

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

諮問第2040号

「気象レーダーの技術的条件」のうち

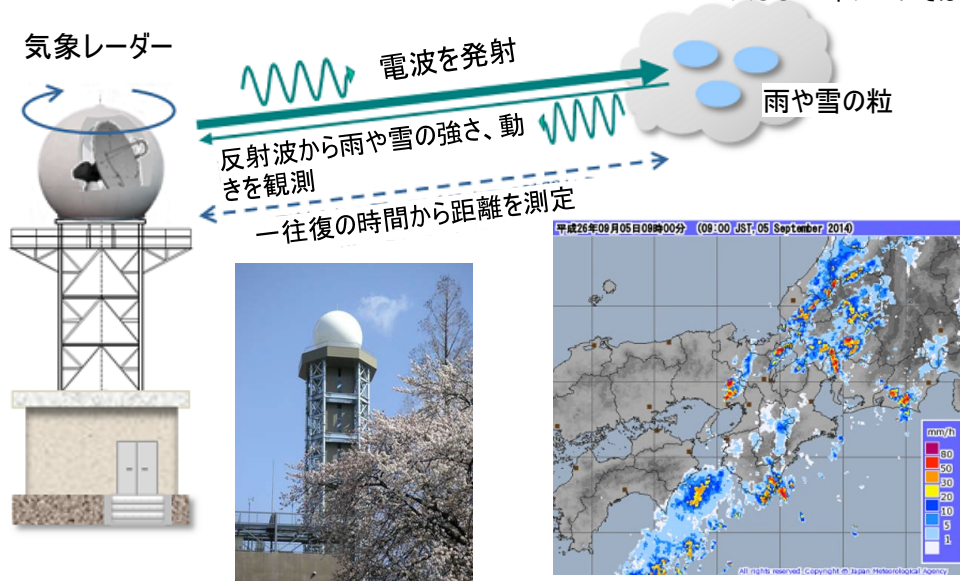
「5GHz帯気象レーダー及び9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術的条件」

令和4年3月
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、局地的大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5GHz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9GHz帯（9.4GHz帯及び9.7GHz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。

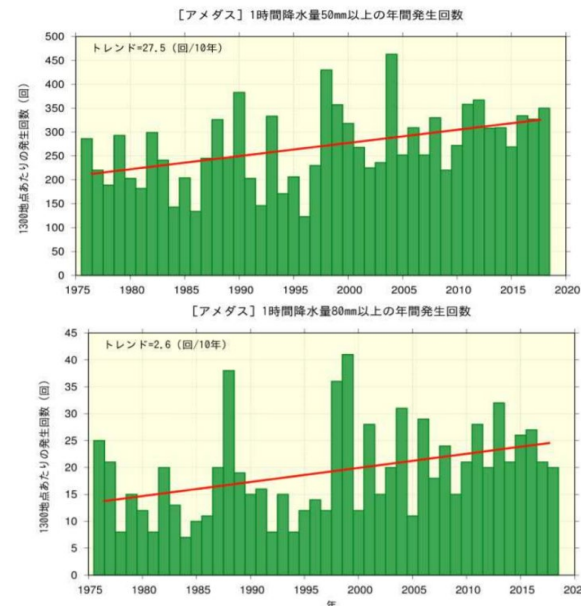
※5GHz帯については高性能型相当ではあるものの、対比する汎用型がないため、高性能型という定義はしていない。



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/now/radar/kaisetsu.html>）を加工して作成

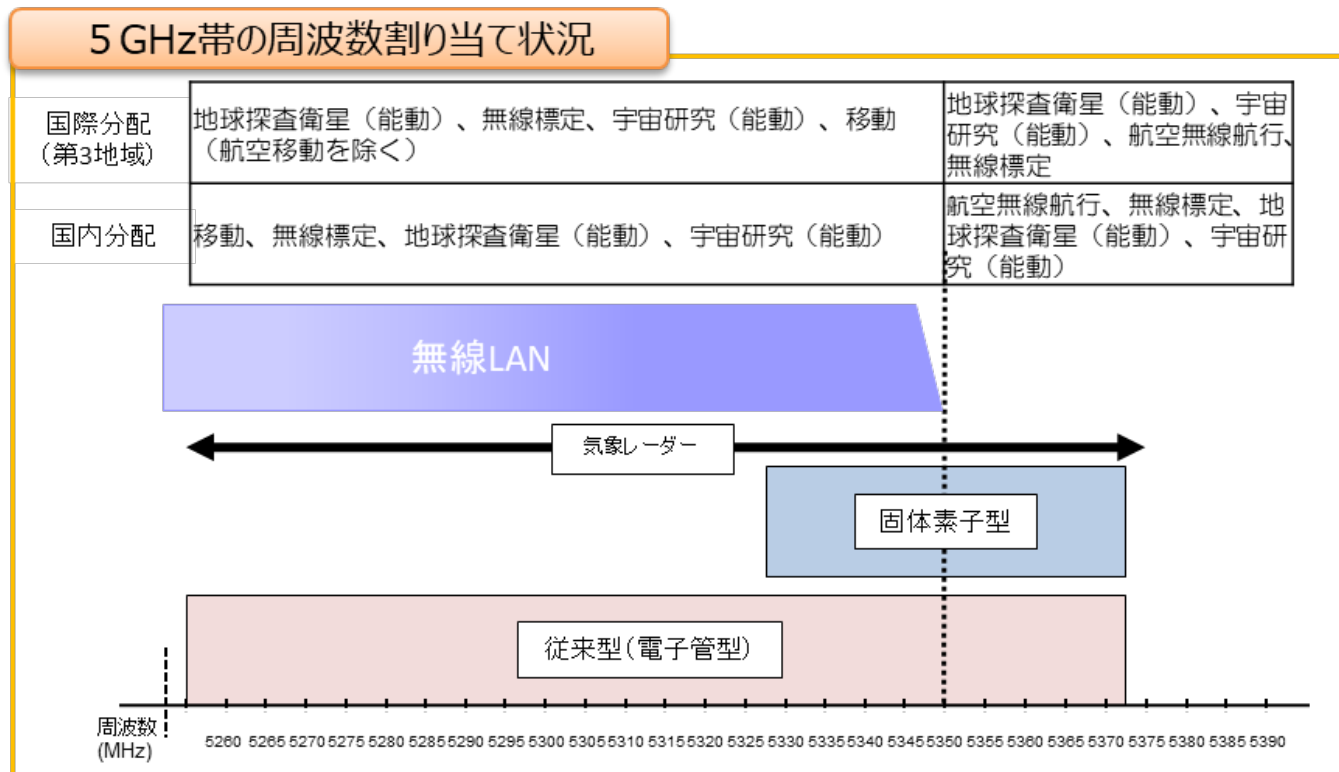


全国の1時間降水量50mm以上及び80mm以上の年間発生回数の経年変化（1976～2018年）
（出典 気象庁「気候変動監視レポート2018」）

- 5GHz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。
- 9GHz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

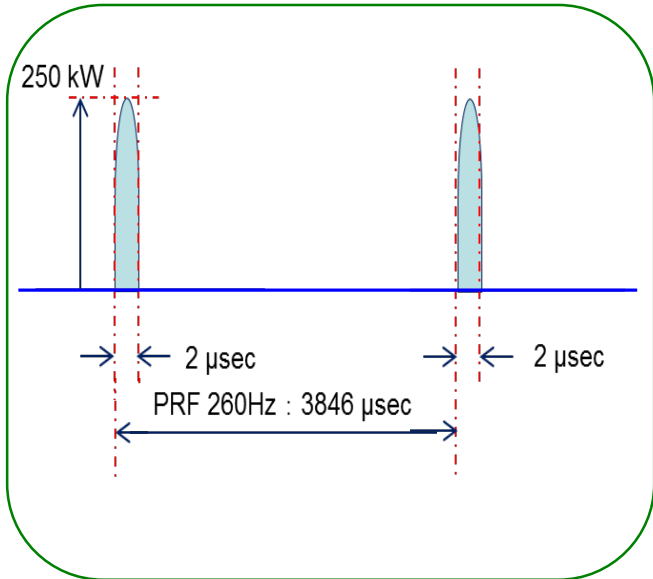


固体素子5GHz帯気象レーダーと5.3GHz帯無線LANとの共用条件について検討。

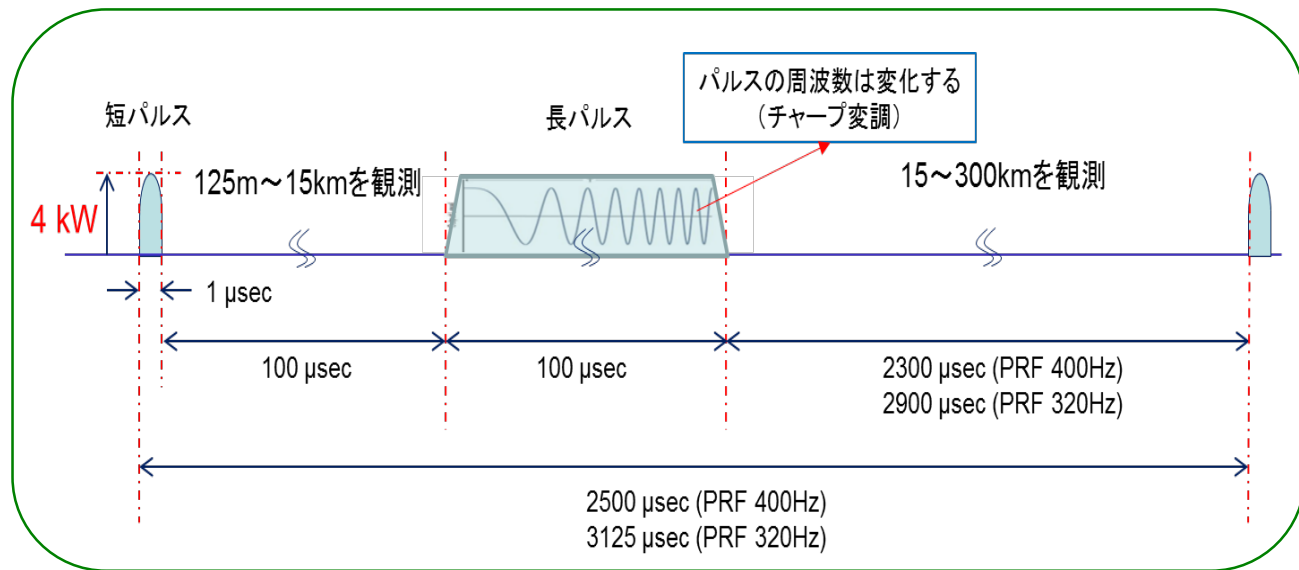
- DFSが検出すべきパルスパターンは、マグネトロンを想定した短パルスに基づき規定されていたが、固体化MPLレーダーは短パルスと長パルスを使用する※。新たなDFSの技術基準を策定するに当たり、我が国で規定されている項目（パルスの変調方式、パルス幅、パルス繰り返し周波数（PRF）等）について見直すことが適当である。

※ 固体化はマグネトロンに比べ電力が低く、遠方を観測するには平均空中線電力（空中線電力とパルス幅の積/単位時間）を上げる必要がある。このため固体化MPLレーダーのパルス幅を長くし、必要な平均空中線電力を確保。単にパルス幅を長くすると距離分解能が下がるため、チャープ変調を用いたパルス圧縮を実施。なお、近傍は短パルスにより観測を行う。

【従来のパルス方式レーダー雨量計】



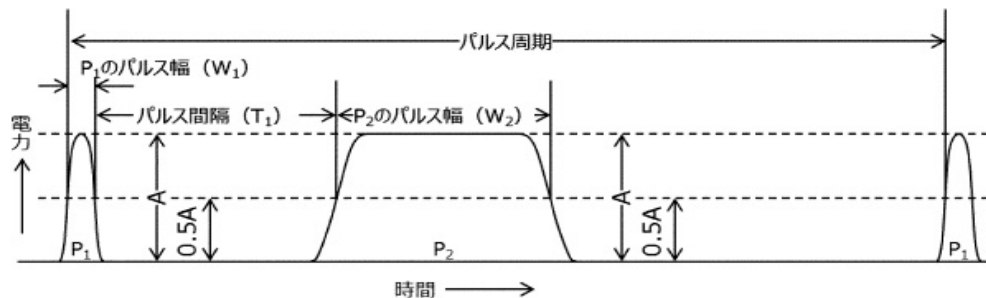
【固体化MPLレーダー】



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）

5.3GHz帯無線LANのDFSの技術的条件

- パルス圧縮技術（チャープ変調）を用いたパルスパターンに対応するため、5.3GHz帯無線LANが検出すべきパルスパターンを以下のとおりとする。
- あわせて、欧州におけるDFSの要求条件を参考としつつ、我が国における無線LANの使用状況を踏まえ、検出時における通信負荷率を50%から30%に引き下げる。



(電
子
管
型)

(半
導
体
素
子
型)

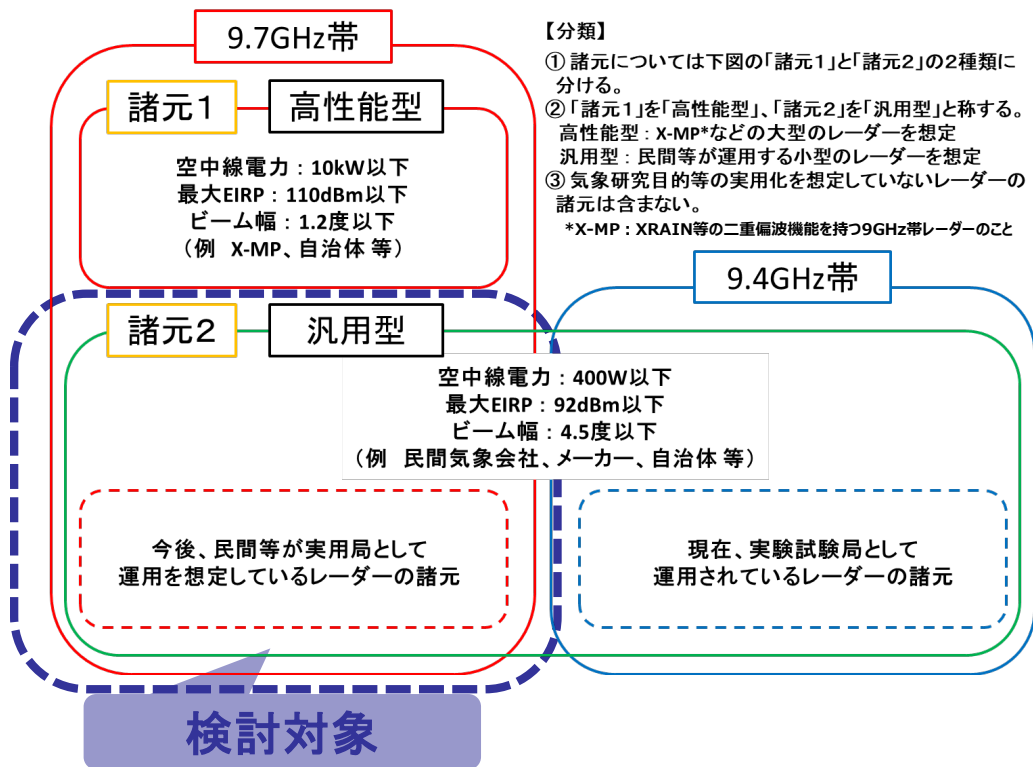
試験 信号	パルス幅 : W1 (μs)		パルス繰り返し周波数 : PRF (Hz)		1バースト 当たりの PRF数	1周期当り のパルス数の 最小値	備考
	最小値	最大値	最小値	最大値			
1	0.5	5	200	1000	1	10	チャープ変調 (周波数偏差 : ±0.5~1.0MHz) T1 ≥ 70μs 20μs ≤ W2 ≤ 110μs, W2-W1 ≥ 15μs デューティ比 : 10%未満
2	0.5	15	200	1600	1	15	
3	0.5	5	200	1000	1	$\min\{\max\{22, [0.026 \times \text{PRF}]\}, 30\}$	
4	0.5	15	200	1600	1	$\min\{\max\{22, [0.026 \times \text{PRF}]\}, 30\}$	
5	0.5	1.5	1114	1118	1	30	
6	0.5	1.5	928	932	1	25	
7	0.5	1.5	886	890	1	24	
8	0.5	1.5	738	742	1	20	

- 本気象レーダー作業班の検討結果は、5.3GHz帯無線LANのDFSの技術的条件に反映され、無線設備規則第49条の20（小電力データ通信システムの無線局の無線設備）が改正（令和元年総務省告示第103号）されており、既に制度整備がなされていることから、今回の報告を踏まえた制度整備は行わない。
- なお、気象レーダーの技術レベルの高度化に伴い、パルスの送信方法等多様化しており、また無線LAN側においても規格見直しの機会をとらまえ、DFSで検出するパルスパターンの見直しを行うとともに、今後無線LANから気象レーダーが保護されるパルスパターンを同定すること等を引き続き検討していく。

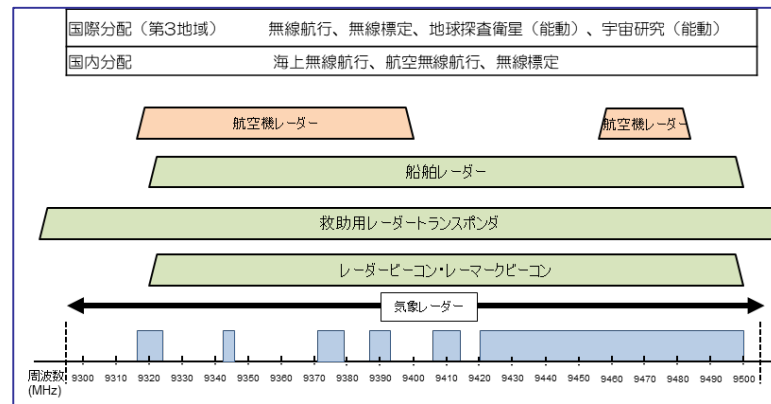
9GHz帯気象レーダーの現状

- 9GHz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。
- 9.7GHz帯の気象レーダーのうち「高性能型」については、主に国や研究機関において運用を行っている。
- 今後導入が期待される「汎用型」については、民間気象会社、鉄道会社や高速道路会社等から要望があるところ。なお、制度整備から2年でおおむね50局程度の置局を見込んでいる。
- 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。

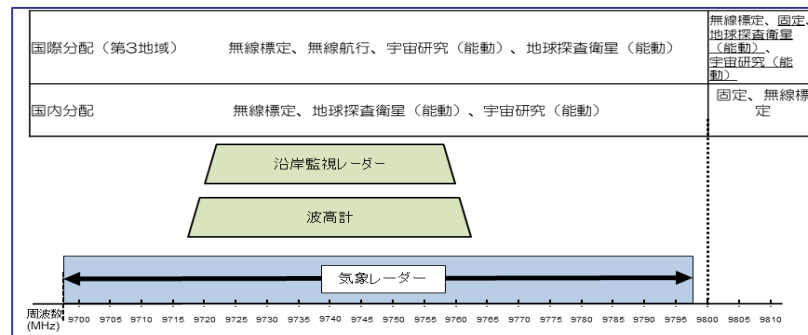
9GHz帯気象レーダーの分類



9.4GHz帯の周波数割当状況



9.7GHz帯の周波数割当状況

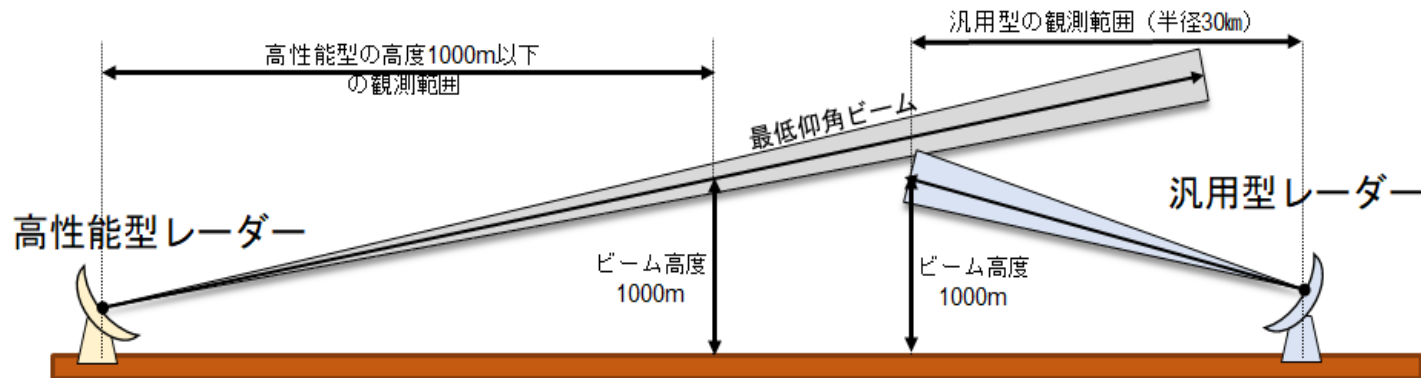


今回の検討については9.7GHz帯汎用型を対象とし、諸元等の技術的条件を検討する。

- 9.7GHz帯汎用型気象レーダーの導入にあたっての前提条件として、
 - (1) 役割として、高性能型の観測範囲外を補完する（※）こと、
 - (2) 運用面では、同一周波数を利用する高性能型気象レーダーに対して有害な混信を与えてはならない、の2点が挙げられる。

※汎用型レーダーは高性能型気象レーダーと同様に、リアルタイムに気象観測を実施する目的で開設されており、また高性能型気象レーダーの観測データも公開されていることから、電波の混信が生じることのないように、高性能型の観測範囲と重複しない範囲を観測する事を目的として設置する。

- 高性能型の観測範囲等を補完するために設置するという前提条件を満たすため、高性能型気象レーダーの観測範囲（最低仰角におけるビームの高さが標高1000m以下となる範囲。ただし、高性能型気象レーダーのビームが地形によって遮蔽される場合はそれ以遠を観測範囲と見なさない。）と汎用型気象レーダーの観測範囲（局地的大雨をもたらす積乱雲等の気象観測のために最低限必要となる30kmと仮定する。）が、面積比で20%以上重ならない場合に、汎用型気象レーダーを設置することとする。観測範囲の考え方のイメージは下図のとおりである。



観測範囲のイメージ図

- 汎用型気象レーダーの観測範囲のビームの高さは標高1000m以下とする。
- 高性能型気象レーダーの補完するという目的を鑑み、高性能型気象レーダーの観測に対して有害な混信を与えてはならない。

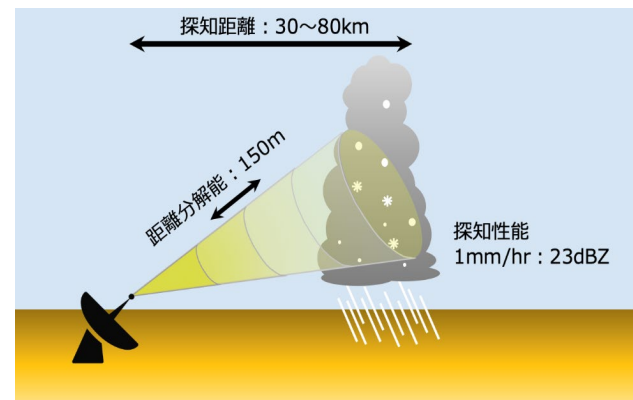
9.7GHz帯汎用型気象レーダーの要求条件

- 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。
- 汎用型気象レーダー同士の混信条件は可能な限り緩和する必要がある。

気象レーダーについては、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。従って、観測については以下のような条件を満たすことが必要である。

- ・雨・雪等の空間分布、強さが、雨・雪等の動きが捉えられること
- ・降水強度がより高精度に捉えられること
- ・雨・雪等の区別をするための融解層が捉えられること
- ・雨・雪等の種類が捉えられること
- ・9GHz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

これらを踏まえ、9.7GHz帯汎用型気象レーダーに求められる要求条件をまとめると以下ようになる。



汎用型の要求条件イメージ
(探知対象・探知範囲・距離分解能・探知性能)

項目	項目詳細	要求条件
探知範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 ・雨雲・雪雲の動きが追尾できるよう、30~80 kmの探知範囲を持つこと。 	必要な観測可能な範囲は30km以上。
距離分解能	<p>ウィンドシアア検知のためには、距離分解能150m程度が必要である。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> <ul style="list-style-type: none"> ・竜巻・突風・ウィンドシアア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 ・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 	<p>距離分解能は150m。 ビーム幅は、4.5度以下。</p>
探知性能	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。	<ul style="list-style-type: none"> ・必要な感度は30km先までの全域で、1 mm/hrの雨が観測できること。 ・必要なEIRPは89dBm（単偏波）あるいは92dBm（二重偏波）以下。 ・送信出力は、200W（単偏波）あるいは400W（二重偏波）以下。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・電波の有効利用のため、周波数特性が安定して帯域外輻射が低く抑えられていること。 ・気象現象を正確に捉えるため、柔軟なスキャンパターン等が設定できること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・送信機の終段増幅器に固体素子を用いる。 ・スキャンパターンが選択できること。

- 高性能型気象レーダーとの共用及び9.7GHz帯汎用型気象レーダー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。 (汎用型は高性能型からの混信を容認すること)
汎用型から高性能型	メイン-サイド及びサイド-サイドの混信を与えてはならない。
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。

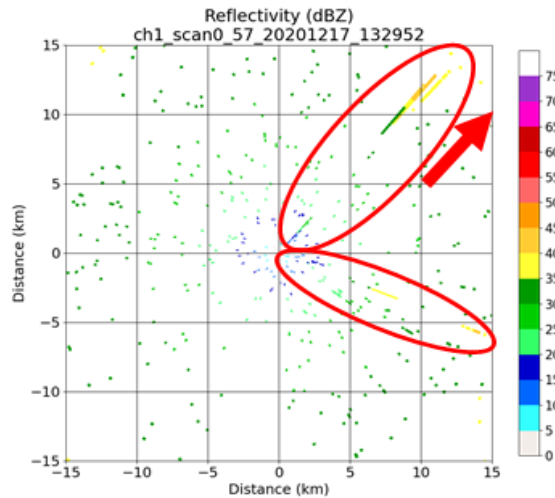
汎用型同士の離隔距離

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。

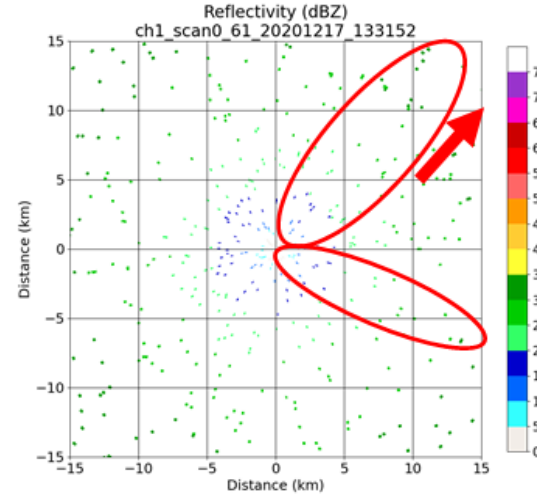
高性能型が汎用型に与える混信に対して制限しないこと（汎用型は高性能型からの混信を容認すること）を条件とし、「この周波数の使用は、9.7GHz帯を使用する高性能型気象レーダーの運用に妨害を与えない場合に限る。」との付帯を付すこととする。

- 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
- なお、波高レーダーは、沿岸監視レーダーと性能が類似するため、波高レーダーの共用検討は沿岸監視レーダーに含めることとする。



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



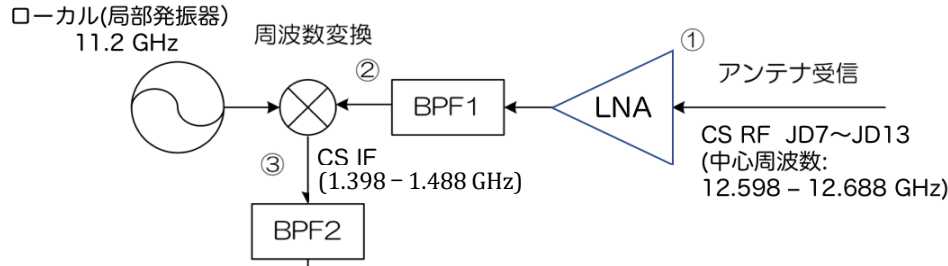
汎用型気象レーダー側で干渉除去機能を動作させた結果
(赤丸内の混信が除去されている)

- 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及び波高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。

【CSコンバータの構成】

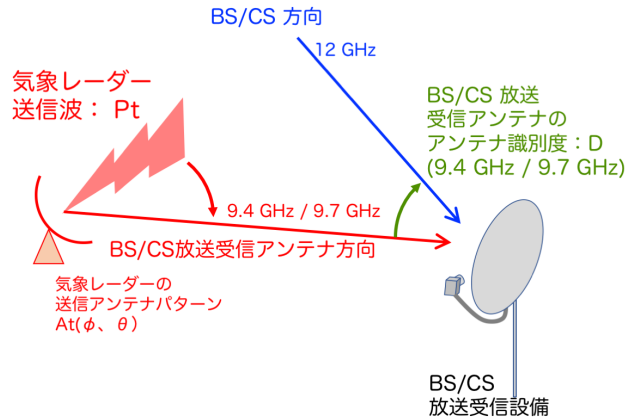


BS/CS受信アンテナへの許容干渉 $pf d_{I_r}$ を以下の式で表す。

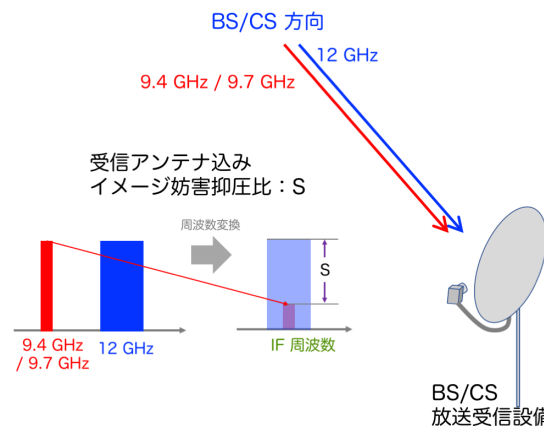
$$pf d_{I_r} = \text{BS/CS 受信 } pf d - \frac{Cave}{I_{peak}} - M + S + D$$

項目	説明
$pf d_{I_r}$ (dBW/m ²)	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 $pf d$ (dBW/m ²)	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 ² (@東京) -104.3 dBW/m ² (@那覇) CS放送: -108.4 dBW/m ² (@横浜) -113.4 dBW/m ² (@那覇)
$\frac{Cave}{I_{peak}}$ (dB)	画像破綻を起こす放送波(Cave)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 (dB)	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 (dB)	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 $pf d$ (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。この値が大きいくほど、BS/CSアンテナは干渉に強い。
D (dB)	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てのに対し、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、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。

【共用検討モデルの説明 1】



【共用検討モデルの説明 2】



- 9.7GHz帯汎用型気象レーダーの設置にあたっては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。」との付帯を付すこととする。なお、CS放送受信設備に対し妨害を与えるような混信が認められた場合は、設置を希望する者が個別に対応するものとする。
- 今回の検討では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ため、気象レーダーからのイメージ妨害の影響を受けにくい放送受信設備の導入なども含め、引き続き放送事業者等と共用条件について検討を行うこととする。
- 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	
変調方式		パルス変調	
電波の型式		P0N,Q0N	
空中線電力		二重偏波：400 W 以下 単偏波：200W以下	
パルス繰り返し周波数		5kHz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)		二重偏波：92 dBm、単偏波：89dBm	
主指向方向から3度以上 離隔した方向における最大EIRP		二重偏波：79 dBm、単偏波：76dBm	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		二重偏波：65 dBm、単偏波：62dBm	最大EIRP -27 dB
搬送波の変調スペクトルの許容範囲	P0N割当周波数から±3.75 MHz以上及び Q0N割当周波数から±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割当周波数から±8.75 MHz以上及び Q0N割当周波数から±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	
パルス幅		P0N：1μs以上5μs以下 Q0N：20μs以上50μs以下	
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	
帯域外領域におけるスプリアス発射		基本周波数の平均電力より、40dB低い値	
スプリアス領域における不要発射		基本周波数の尖頭電力より、60dB低い値	

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。

気象レーダー関係規定の見直し

○ 今回の検討においては、昨今の気象レーダーの使用状況の変化等を踏まえ、二重偏波気象レーダーに関する規定の明記、固体素子型気象レーダーに関する電波型式の見直し、気象レーダーに関するスプリアス規定の見直しを実施することとする。

【二重偏波気象レーダーに関する規定の明記】

- 気象レーダーには、1 偏波方向のみの電波を用いる単偏波気象レーダーと、垂直偏波及び水平偏波の2 偏波を用いる二重偏波気象レーダーが存在する。
- 二重偏波気象レーダーについては、垂直・水平偏波が同時に発射されるため、水平偏波あるいは垂直偏波の空中線電力を指定した場合、指定された空中線電力と実際に空間に放射されている電波の強さに齟齬が生じ、電波監理に支障をきたす。
- このため、二重偏波気象レーダーについては、各偏波の電波の空中線電力の和を空中線電力として指定することとする。

【電波の型式の見直し】

- 固体素子型レーダーの導入・運用に伴い、送信出力低減のため、従来から電子管型レーダーで用いられている短パルス（無変調パルス、P0N）に加えて長パルス（変調パルス、Q0N）が使用されているところ。
- これまで、気象レーダーについてP0NとQ0Nを合わせもつものについては、V0Nを指定してきたところである。しかし、P0NとQ0Nは中心周波数がそれぞれ異なるため、電波の型式による運用に対応した周波数管理を行う観点から、P0N、Q0Nを原則個別に指定することとする。

【帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値の規定】

- レーダーにおける各領域における許容値については、帯域外領域とスプリアス領域との境界の周波数の決定方法が、従来の20dB/decから30dB/decへ変更されたこと、及び、FMCWレーダーやチャープ方式レーダーにおいて、電波法令に規定がないことから、ITU-R勧告 SM.1541-5に基づき、関係規定を整備してきた。
- これまで地上設置の気象レーダーについては、従来の規定を適用していたが、今後はITU-R勧告SM.1541-5 Annex 8の条件を満たすこととし、右図のとおりとする。

