

**FURUKAWA ELECTRIC**

# ITU-R TG1/8の干渉検討の例

2007.1.31

古河電気工業株式会社

青柳 靖

## ITU TG1/8における準ミリ波SRRの干渉検討の対象

24GHz付近を中心周波数とする近距離レーダと、以下の3つのシステムとの詳細な干渉検討がなされた。

- ▶FS (Fixed Services ; 固定サービス)
- ▶RAS (Radio Astronomy Services ; 電波天文)
- ▶EESS (Earth Exploration Satellite Systems ; 地球探査衛星)

尚、干渉を許容する帯域を使用するアマチュア無線、アマチュア衛星業務 (24GHz-24.25GHz) や、気象観測など、上記以外の他システムと、SRRとの干渉検討について、我が国では別途調査が必要である可能性がある。

## FSとの干渉検討の概要

サービス	周波数帯域	被干渉装置諸元	検討の評価基準	解析概要	UWB EIRP密度 又は最小離隔距離	コメント
FS/P-P P-MP	21- 23.6 GHz 24.25- 26.5 GHz 27.5- 29.5 GHz	NF = 6 dB  最小給電損失 = 0 dB  P-Pアンテナ利得 = 41 dBi  FWA セクタアン テナ利得 = 18 dBi	Rec. ITU-R F.1094 及 び WP 9Aのリエゾ ン文書( $J/N$ = -20 dB SRRに 0.5%を配分した場 合を仮定)	FSリンクの通信方向に沿って幹線 道路が存在(上下線各最大4つの 車線)。短距離レーダーが車両1台 あたり4個のセンサ(前2、後2)。自 由空間伝搬及び、遮蔽効果も考慮。 パラメータを変更した2モデルを共 通の干渉検討手法 (ISOP)に適用。 0~7 dBを干渉緩和要素と、SRR 稼働率の効果として考慮。	case1 -50 to -60dBm/MHz (Note 1)  case2 -41.3dBm/MHz (even with positive margin) (Note 2)	UWBの 50 MHzピーク 制限値は平均 EIRP許容値に 対して42dBとし て評価された(実 験による)。

- ▶ NOTE 1 –Case1は、移動体通信網インフラの延伸などに利用するために、P-P回線のアンテナ設置位置が低く、且つ、交通量の多い道路に設置することに積極的な国において有効である。この場合、SRRの利用については、平均EIRPの規制値として、少なくとも-50 dBm/MHzが必要である。さらに、厳しい展開状況(すなわち、FSアンテナの高さを道路の、より近くに下げる)の利用が考えられるところでは、より厳しい規制である、-60dBm/MHzのEIRP密度が長期の共存に必要である。
- ▶ NOTE 2 –Case2は、道路へのFS受信機の高さと距離に関するインフラストラクチャの要件がそれほど厳しくない国に適切である。この場合、他の緩和要素(予測できない)が、考慮に入られるとSRRの規制値である -41.3dBm/MHzのEIRP密度限界は適切であると考えられる。しかしながら、高いEIRP密度はそれらの緩和要素の効果が無い場合については、SRRからFSまでの干渉が増加する。

	FS設置高	オフセット	SRR搭載条件	降雨減衰	その他干渉低減要素
case1	10m, 18m, 25m	10m, 30m	4個/car。車両の4隅に配置	平均0.6 dB/km	0dB(次項)
case2	18m, 25m, 30m	20m, 40m, 60m	2個/car。車両前方、20cm引き込んだ位置に設置。	平均2 dB/km	19dB(次項)

## FSに対する干渉低減要素

- ▶ 検討結果に単純に加算（減算）可能なパラメータ

要素	干渉低減量	Case 1 解析 で使用された値	Case 2 解析で 使用された値	コメント
拡散損失	0 ~ 15 dB	0 dB	7 dB	受信アンテナ設置高を低くすると、拡散損失が存在する。計算結果に直接加算可能。
降雨減衰	0 ~ 5 dB	0 dB	2 dB	小型車の車間距離において、最重要と思われる。計算結果に直接加算可能。
偏波損失	0~3 dB	0 dB	3 dB	計算結果に直接加算可能。
反射/回折	高々数 dB	0 dB	0 dB	Section A2.6.6.7 and Appendix 5参照
24 GHz SRR稼働率	0 dB~7 dB 以上	0 dB	7 dB	[Rec. ITU-R SM.[UWB.CHAR]]参照
合計	—	<b>0 dB</b>	<b>19 dB</b>	

## FS 干渉検討 (case 1)

▶ Case 1における検討パラメータ

道路レーン数	アグリゲート干渉 レベル (dBm/MHz)	干渉低減量 (dB)	干渉許容値 (dBm/MHz)	差分 (dB) (-) 許容値を超えている (+) マージン有り	Notes
1	-108.5~-128	0	-128	-19.5 ~ 0	Note 1
4	-108 ~ -128	0	-128	-20 ~ 0	Note 2

Note 1:道路の車線数は1~4になっても車両による遮蔽により、問題にならない。

Note 2:過酷な状況の組み合わせの場合、マージンは少ない。

例:

- \* アンテナ高10m,
- \* アンテナオフセット10m,
- \* 干渉経路における降雨減衰 0.6 dB/km
- \* 車間距離~20m

過酷でない状況の組み合わせの場合、マージン大きい。

例:

- \* アンテナ高25m,
- \* アンテナオフセット30m,
- \* 干渉経路における降雨減衰3 dB/km
- \* 車間距離50m

## FS 干渉検討 (case 2)

▶ Case 2における検討パラメータ

道路レーン数	アグリゲート干渉レベル (dBm/MHz)	干渉低減量 (dB)	干渉許容値 (dBm/MHz)	差分 (dB) (-) 許容値を超えている (+) マージン有り	Notes
1	N.A.	19	-128	適用不可	Note 1
4	- 122 ~ - 134	19	-128	+13 ~ +25	Note 2 Note 3

Note 1: 道路の車線数は1~4になっても車両による遮蔽により、問題にならない。

Note 2: 過酷な状況の組み合わせの場合、マージンは少ない。

例:

- \* アンテナ高 18 m,
- \* アンテナオフセット20 m,
- \* 干渉経路における降雨減衰 2 dB/km
- \* 車間距離~20 m

過酷でない状況の組み合わせの場合、マージン大きい。

例:

- \* アンテナ高 30 m,
- \* アンテナオフセット 60 m,
- \* 干渉経路における降雨減衰 3 dB/km
- \* 車間距離50 m

Note 3: ITU-R F.1094によって与えられた1%の許容値をSRR干渉だけに与えるなら、もう3dBマージンを加えることが可能。これはこれらのバンドへの意図的な放射ではない、ということから正当化される可能性がある。

## FSに対するUWB SRRの影響の実証試験について

- ▶ CEPT/ECC WG-SEが異なる方式のUWB装置 (SRR) がFSに対して、どのように影響するか、調査した結果がITU-R TG1/8に入力された。平均電力と、ピーク電力の比率を評価パラメータとして、FSのBER特性を調査した。
- ▶ 本評価値はFS調査の干渉検討にノイズフロア手法を用いる基準値として、反映されている。

検討対象サービス	参考文献	試験の目的	試験における前提条件	UWBレーダの特性	結果
固定サービス	Attachment 7 to Report, § 7.4	24GHz帯を利用する固定サービスの回線設計に関する保護するためのSRR最大のピーク及び又は、平均干渉電力を明らかにするため。	試験は欧州にある、主要な固定サービスシステム製造メーカーの研究開発施設で実施された。試験には方式の異なる4つのSRRメーカーからの代表者の他、政府機関の人間が客観的な立場の証人として立ち会った。固定サービス系の受信帯域はおよそ41MHzのものを選定した。	4つの異なるUWB近距離レーダ(SRR)が使用された。各方式はETSIの発行する文献TR 101 892に記載されている。	$I_{P50} \text{ (dBm/50 MHz)} \leq I_A \text{ (dBm/MHz)} + 42 \text{ dB}$ <p><math>I_p</math> ; 干渉ピーク電力、<math>I_A</math> ; 干渉平均電力。 UWB SRRのピークと実効値の比を最大42dB以上に制限することで、実効値は白色雑音とみなすことができる。 高いピーク対実効値の放射においては、BER劣化はピークによってのみ劣化する。 低いピーク対実効値の放射においては、実効値がエラーの主因となる。</p> <p>BER = <math>10^{-6}</math> と、BER = <math>10^{-8}</math> の間の計測において、顕著な差が見られなかった。</p> <p>ピークと実効値の比を制限することはFS回線を守るために必要である。</p>

## EESSの干渉検討の概要

サービス	周波数帯域	被干渉装置諸元	検討の評価基準	解析概要	UWB EIRP密度 又は最小離隔距離	コメント
EESS (passive)	23.6 -24GHz	コニカルスキャンと、天低装置が検討に使用された。 EESSアンテナ利得=52dBi	Rec. ITU-R SA1029-2 1%~5%のWP7Cのリエゾン文書からの干渉評価基準の配分	アグリゲート干渉密度 123 cars/km <sup>2</sup> (田舎)、 330 cars/km <sup>2</sup> (郊外)、 453 cars/km <sup>2</sup> (都市)  各車両は最大8台のSRRを搭載。  100%の車両がSRRを使用。  伝搬損は自由空間伝搬損を適用。	田舎; -70.6dBm/MHz 郊外; -74.8dBm/MHz 都市; -76.2dBm/MHz	100%配備された-41.3dBm/MHzを放射するSRRの干渉により、EESS 1%干渉評価閾値を最大34.9dB超過する。  田舎モデルは高速道路にも適用。

- ▶ 本検討にはA.6.1.5.6にあるような詳細な干渉低減要素・技術は加味されていない。
- ▶ 動作モード、普及率により、稼働率を低減し、負のマーヅンを現象させることが可能である。

### <その他考慮すべき項目>

- ▶ 車両搭載率100%は過剰と思われる。欧州は7% (2013年の措置)、北米でも最大で40% (= -4dB、2030年)と予測している(参考資料参照)。
- ▶ 普及レベルのSRR搭載台数8台ではなく、4台 (-3 dB) が適切。
- ▶ 干渉経路は自由空間損失としているが、アスファルト面による散乱量だけでなく、50cmの設置高となるSRRに対しては、樹木、建物等による、衛星方向への仰角の見通し率 (-10 dBに達する) を損失として加算してもよいと考える。



## EESSに対するSRRの干渉低減技術

※各動作の稼働率削減効果は「参考資料」参照。

### ▶ SRR 電源断

- 踏み切り待ちや、信号で停車して一定時間、車両が停止した場合に自動的にSRRの電源がOFFとなる。その他、RASの付近ではこのような機能が必要である。

### ▶ PRF(Pulse Repetition Frequency) の低減

- 駐車支援や、STOP&GOのアプリケーションでは、車両、検知対象の動作が遅いため、PRFを低下しても差し支えない。PRFの低下により、放射電力が線形に低下する。

### ▶ 非UWBモード動作

- 24.00～24.25GHzのISMバンドで動作するモードを用意する。その期間、ドップラレーダとして動作する、という利用が可能。非UWBモードで動作する期間はUWBとしての放射はOFFとなる。

### ▶ 帯域の分割利用、マルチバンドUWB動作

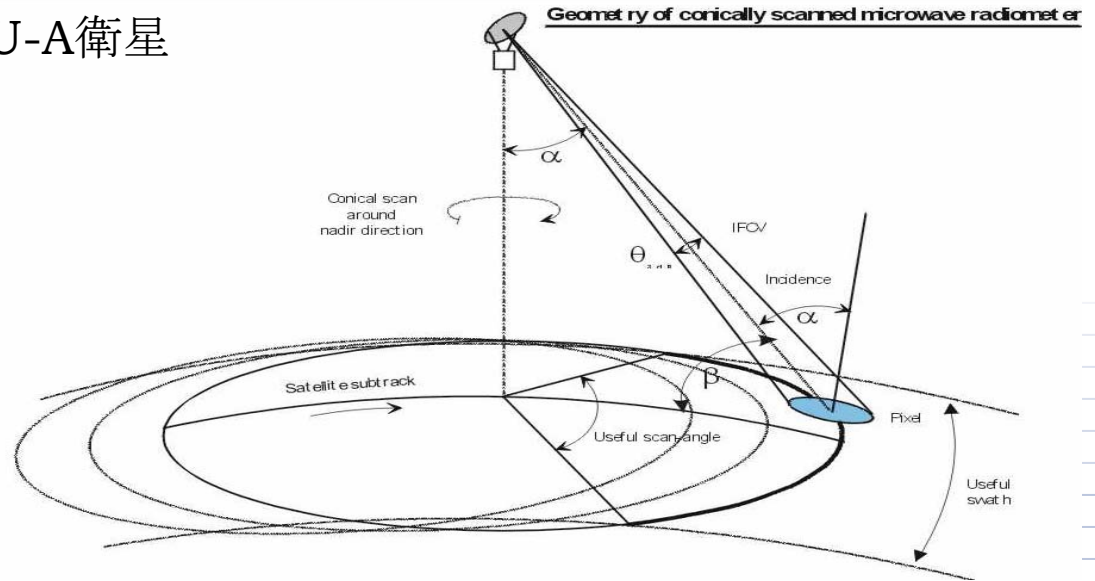
- SRRが利用可能な帯域を分割して利用する方法。例えば、5個のSRRが5GHzを各1GHz幅で利用することで、5GHzで動作するSRRと同じスペクトルを構成する。さらに、マルチバンド動作は、無線通信システムと同様に、他の周波数帯レンジに変化させることで干渉のリスクを低減可能です。

その他、我が国固有の動作モードを設定する、等の検討が可能。

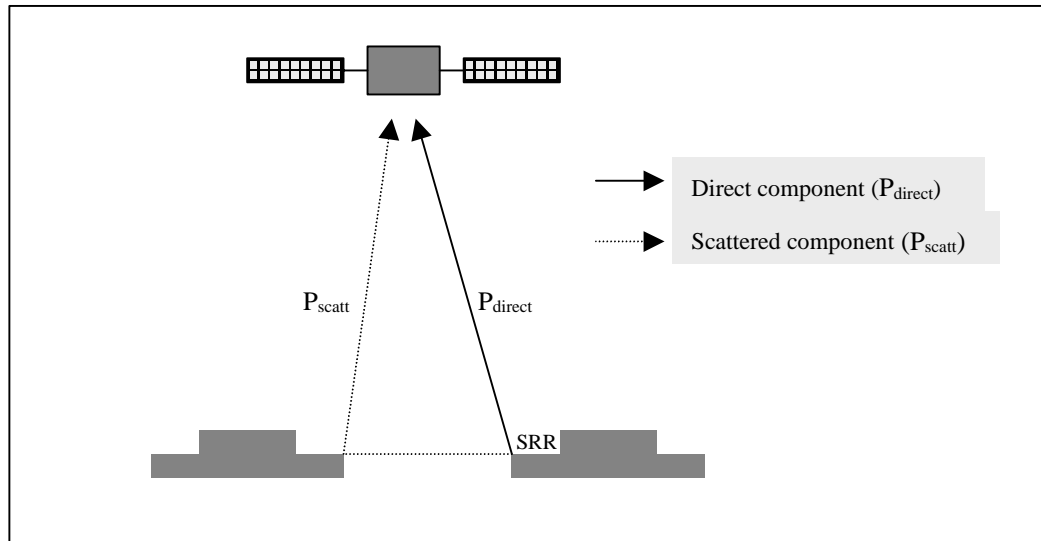
## EESSへの干渉検討モデル

### ▶ 検討対象の例：AMSU-A衛星

チャンネル帯域幅	$B = 270 \text{ MHz}$
Footprint直径	$D = 48 \text{ km}$
天底 角度	$\alpha = 52.3^\circ$
LOS 仰角	$\beta = 37.7^\circ$
高度	$h = 850 \text{ km}$
最大アンテナ利得	$G = 36 \text{ dBi}$
HPBW	$\theta = 3.3^\circ$
LOS 距離	$l = 850 \text{ km}$



### ▶ 干渉モデル



## EESS干渉計算例

### ▶ AMSU-Aとの干渉について

行	要素	諸元		AMSU-A回線設計値	
1	最大EIRP	-41.3 dBm/MHz			
2	バンパー通過損	3 dB			
3	干渉方向	天頂			
4	レーダアンテナ垂直利得減衰(2014年マスク適用)	35 dB			
5	全散乱電力(散乱係数: -19.8dB) $P_{scatt}^P$	行1-行2-19.8*-4.7**		-98.8 dBW/MHz	
6	直接波電力 $P_{direc}^P$	行1-行4-行2		-109.3 dBW/MHz	
7	SRR装置1台の全与干渉電力	$10\log(10^{P_{direct}^{/10}} + 10^{P_{scatt}^{/10}})$		-98.4 dBW/MHz	
8	レーダと受動EESSとの距離 (km)	850 km			
9	23.8 GHz における空間伝搬損	178.6 dB		-277.0 dBW/MHz	
10	大気減衰 (ITU-R P.676)	1 dB		-278.0 dBW/MHz	
11	EESSアンテナ利得	36 dBi		-242.0 dBW/MHz	
12	EESSセンサの受信電力 (1 MHz帯域幅)			-242.0 dBW/MHz	
13	EESS200MHz帯域幅におけるレーダ1台からの合成受信電力	23 dB		-219.0 dBW/200MHz	
14	EESSの干渉閾値 帯域: 200 MHz (ITU-R SA 1029-2 1%-5% apportionment)	(1% apport) -186 dBW	(5% apport) -179 dBW	(1% apport) -186 dBW / 200MHz	(5% apport) -179 dBW / 200MHz
15	1台のSRRに対するEESSの干渉マージン量	[行 14 - 行13]		33 dB	40 dB

## EESSの干渉計算例

▶ AMSU-A (続き)

行	要素	諸元	SRR搭載車両密度	
			1% apport	5% apport
1	AMSU衛星 footprintにおける1台のレーダセンサに対する干渉マージン		33dB	40dB
2	EESS干渉閾値に到達するレーダセンサ数	$10^{(行1/10)}$	1986台	10000台
3	車両1台あたりの稼動レーダ数	4	496.5台	2500台
4	Pixel面積	1842 km <sup>2</sup>		
5	EESSのpixelあたりに許容される最大車両台数密度km <sup>2</sup>	行3 ÷ 行4	0.27台/km <sup>2</sup>	1.36台/km <sup>2</sup>
6	高速道路の想定車両台数密度 km <sup>2</sup> (田舎モデル)	123 台/km <sup>2</sup>		
7	都市/郊外の想定車両台数密度 km <sup>2</sup> (郊外モデル)	330 台/km <sup>2</sup>		
8	都市の想定車両台数密度 km <sup>2</sup> (都市モデル)	453 台/km <sup>2</sup>		
9	高速道路の干渉マージン (車両搭載率100%)	$10\log[行5 \div 行6]$	-26.6dB	-19.6 dB
10	都市/郊外 の干渉マージン(車両搭載率100%)	$10\log[行5 \div 行7]$	-30.9dB	-23.9 dB
11	都市 の干渉マージン(車両搭載率100%)	$10\log[行5 \div 行8]$	-32.3dB	-25.3 dB

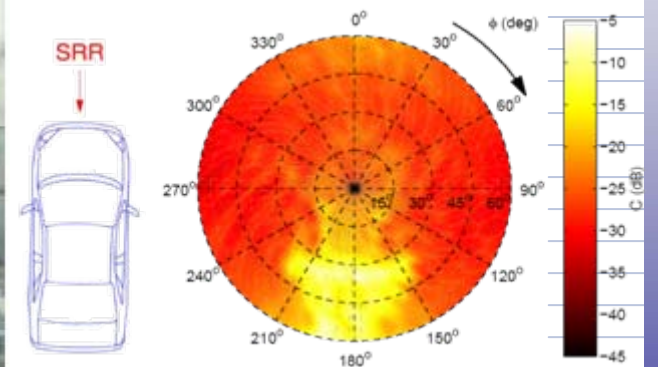
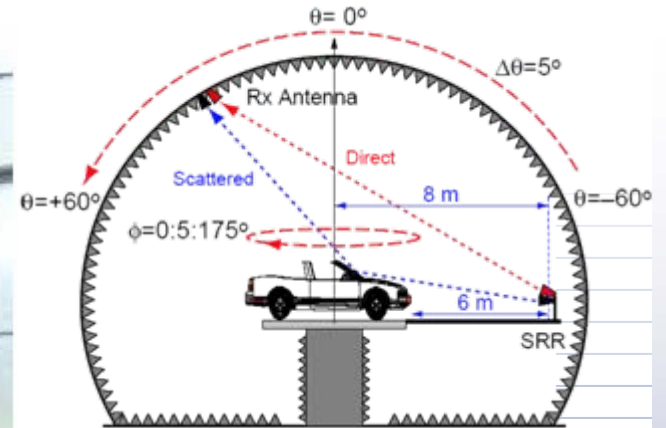
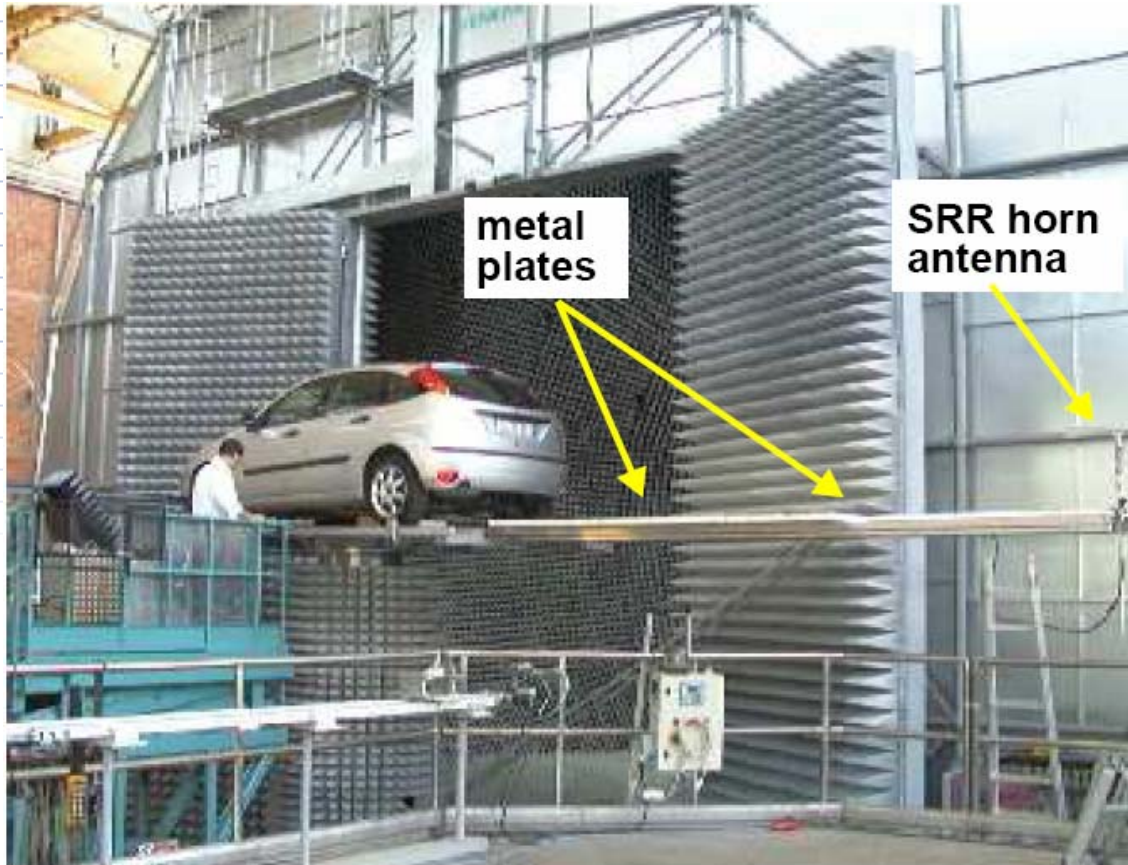
\*厚さ0.5cmのガラス(10mの湾曲半径)を有する車両を散乱対象とする。但し、位置関係と散乱利得は以下の通り:

- 車間距離-10m未満: 全体の5%。散乱利得 -15 dB
- 車間10~30 m: 全体の45%。 -18 dB、
- 車間 30 m: 50%。 -25 dB

$$\text{車両による散乱利得} = 10 * \log_{10} [0.05 * 10^{-1.5} + 0.45 * 10^{-1.8} + 0.5 * 10^{-2.5}] = -19.8 \text{ dB}$$

\*\*散乱分布係数

EESS 後方散乱実験



## RAS検討の概要

サービス	周波数帯域	被干渉装置諸元	検討の評価基準	解析概要	UWB EIRP密度 (dBm/MHz)	コメント
RAS	23.6 -24GHz	単一皿型アンテナ アンテナゲイン = 0dBi	Rec. ITU-R RA.769	<p>集合型干渉 (100台の SRR/km<sup>2</sup>)</p> <p>解析においては、シミュレーション手法を使用 (<math>R_1 = 30</math> m <math>R_0 = 500</math> km)。伝搬損は ITU-R P.452 を元に算出。干渉による部分的なデータロス時間を 10%, 2% とした。</p>	-109.2	すべてのUWB装置が同時に動いていると仮定。

## RASの干渉計算方法

▶ RASの周波数利用状況(22-24 GHz)

周波数帯域 (MHz)	関連のあるRR補足説明	RAS閾値SPFD (Rec. ITU-R RA.769) (dB(W/(m <sup>2</sup> .Hz)))
22 010-22 210	RR No. 5.149	-216 <sup>1</sup>
22 210-22 500	RR No. 5.149	-216 <sup>1</sup>
22 810-22 860	RR No. 5.149	-216 <sup>1</sup>
23 070-23 120	RR No. 5.149	-215 <sup>1</sup>
23 600-24 000	RR No. 5.340	-215 <sup>1</sup> , -233 <sup>2</sup>
<sup>1</sup> スペクトルライン観測(狭帯域). <sup>2</sup> コンティニウム観測(広帯域).		

スペクトルライン観測に対して、悪影響を及ぼさないSRR装置当たりの最大許容EIRPは下記の式で与えられる。

$$EIRP_{max} = -10 \cdot \log(\rho) - 71.3 \quad \text{dBm/MHz}$$

ここで、 $\rho$  は24GHz程度を利用するkm<sup>2</sup> 当たりのSRR装置数である。  
 コンティニウム観測の場合、定数71.3を 89.2 とする。

但し、本理論式はSRR装置が全て、RAS方向を向いている場合の理論式であるため、単純な適用はできない。

また、 $\rho$ の正確な予測値は現在は入手されていない。

仮に、 $\rho=100$ とした場合、稼働率100%で、EIRP=-91.3 dBWm/MHz(スペクトルライン観測)、-109.2 dBWm/MHz(コンティニウム観測)となる。

さらに、発射禁止ゾーンの設定(密度100台時、最大35km)や、次項の干渉低減技術、及び干渉低減要素を適用することで、共存が可能であるとしている。

我が国においても、道路状況、車両密度調査、干渉低減要素など、個別の検討を行い、SRRのEIRPを決定する必要がある。

## 干渉低減技術

- ▶ a) 周波数領域でのUWB信号の放射制御
- ▶ b) 直交偏波
  - 干渉システムの偏波が既知の時、最大の効果を発揮。
- ▶ c) ノッチフィルタ
  - キャビティバック・スパイラルアンテナによる実現では、キャビティが固有の周波数の通過を阻止し、23.6-24GHzにおいて、15dBの抑圧効果が可能であると例示されている。
- ▶ d) 変調方式.
- ▶ e) 周波数ホッピング
- ▶ f) チャープ変調
- ▶ g) 周波数アジャイル変調
  - UWB信号の一部をノッチすることで、20~30 dBの干渉低減例がある。
- ▶ h) キャリアレスバースト発振器
  - SRR用で、中心周波数を自由に選択できるため、EIRP密度の低い領域を放射禁止帯に調節することが可能となり、少なくとも15 dBの低減効果があるもという例も示されている。
- ▶ i) 空間分割技術
- ▶ j) 複合技術
- ▶ k) DAA

これらの技術のSRRへの適合性、定量的な干渉量削減の示唆はc), h)にのみ記されている。 15



## ITU-R TG1/8の干渉検討例への見解

- ▶ ITU-R TG1/8のほとんどの干渉計算には最悪条件を用いている。
- ▶ 特に自由空間伝播損失の計算と、実際の遮蔽による数値は大幅に異なる。
- ▶ 見通し率は、RASの設置条件により大幅に異なっている(欧州にて、RASの自動シャットオフを行う距離の設定が、各国の独自の計算により決定された理由)。
- ▶ 我が国では、これらの干渉低減要素を適切に見込んだ、地形、樹木、構造物による適切な見通し率を反映した妥当な干渉計算を、各設置条件に合わせて実施することが適当である。

SRR動作率の検討

Calculation of estimated activity factor for all modes of operation

Driving situations	Modes of operation				Activity factors from all modes of operation <sup>(4)</sup>	Occurrence of driving situations in per cent of driving time	Activity factors from all modes of operation weighted by the occurrence of the driving situations
	“SRR switched off” mode	“Reduced PRF” mode (PRF reduced from 100% to 10%)		“Non-UWB” mode			
	Time SRR switched on <sup>(1)</sup> in per cent of driving time (activity factor No. 1)	Time full PRF <sup>(2)</sup> in per cent of driving time	Activity factor from this mode <sup>(3)</sup> (activity factor No. 2)	Time UWB mode in per cent of driving time (activity factor No. 3)			
Highway, moving traffic	100	80	82	60	49.2	55.00	27.06
Highway, slow traffic	100	100	100	80	80.0	10.00	8.00
City driving	70	80	82	70	40.2	35.00	14.06
City, forward parking	100	0	10	100	10.0	0.05	0.01
City, backward parking	100	0	10	100	10.0	0.05	0.01
					Resulting activity factor (%)		49.1

<sup>(1)</sup> Time SRR switched on = 100% – SRR switched off.

<sup>(2)</sup> Time full PRF = 100% – Time reduced PRF.

<sup>(3)</sup> Activity factor = (Time full PRF \* 100%) + (100% – Time full PRF \* 10%).

<sup>(4)</sup> Product from activity factors Nos. 1 to 3.

NOTE 1 – The numbers in Table 6 are estimates made at the time this Table was prepared. Administrations may wish to undertake their own analysis of these factors when doing their studies.

The calculations show that the use of the different modes of operation result in an aggregate activity factor of around 50% leading to a power reduction of 3 dB.

普及予測

Technology penetration estimation for short-range sensors

Technology	Technology penetration (%)		
	Europe/2013	Europe/2030	USA/2030
24 GHz UWB SRR sensors	7	0	40
79 GHz UWB SRR sensors	1	55	0
Narrow-band SRR sensors (e.g. 24.00-24.25 GHz band)	20	10	10
Infrared and ultrasonic sensors	15	15	15
Camera based sensors	2	10	10
Vehicles with no short-range sensors	55	10	25

- ▶ NOTE 1 – The numbers in Table 7 above are estimates made in 2005. Administrations may wish to undertake their own analysis of these factors when doing their own studies.
- ▶ On a long-term basis (2030) it is assumed that the UWB SRR technology would represent a penetration of about 55%. The penetration in the 24 GHz band of SRR UWB technology is assumed to be around 40% if no mandatory limitations are applied by national regulators. It has to be noted that the regulation in Europe authorizes the placing into the market of 24 GHz SRR until 2013 and limits the penetration to 7% of the car fleet.
- ▶ Even many years after the market introduction of SRRs, a significant number of cars will have no short-range sensors at all. This can be derived from the experience of the introduction of many other automotive technologies. Even if all new cars were to be equipped with such sensors in some years it would take 15 years until the vehicle density approached 100%. This penetration would unrealistically assume that no other automotive safety technologies are developed during this period.
- ▶ A penetration of 7% or 40% for 24 GHz UWB SRR corresponds to mitigation factors of 11.5 dB and 4 dB respectively.