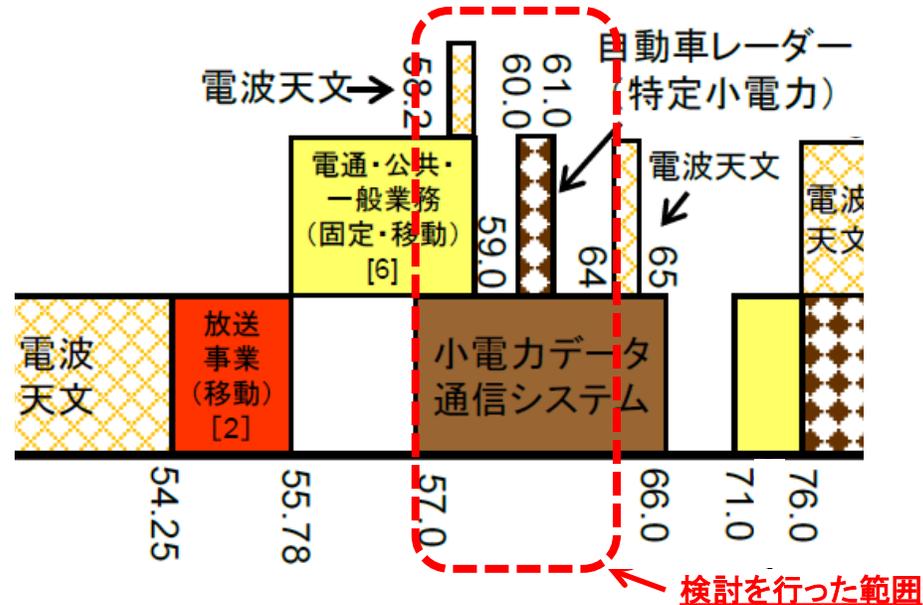


帯域内システム(57～64GHz帯)との干渉検討結果

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1回)

2019.5.29 株式会社ディーエスピーリサーチ

57～64GHz周辺における周波数割り当てと使用状況(抜粋)



57～64GHz帯を使用するシステムの内:

- 55.78～59GHz帯電通・公共・一般業務無線局は免許されていない局が存在しないため、共用検討は除外する
- 58.2～59GHz帯の電波天文については使用している受信設備がないため、共用検討は除外する

割当周波数等,	システム
57.0～66.0GHz 小電力データ通信システム	主に屋内及び居住区域で使用される データ・画像伝送 (WiGig、共聴システムなど) 主に屋外で使用される データ・画像伝送 FWA、など
60.0～61.0GHz 特定小電力(ミリ波レーダー)	車載レーダーなど ミリ波踏切障害物検知装置

帯域内システムと干渉検討の考え方

割当周波数等,	システム例		干渉検討の考え方
57.0～66.0GHz 小電力データ通信システム	主に 屋内利用	データ・画像伝送など (WiGigなど)	ミリ波帯センサーシステムはキャリアセンス機能の実装を想定していないため、複数台のミリ波帯センサーシステムが同時に動作した場合に、被干渉側設備のキャリアセンスがブロックされる影響及び、被干渉側機器が通信状態における評価を実施する。
		共同住宅共聴システムなど	アンテナの指向性はシャープであり、その指向性内にミリ波帯センサーシステムが入る可能性は低いと考えられるが、実機での影響評価を実施する。
	主に 屋外利用	データ・画像伝送など (WiGigの屋外版)	データ・画像伝送システム(伝送距離約200～500m): WiGigと同様の評価を実施。
		データ・画像伝送など (出力10mW以下、キャリアセンス機能なし)	ミリ波帯センサーシステムが人の立ち入れない場所に設置してあるデータ伝送システムに影響を与える可能性は低いためシミュレーションは行わない予定
60.0～61.0GHz 特定小電力 (ミリ波レーダー)	車載レーダー等		車載レーダーと正対した状態で離隔距離を可変した場合の影響を確認する
	ミリ波踏切障害物検知装置		遮断機が下りた状態で踏切内にミリ波帯センサーシステムが残存した場合、踏切障害物検知装置が先に人体を検知することが想定され影響は小さいと考えられる。 当該装置が設置されている踏切において、線路外から踏切障害物検知装置にミリ波帯センサーシステムが影響を与える可能性は低いと考えられるが、実機での影響評価を実施する。

与干渉側システム諸元及びアンテナモデル

与干渉側システムの諸元

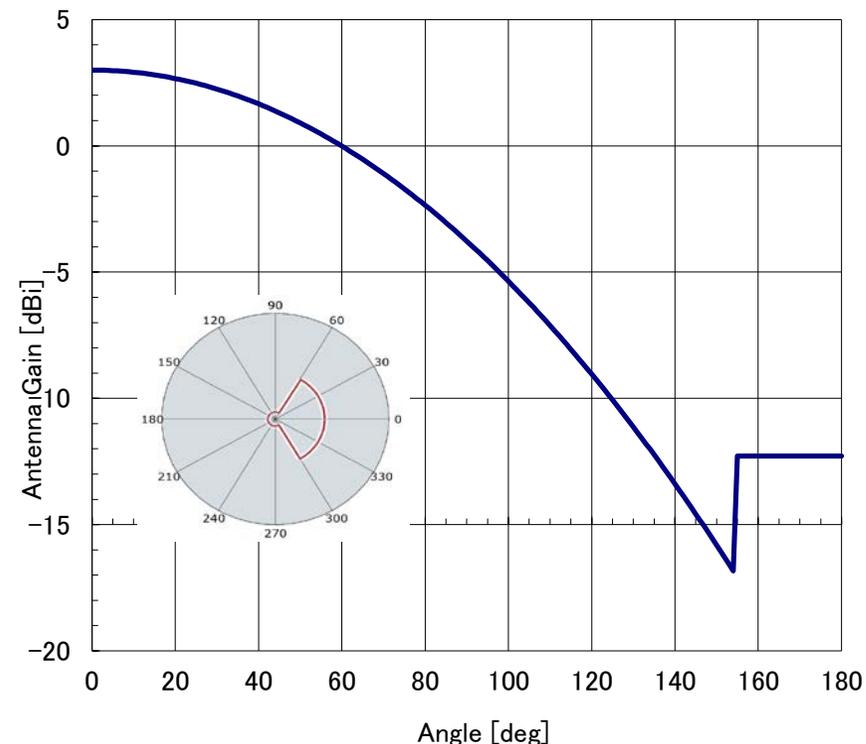
電波の型式	F3N
変調方式	FMCW
周波数	57 ~ 64 GHz
占有周波数帯幅	7 GHz
空中線電力	10 mW
等価等方輻射電力	+13 dBm
空中線半値角	+ / - 60 deg.
デューティーサイクル	3.3 / 29.7 msec. (MAX.)
キャリアセンス機能	実装無し

FCC 免責事項 (DA 18-1308A1) 発行日:2018/12/31

短距離間でのインタラクティブモーションセンサ端末の規定(15.255(C)(3))
における免責事項:

- ✓ 空中線電力(ピーク): 10dBm
- ✓ EIRP(ピーク): 13dBm
- ✓ 空中線密度(ピーク): 13dBm/MHz
- ✓ Duty Cycle : 最大10% (3.3ms/33ms)

FCC免責事項より該当箇所を参考のために抜粋した意識となります。詳細は原文を参照ください。
参照先:<https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-18-1308A1.pdf>



ミリ波センサーシステムのアンテナパターン(シミュレーション)

Beam= 120 [deg.], G= 3 [dBi], Sidelobe= 154 [deg.], -16.83 [dBi]

原文拔粹: FCC Waiver Order (DA 18-1308A1)

14. To ensure that harmful interference to authorized operations and other spectrum users will not occur, we impose explicit conditions on the installation, operation and certification of the Google Soli sensor under this waiver, as follows:

The Google Soli sensor shall be certified for compliance with all the technical specifications applicable to operation under 47 CFR. Part 15, with the exception of the following provisions in: 1) 47 CFR § 15.255(c)(3), which is waived to allow the device to operate in the 57-64 GHz band at a maximum +13 dBm EIRP, +10 dBm transmitter conducted output power, and +13 dBm/MHz power spectral density; and 2) 47 CFR § 15.255(b)(2), which is waived to allow the device to operate on-board aircraft while not being part of a closed, exclusive on-board communication networks within the aircraft. However, the Google Soli sensor shall comply with the prohibitions of use specified in 47 CFR § 15.255(b)(2)(i) and (ii).

The Google Soli sensor shall operate with a maximum transmit duty cycle of 10 percent in any 33 milliseconds (ms) interval (i.e., the Soli sensor will not transmit longer than a total of 3.3 ms in any 33 ms time period).

A copy of this Order shall be provided with the application for certification of the device.

57.0～66.0GHz 小電力データ通信システム

データ・画像伝送など(WiGigなど)(主に屋内利用)の干渉検討手順等

ミリ波帯センサーシステムにはキャリアセンス機能の実装を想定していないため、他のデータ・画像伝送システムの状態(待機中、送受信中など)に関係なく、電波の発射を行う

一方、データ・画像伝送システムが送信を開始しようとする時又は通信終了後から次の通信開始の間に、自らが送信を行おうとする周波数に、他の無線設備からの電波の発射がないことを確認(キャリアセンス機能)してから通信を開始することとなっている

キャリアセンス機能を持たないミリ波帯センサーシステムが送信をした際、データ・画像伝送システムのキャリアセンス機能に影響を与え続ける懸念

複数台のミリ波帯センサーシステムが同時に動作した場合:

ミリ波帯センサーシステム
の台数による影響及び所要
離隔距離の算出
(連続、複数台の同時送信)



送信デューティサイクル、
重なり周波数割合、アンテ
ナビーム幅の要因による所
要離隔距離短縮のための
検証
(複数台の送信)



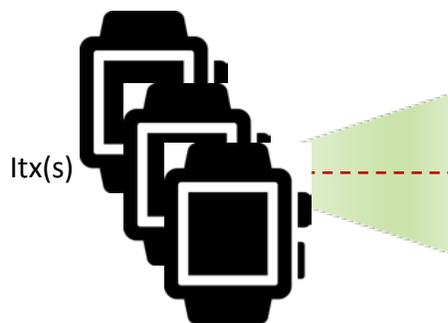
データ・画像伝送システム
の相互通信時距離対干渉
波所要離隔距離の算出
(1対1)

小電力データ通信システム ~ データ・画像伝送（屋内利用） キャリアセンス機能への検討

被干渉装置受信アンテナ端での受信電力限度値をキャリアセンスレベル-48dBm に設定し評価

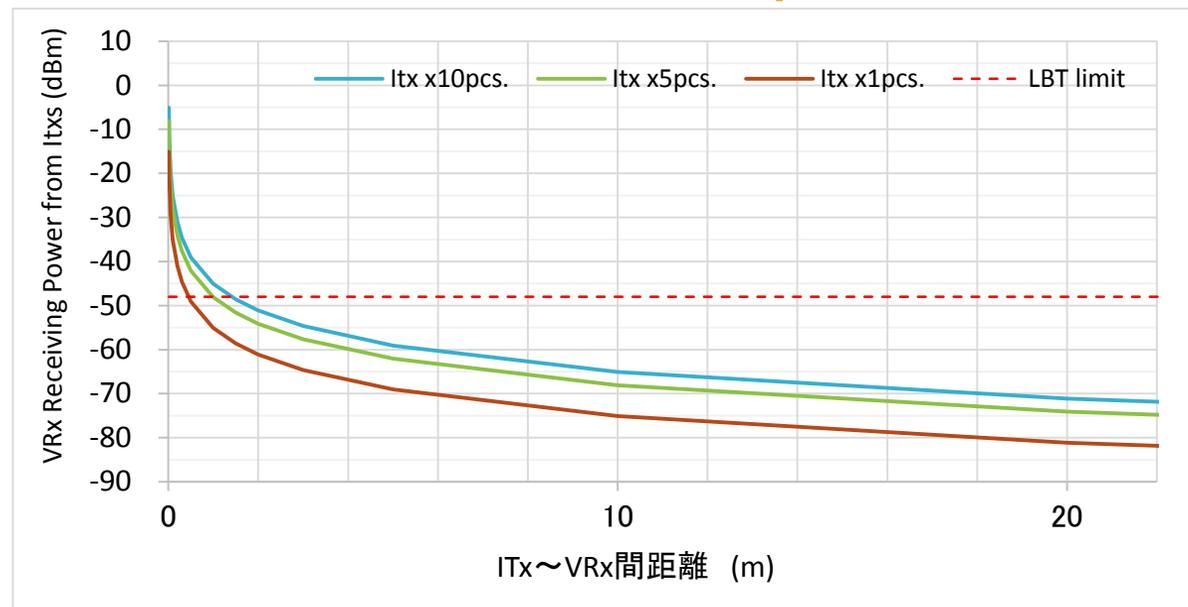
Specification of I_{Tx}	
f_{ITx}	60.48 GHz
P_{ITx}	10 dBm
G_{ITx}^{MAX}	3 dBi
Unit #	1, 5, 10

Specification of V_{Rx}	
f_{VRx}	60.48 GHz
BW_{VRx}	2.16 GHz
G_{VRx}^{MAX}	0 dBi *
NF_{VRx}	10 dB
CN_{req}	8.5 dB



空中線端での受信電力: -48dBm

Distance (r)



Friis Transmission Equation

$$P_r = G_t G_r P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

- I_{tx} は、設置台数に限らず、送信電力を台数分積算した。
(各端末の送信タイミングについては考慮していない)

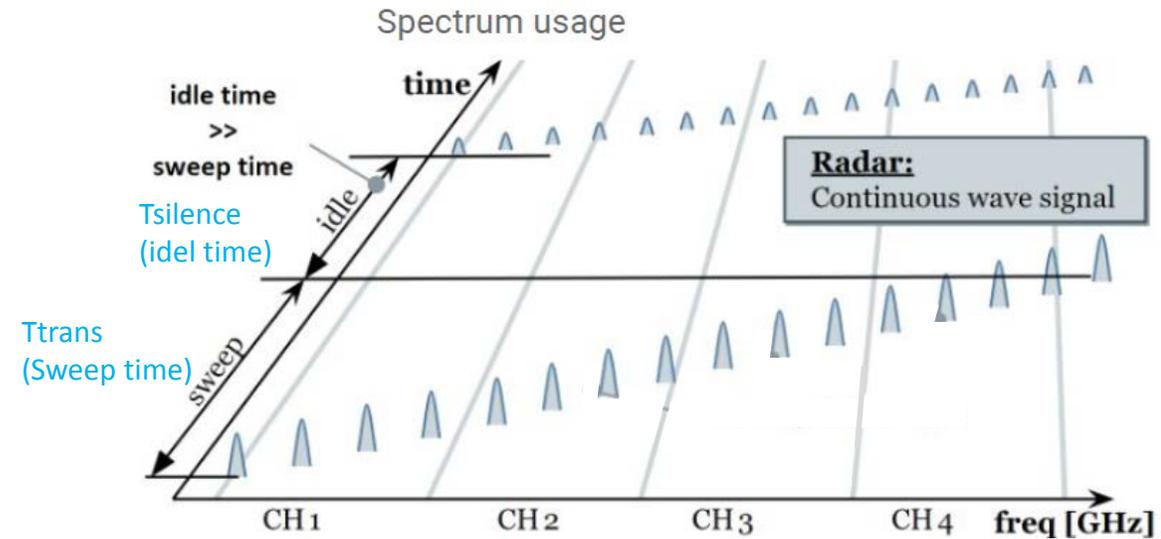
*: V_{Rx} のAntenna端面における電力を算出するため、 V_{Rx} のアンテナゲインは0dBiとして計算した

検討結果:

与干渉側装置が1台時 0.5m、5台時 1m、10台時 1.5mの離隔距離が必要との結果になったが、実運用では本シミュレーション条件の100%送信は行わないため、送信時間率等について検討を実施する。

WiGigのCCA(Clear Channel Assessment)がブロックされる確率の検討 (1/4)

- WiGigデバイス(DMG: Directional Multi Gigabit STA)はデバイス同士および他のシステムとの共用を図る為、パケットを送信する前にチャンネル内の信号電力レベルを一定時間 (T_{CCA}) 検知し、チャンネルが空いているかを確認するCCA (Clear Channel Assessment)という手順を実施する。
- 一方、同じ帯域において、Soliはレーダー信号を T_{trans} の間送信し、その後 $T_{silence}$ の間休止することを繰り返す。
- この時、WiGigデバイスはCCAの期間内にSoliの信号を検知して、CCAをクリアできない (CCAがブロックされる) 可能性がある。
- そこで、WiGig デバイスによるCCAがブロックされる確率 $P_{blockage}$ を検討する。検討には以下のパラメータを用いる：



例: Google Soli Radar System

WiGigデバイス(DMG STA)のパラメータ：

- $T_{CCA} = 3 \mu s$
- 1チャンネル(BW:2.16GHz)のエネルギーを測定する。

Soliのパラメータ：

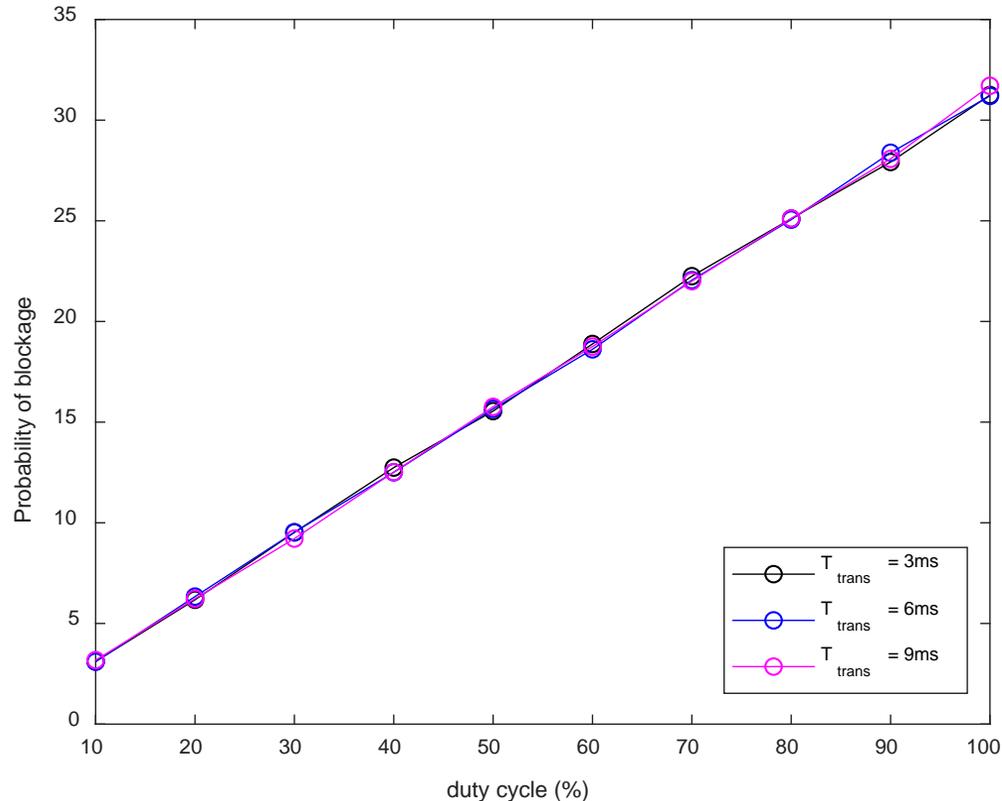
- 57GHzから64 GHzまで (7GHz幅)を T_{trans} 時間でスイープする (FMCW)

- ここで、 T_{CCA} は $T_{trans} + T_{silence}$ より十分に短いので、WiGigデバイスがSoliが使用中のチャンネルを検知する (CCAがブロックされる) 確率は概ね以下の式で表す事ができる。

$$P_{blockage} = 0.31 \frac{\text{Soli is transmitting in the channel}}{\text{Total interval}} = 0.31 \frac{T_{trans}}{T_{trans} + T_{silence}} = 0.31 \text{ Duty Cycle}$$

ここで、0.31はWiGigの1チャンネル帯域幅とSoliがスイープする帯域幅の比： $\frac{\text{WiGig BW}}{\text{Soli BW}} = \frac{2.16 \text{ GHz}}{7 \text{ GHz}} = 0.31$

検討結果



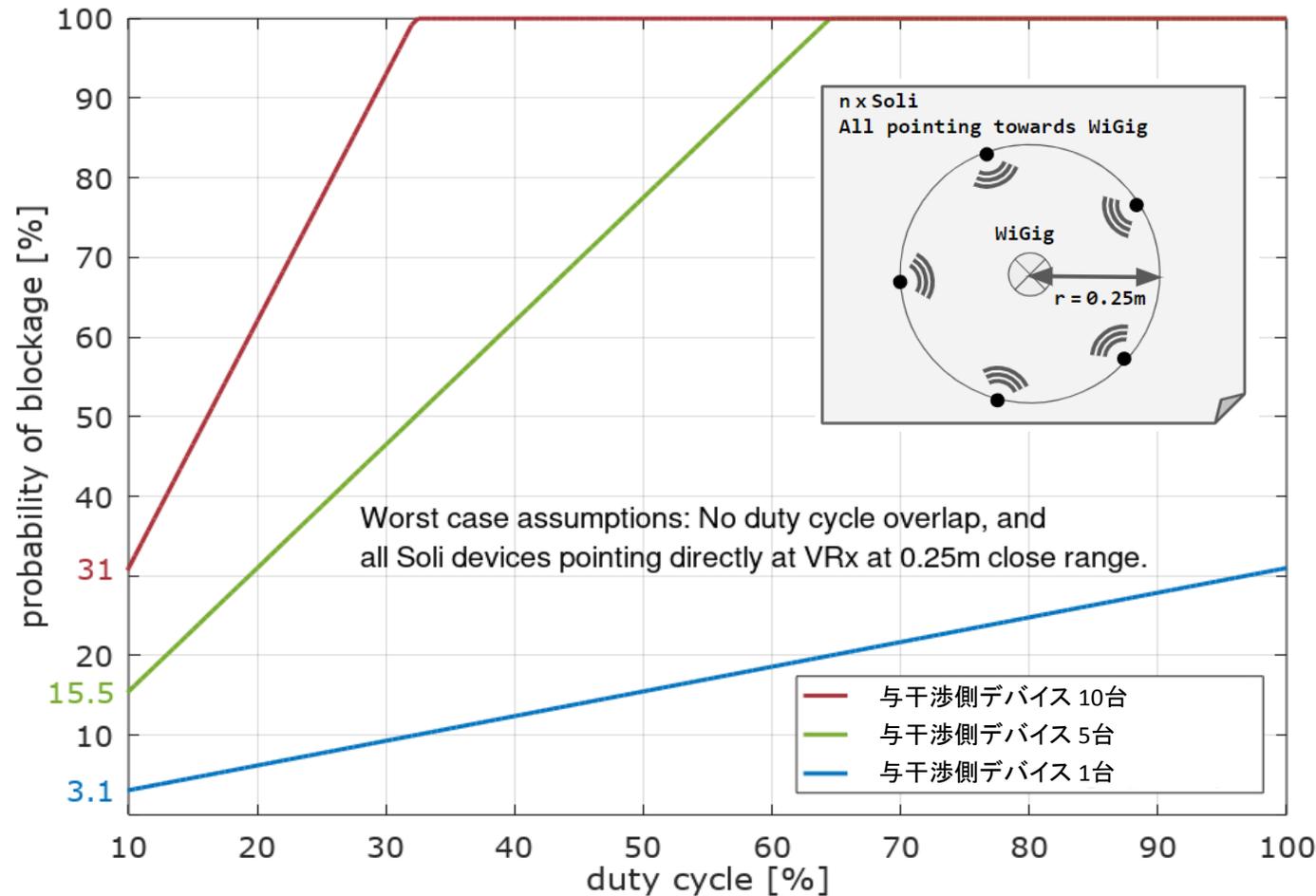
- 先の条件下 ($T_{CCA} \ll T_{trans}$: WiGigデバイスはCCAのプロセスの間、Soliの信号がチャンネル内に存在するときは必ずその信号を検知できる) では、CCAがブロックされる確率はDuty Cycleで決まる。
- 左図は T_{trans} をパラメータとしてCCAがブロックされる確率を示している。
- Duty Cycleを10%以下にすることによって、CCAがブロックされる確率は5%以下になる。WiGigデバイスとの共用を考えると、Duty Cycleは10%以下にするべきと考える。

WiGigのCCA(Clear Channel Assessment)がブロックされる確率の検討 (3/4)

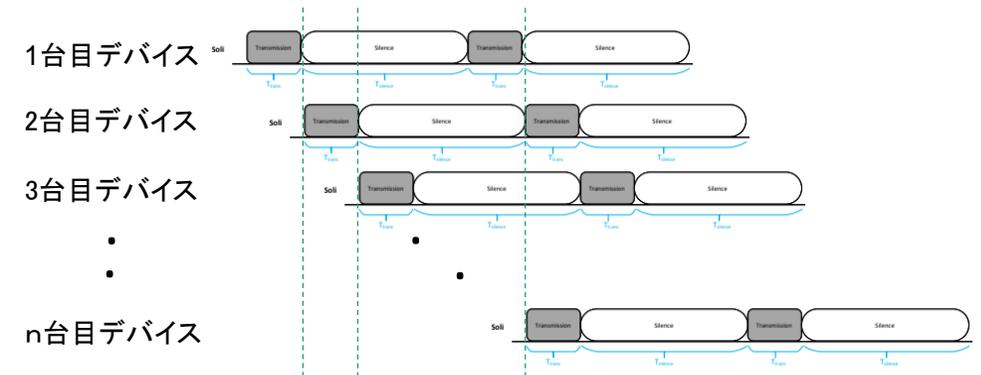
狭いエリアに配置された複数のSoliデバイスに対するブロッキング確率とデューティサイクル

複数の与干渉側デバイスの送信タイミングが全く重ならない状態(最悪条件)

すべてのデバイスは0.25mの離隔距離でVRxに対向している状態



送信タイミングが重ならないワーストケースの例



$$\text{CCAがブロックされる確率} = (1 - (1 - 0.31 \times dc)) \times n$$

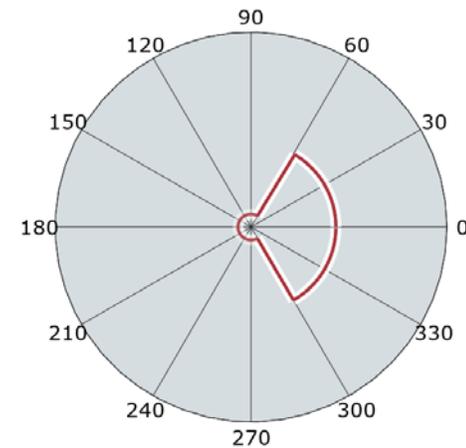
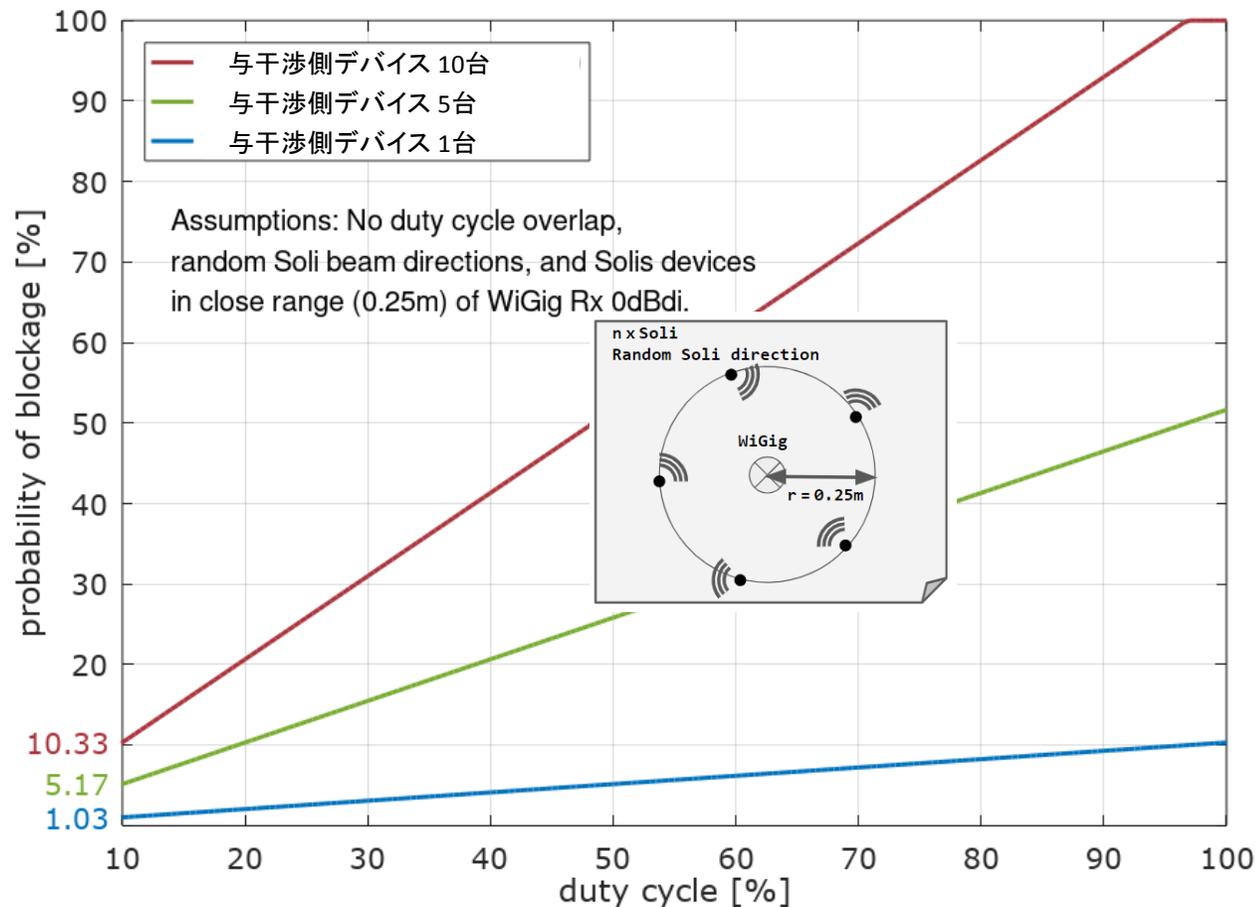
dc:: デューティ比,
n: Soliの台数,
0.31: 送信タイミングが重なる確率

WiGigのCCA(Clear Channel Assessment)がブロックされる確率の検討 (3/4)

限られたエリア(半径 0.25mの円)にランダムにSolisを配置

半径0.25mの空間におけるWiGigへの干渉の影響(キャリアセンスレベル閾値-48dBm超のブロック確率)

Soli 120度アンテナパターン=>対面VRxの確率=>ブロックされる確率は $3.1\% / 3 = 1.03\%$ となる

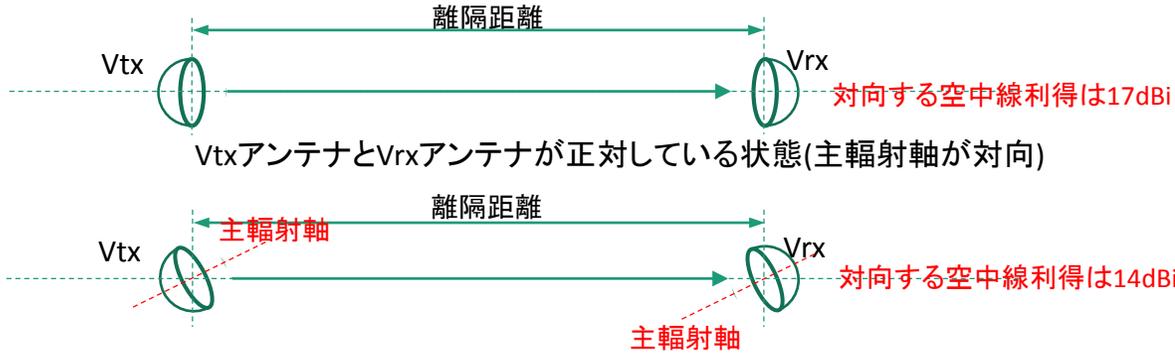


小電力データ通信システム ～ データ・画像伝送（屋内利用） 所要離隔距離の検討

WiGig通信時における与干渉装置との離隔距離の評価

条件: VTx~VRx: 正対及び電力半値角分ずらした場合

ITx~Irx: 正対



VTxアンテナとVrxアンテナがずれている状態(主輻射軸が半値角分相互にずれ)

Specification of VTx

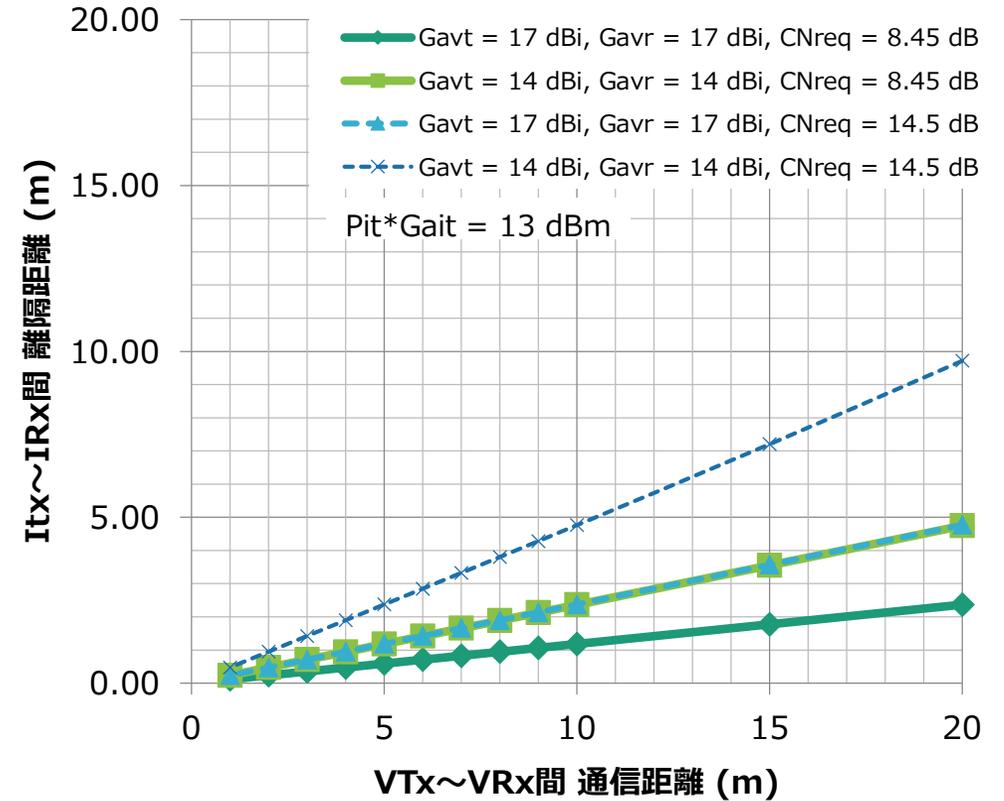
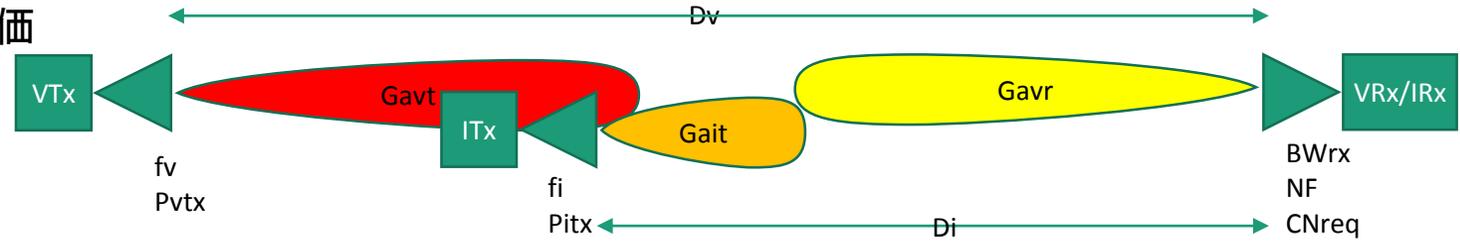
f_{VTx}	60.48 GHz
P_{VTx}	23 dBm
G_{avt}	17, 14 dBi

Specification of ITx

f_{ITx}	60.48 GHz
P_{ITx}	10 dBm
G_{ait}	3 dBi

Specification of VRx / IRx

	VRx	IRx
f_{VRx}	60.48 GHz	
BW_{Rx}	2.16 GHz	
G_{avr}	17, 14 dBi	17 dBi
NF_{Rx}	10 dB	
CN_{req}	8.45 dB (16QAM) 14.5 dB (64QAM)	



WiGigの通信距離に対する与干渉装置との所要離隔距離

IEEE 802.11adの仕様

Channel bandwidth and center frequency	2160 MHz 60.48 GHz
Signal bandwidth (-17 dBm transmit mask)	1880 MHz
Symbol rate ("SC chip rate" in 802.11ad)	1760 symbol/s
Symbol duration ("SC chip time" in 802.11ad)	1/1760 MHz = 0.56818 ns
Modulation	$\pi/2$ -BPSK $\pi/2$ -QPSK $\pi/2$ -16QAM $\pi/2$ -64QAM
Physical layer bitrate (no coding)	1760 Mbps 3520 Mbps 7040 Mbps 10560 Mbps
LDPC code rates	1/2, 5/8, 3/4, 13/16, 7/8
LDPC code word size	672 bit
LDPC coding gain (approx.)	Rate 1/2: 6.0 dB 5/8: 4.0 dB Rate 3/4: 3.2 dB 13/16: 2.8 dB 7/8: 2.0 dB
Physical layer bitrate (LDPC encoded data)	1155 Mbps (MCS1) ... 8850 Mbps (MCS12.6)
Block size (BPSK QPSK 16-QAM 64-QAM)	448 bit 896 bit 1792 bit 2688 bit
Block duration (encoded data only)	254.55 ns
Golay sequence preceding each block	64 BPSK symbols (64 bit) duration: 36.364 ns
Block duration (LDPC encoded data + Golay)	290.91 ns
Physical layer bitrate (LDPC encoded data + Golay)	385 Mbps (MCS1) ... 8085 Mbps (MCS12.6)

屋内利用のデータ伝送システム(WiGig等)への干渉検討結果

与干渉側装置が被干渉側装置の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、FM-CW変調方式であることから、実際にはキャリアセンスをブロックする可能性は 1.03～10.33%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場合状態でも、被干渉側装置の通信距離10m時に、5mの離隔距離を確保すれば共存できることを確認した。

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ロ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。これらの結果、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。

57.0～66.0GHz 小電力データ通信システム

データ・画像伝送など(WiGigの屋外版)(主に屋外利用)の干渉検討手順等

ミリ波帯センサーシステムにはキャリアセンス機能の実装を想定していないため、他のデータ・画像伝送システムの状態(待機中、送受信中など)に関係なく、電波の発射を行う

データ・画像伝送システムが送信を開始しようとする時又は通信終了後から次の通信開始の間に、自らが送信を行おうとする周波数に、他の無線設備からの電波の発射がないことを確認(キャリアセンス機能)してから通信を開始することとなっている

・キャリアセンス機能を持たないミリ波帯センサーシステムが送信をした際、データ・画像伝送システムのキャリアセンス機能に影響を与え続ける懸念

・中・遠距離通信用高指向性・高利得アンテナを使用するシステムへのアンテナ軸外からの入射の影響に対する懸念

データ・画像伝送システムの設置地上高とアンテナ特性(軸外方向からの受信)の関係に係る検討



ミリ波帯センサーシステムの台数による影響及び所要離隔距離の算出(連続、複数台の同時送信)



データ・画像伝送システムの相互通信時距離対干渉波所要離隔距離の算出(1対1)

屋外利用用途のデータ・画像伝送用データ・画像伝送 (WiGigの屋外版) アンテナモデル

屋外利用用途のデータ伝送用アンテナには、平成27年度陸上無線通信委員会報告(35頁)のモデルを採用

(4) アンテナモデル

与干渉システムおよび被干渉システムのアンテナは、IEEE802.15.3cのミリ波WPANタスクグループのチャンネルモデリングの基準アンテナモデルとして採用されたアンテナモデル※を適用した。このモデルは、アンテナの電力半値ビーム幅を設定することにより、メインローブパターンと平均化されたサイドローブレベルを得ることができるものである。

※I. Toyoda and T. Seki, "Antenna Model and Its Application to System Design in the Millimeter-wave Wireless Personal Area Networks Standard" NTT Technical Review.

The developed antenna model is formulated in terms of directivity gain $G(\theta, \phi)$ as follows: [5]

$$G(\theta, \phi)[\text{dBi}] = G_0 - 3.01 \cdot \left(\frac{2\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2 \quad 0 \leq \theta \leq \theta_{ml}/2 \quad (2)$$

$$G(\theta, \phi)[\text{dBi}] = -0.411 \cdot \ln(\theta_{3dB}) - 10.6 \quad \theta_{ml}/2 < \theta \leq 180^\circ \quad (3)$$

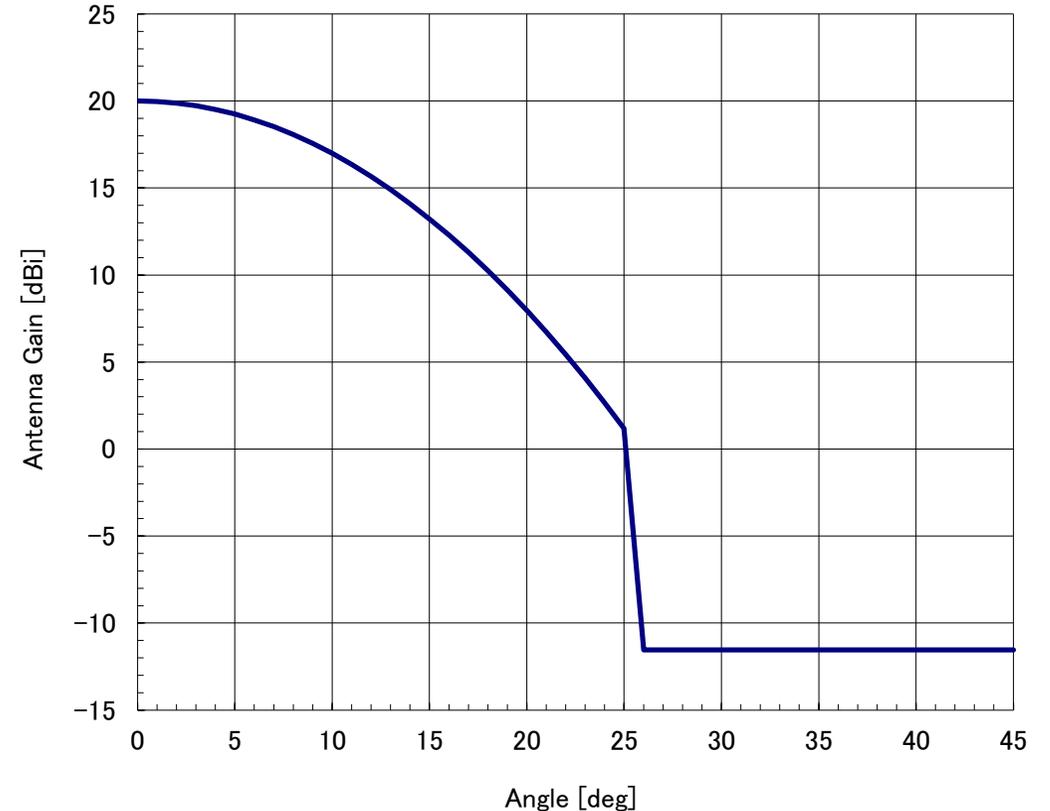
$$\theta_{ml} = 2.58 \cdot \theta_{3dB} \quad (4)$$

$$G_0 = 20 \cdot \log \left(\frac{1.62}{\sin(\theta_{3dB}/2)} \right) \quad (5)$$

where θ_{3dB} is the antenna's half-power beamwidth and θ_{3dB} is in units of degrees. Equations (2) and (3) give the directivity gains of the main and side lobes, respectively. Here, the directivity gain is not a function of ϕ , which means that the antenna has a rotationally symmetric beam.

図3-1.8 適用したアンテナモデルの定式

(NTT Technical Review "Antenna Model and Its Application to System Design in the Millimeter-wave Wireless Personal Area Networks Standard" より引用)



FWAシステムのアンテナパターンシミュレーションの例

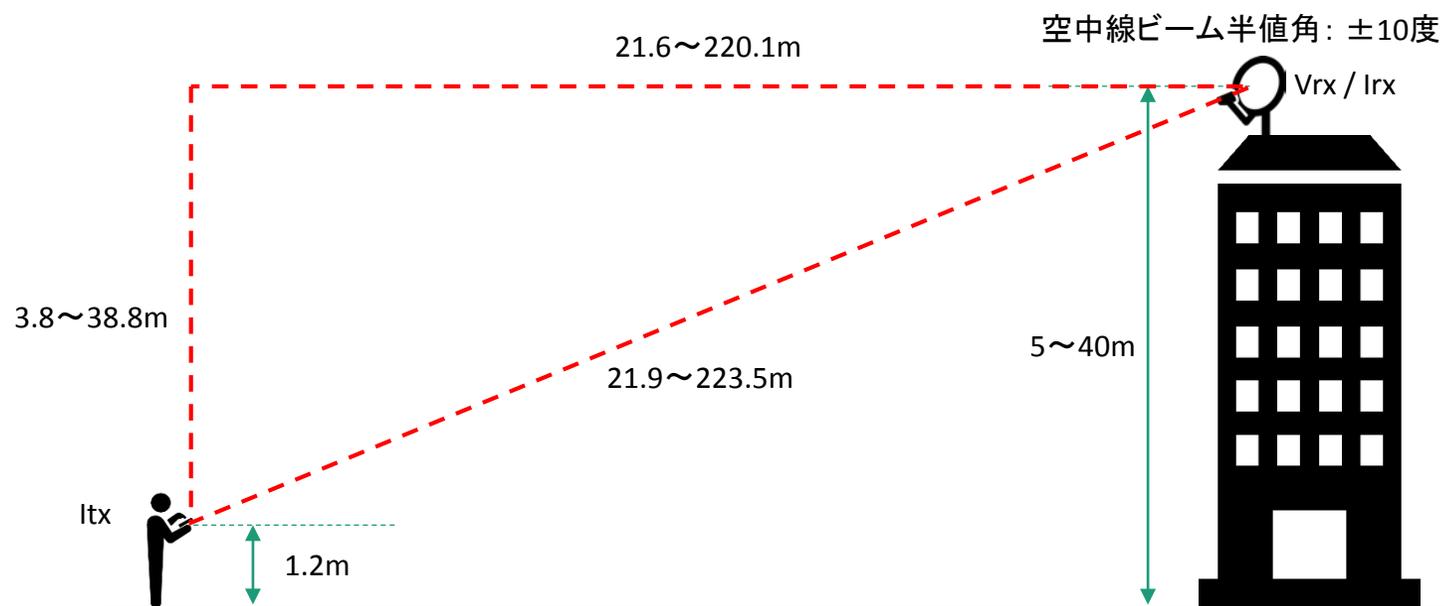
Beam= 20 [deg.], G= 20 [dBi], Sidelobe= 26 [deg.], -11.55 [dBi]
Beam= 20 [deg.], G= 20 [dBi], Sidelobe= 26 [deg.], 0 [dBi]

小電力データ通信システム ～ 画像・データ伝送（屋外利用）

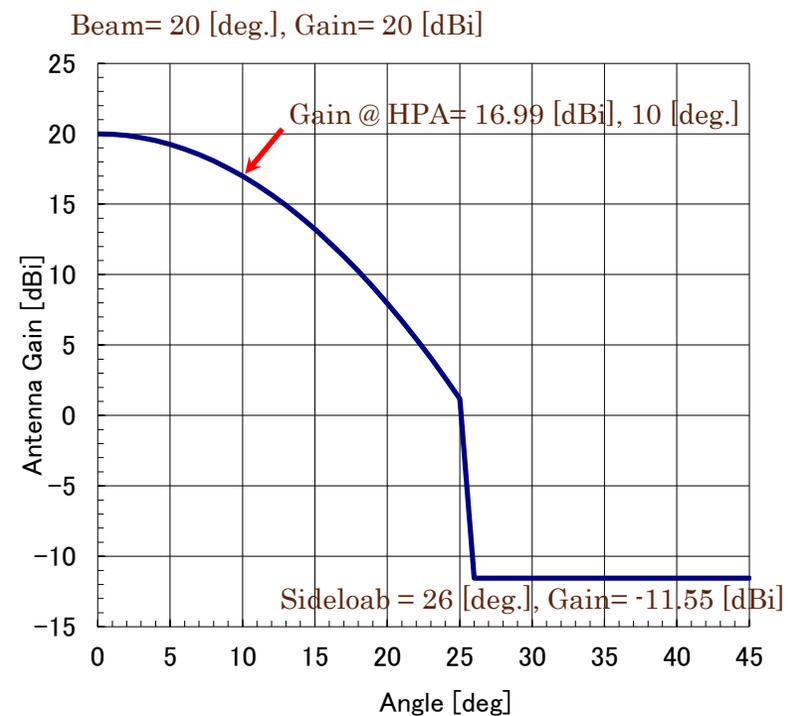
被干渉装置送受信 Vtx/Vrx	周波数	fv	60.48	GHz
	送信電力	Pvt	20	mW
	送信アンテナ利得	Gavt	20	dBi
	送信空中線電力半値角	HPAVtx	20	deg.
	受信アンテナ利得	Gavr	20	dBi
	受信アンテナ利得(10度)	Gavr10	16.99	dBi
	受信空中線電力半値角	HPAVrx	20	deg.
	帯域幅	Brx	2.16	GHz
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	所要C/N	CNreq	8.5	dB

シミュレーションに用いたパラメータを示す。

なお、被干渉装置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元に、屋外画像・データ伝送に採用されている標準的な値とした。



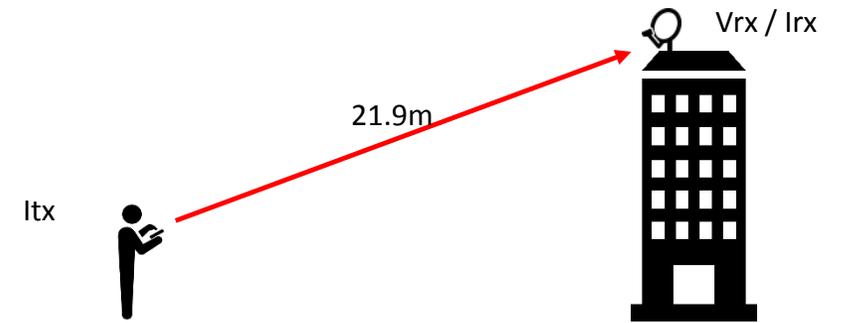
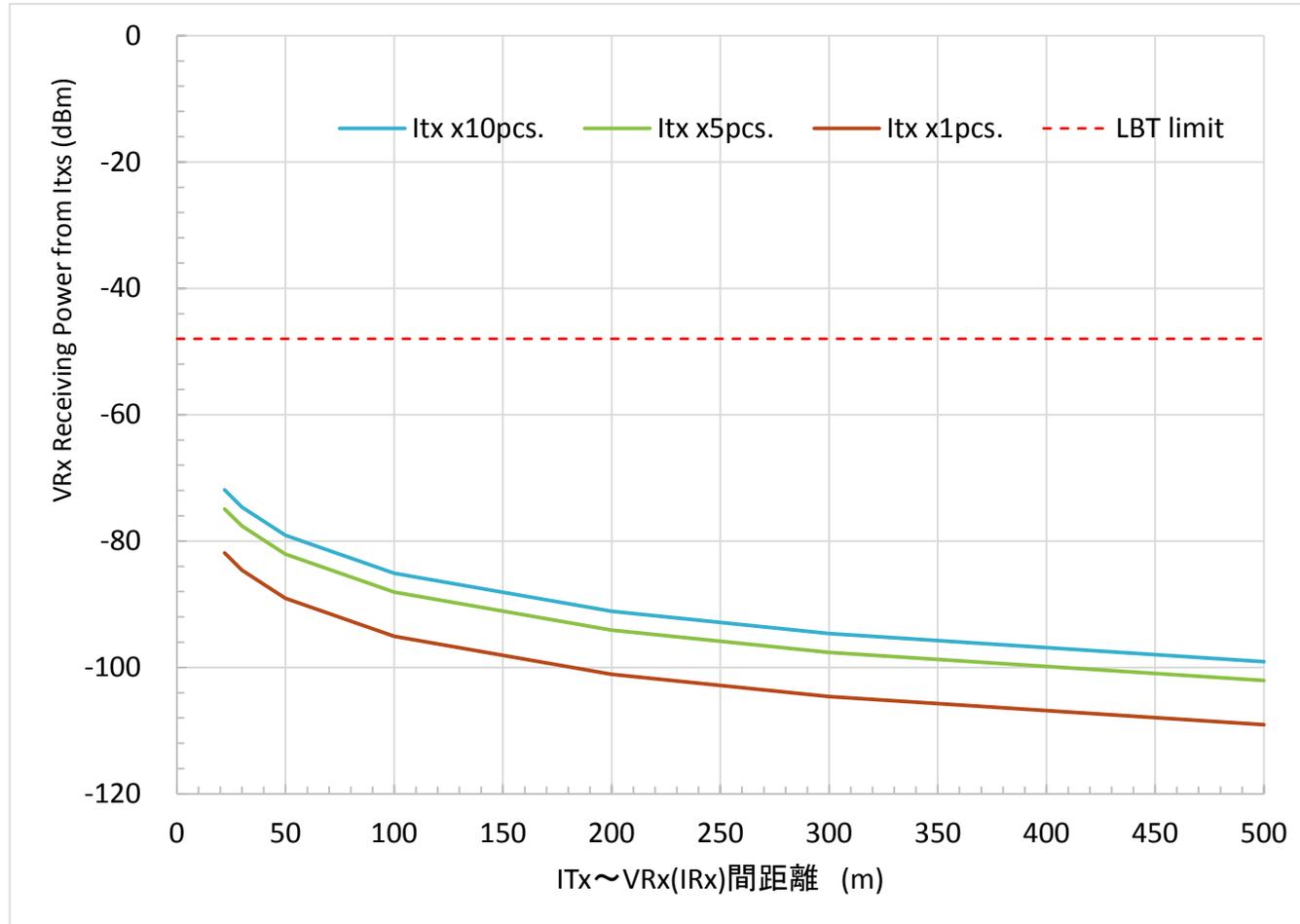
アンテナ設置高を一般的な電柱の架線高(5m)から10階建てのオフィスビル相当(40m)と仮定



アンテナモデルの利得パターン

小電力データ通信システム ～ 画像・データ伝送（屋外利用）キャリアセンス機能への検討

被干渉装置受信アンテナ端での受信電力限度値をキャリアセンスレベル-48dBm に設定し評価

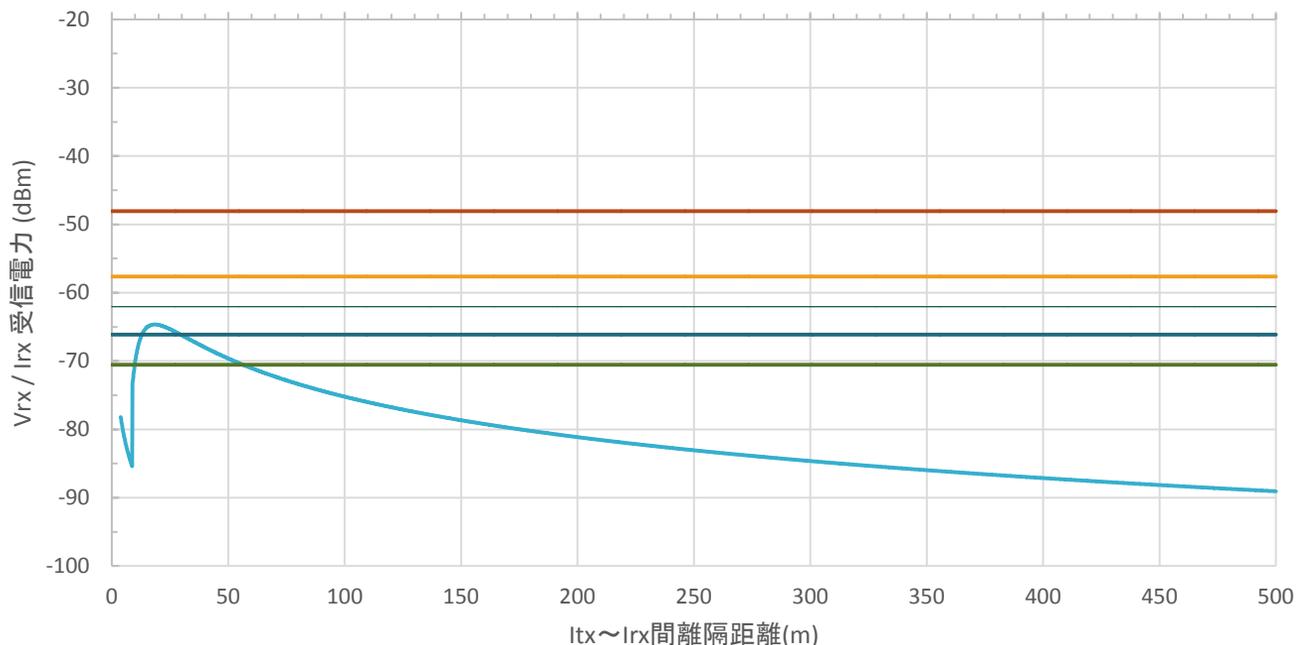
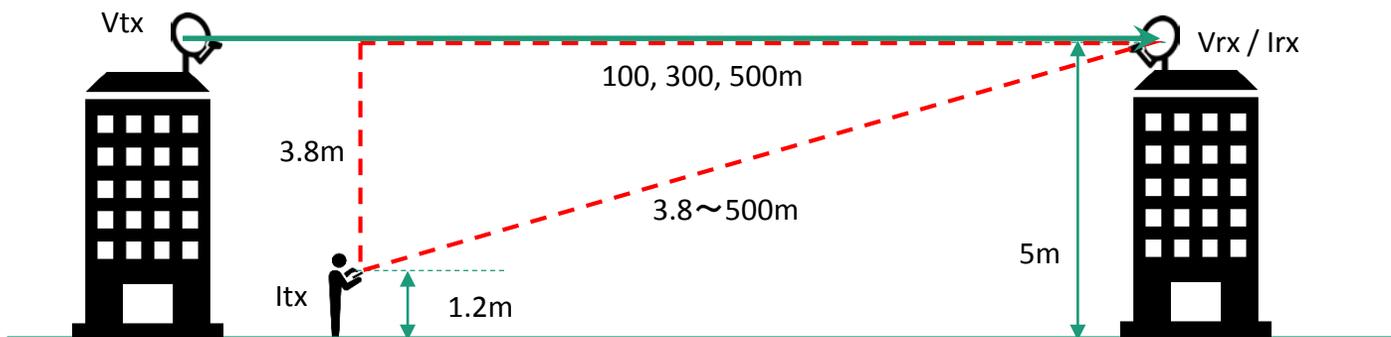


Vrx / Irxの地上高5m時の離隔距離21.9mにおいては、Itx 10台の場合でも受信電力 -71.9dBmとなり、キャリアセンス許容値-48dBm以下となった

よって、被干渉装置受信アンテナ端でのキャリアセンスに問題ないことを確認した

小電力データ通信システム ～ 画像・データ伝送（屋外利用） 通信距離対受信電力の検討

被干渉側装置と与干渉側装置の離隔距離可変時の受信電力への影響



— Irx 受信電力(dBm)
— VRx 受信電力(dBm) 離隔距離300(m)
— VRx 受信電力(dBm) 離隔距離500(m)
— VRx 受信電力(dBm) 離隔距離100(m)
— VRx 受信電力(dBm) - 所要C/N 離隔距離300(m)
— VRx 受信電力(dBm) - 所要C/N 離隔距離500(m)

被干渉装置送信 Vtx	周波数	fv	60.48	GHz
	送信電力	Pvt	20	dBm
	送信アンテナ利得	Gavt	20	dBi
	距離	Dv	100, 300, 500	m
被干渉装置受信 Vrx	アンテナ地上高	Hvt	5	m
	受信アンテナ利得	Gavr	20	dBi
	帯域幅	Brx	2.16	GHz
	受信機雑音指数	NF	10	dB
与干渉装置送信 Itx	所要C/N	CNreq	8.5	dB
	アンテナ地上高	Hvr	5	m
	周波数	fi	60.48	GHz
	送信電力	Pit	10	dBm
Irx	送信アンテナ利得	Gait	3	dBi
	距離	Di	3.8 ~ 500	m
	アンテナ地上高	Hit	1.2	m
	受信アンテナ利得	Gair	~ 20	dBi

- Irx～Itx間離隔距離を3.8～500m可変した際のIrxの受信電力は、離隔距離約19m、受信アンテナ利得約16dBi(輻射軸との狭角約11.5度)の時、受信電力約-64.7dBmで最大となる。
- Vtx～Vrx間通信距離300m時の受信電力約-58dBm、同500m時約-62dBmに所要CN 8.5dBを加算すると、離隔距離約56mまでは影響がある。

屋外利用のデータ・画像伝送システムの干渉検討結果

被干渉側装置の設置高と与干渉側装置との関係

FWAやWi-FiバックホールとしてのWiGigの屋外利用を想定。屋外でのネットワーク構築を想定しているため、アンテナの設置高は5m以上を想定。アンテナの電力半値角を±10度とし、地上1.2mで与干渉側装置が使用されると想定の上離隔距離を算出。

与干渉側装置が被干渉側装置のキャリアセンス時に与える影響：被干渉側装置と与干渉側装置の最低離隔距離は21.9mとなるが、この離隔距離において複数（最大10台と想定）の与干渉側装置から電波の発射を行っても、被干渉側装置アンテナ端においてキャリアセンスレベル閾値（-48dBm）を超える電力を受信することはないため、キャリアセンスへの影響はないと言える。

被干渉側装置通信時における干渉の影響：被干渉側装置のアンテナ主輻射軸を正対した条件で通信距離を100、300、500mに固定設定し、与干渉側装置と被干渉側装置の離隔距離を3.8~500m可変した際の被干渉側装置が受ける受信電力を評価。

結果、被干渉側装置の所要C/Nを加算した受信電力に対し、通信距離500mで離隔距離約56m以下の場合、影響のあることが確認された。

(1) しかしながら、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1.03%程度の干渉隔離となるため、影響は限定的と考えられる。

Transmission Duty	10.00 %	
Frequency Overlap	30.86 %	2.16GHz (WiGig) / 7GHz (Soli)
Antenna Directivity	33.33 %	120 deg / 360 deg
Total	1.03%	

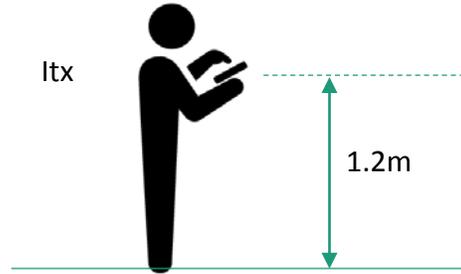
(2) 影響のある離隔距離 56m 以内のアグリゲーション条件(P24を参照)は、単位面積当たりの普及台数 $\times (56 \times 56 \times \pi) \times (\text{アンテナビーム幅} \div 360)$ で求められ、単位面積当たりの普及台数 0.015(台/m²)、アンテナビーム幅 20度から、約 8台となる。

(3) 大部分の端末は、実通信状態では与干渉側装置から発射される電波は人体に向いており、被干渉側装置との間に人体があり、遮蔽状態になる。通信していない状態＝使用していない状態では送信時間が1/10以下になり且つ仰角方向に電波が発射されることは稀である。

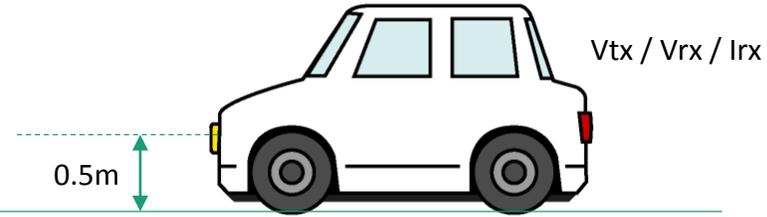
これらの結果、屋内利用時のデータ伝送端末との共存は可能と考えられる。

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を行う



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 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	1~120	m
Irx	受信アンテナ利得	Gair	40	dBi

被干渉装置送受信 Vtx/Vrx	周波数	fv	60.48	GHz
	送信電力	Pvt	3	mW
	送信アンテナ利得	Gavt	40	dBi
	空中線半値角	HPA	5.2	deg.
	反射断面積	σ	10	m ²
	距離	Dv	20	m
	受信アンテナ利得	Gavr	40	dBi
	帯域幅	Brx	1	kHz
	検知距離	R	1~120	m
	スキャン角度		+/- 14	deg.
	大気減衰量	La	0	dB
	降雨減衰量	Lr	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

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]

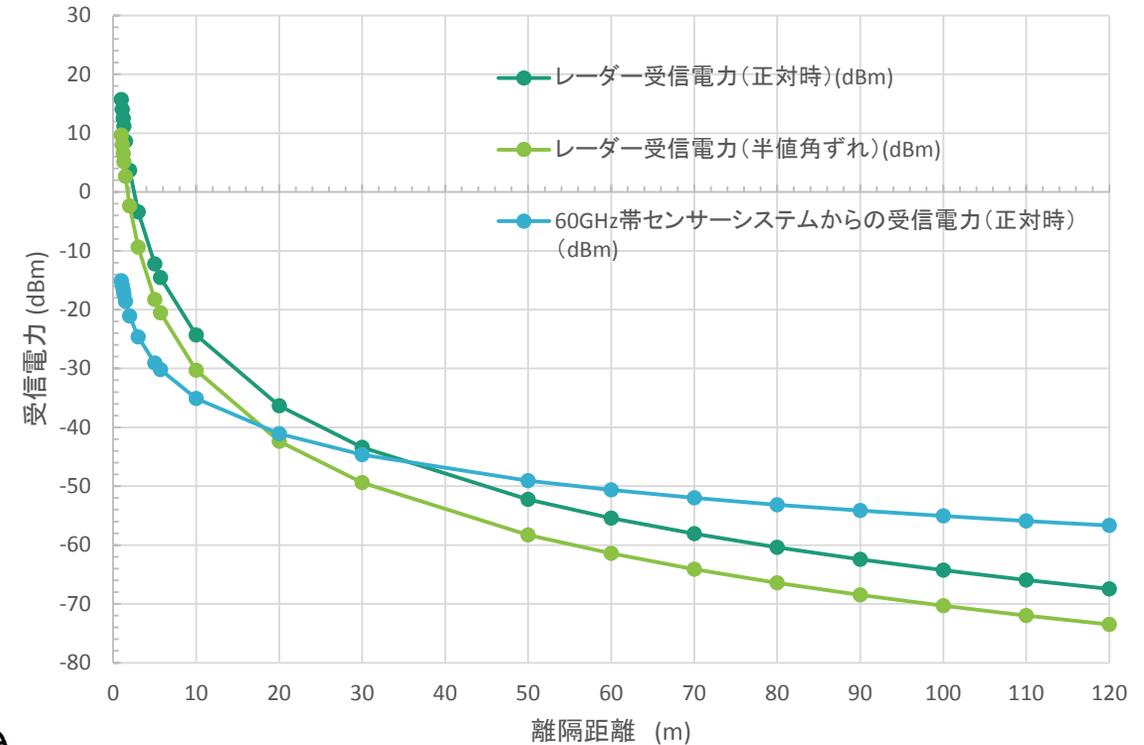
空中線電力半値角と人の立ち位置の考察

ミリ波レーダーの空中線の特性から、空中線スキャン半値角分ずれる角度以上に人が立つと、干渉の影響が小さいと考えられる。(ミリ波センサーからの干渉の前にミリ波レーダーが人を感知すると考えられる)



空中線スキャン半値角: 7度

レーダー受信電力



上記グラフより、離隔距離15m程度までは、SIRマージンは3dB以上確保可能。

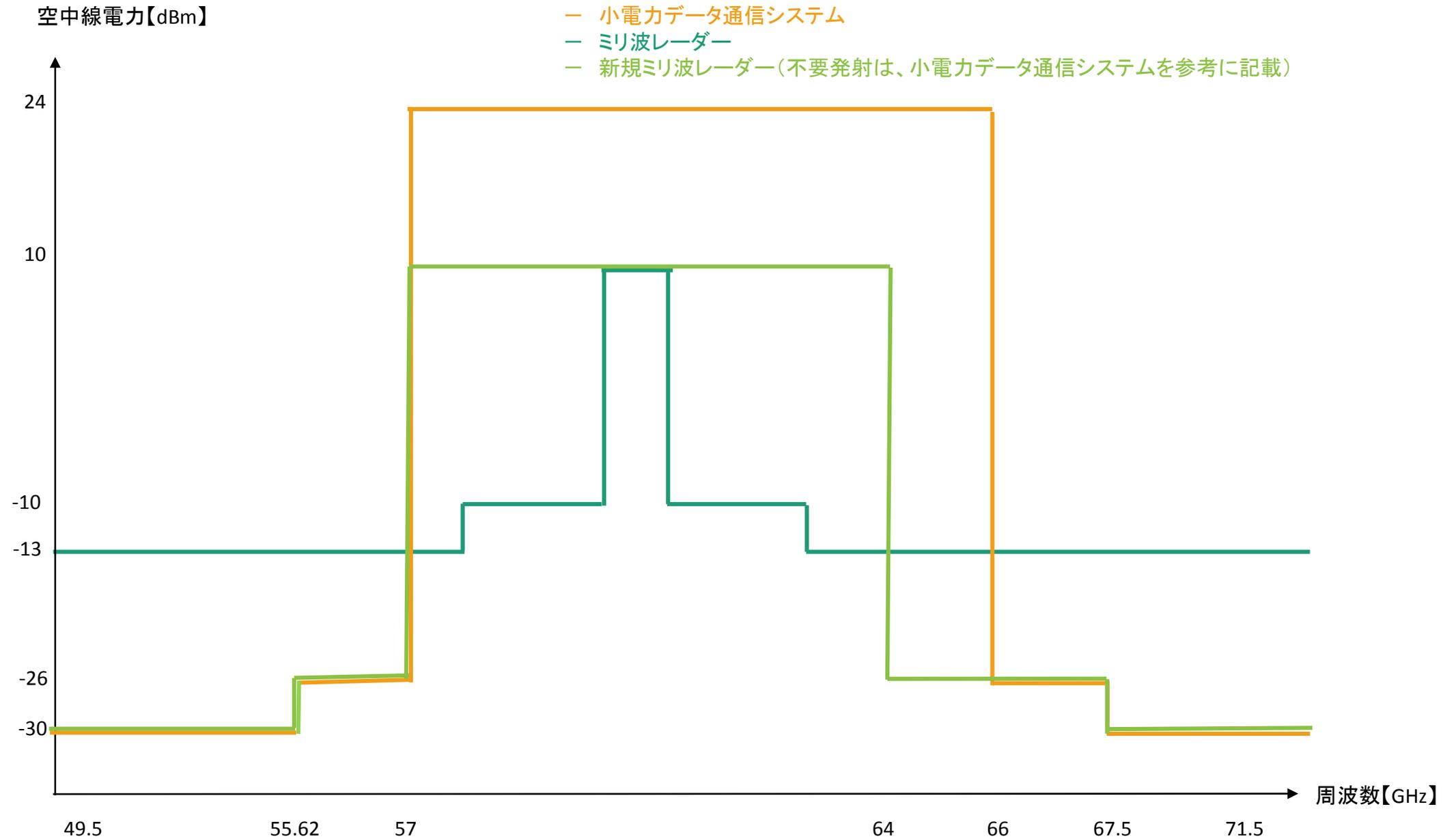
ミリ波センサーシステムの送信時間率10%などの条件を考慮すると、ミリ波センサーシステムからの平均受信電力は低下するため15m以上でも影響は軽微と考えられる。

技術基準案 (新規ミリ波レーダー)

		米国(FCC) (検知レーダー)	米国(FCC) (12月末発効の特例措置) ※Google Soliのみ適用	欧州(ETSI) (検知レーダー)	日本 (ミリ波レーダー)	日本 (小電力データ通信)		技術基準案(新規ミリ波レー ダー)
周波数		57-71GHz	57-64GHz	57-64GHz	60-61GHz	57-66GHz		57-64GHz
空中線電力	平均	-	-	10dBm	10dBm	10dBm※	10-24 dBm※	10dBm (FCC参考)
	尖頭	-10dBm	10dBm	-				
電力密度(PSD)	平均	-	-	13dBm/MHz e.i.r.p	-	-	-	-
	尖頭	-	13dBm/MHz e.i.r.p.	-	-	-	-	-
空中線利得		-	-	-	40dBi	47dBi	10dBi以上	-
EIRP(等 価等方輻射 電力)	平均	-	-	20dBm	-	-	40dBm ※1	13dBm
	尖頭	10dBm	13dBm	-	-	-		
占有帯域幅		-	-	-	500MHz	9GHz		7GHz
不要発射の強度の 許容値		40GHz未満: § 15.209の限度値を適用 ** 40GHz~200GHz: 90pW/cm ² 以下@3m (≒-10dBm/MHz RMS e.i.r.p.)	40GHz未満: § 15.209の限度値を適用 ** 40GHz~200GHz: 90pW/cm ² 以下@3m (≒-10dBm/MHz RMS e.i.r.p.)	30MHz~1000MHz: -36dBm e.r.p., (ただし、47~74MHz、87.5~ 118MHz、174~230MHz及び470 ~862MHzは-54dBm e.r.p.以下) 1000MHz~2倍波: -30dBm RMS e.i.r.p.	帯域外領域: 100 μW/MHz以下 スプリアス領域: 50 μW/MHz以下	55.62GHz以下: -30dBm/MHz以下 55.62を超え57GHz以下: -26dBm/MHz以下 66を超え67.5GHz以下: -26dBm/MHz以下 67.5GHzを超えるもの: -30dBm/MHz以下		検討
その他		-	3.3 ms in any 33 ms time period (Duty Cycle 10%)	-	-	-	キャリア センス	3.3 ms in any 33 ms time period (Duty Cycle 10%) (FCC参考)
人体への電波ばく露 許容値 (電力密度)		1mW/cm ² (人体から5cm以上)	1mW/cm ² (人体から5cm以上)	任意の体表面 20cm ² 当り 10W/m ² (1mW/cm ²)	任意の体表面1cm ² あたり2mW/cm ² (令和元年5月20日以降のものが適用)			任意の体表面1cm ² あた り2mW/cm ²

※ 型式により平均・尖頭の適用が決定、** shall not exceed the following field strength; 30~88MHz: 100 μV/m, 88~216MHz: 150 μV/m, 216~960MHz: 200 μV/m, above 960MHz: 500 μV/m

空中線電力のマスク図 案

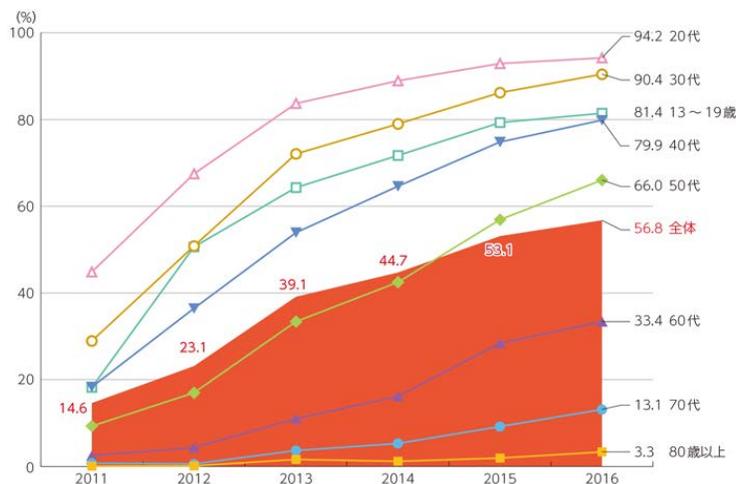


普及密度

普及密度算出の前提

総務省統計局発行の平成27年度国勢調査人口等基本集計結果から、人口密度の最も高い東京都の値 6,168.7(人/km²)に昼間の人口密度が3倍と仮定した値を適用し、普及率を一般社団法人電気通信事業者協会の「携帯電話の契約者数(2019年3月 第4四半期)」の値 175,363(千台)と当該国勢調査の全国総人口 127,095(千人)から一人当たり所有台数 1.38(台/人)を算出、平成29年版 情報通信白書の「スマートフォン個人保有率の推移」普及率約60%から一人当たりのスマートフォン所有台数 0.83(台/人)とし、15,321(台/km²)を算出した。

$$\begin{aligned}
 \text{単位面積当たりのスマートフォン普及台数} &= (\text{携帯電話の契約数} \div \text{全国総人口}) \times \text{スマートフォン個人保有率} \times (\text{人口密度} \times 3) \\
 &= (175,363 \div 127,095) \times 0.6 \times (6,168.7 \times 3) \\
 &= 15,321 \text{ (台/km}^2\text{)} \\
 &= 0.015 \text{ (台/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$



図表1 スマートフォン個人保有率の推移

平成29年版 情報通信白書より抜粋

Reference:

携帯電話・PHS契約数 事業者別契約数 2018年度（一般社団法人 電気通信事業者協会）

<https://www.tca.or.jp/database/>

平成27年国勢調査人口等基本集計 結果の概要（総務省統計局）

<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka/kihon1/pdf/gaiyou1.pdf>