

# 電波天文業務と自動車 レーダー間の共用検討 (その1)

2022年4月1日

国立天文台

# 本資料のアウトライン

- 電波天文業務の干渉閾値の導出
- 周波数共用方法
- 参考になるこれまでのミリ波～準ミリ波帯における共用検討例
- **Single Entry**（最悪ケース）
- **Single Entry**（回折損を考慮）
- 本資料のまとめと今後の計画（お願い、あり）

# 電波天文業務の保護基準

- **Rec ITU-R RA.769**

- 干渉閾値を定義
- ゲイン 0dBi ← 望遠鏡は様々な方向を向くので平均値
- 連続波モード（表1）、スペクトル線モード（表2）、VLBIモード（表3）
- 多くの場合、表1の値に基づき、参照帯域幅の補正をして用いる

- **Rec ITU-R RA.1513**

- 干渉時間率に相当する「データ損」率を定義
- 2000秒の積分時間の間に生じる干渉電力がRA.769の値を超過する割合として2%（全てのシステムからの合算では5%）を許容

# 干渉閾値の導出 (1)

- Recommendation ITU-R RA.769

- ノイズの電カスペクトル密度

$\Delta P = k\Delta T$  (W/Hz) (1),  $k$ はボルツマン定数

- $\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f \cdot t}}$ ,  $T = T_A + T_R$  (2)

$T_A$ :宇宙背景放射、大気、地面によるアンテナ温度、 $T_R$ :受信機雑音温度、 $\Delta f$ :バンド幅、 $t$ :積分時間(2000秒)

- 干渉電力の閾値  $\Delta P_H = 0.1 \cdot \Delta P \cdot \Delta f$  (3)

受信システムの性能と自然環境条件によって決まる

# 干渉閾値の導出 (2)

- 3-4mm帯の受信機性能はほぼフラット、また、大気による放射などもほぼ変わらない（但し、69GHz未満では酸素、115GHz以上ではオゾンのために大気による放射が上昇する）  
→ Table 1の89GHzの値を用いれば良い

$$\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f \cdot t}} = \frac{(12+30)}{\sqrt{8000 \times 10^6 \times 2000}} = 1.05 \times 10^{-5}$$
$$= 1.05 \times 10^{-2} \text{ (mK)}$$

$$\Delta P = 1.05 \times 10^{-5} \times 1.3806 \times 10^{-23} = 1.45 \times 10^{-28}$$

(W/Hz) → -278.39 dB(W/Hz)

$$\Delta P_H = 0.1 \cdot \Delta P \cdot \Delta f = 0.1 \times 1.45 \times 10^{-28} \times (8000 \times 10^6) = 1.16 \times 10^{-19} \text{ (W)} \rightarrow -189.39 \text{ dBW}$$

# Continuum observations = wideband observations

TABLE 1

Threshold levels of interference detrimental to radio astronomy continuum observations

Centre frequency <sup>(1)</sup> $f_c$ (MHz)	Assumed bandwidth $\Delta f$ (MHz)	Minimum antenna noise temperature $T_A$ (K)	Receiver noise temperature $T_R$ (K)	System sensitivity <sup>(2)</sup> (noise fluctuations)		Threshold interference levels <sup>(2)(3)</sup>		
				Temperature $\Delta T$ (mK)	Power spectral density $\Delta P$ (dB(W/Hz))	Input power $\Delta P_H$ (dBW)	pdf $S_H \Delta f$ (dB(W/m <sup>2</sup> ))	Spectral pdf $S_H$ (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
13.385	0.05	50 000	60	5 000	-222	-185	-201	-248
25.610	0.12	15 000	60	972	-229	-188	-199	-249
73.8	1.6	750	60	14.3	-247	-195	-196	-258
151.525	2.95	150	60	2.73	-254	-199	-194	-259
325.3	6.6	40	60	0.87	-259	-201	-189	-258
408.05	3.9	25	60	0.96	-259	-203	-189	-255
611	6.0	20	60	0.73	-260	-202	-185	-253
1 413.5	27	12	10	0.095	-269	-205	-180	-255
1 665	10	12	10	0.16	-267	-207	-181	-251
2 695	10	12	10	0.16	-267	-207	-177	-247
4 995	10	12	10	0.16	-267	-207	-171	-241
10 650	100	12	10	0.049	-272	-202	-160	-240
15 375	50	15	15	0.095	-269	-202	-156	-233
22 355	290	35	30	0.085	-269	-195	-146	-231
23 800	400	15	30	0.050	-271	-195	-147	-233
31 550	500	18	65	0.083	-269	-192	-141	-228
43 000	1 000	25	65	0.064	-271	-191	-137	-227
89 000	8 000	12	30	0.011	-278	-189	-129	-228
150 000	8 000	14	30	0.011	-278	-189	-124	-223
224 000	8 000	20	43	0.016	-277	-188	-119	-218
270 000	8 000	25	50	0.019	-276	-187	-117	-216

<sup>(1)</sup> Calculation of interference levels is based on the centre frequency shown in this column although not all regions have the same allocations.

<sup>(2)</sup> An integration time of 2 000 s has been assumed; if integration times of 15 min, 1 h, 2 h, 5 h or 10 h are used, the relevant values in the Table should be adjusted by +1.7, -1.3, -2.8, -4.8 or -6.3 dB respectively.

<sup>(3)</sup> The interference levels given are those which apply for measurements of the total power received by a single antenna. Less stringent levels may be appropriate for other types of measurements, as discussed in § 2.2. For transmitters in the GSO, it is desirable that the levels be adjusted by -15 dB, as explained in § 2.1.

# 干渉閾値の導出 (3)

- 1MHzあたり、mW表示に変換
- $\Delta P_H = -189.39 \text{ dBW}/8000\text{MHz}$ であるから、WをmW表示にするために30を加え、 $10\log(8000)=39.03$ を引く  
→  $\Delta P_H = -189.39 + 30 - 39.03$   
=  $-198.36 \text{ dBm/MHz}$

これを小数第2位で四捨五入すれば

**-198.4 dBm/MHz**

- 以下の干渉検討では、 $-198.4\text{dBm/MHz}$ を用いる

# 周波数共用方法

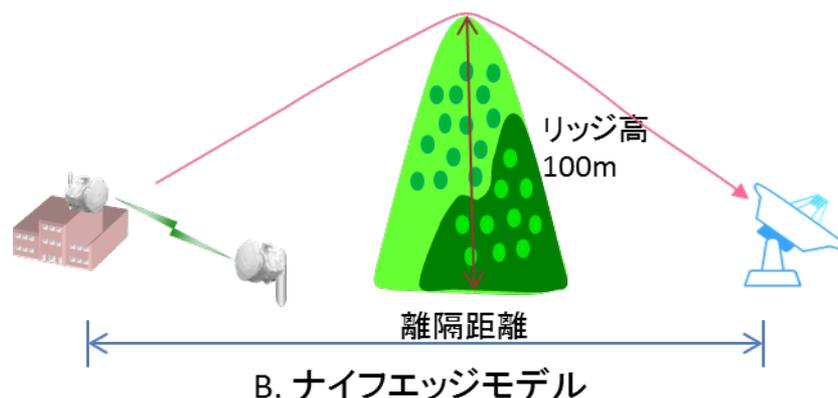
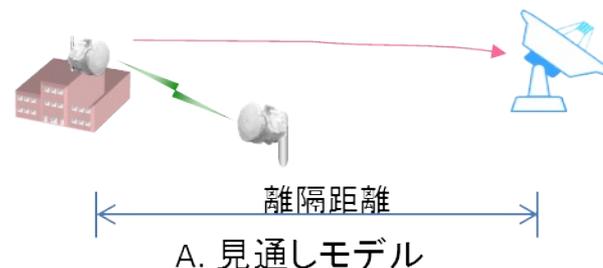
- 周波数毎：利用する周波数帯域を分ける 
- 時間毎：利用する時間帯を分ける 
- 地域毎：利用する場所を分ける 
- その他

与干渉・被干渉が共存するための離隔距離に関する目安を得る

# 参考共用検討例 (1)

## 80GHz高速無線伝送システム

- 80GHzシステム  
f=71-76, 81-86 GHz  
P=30 dBm, BW=250 MHz,  
G=55 dBi
- 電波天文と同一帯域
- 主ビームが天文台を向かない条件、指向性減衰50dBを仮定
- 最小離隔距離  
見通し：249 km  
見通し外：約40km



H26.3.11情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会  
80GHz帯高速無線伝送システム作業班報告書より

# 参考共用検討例 (2)

## 空港異物検出(FOD)レーダー

- FODパラメータ  
 $f_c=96$  GHz,  $P=-2$  dBm,  
 $BW=8$  GHz,  $G=44$  dBi,  
48台／空港
- 最小離隔距離=112 km
- 天文台より112 km未  
満に空港がある場合  
は、シールドを施す



鹿児島空港でのレーダー設置例：  
VERA入来局から見通しで約27 km

空港滑走路における90GHz帯FODレーダーの導入に向けた周波数有効利用に関する調査検討報告書 (2020年3月) より

# 参考共用検討例(3)

## 24 GHz 車載UWBレーダー

- レーダー

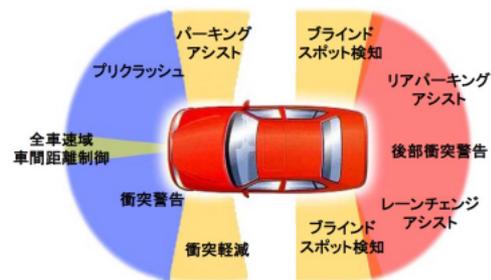
- $f=22-24.5$  GHz (2016年まで) ,  $24.5-29$  GHz
- $P=-41.3$  dBm/MHz, gain=0 dBi 以下
- 普及率 0.1%

- 電波天文

- $22.21-22.5$ ,  $23.6-24.0$  GHz
- 干渉閾値  $-191$  dBm/MHz

- 共用検討の結果

- 天文台周囲1-20 kmをレーダー発射禁止地域とする
- 自動停止
- 普及率0.1%を超えないようにする  
→ 業界が自主モニター & 公表



H21.11.24 情報通信技術分科会 UWB無線システム委員会  
報告書「準ミリ波帯を用いたUWBレーダシステムの技術的条件」より

# Single Entry (worst case scenario)

- Line of Sight
- レーダー：  
50 dBm eirp, BW= 1 GHz
- 伝搬モデル：  
自由空間伝搬  
+  
大気減衰（水蒸気）  
0.15 dB/km ← 4.1 g/m<sup>3</sup>
- 最小離隔距離：  
269 km

Continuum Observation Mode				
		Item	Value	Remarks
Tx Parameters	(1)	Transmit Power	10.0 dBm	
	(2)	Bandwidth	1,000.0 MHz	
	(3)	Tx Antenna Gain	40.0 dB	
	(4)	Directional Attenuation	0.0 dB	
	(5)	Transmit Power within the bandwidth	50.0 dBm	(1)+(3)+(4)
	(6)	Transmit Power Density per 1MHz	20.0 dBm/MHz	(5)-10 log((2))
Rx Parameters	(7)	Rx Antenna Gain	0.0 dB	
	(8)	Directional Attenuation	0.0 dB	
	(9)	Spectral Power Flux Density	-228.0 dB(W/(m <sup>2</sup> ·Hz))	ITU-R RA.769
	(10)	Interference Threshold Power	-198.4 dBm/MHz	
Required Attenuation	(11)	Required Attenuation	218.4 dB	(6)-(10)
Propagation Loss	(12)	Free-space propagation loss	178.7 dB	269 km
	(13)	H2O pressure	5.5 hPa	
	(14)	H2O density	4.1 g/m <sup>3</sup>	15°C
	(15)	Absorption coefficient of H2O	0.15 dB/km	
	(16)	Atmospheric Attenuation	39.7 dB	
	(17)	Knife Edge Diffraction Loss	0.0 dB	
	(18)	Sum of Propagation Loss	218.4 dB	(12)+(16)+(17)
			Residual	0.0

# Single Entry (回折損を考慮した例)

電波天文アンテナから**b**の距離に**Hs**の高さの障害物が1つある場合  
回折損は、Rec ITU-R P.526-14 eq.31により計算

Continuum Observation Mode					Knife Edge Diffraction Loss (Rec. ITU-R P.526-14, eq. 31)			
		Item	Value	Remarks	Item	parameter	Value	Unit
Tx Parameters	(1)	Transmit Power	10.0	dBm	Distance Tx-Rx	c	40,500	m
	(2)	Bandwidth	1,000.0	MHz	Distance Rx-Obst.	b	10,000	m
	(3)	Tx Antenna Gain	40.0	dB	Edge height	Hs	300	m
	(4)	Directional Attenuation	0.0	dB	Tx Height	Ht	1	m
	(5)	Transmit Power within the bandwidth	50.0	dBm	Rx Height	Hr	50	m
	(6)	Transmit Power Density per 1MHz	20.0	dBm/MHz	Clearance	H	280.1	m
Rx Parameters	(7)	Rx Antenna Gain	0.0	dB	neq	v	72.9	dB
	(8)	Directional Attenuation	0.0	dB	Frequency	f	76.5	GHz
	(9)	Spectral Power Flux Density	228.0	dB(W/(m <sup>2</sup> ·Hz))	Wave length	λ	0.004	m
	(10)	Interference Threshold Power	198.4	dBm/MHz	Diffraction Loss	j(v)	50.2	dB
Required Attenuation	(11)	Required Attenuation	218.4	dB				
Propagation Loss	(12)	Free space propagation loss	162.2	dB				
	(13)	H2O pressure	5.5	mmHg				
	(14)	H2O density	4.1	g/m <sup>3</sup>				
	(15)	Absorption coefficient of H2O	0.15	dB/km				
	(16)	Atmospheric Attenuation	6.0	dB				
	(17)	Knife Edge Diffraction Loss	50.2	dB				
	(18)	Sum of Propagation Loss	218.4	dB	(12)+(16)+(17)			
			Residual	0.0	(11)-(18)			

# Single Entry : 障害物の位置と高度を 変化させた際の離隔距離 (km)

障害物の高さ

天文台と  
障害物間  
の距離

	50 m	100 m	200 m	300 m	500 m	700 m
2 km	93.3	65.0	38.0	27.5	17.7	13.0
5 km	102.3	72.0	47.0	35.4	23.5	17.4
10 km	115.3	73.7	52.5	40.5	27.3	11.7

- ・ 障害物があると回折損が生じるため、最小離隔距離が短くなる
  - ・ 天文台から比較的近い所に高い障害物があると劇的に短くなる
- 天文台周囲の広域地形を考慮した検討が必要

# 車載レーダーとの周波数共用 (前回使用したスライド)

- **Report ITU-R RA.2457**

- 国際天文学連合が車載レーダーによる干渉を懸念した決議を参照。
- **Single entry** (視線内 LoS) の場合、最小離隔距離は **100km** を超える。
- 山岳などによる遮蔽が効く場合、最小離隔距離は大きく減少する。→ 電波天文サイト毎に周囲の地形や水蒸気分圧などを考慮した干渉検討を実施する必要がある。  
(例) 米国アリゾナ州のキットピーク電波天文台の場合、**30-40km**の運用制限区域が必要。

# 今回のまとめ

- 干渉閾値について確認計算し  $-198.4$  dBm/MHz を得た
  - Single entry: 見通しの場合の最小離隔距離は約270 km
  - Single entry: 障害物有りの場合最小離隔距離は短くなる
    - 天文台から比較的近い所に高い障害物があると劇的に短くなる
    - 最小離隔距離の結果は、海外での検討結果と矛盾ない
  - ミリ波帯を用いる他のシステムとの離隔距離ともほぼ同様の結果を得た
  - 今回の検討では、レーダーのアンテナパターンが不明なため、電波の進行方向に関わらず  $\text{eirp}=50\text{dBm}$  で評価しているため、障害物がある場合の最小離隔距離は長目に出ている
- アンテナパターン（水平、垂直、サイドローブの角度分布が分かるもの）をご提供いただきたい

# 今後の計画

- レーダーのアンテナパラメータをいただいた後、国内5局（野辺山、水沢、入来、小笠原、石垣）周囲の地形を考慮した検討を進める
- 集合電力の評価：以下の情報をいただきたい
  - 最大普及率とその根拠
  - 1台の車に搭載するレーダーの数
  - 異なる車が同時にレーダーを使用する確率とその根拠
  - 他