

60GHz パルス方式移動体検知センサー

既存無線システムの共用検討結果（机上計算）

アルプスアルパイン株式会社

ALPSALPINE

目次

1. 共用検討対象システム
2. 共用検討計算条件
3. 干渉電力計算モデルと適応条件
4. 共用検討結果（机上計算）
 - ① Summary
 - ② 詳細

- 4.1) (屋内) 57～66GHz小電力データ通信システム (WiGig)
 - 4.1A) WiGig CCAブロック 離隔距離
 - 4.1B) WiGig CCAブロック 確率
 - 4.1C) WiGig CNR基準 離隔距離
- 4.2) (屋外) 57～66GHz小電力データ通信システム (WiGig)
 - 4.2A) WiGig CCAブロック 離隔距離
 - 4.2B) WiGig CNR基準 離隔距離
- 4.3) (屋外) 58.8～61.3GHz共同住宅共聴システム CNR基準 離隔距離
- 4.4) (屋外) (参考) 58GHz帯エントランス回線 INR基準 離隔距離
- 4.5) (屋外) 60GHz帯ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離
- 4.6) (屋外) 60GHz帯ミリ波踏切障害物検知装置 CNR基準 離隔距離
- 4.7) (屋外) 地球探査衛星業務 衛星保護所要改善量

- 4.8) (屋外) 55GHz FPU回線 INR基準 離隔距離
- 4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

- 4.10) (実証試験) パルスセンサーからWiGig機器への影響検証
- 4.11) (実証試験) パルスセンサーからFMCWセンサーへの影響検証

1. 共用検討対象システム

帯域内 システム

4.1) (屋内) 57~66GHz小電力データ通信システム (WiGig) ※

4.1A) WiGig CCAブロック 離隔距離

4.1B) WiGig CCAブロック 確率

4.1C) WiGig CNR基準 離隔距離

4.2) (屋外) 57~66GHz小電力データ通信システム (WiGig)

4.2A) WiGig CCAブロック 離隔距離

4.2B) WiGig CNR基準 離隔距離

4.3) (屋外) 58.8~61.3GHz共同住宅共聴システム CNR基準 離隔距離

4.4) (屋外) (参考) 58GHz帯エントランス回線 INR基準 離隔距離

4.5) (屋外) 60GHz帯ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離

4.6) (屋外) 60GHz帯ミリ波踏切障害物検知装置 CNR基準 離隔距離

4.7) (屋外) 地球探査衛星業務 衛星保護所要改善量

帯域外 システム

4.8) (屋外) 55GHz FPU回線 INR基準 離隔距離

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

実証試験 (別資料報告)

4.10) (実証試験) パルスセンサーからWiGig機器への影響検証

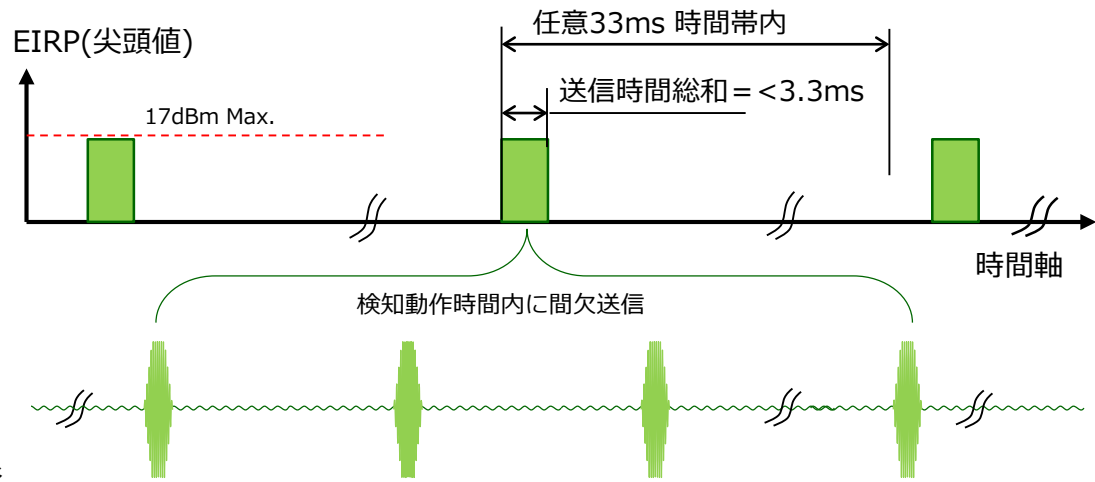
4.11) (実証試験) パルスセンサーからFMCWセンサーへの影響検証

※ 小電力データ通信システムのうち、高速データ通信システムには、10m程度の比較的長距離で数10Gbps級のデータ通信を行うIEEE802.11.ad(WiGig)等の通信規格のほか、10cm程度以下の極近距離でTbps級のデータ通信を行うIEEE802.15.3e等の通信規格がある。昨年度の検討と同様に、共用検討においては、WiGigを代表的なシステムとして評価検証を行う。

2. 共用検討計算条件

- 共用検討計算条件：**
- ・ EIRP時間平均値：4.8dBm
 - ・ 与干渉電波帯域幅：1.1GHz*
 - ・ 検知動作時のDuty_tx：6%
 - ・ 任意33ms間当りの送信時間総和：3.3ms以下

※パルス方式では 周波数Spectrumが 最大7GHzまで拡散される。
 又、狭帯域拡散の実装もありえる。周波数拡散帯域が広い方が 帯域内の電力密度が低いため、他システムへの影響は少ない。反対に狭帯域の場合、帯域内の電力密度が高くなり、他システムへの影響は高い。本検討では 狭帯域のケースで与干渉特性を検証する。
 想定の実装条件は 占有周波数帯域 (OBW)として、約3GHz前後となる、その時、電力が集中している帯域は 約 1.1GHzとなるため、1.1GHzを 与干渉電波帯域幅 (BWi)として計算に使う。



パルス方式センサーが検知動作時の間欠送信 様子 (一例として)

EIRP	Duty_tx	Note	
			平均値
	(dBm)	(%)	
5	5	100	
	7	63	
	10	32	
	13	16	現行省令相当
	17	6	今回の計算条件

↑ 4.8dBmを丸め ↑ 小数点以下を丸め

Duty Cycle用語定義	符号	代表値		説明
		FMCW	パルス	
検知動作Duty	Duty_sense	10%	10%	(省令の規定) 33ms当りの送信時間総和は3.3ms以下。
検知時送信Duty	Duty_tx	100%	6%	検知動作期間内 FMCWは常時送信、パルスは間欠動作。
総合Duty	Duty_total	10%	0.6%	総合Duty (Duty_total) = Duty_sense × Duty_tx

3. 干渉電力計算モデルと適応条件

実効干渉波受信電力は 下記基本計算式で計算される：

$$\text{実効干渉波受信電力： } P_{Ri} = \text{EIRP_peak} \cdot \text{Duty} \cdot G_r \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi D_i}\right)^2 \cdot \frac{BW}{BW_i}$$

↑
平均電力

↑
受信帯域換算

$\left(\frac{\lambda}{4\pi D_i}\right)^2$ __ 伝搬損失。
 G_r __ 受信アンテナ利得
 BW __ 受信機受信帯域
 BW_i __ 与干渉電波帯域幅

内： $\text{EIRP_peak} \cdot \text{Duty} = \text{EIRP_average}$ 、即ち、EIRPの時間平均値となる。

EIRPの時間平均値は 電力の時間軸上の平均となり、所定の条件を満足する時のみ、計算に適応できる。

又、 BW/BW_i は 広帯域のパルス信号からの電力のうち被干渉システム受信機はその受信帯域分しか受信しない時の干渉軽減モデルであり、所定の条件を満足するのみ、計算に適応できる。

(パルス方式の 帯域内干渉波電力分布は概ね Sinc 分布関数となっており、便利上、全ての電力は 帯域 BW_i で均等分布と仮定)

上記計算式にあった 平均電力適応と 受信帯域換算の適応条件は 以下となる：

(条件 1、時間軸、平均電力適応条件)：干渉システムの受信時間はパルス干渉波のパルス繰り返し周期より十分長い場合、受信機が長い時間軸上でパルス電波干渉電力を受信し、受信電力は受信時間内に平均され、平均電力適応計算ができる。

デジタル通信の場合、符号化技術により一定比率以下の離散分布Bit Errorを訂正できる。Bit Error訂正はData Block毎に実施するので 等価受信時間はData Block Durationに相当すると考えられる。尚、Data Block Durationがパルス電波の繰り返し周期よりも長いケースだけ、本条件が適応できる、と考えられる。(デジタル通信システム、即ち、WiGigシステムについて、実証試験により 2重検証を実施)

(条件 2、周波数軸、受信帯域換算適応条件)：被干渉システムの受信帯域がパルス信号の与干渉電波帯域幅より狭く、広帯域のパルス信号からの電力のうち被干渉システム受信機はその受信帯域分しか残らない時、受信帯域換算適応計算ができる。

3. 干渉電力計算モデルと適応条件

被干渉側システム		評価指標	適応条件	評価条件
4.1	(屋内) 57~66GHz 小電力データ 通信システム (WiGig)	CCA Block 隔離距離	条件 1	CCA受信時間は ~ 3μs前後であり、パルス幅 (~ns) とパルスの繰り返し周波数 (~100ns) より十分長いため。
		CCA Block 確率	条件 1	
		離隔距離(CNR基準)	条件1	WiGigはデジタル変・復調、符号化が実施しており、且つ、Data Block Duration は291nsであり、パルスの繰り返し周期 (~100ns) より長いため。尚、本検証は実機試験により 2重検証を実施。
4.2	(屋外) 57~66GHz 小電力データ 通信システム(WiGig)	CCA Block 離隔距離	条件 1	4.1) 同様
		離隔距離 (CNR基準)	条件1	4.1) 同様
4.3	60.05GHz共同 住宅共聴システム	離隔距離 (CNR基準)	条件 1 条件 2	<ul style="list-style-type: none"> 推定Symbol Duration 約30ns、Data Block Duration 15.36μs以上(512Sym) 受信BW=34.5MHz。与干渉電波帯域幅 (1.1GHz)は 十分広い
4.4	58GHz エントランス回線	離隔距離 (INR基準)	条件 1 条件 2	<ul style="list-style-type: none"> 推定Symbol Duration 約40ns、Data Block Duration 20μs以上 (512Sym) 受信BW=26.0MHz。与干渉電波帯域幅 (1.1GHz)は 十分広い
4.5	60GHz帯ミリ波 車載レーダー	離隔距離 (CNR基準)	条件 1 条件 2	<ul style="list-style-type: none"> Baseband信号処理時間 (~1ms) は パルス繰り返し周波数周期より十分長い 受信器Baseband帯域 BW=1KHz、与干渉電波帯域幅 (1.1GHz)より狭い
4.6	ミリ波踏切 障害物検知装置	離隔距離(CNR基)	条件 1 条件 2	<ul style="list-style-type: none"> Baseband信号処理時間 (~1ms) は パルス繰り返し周波数周期より十分長い 受信器Baseband帯域 BW=1KHz、パルス帯域幅 (1.1GHz)より狭い
4.7	地球探査衛星業務 (DMSP 5D-3 F18)	衛星保護所要改善量	条件 1	大量のセンサーが動作時、それぞれのセンサーの電波放射Timingはランダムと扱える。センサーの総合Duty Cycle (Duty_total) は 0.6% 程度である時、台数 167台以上であれば 平均電力計算と統計計算結果が同様となる。
4.8	55GHz帯 屋外 FPU	離隔距離 (INR基準)	その他、帯域外システム	<ul style="list-style-type: none"> 帯域外システムであり、帯域外不要放射が 妨害源となる 令和元年度作業班と同様な計算方法を使う
4.9	電波天文	離隔距離 (集合干渉電力基準)	その他、帯域外システム、集合電力計算適応	<ul style="list-style-type: none"> 帯域外システムであり、帯域外不要放射が 妨害源となる 大量のセンサーがランダムなTimingで動作と想定し、令和元年度作業班と同様な計算方法を使う

4. 共用検討結果 (机上) ① Summary

帯域内システム

被干渉側		評価指標	机上検討計算結果	評価条件
屋内	57~66GHz 小電力データ 通信システム (WiGig)	CCA Block 隔離距離	0.55m	10台動作、正対
		CCA Block 確率	6.25%	離隔距離内 10台ランダム設置
		離隔距離(CNR基準) 通信距離 10m	1.61m	64QAM、アンテナ正対
		離隔距離(CNR基準) 通信距離 10m	3.21m	64QAM、アンテナ半値角ずらす
屋外	57~66GHz 小電力データ 通信システム (WiGig)	CCA Block 離隔距離 基準値 -48dBm	16.9dB Marginあり、 ブロックしない	・ 10台同時動作 ・ 被干渉機設置高さ 5 m、与干渉機設置高さ0.5m
		離隔距離 (CNR基準) 通信距離 500m	4.49 dB Marginあり、 干渉しない	通信機設置高さ 5 m、与干渉機設置高さ0.5m
	60.05GHz共同 住宅共聴システム	離隔距離 (CN基準) (通信距離20m)	0.45m	・ 与干渉機距離 10cm~10m ・ 被干渉機サイドローブ受信
	58GHz エントランス回線	離隔距離 (INR基準) (アンテナ正対時)	7.56dB Marginあり、 干渉しない	通信機器設置高度 5 m、与干渉機設置高さ0.5m
	60GHz帯ミリ波 車載レーダー	離隔距離(CNR基準)	40.1dB 以上Margin、 干渉しない	前方車を探知。前方車が与干渉機を搭載
		離隔距離 (CNR基準) (検知距離 120m)	1.5dB Margin	前方車を探知。隣接車線車が与干渉機を搭載
			3.4m	隣接車線車を探知。前方車が与干渉機を搭載
	ミリ波踏切 障害物検知装置	離隔距離(CNR基) (検知距離 25m)	3.7m	3台同時動作
地球探査衛星業務 (DMSP 5D-3 F18)	衛星保護所要改善量	-50.3dB (57.29GHz)	衛星保護電力： -169dBW/100MHz	
		-100.8dB (60.793GHz)		

4. 共用検討結果 ① Summary

帯域外システム

被干渉側		評価指標	机上検討結果		評価条件	
屋外	55GHz帯 FPU	離隔距離 (INR = -20dB基準)	340m		FPU とパルスセンサーのアンテナが正対。	
			2.1m		FPUがサイドローブで干渉波を受信。	
	電波天文	集合干渉電力基準 離隔距離 @ 76.5GHz (-196.5dBm/MHz基準)	離隔距離	帯域外不要放射		帯域外不要放射： -30~-60dBm/MHz 一日動作時間： 1.025時間 全ての車に センサー 2機を 搭載 都市構造遮蔽損失の適応なし アグリゲートモデル 集合干渉電力の考え方
			26 km	-30dBm/MHz		
			10 km	-40dBm/MHz		
			1.5 km	-50dBm/MHz		
			<0.25 km	-60dBm/MHz		
		集合干渉電力基準 離隔距離 @ 115GHz (-198dBm/MHz基準)	17.5 km	-30dBm/MHz		
			7.5 km	-40dBm/MHz		
			0.5 km	-50dBm/MHz		
< 0.25 km	-60dBm/MHz					

Note: ・ 上記帯域内、帯域外の与干渉電力は（集合電力計算適応の 衛星業務、電波天文を除き） 全て センサー検知動作時の計算となる。
 ・ 帯域外システムについて 与干渉電力は「特定小電力帯域外不要放射規定値」を使用する。

4. 共用検討結果 ① Summary

実証試験

	与干渉機	被干渉機	評価指標	実証試験結果	評価条件
4.10	パルス方式 センサー	WiGig機器	通信速度 低下率 < 10% (1 Gbps通信時)	1~5cmまで接近して も通信速度の低下が 認めない	<ul style="list-style-type: none"> 被干渉機通信距離：3.7m 被干渉機CH：CH2（与干渉機帯域と完全に被る） 与干渉機台数：1台* 与/被干渉機器の距離：0.01~1m、各距離で評価
4.11	パルス方式 センサー	FMCW方式 センサー	目標信号強度とのレベ ル差が3dB以内の距離 虚像が生じない	20cmまで接近しても ノイズFloorの変動が 微小、距離虚像の発 生は認めない	<ul style="list-style-type: none"> 与干渉機台数：1、2台 与/被干渉機器の距離：0.2~1m、0.1m Step評価

* 所有機材数の制限により 1 台で実施。

以下

共用検討結果（机上計算）の詳細内容となる

4. 共用検討結果（机上計算） ② 詳細

Part-1 帯域内システム

- 4.1) (屋内) 57～66GHz小電力データ通信システム (WiGig)
 - 4.1A) WiGig CCAブロック 離隔距離
 - 4.1B) WiGig CCAブロック 確率
 - 4.1C) WiGig CNR基準 離隔距離
- 4.2) (屋外) 57～66GHz小電力データ通信システム (WiGig)
 - 4.2A) WiGig CCAブロック 離隔距離
 - 4.2B) WiGig CNR基準 離隔距離
- 4.3) (屋外) 58.8～61.3GHz共同住宅共聴システム CNR基準 離隔距離
- 4.4) (屋外) (参考) 58GHz帯エントランス回線 INR基準 離隔距離
- 4.5) (屋外) 60GHz帯ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離
- 4.6) (屋外) 60GHz帯ミリ波踏切障害物検知装置 CNR基準 離隔距離
- 4.7) (屋外) 地球探査衛星業務 衛星保護所要改善量

4.1A) (屋内) WiGig CCAブロック 離隔距離

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機器	周波数	Fv	60.48	GHz
	送受信空中線利得	Gt/Gr	0	dBi
	帯域幅	BW	2.16	GHz
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	所要C/N	CNreq	8.45	dB
	CCAブロック電力	P _{CCA}	-48	dBm

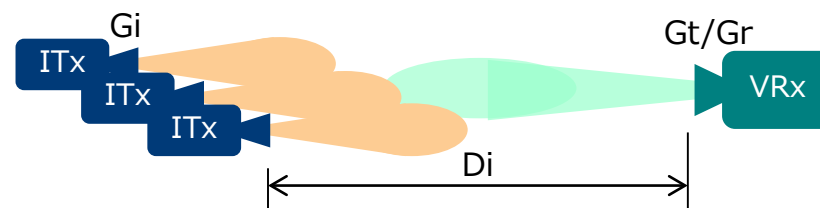
与干渉機諸元

与干渉機器	周波数	Fi	60.48	GHz	
	波長	λ	0.00496	m	
	EIRP 平均値	EIRPiav	4.8	dBm	EIRP尖頭値の時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BWi	1.1	GHz	限度値（本計算に未使用）
	台数	N	1,5,10	台	

主要計算式

CCAブロック回避条件：

$$\text{EIRPiav}(\text{dBm}) + 20\log(\lambda / 4\pi) - 20\log(D_i) + 10\log(N) < -48\text{dBm}$$



複数与干渉機とWiGig受信機は正対向き

4.1A) (屋内) WiGig CCAブロック離隔距離

検証結果

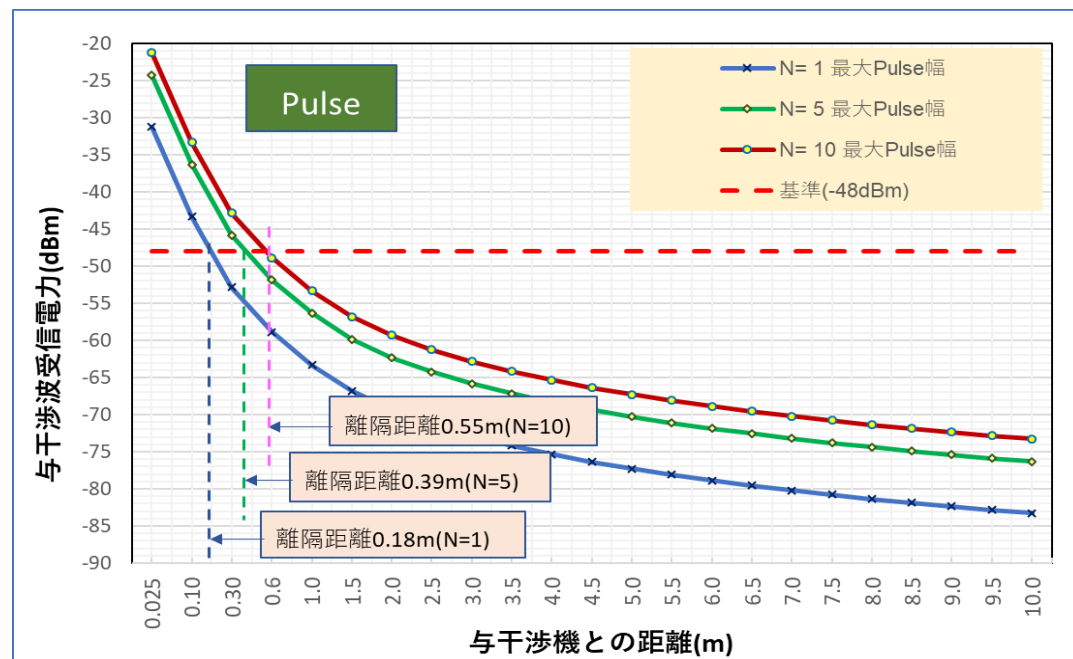
1台、又は5台、10台の与干渉機が同時動作の場合、CCAブロック回避に必要な離隔距離以下となる

CCAブロック離隔距離			
台数	1	5	10
離隔距離	0.18m	0.39m	0.55m

考察

WiGig CCAブロック受信電力基準値は-48dBmとなる。パルス方式センサーは1、5、10台同時動作時、離隔距離は0.18、0.39、0.55mとなる。尚、上記計算ではパルス幅が最大値であり、且つ、全てのセンサーがWiGig機器のアンテナに正対して電波を同時放射となるが、実運用ではパルス幅がより狭くなり、Dutyも減るため、離隔距離が更に短くなる。また、実運用では同一方向に複数のセンサーが同時送信する事は考えにくい。

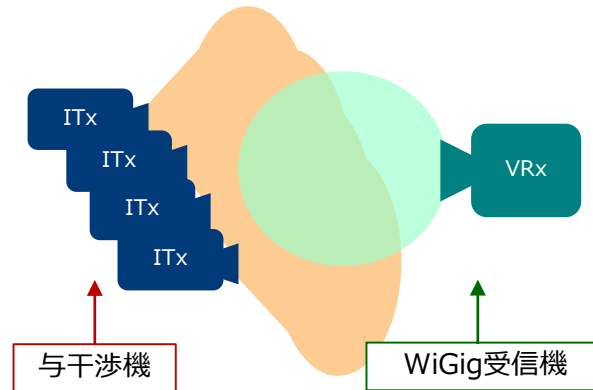
次ページ以降で、CCAブロックの確率について検証した結果を示す。



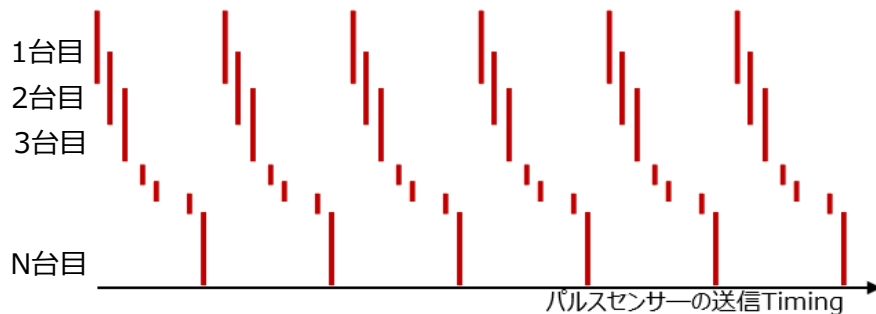
4.1B) (屋内) WiGig CCAブロック 確率

検証条件

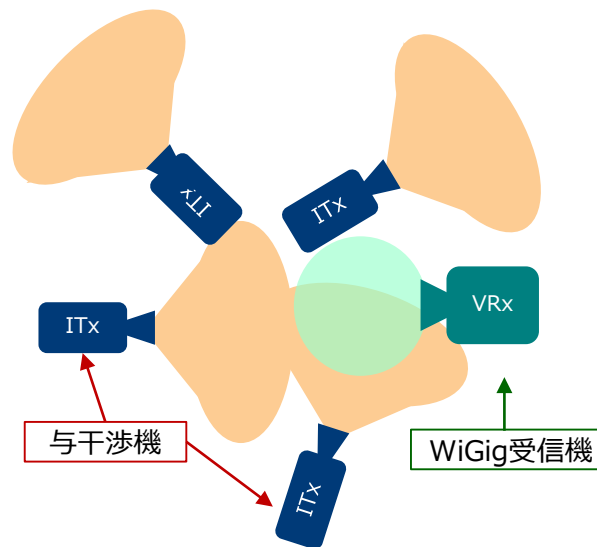
検証条件について 与干渉、非干渉諸元は 4.1A) 内容と同様。然し、最悪のケースとして、10台の与干渉機は至近距離（つまり、離隔距離内）で送信時間が重複しないよう WiGig機器受信機へ順次送信とする。



複数与干渉機がWiGig機器の至近距離でアンテナ正対配置



10台与干渉機が至近距離でWiGig受信機へ順次送信



複数与干渉機がWiGig機器の至近距離にランダム配置

4.1B) (屋内) WiGig CCAブロック 確率

主要計算式

1. WiGig CCAブロック妨害の定義

- ① 与干渉機器は 離隔距離内に存在する事を条件とする
- ② 57~64GHz の帯域内、WiGigの任意チャンネルに干渉波が現れたら、妨害が生じるとする (送信 = 妨害)

2. WiGig CCAブロック確率の定義

上記1-② の発生確率を「WiGig CCAブロック確率」と定義する (送信Duty Cycle = 妨害の確率)

3. WiGig CCAブロック確率 (単台正対) の計算式

上記 2 で定義の「WiGig CCAブロック確率」(以下Pcbと表示) の計算式は 下記式となる
(送信Duty Cycle = $T_{trans} / (T_{trans} + T_{silence})$)

$$Pcb (\text{単台正対}) = T_{trans} / (T_{trans} + T_{silence}) = \text{Duty_sense} \quad \text{----- ①}$$

パルスの場合、Trans (総和3.3ms max)内に 更に 6% 程と間欠動作しているが、パルス周期は 100nsオーダーであり、CCA 時間の3usより短い為、連続動作と見なす。 よって、 Trans = 3.3ms(max)、 T_{silence} = 29.7ms (min) を適応する。
上記式①から Pcb (単台正対) = 10% と計算される。

4. WiGig CCAブロック確率 (10台、正対) の計算式

10台正対の場合、その10台は時間をずらし、送信時間に重複のないケースを計算の条件とする。 その場合、送信信号の存在時間は下記式により算出する

10台の送信時間 Trans (10台) = 10 × Trans (単台) 。 T_{silence} は 変わらないため、10台正対の計算式は 下記となる。

$$Pcb (\text{10台正対}) = 10 \times T_{trans} (\text{単台}) / \max [(10 \times T_{trans} (\text{単台}), T_{trans} (\text{単台}) + T_{silence}] \quad \text{----- ②}$$

パルスの場合、前記 3 と同じ考え方で Trans (単台) = 3.3ms(max)とし、 T_{silence} = 29.7ms (min) 。
上記式 ② から Pcb (10台正対) = 100% となる。

4.1B) (屋内) WiGig CCAブロック 確率

5. WiGig CCAブロック確率 (10台、ランダム配置) の計算式

10台ランダム配置の場合、送信時間の配列は 前記 4 同様に 時間をずらし、送信時間が重複のないようなケースとする。 然し、ランダム配置の場合、アンテナのBeamが WiGig機器に向く、向かないケースが生じるのは CCAブロック確率の計算に アンテナの正対確率要素を入れることから 計算式は 下記となる。

$$P_{cb} (10台ランダム) = 10 \times T_{trans} (単台) / \max [(10 \times T_{trans}(単台), T_{trans}(単台) + T_{silence}] \times \text{アンテナ正対確率} \quad \text{-----} \textcircled{3}$$

パルスの場合、アンテナ正対確率 = 1/16 (右の表を参考)。

$$P_{cb}(\text{パルス}10台ランダム) = 100\% \times 1/16 \\ = 6.25\% \text{ の結果となる。}$$

検証結果

ランダム設置時のアンテナの向きが WiGig機器正対の確率		
アンテナ利得(dBi)		7
上記利得に対応する IEEEアンテナモデル 半値角	θ_{-3dB}	90
ランダム配置時 水平面内の正対確率 ($\theta_{-3dB}/360$)	a	$= \theta_{-3dB}/360^\circ = 1/4$
ランダム配置時 垂直面内の正対確率 ($\theta_{-3dB}/360$)	b	$= \theta_{-3dB}/360^\circ = 1/4$
Totalのアンテナ正対確率	a × b	1/16

離隔距離内設置時WiGig CCAブロック確率計算結果				
与干渉機台数		1	1	10
与・被干渉機間距離		単台動作離隔距離内 (<0.18m)		
与干渉機の配置		正対配置	ランダム配置	
CCAブロック 確率	パルス方式 (設置距離 0.18m以内)	10 %	0.625 %	6.25%

4.1B) (屋内) WiGig CCAブロック 確率

考 察

パルスセンサーの場合、単台送信時のWiGigの CCAブロック離隔距離は 0.18mとなる。

10台を離隔距離内ランダム配置し、与干渉機の送信時間をずらして、送信時間が重複しないようにするケース(現実的に発生しない極端な例) では CCAブロック確率は 6.25%となる。

現実的に 0.18m以内に センサーを 10台 設置する例は 想定されない。

又、0.18mの範囲内、同じ方向にアンテナを向けで電波を送信する事も 想定されない。

想定ユースケースでは パルスセンサーの周囲0.18m半径内に WiGig機器を長期的に使用する事は想定しない。

まとめ (結論)

上記離隔距離とCCAブロック確率の計算結果を考慮すると、実際の利用環境においては、CCAブロックによる被干渉システムへの影響は許容可能なレベルであると考えられる。

4.1E) (屋内) WiGig通信CNR基準 離隔距離

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機器	周波数	Fv	60.48	GHz
	送信電力	PTv	23	dBm
	送受信空中線利得	Gt/Gr正対	17.14	dBi
		Gt/Gr半値角	14.14	
	EIRP(dBm) 正対	EIRP	40.14	dBm
	EIRP(dBm) 半値角	EIRP	37.14	dBm
	帯域幅	BW	2.16	GHz
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	所要C/N 16QAM/OFDM	CNreq	8.45	dB
	所要C/N 64QAM/OFDM	CNreq	14.5	dB

与干渉機諸元

与干渉機器	周波数	Fi	60.48	GHz	
	波長	λ	0.00496	m	
	EIRP 平均値	EIRPiav	4.8	dBm	EIRP尖頭値の時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BWi	1.1	GHz	限度値 (本計算に未使用)*
	台数	N	1	台	

* WiGigの周波数帯域幅はパルス方式の与干渉電波帯域幅(1.1GHz)よりも広いため、妨害電波を全部受信できるとする。

主要計算式

通信波受信電力: $PRv = PTv \cdot Gt \cdot Gr \cdot (\lambda / 4\pi Dv)^2$

干渉波受信電力: $PRi = EIRPiav \cdot Gr \cdot (\lambda / 4\pi Di)^2$ *

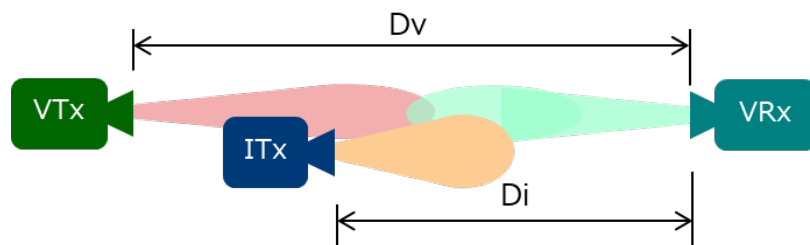


図4：与干渉機—被干渉機受信機アンテナ正対、被干渉送受信機アンテナ正対

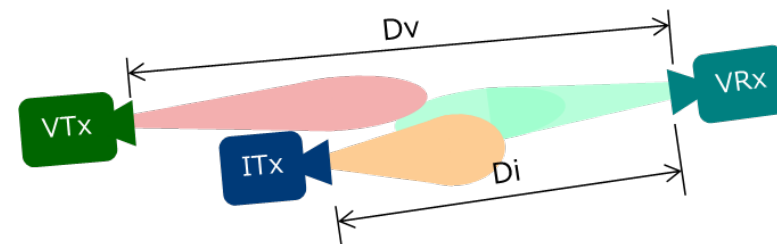


図5：与干渉機—被干渉機受信機アンテナ正対、被干渉送受信機アンテナが半値角ずらす

4.1E) (屋内) WiGig通信CNR基準 離隔距離

検証結果

与干渉機 1 台の場合、所要CNRを確保するため 必要な離隔距離の計算結果は 以下となる

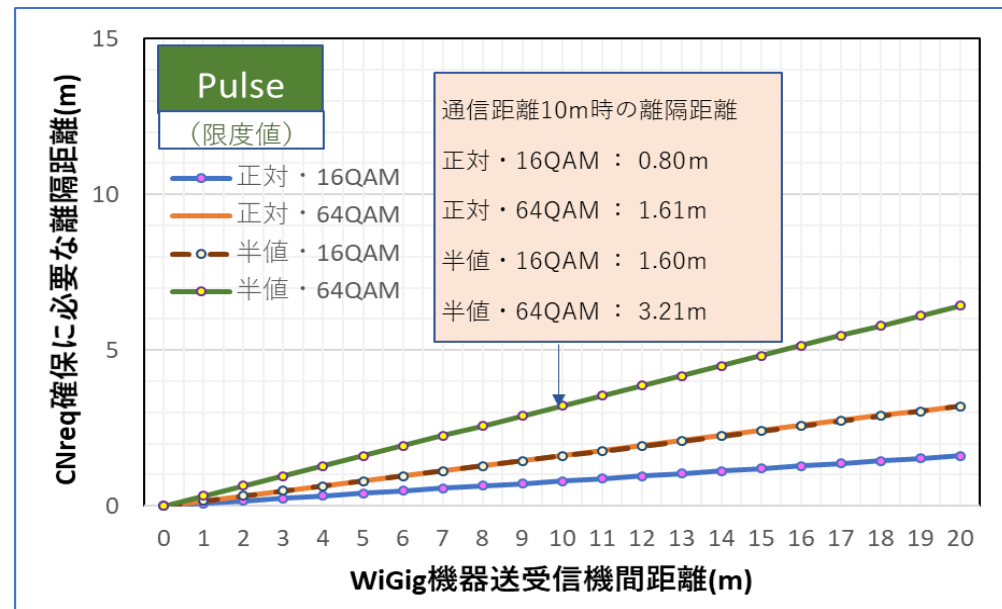
CNR確保に必要な離隔距離 (通信距離10m時)				
アンテナ向き	正対	正対	半値角ずらす	半値角ずらす
WiGig変調方式	16QAM OFDM	64QAM OFDM	16QAM OFDM	64QAM OFDM
離隔距離	0.80m	1.61m	1.60m	3.21m

考察

- WiGig の 所用CNR は 変調方式によって異なる。本机上計算には 令和元年と同条件で一旦計算する。
- 通信距離10m、アンテナ正対、変調式が 16QAM(OFDM)／64QAM(OFDM)の時、所要離隔距離は 0.80m／1.61mとなる。
- 上記計算ではパルス方式の場合は、パルス幅が最大値である条件で計算したが、実装代表値ではパルス幅がより狭くなり、Dutyも減る、周波数拡散効果が高まるため、離隔距離が更に短くなる。
- 尚、ARIB作業班ご提供の情報、Google SoliのFCC Wavier申請資料から市販のWiGig機器は OFDMの実装はない、SC-BPSK／QPSK／16QAMの実装となるという事実があった。 **2重検証として実機検証を実施。**

まとめ (結論)

- WiGig機器が10mで通信する場合、パルスセンサーの離隔距離は 0.8mが必要となる。計算結果を考慮すると、実際の利用環境においてはパルスセンサーとWiGig機器の共用は可能、と考えられる。



4.2A) (屋外) WiGig CCAブロック 離隔距離

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機器	周波数	Fv	60.48	GHz
	送信電力	Pt	20	dBm
	送受信空中線利得	Gt/Gr	20.0	dBi
	EIRP	EIRP	40.0	dBm
	空中線半値角	θ_{-3dB}	18.6	deg
	Main Lobe幅	θ_{ml}	48.0	deg
	Side Lobe	G θ	-11.8	dBi
	帯域幅	BW	2.16	GHz
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	所要C/N	CNreq	8.45	dB
	CCAブロック電力	P _{CCA}	-48	dBm
	アンテナ高さ	H	5	m

主要計算式

CCAブロック回避条件：

$$EIRP_{iav}(\text{dBm}) + 20\log(\lambda / 4\pi) - 20\log(D_i) + 10\log(N) < -48\text{dBm}$$

与干渉機諸元

与干渉機器	周波数	Fi	60.48	GHz	
	波長	λ	0.00496	m	
	EIRP 平均値	EIRP _{iav}	4.8	dBm	EIRP尖頭値の時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BW _i	1.1	GHz	限度値（本計算に未使用）
	台数	N	1,5,10	台	
	送信機設置高さ	H	0.5	m	車載搭載想定
			1.5		モバイルデバイス搭載想定

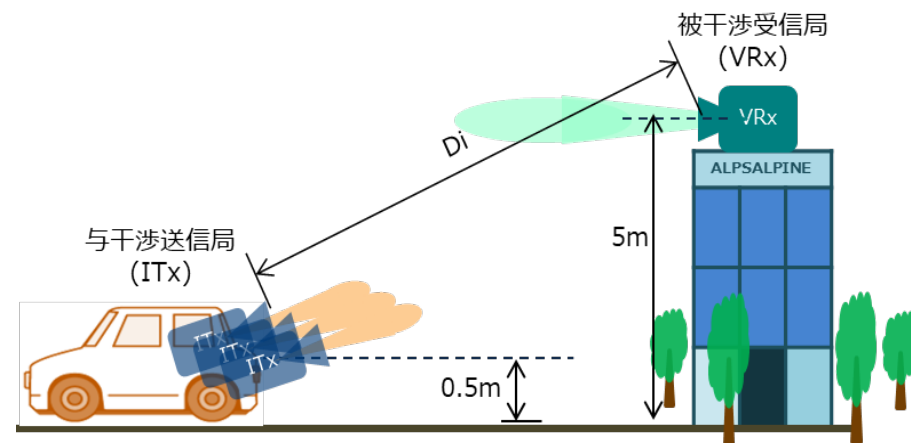


図6 屋外小電力無線システム干渉モデル

4.2A) (屋外) WiGig CCAブロック 離隔距離

検証結果

1台、又は5台、10台の与干渉機が同時動作の場合、CCAブロック回避に必要な離隔距離を計算した結果、CCAブロックは発生しない。所定条件での最大の干渉波受信電力を記載する。

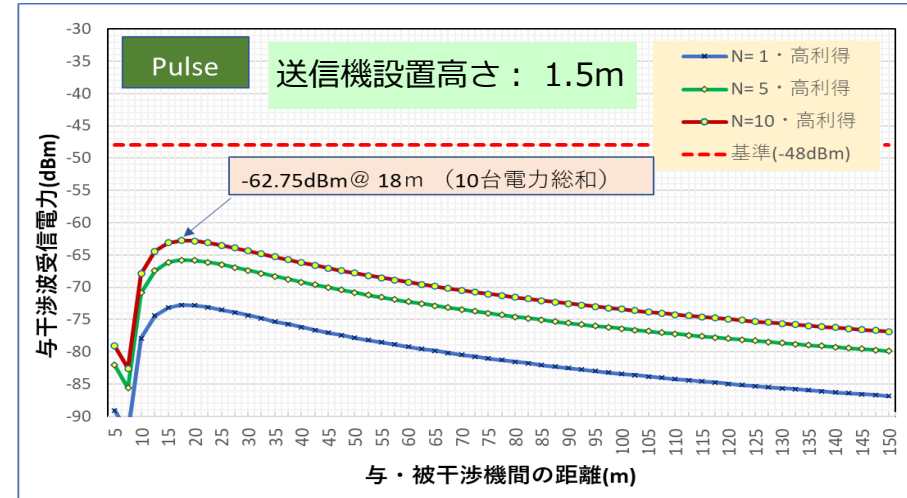
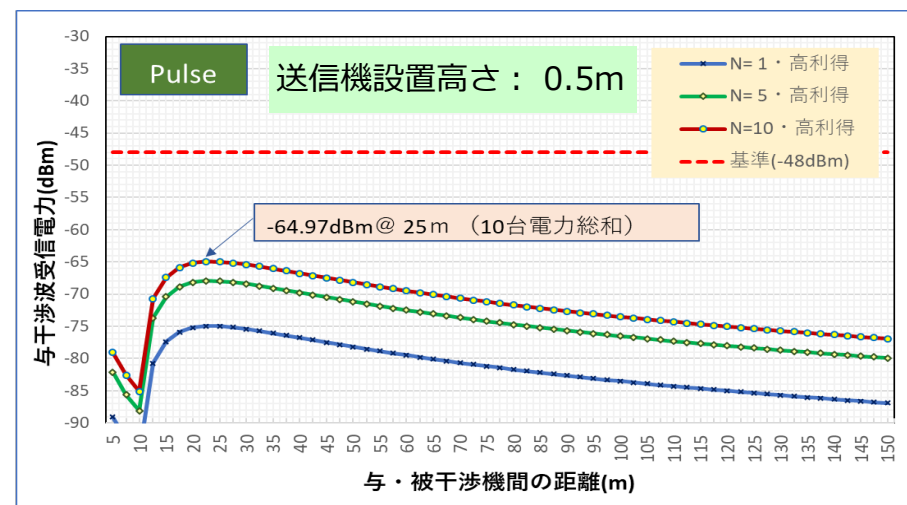
WiGig CCAブロック離隔距離				
台数	1	5	10	10
送信機設置高さ	0.5m		1.5m	
干渉波受信電力 (dBm)	-75.0	-68.0	-65.0	-62.8

考察

- WiGig CCA ブロック受信電力基準値は -48dBmとなる。
- 与干渉機干渉波受信電波最大値は 距離 18m (送信高さ1.5m)、又は 25m (送信高さ 0.5m) で現れる。
- いずれの送信置高さケースでも 10台同時送信時の最大干渉波受信電力が -48dBm以下となり、CCAブロック妨害は起きない。

まとめ (結論)

計算結果より、CCAブロックは発生しないことから、CCAブロックによる被干渉システムへの影響はないと考えられる。



4.2B) (屋外)WiGig CNR基準 離隔距離

検証条件

与干渉機諸元

被干渉機諸元

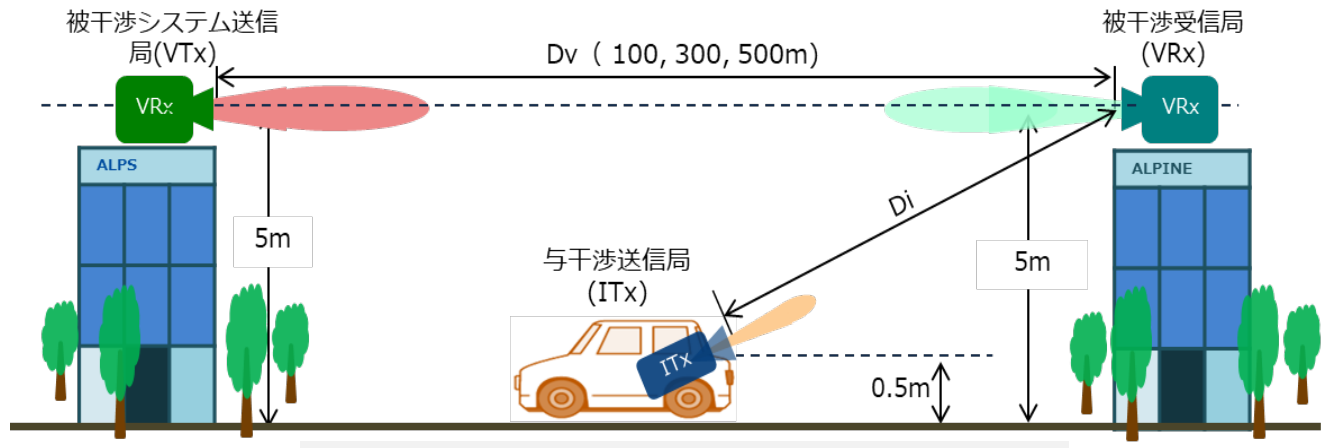
被干渉機器	周波数	Fv	60.48	GHz
	送信電力	Pt	20	dBm
	送受信空中線利得	Gt/Gr	20.0	dBi
	EIRP	EIRP	40.0	dBm
	空中線半値角	θ_{-3dB}	18.6	deg
	Main Lobe幅	θ_{ml}	48.0	deg
	Side Lobe	G θ	-11.8	dBi
	帯域幅	BW	2.16	GHz
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	所要C/N	CNreq	8.45	dB
	CCAブロック電力	P _{CCA}	-48	dBm
	アンテナ高さ	H	5	m

与干渉機器	周波数	Fi	60.48	GHz	
	波長	λ	0.00496	m	
	EIRP 平均値	EIRPiav	4.8	dBm	EIRP尖頭値の時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BWi	1.1	GHz	限度値 (本計算に未使用)
	台数	N	1	台	
	送信機設置高さ	H	0.5	m	車載搭載想定
			1.5		モバイルデバイス搭載想定

* WiGigの周波数帯域幅はパルス方式の与干渉電波帯域幅(1.1GHz)よりも広いため、妨害電波を全部受信できるとする。

主要計算式

通信波受信電力：
 $PRv = PTv \cdot Gt \cdot Gr \cdot (\lambda / 4\pi Dv)^2$
 干渉波受信電力：
 $PRi = EIRPiav \cdot Gr \cdot (\lambda / 4\pi Di)^2$ *



屋外小電力無線通信システム (WiGig)干渉モデル

4.2B) (屋外)WiGig CNR基準 離隔距離

検証結果

与干渉機 1 台の場合、所要CNRを確保するため 必要な離隔距離の計算結果は CNRをクリアできるの計算結果となったので Marginを記載。

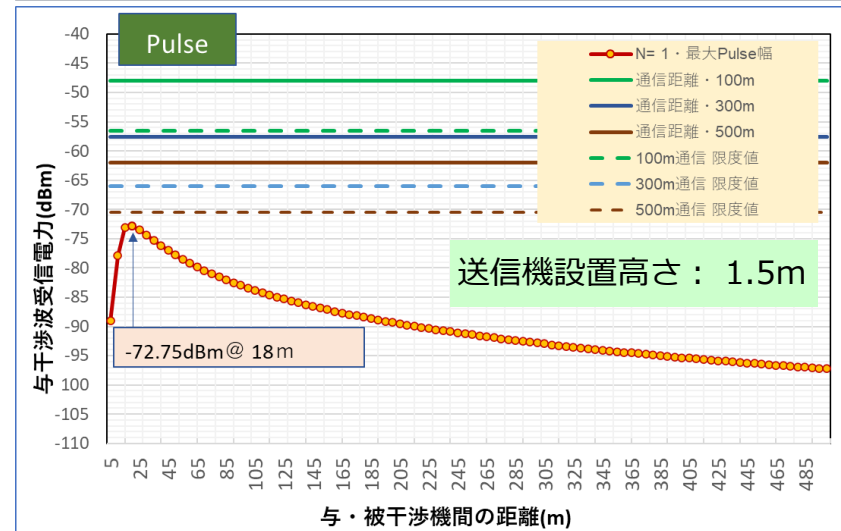
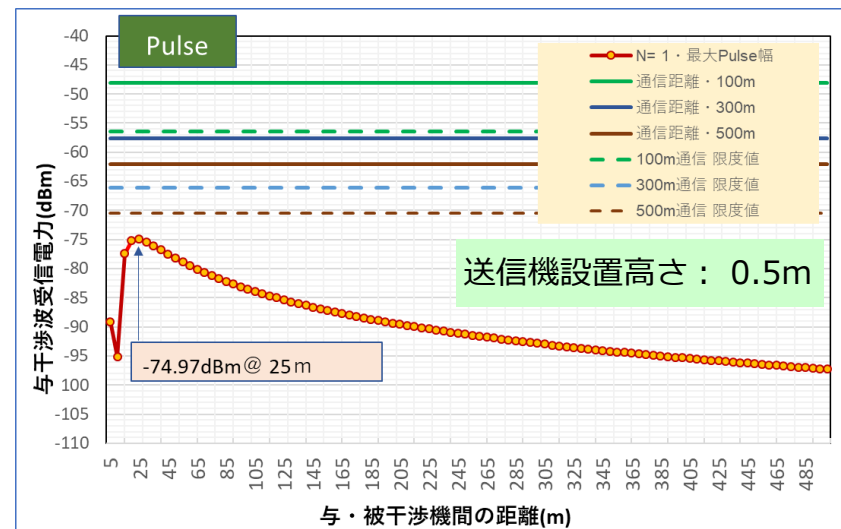
CNR基準離隔距離				
通信距離(m)	100	300	500	500
送信機設置高さ(m)	0.5			1.5
干渉波電力許容値(dBm)	-56.50	-66.05	-70.48	-70.48
パルス方式Margin(dB)	18.47	8.93	4.49	2.27

考察

- CNR ≥ 8.45 dB を基準としたとき、屋外WiGig機器が 通信距離 100m、300m、500mにおける干渉波受信電力の許容限度値は それぞれ -56.5dBm、-66.05dBm、-70.48dBmとなる。
- 与干渉機器の設置高さが 0.5m/1.5mの場合、干渉波受信電波最大値は 距離 25m/18mで 現れ、-74.97dBm/-72.75dBmとなり、WiGig機器の妨害電力許容値を下回る。
- 500m通信距離の条件では 送信高によって 4.49dB/2.27dBのMarginがある。

まとめ (結論)

パルスセンサーによる干渉波の受信電力が 干渉波受信電力許容値を超えないことから、パルスセンサーと屋外WiGig機器の共用は可能と考えられる。



4.3) (屋外) 共同住宅共聴システム CNR基準 離隔距離

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機器	周波数	Fv	60.05	GHz
	波長	λ	0.00500	m
	送信電力	Pt	-14.0	dBm
	送受信空中線利得	Gt/Gr	23.0	dBi
	EIRP	EIRP	9.02	dBm
	空中線半値角	θ_{-3dB}	6.71	deg
	Main Lobe幅	θ_{ml}	17.3	deg
	Side Lobe	G θ	-11.4	dBi
	与干渉信号受信アンテナ利得	G R_i	相対位置により算出	dBi
	帯域幅	BW	34.5	MHz
	受信機雑音指数	NF	7	dB
	所要C/N	CNreq	20.2	dB
	伝送距離	D	20	m
	Side Lobe(>90°)	Gside	-13	dBi
	CH内熱雑音電力	Pn	-91.5	dBm

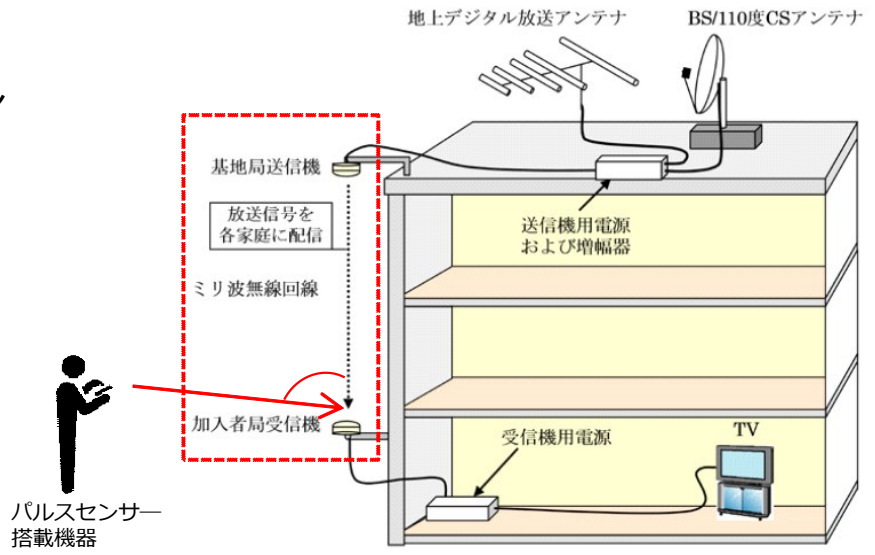
与干渉機諸元

与干渉機器	周波数	F i	60.05	GHz	
	波長	λ	0.00500	m	
	EIRP 平均値	EIRP i_{av}	4.8	dBm	EIRP尖頭値の時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BW i	1.1	GHz	限度値 (計算使用値)
	設置位置	Angle	> 9	degree	サイトローブ受信
	台数	N	1	台	

主要計算式

干渉波受信電力: $P_{Ri} = EIRP_{iav} \cdot G_{Ri} \cdot (\lambda / 4\pi D_i)^2 \cdot BW / BW_i$
 尚、G R_i は角度毎に算出

干渉モデル



【出典】令和元年度委員会報告概要資料

4.3) (屋外) 共同住宅共聴システム CNR基準 離隔距離

検証結果

与干渉機 1 台の場合、所要CNRを確保するため必要な離隔距離の計算結果は 以下となる

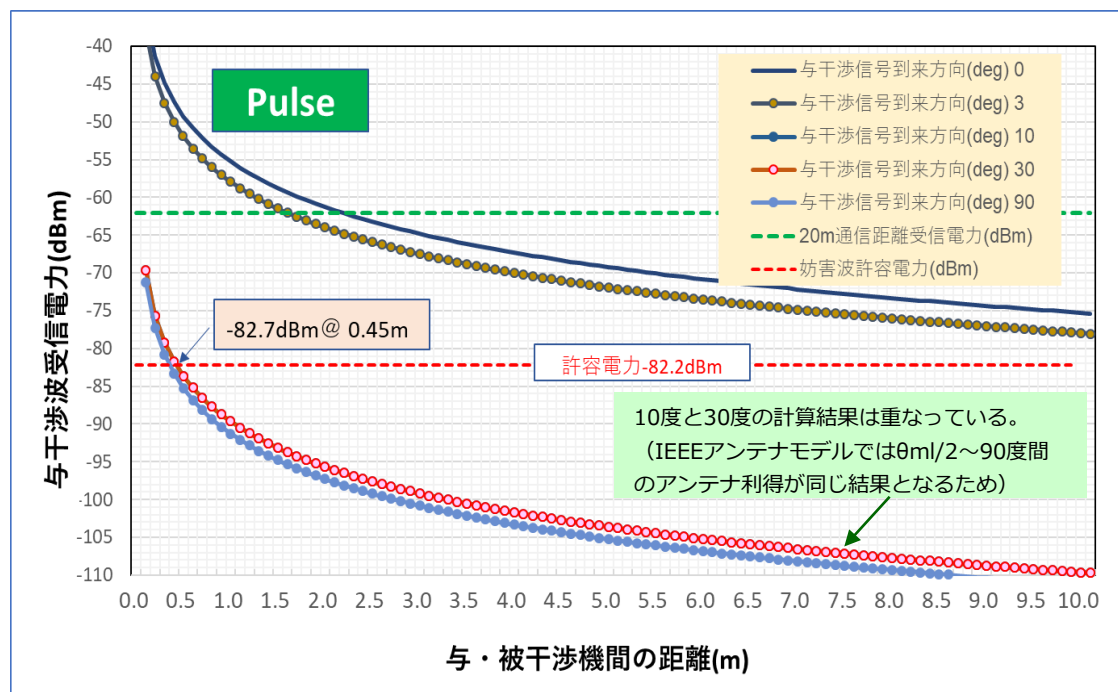
CNR基準 離隔距離	
通信距離	20m
干渉波電力許容値	-82.2dBm
離隔距離	0.45m

考察

- CNreq > 20dB を基準としたとき、共同住宅共聴システムの 20m配信時の 干渉波受信電力の許容限度値は -82.2dBmとなる。
- 共同住宅システムの送受信アンテナメインビーム幅は 17.3degreeとなる。パルスセンサーは 該システムのメインビームに入ると妨害となる。
- メインビームから9度をずらす場合、該システムアンテナのサイドローブにより干渉波を受信する事となる。
- サイドローブにより干渉波を受信する場合、パルス方式では 離隔距離は0.45mとなる。

まとめ (結論)

- 所要離隔距離の算出結果を踏まえると、実際の利用環境においては、パルスセンサーと共同住宅共聴システムは共用可能と考えられる。



4.4) (屋外) 58GHz エントランス回線 INR基準 離隔距離

現状、無線局が存在しないため、本検討は参考検討とする

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機器諸元	周波数	Fv	58.32	GHz
	送受信空中線利得	Gt/Gr	41.9	dBi
	空中線半値角	θ_{-3dB}	1.5	deg
	空中線Main Lobe	θ_{ml}	3.87	deg
	受信帯域幅	BW	26	MHz
	大気吸収損失	La	-5	dB/km
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	熱雑音電力	NVr	-89.65	dBm
	許容INR	INR	-10	dB
	設置高さ	HR	5	m

与干渉機諸元

与干渉機器諸元	周波数	Fi	58.32	GHz	
	波長	λ	0.00514	m	
	送信電力(尖頭値)	PTi	-5	dBm	瞬間最大値@58.32GHz
	送信空中線利得	Gi	7	dBi	実装代表値
	空中線半値角	θ_{i-3dB}	90.0	deg	実装代表値 (IEEEモデル)
	空中線Main Lobe	$\theta_{i ml}$	232.0		実装代表値 (IEEEモデル)
	EIRP 尖頭値	EIRPipk	2	dBm	最大値
	EIRP 平均値	EIRPiav	-10	dBm	EIRP尖頭値の時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BWi	1.1	GHz	限度値 (計算使用値)
	設置高さ	Hi	0.5	m	
	台数	N	1	台	

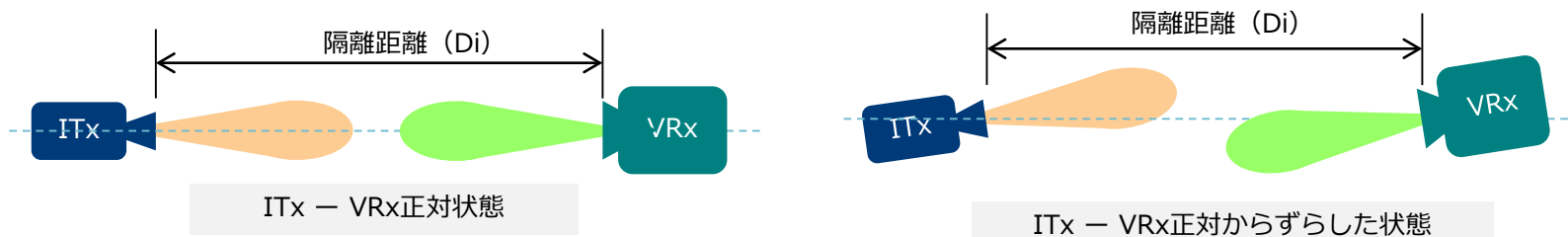
*パルス方式の中心周波数は 約60.5GHzとなる、58.32GHzでの PSDが 中心周波数より-15dB以上(実測値-25dB)低くなる。中心周波数を 58.8GHzまで接近させ、占有周波数帯域を 3.3~7GHzに変化させても、58.32GHzでの電力密度は 中心周波数より -15dB以上低い。

主要計算式

干渉波受信電力:

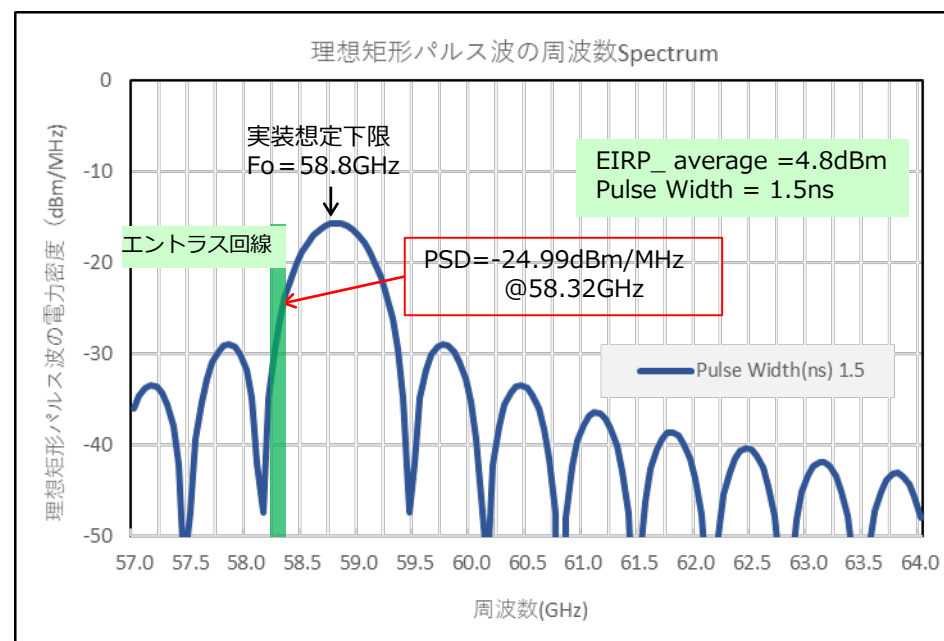
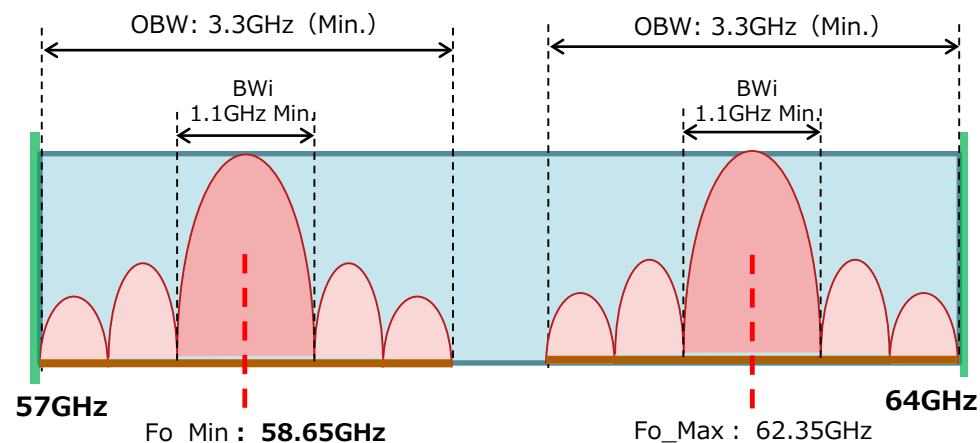
$$P_{Ri} = EIRPiav \cdot GRi \cdot (\lambda / 4\pi Di)^2 \cdot La \cdot BW / BWi$$

尚、GRiは 角度毎に算出



(参考説明) パルス方式の中心周波数

- パルス方式のOBW下限は 凡そ3.3GHzと想定している。
よって、中心周波数の下限は
 $F0_Min = 57GHz + 3.3GHz/2 = 58.65GHz$ となる。
- 実装時、マージン (ガードバンド) を 150MHzほどを設ける事を
想定され、中心周波数の下限は 58.8GHzにとどまる。
- 中心周波数が 58.8GHzまでくると 58.32GHzにおける電力密度
は $-24.99dBm/MHz$ @ 58.32GHz となり、マージンは確保可能
と考える。



4.4) (屋外) 58GHz エントランス回線 INR基準 離隔距離

検証結果

58GHz エントランス回線受信機により パルスセンサーの干渉波 受信電力の計算結果は 右図と下表となる。

INR基準干渉区間(m) vs 対向角度

対向角度 (degree)	0	10	20	40	60	80
Margin	7.56dB (Marginあり、干渉は起きない)					

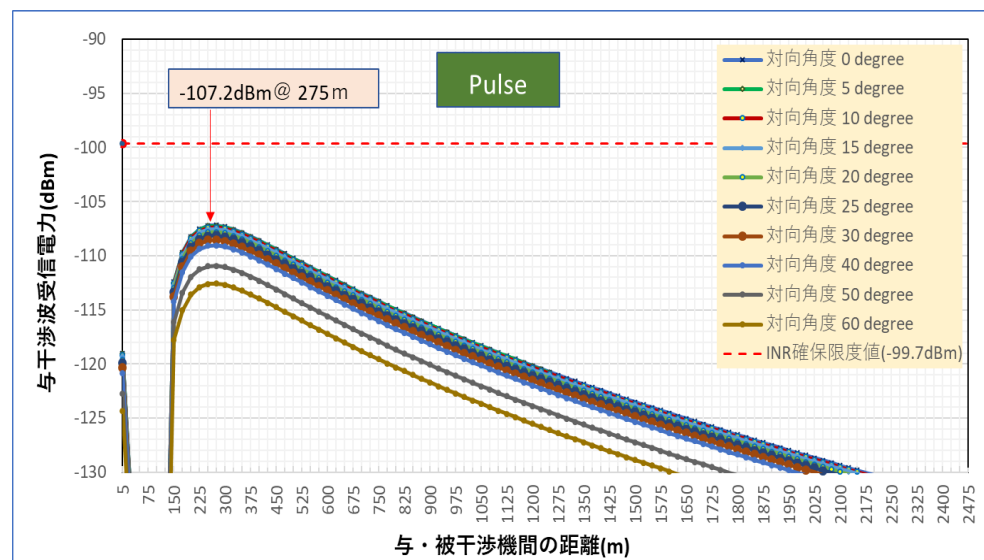
考察

- パルス方式は中心周波数が 約60.5GHzとなる。実装条件の与干渉電波帯域幅 (1.1GHz) では 58.32GHzでの PSDが 中心周波数より-15dB(実測値-25dB)以上低くなる。
- パルス方式センサーの占有帯域幅は 凡そ 3.3～ 7GHzとなっており、実装時のマージン(57GHzと64GHz帯域のガードバンド を150MHz程設ける 考え) を考慮すると、中心周波数が 58.8GHzまで接近する。中心周波数が 58.8GHzまで 接近する時、58.32GHzに於ける電力密度が Sinc関数では -24.99dBmとなり、依然、マージンを確保できると見込んでいる。
- パルスセンサーの干渉波受信電力は 与干渉機とエントランス回線受信装置との距離関係、アンテナ向き関係に依存し、最大で-107.2dBmとなるが、その場合でも、7.56dBのMarginがある。

まとめ (結論)

上記検討の結果から、58GHzエントランス回線のとの共用は可能であると考えられる。

(なお、現状、無線局が存在しないため、令和元年度委員会報告書では検討対象外としている。本検討は 参考検討の位置付けとなる)



4.5) (屋外) ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機器	周波数	Fv	60.48	GHz	
	送信電力	PTv	4.77	dBm	
	レーダー信号送受信 アンテナ利得	Gt/Gr	40 37	dB	Case-1、2 Case-3
	Pulse妨害波受信 アンテナ利得	GRI	40 37	dB	Case-1、3 Case-2
	空中線半値角	θ_{-3dB}	5.2	deg	
	帯域幅	BW	1	KHz	
	レーダー反射断面積 (RCS)	δ	10 5	m ²	Case-1、2 Case-3
	検知距離	R	1~120	m	
	スキャン角度	FOV	+/-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	
	熱雑音受信電力	NT	-123.8	dBm	

与干渉機諸元

与干渉機器	周波数	Fi	60.48	GHz	
	波長	λ	0.00496	m	
	EIRP 平均値	EIRPiav	4.8	dBm	EIRPの時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BWi	1.1	GHz	周波数拡散下限
	距離	Di	1~120	m	
	台数	N	3	台	

主要計算式

自己送信波受信電力：

$$Pr = (\lambda^2 \cdot PTv \cdot Gt \cdot Gr \cdot \delta) / [(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot La \cdot Lr]$$

妨害波受信電力：

$$PRI = EIRPiav \cdot GRI \cdot (\lambda / 4\pi Di)^2 \cdot La \cdot Lr \cdot N \cdot BW / BWi$$

4.5) (屋外) ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離

検討条件

ミリ波車載レーダーのNF(10dB)と所要CNR(3dB)を考えると 妨害波受信電力は ミリ波レーダーが検知対象車からの自己電波反射波受信電力より 13dB以上低いことが必要。又、車間距離は 最大120mとなる事を考慮することが必要。Pulseセンサー搭載車と 車載レーダー検知対象車は それぞれ 前方車又は 隣接車線走行車となる可能性があるため、下記3つのCaseで CNR基準離隔距離を算出。

検討条件：

- Case-1 ミリ波レーダーが前方車を検知、前方車が与干渉機を後部に搭載
- Case-2 ミリ波レーダーが前方車を検知、隣接車線の車が与干渉機を後部に搭載
- Case-3 ミリ波レーダーが隣接車線車を検知、前方車が与干渉機を後部に搭載
- ミリ波車載レーダーが 前方車を検知する際の信号（レーダーとセンサー信号）の送受信アンテナ利得は40dBiとする
- ミリ波車載レーダーが 隣接車線車を検知する際の信号（レーダーとセンサー信号）の送受信アンテナ利得は3dB低下し、37dBiとする。
- 隣接車線車のRCS（レーダー反射断面積）は 前方車より 3dB低下し、5 m²とする
- ミリ波車載レーダーの最大検出距離は 120m とする。
- 与干渉機の搭載台数は 実際の利用においては 車一台当り 搭載数 1台が想定されるが、3台で計算する

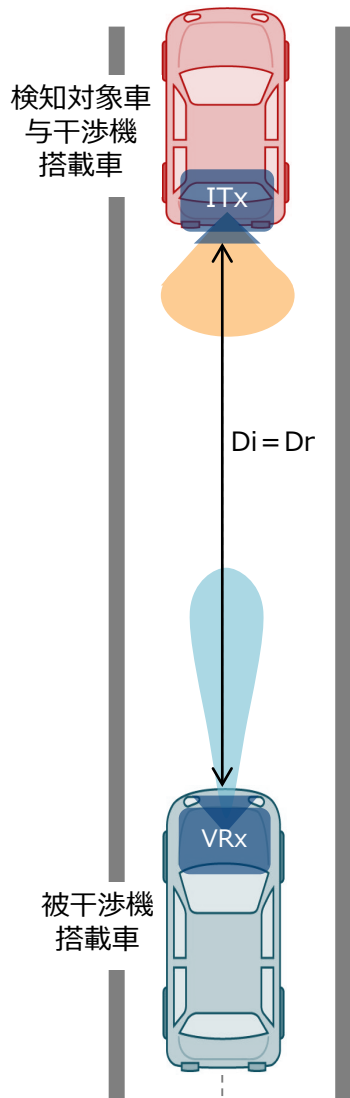
	ミリ波車載レーダーの検知対象	与干渉機となるPulseセンサー搭載場所	ミリ波レーダー信号を送受信時のアンテナ利得	妨害波を受信時のアンテナ利得	検知対象RCS	与干渉機搭載台数
			Gt / Gr (dBi)	GRi (dBi)	δ(m ²)	
Case-1	前方車	前方車後部	40	40	10	3
Case-2	前方車	隣接車線車両後部	40	37	10	
Case-3	隣接車線車両	前方車後部	37	40	5	

4.5) (屋外) ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離

検証Case説明_検知対象と与干渉機搭載場所

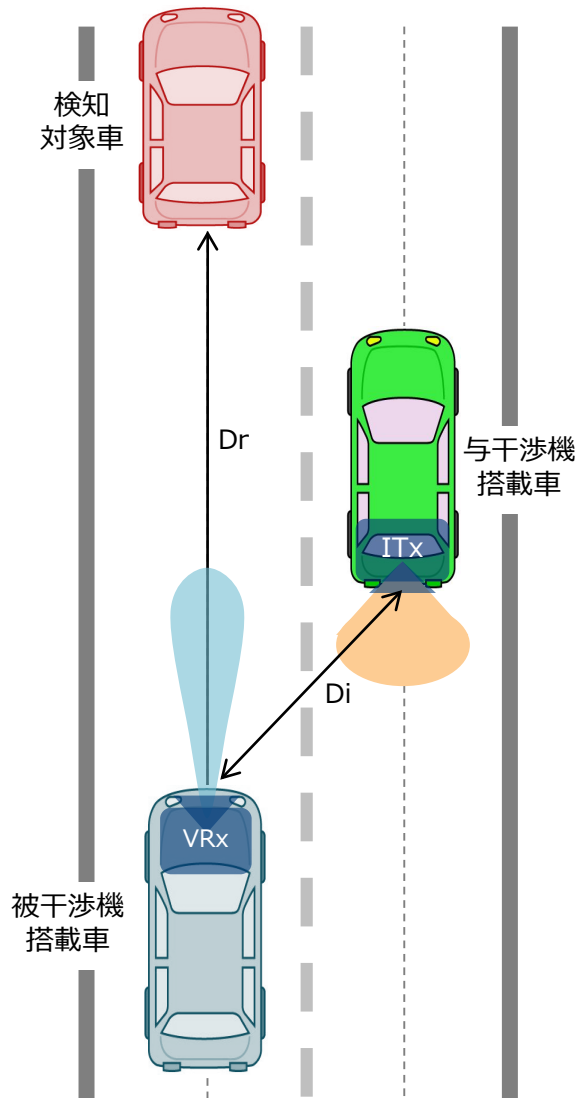
Case-1

検知対象車：前方車
与干渉機搭載車：前方車



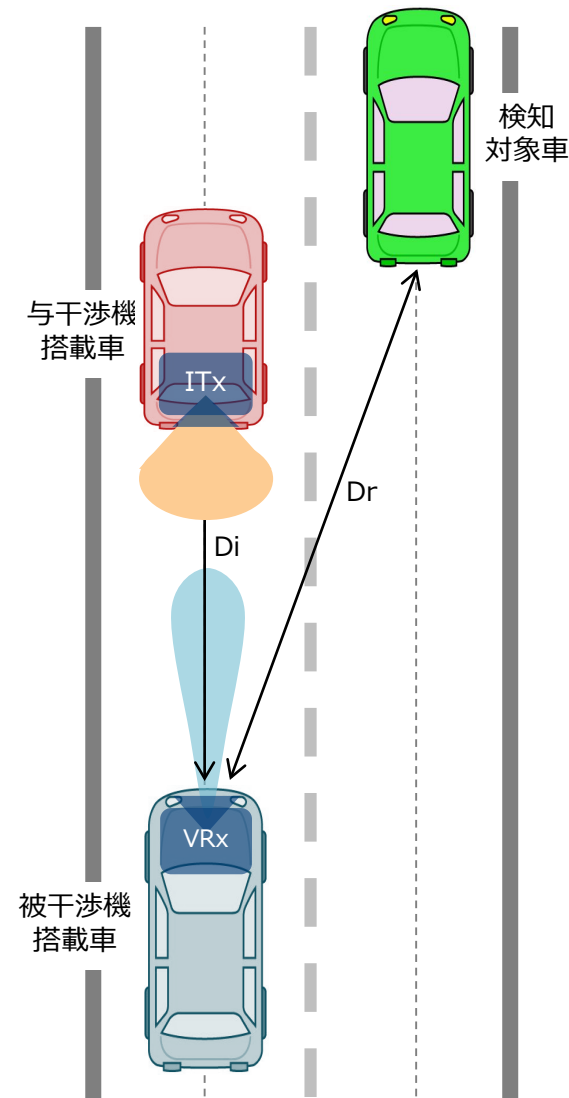
Case-2

検知対象車：前方車
与干渉機搭載車：隣接車線車



Case-3

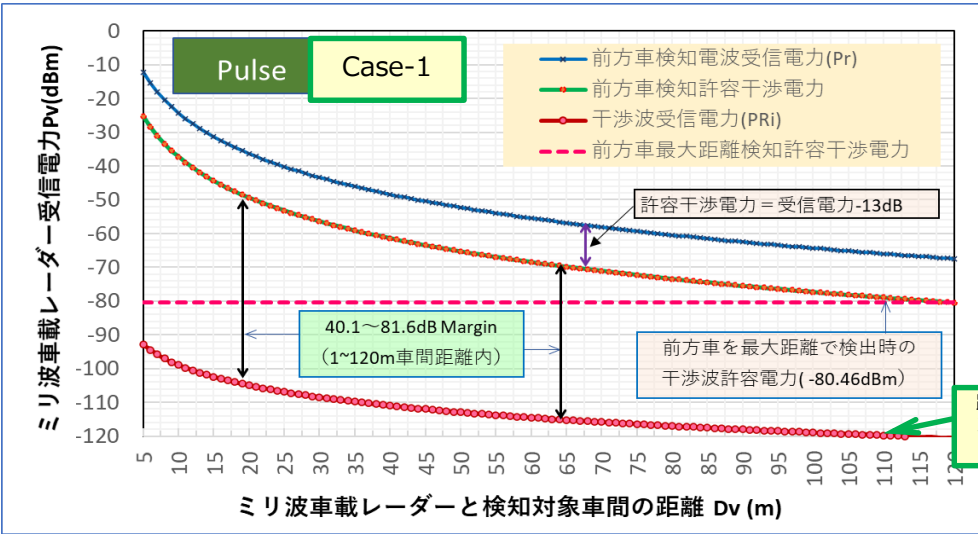
検知対象車：隣接車線車
与干渉機搭載車：前方車



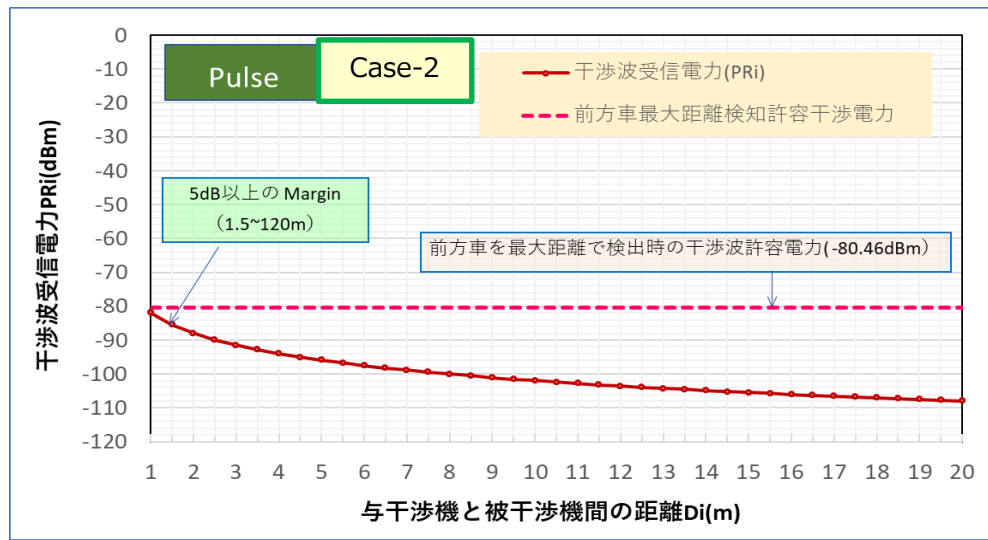
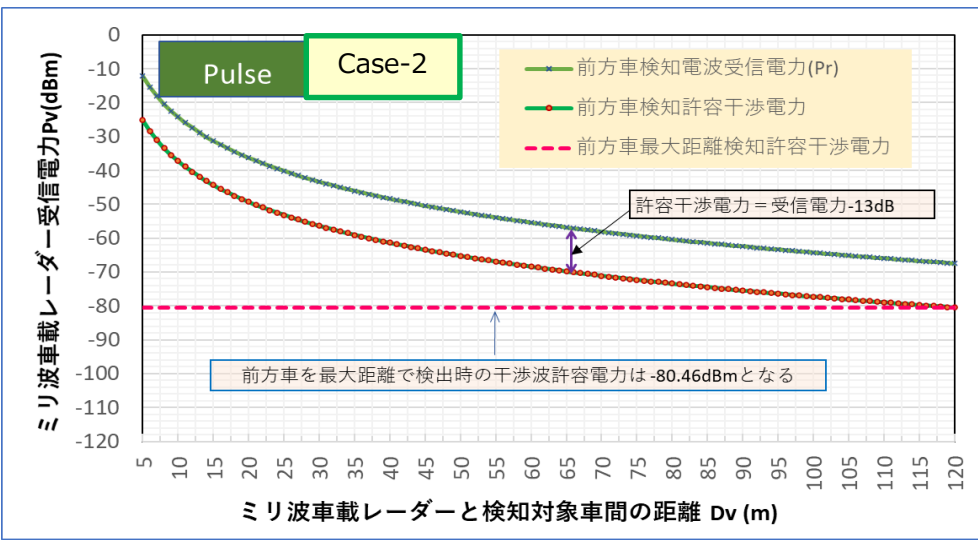
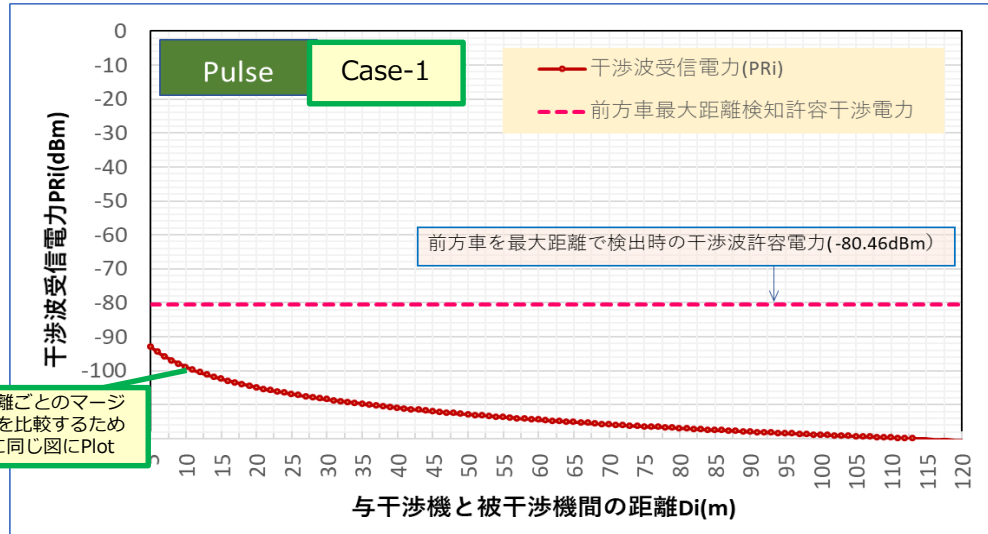
4.5) (屋外) ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離

検証結果

レーダー自己信号受信電力

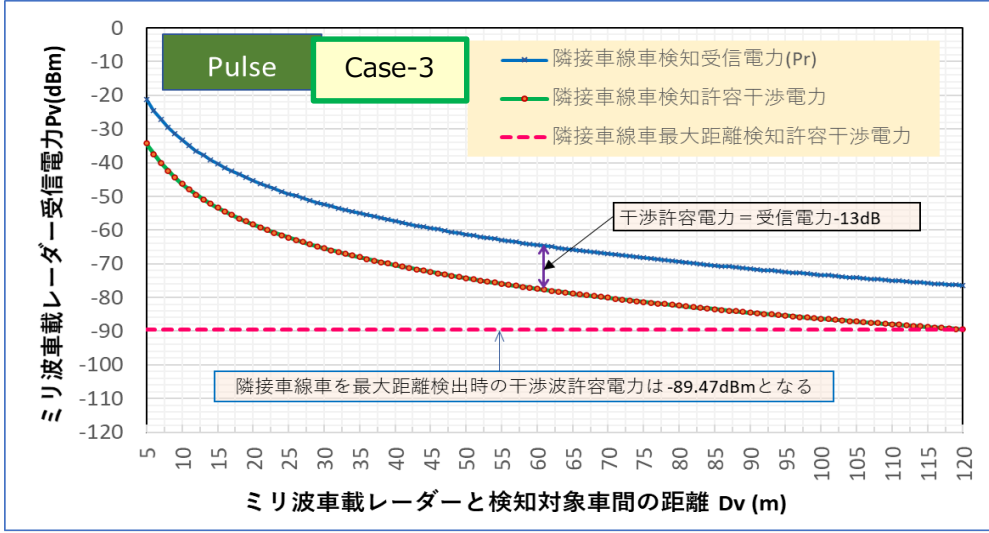


妨害波受信電力

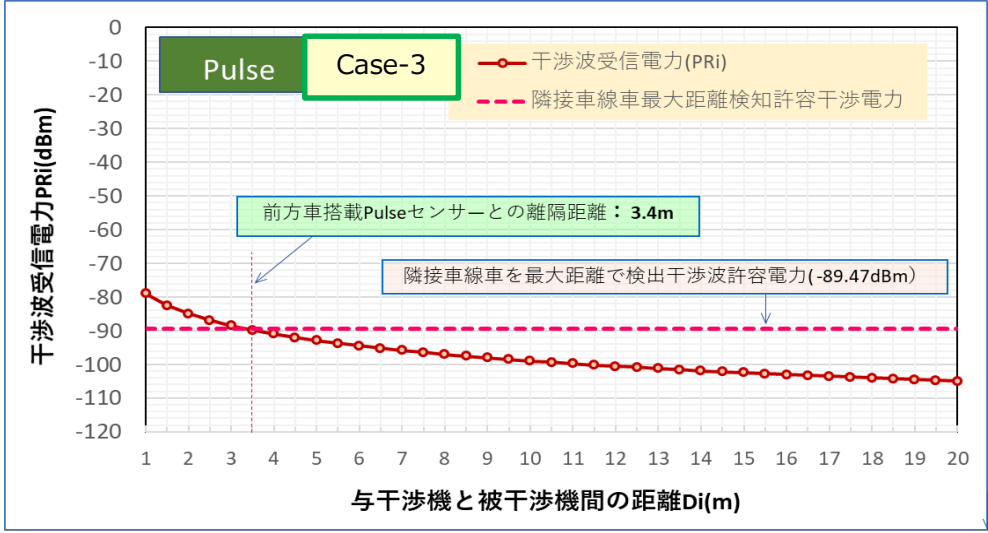


4.5) (屋外) ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離

レーダー自己信号受信電力



妨害波受信電力



検証結果一覧

	ミリ波車載レーダーの検知対象	与干渉機となるPulseセンサー搭載場所	離隔距離 又はMargin	条件
Case-1	前方車	前方車後部搭載	40.1~81.6dB Margin	<ul style="list-style-type: none"> ミリ波レーダー最大検知距離 120m ミリ波レーダーと隣接車線搭載Pulseセンサーとの最小距離は 1.5m以上 (車の幅により) 隣接車線車のRCSは 前方車より3dB低下 隣接車線車を検知する際のレーダーの送受信アンテナ利得は 3dB低下 隣接車線車からの妨害信号を受信する際のアンテナ利得も 3dB低下
Case-2	前方車	隣接車線車両後部搭載	1.5dB Margin	
Case-3	隣接車線車両	前方車後部搭載	3.4m	

4.5) (屋外) ミリ波車載レーダー CNR基準 離隔距離

考察

- Case-1、検知対象車とセンサー搭載車が共に 前方車である場合、ミリ波車載レーダーの自己電波反射波受信電力は 妨害波受信電力をはるかに超える。許容干渉電力と 40dB以上のMarginがあるため 干渉が起こらないと考えられる。
- Case-2、検知対象車は距離120mの前方車、センサー搭載車は 隣接車線の車両の場合、センサーと ミリ波レーダー間の距離が 1.5mまで接近しても 5dBのMarginを確保できる。（車の幅から 1.5mは 最小接近距離となるが、1 m まで接近しても 1.5dBのMarginがある）
- Case-3、検知対象車は隣接車線車、センサー搭載車は 前方車両の場合、ミリ波レーダーの自己信号送受信におけるアンテナの利得低下と、対象車のRCS低下を想定できる。それぞれ 3dB 減少する事を仮定条件として計算した結果、前方車の距離が 3.4m まで接近すると 120m前方の隣接車線車を検出する際の許容干渉電力を超える。然し、現実では、Case-1での計算結果から、前方車が 3.4mまで接近すると ミリ波レーダーの前方車からの反射波受信電力は -6dBmとなり、120m前方の隣接車線車の反射信号（-76.47dBm）より 70dBも高いため、前方車と隣接車線走行車の位置関係と反射波の受信電力の大きさから 前方車の対応が優先される事が一般的な考えとなる。

まとめ（結論）

以上の検討から、実際の利用環境においては、ミリ波車載レーダーの正常動作に影響を及ぼす事がなく、両システムの共用は可能であると考えられる。

4.6) (屋外) 踏切障害物検知装置 CNR基準 離隔距離

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機器諸元	周波数	Fv	60.5	GHz
	波長	λ	0.00496	m
	空中線利得	Gt/Gr	28.5	dBi
	空中線半値角	θ_{-3dB}	H : 5.4/9.0 V : 2	deg
	空中線電力	PTv	10	dBm
	最大検知距離	R	25	m
	反射断面積	δ	0.001	m ²
	最小受信電力	Pm	-98.7	dBm/KHz
	雑音帯域幅	BWn	1	KHz
	変調帯域幅	OBW	300	MHz
	マージン	CNreq	3	dB

与干渉機諸元

与干渉機器	周波数	Fi	60.5	GHz	
	波長	λ	0.00496	m	
	EIRP 平均値	EIRPiav	4.8	dBm	EIRPの時間平均値
	与干渉電波帯域幅	BWi	1.1	GHz	限度値 (計算使用値)
	距離	Di	1~40	m	
	台数	N	3	台	

構成機器



送受信機

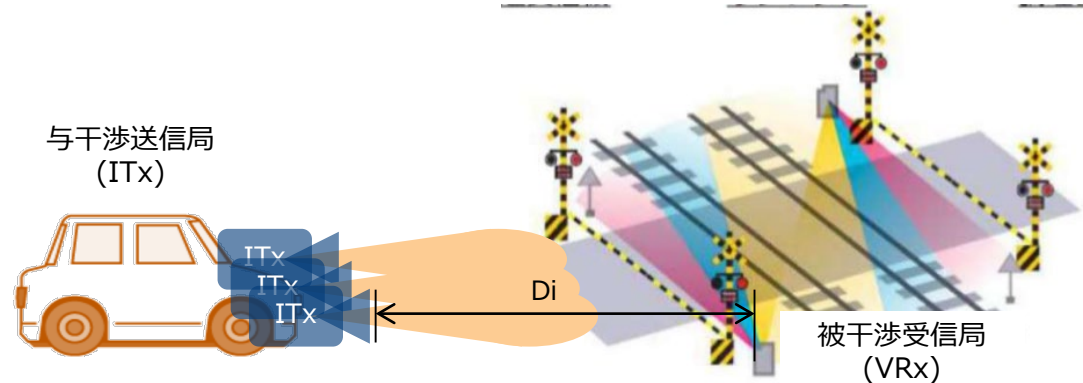
リフレクタ

論理部

主要計算式

自己波受信電力：
 $Pr = (\lambda^2 \cdot PTV \cdot Gt \cdot Gr \cdot \delta) / [(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot La \cdot Lr]$
 干渉波受信電力：
 $PRi = EIRPiav \cdot Gr \cdot (\lambda / 4\pi Di)^2 \cdot La \cdot Lr \cdot N \cdot BW / BWi$

ミリ波踏切障害物検知装置干渉モデル
 (車搭載パルスセンサーが踏切障害物検知装置を妨害)



4.6) (屋外) 踏切障害物検知装置 CNR基準離隔距離

検証結果

踏切レーダーの自己電波反射波受信電力と与干渉波の受信電力の関係は右のグラフのようになる。

これより、踏切レーダーの最大検出距離25mで CNRを確保するため、必要なパルスセンサーの離隔距離は以下の結果となる。

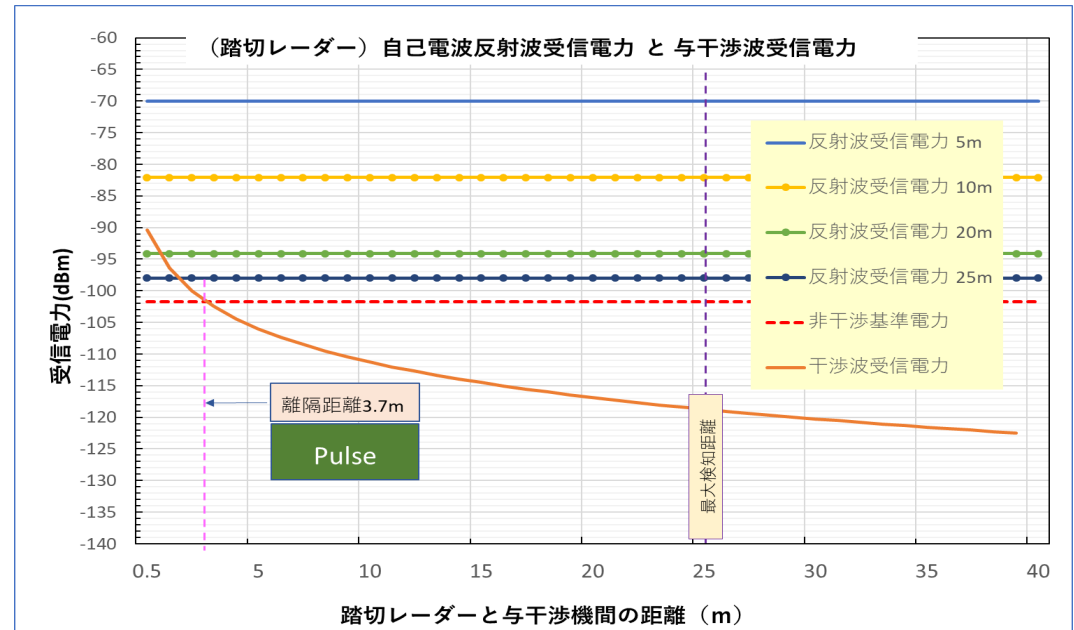
CNR基準離隔距離	
踏切レーダー検知距離	25m
所要離隔距離	3.7 m

考察

- ミリ波踏切レーダーの最小受信電力は -98.7dBm となる（受信帯域幅は 1KHz ）。
- $\text{CNR} \geq 3\text{dB}$ の基準では 被干渉基準電力は -101.7dBm となる。
- 与干渉機が踏切レーダー受信機に接近すると、干渉波受信電力が 被干渉基準電力を超え、妨害が生じる可能性がある。妨害が生じないために必要な離隔距離は 3.7m となった。
- なお、上記検証では、パルスセンサー 3 台が 踏切装置に向けて連続送信の条件で計算したが 実用運用では 送信時間制御の規定により、実効干渉電力は $1/10$ まで下がる。該干渉電力の軽減で上記離隔距離は $1/3$ まで短縮できる。又、想定ユースケースでは パルスセンサーの搭載位置は 車の後部となり、後ろ向きに電波の放射するので 踏切通過後の車が踏切付近に止まって、踏切レーダーに向けて長時間放射することは 想定されない。

まとめ（結論）

上記検討の結果から、踏切障害物検知装置との共用は可能であると考えられる。



4.7) (屋外) 地球探査衛星業務 衛星保護所要改善量

検証条件

地球探査衛星とパルスセンサーの周波数が重複するものもあるため、帯域内チャンネルでの干渉評価を実施した。

被干渉機諸元

被干渉機器諸元	受信空中線利得	Gr	dBi	54	54	令和元年度委員会報告書より引用
	衛星SSMIS CH	No.		6	19	
	受信周波数		GHz	57.29	60.793	米国軍事気象衛星 DMSP 5D-3 F18
	受信帯域幅	BW	MHz	330	106	
	SSMIS偏波面			RC	RC	
	地球上可視範囲 (SSMIS)	I FOV *	km ²	354.6 (25.497dBkm ²)		Foot-Print : 25.8km x 17.5km
	衛星軌道高度	H	km	850		840.55~855.70km
ITU 衛星保護勧告	LMT	dBm/MHz	-159		-169dBW/100MHz	

* IFOV(km²) = $\pi \times 25.8/2 \times 17.5/2$

与干渉機諸元

与干渉機器諸元	評価周波数	Fi	GHz	57.29	60.793	
	送信電力 (瞬間最大)	PTi	dBm	10		
	送信空中線利得	Gi	dBi	7		実装典型値、IEEEモデル
	干渉波電力密度(瞬間最大)	PSDo	dBm/MHz	-20.4	-20.4	与干渉電波帯域幅1.1GHzで計算
	送信制御Duty Cycle	Duty_sense	%	10		3.3ms max. Per 33ms
	Pulse Duty Cycle	Duty_tx	%	6		Pulse電波の間欠動作により

その他の計算条件：

- 普及密度を東京都の昼間人口密度にマージンを加えて 20000(台/km²) と仮定 (令和元年度委員会報告書の条件を使用)
- 屋外での滞在時間率を10%とする (令和元年度委員会報告書の条件を使用)
- 電波伝播減衰の計算に 衛星と観測点の距離を使わず、衛星高度を使う (正確な諸元が不明のため、最悪ケースで検証する)

4.7) (屋外) 地球探査衛星業務 衛星保護所要改善量

計算式と 計算過程

評価周波数	RF (GHz)		57.29	60.793
評価波長	λ (m)		0.00524	0.00493
干渉波電力密度 (1.1GHz帯域 計算)	PSDo(dBm/MHz)	A	-20.4	-20.4
衛星受信空中線利得	Gr(dBi)	B	54.0	
与干渉送信空中線利得	Gi(dBi)	C	7	
与干渉機送信時間制御によりDuty Cycle	Duty_Sense (dB)	D1	-10	
与干渉機器検知動作時送信 Duty Cycle	Duty_tx(dB)	D2	-12.218	
天頂大気減衰量	La(dB)	e1	-100	-160
電波伝播減衰 $20\log(\lambda/4\pi H)$ 、 $H=850\text{km}$	Lt(dB)	e2	-186.2	-186.7
与干渉信号総合伝送損失 (La+Lt、dB)	L(dB)	E=e1+e2	-286.2	-346.7
与干渉機一台からの受信電力密度	PSDRi (dBm/MHz)	F=A+B+C+D1+D2+E	-267.8	-328.3
衛星保護電力密度 (-169dBW/100MHz換算値)	LMT (dBm/MHz)	G	-159	
衛星Footprint (平方km、dB)	Ifov (dBkm ²)	V	25.497	
東京都人口密度 (人/km ²)	PD (人/km ²)	j1	20000	
東京都人口密度 (人/km ² 、dB)	PD (dB) /km ²	J	43.0	
衛星Foot Print内人数 (人、dB)	N_FoV (dB)	K= V + J	68.5	
屋外での滞在時間率 Duty_out	Duty_out (%)	d3	10	
屋外での滞在時間率 Duty_out (dB)	Duty_out (dB)	D3	-10	
集合干渉波受信電力(dBm/MHz)	P_aggregate(dBm/MHz)	P=F+K+D3	-209.3	-259.8
衛星保護所要改善量 (dB)	Δ PSD (dB)	M =P-G	-50.3	-100.8

4.7) (屋外) 地球探査衛星業務 衛星保護所要改善量

検証結果

衛星保護所要改善量

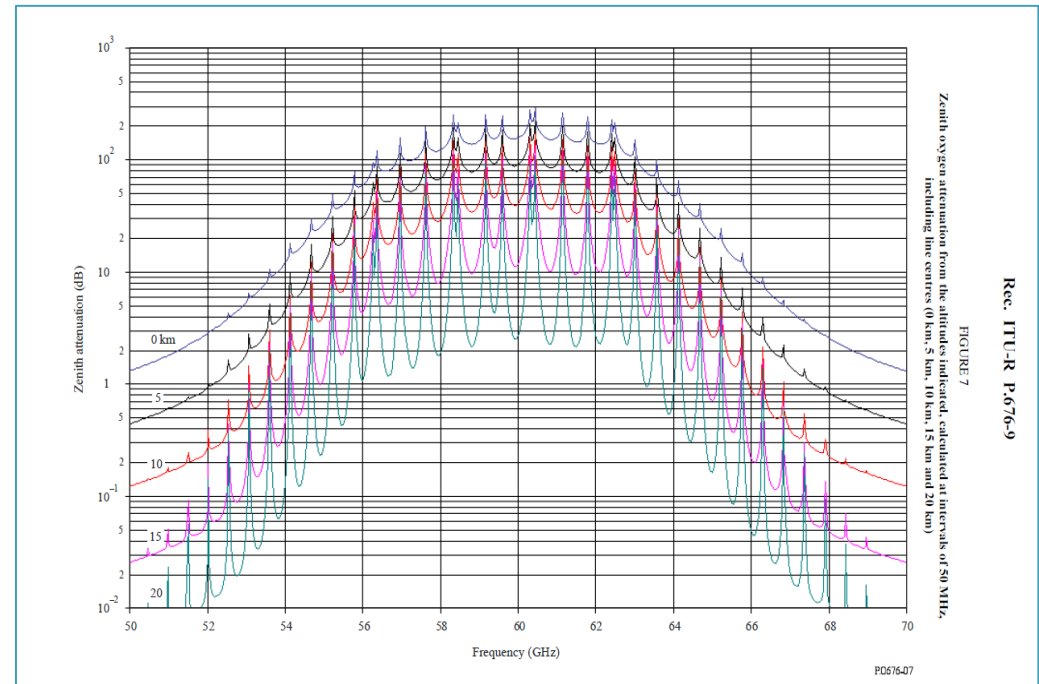
衛星保護所要改善量		
評価周波数(GHz)	57.29	60.793
天頂大気減衰量 (dB)	-100	-160
所要改善量 (dB)	-50.3	-100.8

考察

- 60GHz周波数帯では 天頂大気減衰は周波数によって激しく変化する。
- 57.29GHzでの天頂大気減衰が60.793GHzより約60dB少ないため、共用条件は厳しくなる。
- 普及密度を令和元年度委員会報告書と同様に 20000台/km²と仮定する。
- 上記条件では 算出した衛星保護所要改善量は 57.29GHz (SSMIS CH6) では、-50.3dBとなり、又、60.793GHz (SSMIS CH19) では -100.8dB となる。いずれのCHにも大きなマージンがある。

まとめ (結論)

上記検討の結果から、パルスセンサーが大規模に普及されても 地球探査衛星業務に与える干渉は 衛星保護電力密度より大きく下回り、地球探査衛星業務との共用は可能であると考えられる。



Part- 2 帯域外システム

4.8) (屋外) 55GHz FPU回線 INR基準 離隔距離

4.9) (屋外) 電波天文台 集合干渉電力基準 離隔距離

4.8) (屋外) 55GHz FPU回線 INR基準 離隔距離

検証条件

被干渉機諸元

被干渉機諸元	周波数	Fv	55.27	GHz
	送受信空中線利得	Gt/Gr	35	dBi
	空中線半値角	θ_{-3dB}	3.3	deg
	空中線Main Lobe	θ_{ml}	8.5	deg
	受信帯域幅	BW	54.4	MHz
	大気吸収損失	La	5	dB/km
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	熱雑音電力	NVr	-86.47	dB
	許容INR	INR	-20	dB

与干渉機諸元

与干渉機	周波数	Fi	55.27	GHz	
	波長	λ	0.00543	m	
	送信電力密度	PSDi	-30	dBm/MHz	小電力帯域外不要放射規制値、
	送信空中線利得	Gi	3.0	dBi	Mismatchにより利得低下
	空中線半値角	θ_{i-3dB}	109	deg	周波数特性を反映
	空中線Main Lobe	$\theta_{i_{ml}}$	281.2	deg	
	送信Duty Cycle	Duty_tx	6	%	最大値（検知動作時）
	台数	N	1	台	

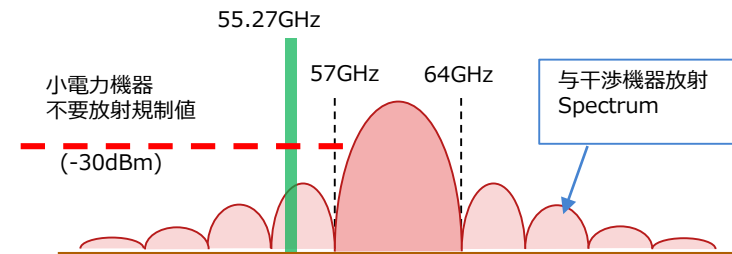
4.8) (屋外) 55GHz FPU回線 INR基準 離隔距離

主要計算式

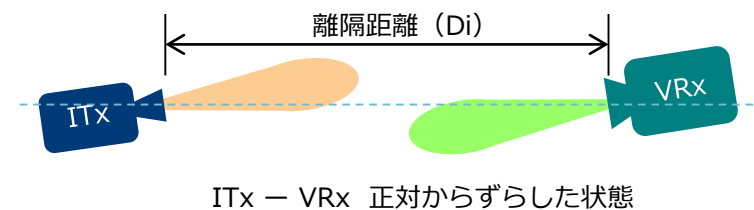
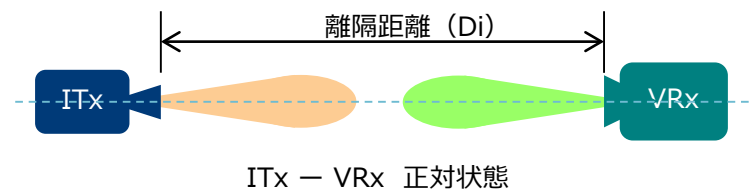
妨害波受信電力：

$$\begin{aligned} P_{Ri} &= P_{Ti} \cdot G_i \cdot G_r \cdot (\lambda / 4\pi D_i)^2 \cdot L_a(D_i) \cdot \text{Duty}_{tx} \\ &= \text{PSDi} \cdot \text{BW} \cdot G_i \cdot G_r \cdot (\lambda / 4\pi D_i)^2 \cdot L_a(D_i) \cdot \text{Duty}_{tx} \end{aligned}$$

尚、 G_r / G_i は 相対位置の角度から算出する



55GHz FPU回線への干渉モデル
(与干渉機帯域外不要放射が FPU機器を妨害)

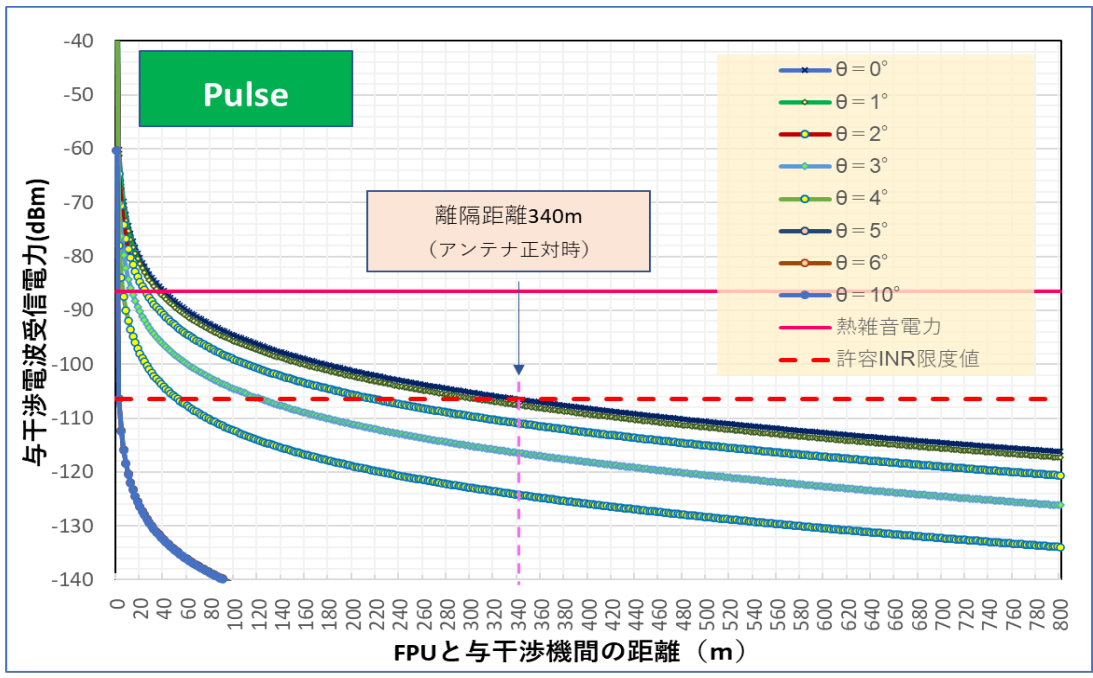


なお、帯域外妨害電力PSDiの値に 小電力機器帯域外不要放射電力規制値を使用。
ただし、パルスセンサーが 検知動作送信時だけ、妨害波を発射する。

4.8) (屋外) 55GHz FPU回線 INR基準 離隔距離

検証結果

与干渉電波受信電力(dBm)



INR基準離隔距離 vs アンテナ対向角度

アンテナ対向角度(deg)	0	1	2	3	4	5	6	10
Pulse方式離隔距離 (m)	340	306	220	124	54	2.1	2.1	2.1

Side Lobe影響領域

4.8) (屋外) 55GHz FPU回線 INR基準 離隔距離

考察

- 55GHz FPU回線の離隔距離計算は $INR < -20\text{dB}$ の基準で計算される。その基準電力は -106.47dBm となる。FPU回線のアンテナビームが 3.3° と狭いため、与・被干渉機のアンテナの位置関係で 与干渉電波の受信電力が大きく変わる。
- 与・被干渉機のアンテナが正対する場合、干渉波受信電力は 一番大きくなり、必要な離隔距離は **340m**となる。然し、正対向きから 5度をずらせば、離隔距離が **2.1m**までに緩和される。
- 上記計算では 与干渉送信電力密度が -30dBm/MHz （不要輻射電力の許容値）を使っていたが 実際の機器は これより $10\sim 20\text{dB}$ 低い値となり、離隔距離が 上記計算値から更に約 $1/3\sim 1/9$ まで 短くできる。また、実際の利用環境においては、建物・人体の遮蔽効果なども考慮できるケースにおいては、離隔距離は更に短縮される。

まとめ（結論）

FPU とミリ波センサーシステム間では特定の対向条件では干渉が起こり得るが、FPU に正対する位置へのミリ波センサーシステムの進入を防ぐなどの運用により、共用可能と考えられる。

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

長野県の人口・車事情調査 (2020.7現在)

	総人口①	潜在車使用者② (18-85歳人口)	潜在運転者 人口占有率	乗用車 保有数
長野県	2037228 (R1)	1758404	0.858 ↓	
南佐久郡	23718 (R1)	20348*	0.858	20348

長野県の人口事情から 18-85歳の人 (車運転可能な人) の比率は 0.858 となる。
 該比率を 野辺山天文台所在地である 南佐久郡に適応すると 南佐久郡の車運転可能人は 20348人となる。南佐久郡では 車保有率は 成人 1台/1人 とする場合、車の台数は 20348台となる。

尚、北陸信越運輸局の自動車登録記録では 南佐久郡の乗用車登録台数は 17169台となる。

本計算では 20248台の数字を採用し、17169台との差 (18.5%)を Margin とする。

① <https://www.pref.nagano.lg.jp/tokei/tyousa/documents/jinkou0207.pdf>

② <https://www.pref.nagano.lg.jp/tokei/tyousa/documents/nenrei1910.pdf>

③ 北陸信越運輸局 運輸支局 松本自動車検査登録事務所
https://www.tb.mlit.go.jp/hokushin/nagano/pdf/h30_shichoson_hoyu.pdf

国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45m電波望遠鏡所在地 (長野県南佐久郡) の事情				
人口 (R2)	23653			
面積	767.42			
人口密度	30.8 / km ²			
乗用車登録数③	普通	小型	軽四輪	合計
	5320	5544	6305	17169
人口当たり乗用車所有数	0.726台 / 人			

参考: 令和元年10月1日現在 長野県の年齢(各歳)別・男女別人口(年齢不詳をあん分した人口)

年齢	総数	男	女	年齢	総数	男	女
0-4	74,490	38,282	36,208	60-64	129,199	64,157	65,042
5	13,629	6,980	6,649	65	25,823	12,699	13,124
1	14,493	7,399	7,094	61	25,227	12,466	12,761
2	14,871	7,630	7,241	62	24,759	12,474	12,285
3	15,805	8,255	7,550	63	26,256	12,982	13,274
4	15,692	8,018	7,674	64	27,134	13,536	13,598
5-9	83,584	42,770	40,814	65-69	148,221	72,796	75,425
5	15,762	8,023	7,739	65	26,484	13,145	13,339
6	16,417	8,395	8,022	66	27,512	13,672	13,840
7	16,694	8,552	8,142	67	28,930	14,153	14,777
8	17,255	8,847	8,408	68	31,624	15,345	16,279
9	17,456	8,953	8,503	69	33,671	16,481	17,190
10-14	91,998	47,121	44,877	70-74	149,248	71,661	77,587
10	17,617	8,954	8,663	70	36,669	17,781	18,888
11	18,368	9,346	9,022	71	35,562	17,270	18,292
12	18,555	9,577	9,278	72	32,912	15,906	17,006
13	18,632	9,554	9,078	73	20,443	9,647	10,796
14	18,826	9,690	9,136	74	23,662	11,057	12,605
15-19	100,265	51,396	48,869	75-79	127,851	58,965	68,886
15	19,435	9,889	9,546	75	28,022	13,127	14,895
16	19,736	10,082	9,654	76	26,010	12,071	13,939
17	20,675	10,565	10,110	77	26,391	12,232	14,159
18	20,214	10,463	9,751	78	24,416	11,138	13,278
19	20,205	10,397	9,808	79	23,012	10,397	12,615
20-24	83,104	44,404	38,700	80-84	96,647	40,786	55,861
20	19,972	10,331	9,641	80	19,269	8,335	10,934
21	19,703	10,362	9,341	81	20,095	8,686	11,409
22	16,441	8,849	7,592	82	20,170	8,577	11,593
23	13,479	7,484	5,995	83	19,307	7,980	11,327
24	13,509	7,378	6,131	84	17,806	7,208	10,598
25-29	78,070	41,027	37,043	85-89	75,204	27,894	47,310

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

電波天文検証計算モデル

計算方法： 令和元年度作業班の方法を準用
(アグリゲートモデル及び干渉軽減モデル)

方位 →		南西		北東	
距離範囲	(km)	10	10~30	10	10~30
距離範囲境界	(km)	10	30	10	30
該リングエリア内総人口	人	24234	465420	10826	208698
リングエリア内人口密度	人/km ²	154.3	370.4	68.9	166.1
該方位・該距離エリア内の総人数	人	24234	489654	10826	219524
全方位リングエリア内の総人数	人	35060	674118		
該地域人口当たりの乗用車所有数	台/人	0.858			
全方位リングエリア内の車台数	台	30078	578328	全車キックセンサーと乗員検知センサーを計 2 台 搭載。	
30km エリア内集合干渉電力	(dBm/MHz)	-173.1	-177.1		
所要マージン	dB	-23.414	-20.851		

時間軸に於ける干渉軽減要素		
デバイスの一日利用時間	1.025時間 (Duty_day=1.025/24)	
人体・物体遮蔽に於ける干渉軽減要素		
全てのセンサーの集合平均	0 dB / 3dB で別々計算	
電波天文受信設備からの距離に於ける干渉軽減要素		
都市構造による遮蔽損失	電波天文受信アンテナからの距離	
	< 10km	適応なし
	>=10km	10.16dB *

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

パルスセンサーの動作時間 (時間軸上における軽減要素)

- ・パルスセンサーは 車室内の乗員検知用途と Kick Sensorの用途を想定。
- ・乗員検知の場合、走行中のBelt-Reminderと 停車後の子供置き去り防止の動作モードを想定。
- ・走行中車と 停車後は いずれも車の窓が全開、全ての妨害波が外へ漏れる事を 計算条件とする。
- ・Kick Sensorの動作として ドライバーが 車の10m範囲内に入る時動作し、走行中動作しない。

車の使用状況に関する基礎Data					
A	平均使用頻度		1	回/日	毎日使用とする。(電波望遠鏡所在地事情を考慮)
B	平均年間走行距離	D_Car	6316	km	ソニー損保 2019年全国カーライフ実態調査、然し、年々減少の傾向 ①
C	日本の乗用車平均走行速度	S_Car	37.4	km/H	一般国道、2010年。 (法) 日本交通政策研究会 統計・資料 自動車交通研究2014 P85 ②
D	車使用日の平均走行使用時間	T_drive	0.463	h	$C=A/B/365$
E	使用日の走行回数	N_use	3	回	$E = A \times (2 + 2 \times 1/2)$ 。車使用日：出勤に往復2回使用。 買い物に 往復計2回使用。 但し、買い物は2日1回の頻度。 (電波望遠鏡所在地事情を考慮)
乗員検知動作時間					
F	乗員検知動作時間	T_presence	0.463	h/日	$= A \times D$
置き去り検知動作時間					
G	毎日置き去り使用	T_baby	0.25	h	$G=E \times 5/60$ 。乗用車使用後、エンジンを切ってから5分間検知動作。
一日当たりのKick Sensor使用時間					
H	歩行速度	S_walk	5000	m/h	車へ接近、離れる時の歩行速度。
J	Kick Sensor動作範囲	R_sensor	10	m	システム規定。10m範囲に入ったら、Kick Sensorが動作準備。
K	車へ接近・離れるに必要な時間	T_in range	0.002	h	$K = J / H$
M	キック、荷物入れ、下す時間	T_sensor	0.05	h	荷物の搬入、搬出時間にそれぞれ 凡そ3分が掛かる
N	一日当たりKick Sensorの動作時間	T_kick	0.312	h	$N = E \times 2 \times (K + M)$
一日中のセンサー動作時間		T_day	1.025	h	一日中のセンサー動作時間 = F + G + N

① https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2019/11/20191128_01.html

② http://www.nikkoken.or.jp/pdf/publication/2014j/2014j_80.pdf

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

検証条件

与干渉機・被干渉機諸元

被干渉機器諸元	周波数	Fv	76.5	115	GHz	
	周波数範囲	Fh_Fl	76-77.5	94.1-116	GHz	
	大気吸収損失	La	0.13	0.31	dB/km	
	人体・物体遮蔽効果	Ls	3	3	dB	適応あり、なしで計算
	都市構造により遮蔽効果	Lcity	10.16	10.16	dB	10km以上の距離で適応
	保護基準	LMT	-196.5	-198	dBm/MHz	
	アンテナ直径	D	45.0	45.0	m	
	受信空中線利得	G0	90	93	dBi	
	空中線半値角	θ_{-3dB}	0.0061	0.0041	deg	
	空中線Main Lobe	θ_{ml}	0.02	0.01	deg	
	空中線Side Lobe利得	Gr	0	0	dBi	

与干渉機器諸元	周波数	Fi	76.5	115	GHz	
	波長	λ	0.00392	0.00261	m	
	干渉波電力密度	PSDi	-30 ~ -60	-30 ~ -60	dBm/MHz	帯域外不要放射、10dB Stepで計算
	送信空中線利得	Gi	-10.0	-10.0	dBi	不要放射の漏れ波により放射
	送信時間制御	Duty_sense	10.0	10.0	%	送信時間制御 (3.3ms/33ms以下)
	Duty Circle	Duty_tx	6.00	6.00	%	パルスセンサーの間欠動作
	一日中の動作時間	Duty_day	1.025	1.025	時間	乗員検知、置き去り、Kick Sensor総合

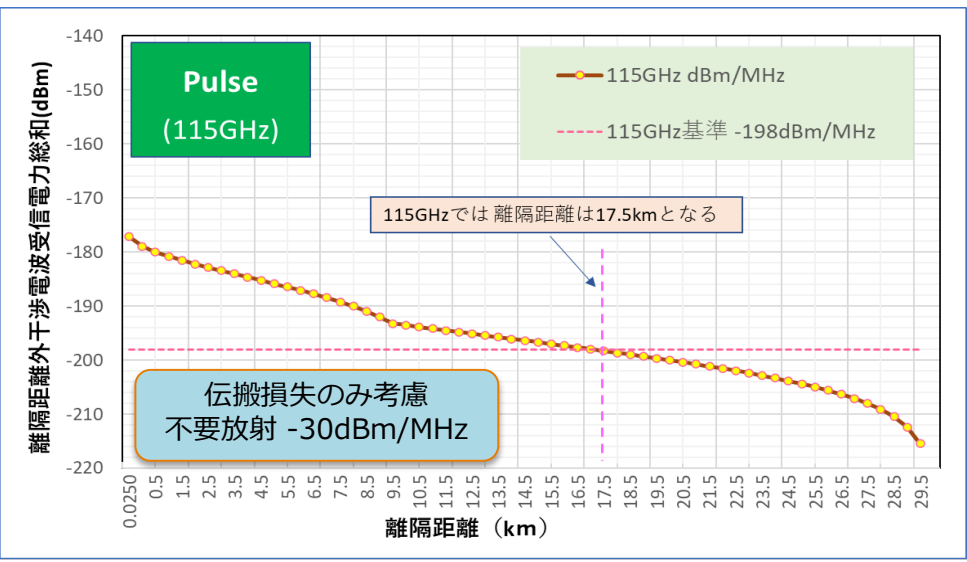
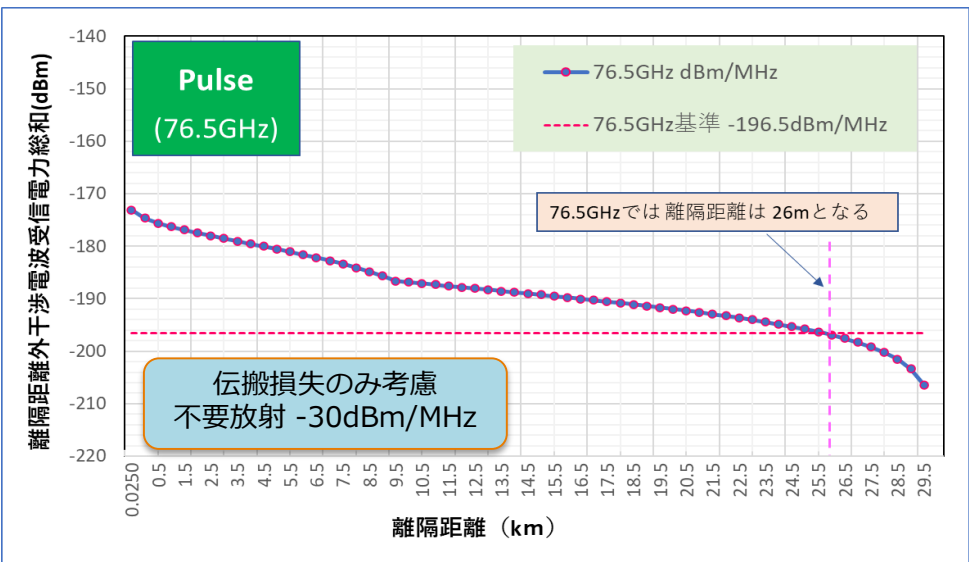
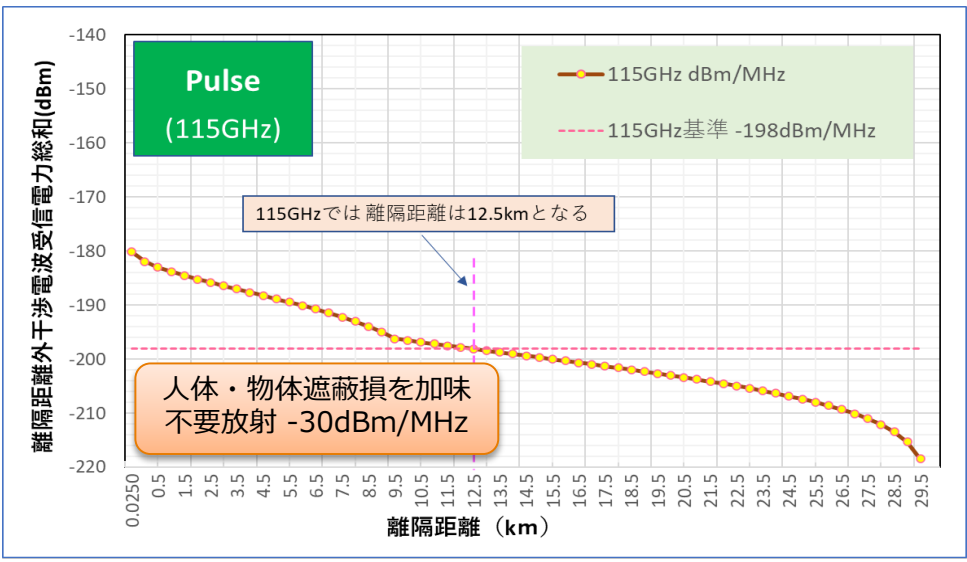
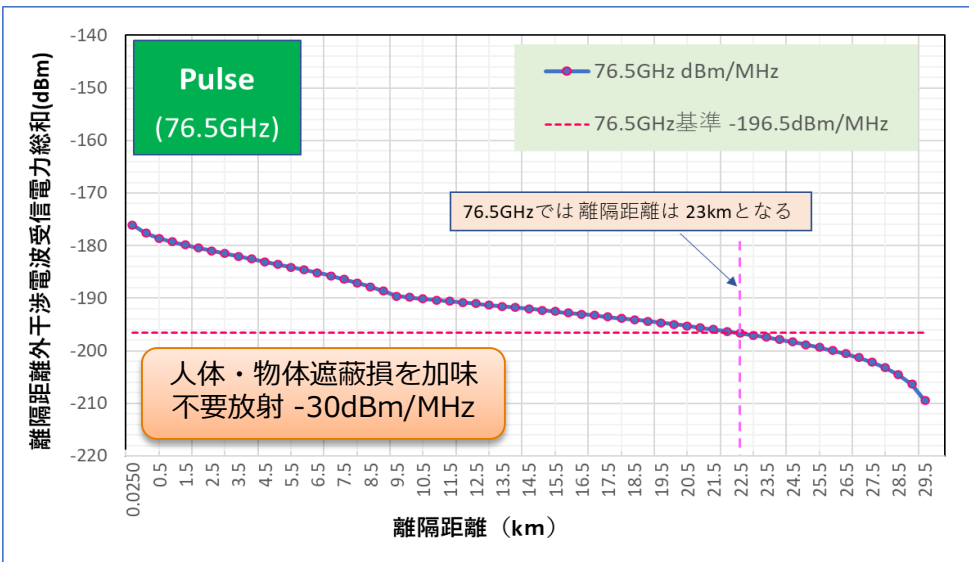
主要計算式

$$\text{干渉波受信電力： } P_{Ri} = P_{Ti} \cdot G_i \cdot G_r \cdot (\lambda / 4\pi D_i)^2 \cdot L_a(D_i) \cdot L_s \cdot \text{Duty_sense} \cdot \text{Duty_tx} \cdot (\text{Duty_day}/24)$$

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

検証結果

前記検証条件で計算した 各離隔距離に対応する 干渉電波受信集合電力は下記結果となる



4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

検証結果

前記検証で計算した各離隔距離に対応する 干渉電波受信集合電力と 電波天文保護電力から 算出した パルスセンサーが全ての車に搭載した時所要離隔距離は 下記結果となる：

送信出力 (帯域外)	所要離隔距離 (km)			
	伝送損失のみ考慮		人体・物体遮蔽損を加味	
	76.5GHz帯	115GHz帯	76.5GHz帯	115GHz帯
-30dBm/MHz	26	17.5	23	12.5
-40dBm/MHz	10	7.5	8.5	5
-50dBm/MHz	1.5	0.5	0.5	< 0.25
-60dBm/MHz	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25

送信出力 (帯域外)	30km範囲内の集合干渉電力 (人体・物体遮蔽損を加味)			
	76.5GHz帯		115GHz帯	
	集合干渉電力 (dBm/MHz)	所要改善マージン (dB)	集合干渉電力 (dBm/MHz)	所要改善マージン (dB)
-30dBm/MHz	-176.1	-20.41	-180.1	-17.85
-40dBm/MHz	-186.1	-10.41	-190.1	-7.85
-50dBm/MHz	-196.1	-0.41	-200.1	2.15
-60dBm/MHz	-206.1	9.59	-210.1	12.15

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

考 察

- 電波天文の検討周波数は 76.5GHzと 115GHzとなり、与干渉機動作周波数の 60GHzと 離れいている為、電波天文受信装置に影響するのは帯域外不要放射となる。また、当周波数は与干渉機の設計周波数と大きく離れるため、電波は 漏れ波の形で放射され、アンテナの利得は -10dBi程度と想定できる。
- パルスセンサーの使用時間は 1.025H/日程度と算出しており、使用時も送信時間制御 (<3.3ms/per 33ms)、間欠動作により、時間平均が適応される。
- 離隔距離の計算結果は、不要放射電力が -30dBm/MHz、電波望遠鏡の妨害波受信アンテナ利得が 0dBiで、物体遮蔽損を考慮しない場合、**76.5GHz で 26km、115GHz 17.5km** となった。

まとめ (結論)

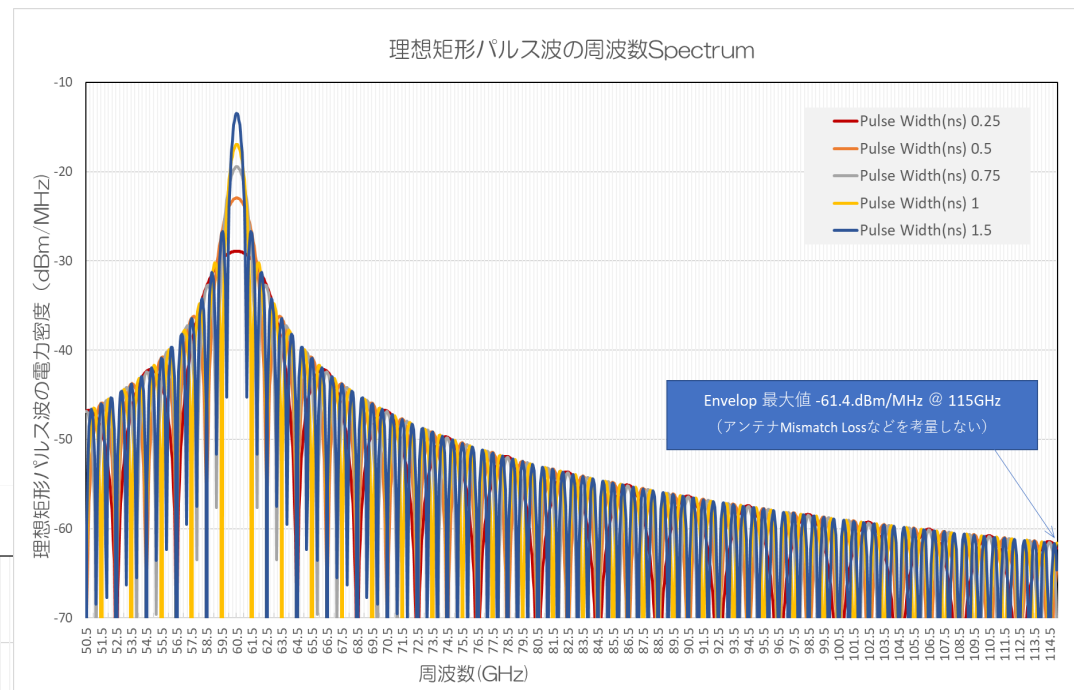
- 上記計算は一定の仮定の下に実施した例であるが、パルスセンサーシステムの実際の利用形態や使用技術などを考慮すると、更なる干渉電力の緩和が見込めるため、電波天文台の敷地内の運用制限により十分両立可能と考えられる。
- 緩和条件として以下の事情が考えられる。
 - ① 今回の計算は、全ての車がセンサーを搭載している、車の筐体や窓による減衰を考慮していない、Kick Sensorにおいては車を使用する度に荷物の積み下ろしを行う前提としている、といった点で実際の利用環境よりも悪い前提条件を想定している。実際は車の筐体や窓による減衰が10dB以上見込める。
 - ② また、帯域外不要輻射電力が76.5GHzと115GHzでは -30dB/MHzより 10dB以上低くなることも緩和要素として見込める。理論的上も、キャリア周波数が 60.5GHzの 理想矩形Envelop Pulse電波の電力密度を計算すると、周波数制限帯域Filterの特性や 周波数増により伝送Loss増加を考慮しない理想条件において、76.5GHzでは -51dBm/MHz、115GHzでは -61.4dBm/MHzとなる。
 - ③ 今回の計算は 全ての車がセンサーを搭載する事を仮定しているが、実際のセンサー普及率は 高級車を中心に 20%程度になるものと想定される。この場合、上記干渉電力の総和は7dB程度低くなる。

4.9) (屋外) 電波天文 集合干渉電力基準 離隔距離

(参考計算資料) 理想矩形Envelop Pulse電波の電力密度理論限度値

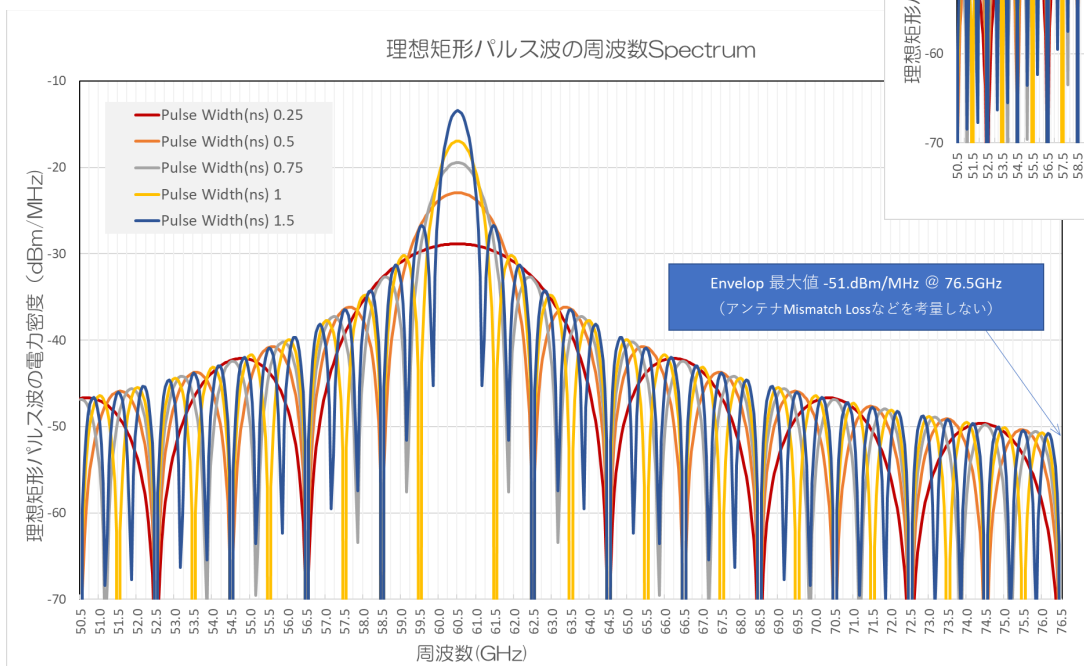
(条件)

- EIRP 先頭値 : 17dBm、
- EIRP 平均値 : 5dBm (6% Duty_tx相当)
- 送信制御 : 3.3ms/33ms (10% Duty_sense相当)
- 電力密度は 理想 Sinc 関数分布
- アンテナのMismatchを考慮しない
- 帯域制限Filterの帯域外放射抑制効果を考慮しない
- 周波数増加により伝送Loss増加効果を考慮しない



115GHzでの理論限度値 :

-61.4dBdM/MHz



76.5GHzでの理論限度値 :

-51dBm/MHz

以上