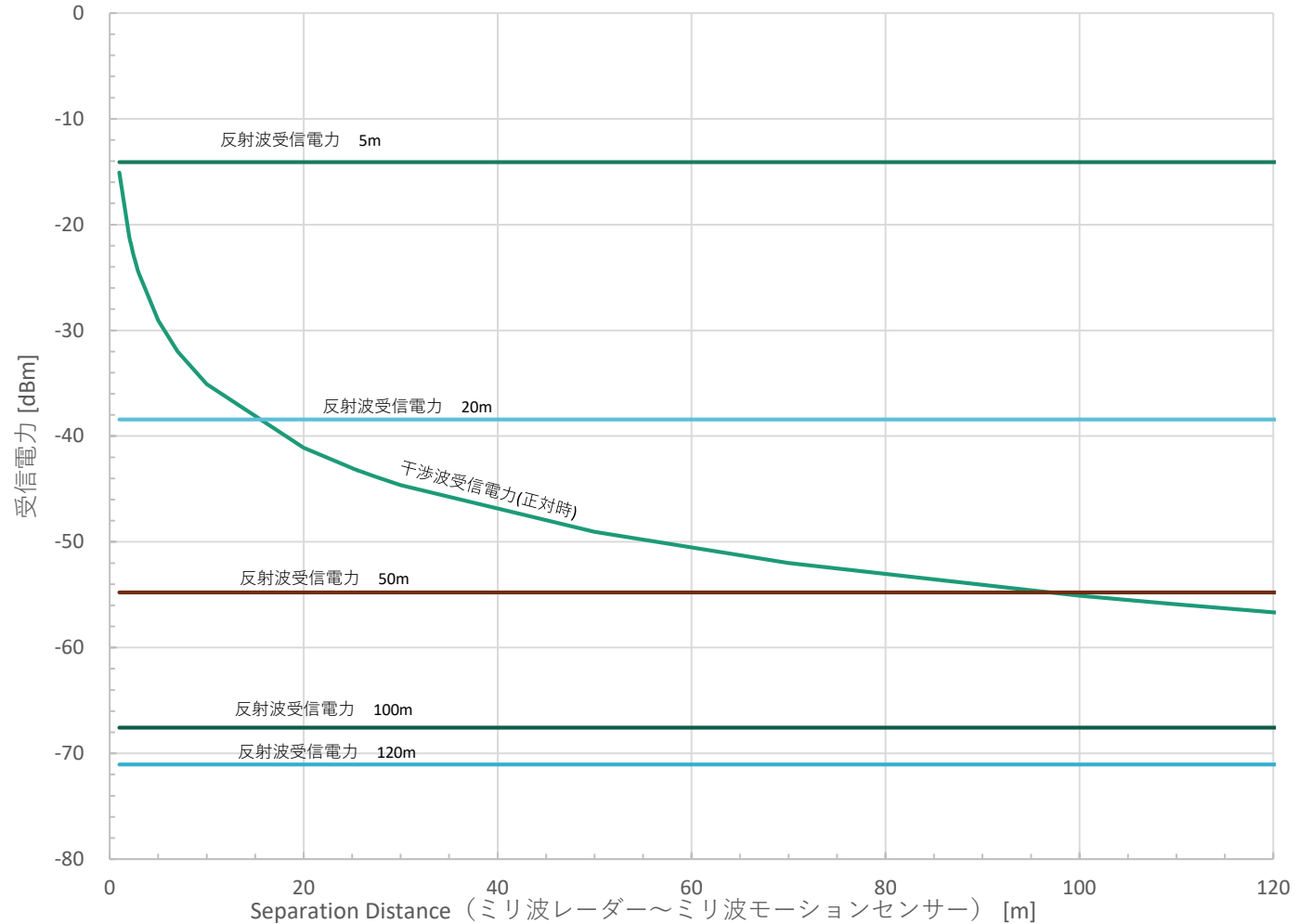
希望波（反射波）受信電力

$$P_r = \frac{\lambda^2 P_t G_r G_t \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_a L_r}$$

- P_r : 反射波受信電力 [dBm]
- λ : 波長 [m]
- P_t : レーダー空中線電力 [dBm]
- G_r : 受信アンテナ利得 [dBi]
- G_t : 送信アンテナ利得 [dBi]
- σ : 反射断面積 [m²]
- R : レーダー検知距離 [m]
- L_a : 大気減衰量 [dB]
- L_r : 降雨減衰量 [dB]

ミリ波センサーシステムがミリ波レーダーに正対する場合のミリ波レーダーが受ける干渉波電力は右図のとおり。

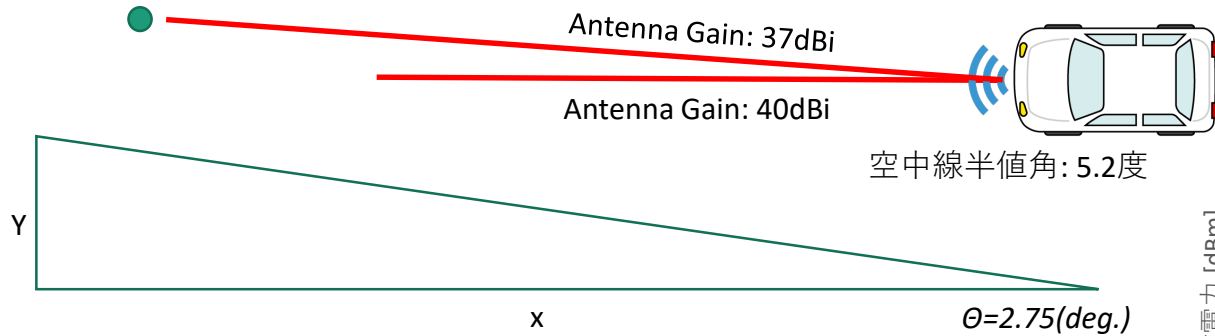
右図では、反射波による物体検出より干渉波電力による誤検出の可能性がみられる。



特定小電力機器 ～ ミリ波レーダー

ミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの横方向のズレに関する考察

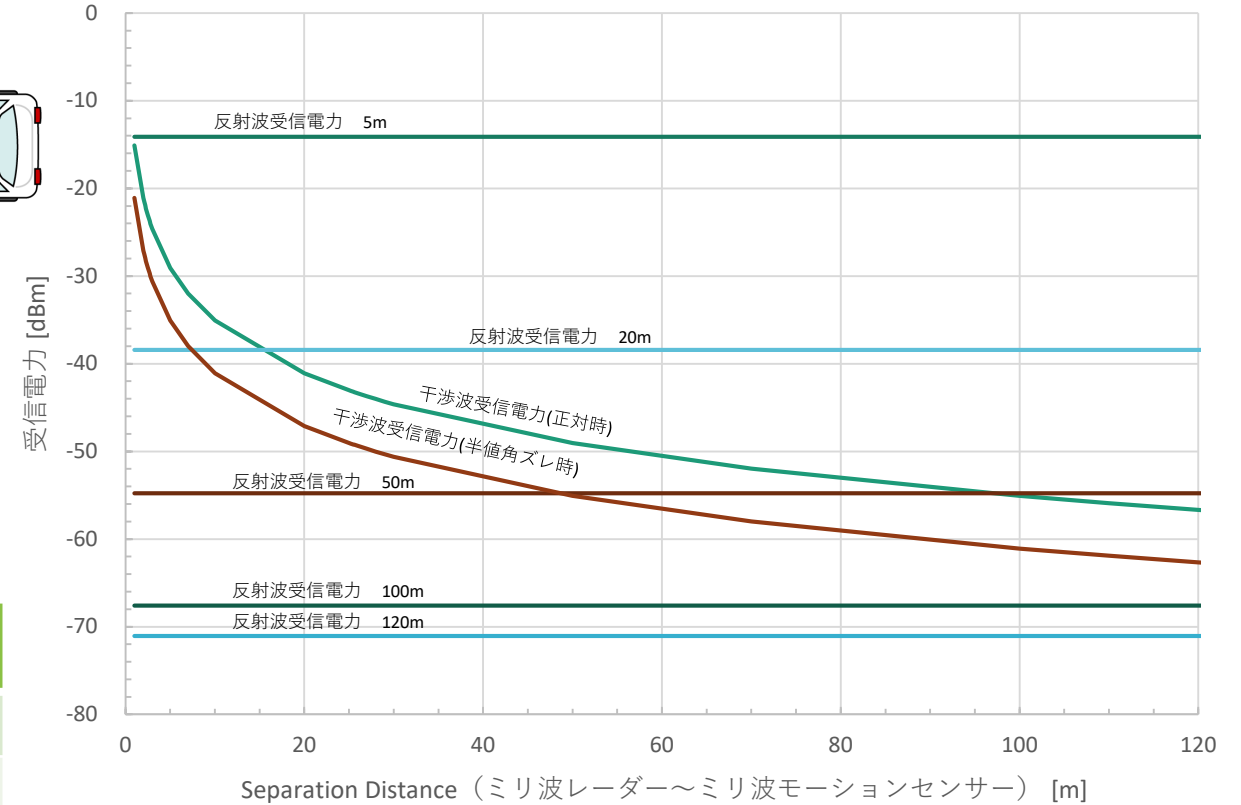
Eirp: 13dBm (正対時)、10dBm(半値角分ずれたとき)



X (m)	5	20	50	100	120
Y (m)	0.24	0.96	2.40	4.80	5.76

チャープ幅 (GHz)	レーダーとの重複率 (%)	センサーシステムON時 (3.3ms)に重なる時間 (msec.)	1サイクル(33ms)に重なる時間 (msec.)
7	7.1	0.234	0.023
4.5	11.1	0.366	0.037
0.5	100	3.3	0.33

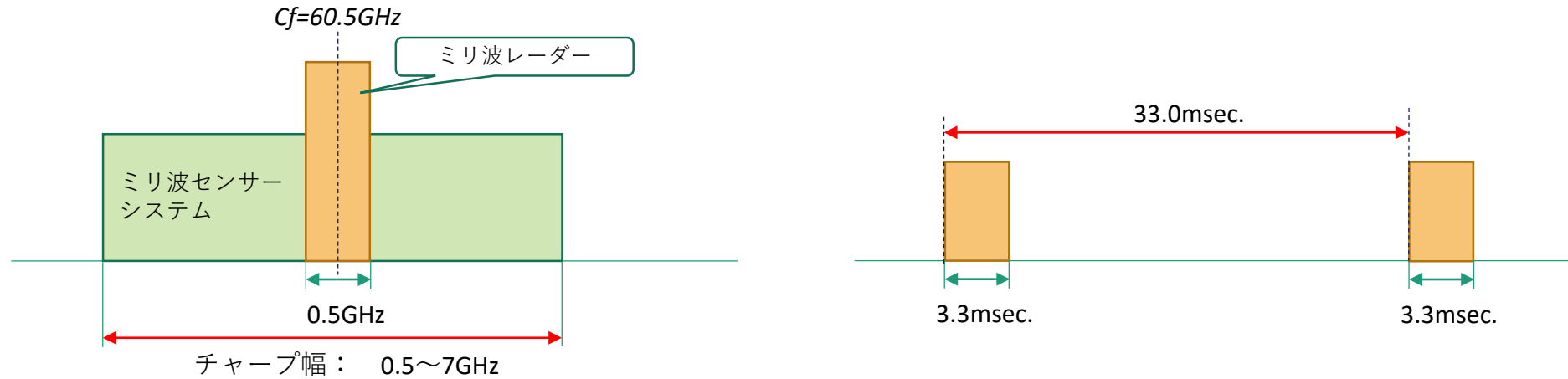
ミリ波センサーシステム側の空中線特性を考慮すると、干渉電力は正対時に比較し6dB低くなることから、正対時に検知距離20m時で14.7m、50m時で96.5m以下での離隔距離において干渉の影響がみられたが、半値角ずれることで、検知距離20m時で7.4m、50m時で48.35m以下と影響が緩和された。



歩道に立っている人が持っているミリ波センサーシステムを考えると、ミリ波レーダーシステムの空中線特性を考慮すると、電力半値角分ずれた方向での検討が必要であると考えられる。

特定小電力機器 ～ ミリ波レーダー

周波数軸及び時間軸で見た場合のミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの関係



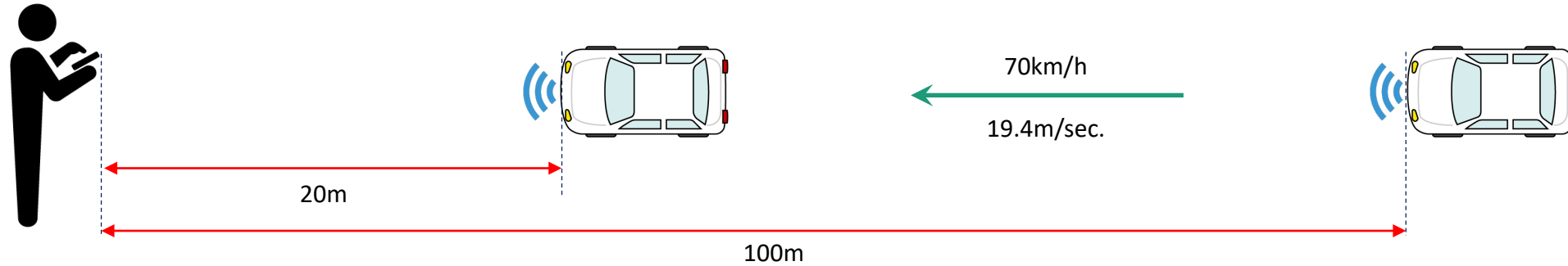
チャープ幅 (GHz)	レーダーとの重複率 (周波数軸) (%)	センサーシステムON時 (3.3ms)に重なる時間 (msec.)	1サイクル(33ms)に重なる時間率 (%)
7	7.14	0.236	0.71
4.5	11.11	0.367	1.11
0.5	100	3.3	10

ミリ波センサーシステムは7GHz幅までのチャープ変調であることから、ミリ波レーダーの占有周波数帯幅500MHzと重なる確率を求める。

また、ミリ波センサーシステムは送信時間率10%の制限で検討していることから、ミリ波レーダーと重なる時間率を計算すると左表のようになる

特定小電力機器 ～ ミリ波レーダー

走行する自動車に搭載されたミリ波レーダーが受ける干渉影響



自動車が時速70kmでミリ波センサーシステムとの距離100mから20mに近づいた時、80mを走行する時間は約4.12秒

$$4.12 \text{ (sec.)} / 0.033 \text{ (sec./cycle)} = 124.85 \text{ (cycle)}$$

1サイクル33msec.のミリ波センサーシステムは4.12秒間に約125サイクルとなるので、それぞれのチャープ幅における干渉時間は次の表のようになる

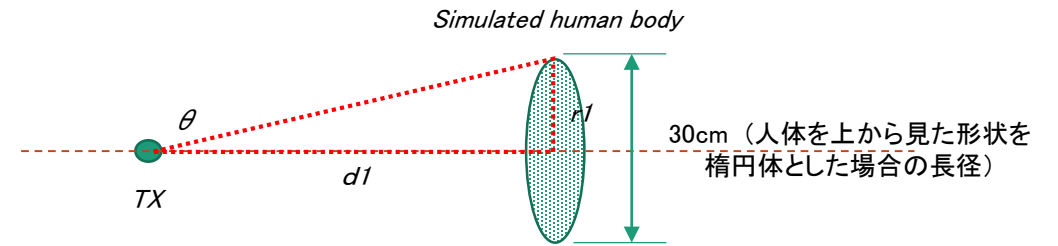
チャープ幅 (GHz)	1サイクル(33ms)に重なる時間 (msec.)	4.12(sec.)間の干渉影響を受ける時間(msec.)
7	0.236	29.5
4.5	0.367	45.88
0.5	3.3	412.5

ミリ波帯センサーシステムにおけるDuty Cycleとシャドーイングの関係等

- 図3に示す $d1$ を1m、 $r1$ を15cmとすると、 θ は約8.5度となる。この角度の意味は、8.5度以内であれば人体による遮蔽が期待でき、8.5度より広い場合は人体による遮蔽効果が薄いことを示す。
- ミリ波帯センサーシステムのアンテナ半値角を120度とすると、 θ との間には次の関係がある。
 - 0~ θ (度): 人体による遮蔽効果あり
 - θ ~60(度): 人体による遮蔽効果が期待できない
- ミリ波帯センサーシステムに対する、人体遮蔽率を表2に示す。
- Google Soliのユースケースから、ミリ波センサーシステムを見ながら指によるジェスチャー操作を行うときの人体からの距離は、肩から肘までの長さに近似すると仮定すると、25cm程度と考えられる。
- $D1$ が25cmの時は表2より人体遮蔽率は50%程度である。

ミリ波レーダーシステムとの干渉検討結果

- ミリ波センサーシステムがミリ波レーダーシステムに正対又はアンテナ半値角分ずれた位置での評価では、正対時に検知距離20m時で14.7m、50m時で96.5m以下での離隔距離において干渉の影響がみられ、半値角ずれることで、検知距離20m時で7.4m、50m時で48.35m以下と影響が緩和されたが、ミリ波レーダーへの影響があることが確認された。
- しかしながらこれらの検討条件は、ミリ波センサーシステムの実際の動作及び運用とは違う最悪条件での検討であることから、ミリ波レーダーシステムとミリ波センサーシステムの周波数及び時間軸での重なりでの考慮、人体シャドーイングによる影響を検討した。
- これらの緩和要素を考慮すると、ミリ波レーダーへの干渉波限定的であり、共用は可能であると考えられる。



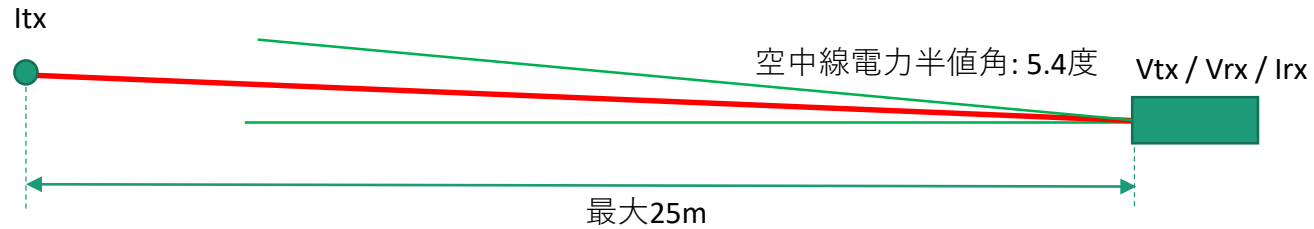
人体により遮蔽される面と遮蔽角(θ)の関係

TX~人体間の距離の変化による人体遮蔽率 ($r1 = 0.15$ m)

$d1$ (m)	θ (deg.)	アンテナ半値角: 120度に対する人体遮蔽率 (%)
1	8.5	14
0.5	16.7	28
0.26	30	50
0.2	36.9	61
0.15	45.0	75

2 - 2 踏切障害物検知装置

特定小電力機器 ～ 踏切障害物検知装置



シミュレーションに用いたパラメータを示す。なお、被干渉側のパラメータは平成27年陸上無線通信委員会報告書に記載の値を採用した。

与干渉装置送信 Itx	周波数	fi	60.48	GHz
	送信電力	Pit	10	dBm
	送信アンテナ利得	Gait	3	dBi
	距離	Di	1~25	m
Irx	受信アンテナ利得	Gair	28.5	dBi

被干渉装置送 受信 Vtx/Vrx	周波数	60.5	GHz	
	送信電力	10	mW	
	送信アンテナ利得	28.5	dBi	
	空中線電力半値角	5.4	deg.	
	反射断面積	0.001	m ²	-30dBsm
	距離	5,10,15, 20,25	m	
	受信アンテナ利得	28.5	dBi	
	雑音帯域幅	1	kHz	変調帯域幅 300MHz
	障害物検知最大距離	25	m	
	最小受信電力	-98.7	dBm/kHz	
レーダー最小受信電力	-131.7	dBm/Hz	マージンを含む最小受信電力	
受信機雑音指数	10	dB		
所要C/N	3	dB		

所要CNRは、希望波受信電力(S)と干渉波受信電力(I)が同値の場合、障害物検出が困難なことから、SIRマージンとして設定。

特定小電力機器 ～ 踏切障害物検知装置

計測対象との離隔距離を可変した際の反射受信電力とミリ波センサーシステムから受信する干渉電力の比較

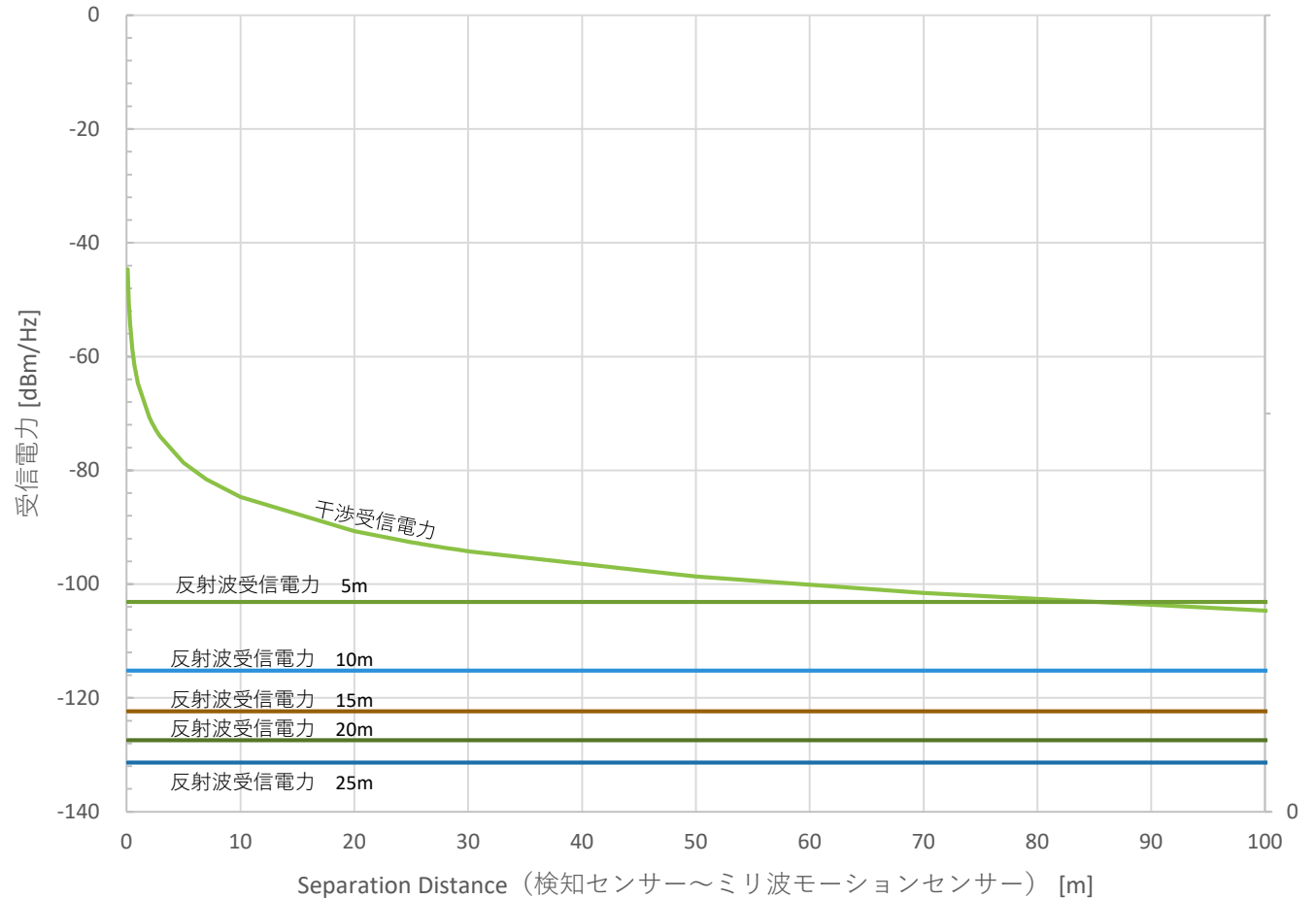
希望波（反射波）受信電力

$$P_r = \frac{\lambda^2 P_t G_r G_t \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_a L_r}$$

- P_r : 反射波受信電力 [dBm]
- λ : 波長 [m]
- P_t : レーダー空中線電力 [dBm]
- G_r : 受信アンテナ利得 [dBi]
- G_t : 送信アンテナ利得 [dBi]
- σ : 反射断面積 [m²]
- R : レーダー検知距離 [m]
- L_a : 大気減衰量 [dB]
- L_r : 降雨減衰量 [dB]

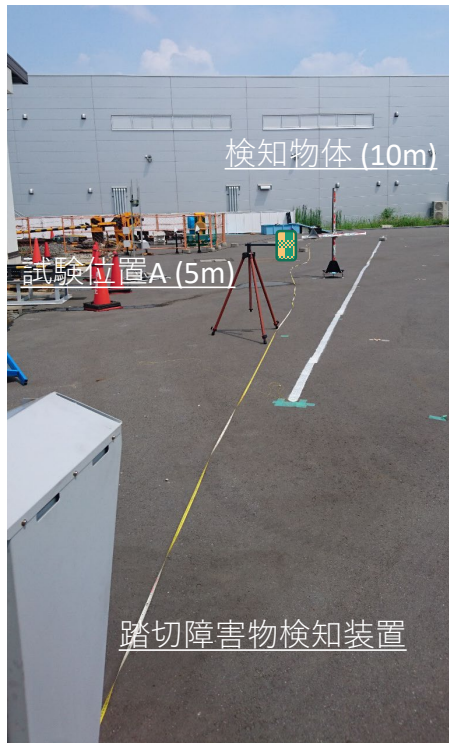
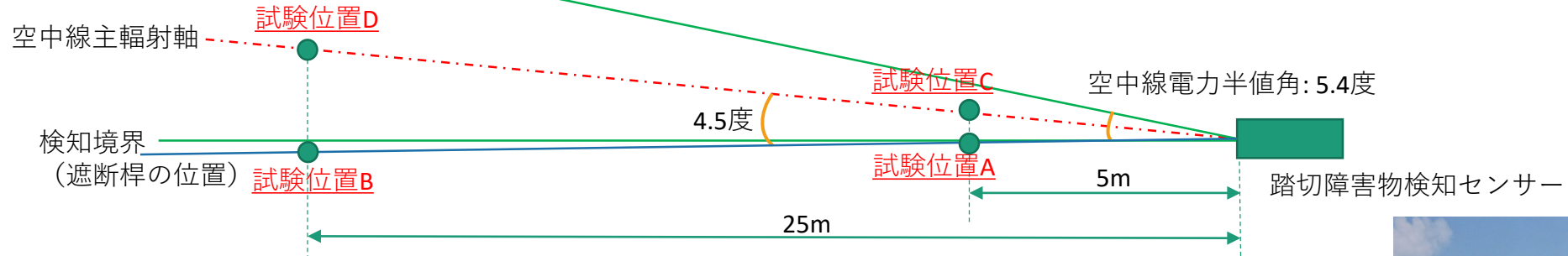
ミリ波センサーシステムが踏切障害物検知センサーに正対する場合の踏切障害物検知センサーが受ける干渉電力は右図のとおり。

右図では、反射波による物体検出より干渉波電力による誤検出の可能性がみられる。



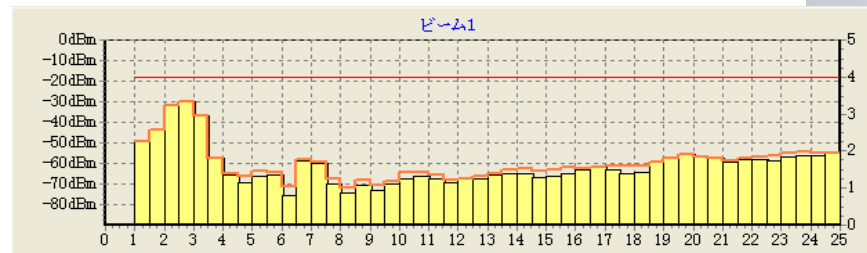
踏切障害物検知装置 実機検証試験

● : ミリ波センサーシステム



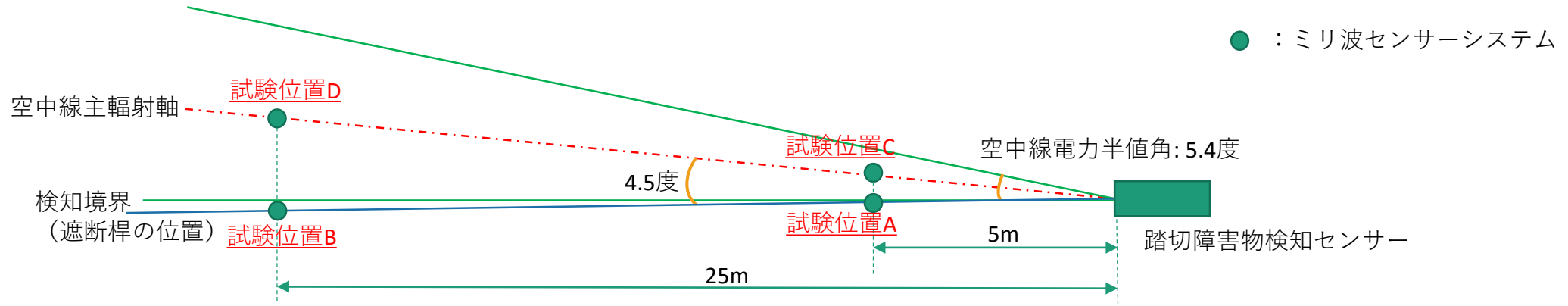
踏切障害物検知装置の一番外側のセンサーに対し、ミリ波センサーシステムを正対させ電波を発射させたときの踏切障害物検知装置への影響を評価する。

評価方法は踏切障害物装置が障害物を検知した際にその受信電力と検知距離をPCの画面に表示するソフトウェアを用いて実施する。



実施日: 2019/7/25 実施場所: 日本信号株式会社 屋外検証試験場 (埼玉県久喜市)

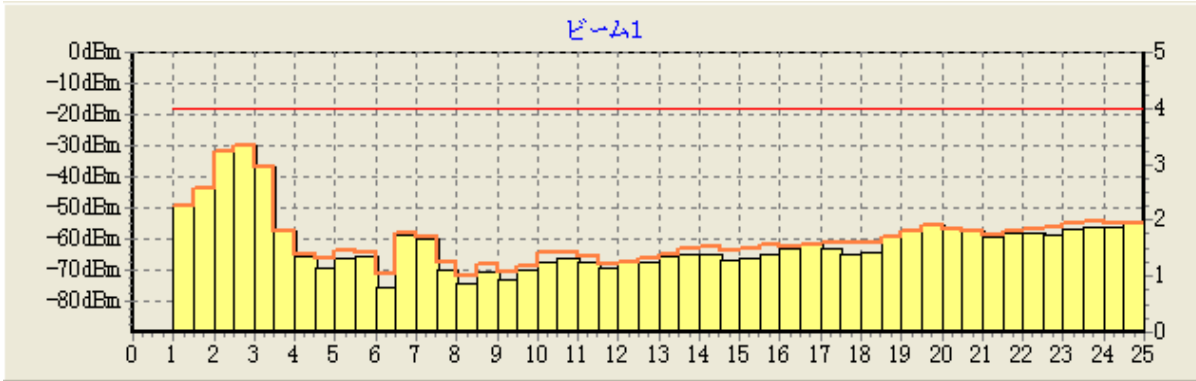
踏切障害物検知装置 実機検証試験



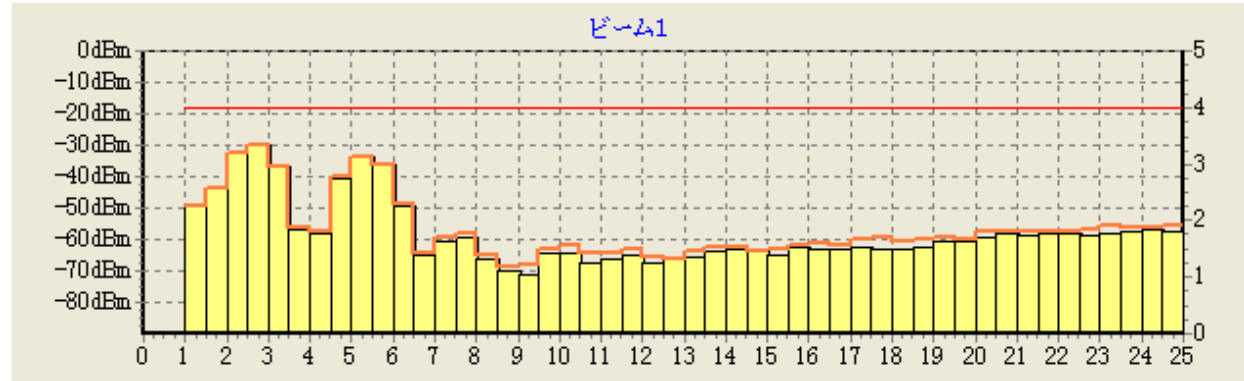
試験位置				A	B	C	D
				検知境界 (空中線電力半値角)		空中線主輻射軸上	
ミリ波センサーシステムとの離隔距離				5m	25m	5m	25m
ミリ波センサーシステム	RF OFF	リフレクタ	無	付図 2	付図 5	付図 7	付図 1 0
			有	付図 3	---	---	---
	RF ON	リフレクタ	無	---	付図 6	付図 8	付図 1 1
			有	付図 4	---	付図 9	---

ミリ波センサーシステムから踏切障害物検知装置への干渉の影響は認められなかった。これは、踏切障害物検知装置の論理部において検知範囲内に障害物があると判定する閾値-38dBmを超えることがなかったことを意味する。

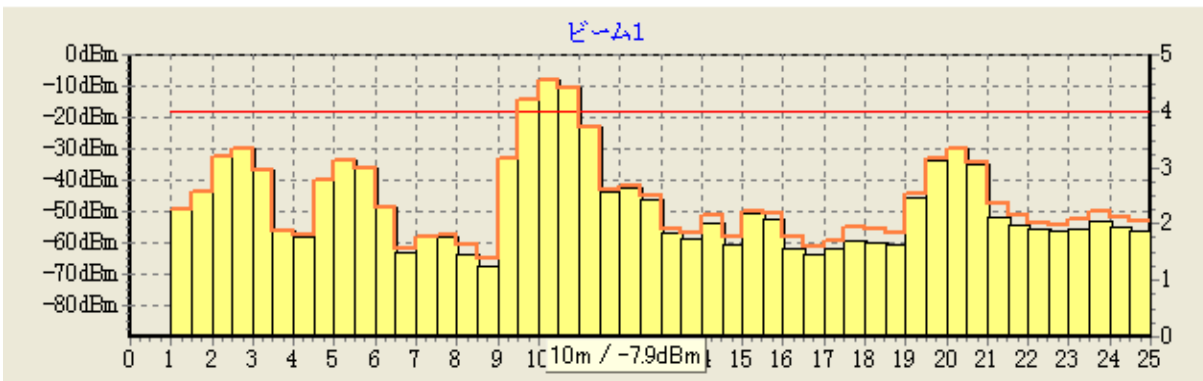
特定小電力機器 ～ 踏切障害物検知装置



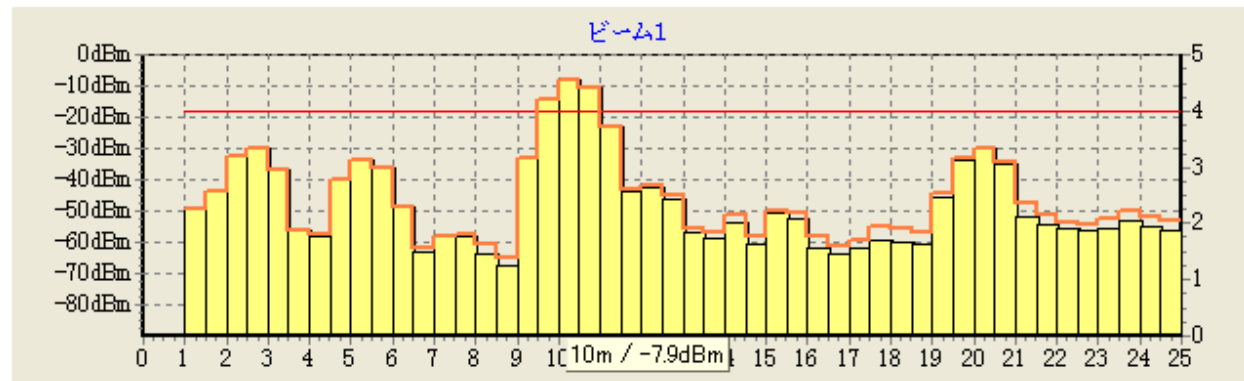
付図1 踏切障害物検知装置の検知範囲内に何も無い状態（リファレンス）



付図2 RF ON 離隔5m 横軸5mの周辺に盛り有り



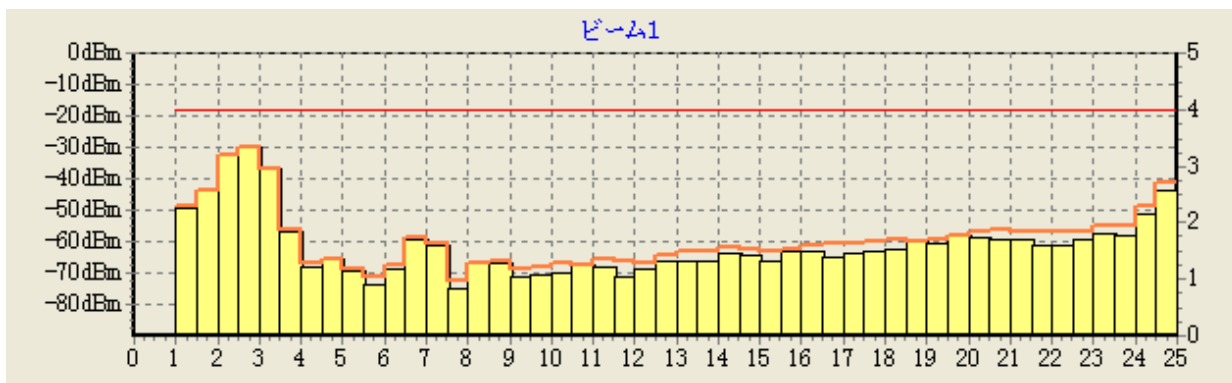
付図3 RF OFF 離隔5m リフレクター 10mに設置 横軸5m、10m及び20mの周辺に盛り有り



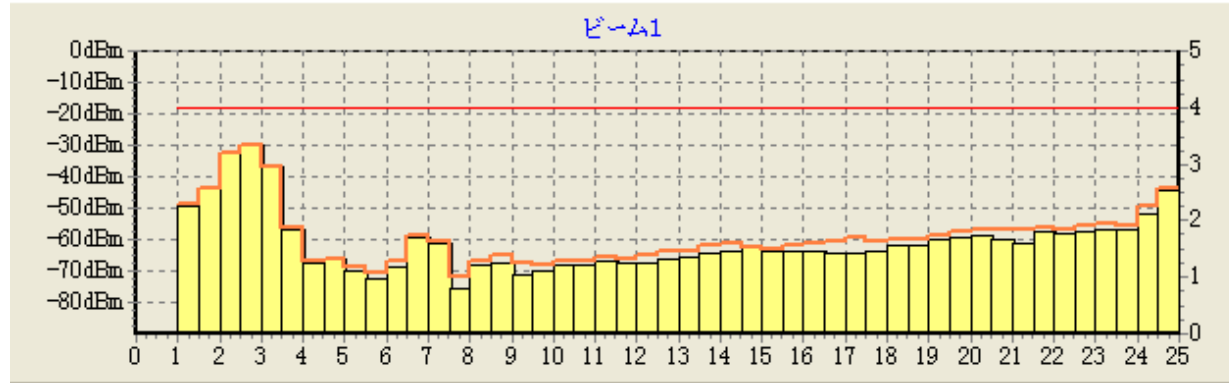
付図4 RF ON 離隔5m リフレクター 10mに設置 横軸5m、10m及び20mの周辺に盛り有り

ミリ波センサーシステムを遮断棒の外側から離隔距離5mの位置で踏切障害物検知装置に向けた状態。RFのON/OFFに関わらず、5m周辺の盛りりは変化なし。これは、RFのON/OFFの影響を受けておらず、ミリ波センサーシステムの筐体を検知していることを示している。

特定小電力機器 ～ 踏切障害物検知装置



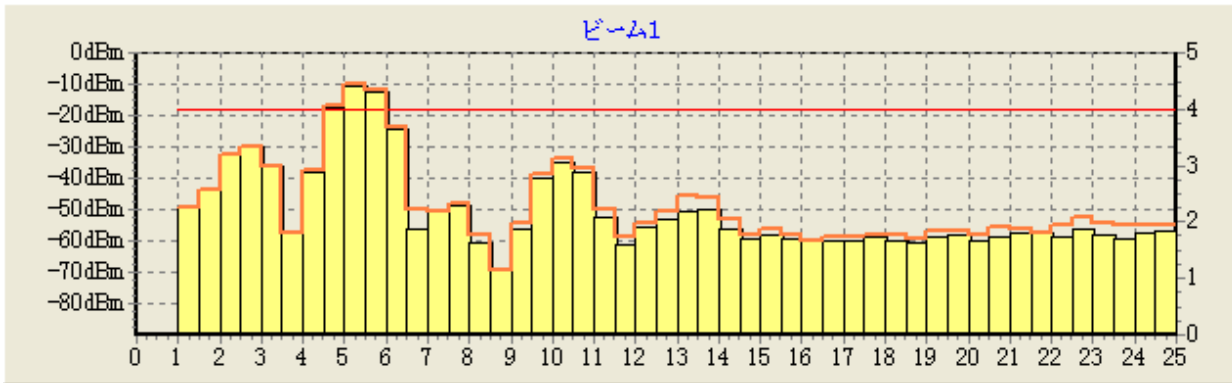
付図5 RF OFF 離隔25m 横軸20mの周辺に盛上り有



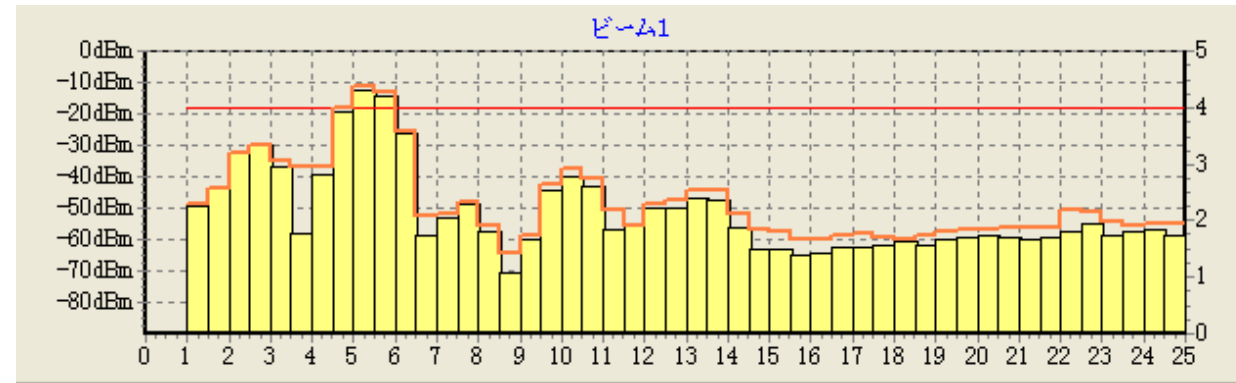
付図6 RF ON 離隔25m 横軸25mの周辺に盛上り有

ミリ波センサーシステムを遮断棒の外側から仕様上の最大検知距離25mの位置で踏切障害物検知装置に向けた状態。RFのON/OFFに関わらず、25m周辺の盛上りは変化なし。これは、RFのON/OFFの影響を受けておらず、ミリ波センサーシステムの筐体を検知していることを示している。

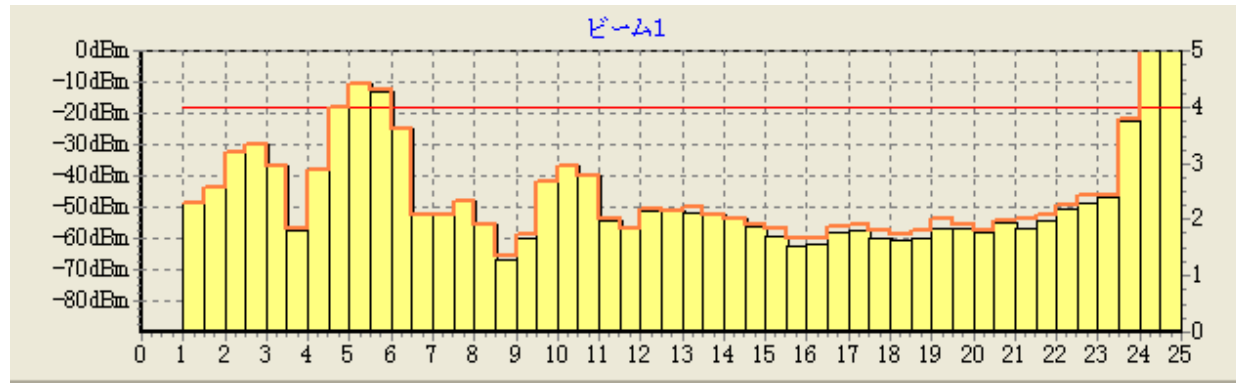
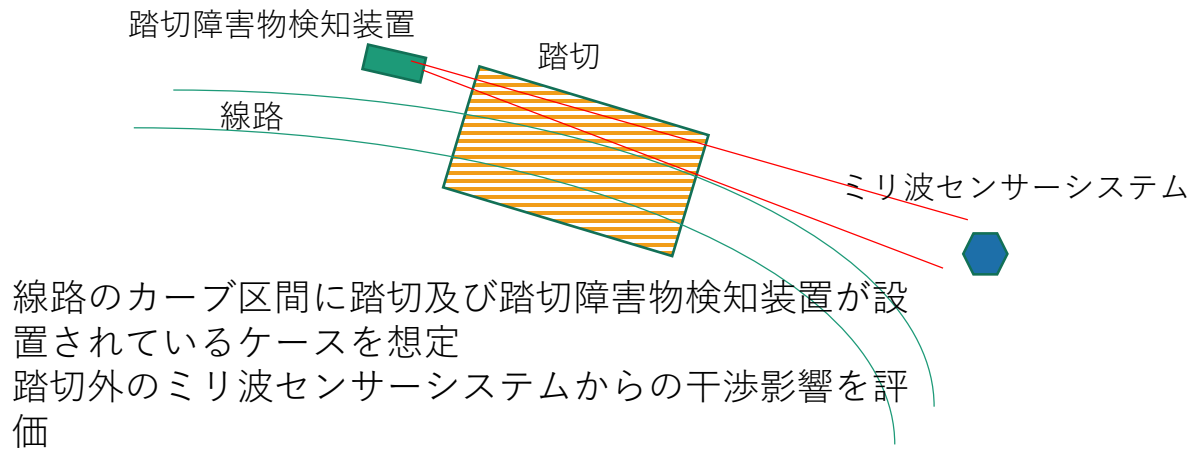
特定小電力機器 ～ 踏切障害物検知装置



付図7 RF OFF 離隔5m 横軸5m及び10mの周辺に盛り有り



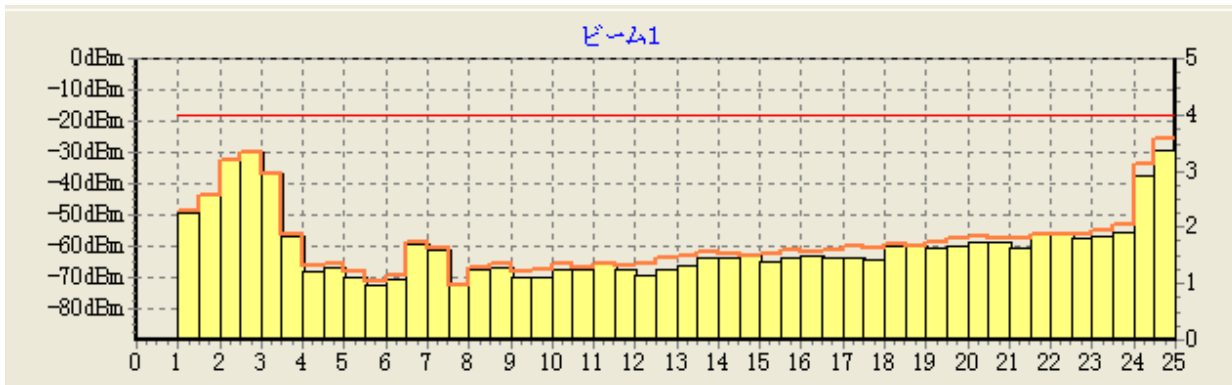
付図8 RF ON 離隔5m 横軸5m及び10mの周辺に盛り有り



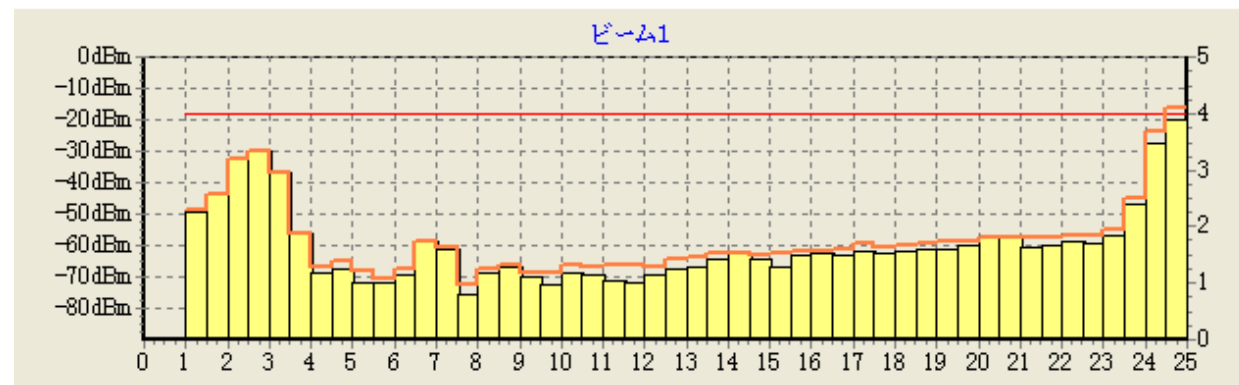
付図9 RF ON 離隔5m リフレクター 25mに設置 横軸5m及び10mの周辺に盛り有り

ミリ波センサーシステムを踏切障害物検知装置の空中線主輻射軸上に正対させた状態。RFのON/OFFに関わらず、5m周辺の盛りは変化なし。これは、RFのON/OFFの影響を受けておらず、ミリ波センサーシステムの筐体を検知していることを示している。RF ONの状態でも20m先のリフレクターを検知している。

特定小電力機器 ～ 踏切障害物検知装置



付図10 RF OFF 離隔25m 横軸20mの周辺に盛り有



付図11 RF ON 離隔25m 横軸25mの周辺に盛り有

ミリ波センサーシステムを踏切障害物検知装置の空中線主輻射軸上に正対させた状態。RFのON/OFFに関わらず、**25m周辺**の盛り有に大きな変化なし。これは、RFのON/OFFの影響を受けておらず、ミリ波センサーシステムの筐体を検知していることを示している。

3. 電波天文

電波天文 ～ シングルエントリーにおける干渉検討条件

- 45 m望遠鏡に対しての有害な干渉レベルは、Rec. ITU-R RA. 769-2に記載されているレベルを用いた。

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	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.
デューティサイクル	3.3 / 29.7 msec. (MAX.)
キャリアセンス機能	実装無し
帯域外放射 周波数	76.5 GHz/ 115 GHz
許容限度	-30 dBm/MHz

被干渉側 検討条件		
周波数帯域	76.5 GHz	115 GHz
場所	35.944482 N, 138.472451 E, 1350 m 標高	
保護基準	-196.5 dBm/MHz	-198 dBm/MHz
望遠鏡アンテナの干渉に対する利得	0 dBi	
時間の基準	2000秒の観測期間にわたって、指定された保護レベルを2%以上超えないようにするための干渉	

- 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しています。
- Rec. ITU-R RA. 769-2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ます。

電波天文 ～ 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/LOS）を算出した。

		76.5 GHz	115 GHz
離隔距離（屋外/LOS）		16.3 km	11.1 km
伝播モデル			
自由空間損失と大気吸収モデル*		$L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(f_{\text{GHz}}) + 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + \alpha(f_{\text{GHz}}) \times d_{\text{km}} + 92.45$ dB $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.13d_{\text{km}} + 140.12$ dB (76.5 GHz) $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.31d_{\text{km}} + 143.66$ dB (115 GHz)	
大気の減衰**	76.5 GHz	0.13 dB/km	
	115 GHz	0.31 dB/km	
人体におけるシャドーイング***		10 dB	

* $L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}})$ 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線形大気減衰（dB/km）です。

**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。

***ユーザーが被干渉側機器の方向を向いてデバイスを利用している場合には、放射の最大値は人体に向けられて放出され、また、ユーザーが被干渉側機器に対して反対側を向いている場合には、人体が与干渉機器と被干渉機器の間にあるため、さらなる減衰を引き起こします。また、いずれでない場合も、与干渉側のアンテナのサイドローブにあり、身体により部分的に遮られている可能性がある」と仮定。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「シャドーイングとDuty Cycleの干渉検討に与える影響について」

電波天文 ～ アグリゲーションモデルおよび干渉軽減要因

- 軽減モデルを用いて、屋内および屋外でのLOS/NLOS環境下での離隔距離および、各離隔距離内で閾値を超えるデバイスの台数を距離に応じて算出し、干渉影響について調査を行う。

アグリゲーションモデル	
離隔距離内の人口*	118,004
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%

軽減モデル	
壁損失	20 dB
直線見通し確率*	$P_{\text{LOS}} = \exp[-(d - 0.01)/(1 \text{ km})]$ d=[1、3、5、10] kmの場合、 $P_{\text{LOS}}=[37、5、0.7、0.005]\%$
枝葉による損失**	20 dB / km
デバイスの1日の利用時間***	10%
デューティサイクル	10%

【アグリゲーションモデル】

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

**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トダブル式モデルの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

【軽減モデル】

*3GPP TR38.901 <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3173>

** Ibid., section 6.2 https://wireless.engineering.nyu.edu/static-homepage/tech-reports/TR2014_003_vFinal.pdf

***https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1760.html

電波天文 ～ 離隔距離 屋内/屋外 (LOS/NLOS)

- 軽減モデルを用いた際の、屋内および屋外でのLOS/NLOS環境下での離隔距離は以下の通りとなる。

与干渉システム側の許容限度および被干渉側の保護基準より、離隔距離 d_{km} を算出した。

$$196.5 = L(d_{km}) + 30 \quad (76.5 \text{ GHz})$$

$$198 = L(d_{km}) + 30 \quad (115 \text{ GHz})$$

		76.5 GHz	115 GHz
屋外	LOS	16.3 km	11.1 km
	NLOS	1.2 km	1.15 km
屋内	LOS	2.0 km	1.6 km
	NLOS	0.6 km	0.5 km

屋外/LOS

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 0.13d_{km} + 140.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$$

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 0.31d_{km} + 143.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$$

屋外/NLOS

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 20.13d_{km} + 140.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$$

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 20.31d_{km} + 143.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$$

屋内/LOS

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 0.13d_{km} + 160.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$$

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 0.31d_{km} + 163.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$$

屋内/NLOS

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 20.13d_{km} + 160.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz}),$$

$$L(d_{km}) = 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 20.31d_{km} + 163.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz}).$$