

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（実証試験）

アルプスアルパイン株式会社

ALPSALPINE

# 目次

1. 実証試験項目
2. 想定ユースケースと試験目的
3. 実証試験結果
  - (1) 概要
  - (2) 詳細
4. ( 実証試験参考報告)

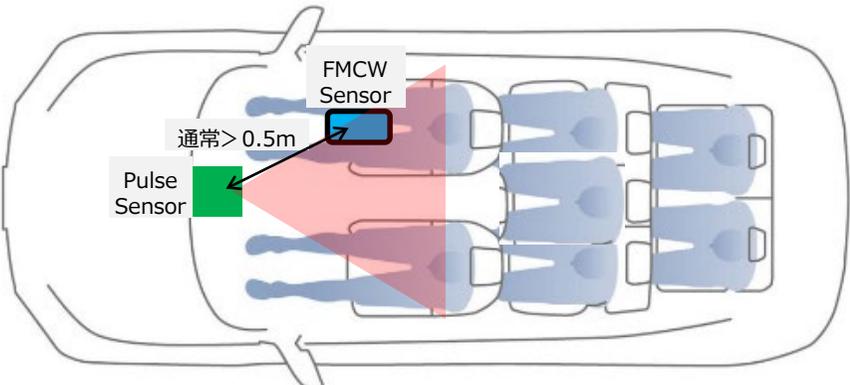
# 1. 実証試験項目

4.10) パルスセンサーからWiGig機器への影響検証

4.11) パルスセンサーからFMCWセンサーへの影響検証

- 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

## 2. 想定ユースケースと試験目的

試験項目	試験目的
4.10) パルスセンサーから WiGig機器への影響検証	<p>机上の検証条件と市販WiGig機器の実装条件は異なる。また、広帯域パルス信号とWiGigシステムとの干渉モデルの研究は、現時点では不十分である。</p> <p>パルスセンサーと市販WiGig機器を共用できるか、パルスセンサーがWiGig機器に接近する時WiGig機器の通信速度はどこまで低下するか、を検証する。</p>
4.11) パルスセンサーから FMCWセンサーへの影響検証	<p>パルスセンサー搭載の車室内にFMCWセンサー搭載の携帯機器を持ち込むユースケースを想定し、パルスセンサーとFMCWセンサー間の距離が20cmまで接近するときFMCWセンサーの検知性能にどのように影響するか、を検証する。</p> <p>(尚、試験はシールドルームで行う。)</p>  <p>The diagram illustrates the car interior layout for the test. A green box labeled 'Pulse Sensor' is located in the front passenger area, and a blue box labeled 'FMCW Sensor' is located in the driver's seat area. A red cone represents the detection range of the Pulse Sensor, extending towards the FMCW Sensor. A label '通常 &gt; 0.5m' points to this range. The FMCW Sensor's range is shown as a blue cone extending forward.</p>

# 3. 実証試験結果 (1) 概要

	与干渉機	被干渉機	評価指標	実証試験結果	評価条件
4.10	パルスセンサー	WiGig機器	通信速度の低下率が10%以下 (1Gbps通信時)	パルスセンサーがWiGig機器の至近距離5cm以下に接近しても通信速度の低下は見られなかった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>被干渉機通信距離：3.7m</li> <li>被干渉機CH：CH2（与干渉機帯域と完全に被る）</li> <li>与干渉機台数：1台（想定ユースケースによる）</li> <li>与/被干渉機器の距離：0.2～1m、0.1m毎に評価</li> <li>その他、4.10)の詳細を参照</li> </ul>
4.11	パルスセンサー	FMCW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	パルスセンサーがFMCWセンサーの20cmまで接近してもFMCWのSNRは良好であった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>与干渉機台数：1、2台</li> <li>与/被干渉機器の距離：0.2～1m、0.1m毎に評価</li> <li>その他、4.11)の詳細を参照</li> </ul>

## まとめ（結論）

- ・ 所定実装条件のパルスセンサー1台がWiGig機器の至近距離（1～5cm）に接近してもWiGig機器の通信速度の低下は見られない。
- ・ 所定実装条件のパルスセンサー1、2台がFMCWセンサーの20cmに接近してもFMCWセンサーのSNRの目立った劣化は見られない。

よって、実際の利用環境においては、パルスセンサーとWiGig機器、FMCWセンサーは共用可能と考えられる。

# 3. 実証試験結果 (2) 詳細

## Part-1

4.10) パルスセンサーからWiGig機器への影響検証

# 4.10) パルスセンサーから WiGig機器への影響検証

## 検証条件

### 被干渉機諸元

WiGig通信周波数	Fi	59.4~61.56	GHz	WiGig CH2
WiGig通信距離距離	Dr	3.7	m	令和元年 作業班条件

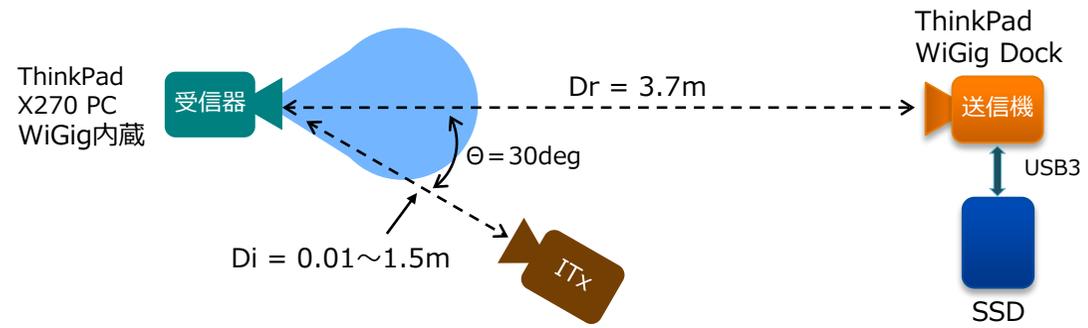
### 与干渉機（パルスセンサー）諸元

周波数	Fi	60.5	GHz	
波長	$\lambda$	0.00496	m	
送信電力	PTi	10	dBm	瞬間最大値
送信アンテナ利得	Gi	7	dBi	実装代表値
EIRP 尖頭値	EIRPipk	17	dBm	最大値
EIRP 平均値	EIRPiav	4.8	dBm	時間平均値
送信時間制御*	Duty_sense	2.7	ms	繰り返し周期33ms
総合Duty**	Duty_Total	0.491	%	実装値
OBW	OBW	~3	GHz	(参考値)
干渉機台数	N	1	台	
与・被干渉機位置	$\theta$	30	deg	送受信装置軸線から
与・被干渉機間距離	Di	0.2~1.5	m	

### 試験装置

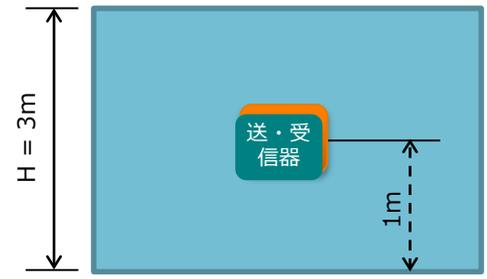
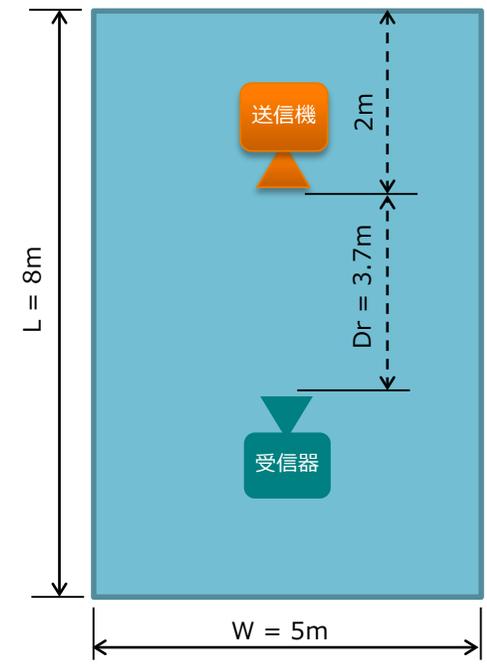
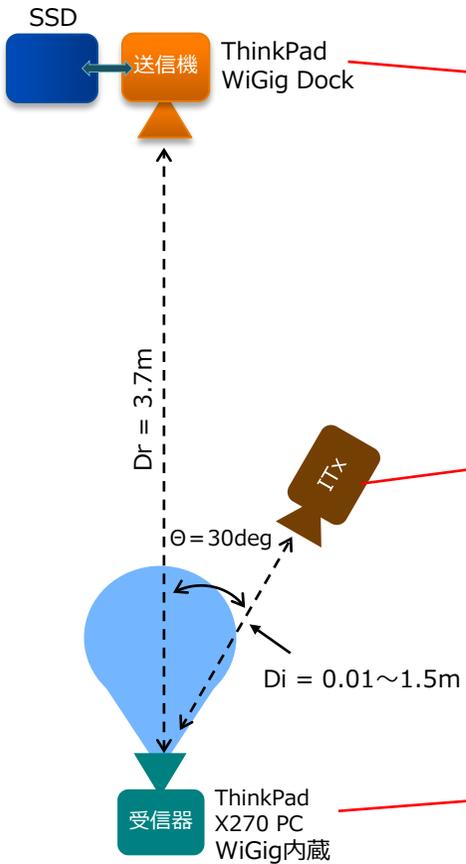
WiGig受信装置	ThinkPad X270 PC	Lenovo社製品
WiGig送信装置	ThinkPad WiGig Dock	Lenovo社製品
波形測定装置	UXR1102 110GHz Oscilloscope	Keysight
受信Horn	SAR-2309-15-S2	SAGE

\* 省令規定を参考し、Margin を入れる



# 4.10) パルスセンサーから WiGig機器への影響検証

## 測定風景



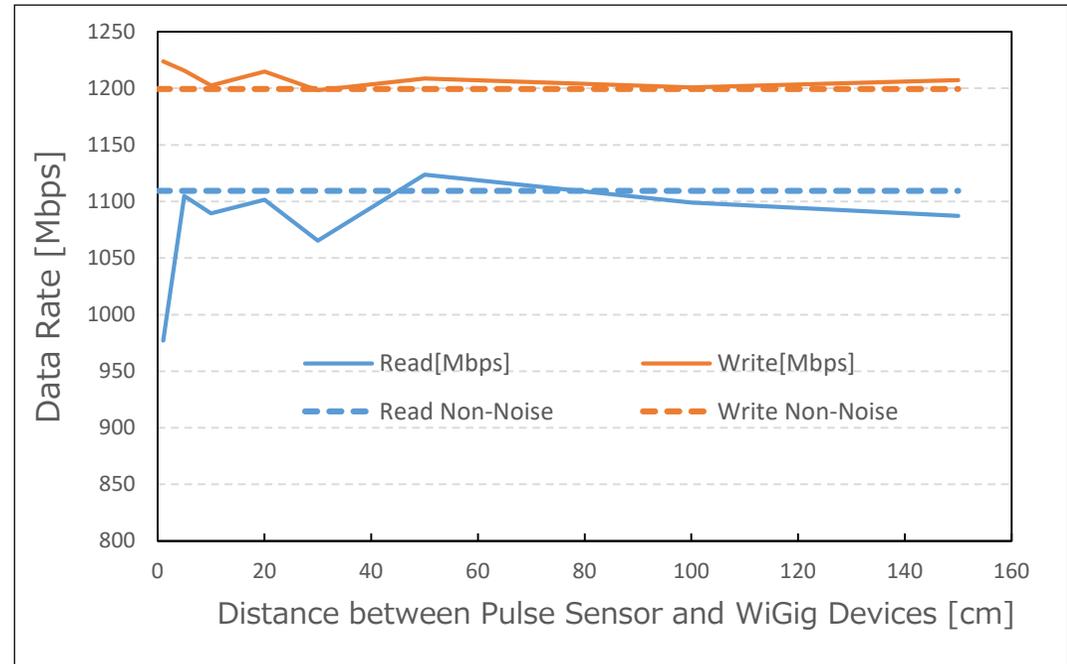
## 4.10) パルスセンサーから WiGig機器への影響検証

### 検証方法

- WiGig機器の送受信間でデータ通信を行う。
- WiGig Dockから SSDへデータを書き込む、又は、読み取る。
- 与干渉機となるパルスセンサーをWiGig機器に接近させる。
- 各距離でWiGigデータの送受測定（WiGig Dockから SSD への書き込み速度と読み取り速度の測定）を5回行い、それぞれの平均速度を記録する。

### 検証結果

- 左図に示すように、パルスセンサーがWiGig受信機の5cmまで接近しても WiGigの通信速度が低下しない。
- パルスセンサーが **1cm**まで接近すると読み取り速度が低下する。
- よって、WiGig機器の通信速度が1.1~1.2Gbpsで、パルスセンサーが1台の時には、離隔距離は**5cm**以下となる。



パルスセンサーがWiGig機器に接近する時の、WiGig通信速度の変化

# 4.10) パルスセンサーから WiGig機器への影響検証

## 考察 1

実証試験結果と 机上計算結果の比較

WiGig通信のCNR確保に必要なパルスセンサーとWiGig機器間の離隔距離						
	与干渉検討 報告内容		試験条件での 机上計算結果			実証試験 結果
	令和元年報告書、7/30 WG 報告資料計算条件		今回の実証試験の条件に合わせた計算条件			実証試験条件
WiGigアンテナの位置	WiGig送受信アンテナ正対					
A. WiGig変調方式	16QAM	64QAM	BPSK	QPSK	16QAM	( BPSK* )
B. OFDM/SC	OFDM	OFDM	SC	SC	SC	(SC*)
C. Code Rate	13/16	13/16	13/16	13/16	3/4	(13/16*)
D. 所要CNR	8.45	14.5	6.1	9.1	15.0	(6.1*)
E. 送信時間 (Duty, %)	100	100	8.2	8.2	8.2	8.2
F. 総合Duty (%) **	100	100	0.491	0.491	0.491	0.491
G. WiGig 通信距離 (m)	10	10	3.7	3.7	3.7	3.7
H. 所要離隔距離(m)	0.8	1.61	0.065	0.092	0.181	< 0.05

\* : 試験中に得られた最大通信速度から推測した値。

\*\* : 試験条件 : 総合Duty = 6% × 2.7ms / 33ms = 0.491%

## 4.10) パルスセンサーから WiGig機器への影響検証

### 考察 2

市販のWiGig機器の実装条件はSC (Single Carrier)、BPSK/QPSK/16QAM である、との意見と情報がある。実証試験の条件（通信距離3.7m、アンテナが正対、パルスセンサー 1 台）で計算すると、CNR確保に必要な離隔距離は、約0.07m～0.2mとなる。

しかし、実機試験では距離が**5 cm**まで接近しても干渉が起こらない現象があった。また、**1cm**まで接近しても書き込み速度の低下が認められない現象があった。（1cm近辺では物理的な遮断効果が見られた）

実機検証の結果が試験条件ベースの机上計算結果よりも良い結果であった事について、その原因はパルス電波の特徴とWiGig 通信の符号化技術にあると考えられる。WiGigの符号化率は1/2～13/16 であり、最小のビット誤り訂正能力は 3/16(18.75%相当)となる。一方、パルスセンサーは 検知動作時のDuty Cycle(Duty\_tx)は 6%であり、0.96/16に相当する。パルス電波が存在する時間に WiGigの全てのビットがエラーになっても、WiGig通信システムはそれを訂正できる。

WiGig		パルスセンサー		影響の振舞い
Symbol Duration	0.568ns	パルス幅	0.25～1.5ns	1パルス当たり最大3Symbolに影響
Block Duration (Encoded Data Only)	254.55ns	パルス周期	25～100ns	WiGigの1Data Block中に最大10パルスが現れるので、26.9Symbolに影響 (26.9/448=6%に影響)
1 Data Block内Symbol数	448			

- ① パルスセンサーのパルス周期はWiGigのEncoded Date Blockよりも短い。
- ② パルス電波はほぼ6%の時間占有率でWiGigのDate Blockに現れる。
- ③ パルスセンサーのパルス幅は最大1.5nsであり、WiGigへの影響は連続する最大3Symbolに及ぶ。
- ④ パルス電波がWiGig Data Blockに与える影響は、最大6%(0.96/16)となる。
- ⑤ WiGigのCode Rateは1/2～13/16となり、最大 3/16まで誤りビットを訂正できる。

### まとめ (結論)

実証試験の結果と上記考察から、実際の利用環境においてはパルスセンサーとWiGig機器は共用可能と考えられる。

# (参考) WiGig System Parameter

MCS	Modulation	Coding Rate	Data Rate (Mbps)	CNreq	Implement
0	$\pi/2$ -DBPSK(SC)	1/2 (32Chirp)	27.5	0.0	MUST
1	$\pi/2$ -BPSK(SC)	1/2 (RPT_2)	385	3.0	MUST
2	$\pi/2$ -BPSK(SC)	1/2	770		MUST
3	$\pi/2$ -BPSK(SC)	5/8	962.5		MUST
4	$\pi/2$ -BPSK(SC)	3/4	1155	5.2	MUST
<b>5</b>	<b><math>\pi/2</math>-BPSK(SC)</b>	<b>13/16</b>	<b>1251.25</b>	<b>6.1</b>	実機測定結果から実機の実装条件はMCS5と推測
6	$\pi/2$ -QPSK(SC)	1/2	1540		
8	$\pi/2$ -QPSK(SC)	3/4	2310		
9	$\pi/2$ -QPSK(SC)	13/16	2502.5	9.1	
10	$\pi/2$ -16QAM(SC)	1/2	3080		
12	$\pi/2$ -16QAM(SC)	3/4	4620	15.0	
15	QPSK(OFDM)	1/2	1386		
17	QPSK(OFDM)	3/4	2079		
18	16QAM(OFDM)	1/2	2772		
20	16QAM(OFDM)	3/4	4158		
<b>21</b>	<b>16QAM(OFDM)</b>	<b>13/16</b>	<b>4505.50</b>	<b>8.45</b>	机上与干渉検討条件
23	64QAM(OFDM)	3/4	6237.00		
<b>24</b>	<b>64QAM(OFDM)</b>	<b>13/16</b>	<b>6756.75</b>	<b>14.5</b>	机上与干渉検討条件

# (参考) WiGig System Parameter

Channel bandwidth and center frequency	2160 MHz   60.48 GHz
Signal bandwidth (-17 dB transmit mask)	1880 MHz
Symbol rate ("SC chip rate" in 802.11ad)	1760 MHz
Symbol duration ("SC chip time" in 802.11ad)	1/1760 MHz = 0.56818 ns
Modulation	$\pi/2$ -BPSK   $\pi/2$ -QPSK   $\pi/2$ -16QAM
Physical layer bitrate (modulated, no coding)	1760.0 Mbps   3520.0 Mbps   7040.0 Mbps
LDPC code rate MCS 1	1/4 (repetition, with code rate 1/2)
LDPC code rate MCS 2 ... 12	1/2, 5/8, 3/4, 13/16
LDPC code word size	672 bit
LDPC coding gain (approx.)	Rate 1/4: 8.0 dB   1/2: 6.0 dB   5/8: 4.0 dB Rate 3/4: 3.0 dB   13/16: 3.2 dB
Physical layer bitrate (LDPC encoded data)	440.0 Mbps (MCS1) ... 5280.0 Mbps (MCS12)
Block size (BPSK   QPSK   16-QAM)	448 bit   896 bit   1792 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)	385.0 Mbps (MCS1) ... 4620.0 Mbps (MCS12)
Tx and Rx antenna beamform gain	8.5 dBi
Transmission peak power	Used in this study: 150 mW (21.76 dBm) EIRP FCC limit: 20 W (43.00 dBm) EIRP
Receiver implementation loss and noise figure $N_r$	15 dB

## 注目点

- WiGigの最高Code rateは、13/16である。  
(3/16までの離散誤りビットを訂正できる)
- WiGigのSymbol durationは、0.56818nsである。  
(パルス幅が1.5nsのパルス電波が妨害できるのは連続Symbolで最大3つまでとなる)
- WiGig Data Block Durationは、254.55nsである。  
(パルス繰り返し周期より十分長い。パルス電波がWiGig通信のデータを妨害する時間率は、最悪でも送信Duty Cycleの2倍を超えない)
- パルス方式で想定する検知動作時の送信Duty Cycleは凡そ6%となる。このときWiGig通信を妨害する時間率は最悪で12%( $\approx 2/16$ )になり、誤りビットを訂正可能な3/16以下となる。よって、パルス電波の干渉により生ずる誤りビットはWiGigの符号化技術により訂正可能である。

# 3. 実証試験結果 (2) 詳細

## Part-2

4.11) パルスセンサーからFMCWセンサーへの影響検証

# 4.11) パルスセンサーからFMCWセンサーへの影響検証

## 検証条件

### 被干渉機（FMCWセンサー\*）諸元

周波数	Fi	58.18~63.53	GHz
Sweep Bandwidth	BW	5.35	GHz
Chirp Time	Tchirp	133	μs
Samples per Chirp	N_sample	128	
Chirps per Frame	N_chirp	32	
Frame Rate	FRate	27.6	Hz
探知距離	Ds	1	m
探知対象RCS	RCS	-8	dBsm
SNR劣化基準	SNR	< 3	dB

\* : Google Soli相当品を使用

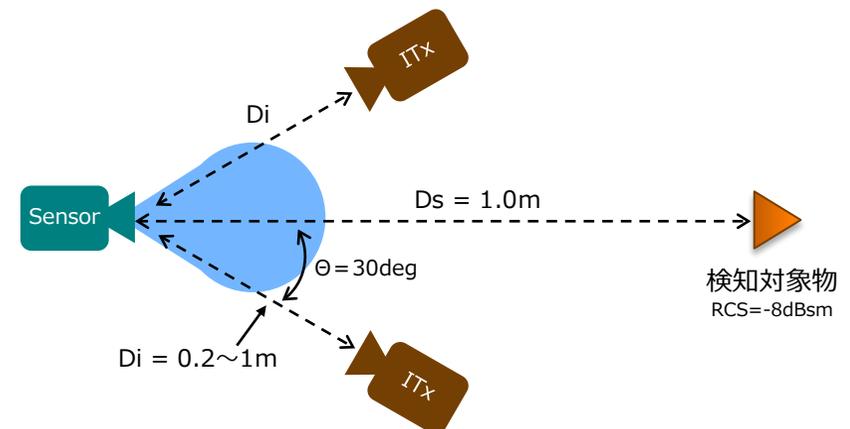
### 与干渉機（パルスセンサー）諸元

周波数	Fi	60.5	GHz	
波長	$\lambda$	0.00496	m	
送信電力	PTi	10	dBm	瞬間最大値
送信アンテナ利得	Gi	7	dBi	実装代表値
EIRP 尖頭値	EIRPipk	17	dBm	最大値
EIRP 平均値	EIRPiav	4.8	dBm	時間平均値
送信時間制御**	Duty_sense	2.7	ms	繰り返し周期33ms**
総合Duty**	Duty_Total	0.491	%	実装値
OBW	OBW	~3	GHz	(参考値)
干渉機台数	N	1	台	
与・被干渉機位置	$\theta$	30	deg	送受信装置軸線から
与・被干渉機間距離	Di	0.2~1	m	0.1m Step測定

\*\* : 省令規定を参考にしてマージンを入れた

## 検証方法

- ・ 被干渉機器はFMCWセンサー（Google Soli相当品）を使用する。
- ・ 与干渉機器はパルス方式センサーとする。
- ・ 検知対象物は標準反射器（Corner Reflector）とする。
- ・ 被干渉機器と探知対象物の距離を1mとする。
- ・ 干渉機器は単体の条件で測定する。
- ・ 干渉・被干渉機器の送信時間はランダムとなる。
- ・ 与干渉機を被干渉機へ近づけながら、各離隔距離での被干渉機の出力量を記録し、SNRの変化を比較する。

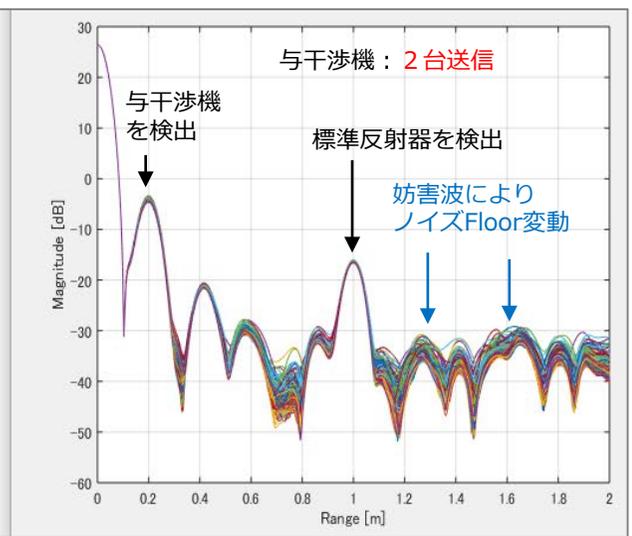
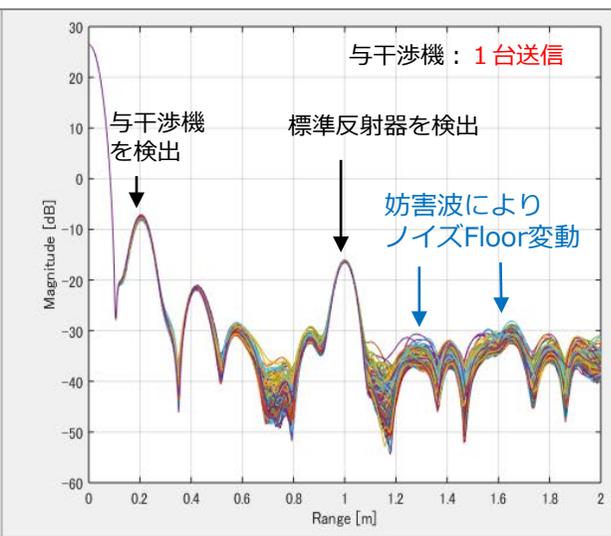
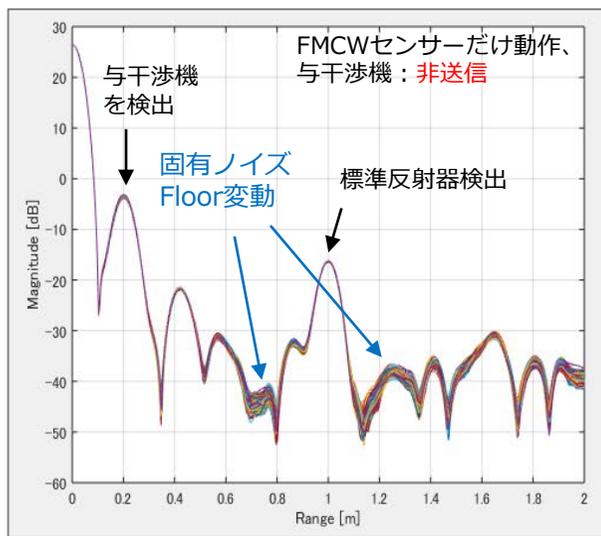


# 4.11) パルスセンサーからFMCWセンサーへの影響検証

## 検証結果

### FMCWセンサー出力の経時変化記録

(与・非干渉機間距離：20cm)



## 4.11) パルスセンサーからFMCWセンサーへの影響検証

### 考 察

- ・ FMCWセンサーが検知動作する時にパルスセンサーも電波を放射すると、その信号がFMCWセンサーの受信チャンネルに入り、FMCWセンサーの周波数掃引信号との間でビート信号を生じる。干渉により生じるIF信号（FMCW方式の距離信号に相当）はランダムであるため、干渉信号が周波数軸（距離相当）で分散される。よって、特定の距離で高いレベルの距離虚像信号は生じない。
- ・ また、FMCWセンサーの検知出力信号とノイズフロアの経時変動を観察すると、信号レベルに変動が見られず、ノイズフロアは上下に変化するものの全体的に持ち上げる振舞いではない。よって、FMCWセンサーでは一定の平均信号処理で干渉の影響を低減する事ができると考えられる。FMCWセンサーの実装では平均処理に32~128サンプルを使っているため、所要のSNRを得られると考えられる。

よって、20cm程の狭空間にパルスセンサーがあっても、FMCWセンサーが通常の実装条件で正常に動作する事が可能と考えられる。

上記干渉試験ではパルスセンサーがFMCWセンサーのメインビーム内正対して放射する事を条件としているが、実際の場面ではこのようなケースは多く発生しないと考えられる。

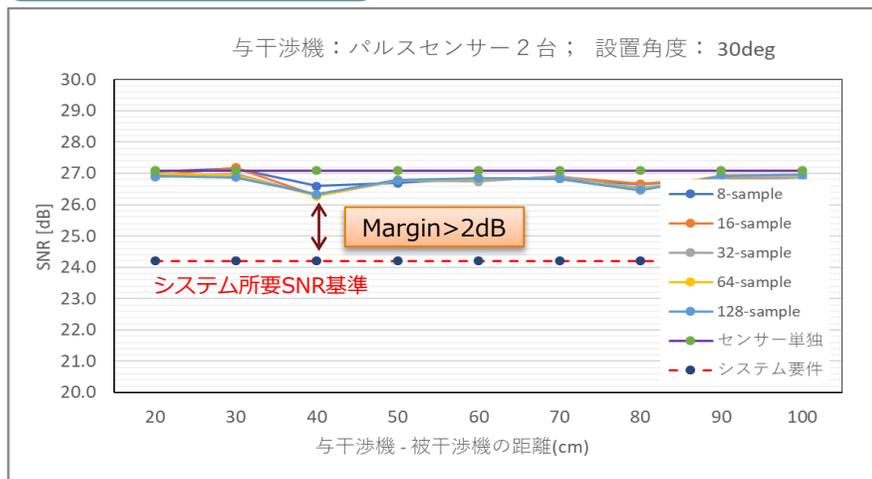
### まとめ（結論）

実証試験の結果と上記の考察から、車室内搭載パルスセンサーが乗員持ち込みの携帯機器のFMCWセンサーに与える影響は距離20cmでも微小であり、実際の利用環境においてはパルスセンサーとFMCWセンサーは共用可能と考えられる。

# 4. 実証試験参考報告\_\_パルスセンサーの妨害耐性

## (参考) パルスセンサー同士の共存性検証

### 検証結果



### まとめ (結論)

#### (パルスセンサー同士)

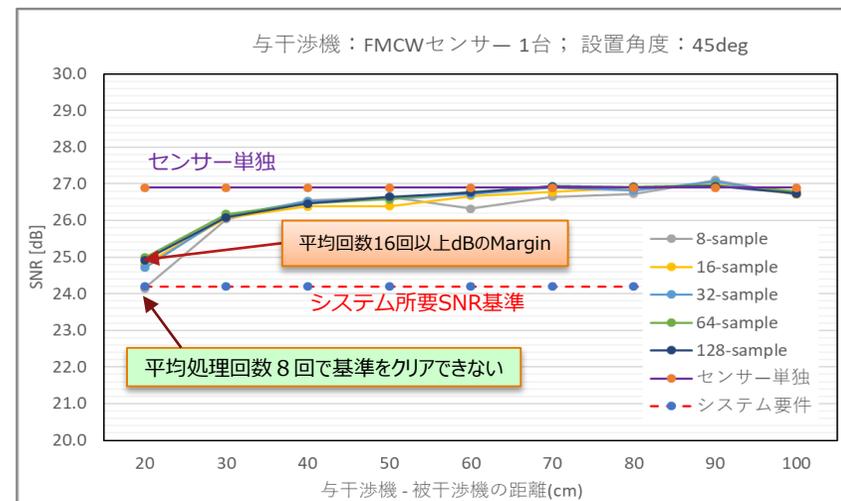
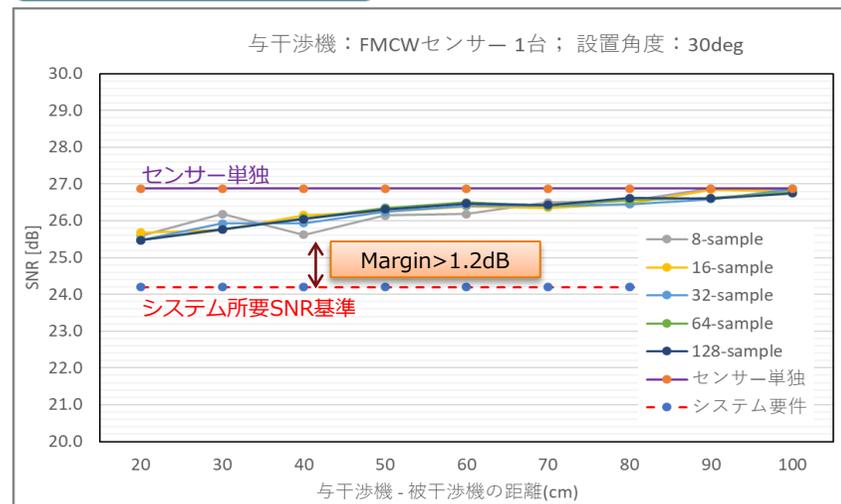
4.11)と同様の条件と試験方法でパルス同士の共存検証の試験結果として、センサー信号処理に 8 回以上の平均処理を実施すれば所要のSNRを確保でき、実用に問題ないと確認できた。

#### (FMCWセンサーからパルスセンサーへの影響検証)

同じ条件でFMCWセンサーからパルスセンサーへの影響を検証した結果、FMCWセンサーがパルスセンサーに近づくとパルスセンサーのSNRが劣化した。特に、特定の方向（本検証では 45度）から接近する場合、パルスセンサーは信号の平均回数が不十分な場合に（8 回以下）所要SNRを確保できなくなる。しかし、パルスセンサーは 通常32～64回の平均信号処理を実装するため、実際の利用形態においては 所要のSNRを確保できる。

## (参考) FMCWセンサーからパルスセンサーへの影響

### 検証結果



以上