



「JAIA UWB レーダー搭載自動車の台数自主管理について」

2009年3月12日

JAIA 事務局

目的: 24GHz帯 UWB レーダー搭載車両の台数を、他の無線事業者との干渉を避ける目的から、保有台数(約 8000 万台)のうち、A%(A:MIC UWB レーダー作業班の確認数値)を超えないよう調整を行う。

参加メンバー: 24GHz 帯 UWB レーダーを搭載した自動車を輸入・生産もしくは販売する、JAIA 会員インポーターおよび JAMA 会員の国産自動車メーカー

事務局: JAIA 事務局

自主管理体制案:

1. 管理体制の基本方針

JAIA 事務局は、JAIA に加盟するインポーター及び JAMA 会員の国産自動車メーカーが輸入・生産もしくは販売する、24GHz 帯 UWB レーダーを搭載した自動車に関して、既存無線システムへの障害対応として、自主管理を行なう事業者グループを形成し、その総括管理を行なうものとする。

もし、そのグループに属さない事業者が当該 UWB レーダーを搭載した自動車の販売・登録を開始する場合には、その事業者が事前に前述の自主管理グループに属するように適切な指導を行なう。

2. モニター体制

i) JAIA は基準認証委員会を通じて、随時参加メンバーを募る。

参加メンバーの確認は、年 1 回行う。

ii) JAMA は、毎年 JAIA から発行される参加案内を受けとり、ITS 技術部会及びスマートシステム分科会を通じて随時参加メンバーを募り、JAIA 事務局に届け出る。

参加メンバーの確認は、年 1 回行う。

iii) 自主管理グループ各社は、2016 年までの年毎の導入予測台数を JAIA 事務局に届け出る。JAIA 事務局はこれを集約し、MIC に提出する。

iv) 自主管理グループ各社は、4 半期毎に販売登録した当該自動車の台数を集計し、JAIA 事務局に届け出る。JAIA 事務局は、各四半期翌月に集計結果を JAMA に報告すると共に JAIA ホームページにて公開する

3. レビュー体制

累積台数が制限値に近づいてきた場合には、JAIA 事務局より自主管理グループ各社にその旨を通知し、各社の販売台数集計の頻度を上げるとともに、台数管理の働きかけを行なう。

以上



日本自動車輸入組合 宛て

JAIA UWB レーダー搭載自動車の台数自主管理グループ参加申込み書

年 月 日

貴社名			
御担当者氏名		部署	
連絡先 TEL		FAX	
E-mail			
2016 年までの 販売予測台数	2010		
	2011		
	2012		
	2013		
	2014		
	2015		
	2016		

※ なお販売台数の予測が不可能の場合は、その旨お知らせください。

加入者系無線アクセスシステム／携帯電話エントランス回線との 共用検討について

UWB レーダシステムと加入者系無線アクセスシステム／携帯電話エントランス回線との共用検討を以下のように行った。

【検討経緯】

平成19年5月23日：第4回UWBレーダ作業班にて

被干渉側より干渉が懸念される例と被干渉システム側の条件が提示された。

平成19年6月12日：第1回アドホック会合

加入者系無線アクセスシステムと携帯電話エントランス回線の両システムを合同で議論することが被干渉側より提案された。

平成19年10月2日：第2回アドホック会合

ITU-R TG1-8 で「UWB レーダシステムと固定サービスの干渉検討」に携わった Dr. Martin Kunert 氏が来日し、日本の固定無線と 24GHz 帯 UWB レーダの干渉検討に対する見解が説明された。

平成19年10月4日：第5回UWBレーダ作業班にて

Dr. Martin Kunert 氏より、「日本における UWB レーダシステムと固定サービスとの干渉分析」が説明された。

平成20年3月11日：第6回UWBレーダ作業班にて

被干渉側より干渉検討結果が提示された。(別添資料1参照)

平成20年4月24日：第3回アドホック会合

干渉緩和要素等の条件(特に降雨減衰)が議論された。

平成20年9月26日：第7回UWBレーダ作業班にて

干渉緩和要素等の条件(特に降雨減衰)について双方の見解の相違点が説明された。

平成20年12月5日：第4回アドホック会合

被干渉側より「干渉軽減対策機能の動作担保等により普及率40%で共用可能」との案が提示されたが(別添資料2参照)、「干渉軽減対策を将来の課題とし、マージン最悪値-10.9dB(許容普及率8.1%に相当)から余裕をみて普及率7%で共用可能とする」案が合意された。(別添資料3参照)

平成20年12月19日：第8回UWBレーダ作業班にて

UWB レーダシステムの普及率7%以下で共用可能とする検討結果が確認された。(別添資料4参照)

FS干渉検討例

平成20年3月11日
UWBレーダ作業班
FS-SRR Ad-hoc

検討条件

干渉検討における前提条件は以下の通りである。

- ・ ITU-Rにおける検討手法をベースとし、国内におけるFSの運用状況を考慮して検討を行う。
- ・ ITU-Rにおける干渉検討モデルには大別して、下記Case1とCase2がある。
 - Case1: FSとSRRの密度が高く、両者が近接して運用される可能性が高いケース
 - Case2: Case1のようにFSとSRRの密度が高くなく、両者が近接して運用される可能性が低いケース
- ・ FS干渉検討の1例として、Case1に基づき干渉検討を行う。
- ・ Single EntryについてはFSアンテナのメインビーム方向にSRR搭載車両※が存在するケース（最悪ケース）を想定して検討を行う。
- ・ FSの干渉保護基準としてITU-Rで採用されている $I/N=-20\text{dB}$ を使用する。

※車両前方に隅から20cm内側に2基装着

計算条件 (UWB SRR)

項目	情通審		ITU-R (Case1)
	基地局	加入者局	
周波数	23GHz (対無線エントランス) 26GHz (対FWA)		23GHz
EIRP	-41.3dBm/MHz		-41.3dBm/MHz
アンテナ指向特性	G _{max} -2/3×θ (0° < θ < 40°) G _{max} -26.66 (40° < θ)		G _{max} -2/3×θ (0° < θ < 40°) G _{max} -26.66 (40° < θ)
SRR地上高	0.5m		0.5m
設置台数/設置位置	4 (前方2, 後方2)/車両の4隅 Single Entryのみ車両端から20cm内側		4 (前方2, 後方2)/車両の4隅
車線数 (計算対象)	4		4
車両間隔*	20m, 50m, 100m, 150m		20m, 50m, 100m, 150m
車長/車高/車幅*	5m/1.5m/1.5m		5m/1.5m/1.5m
干渉パスの降雨減衰	0.6dB/km, 3.0dB/km		0.6dB/km, 3.0dB/km
シールド損失*	前方及び側方の車両による シールド損失を考慮		前方及び側方の車両による シールド損失を考慮
SRR装着率*	100%		100%
バンパー損失	3dB		3dB
干渉集積距離*	3000m		3000m

※Aggregateのみ

計算条件 (FWA)

項目	情通審		ITU-R (Case1)
	基地局	加入者局	
周波数	26GHz		23GHz
アンテナ利得	6.5dBi	41.1dBi, 31dBi**	41dBi
アンテナ指向特性	Single entry: F.1336 (peak) Aggregate: F.1336 (average)	Single entry: F.699 Aggregate: F.1245	Single entry: F.699 Aggregate: F.1245
アンテナ地上高	16m	5m	10m, 18m, 25m
アンテナチルト	0deg	0.9deg ↑	0deg
アンテナメインビーム の方向と道路のなす角*	0deg		0deg
給電損失	0dB		0dB
道路端からの水平距離*	0m, 10m	5m, 10m	10m, 30m
許容干渉レベル	-126.8dBm/MHz		-128dBm/MHz

※Aggregateのみ

※※ アンテナ利得として、設置台数の多い「31dBi」を追加

計算条件（無線エントランス）

項目	情通審				ITU-R (Case1)
	Model A	Model B	Model C	Model D	
周波数	23GHz				23GHz
アンテナ利得	46dBi	40dBi	40.1dBi	34.9dBi	41dBi
アンテナ指向特性	Single entry: F. 699 Aggregate: F. 1245				Single entry: F. 699 Aggregate: F. 1245
アンテナ地上高	50m	20m	40m		10m, 18m, 25m
アンテナチルト	0.57deg ↓	0.57deg ↑	0deg		0deg
アンテナメインビーム の方向と道路のなす角※	0deg				0deg
給電損失	0dB				0dB
道路端からの水平距離※	0m				10m, 30m
許容干渉レベル	-125.8dBm/MHz		-125.3dBm/MHz		-128dBm/MHz

※Aggregateのみ

計算結果（FWA）

【Single Entry】

検討モデル	アンテナ利得 [dBi]	降雨減衰 [dB/km]	許容干渉レベル [dBm/MHz]	干渉レベル(最悪値) [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]
基地局	6.5	0.6	-126.8	-143.1	-16.3
		3.0		-143.4	-16.6
加入者局	41.1	0.6	-126.8	-121.9	4.9
		3.0		-122.2	4.6
	31	0.6		-119.1	7.7
		3.0		-119.4	3.3

計算結果 (FWA)

【Aggregate】

検討モデル	アンテナ利得 [dBi]	降雨減衰 [dB/km]	車両間隔 [m]	許容干渉レベル [dBm/MHz]	干渉レベル [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]
基地局 (offset 0m)	6.5	0.6	20	-126.8	-124.9	1.9
		3.0			-125.4	1.4
加入者局 (offset 5m)	41.1	0.6	20	-126.8	-112.6	14.2
		3.0			-115.2	11.6
	31	0.6			-112.2	14.6
		3.0			-113.7	13.1

(参考) offsetを変更した場合

検討モデル	アンテナ利得 [dBi]	降雨減衰 [dB/km]	車両間隔 [m]	許容干渉レベル [dBm/MHz]	干渉レベル [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]
基地局 (offset 10m)	6.5	0.6	20	-126.8	-124.8	2.0
		3.0			-125.3	1.5
加入者局 (offset 10m)	41.1	0.6	20	-126.8	-114.6	12.2
		3.0			-117.8	9.0
	31	0.6			-114.5	12.3
		3.0			-116.4	10.4

計算結果 (無線エントランス)

【Single Entry】

検討モデル	アンテナ利得 [dBi]	降雨減衰 [dB/km]	許容干渉レベル [dBm/MHz]	干渉レベル(最悪値) [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]
Model A	46.0	0.6	-125.8	-129.8	-4.0
		3.0		-137.0	-11.2
Model B	40.0	0.6	-125.8	-132.3	-6.5
		3.0		-133.7	-7.9
Model C	40.1	0.6	-125.3	-135.2	-9.9
		3.0		-138.9	-13.6
Model D	34.9	0.6	-125.3	-134.3	-9.0
		3.0		-137.1	-11.8

計算結果（無線エントランス）

【Aggregate】

検討モデル	アンテナ利得 [dBi]	降雨減衰 [dB/km]	車両間隔 [m]	許容干渉レベル [dBm/MHz]	干渉レベル [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]
Model A	46.0	0.6	20	-125.8	-115.1	10.7
		3.0			-120.4	5.4
Model B	40.0	0.6	20	-125.8	-115.5	10.3
		3.0			-118.7	7.1
Model C	40.1	0.6	20	-125.3	-116.7	8.6
		3.0			-120.9	4.4
Model D	34.9	0.6	20	-125.3	-115.3	10.0
		3.0			-118.7	6.6

平成20年12月19日：第8回UWBレーダ作業班 参考資料4

UWBレーダ干渉検討に関する提案 (案)

2008年11月07日

日本電信電話株式会社
株式会社NTTドコモ

長期運用に向けた提案

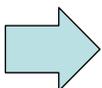
2

次頁の検討をまとめると、下記の青枠の条件で、SRRの自動車搭載率を40%とした長期案にて妥協することが可能と考えます

- ・ 干渉検討モデルでのシールドイングによる干渉緩和が 3.5dB 程度見込めるという技術的確認が取れること
- ・ 干渉緩和要素(Activity Factor 3dB、Polarization Loss 3dB) についての技術的確認が取れること

制度化にあたって

- ・ SRRは道路交通法第3条に規定される自動車の内、大型自動車、中型自動車、普通自動車への搭載のみ
- ・ SRRの地上高(0.5m以下)
- ・ バンパー内部への設置(SRRを剥き出しで運用しない)
- ・ 駐車および停車時の電波の放射停止
- ・ 干渉軽減対策機能の動作担保



SRRの自動車搭載率を40%とした長期案にて共用可能

最終結論に向けたフェーズ分類		未解決事項	FS側の提案	干渉緩和量 (dB)	
				Aggregate	Single Entry
1	基本方針の確認	なし	なし	-	
2	計算モデルの検討	計算モデルが未合意 (Car Shielding の計算方法, Off-Axis Angle の計算方法, 自由空間損失の計算方法, 他)	・ FSアンテナチルト角の Offset angle への見込み方 推進側の近似式では許容できない誤差を生じるので、NTT/DOCOMO側のプログラムを使用した (FSアンテナの up-tiltを0deg とすることで合意がとれれば、計算結果の差異を解消可能)	-	
			・ 上記以外の角度・位置に関する推進側の計算誤り NTT/DOCOMOの方が厳密な計算を実施しているが、計算結果として差が小さいので、推進側の計算手法を受け入れてもよい (SRR設置位置、レーダ伝搬路の起点)	0.2	
			・ 自由空間損失計算における近似 推進側に根拠をご説明頂き、妥当であれば推進側の計算手法を取り入れる	0.5	
4	干渉緩和要素の検討	・ Activity Factor ・ Polarization Loss ・ Spray Loss ・ Clutter loss	被干渉側の計算：FSアンテナへの見通し角と遮蔽角の差から遮蔽損失量を車両毎に導出 (ITU-Rに準拠) 推進側：2列目以降の車両は一律22dBの遮蔽損失を付与等 推進側の計算手法、または被干渉側の提示値以上の干渉緩和量の実現手法について、技術的確認ができる根拠をご説明頂き、妥当であれば干渉計算に取り入れる	α	-
			・ Activity Factor 干渉緩和技術の詳細内容をご説明頂き、妥当であれば干渉計算に取り入れる (疑問点を別紙に記載)	3 Ad-hoc会合第4回資料より	
			干渉緩和要素があればご説明頂き、妥当であれば干渉計算に取り入れる	β	
5	その他の懸念に関する検討	・ FS伝搬路が道路を交差、他	干渉要素としての懸念はあるが、モデルの対象外とし議論しない	-	
干渉緩和量 合計 [dB]				8.7 + α + β	4.2 + β ^{(*)1}
所要減衰量 [dB] (SRR普及率40%)				12.1	7.7

青枠は、推進側より納得できる根拠の提示があれば受け入れる項目 (推進側より作業班に資料をご提示頂く)
 (*1) シングルエントリーについては発生頻度が低いため、 $\beta=0$ dBであっても許容可能と考える

(別紙) Activity Factor および Polarization Loss に関する疑問点

① Activity Factor 3dB の根拠について

- (1) SRR switched modeの動作条件およびその仕組み等
- (2) Reduced PRF mode の動作条件およびその仕組み等
- (3) Non-UWB mode の意味と動作条件およびその仕組み等
- (4) SRRのパルス幅、瞬時電力、パルス間隔
- (5) 特にアグリゲーションモデルで20m間隔で車両が直線道路を走行時にどの程度の干渉緩和要素となるか

② Polarization Loss の 3dBの根拠について

(1) 具体的な実現方法

(偏波の異なるレーダを均等に出荷、1台の車両に偏波の異なるレーダを対として搭載、偏波が一定時間毎に変化、等)

(2) SRRアンテナの交差偏波特性

(特にFSへの仰角方向における交差偏波識別度)



24GHz/26GHz UWB Short Range Radar Systems

Position paper on Japanese Fixed Service Study

Dr. Gerhard Rollmann, Chairman of SARA
Takashi Ohta, Daimler Japan
December 19th, 2008

FS Impact analysis study in Japan

NTT / NTT Docomo simulation aggregated scenario

FWA (26GHz)

Focus on this part

Review Model	Antenna gain [dBi]	Rain attenuation [dB/km]	Car separation [m]	Allowed interference level [dBm/MHz]	Interference level [dBm/MHz]	Required improvement [dB]
Base Station (offset 0m)	6.5	0.6	20	-126.8	-124.9	1.9
		5.0			-125.8	1.0
Subscriber-station (offset 5m)	41.1	0.6	20	-126.8	-112.0	14.8
		3.0			-114.3	11.6
	31	0.6			-110.7	16.1
		5.0			-112.9	13.9

Wireless Entrance (23GHz)

Review Model	Antenna gain [dBi]	Rain attenuation [dB/km]	Car separation [m]	Allowed interference level [dBm/MHz]	Interference level [dBm/MHz]	Required improvement [dB]
Model A	46.0	0.6	20	-125.8	-115.1	10.7
		4.2			-122.8	3.0
Model B	40.0	0.6	20	-125.3	-115.5	10.3
		4.2			-120.0	5.8
Model C	40.1	0.6	20	-125.3	-116.7	8.6
		4.2			-122.7	2.6
Model D	34.9	0.6	20	-125.3	-115.3	10.0
		4.2			-120.2	5.1

below 24 GHz, no problem at all due to limited usage

For FWA Subscriber Station – aggregation (100% penetration, Car separation: 20m)

Parameter	ITU-R Report (FS P-P)		FWA Subscriber Station for Japan		
	Case 1	Case 2	FS operator	SARA	Compromise
Frequency	23 GHz	23GHz	26GHz	26GHz	26GHz
FS antenna gain	41.1 dBi	41.1 dBi	31 dBi	41.1 dBi	31 dBi
FS antenna height	10 m	18 m	5 m	5 m	5 m
FS antenna tilt	0 deg	0 deg	0.9 deg UP	0.9 deg UP	0.9 deg UP
FS antenna offset	10 m	20 m	5 m	10 m	10 m
SRR position	vehicle corner	0.2m inside	vehicle corner	0.2m inside	vehicle corner
Rain attenuation	0.6 dB/km	3.0 dB/km	0.6 dB/km	12.7 dB/km*1	5.0 dB/km*2
Activity factor	0 dB	3 dB	0 dB	3 dB	0 to 3 dB*3
Clutter loss	0 dB	7 dB	0 dB	7 dB	0 to 7 dB*3
Polarization loss	0 dB	3 dB	0 dB	3 dB	3 dB*3
Spray loss	0 dB	2 dB	0 dB	2 dB	0 to 2 dB*3
Simulation Model	ITU-R Model	ITU-R Model	NTT model	ITU-R Model	-4.7 to 0 dB*3
SRR interference	-109.5 dBm/MHz	-137 dBm/MHz	-110.7 dBm/MHz	-142.4 dBm/MHz	-115.9 to -132.6 dBm/MHz
Threshold limit	-128 dBm/MHz		-126.8 dBm/MHz		
Margin	-18.5 dB	+9 dB	-16.1 dB	+15.6 dB	-10.9 to +5.8 dB

*1) 99mm/h: Rainfall rate for Tokyo in AIRB

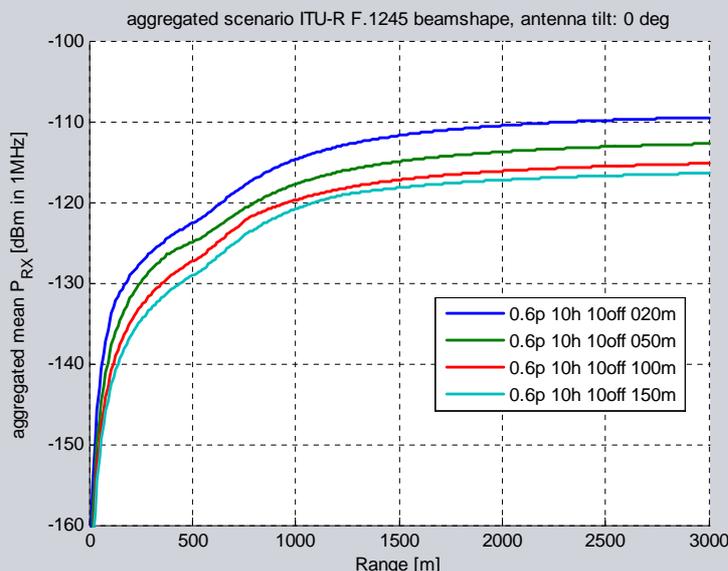
*2) 37mm/h: Rainfall rate for Sapporo in ITU-R

*3) To be discussed at the review (e.g. 2018): Please see page 18

FS Impact analysis study in Japan
Cross-check (recreate ITU report graph with ITU-R model)

ITU-R Case1, fig. 68 – (simulated with ITU-R model)

(Number of SRR: 2, Bumper loss: 3dB, Number of Lanes: 4)



FS antenna parameter:

Antenna gain: 41.1 dBi
Rain attenuation: 0.6dB/km
Antenna height: 10m
Road offset: 10m
Antenna uptilt: 0 deg
Frequency: 23 GHz

SRR parameter:

SRR in vehicle corner
Car separation: 20m
SRR height: 0.5m
Vehicle height: 1.5m
Vehicle length: 5 m

ITU-REP-SM.2057 (Attachment 2, Fig. 68) -109.5 dBm/MHz
ITU-R model (French side shielding): -109.5 dBm/MHz

➔ 0 dB difference

FS Impact analysis study in Japan

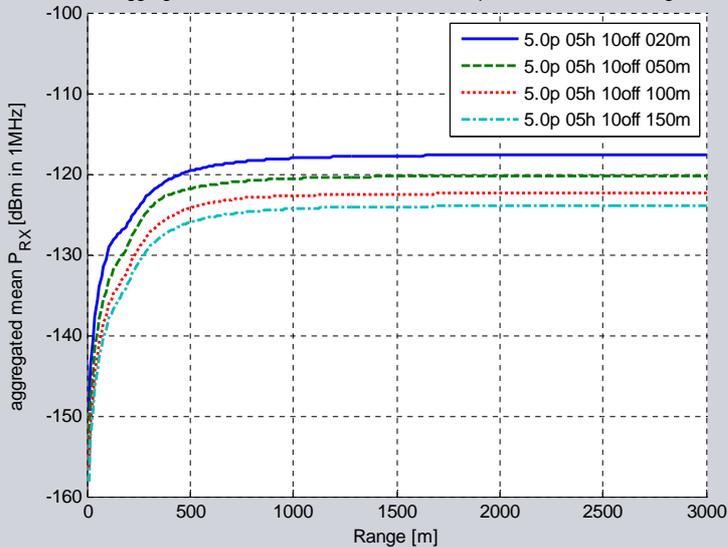
Compromise (37mm/h without mitigation factor)



FWA Subscriber Station – aggregation

(Number of SRR: 2, Bumper loss: 3dB, Number of Lanes: 4)

aggregated scenario ITU-R F.1245 beamshape, antenna tilt: 0.9 deg



Interference threshold (I/N = -20dB)
ITU-R model (French side shielding):

-126.8 dBm/MHz
-117.6 dBm/MHz

➔ -9.2 dB

FS antenna parameter:

Antenna gain: **31 dBi**
Rain attenuation: **5.0 dB/km**
Antenna height: **5 m**
Road offset: **10 m**
Antenna tilt: **0.9 deg UP**
Center freq.: **26 GHz**

SRR parameter:

SRR in vehicle corner
Car separation: **20 m**
SRR height: **0.5 m**
Vehicle height: **1.5 m**
Vehicle length: **5 m**

FS Impact analysis study in Japan

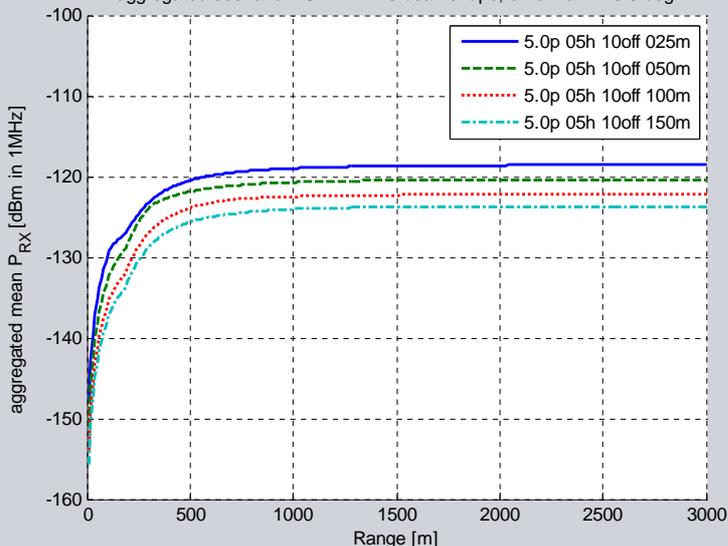
Simulation result (37mm/h with large vehicle assumption)



FWA Subscriber Station – aggregation

(Number of SRR: 2, Bumper loss: 3dB, Number of Lanes: 4)

aggregated scenario ITU-R F.1245 beamshape, antenna tilt: 0.9 deg



Interference threshold (I/N = -20dB)
ITU-R model (French side shielding):

-126.8 dBm/MHz
-118.6 dBm/MHz

➔ -8.2 dB

FS antenna parameter:

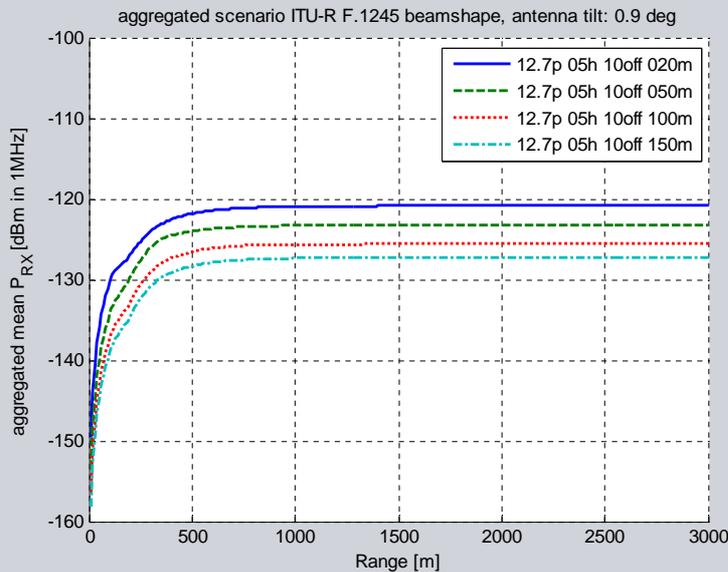
Antenna gain: **31 dBi**
Rain attenuation: **5.0 dB/km**
Antenna height: **5 m**
Road offset: **10 m**
Antenna tilt: **0.9 deg UP**
Center freq.: **26 GHz**

SRR parameter:

SRR in vehicle corner
Car separation: **25 m**
SRR height: **1.5 m**
Vehicle height: **4.0 m**
Vehicle length: **10 m**

FWA Subscriber Station – aggregation

(Number of SRR: 2, Bumper loss: 3dB, Number of Lanes: 4)



FS antenna parameter:

Antenna gain: **31 dBi**
 Rain attenuation: **12.7 dB/km**
 Antenna height: **5 m**
 Road offset: **10 m**
 Antenna tilt: **0.9 deg UP**
 Center freq.: **26 GHz**

SRR parameter:

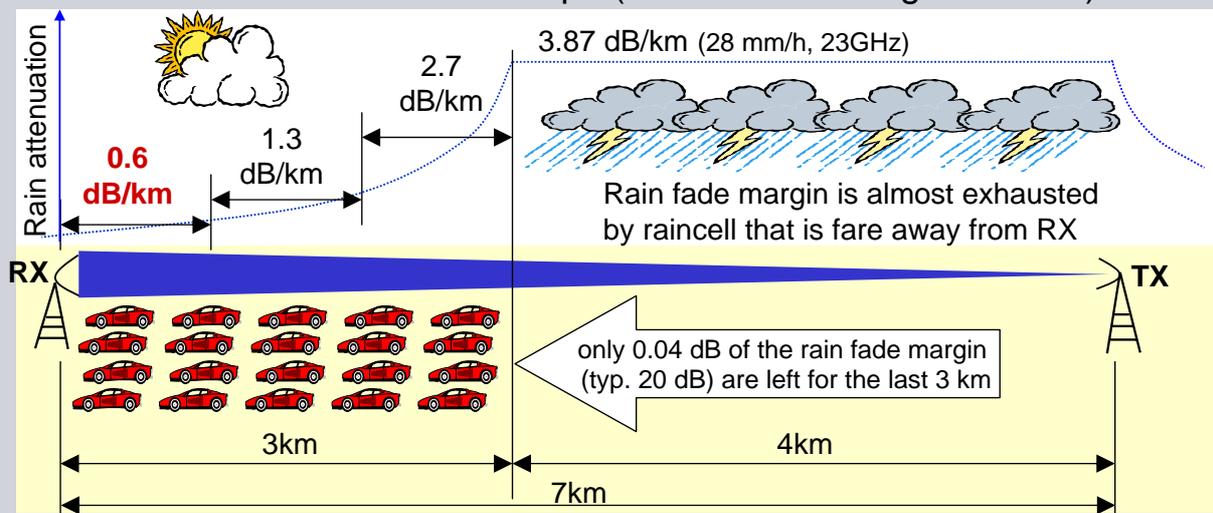
SRR in vehicle corner
 Car separation: **20 m**
 SRR height: **0.5 m**
 Vehicle height: **1.5 m**
 Vehicle length: **5 m**

Interference threshold (I/N = -20dB)
ITU-R model (French side shielding):

-126.8 dBm/MHz
-120.9 dBm/MHz

➔ - 5.9 dB

23GHz band FS P-P link in Europe (min. 7km link length needed)



If the rainfall area covers more than 4km of the FS link (or rainfall rate increases by 0.06 mm/h more), the FS link will be **unavailable** due to **lack of rain fade margin**, independent of SRR interference or not.

This is neither realistic regarding scenario nor probability !!!

Vertical shielding model

$$L_S = 0 \quad \text{for } \alpha - \alpha_R < -2$$

$$L_S = 2.2 * (\alpha - \alpha_R) + 4.4 \quad \text{for } -2 < (\alpha - \alpha_R) < 8$$

$$L_S = 22 \quad \text{for } (\alpha - \alpha_R) > 8.$$

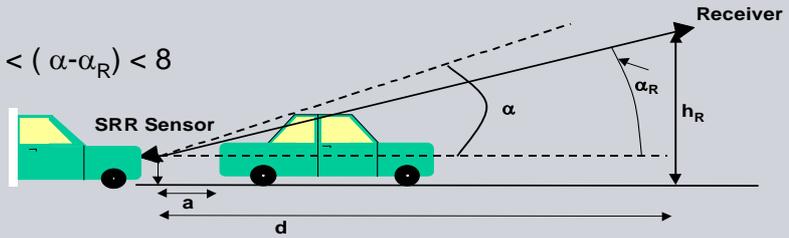


FIGURE 59 Sketch of a NLOS-connection between SRR and receiver

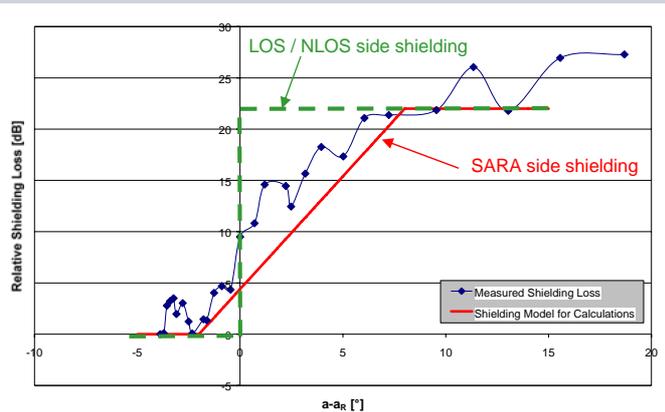
Side shielding model

• **France model** (ITU-R Case1):

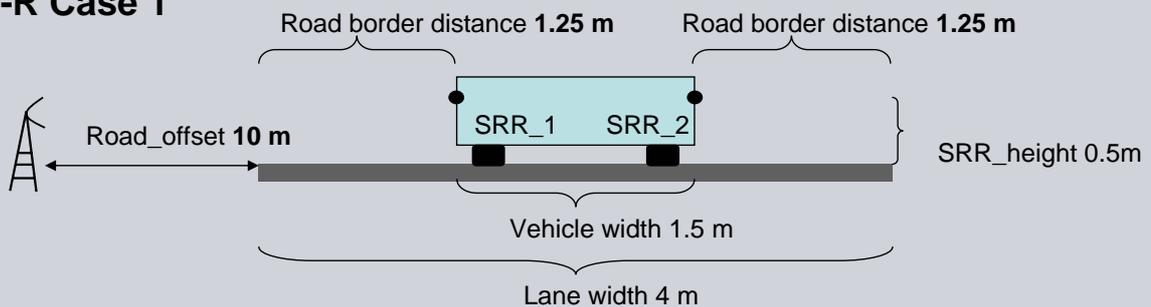
For 1st lane:
LOS (line of sight) and
Non-LOS assumption
From 2nd lane: $L_{side} = 22$

• **SARA model** (ITU-R Case2):

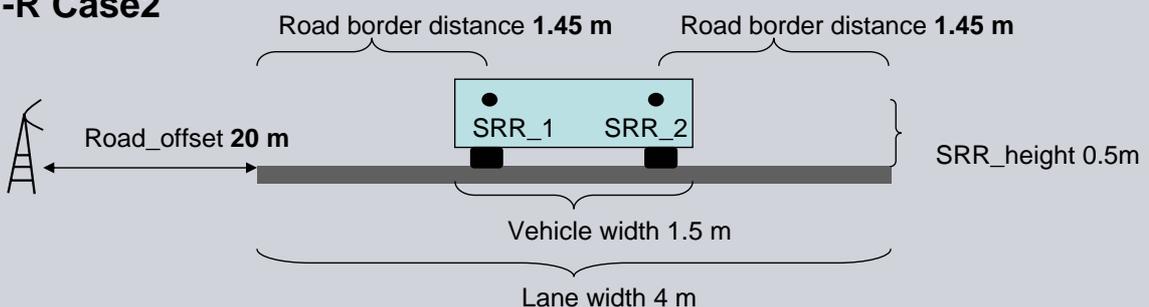
For 1st lane:
Same shielding characteristic
as for vertical shielding
From 2nd lane: $L_{side} = 22$



ITU-R Case 1



ITU-R Case2

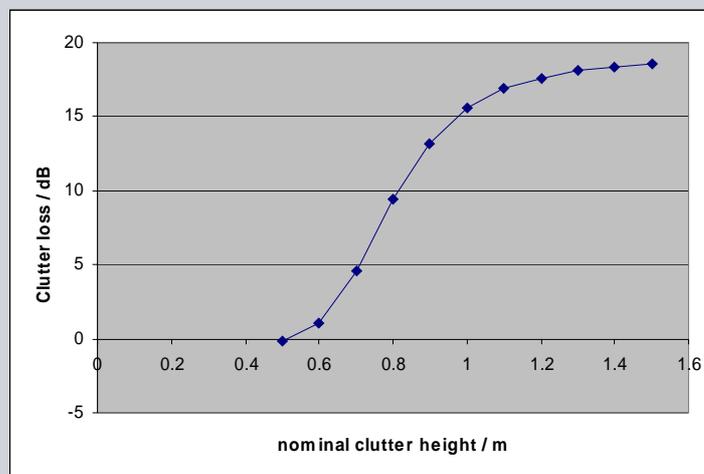


Calculation of estimated activity factor for all modes of operation

Driving situations	Modes of operation				Activity factors from all modes of operation ⁽⁴⁾	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 ⁽¹⁾ in per cent of driving time (activity factor No. 1)	Time full PRF ⁽²⁾ in per cent of driving time	Activity factor from this mode ⁽³⁾ (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

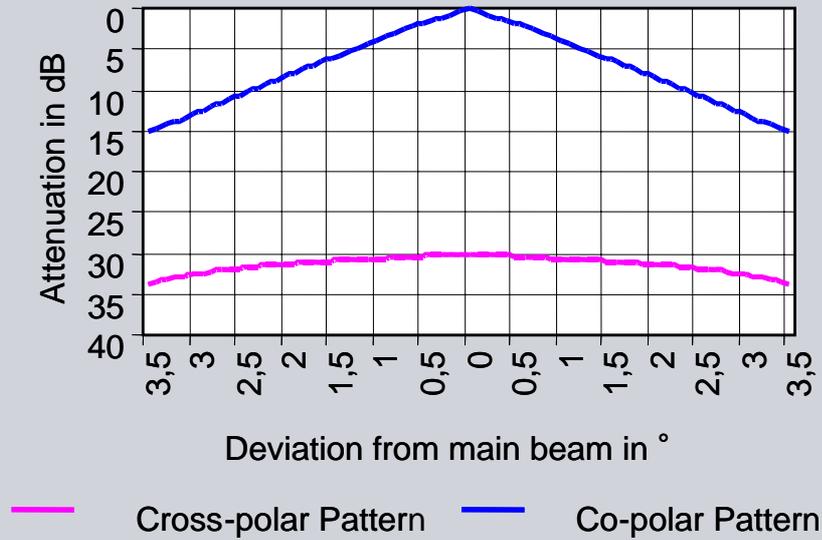
Activity factor was already agreed in ITU-R 3.0 dB

FS link non-freespace propagation - clutter loss according ITU-R P.452-10 - chapter 4.6



Nobody can find a place in a residential area with buildings and infrastructure where FWA is used that has no clutter loss at all ! 7.0 dB

Co and Cross polar pattern of a dish antenna in main beam range



3.0dB polarization loss has to be considered at least for the aggregated scenario !



3.0 dB

Typical rain fall case



SRR interference risk to FS link is only possible under worst rain fall conditions (outage almost reached).

Other weather situations (sunny, cloudy, small rain) are no problem at all

Therefore spray loss has to be considered !



2.0 dB

FS Impact analysis study in Japan

Rain attenuation for Japan (1)

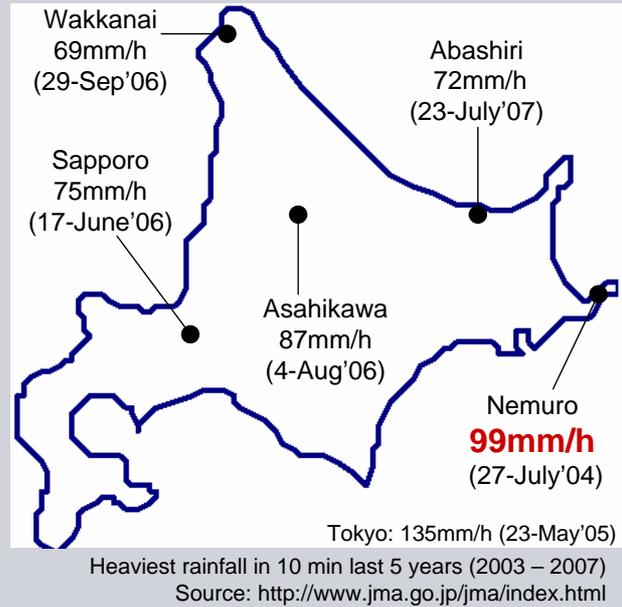
Hokkaido is the area with least rainfall in Japan

Rain attenuation γ_R dB/km		
99mm/h Japan		
Freq.	H	V
23GHz	14.1	10.7
26GHz	16.2	12.7
28mm/h Europe		
Freq.	H	V
23GHz	3.87	3.18
26GHz	4.64	3.85

γ_R is defined in ITU-R P.838 by:

$$\gamma_R = kR^\alpha$$

with: k, α frequency-dependent parameters
 R rainfall rate in mm/h



Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
23	0.1286	1.0214	0.1284	0.9630
26	0.1724	0.9884	0.1669	0.9421

Remark: H = horizontal polarization V = vertical polarization

FS Impact analysis study in Japan

Rain attenuation for Japan (2)

FWA unavailable time caused by rainfall (min/year) (targeted less than 2 min/year)						
Rain attenuation in dB/km		0.6	3.0	4.0	8.0	12.0
Rainfall rate in mm/h (V-polar, 26GHz)		3.9	21.5	29.1	60.8	93.5
Major 5 cities in Hokkaido	Wakkanai	1992	130	90	4	0
	Abashiri	1410	84	26	2	0
	Asahikawa	1862	106	52	6	0
	Sapporo	2276	62	30	2	0
	Nemuro	1702	118	36	8	2
Average of 5 cities		1848	100	47	4.4	0.4
Tokyo		3066	332	216	44	14

Rainfall rate R is calculated by:

$$R = \left(\frac{1}{k} \gamma_R \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

with: k, α frequency-dependent parameters
 γ_R rain attenuation in dB/km

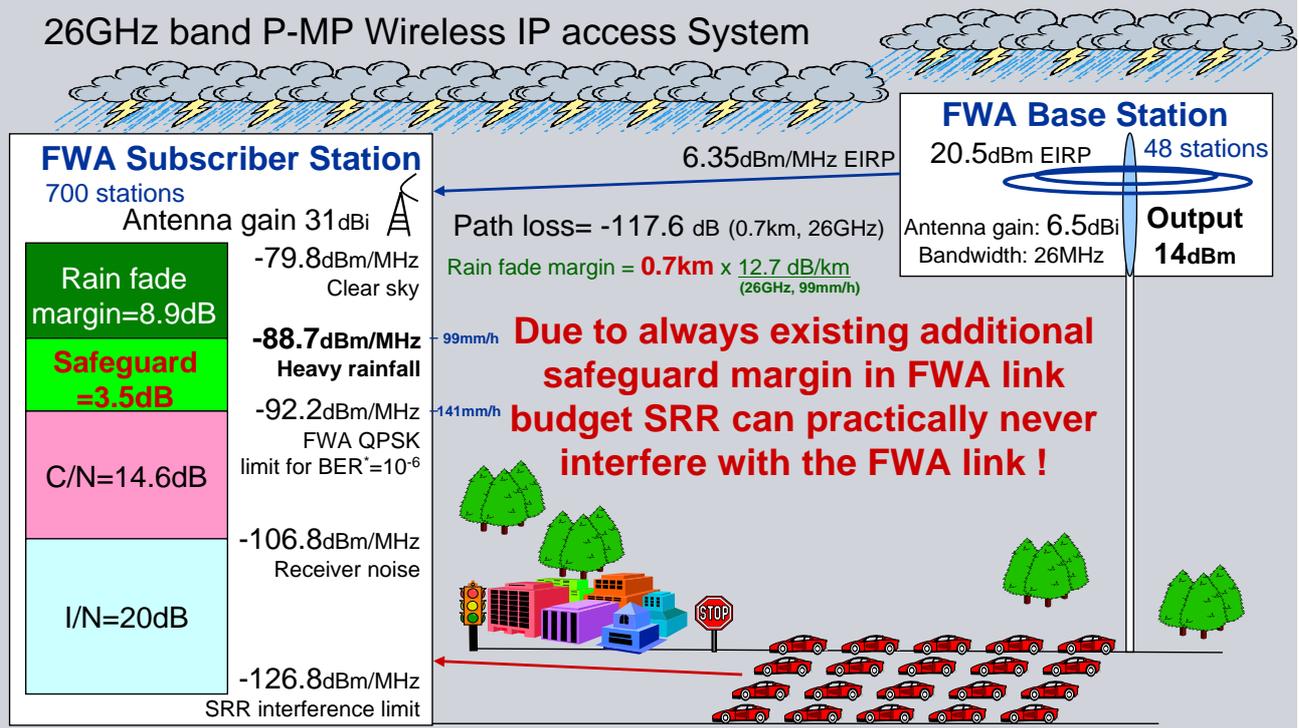
Rainfall data last 5 years (2003 - 2007)
 Source: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

These rain attenuations are not applicable even for Hokkaido in Japan!!!

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
23	0.1286	1.0214	0.1284	0.9630
26	0.1724	0.9884	0.1669	0.9421

Remark: H = horizontal polarization V = vertical polarization

26GHz band P-MP Wireless IP access System



1. **Situation:** to be checked

- UWB radar penetration in the world (including Japan)
- ITU-R understanding (additional assumption, real data, etc.)
- Minimum rainfall rate for the actually existing FWA in Japan to be provided by FS operator (37mm/h or more)

2. **Mitigation factor:** to be discussed again and verified

- Deeper insight regarding models for propagation and attenuation
- Experiment with FS operators is also a possible option

3. **Mitigation measure:** to be considered further (if necessary)

- Shifting to 79GHz band, depending on practical situation
- Mitigation techniques to be installed, but function only under the critical conditions (e.g. heavy rain)

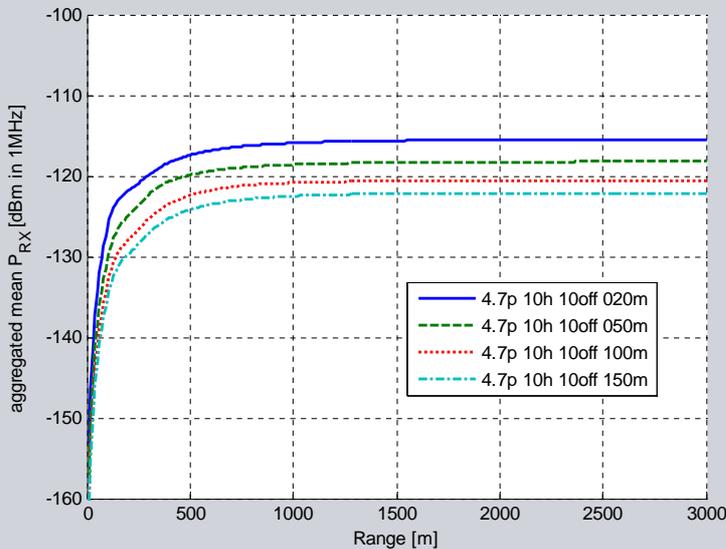
FS Impact analysis study in Japan

Simulation result (37mm/h without mitigation factor)



Wireless Access 25GHz – aggregation

(Number of SRR: 2, Bumper loss: 3dB, Number of Lanes: 4)



Interference threshold (I/N = -20dB): **-126.8 dBm/MHz**
 Simulation results (ITU-R model): **-115.5 dBm/MHz**

FS antenna parameter:
 Antenna gain: **31.5 dBi**
 Rain attenuation: **4.7 dB/km**
 Antenna height: 10 m
 Road offset: 10 m
 Antenna uptilt: 0 deg
 Center freq.: **25 GHz**

SRR parameter:
 SRR in vehicle corner
 Car separation: 20 m
 SRR height: 0.5 m
 Vehicle height: 1.5 m
 Vehicle length: 5 m

➔ - 11.3 dB

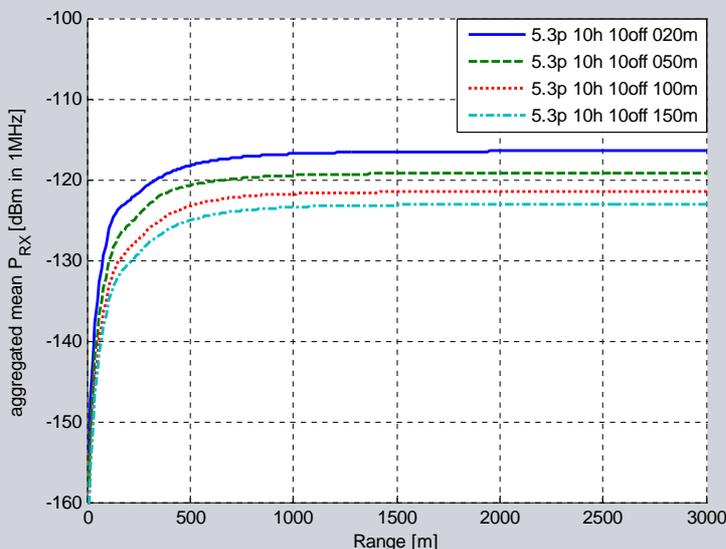
FS Impact analysis study in Japan

Simulation result (37mm/h without mitigation factor)



Wireless Access 27GHz – aggregation

(Number of SRR: 2, Bumper loss: 3dB, Number of Lanes: 4)



Interference threshold (I/N = -20dB): **-126.8 dBm/MHz**
 Simulation results (ITU-R model): **-116.4 dBm/MHz**

FS antenna parameter:
 Antenna gain: **31.5 dBi**
 Rain attenuation: **5.3 dB/km**
 Antenna height: 10 m
 Road offset: 10 m
 Antenna uptilt: 0 deg
 Center freq.: **27 GHz**

SRR parameter:
 SRR in vehicle corner
 Car separation: 20 m
 SRR height: 0.5 m
 Vehicle height: 1.5 m
 Vehicle length: 5 m

➔ - 10.4 dB

加入者系無線アクセスシステム／携帯電話エントランス回線

1. 干渉計算

(1) 干渉検討の前提条件

<固定局>

	FWA*1		携帯電話エントランス回線			
	基地局	加入者局	Model A	Model B	Model C	Model D
周波数	26GHz		23GHz			
アンテナ利得	6.5dBi	31dBi	46dBi	40dBi	40.1dBi	34.9dBi
アンテナ高	16m	5m	50m	20m	40m	
オフセット*2	0m	5m, 10m	0m			
干渉許容値*3	-126.8dBm/MHz		-125.8dBm/MHz		-125.3dBm/MHz	

*1 加入者系無線アクセスシステム

*2 道路からの水平距離

*3 1/N=-20dB

<UWBレーダ>

EIRP	-41.3dBm/MHz	設置高	0.5m
レーダ数*4	4 SRR/car	車両間隔	20m
干渉集積距離	3km	バンパー損失	3.0dB
降雨減衰*5	5.0dB/km (26GHz)	4.2dB/km (23GHz)	
普及率	40%(長期案)	1%(暫定案)	

*4 計算には車両前部 2 SRR を考慮

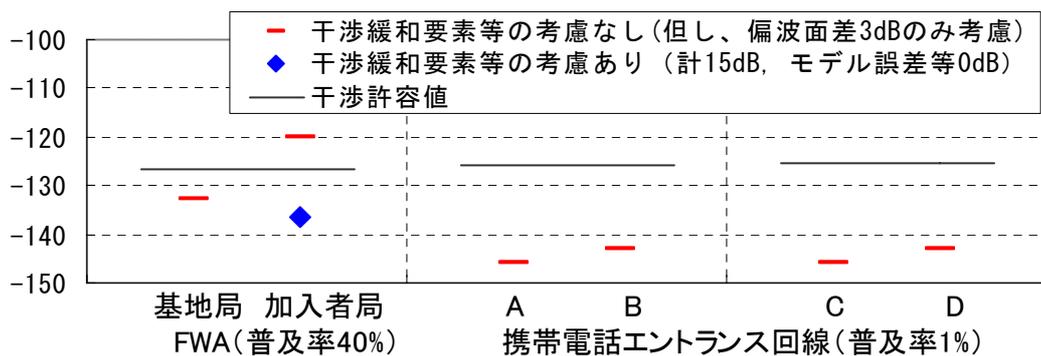
*5 日本の最悪値として札幌の降雨量 37mm/h より算出

<干渉緩和要素等(FWA加入局)>

レーダ稼働率	0~ 3.0dB	ITU-RSM.1755 より (暫定値)
偏波面差*6	3.0dB	50%水平偏波、50%垂直偏波 (暫定値)
拡散損失	0~ 7.0dB	ガードレール、電柱、樹木などによる減衰
路上スプレー減衰	0~ 2.0dB	前方車両の後輪が巻き上げる水しぶきによる減衰
モデル誤差等	-4.7~ 0.0dB	遮蔽モデル、チルト角近似誤差、オフセットの差異等
合計	-1.7~15.0dB	

*6 水平偏波または垂直偏波のどちらかに若干偏る懸念があるため将来普及が進んだ段階で状況確認要

(2) 複数台レーダによる干渉検討結果 (ITU-Rシミュレーションモデルを使用)



<マージン最悪値> FWA加入者局：-6.9dB (許容普及率8.1%に相当)

携帯エントランス回線B：+17.2dB

2. 結論

普及率 7%を越える前*7 に干渉緩和対策*8 の実施が必要との認識で合意

*7 前回作業班提示の普及予測より、普及率が 7%を越えると予測される 2025 年から 3 年余裕をみた 2022 年とする。但し、普及が急速に進んだ場合は必要に応じて前倒しする。

*8 具体的な対策方法は現時点で未知であるため、事前に対策方法を確定する必要がある。(2018 年目処)

電波天文業務との共用検討について

UWBレーダシステムと電波天文業務との共用検討を以下のとおり行った。

1. 準ミリ波帯の電波天文業務

電波天文観測には、表1-1に示すようにスペクトル線観測（ナローバンド）と連続波観測（ブロードバンド）の2つのモードが存在する。電波天文業務を保護する場合、両モードの保護基準を同時に満たす必要がある。

表1-1 準ミリ波周波数帯の電波天文業務周波数及び干渉しきい値

周波数	スペクトル線観測		連続波観測	
	22.2 GHz	23.7 GHz	22.355 GHz	23.8 GHz
帯域幅	250 kHz	250 kHz	290 MHz	400 MHz
干渉しきい値	210 dBW	210 dBW	195 dBW	195 dBW
	-174 dBm/MHz	-174 dBm/MHz	-189.6 dBm/MHz	-191 dBm/MHz

(Rec. ITU-R RA 769-2より)

日本国内では、表1-2に示す12箇所の天文台で準ミリ波帯の電波天文観測を行っている。

表1-2 干渉検討の必要な日本国内の電波天文台

天文台	都道府県	北緯**	東経**	標高	アンテナ		
					直径	最高点***	
1*	野辺山	長野	35° 56' 40"	138° 28' 21"	1349 m	45 m	1396 m
2*	水沢	岩手	39° 08' 01"	141° 07' 57"	63 m	20 m	85 m
3*	入来	鹿児島	31° 44' 52"	130° 26' 24"	529 m	20 m	551 m
4*	小笠原	東京	27° 05' 31"	142° 13' 00"	211 m	20 m	233 m
5*	石垣島	沖縄	24° 24' 44"	124° 10' 16"	26 m	20 m	48 m
6	鹿島	茨城	35° 57' 21"	140° 39' 36"	27 m	34 m	61 m
7*	苫小牧	北海道	42° 40' 25"	141° 35' 48"	54 m	11 m	68 m
8	岐阜大学	岐阜	35° 28' 03"	136° 44' 14"	14 m	11 m	29 m
9*	鹿児島大学	鹿児島	31° 27' 51"	130° 30' 25"	58 m	6 m	65 m
10	国土地理院	茨城	36° 06' 11"	140° 05' 20"	27 m	32 m	62 m
11	臼田	長野	36° 07' 57"	138° 21' 46"	1456 m	64 m	1521 m
12	山口大学	山口	34° 12' 58"	131° 33' 26"	110 m	32 m	149 m

* 電波法第56条第1項の規定に基づく総務省告示に掲載

** 世界測地系：WGS84

*** 最小仰角時のパラボラの上端の標高

2. 干渉の基本検討

本章では、電波伝搬の基本式を用いてUWBレーダシステムの干渉電力を検討する。

(1) 単体レーダによる干渉検討

自由空間伝搬損失の基本式を以下に示す。

$$L = 10 \times \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2-1)$$

L : 損失 (dB)

d : 距離 (m)

λ : 波長 (m)

表2-1に単体レーダによる干渉検討の結果を示す。

表2-1 単体レーダによる干渉検討

	スペクトル線観測		連続波観測	
	周波数	22.2 GHz	23.7 GHz	22.355 GHz
波長	0.0135 m	0.0127 m	0.0134 m	0.0126 m
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-174 dBm/MHz	-189.6 dBm/MHz	-191 dBm/MHz
UWB レーダ EIRP	-41.3 dBm/MHz			
必要な離隔 (自由空間伝搬のみ)	132.7 dB	132.7 dB	148.3 dB	149.7 dB
	4.6 km	4.3 km	27.8 km	30.6 km
干渉緩和 要素	レーダ稼働率	3.0 dB		
	バンパー損失	3.0 dB		
	拡散損失	7.0 dB		
必要な離隔 (干渉緩和要素を加味)	119.7 dB	119.7 dB	135.3 dB	136.7 dB
	1.03 km	970 m	6.23 km	6.86 km

(2) 複数レーダによる干渉検討

図2-1に示すように、同一距離の微小リング内のレーダ数を以下の式で表すと、

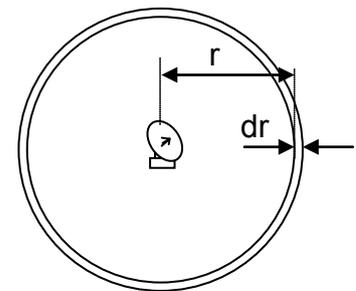
$$\rho \times 2\pi r \times 10^{-6} \times dr \quad SRR$$

ρ : レーダ密度 (SRR/km²)

このリング内のレーダからの中心に到達する集合干渉電力は、以下の式で示される。

$$EIRP_{SRR} \times \rho \times 2\pi r \times 10^{-6} \times dr \times \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad mW / MHz$$

図2-1 同一距離の微小リング



上式を距離 R_1 から R_2 まで積分すると距離 R_1 から R_2 まで範囲の集合干渉電力が得られる。

$$EIRP_{sum} = \rho \times EIRP_{SRR} \times \frac{\lambda^2 \times 10^{-6}}{8\pi} \times \ln \left| \frac{R_2}{R_1} \right| \quad mW / MHz \quad (2-2)$$

$\rho = 40$ (SRR/km²) (4 (SRR/car) \times 10 (cars/km²): 第4回UWBレーダ作業班 参考資料3より)、内側の半径 $R_1 = 30$ m、外側の半径 $R_2 = 500$ (km) とした場合の干渉検討結果を表2-2に示す。

表2-2 複数台レーダによる干渉検討

		スペクトル線観測		連続波観測	
周波数		22.2 GHz	23.7 GHz	23.355 GHz	23.8 GHz
干渉しきい値		-174 dBm/MHz	-174 dBm/MHz	-189.6 dBm/MHz	-191 dBm/MHz
UWB レーダ集合干渉電力 (自由空間)		-126.8 dBm/MHz	-127.4 dBm/MHz	-126.9 dBm/MHz	-127.4 dBm/MHz
必要な離隔		47.2 dB	46.6 dB	62.8 dB	63.6 dB
干渉緩和要素	レーダ稼働率	3.0 dB			
	バンパー損失	3.0 dB			
	拡散損失	7.0 dB			
	SRR アンテナ指向性	6.0 dB			
	普及率 1%	20.0 dB			
	合計	39.0 dB			
要求される離隔		8.2 dB	7.6 dB	23.8 dB	24.6 dB

3. 干渉の詳細検討

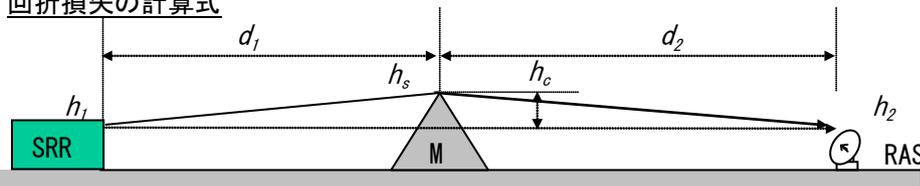
本章では、回折損失及び離隔エリアによる干渉電力の減少を詳細に検討する。

(1) 回折損失

図3-1に回折損失のモデルと計算式を示す。ここでは擬似送信高移動方式による二重回折までを計算に含め、三重以上の多重回折は省略することとする。

電波天文アンテナが受信するUWBレーダシステムの電力は、電波天文アンテナの大きさを考慮し、最高点及び中間点の高さの点の2点の回折損失を面積比に応じて重み付け平均した値とする。

回折損失の計算式



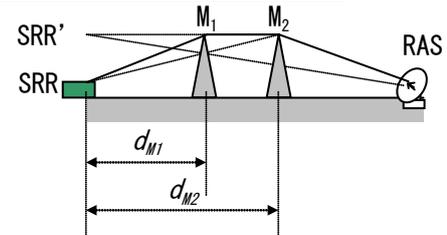
$$L_d = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \text{ dB}$$

$$v = -h_c \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

$$h_c = \frac{h_1 d_2 + h_2 d_1}{d_1 + d_2} - \frac{d_1 d_2}{2Ka} - h_s$$

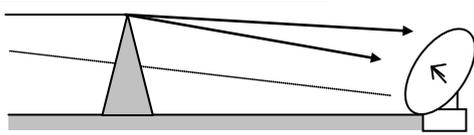
$Ka = 8500$ (km) 大気の屈折を考慮した等価地球半径

多重回折 (擬似送信高移動方式)



$$h_{SRR'} = \frac{h_{M1} d_{M2} - h_{M2} d_{M1}}{d_{M2} - d_{M1}} + \frac{d_{M1} d_{M2}}{2Ka}$$

電波天文アンテナが受信する電力



$$L_d = 10 \times \log \left(0.196 \times 10^{-L_{d_Top}/10} + 0.804 \times 10^{-L_{d_1/2h}/10} \right)$$

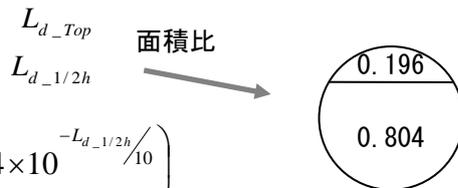


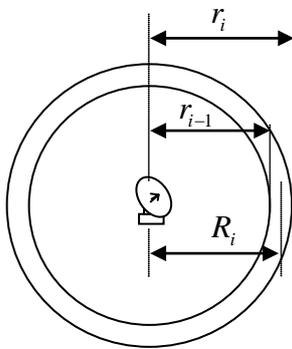
図3-1 回折損失モデル

(2) 検討モデルの定義

ここでは、図3-2に示すように集合電力を離散的に算出して積算する方法を仮定する。

- ・ このリング内からの集合干渉電力を1台のレーダからの干渉電力で換算した場合の半径をリングの代表点 R_i とする。
- ・ 回折損失の計算は、全域で等しい標高の一般モデルを仮定する。
- ・ 見通し限界よりも内側では1回の回折、見通し限界の外側では2回の回折を計算する。

集合干渉電力の離散的な積算モデル



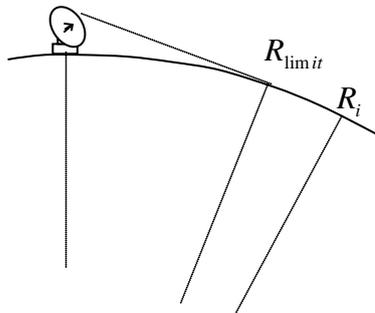
r_i : リングの外側の半径
 r_{i-1} : リングの内側の半径
 R_i : リングの代表点の半径

$$R_i = \sqrt{\frac{r_i^2 - r_{i-1}^2}{2 \times \ln \left| \frac{r_i}{r_{i-1}} \right|}}$$

刻み幅の定義

範囲	刻み幅
$r_i \leq 35km$	1km
$35km < r_i \leq 50km$	5km
$50km < r_i \leq 100km$	10km
$100km < r_i \leq 500km$	100km

回折損失の一般モデル (全域において標高 30m と仮定)



R_{limit} : 電波天文アンテナ最高点への見通し限界
 R_i : リングの代表点の半径

回折点の定義

範囲	回折点	
	No. 1	No. 2
$R_i \leq R_{limit}$	R_{i-2}	なし
$R_{limit} < R_i \leq 500km$	R_{limit}	R_{i-1}

図3-2 集合干渉電力の積算と回折損失の一般モデル

(3) 単体レーダによる干渉電力の計算

表2-2の干渉緩和要素のみを考慮した電力と更に回折損失を考慮した電力を比較した結果を図3-3に示す。数km以上離れると干渉いきい値を下回ることが分かる。

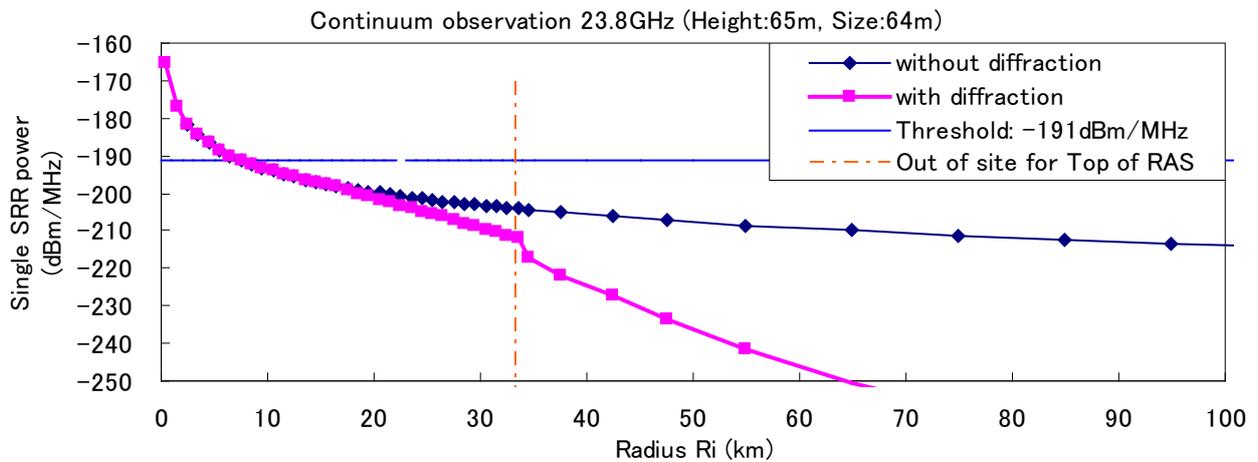


図3-3 単体レーダによる干渉電力、回折損失有無の比較 (電波天文アンテナの高さと直径は臼田の数値)

(4) 複数レーダによる集合干渉電力の計算

上述の単体レーダの電力において考慮すべき干渉緩和要素 L とすると、単体レーダの電力に各リングの面積とレーダ密度 ρ を乗じて積算することにより内側の半径 R_1 から外側の半径 R_2 までの範囲の集合電力を算出することができる。

$$EIRP_{sum} = \sum_{r_i=R_1}^{R_2} EIRP_{SRR} \times \left(\frac{\lambda}{4\pi R_i} \right)^2 \times 10^{-L/10} \times \rho \times \pi (r_i^2 - r_{i-1}^2) \quad (3-2)$$

式(3-2)において、 $\rho=40$ (SRR/km²) (4 (SRR/car) × 10 (cars/ km²))、外側の半径 $R_2=500$ (km) とし、内側の半径 R_1 を変化させた場合のUWBレーダシステム集合電力の変化を図3-4に示す。この一般モデルによる検討においては、離隔半径30kmから集合干渉電力が干渉しきい値より小さくなり、離隔半径35kmでは約9dBのマーヅンとなる。

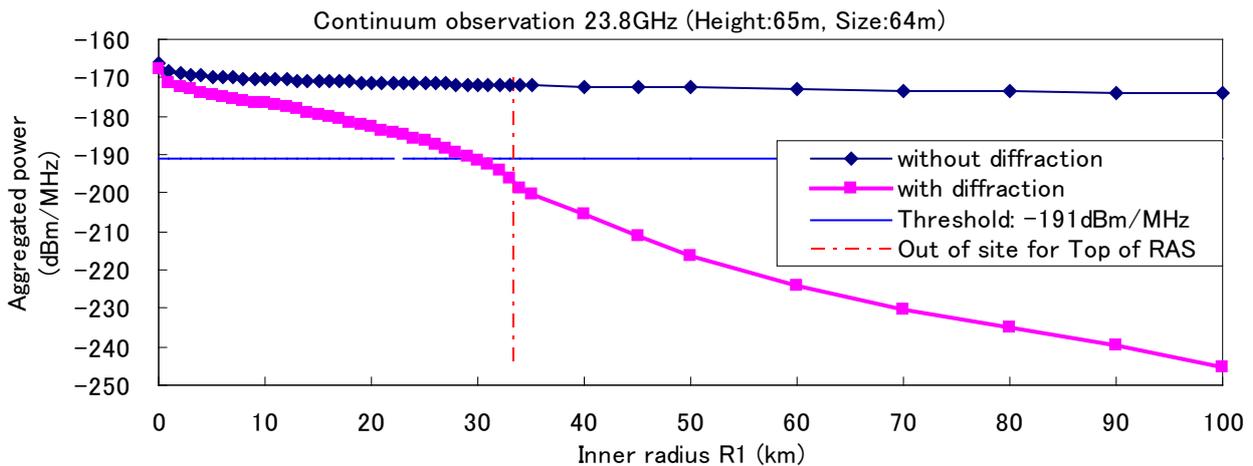


図3-4 複数台レーダによる集合干渉電力、回折損失有無の比較
(電波天文アンテナの高さと直径は臼田の数値)

平均回折損失は、次式に示すように回折損失を含まない集合干渉電力 (dBm) と回折損失を含む集合干渉電力 (dBm) の差分により算出される。

$$L_{average} = \log \left[\sum_{r_i=R_1}^{R_2} EIRP_{SRR} \times \left(\frac{\lambda}{4\pi R_i} \right)^2 \times \rho \times \pi (r_i^2 - r_{i-1}^2) \right] - \log \left[\sum_{r_i=R_1}^{R_2} EIRP_{SRR} \times \left(\frac{\lambda}{4\pi R_i} \right)^2 \times 10^{-L/10} \times \rho \times \pi (r_i^2 - r_{i-1}^2) \right] \quad (3-3)$$

表3-1に臼田のパラメータによる回折損失及び離隔による損失の検討結果を示す。回折損失 (地球の丸みによる遮蔽) で約1.6dB、35kmの離隔半径により約32dBの損失が見込まれる。

表3-1 回折損失及び離隔による損失 一般モデル

標高：30(m)、アンテナ高：65(m)、アンテナ直径64(m)

周波数		スペクトル線観測		連続波観測	
		22.2 GHz	23.7 GHz	22.355 GHz	23.8 GHz
①	UWB レーダ集合電力(30m - 500km) (回折損失を除く)	-165.8 dBm/MHz	-166.4 dBm/MHz	-165.9 dBm/MHz	-166.4 dBm/MHz
②	UWB レーダ集合電力(30m - 500km) (回折損失を含む)	-167.4 dBm/MHz	-168.0 dBm/MHz	-167.5 dBm/MHz	-168.0 dBm/MHz
③	回折損失, ①-②(30km - 500km)	1.6 dB	1.6 dB	1.6 dB	1.6 dB
④	UWB レーダ集合電力(35km- 500km) (回折損失を含む)	-199.5 dBm/MHz	-200.3 dBm/MHz	-199.6 dBm/MHz	-200.3 dBm/MHz
⑤	離隔による損失 (②-④)	32.1 dB	32.3 dB	32.1 dB	32.3 dB
⑥	回折損失+離隔による損失 (③+⑤)	33.8 dB	33.9 dB	33.7 dB	33.9 dB
⑦	要求される離隔	8.2 dB	7.6 dB	23.8 dB	24.6 dB
マージン (⑦-⑧)		25.6 dB	26.3 dB	9.9 dB	9.3 dB

臼田以外の他の電波天文アンテナについても、高さや直径の数値に置き換えて35km~500kmの集合干渉電力を計算した結果を図3-5に示す。離隔半径35kmでは9~13dBのマージンとなる。

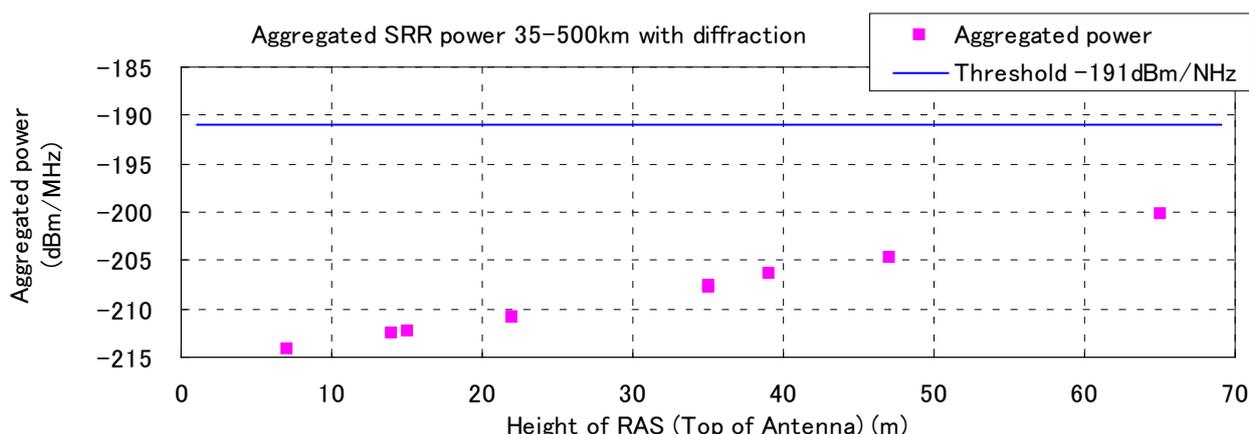


図3-5 各電波天文アンテナ高さや集合干渉電力の関係

4. 各天文台の個別検討

本章では、前章までの一般モデルによる検討に加えて、35kmより内側においては各天文台の周囲の実際の地形を考慮して離隔半径を計算検討する。

具体的には、各天文台から八方位（北、南、東、西、北東、南東、南西、北西）の35kmまでの範囲で1km刻みの標高データを基に見通し限界及び回折損失を算出して必要な離隔半径を算出する。（山岳地及び海面は除外）

表4-1に各天文台の離隔半径と離隔による損失の計算検討結果を示す。

（詳細は参4-2-13頁以降の付録を参照）

表4-1 各天文台の離隔半径と離隔による損失

周波数			スペクトル線観測		連続波観測		
			22.2 GHz	23.7 GHz	22.355 GHz	23.8 GHz	
離隔エリアに要求される損失			8.2 dB	7.6 dB	23.8 dB	24.6 dB	マージン
1	野辺山	8.0 km	38.2 dB	38.3 dB	38.2 dB	38.3 dB	13.7 dB
2	水沢	14.0 km	25.5 dB	25.6 dB	25.6 dB	25.6 dB	0.9 dB
3	入来	11.0 km	27.0 dB	27.0 dB	27.0 dB	27.0 dB	2.4 dB
4	小笠原	1.0 km	43.5 dB	43.9 dB	43.5 dB	43.9 dB	19.3 dB
5	石垣島	2.0 km	25.5 dB	25.5 dB	25.5 dB	25.5 dB	0.9 dB
6	鹿島	15.0 km	29.2 dB	29.2 dB	29.2 dB	29.3 dB	4.6 dB
7	苫小牧	17.0 km	24.9 dB	24.9 dB	24.9 dB	24.9 dB	0.3 dB
8	岐阜大学	13.0 km	25.4 dB	25.3 dB	25.4 dB	25.3 dB	0.9 dB
9	鹿児島大学	5.0 km	25.5 dB	25.5 dB	25.5 dB	25.5 dB	0.8 dB
10	国土地理院	20.0 km	26.2 dB	26.2 dB	26.1 dB	26.2 dB	1.6 dB
11	臼田	6.0 km	27.9 dB	27.9 dB	27.9 dB	27.9 dB	3.3 dB
12	山口大学	3.0 km	39.3 dB	39.6 dB	39.3 dB	39.6 dB	15.0 dB
マージン最悪値（苫小牧）							0.3 dB

5. 更なる最悪ケースに対する追加検討

2008年9月4日、国立天文台から更なる最悪ケースに対する懸念が指摘された。

2008年9月19日、更なる最悪ケースに対する追加検討が推進側から提示された。

本章では、その追加検討の内容を記述する。

(1) 新たに指摘された懸念点

2008年9月4日の国立天文台のコメントにて指摘された懸念事項は次の①～③の3点に整理される。

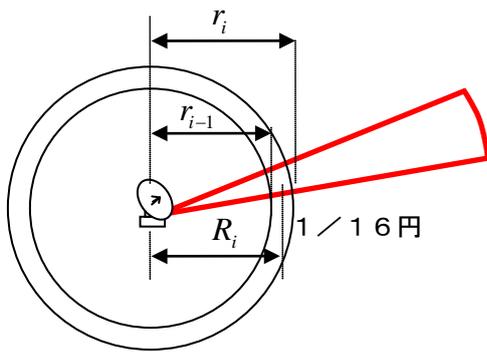
- ① 八方向以外に更なる最悪ケースの方向が存在する場合
- ② 回折損失がマイナスとなる場合
- ③ 局所的に交通量が増加した場合

(2) 干渉の追加検討

前述の①～③の懸念事項の具体的な影響について、そのポテンシャルを計算検討する。

図5-1に示すように八方向での検討値以外の方向に更なる最悪ケースが見つかった場合を想定する。その更なる最悪ケースからの与干渉電力は八方向の検討で見落とされたことになるので、そのサイズは16分の1円とする。

その地形は、図5-2に示すように複雑な地形ではなく単純に全域で標高が一般的な一般モデルとし、回折損失の計算は、見通し限界よりも内側では1回の回折、見通し限界の外側では2回の回折を想定する。



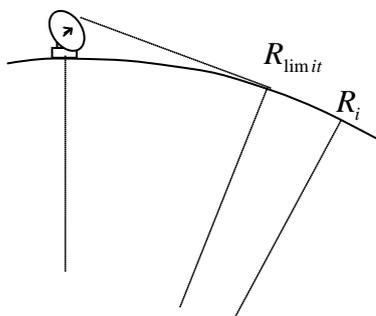
r_i : リングの外側の半径
 r_{i-1} : リングの内側の半径
 R_i : リングの代表点の半径

$$R_i = \sqrt{\frac{r_i^2 - r_{i-1}^2}{2 \times \ln \left| \frac{r_i}{r_{i-1}} \right|}}$$

刻み幅の定義

範囲	刻み幅
$r_i \leq 35km$	1km
$35km < r_i \leq 50km$	5km
$50km < r_i \leq 100km$	10km
$100km < r_i \leq 500km$	100km

図5-1 八方向以外に更なる最悪ケースの方向が存在する場合の検討モデル



R_{limit} : 電波天文アンテナ最高点への見通し限界
 R_i : リングの代表点の半径

回折点の定義

範囲	回折点	
	No. 1	No. 2
$R_i \leq R_{limit}$	R_{i-2}	なし
$R_{limit} < R_i \leq 500km$	R_{limit}	R_{i-1}

図5-2 回折損失の一般モデル

図5-3に示すように、回折損失がマイナスとなる場合（つまり、干渉電力が増幅される場合）、ナイフエッジによる回折波の電界強度 E と自由空間電界強度 E_0 の比は最大で1.16倍程度であることが分かる。干渉電力の増加は、1.29dB程度である。本検討では、図5-1に示す八方向以外の更なる最悪ケースのモデルに、図5-3に示す回折損失の近似式を適用して計算検討する。

表5-1に検討結果を示す。マイナスマージンとなる懸念が大きいのは小笠原、石垣島だが、小笠原と石垣島は海に囲まれた島なので、計算値よりもその懸念は小さくなるものとする。従って、山口大学の離隔半径3kmの場合のマージン-6.0dBを本検討の最悪ケースとする。

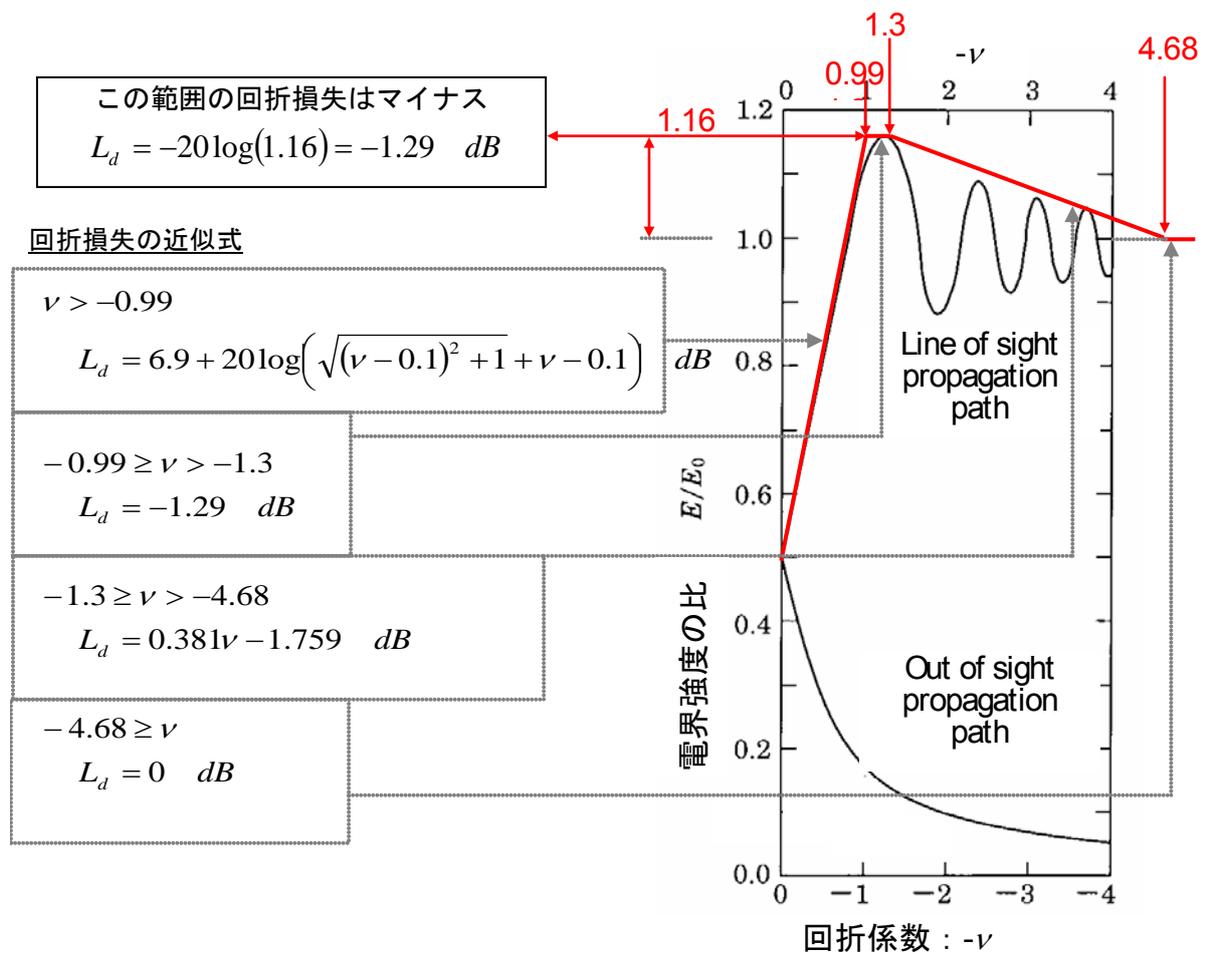


図5-3 回折損失がマイナスになる場合の計算式

表5-1 各天文台の離隔半径と追加検討

天文台	都道府県	アンテナ 高さ	アンテナ 直径	離隔 半径	UWB レーダ 与干渉電力*	マージン	
		m	m	km	dBm/MHz	dB	
1	野辺山	長野	47	45	8	-187.8	-3.2
2	水沢	岩手	22	20	14	-197.4	6.1
3	入来	鹿児島	22	20	11	-194.0	2.9
4	小笠原	東京	22	20	1	-183.4	-7.6
5	石垣島	沖縄	22	20	2	-184.9	-6.1
6	鹿島	茨城	35	34	15	-195.0	4.0
7	苫小牧	北海道	14	11	17	-206.3	15.1
8	岐阜大学	岐阜	15	11	13	-199.4	0.9
9	鹿児島大学	鹿児島	7	6	5	-192.0	1.0
10	国土地理院	茨城	35	32	20	-200.2	8.8
11	臼田	長野	65	64	6	-186.2	-4.8
12	山口大学	山口	39	32	3	-185.1	-6.0

* 八方向以外の更なる最悪方向から集合干渉電力

次に、局所的に交通量が増加した場合について数値検討する。

表5-2には休日の交通量が平日に比べて多くなる上位10地点を示す。平日に比べて休日の交通量が増えるポテンシャルは、最大4倍程度であることが分かる。そのポテンシャルが高い地域は、通常の交通量の多い都市部の道路ではなく、通常交通量の少ない地方の道路であることも分かる。

表5-2 昼間12時間交通量休日平日交通量比の上位10地点(一般道路)

順位	路線名	都道府県	H17交通量(台/12h)		平日休日比	
			平日	休日	倍	dB
1	西条久万線	愛媛	770	3,082	4.003	6.0
2	倶知安ニセコ線	北海道	808	3,209	3.972	6.0
3	国道273号	北海道	804	3,111	3.869	5.9
4	小林えびの高原牧園線	鹿児島	1,239	4,585	3.701	5.7
5	藤原塩原線	栃木	934	3,309	3.543	5.5
6	国道120号	群馬	1,983	6,962	3.511	5.5
7	国道371号	和歌山	953	3,296	3.459	5.4
8	松井田軽井沢線	群馬	2,771	8,724	3.148	5.0
9	国道291号	群馬	2,028	6,249	3.081	4.9
10	国道102号	青森	2,291	6,964	3.040	4.8

注) 1. 国道の一般有料道路を含む

2. 休日交通量が3,000台/12h以上を対象とした。

表5-2に自動車の普及密度の地域差と休日交通量増加のポテンシャルを示す。表5-1の検討対象の天文台は、茨城県を除いて自動車の普及密度が全国平均よりも小さい都道府県に所在していることが分かる。

表5-3中の平日休日比は、表5-2よりそれぞれ、北海道には倶知安ニセコ線、鹿児島には小林えびの高原牧園線、長野には国道120号、その他の県には国道102号の数値を採用した。休日交通量密度増加のポテンシャルは、茨城県の7.6dBが最悪値である。

表5-3 自動車保有台数と普及密度の地域差と休日交通量増加のポテンシャル

	自動車保有台数	面積	普及密度	全国平均比	平日休日比	ポテンシャル
	台	km ²	台/km ²	dB	dB	dB
全国	79,473,595	377819.23	210	0.0	-	-
東京	4,620,883	2,187	2,113	10.0	-	-
茨城	2,438,964	6,096	400	2.8	4.8	7.6
山口	1,072,333	6110.76	175	-0.8	4.8	4.0
岐阜	1,674,070	10,598.18	158	-1.2	4.8	3.6
鹿児島	1,330,309	1,869,728	145	-1.6	5.7	4.1
長野	1,869,728	9,186.9	138	-1.8	5.5	3.7
岩手	993,248	15,278.51	65	-5.1	4.8	-0.3
北海道	3,725,608	83,453.57	45	-6.7	6.0	-0.7

6. 開局予定の3つの望遠鏡に対する追加検討

2008年12月19日国立天文台より表6-1に示す新たに開局予定の3つの望遠鏡を検討対象に追加する要請があった。

本章では、その追加検討の内容を記述する。