

令和4年度 0049-0151

「X帯気象レーダーからの BS/CS 放送受信設備への干渉軽減  
に関する調査検討」

## 報 告 書

令和5年 3月

**＝マスプロ電気株式会社＝**

# 目 次

<b>第1章 調査検討の概要</b> .....	<b>1</b>
1. 1 調査検討の概要 .....	1
1. 2 調査検討の背景 .....	※
1. 2. 1 イメージ妨害の概要 .....	※
1. 2. 2 本調査検討で対象とするイメージ妨害 .....	※
<b>第2章 調査検討の内容・手法</b> .....	<b>※</b>
2. 1 BS/CS 放送受信設備対策モデルの検討 .....	※
2. 2 実証実験の流れ .....	※
2. 3 BS/CS 放送受信設備対策モデルの検討 .....	※
2. 4 実証実験の流れ .....	※
<b>第3章. 屋内測定</b> .....	<b>※</b>
電波暗室 BS 受信アンテナの特性測定 .....	※
3. 1 概要 .....	※
3. 2 測定方法 .....	※
3. 3 測定結果 .....	※
<b>第4章. 屋外実証</b> .....	<b>※</b>
埼玉大学屋外実験 .....	※
4. 1 概要 .....	※
4. 2 測定機材の諸元 .....	※
4. 3 位置関係 .....	※
4. 4 画像破綻 Cave/Ipeak 測定 .....	※
4. 5 干渉試験による BS 受信画像測定 .....	※
<b>第5章. まとめ</b> .....	<b>※</b>
5. 1 共用条件の整理 .....	※
5. 1. 1 所要離隔距離の計算方法 .....	※
5. 1. 2 所要離隔距離の計算結果 .....	※
5. 1. 3 対策案と課題 .....	※

5. 1. 4 対策対象台数について .....	※
5. 1. 5 その他（懸念事項） .....	※
5. 2 まとめ.....	※
[参考資料] .....	※

# 第1章 調査検討の目的

## 1. 1 調査検討の概要

気象レーダーは、降水分布や風向・風速等の観測に用い、この情報をもとに気象予報や災害情報に役立てられ、国民生活の安全・安心の確保に不可欠なものとなっている。今般、ゲリラ豪雨等による気象災害の甚大化を受け、雨雲等の早期検知や予報の信頼度向上のため、より高性能な気象レーダーの導入や自治体等における小型の気象レーダーの配備が求められている。

このため、次世代高機能気象レーダー等の導入を図るとともに、気象レーダーの周波数確保のために、気象レーダー間及び他システム等との周波数共用を行うなど、気象レーダーの技術的条件に関する検討を行う必要がある。令和4年1月、情報通信審議会情報通信技術分科会において「次世代高機能気象レーダー等の導入に関する技術的条件等」の検討を開始したところである。

本検討項目の一つとして、9.4GHz 帯気象レーダー及び 9.7GHz 帯気象レーダー（以下「X帯気象レーダー」という。）の使用する周波数帯が、BS(\*1)/CS(\*2)放送受信設備のイメージ周波数帯と重なっており、BS/CS 放送の受信に影響を与える可能性があるという問題があり、これまで総務省の「次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討（平成30年度から令和3年度）」において、電波暗室での測定・評価や屋外試験により、X帯気象レーダーがBS/CS放送受信設備に妨害干渉を与える条件（所要離隔距離）を整理したが、必要となる所要離隔距離が最大で65,373mであり、BS/CS放送受信設備を保護するための適切な条件設定に至らなかった。

こうした背景を踏まえ、課題解決の一つの方策として、本調査検討では、X帯気象レーダーからの干渉を軽減するBS/CS放送受信設備の実現可能性について技術検討を行うとともに、X帯気象レーダーとBS/CS放送受信設備の適切な共用条件等の取りまとめを行う。

(\*1) BS：Broadcasting Satellites、東経110度衛星

(\*2) CS：Communication Satellites、東経124度及び128度衛星

## 1. 2 調査検討の背景

X帯気象レーダーの使用する周波数帯は、BS/CS放送受信設備における中間周波数(IF)への周波数変換過程で局発周波数に対してBS/CS放送の周波数帯のイメージ周波数となっており、IF周波数帯において気象レーダー信号とBS/CS放送受信信号が重複するためBS/CS放送の受信に影響を与える可能性がある。

2018年度はBS/CS放送受信設備へのX帯気象レーダー送信波の影響について、放送関係者と気象レーダー関係者で協力し電波暗室にて測定及び評価が行われた(\*3)。2019年度は、屋外試験により9.7GHz帯気象レーダーがCS放送受信設備に妨害干渉を与える条件（所要離隔距離）を整理された(\*4)。2020年度は9.4GHz帯のMP-PAWRがBS放送受信設備に妨害干渉を与える条件（所要離隔距離）を整理するための検討が行われた(\*5)。2021年度は9.4GHz帯MP-PAWRがBS放送受信設備に与える干渉の影響について屋外試験を行い、所要離隔距離を整理するための検討が行われた(\*6)。

2022年度は、9.4GHz帯MP-PAWRがBS放送受信設備に与える干渉の改善に関する可能性について、BS放送受信設備対策モデルの検討を実施した。そして、対策したモデルにて屋内測定及び屋外実証を行い、所要離隔距離を整理した。また、市場で普及しているBS放送受信設備についても合わせて試験を行い、所要離隔距離を整理した。

- (\*3) 平成 30 年度次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討
- (\*4) 令和元年度次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討(X 帯)
- (\*5) 令和 2 年度次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討(X 帯)
- (\*6) 令和 3 年度次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討(X 帯)

### 1. 3 イメージ妨害の概要

BS放送は11.7GHz～12.2GHz帯、CS放送(東経110度)は12.2GHz～12.75GHz帯の周波数で、右旋円偏波および左旋円偏波の電波を利用しており、CS放送(東経124度)は12.2GHz～12.75GHzで、水平偏波および垂直偏波の電波を利用しているが、住宅内でのケーブルによる伝送を容易にする等のため、受信空中線(パラボラアンテナ等)において受信した電波を、BS放送、CS放送(東経110度)は約1.0GHz～3.2GHz、CS放送(東経124度)は約1.0～1.55GHzの中間周波数帯に変換している。この変換に当たっては、受信した信号にBS放送/CS放送(東経110度)の右旋円偏波は局部発振周波数10.678GHz、左旋円偏波は9.505GHzの信号を混合させたときの差を利用して中間周波数を得ている(例： $12.0 - 10.678 = 1.322\text{GHz}$ )。CS放送(東経124度)では水平偏波および垂直偏波ともに局部発振周波数11.2GHzの信号を混合させたときの差を利用して中間周波数を得ている(例： $12.65 - 11.2 = 1.45\text{GHz}$ )。ところが、BS放送受信設備において、この局部発振周波数10.678GHzの信号と9.356GHzの信号が混合された場合にも同じく1.322GHzの周波数が発生する( $10.678 - 9.356 = 1.322\text{GHz}$ )。後者の1.322GHzの周波数はイメージ周波数と呼ばれ、9GHz帯気象レーダーの近傍に衛星放送の受信空中線があるような場合には、衛星放送の受信画像等に影響が出ることがある。CS放送(東経124度)受信設備の場合も同様である。

### 1. 4 本調査検討で対象とするイメージ妨害

1. 2 調査検討の背景で述べた通り、本調査検討は、BS放送受信設備を対象とする。BS放送受信設備では、屋外に設置されたBS受信アンテナのフィード部において、BS放送信号(12 GHz帯)からIF信号への周波数変換が行われ、IF信号(L帯)が屋内の受信装置に供給される(図1.4-1参照)。この時、気象レーダーのイメージ周波数がBSのIF帯に現れ(図1.4-2参照)、その電力が大きい場合に画像破綻が発生することになる。BS放送には右旋円偏波と左旋円偏波のチャンネルがあるが、このうち右旋円偏波にはBS-1からBS-23までのチャンネルがある。気象レーダーに割り当てられている周波数9.3 GHz～9.5 GHzのイメージがBSのIFに現れるのは右旋円偏波のBS-7からBS-19である。

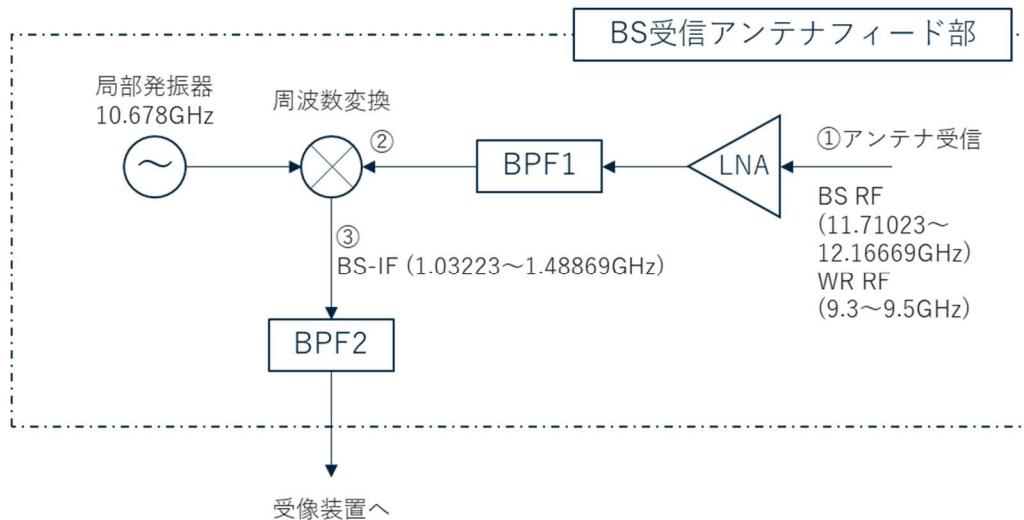
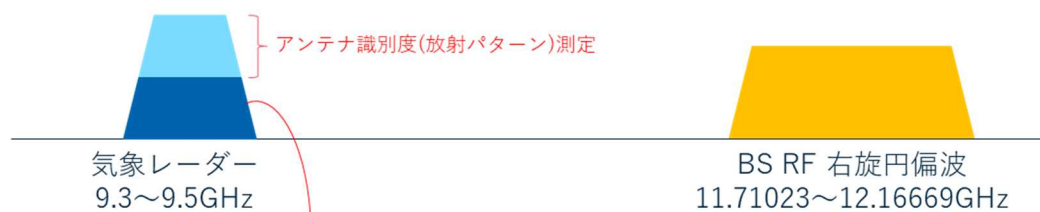


図1.4-1 BSコンバータの構成

①アンテナ受信



②周波数変換前



③周波数変換後

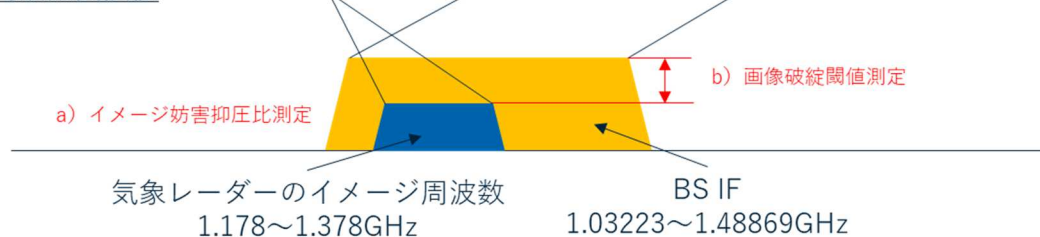


図1.4-2 気象レーダーからBS受信への干渉メカニズム

## 第2章 調査検討の内容・手法

### 2. 1 BS/CS放送受信設備対策モデルの検討

X帯気象レーダーからの干渉低減を目的とする、BS/CS放送受信設備の特性改善に関する可能性について、次に示すBS/CS放送受信設備対策モデルの検討を行った。

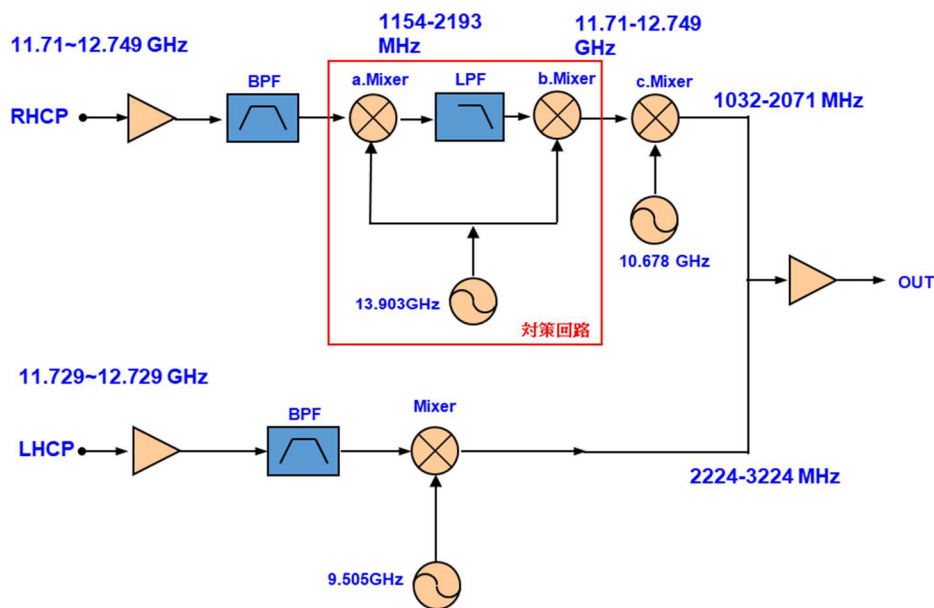
- ① IF周波数を既存の周波数と同じとし、局発周波数をハイローカルにすることでイメージ干渉を回避する
- ② イメージ帯域を阻止するBPF（バンドパスフィルター）を追加することでイメージ干渉を回避する

- ③ 一次放射器の円形導波管の設計変更を行い最適化することでイメージ干渉を回避する

各対策モデルの詳細について、以下に示す。

①局発周波数をハイローカル（13.903GHz）による対策モデル ブロック図、設定条件  
局発周波数をハイローカル（13.903GHz）にすることで、イメージ干渉を回避する。  
局発周波数を13.903GHzに選定した理由は、局発周波数13.903GHzと既存のIF周波数にする局発周波数10.678GHzとの差分の周波数にスプリアスが発生し、BS/CS放送のIF周波数帯（1032～3224MHz）に落ち込むと妨害波となり、テレビ受信が不可となる可能性があるため、BS/CS放送のIF周波数以上になるように設定した。

$$(13.903\text{GHz} - 10.678\text{GHz} = 3225\text{MHz})$$



ハイローカルによるイメージ干渉回避の過程

- 1) BS/CS放送信号と9GHz帯レーダー信号がLNBに入力。
- 2) a.MixerによりBS/CS放送信号を1.154～2.193GHz、9GHz帯レーダー信号を4.247～5.297GHzに周波数変換する。
- 3) LPFで9GHz帯レーダー信号の4.247～5.297GHzを阻止する。
- 4) b.MixerによりBS/CS放送信号のみ11.7～12.75GHzに周波数変換する。
- 5) c.MixerによりBS/CS放送信号を通常のBS-IF帯に周波数変換する。
- 6) LHCPと混合してイメージ信号が100dB以上抑圧されたBS-IF信号を出力する。

図2.1-1 ①局発周波数をハイローカル（13.903GHz）による対策モデル

②B P F 追加による対策モデル ブロック図、設定条件

イメージ帯域を阻止するB P F（バンドパスフィルター）を追加することにより、イメージ妨害抑圧比を100dB以上とし、イメージ干渉を回避する。

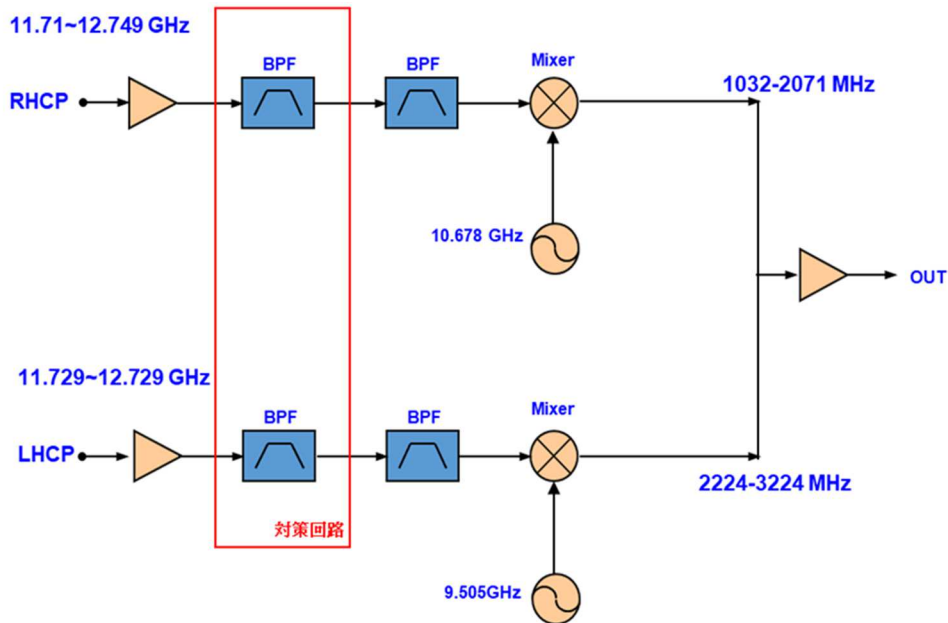


図2.1-2 ②B P F 追加による対策モデル

③一次放射器の円形導波管の設計変更による対策モデル イメージ図、設定条件  
 一次放射器の円形導波管の長さや直径を最適化することにより、イメージ妨害抑圧比を100dB以上とし、イメージ干渉を回避する。

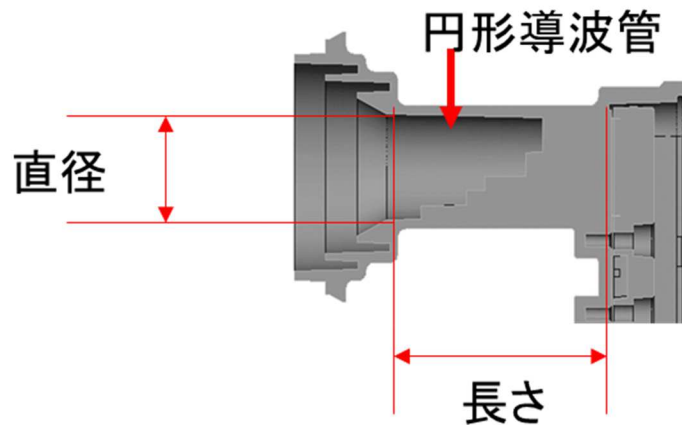


図2.1-3 ③一次放射器の円形導波管の設計変更による対策モデル

検討した対策モデル①～③の試作結果を、表2.1-1～表2.1-3、図2.1-4～図2.1-6に示す。

表2.1-1 ①局発周波数をハイローカル (13.903GHz) による対策モデル 試作結果

項目	規格	測定値
受信周波数	11.7～12.75GHz	11.7～12.75GHz
受信偏波	右左旋円偏波	右左旋円偏波
出力周波数	1032～3224MHz	1032～3224MHz
コンバーター利得	48～58dB	49.6～55.9dB



受信帯域内利得偏差	右旋 BS、右旋広帯域 CS 各受信帯域内で 4dB(p-p)以下 左旋 BS、左旋広帯域 CS 各受信帯域内で 4dB(p-p)以下	3.6dB
	右旋 BS、広帯域 CS 受信帯域内で 6dB(p-p)以下 左旋 BS、広帯域 CS 受信帯域内で 6dB(p-p)以下	4.8dB
受信チャンネル内利得偏差	受信チャンネル帯域内で 1dB(p-p)以内	0.97dB
出力 VSWR	受信帯域内で 2.5 以下	2.05
局部発振位相雑音	⊖55dBc/Hz 以下 (1kHz オフセット)	-61.1dBc/Hz
	⊖73dBc/Hz 以下 (5kHz オフセット)	-76.0dBc/Hz
	⊖83dBc/Hz 以下 (10kHz オフセット)	-85.4dBc/Hz
雑音指数 (NF)	1.2dB 以下 ※各社の雑音指数のカタログ値は、0.5dB(標準)	1.19dB
イメージ妨害抑圧比	100dB 以上 (8.606~9.656GHz)	131.56dB
	55dB 以上 (15.056~16.106GHz, 6.260~7.310GHz)	57.23dB
局部発振信号漏洩電力	-55dBm 以下	-84.1dBm
相互変調レベル	-70dBm 入力 2 信号において -55dB 以下	-55.39dB
出力インピーダンス	75Ω (F 型コネクタ)	75Ω (F 型コネクタ)
局部発振周波数	13.903GHz(右旋円偏波)	13.903GHz(右旋円偏波)
	10.678GHz(右旋円偏波)	10.678GHz(右旋円偏波)
	9.505GHz(左旋円偏波)	9.505GHz(左旋円偏波)
局部発振周波数安定度	±1.5MHz 以内	-0.2~+1.2MHz
使用温度範囲	⊖30~⊕50°C	⊖30~⊕50°C
電源	DC15V 3.75W 以下	3.47W
外観寸法	150(H)×75(W)×90(D)mm 以下	約 140×65×85 mm
質量 (重量)	約 0.4 kg	約 0.34kg

※規格値は、ARIB STD B-63 同じ値とした。

※イメージ妨害抑圧比の値については調査検討の目標値。



図 2.1-4 ①局発周波数をハイローカル (13.903GHz) による対策モデル 試作品

表 2.1-2 ②B P F 追加による対策モデル 試作結果

項目	規格	測定値
受信周波数	11.7~12.75GHz	11.7~12.75GHz
受信偏波	右左旋円偏波	右左旋円偏波
出力周波数	1032~3224MHz	1032~3224MHz
コンバーター利得	48~58dB	49.3~52.9dB
受信帯域内利得偏差	右旋 BS、右旋広帯域 CS 各受信帯域内で 4dB(p-p)以下 左旋 BS、左旋広帯域 CS 各受信帯域内で 4dB(p-p)以下	3.1dB
	右旋 BS、広帯域 CS 受信帯域内で 6dB(p-p)以下 左旋 BS、広帯域 CS 受信帯域内で 6dB(p-p)以下	4.1dB
受信チャンネル内利得偏差	受信チャンネル帯域内で 1dB(p-p)以内	0.63dB
出力 VSWR	受信帯域内で 2.5 以下	2.02
局部発振位相雑音	⊖55dBc/Hz 以下 (1kHz オフセット)	-63.2dBc/Hz
	⊖73dBc/Hz 以下 (5kHz オフセット)	-81.8dBc/Hz
	⊖83dBc/Hz 以下 (10kHz オフセット)	-86.7dBc/Hz
雑音指数 (NF)	1.2dB 以下 ※各社の雑音指数のカタログ値は、0.5dB(標準)	1.14dB
イメージ妨害抑圧比	100dB 以上	118.10dB
局部発振信号漏洩電力	-55dBm 以下	-122.7dBm
相互変調レベル	-70dBm 入力 2 信号において -55dB 以下	-55.41dB
出力インピーダンス	75Ω (F 型コネクタ)	75Ω (F 型コネクタ)
局部発振周波数	10.678GHz(右旋円偏波)	10.678GHz(右旋円偏波)
	9.505GHz(左旋円偏波)	9.505GHz(左旋円偏波)
局部発振周波数安定度	±1.5MHz 以内	-0.3~+0.3MHz
使用温度範囲	⊖30~⊕50°C	⊖30~⊕50°C
電源	DC15V 3W 以下	2.63W
外観寸法	140(H)×65(W)×90(D)mm 以下	約 130×60×85 mm
質量 (重量)	約 0.3 kg 以下	約 0.24kg

※規格値は、ARIB STD B-63 同じ値とした。

※イメージ妨害抑圧比の値については調査検討の目標値。



図2.1-5 ②B P F 追加による対策モデル 試作品

表2.1-3 ③一次放射器の円形導波管の設計変更による対策モデル 試作結果

項目	規格	測定値
受信周波数	11.7~12.75GHz	11.7~12.75GHz
受信偏波	右左旋円偏波	右左旋円偏波
出力周波数	1032~3224MHz	1032~3224MHz
コンバーター利得	48~58dB	50.8~55.8dB
受信帯域内利得偏差	右旋 BS、右旋広帯域 CS 各受信帯域内で 4dB(p-p)以下 左旋 BS、左旋広帯域 CS 各受信帯域内で 4dB(p-p)以下	3.9dB
	右旋 BS、広帯域 CS 受信帯域内で 6dB(p-p)以下 左旋 BS、広帯域 CS 受信帯域内で 6dB(p-p)以下	4.9dB
受信チャンネル内利得偏差	受信チャンネル帯域内で 1dB(p-p)以内	0.71dB
出力 VSWR	受信帯域内で 2.5 以下	1.81
局部発振位相雑音	⊖55dBc/Hz 以下 (1kHz オフセット)	-68.9dBc/Hz
	⊖73dBc/Hz 以下 (5kHz オフセット)	-83.4dBc/Hz
	⊖83dBc/Hz 以下 (10kHz オフセット)	-90.9dBc/Hz
雑音指数 (NF)	1.2dB 以下 ※各社の雑音指数のカタログ値は、0.5dB(標準)	0.93dB
イメージ妨害抑圧比	100dB 以上	95.50dB
局部発振信号漏洩電力	-55dBm 以下	-116.5dBm
相互変調レベル	-70dBm 入力 2 信号において -55dB 以下	-55.12dB
出力インピーダンス	75Ω (F 型コネクタ)	75Ω (F 型コネクタ)
局部発振周波数	10.678GHz(右旋円偏波)	10.678GHz(右旋円偏波)
	9.505GHz(左旋円偏波)	9.505GHz(左旋円偏波)
局部発振周波数安定度	±1.5MHz 以内	-0.4~+0.4MHz
使用温度範囲	⊖30~⊕50°C	⊖30~⊕50°C
電源	DC15V 3W 以下	2.67W
外観寸法	140(H)×65(W)×90(D)mm 以下	約 110×60×85 mm
質量 (重量)	約 0.3 kg以下	約 0.19kg

※規格値は、ARIB STD B-63 同じ値とした。

※イメージ妨害抑圧比の値については調査検討の目標値。

調査検討の結果、一次放射器の円形導波管の設計変更による対策モデルは、目標値を達成することが出来なかった。



図2.1-6 ③一次放射器の円形導波管の設計変更による対策モデル 試作品

## 2. 2 実証実験の流れ

屋内（電波暗室）でのBS受信アンテナの特性測定、埼玉大学での屋外実証実験を行い、MP-PAWRとBS受信設備との共用条件(所要離隔距離)の整理を行った。評価の流れを図2.2-1に示す。

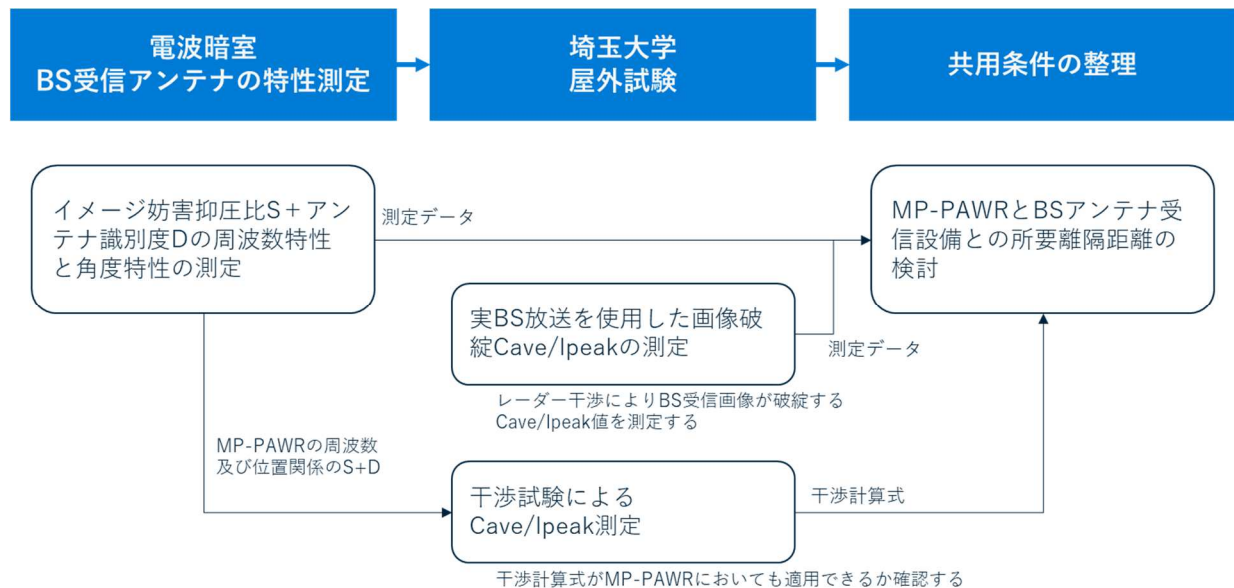


図2.2-1 評価の流れ

埼玉大学に設置されているMP-PAWRの周波数は9,425 MHzであるが、将来の次世代高性能レーダーの稠密配置を考慮し、気象レーダーに割り当てられた周波数帯で評価を行う必要がある。また昨年度までの検討結果により、所要離隔距離はイメージ妨害抑圧比S+アンテナ識別度Dの値に大きく依存し、その値が大きくなれば所要離隔距離は急激に小さくなることわかっている。このことから、BS受信設備に影響を与えるBS-1、BS-11、BS-23でのBS受信アンテナのイメージ妨害抑圧比S+アンテナ識別度Dの特性を電波暗室にて測定した。

屋外試験はMP-PAWRが設置されている埼玉大学で行った。ここでの試験はMP-PAWRによる干渉波によりBS受信画像が破綻するCave/Ipeak※値を測定した。また電波暗室で測定したイメージ妨害抑圧比S+アンテナ識別度Dの値とMP-PAWRから放射される電力から計算されるCave/Ipeak計算値と、BS受信設備でのCave/Ipeak実測値の一致性を確認することで、干渉計算式がMP-PAWRにおいても適用できるかを確認した。

これらの測定結果を受け共用条件の整理では、MP-PAWRとBS受信設備との所要離隔距離を算出した。

※ Cave：BS受信信号の平均電力 Ipeak：気象レーダー信号のピーク電力

## 第3章 屋内測定

### 電波暗室BS受信アンテナの特性測定

#### 3. 1 概要

図 3.1-1 に示すとおり電波暗室(マスコエ電気株式会社 電波測定棟)にてイメージ妨害抑圧比S+アンテナ識別度Dの周波数特性と角度特性を測定(2022年12月~2023年1月)した。測定対象のBS受信アンテナを表3.1-1に示す。

表 3.1-1 測定対象の BS 受信アンテナ

市場流通品 右左旋アンテナ	A 社
	B 社
	C 社
	D 社
右旋アンテナ(2014~2016 年品)※	E 社
試作品	試作品①
	試作品②
	試作品③

※平成30年度本調査検討報告書Appendix B (1) 受信アンテナ込みイメージ妨害抑圧比Sが最も小さいアンテナ



図 3.1-1 電波暗室内 測定写真

### 3. 2 測定方法

電波暗室において、送信アンテナから 12GHz 帯 (BS) と 9GHz 帯 (イメージ) を送信し、約 20m 離れた地点において、BS アンテナを AZ 方向に回転させながら受信レベルを測定する。12GHz 帯 (BS) と 9GHz 帯 (イメージ) 両受信レベル差から 9GHz 帯 (イメージ) の抑圧比を算出する。

仰角は、ボアサイト (正対)、仰角 29° (稚内)、仰角 38° (東京)、仰角 57° (石垣) の角度を測定した。

測定条件、測定方法を以下に示す。測定系統図を図 3.2-1 に示す。

<測定条件>

○測定周波数：

- ・ BS-1ch 11.72748GHz、イメージ周波数 9.62852GHz
- ・ BS-11ch 11.931GHz、イメージ周波数 9.425GHz（レーダー周波数）
- ・ BS-23ch 12.14944GHz、イメージ周波数 9.20656GHz

BS 右旋帯域の最小周波数と最大周波数と MP-PAWR 周波数を選定した。

○アンテナ仰角：ボアサイト（正対）、仰角 29°（稚内）、  
仰角 38°（東京）、仰角 57°（石垣）

最小仰角と最大仰角、最も受信世帯密集地域である東京を選定した。

○送信偏波：垂直偏波（60cm パラボラアンテナを使用）

<測定方法>

- ① 被測定物の仰角をボアサイト（正対）にする。
- ② 送信アンテナから 12GHz 帯（BS）の搬送波を送信し、BS アンテナを AZ 方向に回転させながら、受信レベル  $P_0$  を測定する。
- ③ 12GHz 帯（BS）の測定周波数を変更し、②を測定する。
- ④ 送信アンテナから 9GHz 帯（イメージ）の搬送波を送信し、BS アンテナを AZ 方向に回転させながら、受信レベル  $P$  を測定する。
- ⑤ 9GHz 帯（イメージ）の測定周波数を変更し、④を測定する。
- ⑥ イメージ妨害抑圧比を次式によって算出する。 イメージ妨害抑圧比 =  $P_0 - P$
- ⑦ 被測定物の仰角を変更し、②～⑥を測定する。

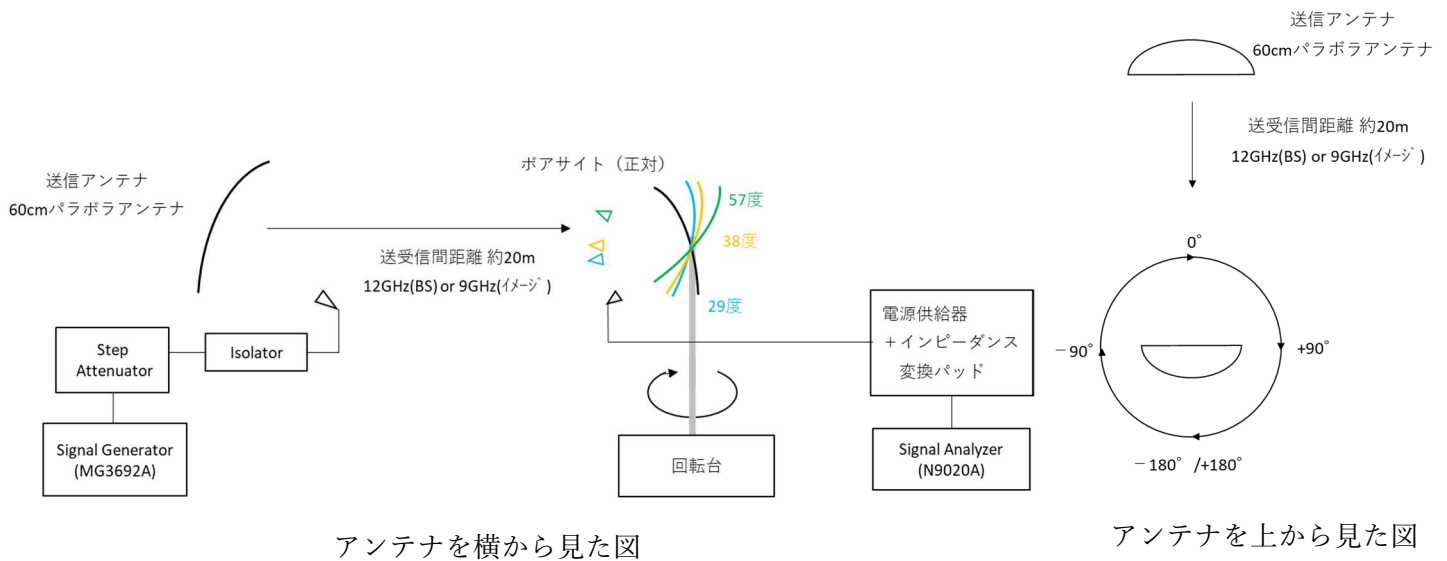


図 3.2-1 測定系統図

### 3. 3 測定結果

各測定周波数、仰角ごとの測定結果を図 3.3-1～図 3.3-12 に示す。

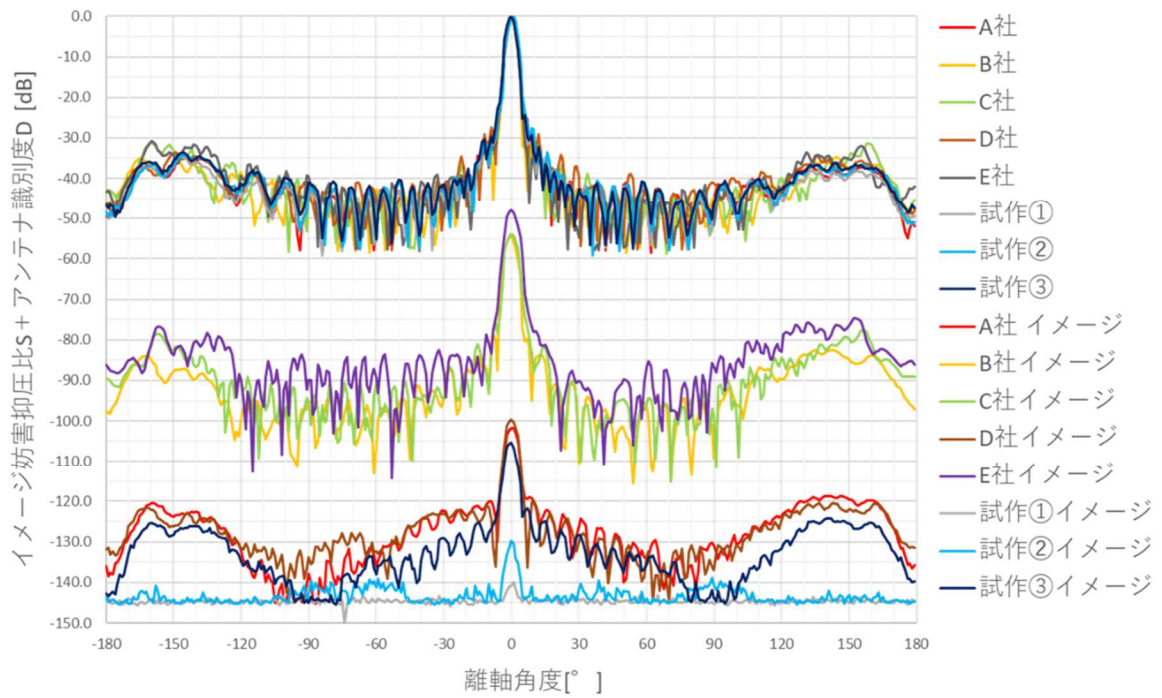


図 3.3-1 仰角ボアサイトの水平面パターン(BS-1ch)

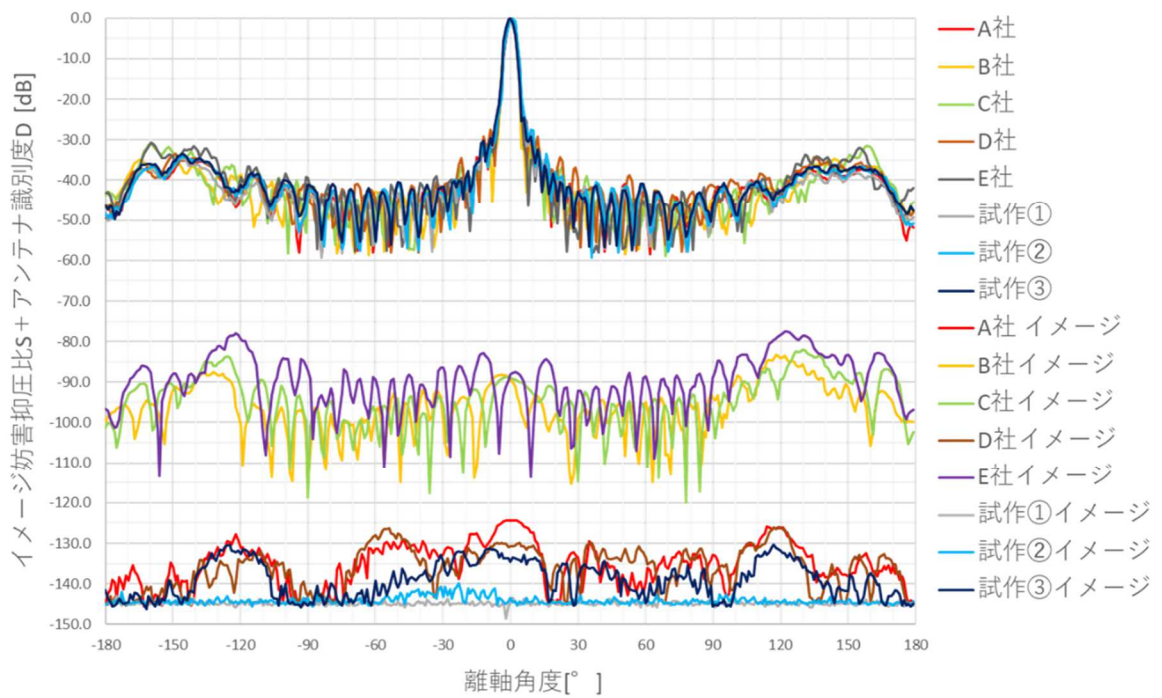


図 3.3-2 仰角 29° の水平面パターン(BS-1ch)

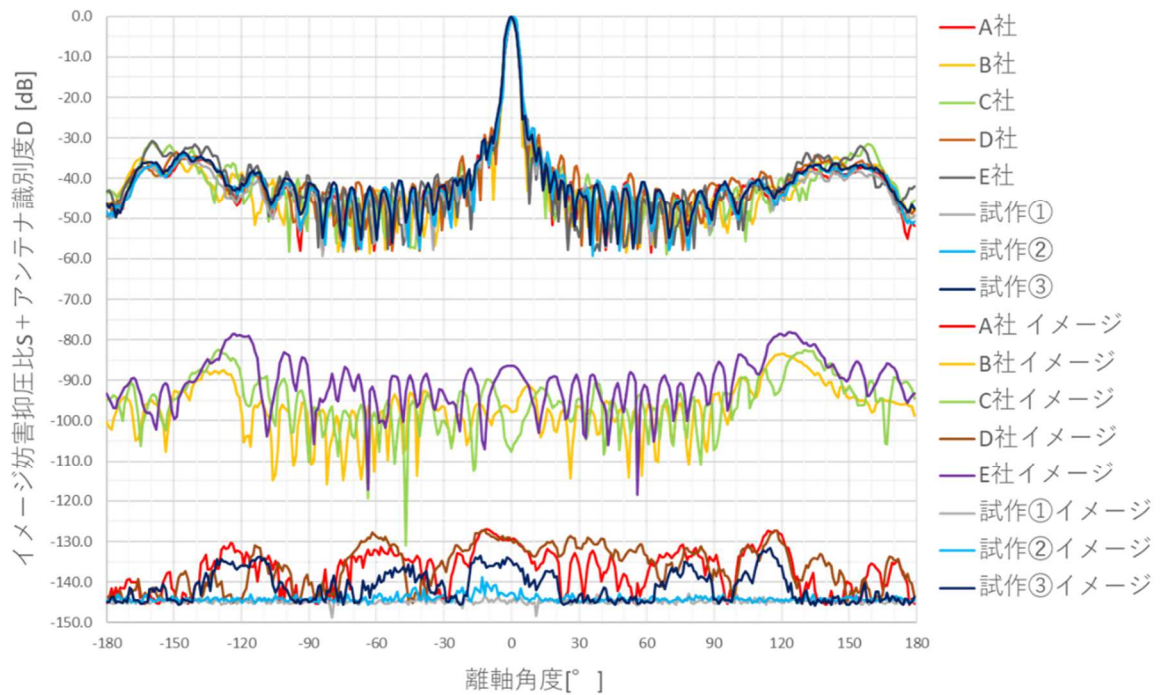


図 3.3-3 仰角 38° の水平面パターン(BS-1ch)

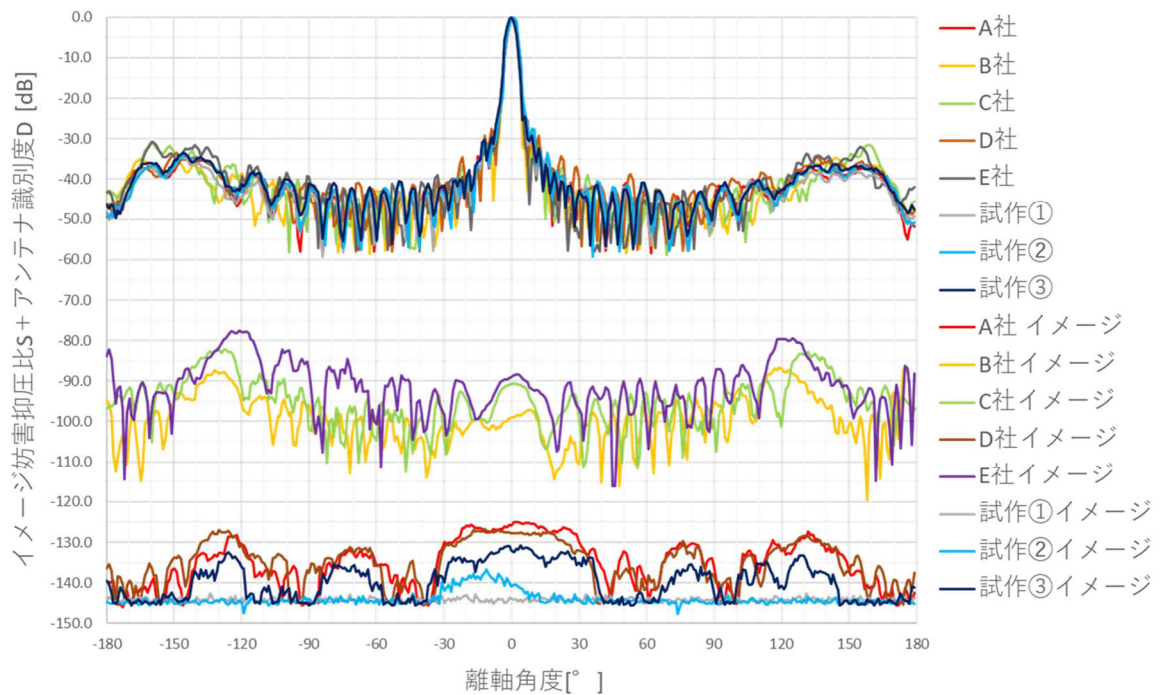


図 3.3-4 仰角 57° の水平面パターン(BS-1ch)



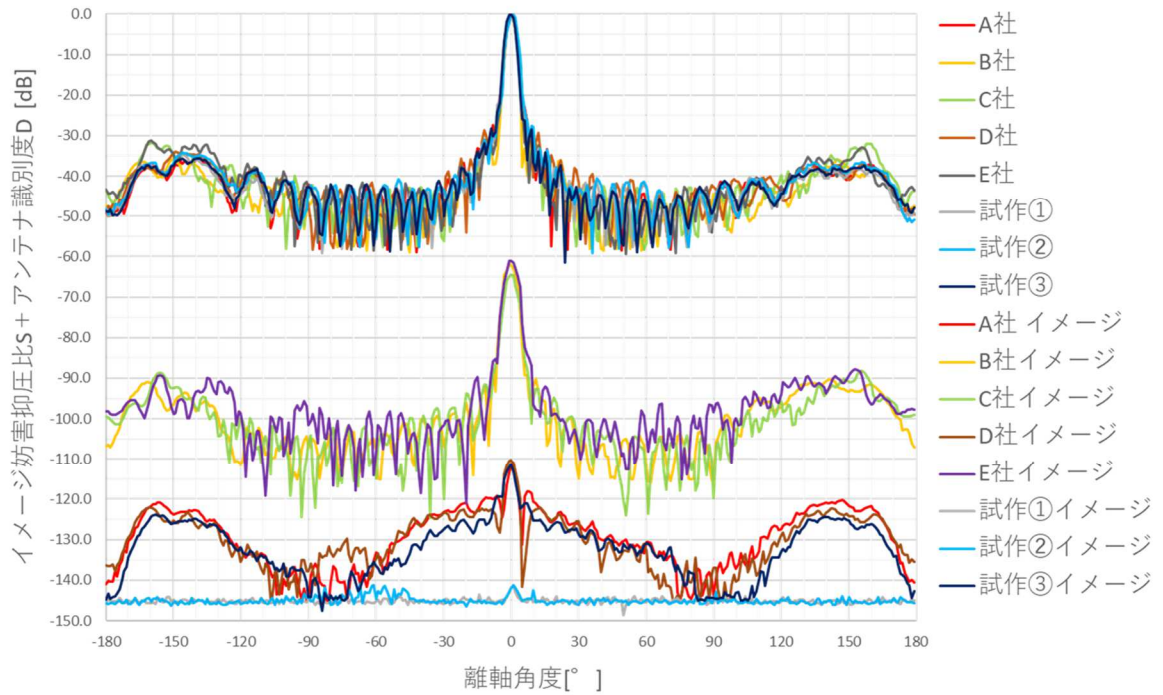


図 3.3-5 仰角ボアサイトの水平面パターン(BS-11ch)

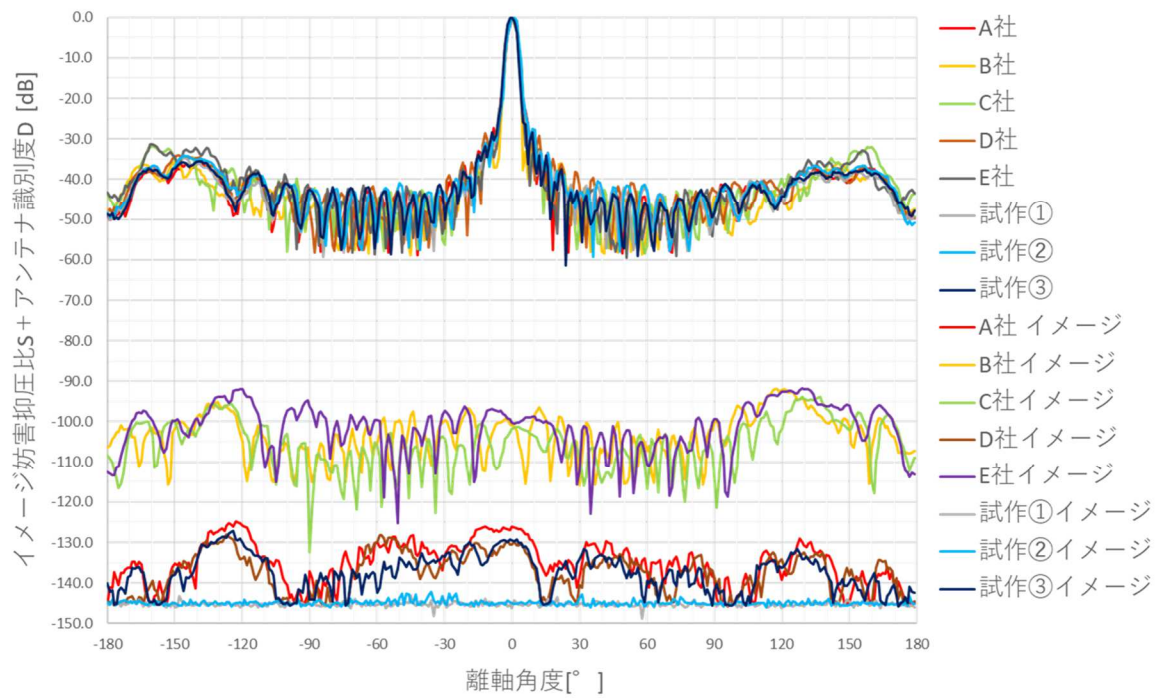


図 3.3-6 仰角 29° の水平面パターン(BS-11ch)

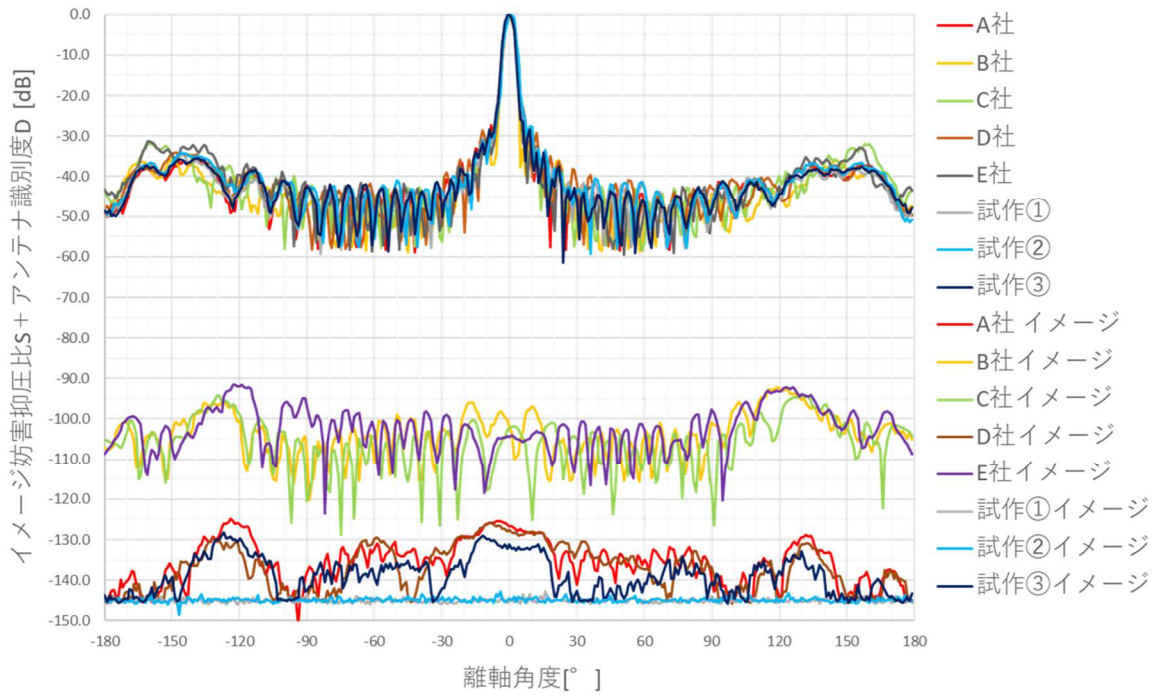


図 3.3-7 仰角 38° の水平面パターン(BS-11ch)

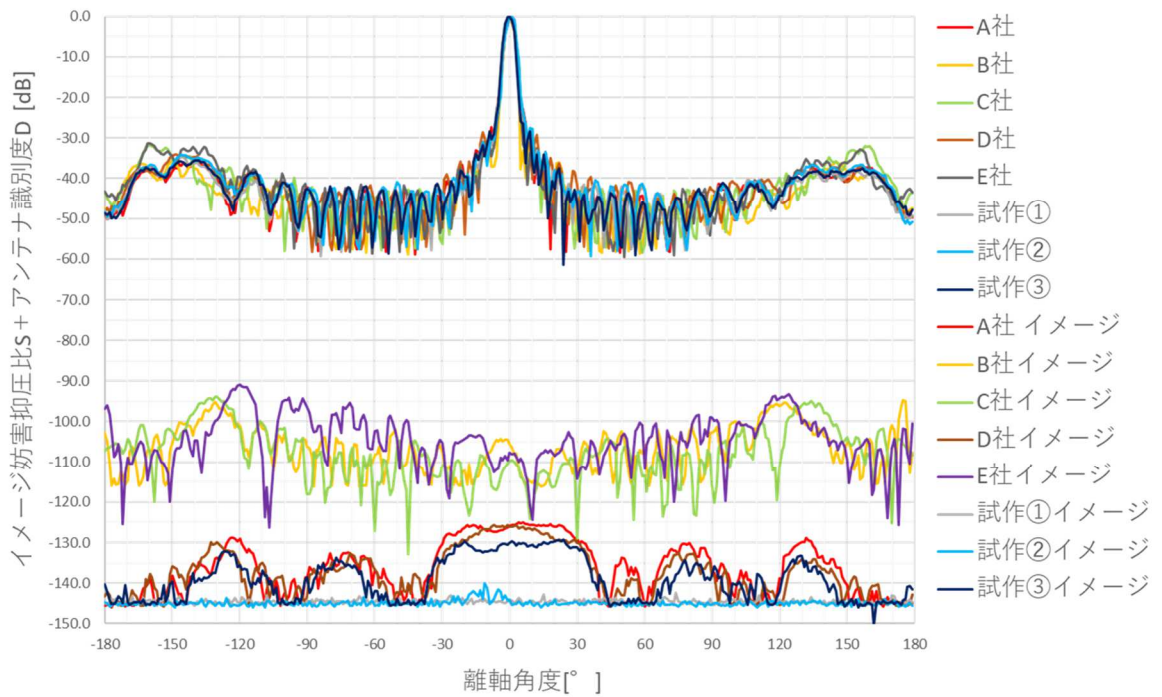


図 3.3-8 仰角 57° の水平面パターン(BS-11ch)

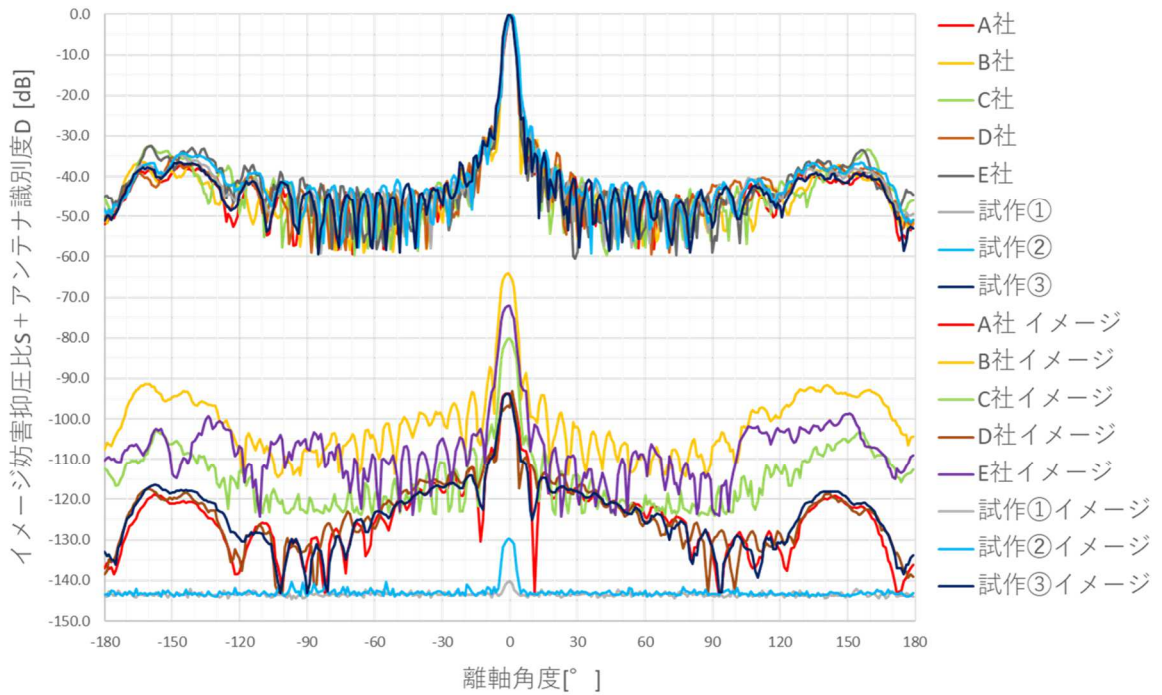


図 3.3-9 仰角ボアサイトの水平面パターン(BS-23ch)

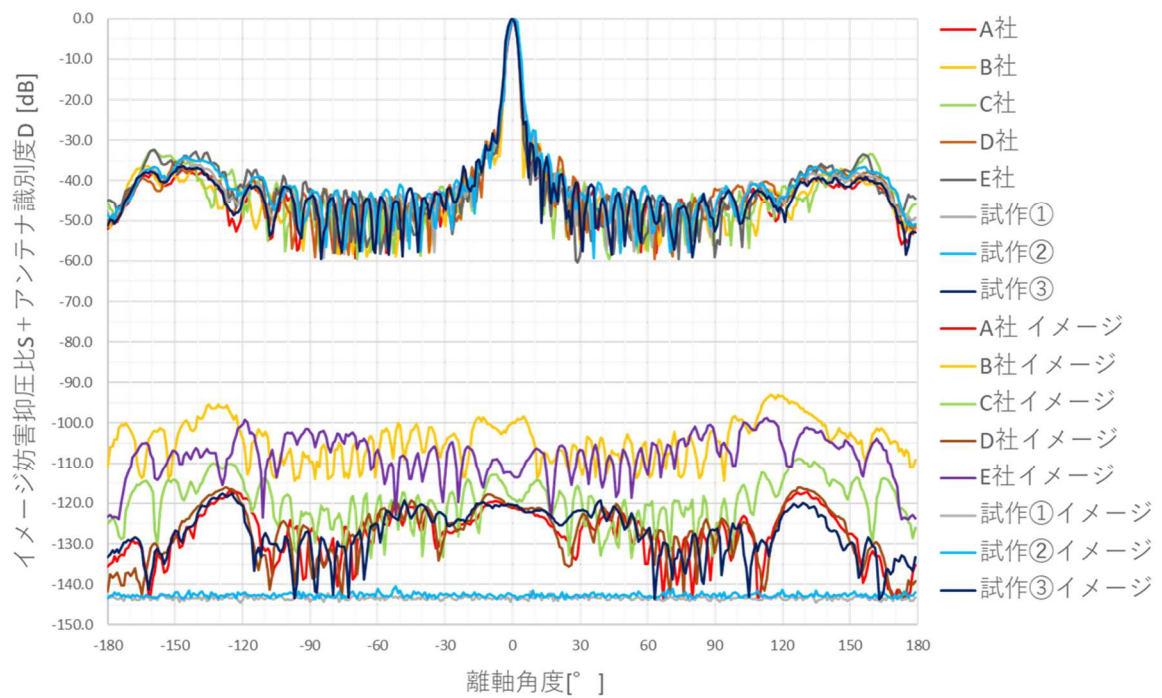


図 3.3-10 仰角 29° の水平面パターン(BS-23ch)

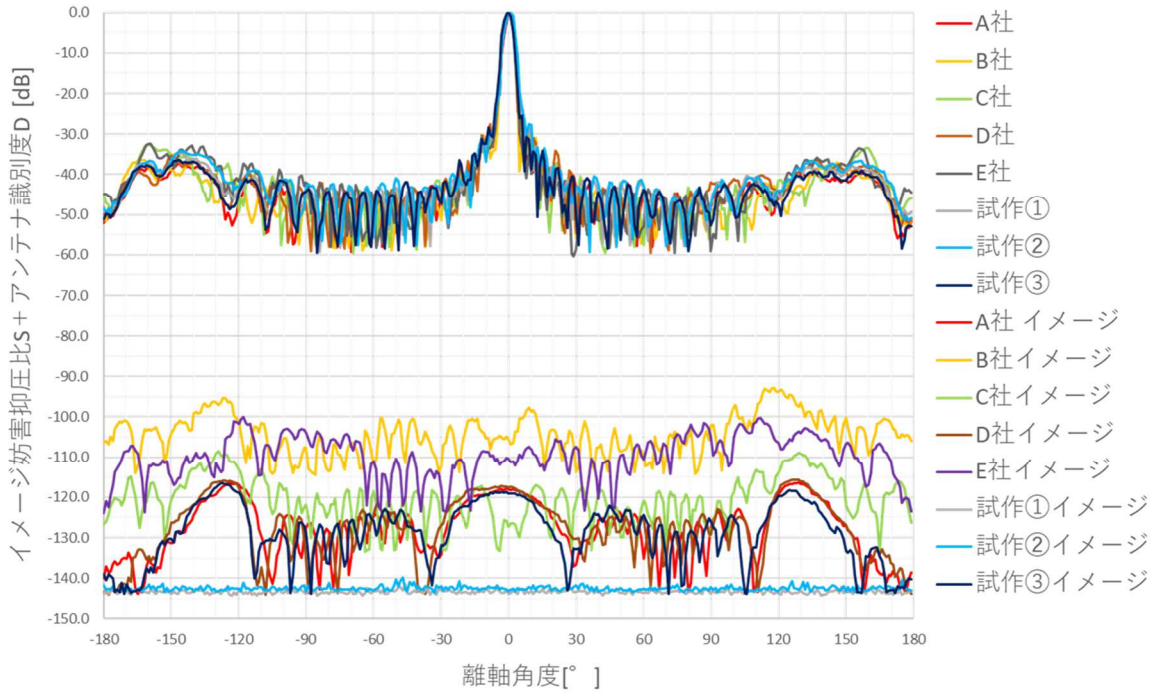


図 3.3-11 仰角 38° の水平面パターン(BS-23ch)

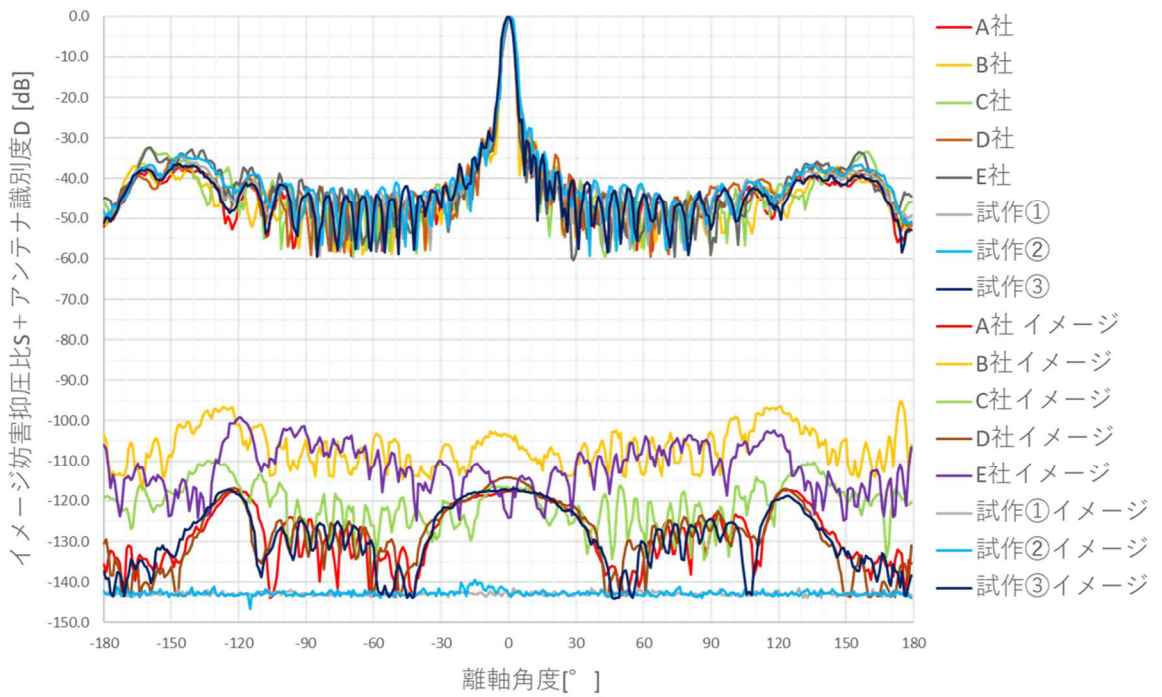


図 3.3-12 仰角 57° の水平面パターン(BS-23ch)

## 第4章 屋外実証

### 埼玉大学屋外実験

#### 4.1 概要

放送関係者の協力の下、埼玉大学にて屋外実験(2023年1月30日~2月1日)を行った。使用したBS受信アンテナは電波暗室で測定したA社、B社、C社、E社、試作品①~③のアンテナである。BS受信アンテナは理学部3号館屋上に設置してBS放送を受信し、工学部3号館屋上設置のMP-PAWRから9GHz帯レーダー信号を送信した。屋外試験の環境を図4.1-1及び図4.1-2に示す。

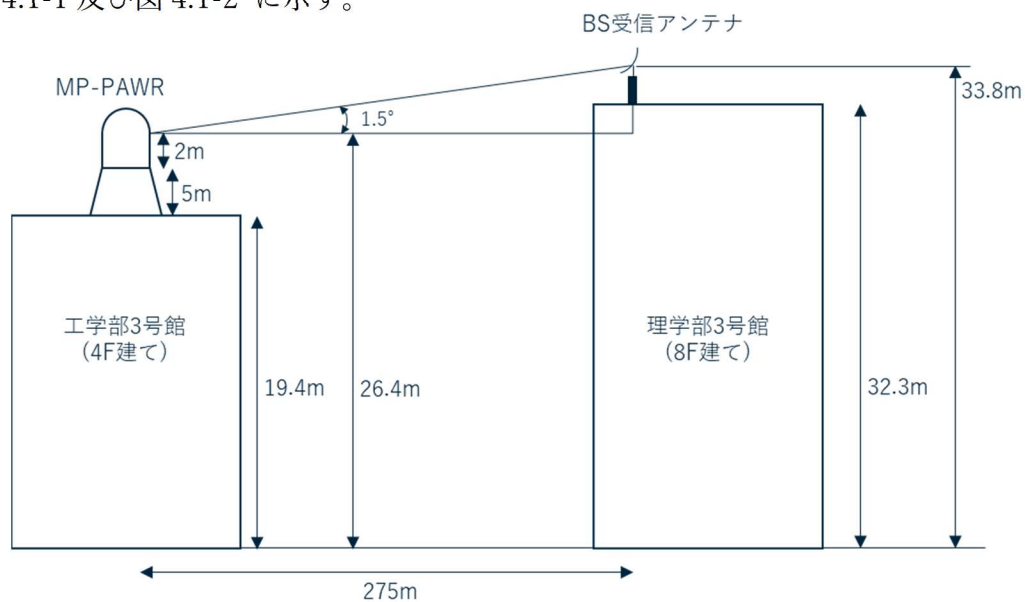


図 4.1-1 埼玉大学屋外試験

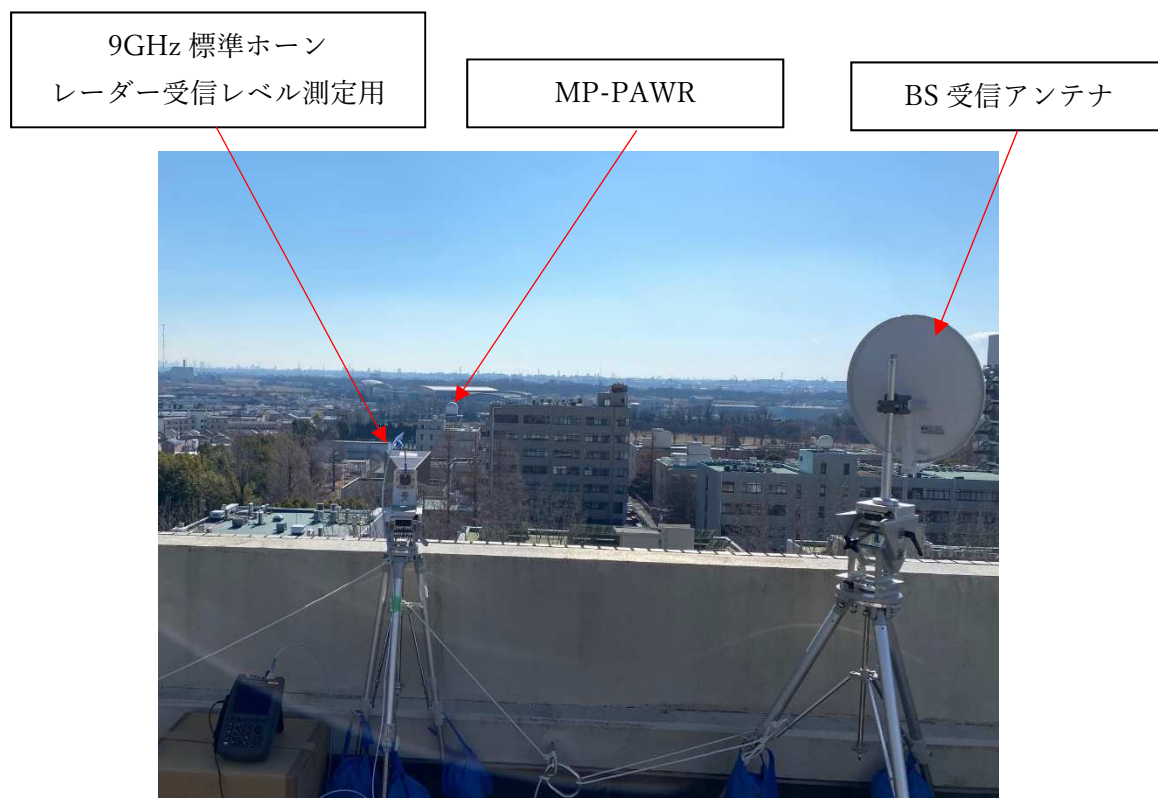


図 4.1-2 受信地点からみた MP-PAWR の見通し

#### 4. 2 測定機材の諸元

試験に使用した MP-PAWR 信号、受信アンテナ及び BS 放送信号の諸元を表 4.2-1～表 4.2-4 に示す。

表 4.2-1 MP-PAWR 信号諸元

項目	諸元等	備考
中心周波数	9,425MHz	—
送信電力(Peak)	36.8dBW	H : 2400W V : 2400W
アンテナ利得	29.6dBi	—
EIRP	66.4dBW	指定のない限り H/V 同時送信
送信ビーム幅	方位 : 1.2° 仰角 : ファンビーム	—
アンテナ回転速度	停止(理学部 3 号館方向)	—
PRF	1,533Hz	—
変調形式	長 : QON 短 : PON	—
パルス幅(デューティ)	長 32 $\mu$ s(4.91%) 短 : 1 $\mu$ s(0.153%)	—
チャープ信号掃引帯域幅	1.63MHz	—

表 4.2-2 BS 受信アンテナ諸元(市場流通品)

項目	A 社	B 社	C 社	E 社
チャンネル番号	BS-11ch			
RF 周波数(中心)	11.91928GHz			
波長	0.025m			
局発周波数	10.678GHz			
IF 周波数(中心)	1241.28MHz			
偏波	右旋円偏波			
アンテナ開口率	0.45m			
アンテナ利得(標準値)	33.8dBi	33.9dBi	34.0dBi	33.8dBi
受信 C/N(BS-11ch)	20.0dB	18.4dB	18.7dB	19.7dB
備考				

表 4.2-3 BS 受信アンテナ諸元(試作品)

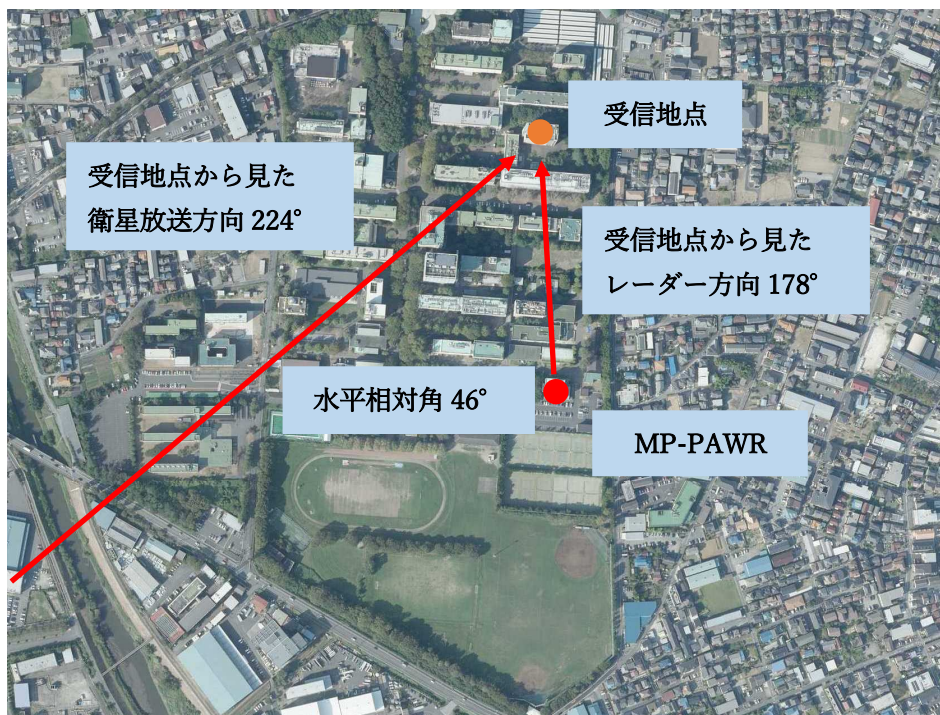
項目	試作品①	試作品②	試作品③
チャンネル番号	BS-11ch		
RF 周波数(中心)	11.91928GHz		
波長	0.025m		
局発周波数	10.678GHz		
IF 周波数(中心)	1241.28MHz		
偏波	右旋円偏波		
アンテナ開口率	0.45m		
アンテナ利得(標準値)	33.8dBi	33.9dBi	34.0dBi
受信 C/N(BS-11ch)	20.6dB	19.9dB	20.8dB
備考			

表 4.2-4 BS 放送信号諸元

項目	諸元等
伝送方式	ISDB-S
シンボルレート	28.86Mbaud
ロールオフ率	0.35
占有帯域幅	34.5MHz
変調方式	Trellis coded 8PSK
誤り訂正方式	畳込み符号 + Reed Solomon 符号
所要 C/N	10.7dB

#### 4. 3 位置関係

受信地点から見た MP-PAWR と衛星方向の水平相対角は  $46^\circ$  である(図 4.3-1 参照)。



下記 URL の画像を加工

<https://mapps.gsi.go.jp/contentsImageDisplay.do?specificationId=1855782&isDetail=true>

図 4.3-1 位置関係

#### 4. 4 画像破綻 Cave/Ipeak 測定

MP-PAWR による干渉波により BS 受信画像が破綻する Cave/Ipeak 値を測定した。測定系統図を図 4.4-1 に示す。BS 信号においては電波伝搬経路によるレベル変動の影響を避けるため、予め BS 放送を受信して記録した BS キャプチャー信号を使用した。

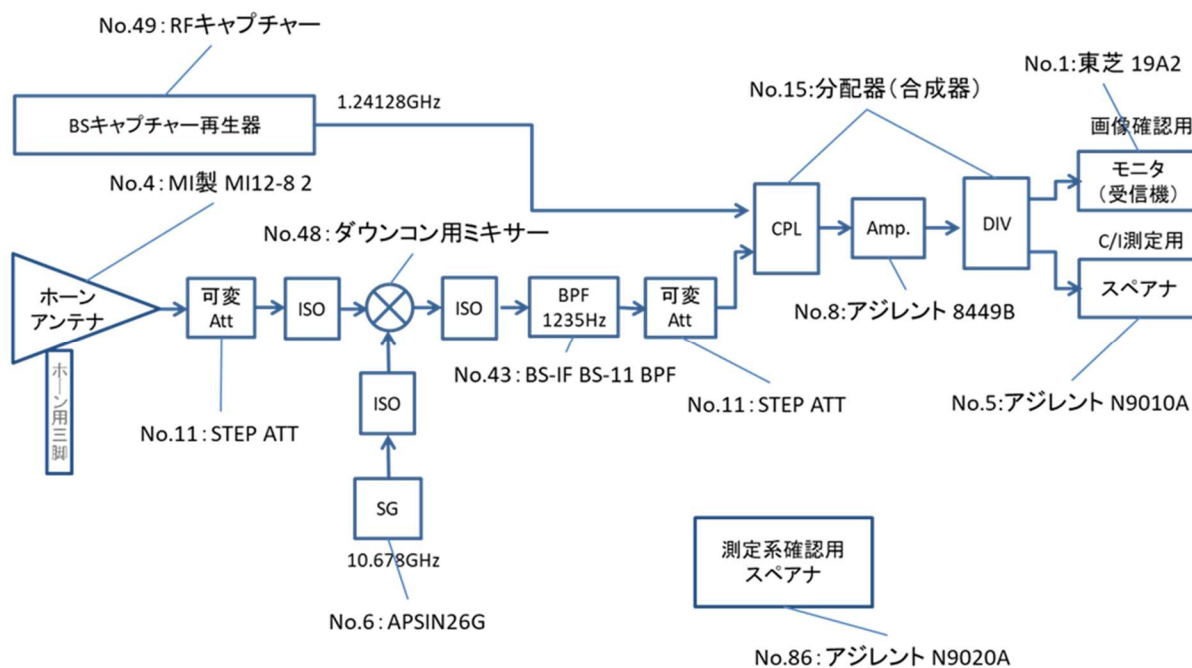


図 4.4-1 画像破綻 Cave/Ipeak 測定系統



画像破綻を評価する放送番組は放送大学(BS231)を使用した。測定結果を表 4.4-1 に示す。Cave/Ipeak が 12.6dB の場合、図 4.4-2 に示すように画像破綻(ブラックアウト)となった。画像が良好となったのは Cave/Ipeak が 13.6dB であり、この値を画像破綻 Cave/Ipeak と呼ぶ。

表 4.4-1 画像破綻 Cave/Ipeak 測定結果

C(dBm)	-32.9	-32.9	-32.9	-32.9
I(dBm)	-48.5	-47.5	-46.5	-45.5
Cave/Ipeak(dB)	15.6	14.6	13.6	12.6
画像	良好	良好	良好	破綻 (ブラックアウト)



図 4.4-2 画像破綻時の測定画像

#### 4. 5 干渉試験による BS 受信画像測定

BS 受信アンテナを放送衛星 BSAT-4a に指向させて BS-11ch を受信した状態で、MP-PAWR からレーダー信号を送信し、画像破綻の有無を確認する。測定系統を図 4.5-1 に示す。

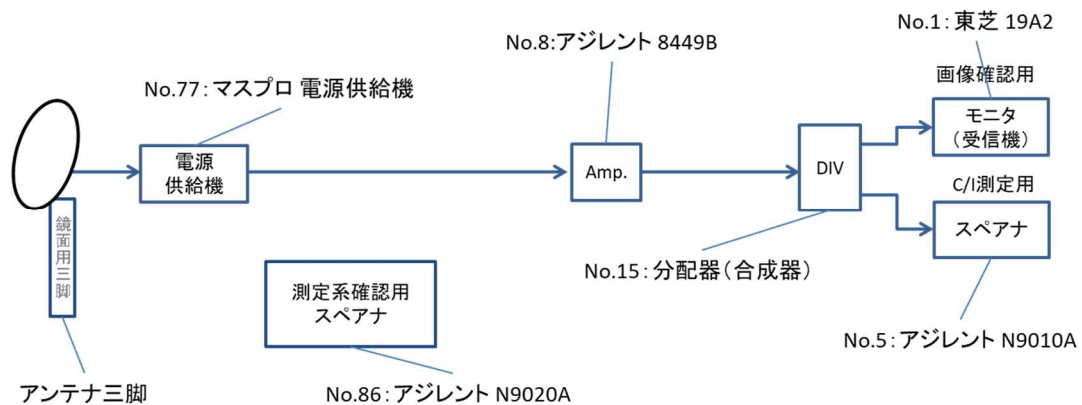


図 4.5-1 干渉試験による BS 受信画像測定系統

MP-PAWR 信号による干渉試験の BS 受信画像結果を表 4.5-1 に示す。A 社と試作①～③は画像破綻が起こらなかったが、B 社、C 社、E 社は瞬時に破綻(ブラックアウト)した。

表 4.5-1 MP-PAWR 信号による干渉試験の BS 受信画像測定結果

	A 社	B 社	C 社	E 社	試作①	試作②	試作③
測定結果	良好	破綻	破綻	破綻	良好	良好	良好

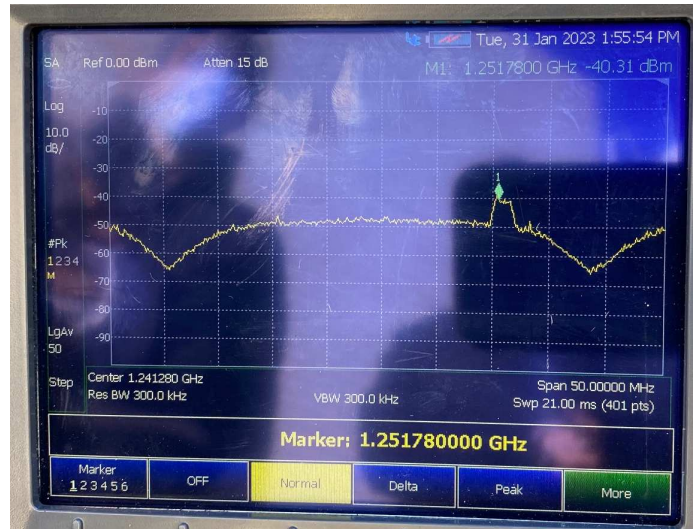
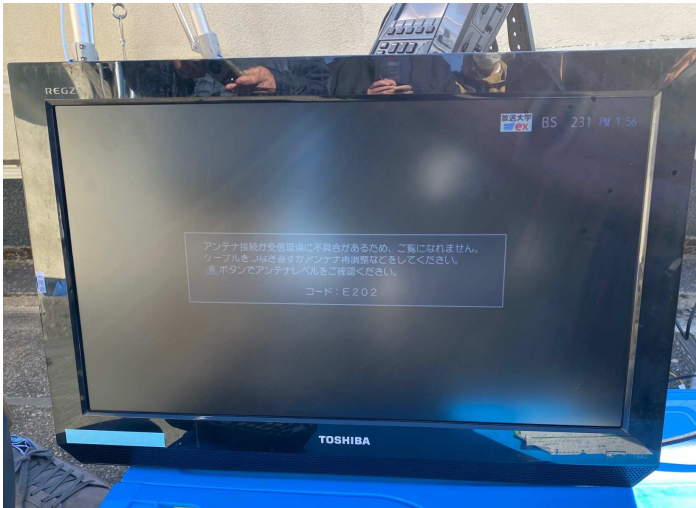


図 4.5-2 BS 受信画像破綻時のブラックアウト画像とスペアナの観測波形例

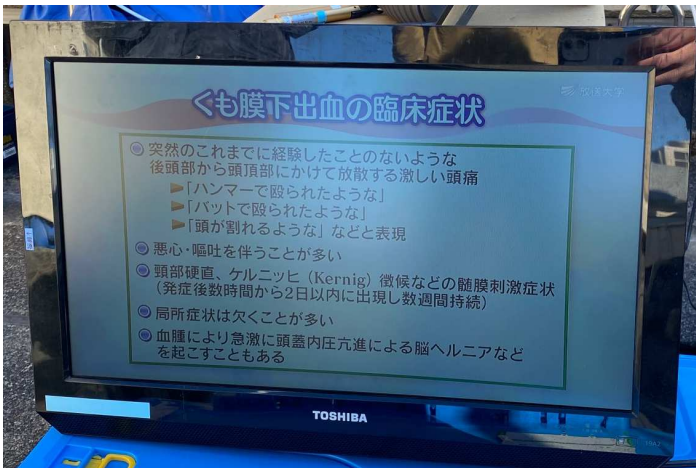


図 4.5-3 BS 受信画像良好時の受信画像とスペアナの観測波形例

## 第5章 まとめ

### 5. 1 共用条件の整理

#### 5. 1. 1 所要離隔距離の計算

昨年度検討された所要離隔距離の計算方法を用いて、今年度測定したイメージ妨害抑圧比S+アンテナ識別度Dの各測定値から、所要離隔距離を計算する。以下に計算条件、計算方法を示す。

<計算条件>

○計算周波数：

- ・BS-1ch 11.72748GHz、イメージ周波数 9.62852GHz
- ・BS-11ch 11.931GHz、イメージ周波数 9.425GHz（レーダー周波数）
- ・BS-23ch 12.14944GHz、イメージ周波数 9.20656GHz

BS 右旋帯域の最小周波数と最大周波数と MP-PAWR 周波数を選定した。

○アンテナ仰角：仰角 29°（稚内）、仰角 38°（東京）、仰角 57°（石垣）

最小仰角と最大仰角、最も受信世帯密集地域である東京を選定した。

○各種計算パラメータ

所要離隔距離を計算する為に必要なパラメータを表 5.1-1 に示す。

表 5.1-1 所要離隔計算パラメータ

項目	値	備考
BS 受信 PFD (dBW/m <sup>2</sup> /34.5MHz)	稚内：-104.3	東京：-102.6 石垣：-104.3
画像破綻 Cave/Ipeak (dB)	13.5	21 年度に埼玉大学屋外試験で測定した画像破綻 Cave/Ipeak を使用。
M：マージン (dB) ※	12.2	ITU-R S.1432 から引用。
S：イメージ妨害抑圧比 (dB) + D：アンテナ識別度 (dB)	116.3	A 社アンテナを稚内に設置した BS-23ch の例。
レーダーEIRP (dBW)	66.4	MP-PAWR 信号諸元より。
R：所要離隔距離 (m)	2602.5	

※降雨減衰による劣化に対するマージン

<計算方法>

① 気象レーダーから BS/CS 放送受信設備への許容干渉 PFD Ir は以下の式で表される。

$$\text{PFD Ir} = \text{BS 受信 PFD} - \text{画像破綻 Cave/Ipeak} - M + S + D$$

② 気象レーダーPFD PAWR は、以下の式で表される。

$$\text{PFD PAWR} = \text{レーダーEIRP} - 10 \log (4 \pi R^2)$$

③ PFD Ir と PFD PAWR が同じ値になる距離が、R：所要離隔距離となる。

## 5. 1. 2 所要離隔距離の計算結果

各アンテナの所要離隔距離の最悪値を表 5.1-2 に示す。

表 5.1-2 各アンテナの所要離隔距離計算結果

アンテナ		S+D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
市場流通品 右左旋アンテナ	A社 (BS-23 稚内)	117.1	2602.5	638.8
	B社 (BS-1 稚内)	83.2	129120.5	31695.3
	C社 (BS-1 稚内)	82.1	147026.3	36090.7
	D社 (BS-23 石垣)	114.2	3634.1	892.1
右旋アンテナ (2014~2016年品)	E社 (BS-1 稚内)	77.5	248825.6	61079.4
試作品	① (BS-23 石垣)	141.5	156.8	38.5
	② (BS-1 石垣)	136.7	271.0	66.5
	③ (BS-23 石垣)	117.0	2632.7	646.2

○試作①が 156.8m、②が 271.0m の所要離隔距離となった。

○試作③が 2632.7m、A 社が 2602.5m でほぼ同等の所要離隔距離となった。

(1) BS-1ch、各仰角での計算結果 (S+D は、水平面パターンの最小値 (最悪値))

表 5.1-3 仰角 29° の所要離隔距離 (BS-1ch)

	S+D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度-2°)	124.3	101.8	22.6	1135.4	278.7
B社(離軸角度+118°)	83.2	54.2	28.9	129120.5	31695.3
C社(離軸角度+130°)	82.1	53.9	28.2	147026.3	36090.7
D社(離軸角度+117°)	126.1	99.7	26.5	922.6	226.5
E社(離軸角度+123°)	77.5	48.0	29.5	248825.6	61079.4
試作①(離軸角度-175°)	142.9	140.0	3.0	132.9	32.6
試作②(離軸角度-23°)	139.8	129.7	10.1	190.6	46.8
試作③(離軸角度+117°)	130.3	105.5	24.9	566.6	139.1

表 5.1-4 仰角 38° の所要離隔距離 (BS-1ch)

	S+D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度-11°)	126.9	101.8	25.1	697.7	171.3
B社(離軸角度+120°)	83.5	54.2	29.2	103073.0	25301.4
C社(離軸角度-130°)	82.4	53.9	28.6	115889.8	28447.6
D社(離軸角度-12°)	127.2	99.7	27.6	669.0	164.2
E社(離軸角度+123°)	78.1	48.0	30.1	191115.1	46913.2
試作①(離軸角度+79°)	142.9	140.0	2.9	110.0	27.0
試作②(離軸角度-13°)	138.9	129.7	9.2	175.2	43.0
試作③(離軸角度+115°)	131.5	105.5	26.0	409.2	100.4

表 5.1-5 仰角 57° の所要離隔距離 (BS-1ch)

	S + D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度+3°)	124.9	101.8	23.2	1054.6	258.9
B社(離軸角度+175°)	86.5	54.2	32.2	87992.4	21599.6
C社(離軸角度-131°)	82.0	53.9	28.1	147858.1	36294.9
D社(離軸角度-12°)	126.8	99.7	27.1	855.1	209.9
E社(離軸角度-121°)	77.5	48.0	29.6	247739.4	60812.8
試作①(離軸角度-134°)	142.6	140.0	2.6	138.2	33.9
試作②(離軸角度-11°)	136.7	129.7	7.1	271.0	66.5
試作③(離軸角度+4°)	130.7	105.5	25.2	543.9	133.5

(2) BS-11ch(レーダー周波数)各仰角での計算結果  
(S+D は、水平面パターンの最小値(最悪値))

表 5.1-6 仰角 29° の所要離隔距離 (BS-11ch)

	S + D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度-123°)	124.8	110.9	13.9	1072.0	263.3
B社(離軸角度+118°)	91.9	62.0	29.9	47380.0	11625.0
C社(離軸角度+129°)	93.9	64.4	29.4	37600.0	9234.1
D社(離軸角度-127°)	128.1	110.2	17.8	733.5	180.1
E社(離軸角度+129°)	91.8	61.0	30.8	47900.0	11759.7
試作①(離軸角度-45°)	143.1	141.5	1.6	130.5	32.0
試作②(離軸角度-36°)	142.2	140.9	1.2	146.4	35.9
試作③(離軸角度-124°)	127.0	111.4	15.6	833.0	204.4

表 5.1-7 仰角 38° の所要離隔距離 (BS-11ch)

	S + D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度-124°)	124.9	110.9	14.0	874.0	214.5
B社(離軸角度+119°)	92.1	62.0	30.1	38150.0	9362.6
C社(離軸角度+130°)	94.1	64.4	29.7	30500.0	7437.0
D社(離軸角度-9°)	125.8	110.2	15.6	787.8	193.4
E社(離軸角度-119°)	91.5	61.0	30.5	40869.1	10032.2
試作①(離軸角度+16°)	142.7	141.5	1.3	112.6	27.6
試作②(離軸角度-4°)	142.8	140.9	1.9	111.3	27.3
試作③(離軸角度-127°)	128.2	111.4	16.8	597.6	146.7

表 5.1-8 仰角 57° の所要離隔距離 (BS-11ch)

	S+D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度+6°)	125.0	110.9	14.1	1048.1	257.3
B社(離軸角度+175°)	94.7	62.0	32.8	34308.0	8421.6
C社(離軸角度-130°)	93.9	64.4	29.5	37617.9	9234.1
D社(離軸角度-1°)	125.7	110.2	15.5	966.9	237.4
E社(離軸角度-120°)	91.0	61.0	30.0	52528.5	12894.2
試作①(離軸角度+74°)	142.4	141.5	0.9	141.4	34.7
試作②(離軸角度+11°)	140.0	140.9	0.9	186.4	45.8
試作③(離軸角度+24°)	129.2	111.4	17.8	646.2	158.6

(3) BS-23ch、各仰角での計算結果 (S+D は、水平面パターンの最小値 (最悪値))

表 5.1-9 仰角 29° の所要離隔距離 (BS-23ch)

	S+D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度-126°)	117.1	93.7	23.4	2602.5	638.8
B社(離軸角度+115°)	93.0	64.0	29.0	41725.0	10242.3
C社(離軸角度+127°)	108.9	80.1	28.8	6689.5	1642.1
D社(離軸角度-127°)	116.1	93.1	23.0	2920.1	716.8
E社(離軸角度+113°)	98.8	72.0	26.7	21399.9	5252.9
試作①(離軸角度+8°)	141.8	140.2	1.6	151.5	37.2
試作②(離軸角度-52°)	140.4	129.8	10.7	178.0	43.7
試作③(離軸角度-125°)	117.6	93.8	23.8	2456.9	603.1

表 5.1-10 仰角 38° の所要離隔距離 (BS-23ch)

	S+D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度-104°)	116.3	93.7	22.7	2351.8	577.3
B社(離軸角度+117°)	92.9	64.0	28.9	34785.4	8528.8
C社(離軸角度-129°)	108.5	80.1	28.5	5772.9	1417.1
D社(離軸角度+127°)	115.7	93.1	22.6	2520.0	618.6
E社(離軸角度-118°)	100.0	72.0	28.0	15360.1	3770.5
試作①(離軸角度+46°)	141.7	140.2	1.5	126.3	31.0
試作②(離軸角度-47°)	139.9	129.8	10.1	155.4	38.1
試作③(離軸角度-128°)	116.5	93.8	22.7	2298.2	564.1

表 5.1-11 仰角 57° の所要離隔距離 (BS-23ch)

	S+D[dB]	S[dB]	D[dB]	離隔距離[m] マージン有	離隔距離[m] マージン無
A社(離軸角度-120°)	117.2	93.7	23.6	2572.7	631.5
B社(離軸角度+174°)	95.2	64.0	31.2	32388.8	7950.5
C社(離軸角度-130°)	109.4	80.1	29.3	6315.3	1550.2
D社(離軸角度-1°)	114.2	93.1	21.0	3634.1	892.1
E社(離軸角度-119°)	99.1	72.0	27.1	20672.5	5074.5
試作①(離軸角度+37°)	141.5	140.2	1.3	156.8	38.5
試作②(離軸角度-15°)	139.5	129.8	9.8	197.5	48.5
試作③(離軸角度+2°)	117.0	93.8	23.2	2632.7	646.2

### 5. 1. 3 対策案と課題

今回の調査検討により分かった、各試作品の課題

試作① 所要離隔距離 156.8m

- 課題 (1) 新たなイメージ帯域の発生
- 課題 (2) 雑音指数 (NF) の劣化

試作② 所要離隔距離 271.0m

- 課題 (2) 雑音指数 (NF) の劣化

試作③ 所要離隔距離 2632.7m

- 課題 (3) イメージ妨害抑圧比 100dB 未達成

課題に対する詳細説明と対応検討

課題 (1) 新たなイメージ帯域の発生

ハイローカルを追加した為、新たに 15.056~16.106GHz にイメージ帯域が発生する。16GHz の干渉波を想定し、イメージ妨害抑圧比 S+アンテナ識別度 D を測定したところ、アンテナ仰角 38° で 107.6dB であった。

これは、今回の気象レーダーと同じ EIRP の場合、所要離隔距離が 6403.9m 必要となり、新たな干渉問題が発生する可能性がある。

○対応策検討

新たなイメージ帯域の干渉を改善するためには、BPF の追加等の対策が必要となるため、雑音指数 (NF) の更なる劣化が見込まれるため、ハイローカル (13.903GHz) による対策モデルの実用化は現実的では無いと考える。

課題 (2) 雑音指数 (NF) の劣化

試作①の NF は 1.19dB、試作②の NF は 1.14dB であり、市場流通品の測定値に比べると、約 0.5dB 劣化している。試作①は、新たなイメージ帯域の発生により、実用化の見込みは低いため、試作②において回線設計を実施し、雑音指数 (NF) 劣化の影響度を確認した。回線設計結果を表 5.1-12 に示す。

回線設計は、ARIB STD B44 の設定条件で、NF1dB と市販品カタログ値の NF0.5dB も合わせて実施した。

表 5.1-12 <回線設計結果>BS 放送受信の年間サービス時間率の計算

	NF [dB]	年間サービス 時間率[%]	最悪月サービス 時間率[%]	年間遮断 時間[分]	試作②の 遮断時間の増分 [分]	試作②の 遮断時間の増分 [%]
試作②	1.14	99.92	99.68	421	—	—
ARIB 規格の 計算例	1.00	99.93	99.70	393	28	7.12
市販品 カタログ値	0.50	99.94	99.75	315	106	33.65

○対応策検討

ハイローカルの追加、BPF の追加により、雑音指数 (NF) 劣化 (BS 放送受信の年間サービス時間率が劣化) するため、今後の課題として、雑音指数 (NF) を維持しながら、イメージ妨害抑圧比を改善する必要がある。

課題 (3) イメージ妨害抑圧比 100dB 未達成

一次放射器の円形導波管の設計変更により、イメージ妨害抑圧比の改善を図ったが、目標値の 100dB を達成することが出来なかった。

○対応策検討

一次放射器の円形導波管の検討だけでは、イメージ妨害抑圧比の改善が不十分であった。イメージ妨害抑圧比を改善するためには、BPF の追加が現実的であると考える。

5. 1. 4 対策対象台数について

5. 1. 4. 1 全世帯を対象とした検討

現在の BS 受信設備は、約 1,689 万台が設置(\*7)されていると想定され、すべての受信設備機器を対策品に交換するには、巨大なコストが必要である。

(\*7)2021 年 10 月 29 日付 放送を巡る諸課題に関する検討会 衛星放送の未来像に関するワーキンググループ報告書内の「図表 9 4K・8K 受信可能世帯数推計(直接受信)」から、個別受信 1660 万世帯=受信アンテナ 1660 万台と集合住宅 1520 万世帯から集合住宅 1 棟あたりの平均個数 52 戸(一般社団法人マンション管理業協会 令和 4 年マンション管理受託動向調査結果より)で除した約 29 万棟=約 29 万台の合計値

5. 1. 4. 2 MP-PAWR1 台設置した場合の交換台数検討

MP-PAWR を 1 台設置した場合、E 社から試作品①、②、③にそれぞれ交換した場合の交換台数を試算する。所要離隔距離の一番大きい E 社にて計算を実施した。

<計算条件>

○日本面積：2,194 km<sup>2</sup>

○全国世帯数：55,830,000 世帯 (令和 2 年国勢調査より引用)

<計算方法>

① 日本面積と全国世帯数から、世帯密度を算出する。

$$\text{世帯密度 [世帯/km}^2\text{]} = \text{全国世帯数 [世帯]} / \text{日本面積 [km}^2\text{]}$$



② E社及び、試作品①、②、③の所要離隔距離の面積を算出する。

$$\text{所要離隔距離の面積 E社} [\text{km}^2] = \pi \times \text{所要離隔距離 E社}^2 [\text{km}]$$

③ E社から試作品①、②、③にそれぞれ交換した場合のアンテナ交換対象地域を算出する。

$$\begin{aligned} \text{アンテナ交換対象地域 E社} \Rightarrow \text{試作①} [\text{km}^2] &= \text{所要離隔距離の面積 E社} [\text{km}^2] \\ &\quad - \text{所要離隔距離の面積 試作①} [\text{km}^2] \end{aligned}$$

④ アンテナ交換対象世帯数（交換台数）

$$\begin{aligned} \text{アンテナ交換対象世帯数 E社} \Rightarrow \text{試作①} [\text{世帯}] &= \text{世帯密度} [\text{世帯}/\text{km}^2] \times \\ &\quad \text{アンテナ交換対象地域 E社} \Rightarrow \text{試作①} [\text{km}^2] \times 0.5 \ast \end{aligned}$$

※MP-PAWR とアンテナの位置関係や、地形・建物等による遮蔽により、対象地域においても干渉を受けない場合が半数あると想定し、補正係数を 0.5 とした。

上記計算方法より E社から各試作品に交換した場合の、MP-PAWR1 台設置した場合の交換対象台数を表 5.1-13 に示す。

表 5.1-13 MP-PAWR1 台設置した場合の交換対象世帯数（交換台数）（E社から各試作品に交換）

	世帯密度 [世帯/km <sup>2</sup> ]	所要離隔距離 [km]	所要離隔距離の 面積 [km <sup>2</sup> ]	アンテナ交換 対象地域 [km <sup>2</sup> ]	アンテナ交換世帯数 (交換台数) [世帯]
E社	148	61.079	11,720.16	—	—
試作①		0.157	0.08	5,860.04	867,286
試作②		0.271	0.23	5,859.97	867,276
試作③		2.633	21.78	5,849.19	865,681

上記交換台数は、各世帯に 1 台 BS 放送受信設備が設置されていると仮定した場合の計算である。実際には、BS 放送受信設備が設置されていない世帯もあるため、今後、その割合も加味して交換台数の検討が必要である。

また、④アンテナ交換対象世帯数（交換台数）の計算においても、MP-PAWR とアンテナの位置関係や、地形・建物等による補正係数を 0.5 としたが、今後、実情に合った補正係数の検討が必要である。

#### 5. 1. 5 その他（懸念事項）

今回の所要離隔検討により、試作①は、降雨減衰による劣化に対するマージンが無い場合は、所要離隔距離 38.5m という結果となった。しかし、実際に気象レーダーから 38.5m の場所に BS 放送受信設備を設置した場合、気象レーダー信号の過入力による伝送性能劣化の可能性があり、今後の検証課題であると考えます。

#### 5. 2 まとめ

今回試作した、試作①、試作②は、9.4GHz 帯 MP-PAWR と BS 放送受信設備の所要離隔距離が、試作①：156.8m、試作②：271m と 21 年度に報告した最大 65,373m を大幅に改善する結果となった。ただし、試作①は、新たなイメージ帯域の発生、試作①、②は、雑音指数（NF）劣化

に伴う受信サービス時間率の劣化の課題が出た。

試作①と②を比較すると、新たなイメージ帯域の発生が無い分、試作②の方が対策品に適していると考えられる。しかし、試作品①、②の対策は、理論的に雑音指数 (NF) の劣化は避けられず、MP-PAWR からの干渉劣化は避けられないと言える。

一方試作③は、所要離隔距離 2,632.7m で 65,373m よりは改善が見られたが、合わせて調査した市場流通品にも、所要離隔距離 2,602.5m の BS アンテナがあった。

[参考]

参考1 試作② (BPF 追加) の NF 値 1.14 の 回線設計例

表1 BS回線設計 (16APSK(7/9) 受信点:東京 受信アンテナ径:45cm NF:1.14dB)

項目	単位	晴天時	降雨時
衛星 E I R P $P_e$	dBW	60.0	60.0
出力バックオフ $B_o$	dB	2.2	2.2
自由空間損失 $L_f$	dB	205.6	205.6
大気吸収減衰の合計	dB	0.1	3.9
大気減衰	dB	0.1	0.1
降雨減衰 $L_r$	dB	0.0	3.3
雲による減衰 $L_c$	dB	0.0	0.5
シンチレーション	dB	0.0	0.3
受信アンテナ口径 $D$	cm	45.0	45.0
受信アンテナ開口効率 $\eta$	%	70.0	70.0
受信アンテナ利得 $G_r$	dBi	33.5	33.5
ポインティング損失	dB	0.1	0.1
受信機入力 $C$	dBW	-112.3	-116.1
p.f.d.	dBW/m <sup>2</sup>	-102.6	-102.6
ボルツマン定数 $K$	dB/Hz	-228.6	-228.6
アンテナ雑音温度	K	50.0	202.9
L N C 雑音指数 $N F$	dB	1.14	1.14
L N C 雑音指数 $N F'$	K	87.0	87.0
受信機雑音温度 $T$	K	137.0	290.0
受信機雑音温度 $T'$	dBK	21.4	24.6
性能指数 $G/T$	dB/K	12.1	8.9
受信帯域幅 $B$	MHz	33.7561	33.7561
受信帯域幅 $B'$	dB · Hz	75.3	75.3
雑音入力 $N$	dBW	-131.9	-128.7
交差偏波による干渉 $C/I$	dB	22.9	22.9
交差偏波 E I R P	dBW	60.0	60.0
衛星受信 (アップリンク) X P D	dB	30.0	30.0
衛星送信 (ダウンリンク) X P D	dB	30.0	30.0
受信アンテナ X P D	dB	25.0	25.0
ダウンリンク $C/N$	dB	19.7	12.6
隣接チャンネル干渉	dB	60.3	60.3
総合 $C/(N+I)$	dB	18.0	12.2
所要 $C/N$	dB	12.2	12.2
システムマージン	dB	5.8	0.0
年間サービス時間率	%	-	99.92
最悪月サービス時間率	%	-	99.68

参考 2 ARIB STD B44 回線設計例

表 2 BS 回線設計 (16APSK(7/9) 受信点: 東京 受信アンテナ径: 45cm NF: 1.0dB)

項目	単位	晴天時	降雨時
衛星 E I R P $P_e$	dBW	60.0	60.0
出力バックオフ $B_o$	dB	2.2	2.2
自由空間損失 $L_f$	dB	205.6	205.6
大気吸収減衰の合計	dB	0.1	4.0
大気減衰	dB	0.1	0.1
降雨減衰 $L_r$	dB	0.0	3.4
雲による減衰 $L_c$	dB	0.0	0.5
シンチレーション	dB	0.0	0.3
受信アンテナ口径 $D$	cm	45.0	45.0
受信アンテナ開口効率 $\eta$	%	70.0	70.0
受信アンテナ利得 $G_r$	dBi	33.5	33.5
ポインティング損失	dB	0.1	0.1
受信機入力 $C$	dBW	-112.3	-116.2
p.f.d.	dBW/m <sup>2</sup>	-102.6	-102.6
ボルツマン定数 $K$	dB/Hz	-228.6	-228.6
アンテナ雑音温度	K	50.0	206.7
L N C 雑音指数 $N F$	dB	1.0	1.0
L N C 雑音指数 $N F'$	K	75.1	75.1
受信機雑音温度 $T$	K	125.1	281.8
受信機雑音温度 $T'$	dBK	21.0	24.5
性能指数 $G/T$	dB/K	12.5	9.0
受信帯域幅 $B$	MHz	33.7561	33.7561
受信帯域幅 $B'$	dB · Hz	75.3	75.3
雑音入力 $N$	dBW	-132.3	-128.8
交差偏波による干渉 $C/I$	dB	22.9	22.9
交差偏波 E I R P	dBW	60.0	60.0
衛星受信 (アップリンク) X P D	dB	30.0	30.0
衛星送信 (ダウンリンク) X P D	dB	30.0	30.0
受信アンテナ X P D	dB	25.0	25.0
ダウンリンク $C/N$	dB	20.1	12.6
隣接チャンネル干渉	dB	60.3	60.3
総合 $C/(N+I)$	dB	18.2	12.2
所要 $C/N$	dB	12.2	12.2
システムマージン	dB	6.0	0.0
年間サービス時間率	%	-	99.93
最悪月サービス時間率	%	-	99.70

参考3 市販品（2022年）のカタログNF値0.5の回線設計例

表3 BS回線設計（16APSK(7/9）受信点：東京 受信アンテナ径：45cm NF：0.5dB）

項目	単位	晴天時	降雨時
衛星EIRP $P_e$	dBW	60.0	60.0
出力バックオフ $B_o$	dB	2.2	2.2
自由空間損失 $L_f$	dB	205.6	205.6
大気吸収減衰の合計	dB	0.1	4.5
大気減衰	dB	0.1	0.1
降雨減衰 $L_r$	dB	0.0	3.8
雲による減衰 $L_c$	dB	0.0	0.6
シンチレーション	dB	0.0	0.4
受信アンテナ口径 $D$	cm	45.0	45.0
受信アンテナ開口効率 $\eta$	%	70.0	70.0
受信アンテナ利得 $G_r$	dBi	33.5	33.5
ポインティング損失	dB	0.1	0.1
受信機入力 $C$	dBW	-112.3	-116.7
p.f.d.	dBW/m <sup>2</sup>	-102.6	-102.6
ボルツマン定数 $K$	dB/Hz	-228.6	-228.6
アンテナ雑音温度	K	50.0	219.1
LNC雑音指数 $NF$	dB	0.5	0.5
LNC雑音指数 $NF'$	K	35.4	35.4
受信機雑音温度 $T$	K	85.4	254.4
受信機雑音温度 $T'$	dBK	19.3	24.1
性能指数 $G/T$	dB/K	14.2	9.4
受信帯域幅 $B$	MHz	33.7561	33.7561
受信帯域幅 $B'$	dB・Hz	75.3	75.3
雑音入力 $N$	dBW	-134.0	-129.3
交差偏波による干渉 $C/I$	dB	22.9	22.9
交差偏波EIRP	dBW	60.0	60.0
衛星受信（アップリンク）XPD	dB	30.0	30.0
衛星送信（ダウンリンク）XPD	dB	30.0	30.0
受信アンテナXPD	dB	25.0	25.0
ダウンリンク $C/N$	dB	21.7	12.6
隣接チャンネル干渉	dB	60.3	60.3
総合 $C/(N+I)$	dB	19.2	12.2
所要 $C/N$	dB	12.2	12.2
システムマージン	dB	7.0	0.0
年間サービス時間率	%	-	99.94
最悪月サービス時間率	%	-	99.75