

(案)

情報通信審議会 情報通信技術分科会  
陸上無線通信委員会 報告概要

平成29年9月27日付け諮問第2040号

「気象レーダーの技術的条件」のうち

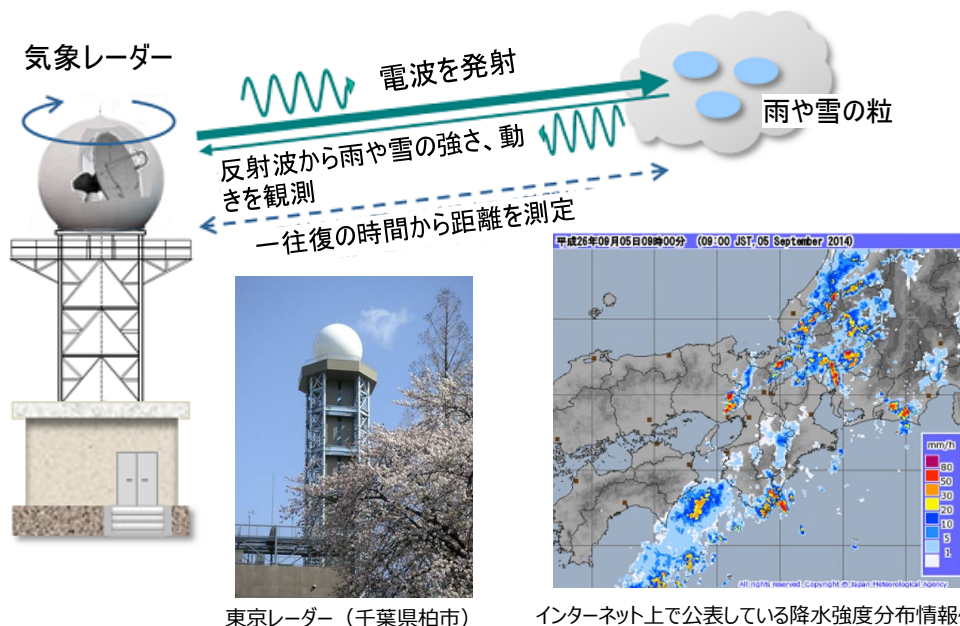
「5GHz帯及び9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術的条件」

---

令和3年※月※日  
陸上無線通信委員会

# 検討の背景

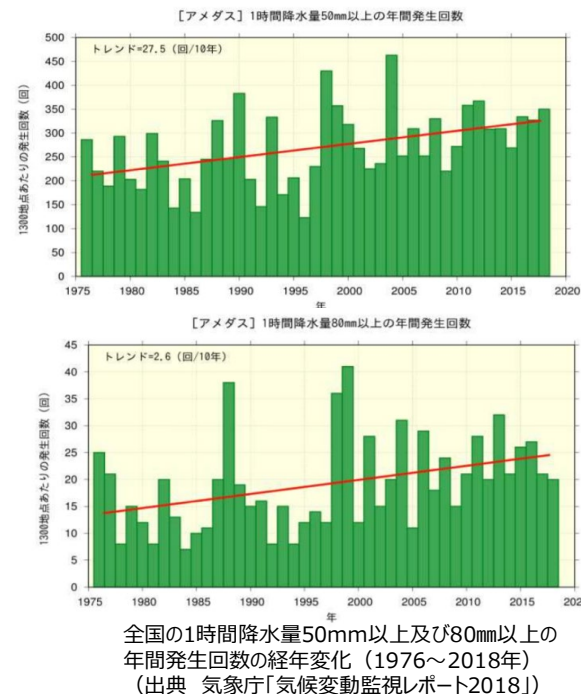
- 現在、気象レーダーは、その観測結果を基にした気象予報や災害情報が国民に広く提供され、国民生活の安心と安全に寄与。また、ゲリラ豪雨や大規模な水害の増加等を背景に、その重要性が更に高まっている。
- 従来から主に国の機関によって運用されている公的な目的で広域監視を行う目的の5 GHz 帯及び9.7GHz 帯の気象レーダー（以下「高性能型」という。）は、従来の電子管型から、狭帯域かつ低出力で安定性の高い固体素子型への移行が進んでおり、併せてパルスの送信方法等が多様化している。
- 他方、広域監視を目的とする気象レーダーのみでは、各交通機関の安全確保や危険回避対策の支援といった特化した要望に応えていくことが難しくなっており、迅速な設置及び運用が可能な、小型かつ廉価なX帯気象レーダー（以下「汎用型」という。）を導入することで、気象現象の早期感知等のニーズに応えることが可能となる。



東京レーダー（千葉県柏市）

インターネット上で公表している降水強度分布情報例

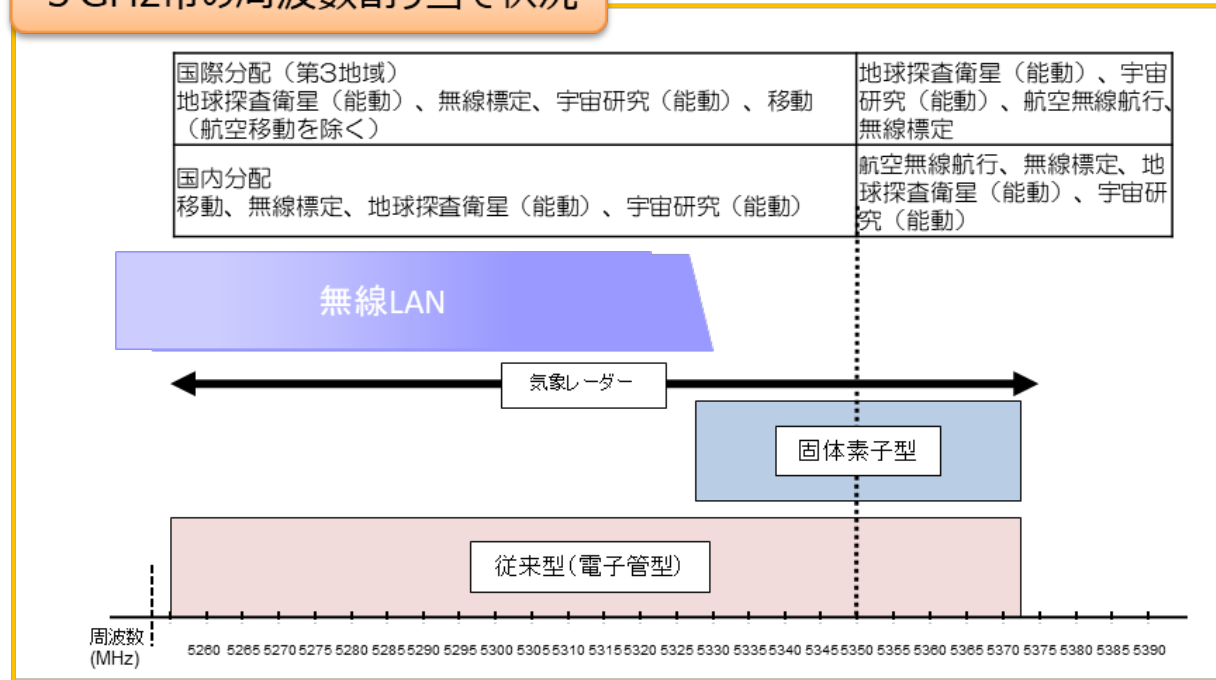
「気象レーダー観測の概要」（<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html>）を加工して作成



- 5 GHz 帯気象レーダーについて、固体素子型への移行に対応し、5.3GHz帯無線LANとの共用条件について検討。
- X帯気象レーダーのうち、より多くの地域での的確な観測を行うため導入が望まれる9.7GHz帯汎用型気象レーダーについて、同一システム間及び他システムとの共用条件を含めた技術的条件について検討。

- デジタル技術の発展により固体化MPLレーダーが開発され気象レーダーにおいて実用化された。これに伴い、チャンネル幅の狭帯域化、送信電力の低出力化が図られ、レーダー間の電波干渉低減が実現された。
- 他方、同一周波数帯域を共用する5.3GHz帯無線LANにおいては、無線アクセスシステムがレーダーパルスを検出した場合、同レーダー波と帯域が重複するチャンネルでの送信を停止する機能であるDFSの具備が必須となっている。
- 従って、無線LANと気象レーダーが周波数共用を行うに当たっては、固体化MPLレーダー（※）のパルスパターンに対応した新たなDFSの技術基準を策定する必要がある。  
※MP（マルチパラメーター）レーダー：水平偏波と垂直偏波を同時に送信・受信できるレーダー

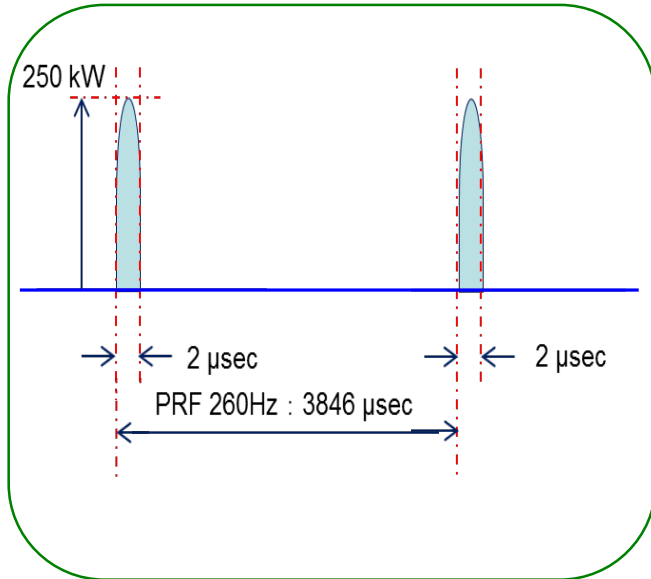
## 5 GHz帯の周波数割り当て状況



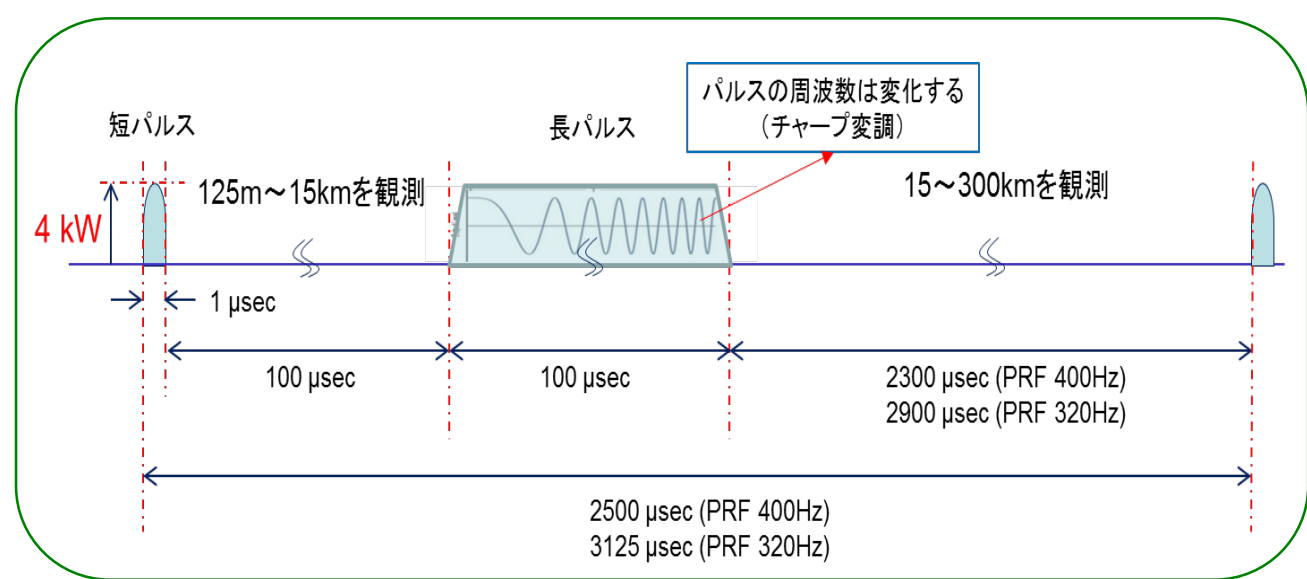
固体素子5GHz帯気象レーダーと5.3GHz帯無線LANとの共用条件について検討。

- DFSが検出すべきパルスパターンは、マグネトロンを想定した短パルスに基づき規定されていたが、固体化MPLレーダーは短パルスと長パルスを使用する。新たなDFSの技術基準を策定するに当たり、我が国で規定されている項目（パルスの変調方式、パルス幅、パルス繰り返し周波数（PRF）等）について見直すことが適当である。

【従来のパルス方式レーダー雨量計】



【固体化MPLレーダー】

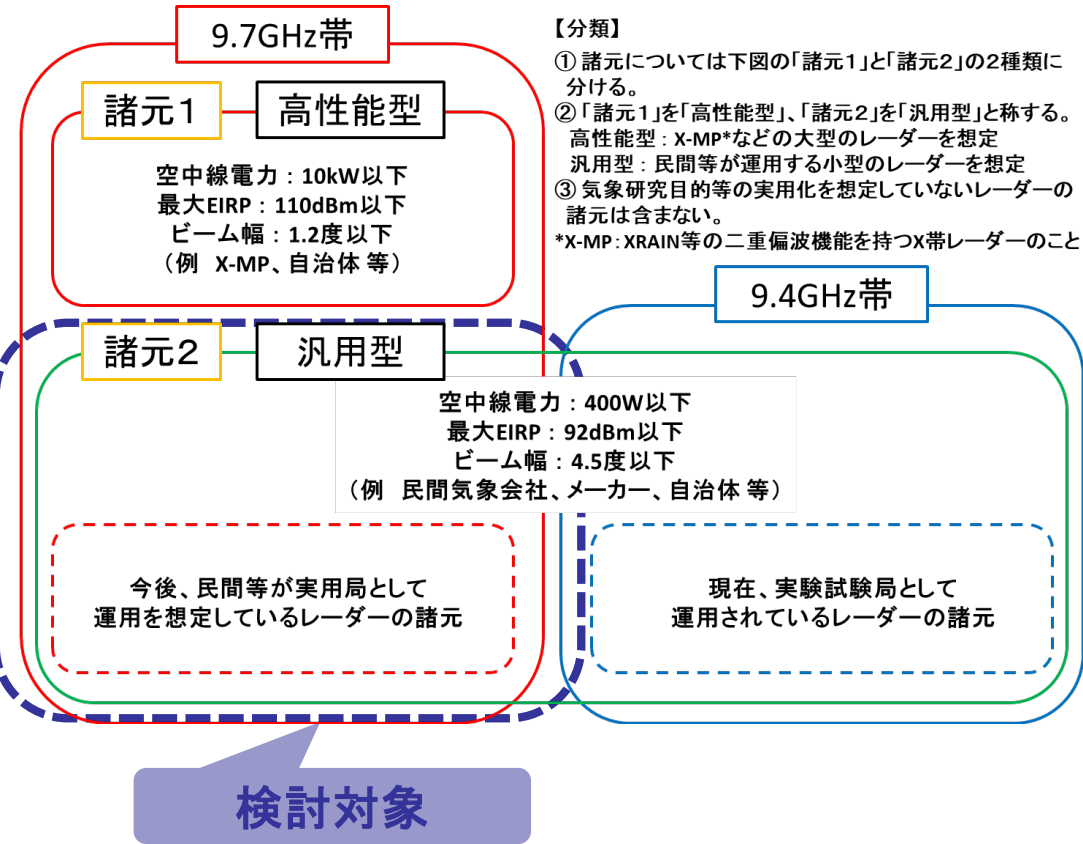


情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会5GHz帯無線LAN作業班にて行われた「次世代高効率無線LANの導入のための技術的条件」に係る検討において、無線LANとの共用に係るDFSのパルスパターンの見直しの検討を行い、制度整備がなされた。（令和元年7月11日）

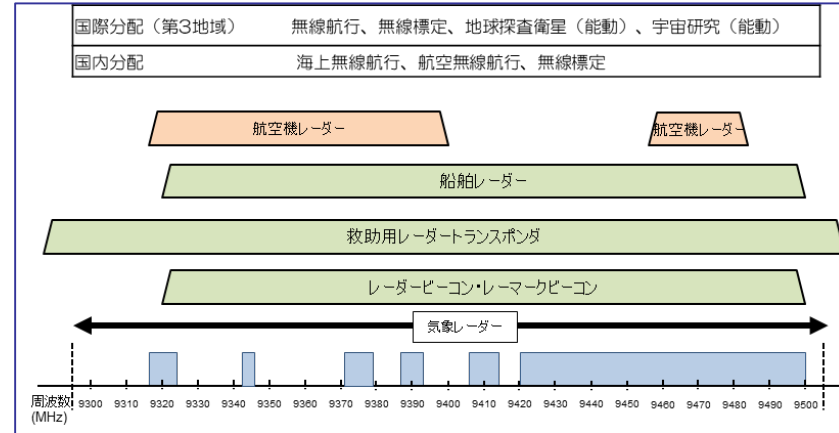
# X帯気象レーダーの現状

- X帯気象レーダーには9.4GHz帯と9.7GHz帯があり、両帯域での利用が想定されている。
- 9.4GHz帯汎用レーダーは、船舶レーダー及び航空機用気象レーダーとの共用条件の確立が必須であり、共用検討に時間を要する。

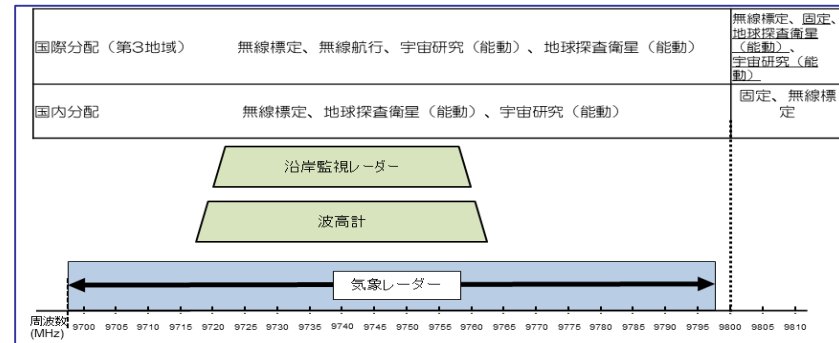
## X帯気象レーダの分類



## 9.4GHz帯の周波数割当状況



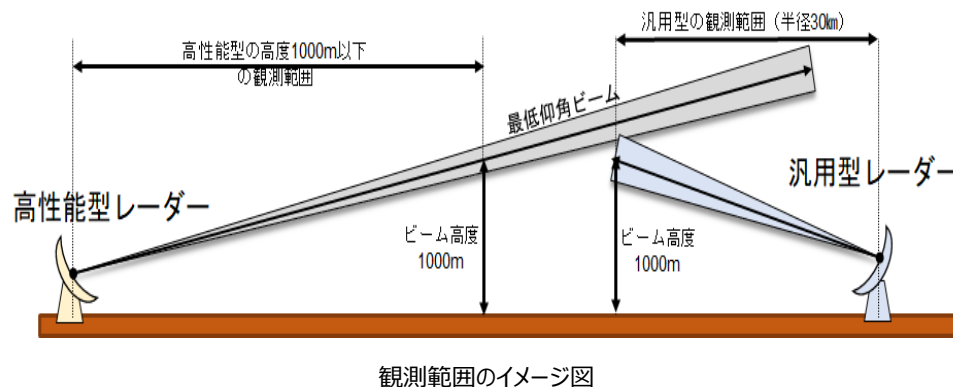
## 9.7GHz帯の周波数割当状況



今回の検討については9.7GHz帯汎用型を対象とし、諸元等の技術的条件を検討する。

- 9.7GHz帯汎用型気象レーダーの前提条件として、(1)高性能型の観測範囲外を補完すること、(2)高性能型気象レーダーに対して混信を与えないこと、の2点が挙げられる。

- 高性能型の観測範囲、観測条件を補完する条件として、高性能型気象レーダーの最低仰角におけるビームの高さが標高1000m以下となるレンジ範囲を低層の観測範囲と定義し、汎用型気象レーダーの観測範囲と一定比率（20%）以上重ならないとき、汎用型気象レーダーを設置する前提条件のひとつとする。
- ただし、地形によって高性能型気象レーダーのビームが遮蔽される場合はそれ以遠を観測範囲と見なさず、汎用型気象レーダーの観測範囲は半径30km以内とし、半径30kmでビームの高さは標高1000m以下とする。観測範囲の考え方のイメージは右図のとおりである。
- また、既に運用されている高性能型気象レーダーの観測上の課題を補完するという目的を鑑みると、高性能型気象レーダーの観測に対して混信を与えることは、公的な目的にも照らし、許容されない。



## 条件

- |    |   |
|----|---|
| 1. | <p>観測範囲の重複率が20%以下となること。<br/> <math display="block">\text{重複率} = (\text{重複する観測範囲の面積}) / (\text{汎用型の観測範囲の面積})</math>                     と定義する。<br/>                     ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能型気象レーダーの観測範囲<br/>                         最低仰角におけるビームの高さが標高1000m以下となるレンジ範囲<br/>                         ただし、地形によってビームが遮蔽される場合は、それ以遠は観測範囲と見なさない。</li> <li>・汎用型気象レーダーの観測範囲<br/>                         ビームの高さが標高1000m以下となる半径30kmのレンジ範囲</li> </ul> |
| 2. | <p>他の無線局の運用を阻害するような混信、その他妨害を与えないこと</p>  |

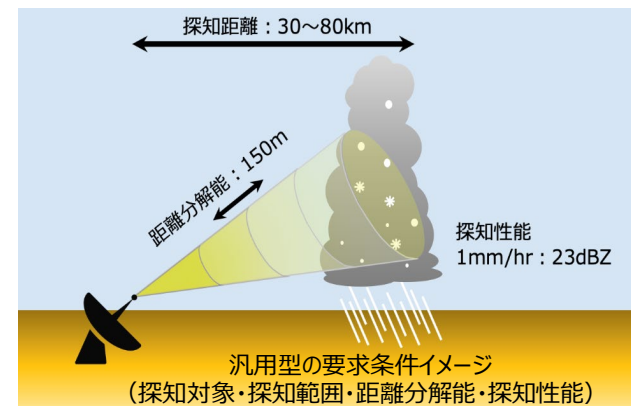
# 9.7GHz帯汎用型気象レーダーの要求条件

- 公的な気象レーダーの観測範囲外（山間部やブラインドエリアなど）でも局地的、突発的な気象現象を観測可能とするため、小型かつ設置が容易な気象レーダーを密に設置することが重要。
- 汎用型気象レーダ同士の混信条件は可能な限り緩和する必要がある。

項目	項目詳細	根拠
探知対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>雨・雪等の空間分布が捉えられること</li> <li>雨・雪等の強さが捉えられること</li> <li>雨・雪等の動きが捉えられること</li> <li>降水強度がより高精度に捉えられること</li> <li>雨・雪等の区別をするための融解層が捉えられること</li> <li>雨・雪等の種類が捉えられること</li> <li>X帯の電波は降雨減衰を受けるため、降雨減衰しても雨・雪等の観測が可能となること</li> </ul>	<p>雨・雪等の詳細な特徴を捉えるため、空間分布やその強さ、動きを捉えることが必要である。また、降水強度をより高精度に捉え、雨・雪等の区別をつけられる他、その種類も捉えることができることも望ましい。</p> <p>X帯の電波は降雨減衰するため、探知対象を正確に捉えるための技術的な条件が求められる。</p>
探知範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>雨雲・雪雲の動きが追尾できるような探知範囲となること。具体的には、レーダーからの距離が30～80 km</li> </ul>	<p>最大探知範囲は、交通機関が一定の路線を十分観測できる道府県相当の広さ、又は地方自治体が周辺の市町村も入る広さとする。</p> <p>下限の探知範囲は、局地的大雨をもたらす積乱雲（現象のサイズ：数km前後、現象の寿命：1時間、移動距離：30～40km程度）の観測ができる広さとする。</p>
距離分解能	<ul style="list-style-type: none"> <li>竜巻・突風・wind shearといった交通機関に影響があり得る現象を捉えることができる分解能であること</li> <li>積乱雲が検知できる、2 km程度の分解能を持つこと。具体的には、距離分解能が100～500 m</li> </ul>	<p>wind shear検知のためには、距離分解能150mは必要である。また、積乱雲が検知できる、2 km程度の空間分解能を持つことが求められる</p>
探知性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>ある探知範囲で一定強度以上の降水強度が検知できること</li> </ul>	<p>探知範囲内で、降水強度が（用途により）0.5mm/hr又は1 mm/hr以上の雨が検知できることが求められる。</p>

局地的かつ急変する気象現象を観測するために必要な気象レーダーの諸元についてまとめると、以下のとおりとなる。

- ①送信機の終段増幅器に固体素子を用いる。
- ②距離分解能は150m。
- ③必要な観測可能な範囲は30km以上。
- ④必要な感度は30km先までの全域で、1 mm/hrの雨が観測できる。
- ⑤気象現象に対する安全確保がなされるよう、気象レーダーの配置やスキャンパターン等が選択できること。
- ⑥必要なEIRPは89dBm（単偏波）あるいは92dBm（二重偏波）以下。
- ⑦ビーム幅は、4.5度以下。
- ⑧送信出力は、200W（単偏波）あるいは400W（二重偏波）以下。



- 高性能型気象レーダとの共用及び9.7GHz汎用気象レーダ同士の共用について、メイン-サイド、サイド-サイド（与干渉局-被干渉局）の条件において検討を行った。

## 検討の前提条件

混信の影響方向	条件
高性能型から汎用型	制限しない。
汎用型から高性能型	メイン-サイド及びサイド-サイドの混信を許容しない。
汎用型同士	メイン-サイドの混信は許容する。

高性能型は公的な目的のための観測を行っており、9.7GHz帯汎用型はそれを補完する目的で展開することから、高性能型が9.7GHz帯汎用型に与える混信に対しては許容する。  
また、9.7GHz帯汎用型から高性能型に対して、メイン-サイド及びサイド-サイドのパターンにおいても混信を与えないことを条件とする。

## 高性能型気象レーダーと汎用型気象レーダーの混信保護基準

	汎用型レーダー	高性能型レーダー
混信保護基準	サイド-サイドの混信で I/N 0dB 以下	メイン-サイドの混信で I/N -10dB 以下

汎用型気象レーダーは、単偏波観測を主体としており、混信保護基準は0dB（熱雑音）以下とするのが適当。  
一方、高性能型気象レーダーは要求条件が高く、二重偏波観測を主体としており、ITU-R勧告M.1849-2における混信保護基準に基づき、I/N=-10dBを適用する。

## 汎用型同士の離隔距離

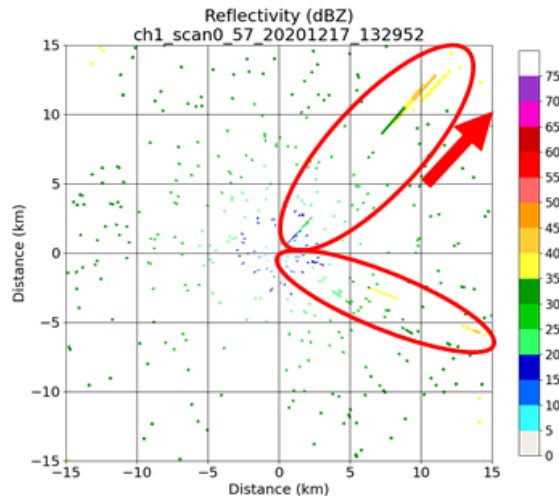
汎用型同士の共用条件	離調周波数	離隔距離
サイド-サイド	5 MHz	26km
	10MHz	7 km

汎用型気象レーダーについては、I/Nが0dB超で混信ありとし、サイドローブ-サイドローブでの混信のみを考慮する。

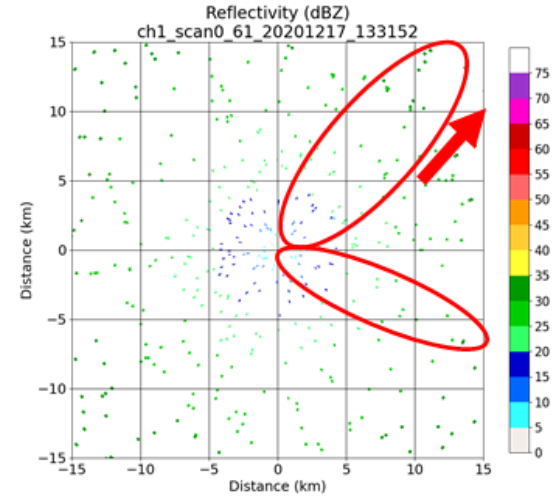
「この周波数の使用は、9.7GHz帯を使用する高性能型気象レーダーの運用に妨害を与えない場合に限る。」との付帯を付すこととする。



- 9.7GHz帯汎用型気象レーダーと沿岸監視レーダーとの混信除去に関する実験を行い共用についての検証を実施



汎用型気象レーダー（9738.75MHzの受信状態）での観測結果  
※赤矢印は沿岸監視レーダーがある方向、赤丸は混信が生じている箇所を示す



汎用型気象レーダー側で干渉除去機能を動作させた結果  
(赤丸内の混信が除去されている)

- 沿岸監視レーダーにより発生した混信について、気象レーダー側の干渉除去機能を有効にすることにより、混信波が取り除かれることを確認。
- 一方、汎用型気象レーダーが与干渉、沿岸監視レーダーが被干渉となる場合については、沿岸監視レーダーでの観測目的が対象物の位置を特定することであり、干渉除去機能によって、汎用型気象レーダーによる混信を除去しても、その位置の特定に影響を及ぼす可能性は極めて低い。

9.7GHz帯汎用型レーダーと沿岸監視レーダーとの周波数共用は可能。

- 気象レーダーのメインビームがBS/CS受信設備を照射し、BS/CS受信設備の周波数変換におけるイメージ妨害抑圧比を超える場合、BS/CS受信設備への混信となり画像破綻が発生するため、共用についての検討を実施。

BS/CS受信アンテナへの許容干渉 $pdf_{I_r}$ を以下の式で表す。

$$pdf_{I_r} = \text{BS/CS 受信 } pdf - \frac{Cave}{I_{peak}} - M + S + D$$

項目	説明
$pdf_{I_r}$	気象レーダーからBS/CS受信アンテナへの許容干渉電力束密度（ピーク値）
BS/CS 受信 pdf	BS/CS受信アンテナへのBS/CS放送波の電力束密度（平均値） BS放送：-102.6 dBW/m <sup>2</sup> （@東京） -104.3 dBW/m <sup>2</sup> （@那覇） CS放送：-108.4 dBW/m <sup>2</sup> （@横浜） -113.4 dBW/m <sup>2</sup> （@那覇）
$\frac{Cave}{I_{peak}}$	画像破綻を起こす放送波( <i>Cave</i> )と妨害波( $I_{peak}$ )の比 IF信号を使って、実験室実験で適切な値を決定する予定
$M$	降雨時の影響を考慮するためのマージン 降雨時にBS/CS放送波は衛星とBS/CS受信アンテナ間の降雨により減衰を受けて、干渉で画像が破綻しやすくなる。このため、マージンを取る必要がある。
$S$	受信アンテナ反射鏡込みイメージ妨害抑圧比 受信アンテナ利得が最大となる方向からBS/CS所望波平均値と妨害波ピーク値が同じpdf（電力束密度）で入力したときの、IF帯でのBS/CS所望波平均値と妨害波ピーク値出力の比であり、 $S > 0$ とする。この値が大きいほど、BS/CSアンテナは干渉に強い。
$D$	BS/CSアンテナ識別度（9GHz帯放射パターン） BS/CSアンテナは静止衛星軌道に向けるのに対し、気象レーダーからの妨害波は、通常、水平方向からやってくるので、アンテナ利得が最大アンテナ利得方向より低下していて、その分干渉量が小さくなる。アンテナ識別度は、9GHz帯における最大利得方向の最大利得に対する、その方向のアンテナ利得との差であり、 $D \geq 0$ とする。

- CS放送事業者と運用調整を行い合意がなされていることを条件とする。
- 「この周波数の使用は、CS放送受信設備に妨害を与えない場合に限る。」との付款を付すこととする。
- 今後項目の精査を行い、総務省資料「9GHz帯気象レーダーを運用される方へ（平成22年4月26日）」の改定を行うとともに、必要に応じて審査基準等の見直しを実施する。

# 9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術的条件（案）

適用範囲：9.7GHz帯汎用型気象レーダーであって、送信機の終段増幅器に固体素子を用いるものに対して適用する。

項目		諸元案	備考
周波数		9697.5～9800MHz	5MHz間隔で中心周波数が9700～9797.5MHz
変調方式		パルス変調	
電波の型式		P0N,Q0N	
空中線電力※		400 W 以下	
空中線電力の許容偏差		上限20%、下限50%	
水平面の主輻射の角度の幅（ビーム幅）		4.5 度以下	
最大等価等方輻射電力(最大EIRP)※		92 dBm 以下	
主指向方向から3度以上 離隔した方向における最大EIRP※		79 dBm 以下	最大EIRP -13 dB
主指向方向から15度以上 離隔した方向における最大EIRP※		65 dBm 以下	最大EIRP -27 dB
搬送波の変調スペクトルの許容範囲	P0N指定周波数から±3.75 MHz以上及び Q0N指定周波数から±3.75 MHz以上 離隔した周波数における減衰量	50 dB 以上	空中線電力比
	P0N指定周波数から±8.75 MHz以上及び Q0N指定周波数から±8.75 MHz以上 離隔した周波数における減衰量	60 dB 以上	空中線電力比
占有周波数帯幅		P0N：2.5 MHz 以下 Q0N：2.5 MHz以下	
チャンネル間隔		5 MHz	
衝撃係数（デューティー比）		10%以下	
周波数の許容偏差		百万分率 20	
スプリアス領域における不要発射		60 dBc	

※ 両偏波特性（水平、垂直）の合計値

なお、電波法審査基準において「この周波数の使用は、9.7GHz帯を使用する高性能型気象レーダーの運用に妨害を与えない場合に限る。」及び「この周波数の使用は、CS放送受信設備に妨害を与えない場合に限る。」との付款を付すこととする。