

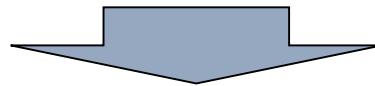
調査報告書概要

2021年3月31日

 株式会社三菱総合研究所

背景・目的

- 規制改革実施計画(H29.6.9閣議決定)等に基づき、周波数の官官・官民共用を推進する観点から、昨今、公共的機関、民間の双方から、周波数利用の要望が高い9.4GHz帯レーダーについて、効率的かつ効果的な周波数共用の実現を目指した検討が期待される。
- 従来の周波数共用の手法においては、無線システムの干渉を避けるため、出力や他の無線システムとの離隔距離等、既存無線システムの運用に影響を与えない共用条件を定めていることから、その共用条件によっては著しく運用の制約も受けている場合がある。
- このような状況を踏まえ、周波数がひっ迫している中、今後、多種多様な無線システムが、場所・時間などを考慮すれば、リアルタイムに周波数利用が容易に可能(動的な周波数共用)となるよう検討を進めていく必要がある。



今年度は、過去検討において明らかとなった課題等に基づく周波数共用条件等の検討や、過去検討において実施した実機を用いた電波伝搬試験等の結果を評価、検証や追加検討等を引き続き行うことにより、場所・時間等を考慮した動的な周波数共用を可能とするための技術基準や運用条件を明らかにし、周波数の有効利用に資することを目的とする。

1. 諸外国における動的な周波数共有に向けた仕組み・考え方等の動向調査

■ 海外動向調査の目的

- 我が国において動的な周波数共有を実現するために参考とすべき内容や留意点について、情報を取りまとめる。
- 特に、9.4GHz帯における動的な周波数共有を実現するための運用調整手法等の検討材料とする。

■ 調査対象

- 米国SAS(Spectrum Access System、センサ方式)
 - ✓ 約4年かけて、法制度化や標準化がなされ、2020年1月に社会実装が開始された。
 - ✓ 社会実装状況や展望を把握するため、SAS管理者やユーザの反響を調査した。
- 米国AFC(Automated Frequency Coordination、データベース方式)
 - ✓ 2020年4月下旬、6GHz(5.925–7.125GHz)帯を免許不要無線LANでも使用可能とするNPRM(立法案公告)がReport and Orderとして承認され、一部周波数帯においては、AFCと称する既存業務との動的な周波数共有システムの導入が検討されている。
 - ✓ 法制度化状況や標準化状況を把握するため、基本要件を策定するFCC及び技術的要件を規定するWireless Innovation Forum等の活動を調査した。
- 欧州LSA(Licensed Spectrum Access、データベース方式)
 - ✓ 欧州レベルでの仕様検討、標準化、技術実証がなされてきたが、各国での制度化や市場化は停滞気味である。
 - ✓ 社会実装状況を把握するため、欧州各国における活動を調査した。

1. 諸外国における動的な周波数共用に向けた仕組み・考え方等の動向調査

■ SAS、AFC、LSAのまとめ

		SAS(米国)	AFC(米国)	LSA(欧州)
対象周波数帯		35GHz帯	6GHz帯	2.3GHz帯、2.6GHz帯、3.5GHz帯
共用対象システム	新規利用	移動通信システム	無線LAN	移動通信システム
	既存利用	公共用無線システム	固定業務、固定衛星業務	ワイヤレスカメラ、ビデオリンク等
動的な周波数共用の実現方式		センサ方式	データベース方式	データベース方式
法制度化状況		免許割当関係を含むルールの確定(2018年10月)	制度化済(2020年4月)	RSPGがLSAの定義等を勧告済。各国での制度化は停滞気味
標準化状況		基本規格の策定完了(2018年12月)	基本規格の策定中	ETSIにおいて標準化策定中
社会実装状況		初期商用サービス開始済(2019年9月～)	社会実装検討中	オランダのPMSEIにおいて導入済(2019年7月～)

1. 諸外国における動的な周波数共用に向けた仕組み・考え方等の動向調査

■ その他周波数の動向

- 昨年度検討において、動的な周波数共用の可能性があると検討された6GHz帯（次期無線LANと固定業務等の共用）に関する諸外国の検討状況の動向調査を実施した。
- 6GHz帯を無線LANに開放する推進国である米国、欧州、英国、カナダ、韓国の検討状況を示す。

国名	6GHz帯における免許不要機器への開放状況
米国	米国FCCの現況にて示したとおり、FCCは6GHz (5.925-7.125GHz) 帯を免許不要機器へ開放する制度化を実施。6GHz帯を複数の周波数帯に区分したうえで、一部周波数帯においては、AFCと称するデータベース方式をもって、既存業務との動的な周波数共用システムを導入する方針である。
欧州	CEPTは、6GHz (5.945-6.425GHz) 帯を無線LANで運用することを許可する道筋をつけ、2020年11月に提案内容を合意し、2021年4月に承認する予定である。欧州各国は、半年(EU規則)から2年(CEPT規則)の間に、本規則に対応していくと想定される。
英国	Ofcomは、6GHz帯下部(5.925-6.425GHz)を免許不要Wi-Fiや他の無線LAN技術で利用可能とすることを決定した。本周波数帯を開放することは、超低電力(VLP)機器の屋外利用を可能とすることにもなる(屋内利用も可)。5.8GHz (5.725-5.850GHz)帯におけるWi-Fiが利用しているチャンネルから、DFS利用要求(出力が200mWの屋内利用に対してのみ)を解除する決定も行った。
カナダ	カナダ政府は、パブリックコメントにより、6GHz帯の免許不要機器への開放に関する意見募集を2020年11月に開始した。実現すれば、2021年後半には、6GHz帯(5.925-7.125GHz)が屋内で低電力(最大EIRP 30dBm)のものが利用可能となる。また、超低電力(最大EIRP 14dBm)の可搬型機器も利用可能となる可能性がある。加えて、FCCにより、5.925-6.875GHzが標準電力(最大EIRP 36dBm)で利用可能となるような提案もなされている。
韓国	2020年6月26日、6GHz (5.925-7.125GHz) 帯を免許不要Wi-Fiで使用できるよう、技術基準を改正する公示を行った。8月24日にパブリックコメントが締切られ、10月26日に技術基準が一部改正された。

2.船舶用レーダーの周波数利用状況測定

■ 調査内容

- 現行の9.4GHz帯船舶用レーダーはマグネトロンを発信素子に用いており出力信号の周波数が不安定であり、現行の割り当て帯域の中で実際にどのように周波数を利用しているか不明であったため、定点観測による周波数利用状況調査を行った。
- 参考記録として、航空機搭載気象レーダーの利用周波数も実測した。

■ 測定地点



船舶用レーダーの定点観測地点

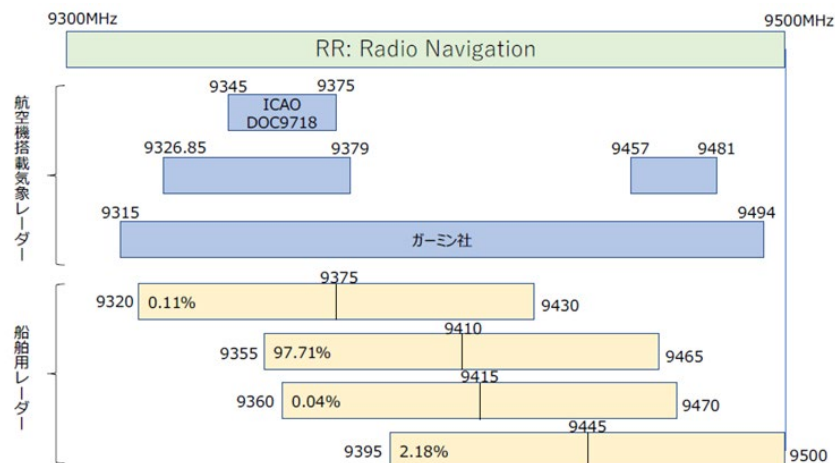


航空機搭載用気象レーダーの定点観測地点

2.船舶用レーダーの周波数利用状況測定

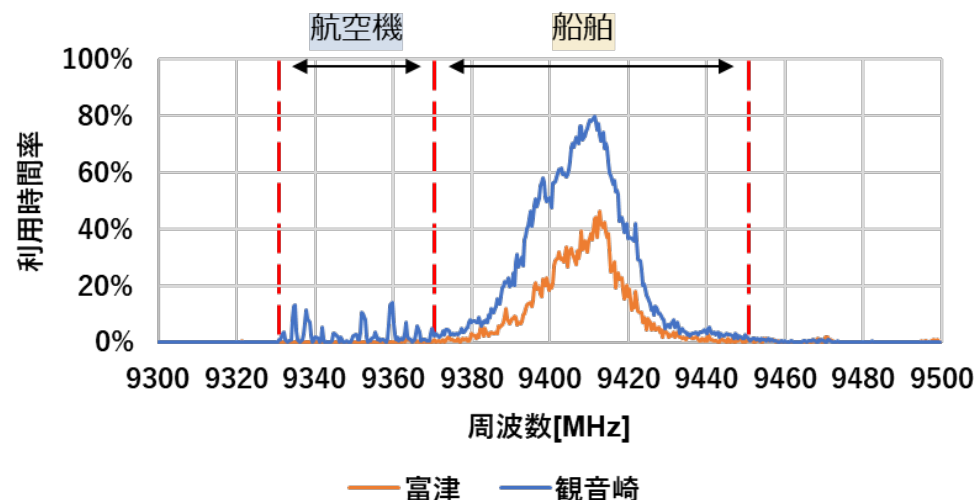
■ 測定結果

- 東京湾を対象とした定点観測調査により、船舶用レーダーの利用周波数は 9410 ± 40MHz の帯域内に収まることが分かった。
- 航空機搭載気象レーダーは9330~9370MHzの帯域内で利用されていることを確認した。
 - 航空機の実測については測定期間が短期かつコロナ禍の影響が大きいいため、得られた実測データが通常時の運用形態を示すものではない
 - また、船舶と利用帯域が重なる9370~9380MHzにおける利用状況は測定環境の都合で確認できなかった



出所：総務省(令和元年11月末時点)

船舶用・航空機搭載気象レーダーの
周波数割り当て帯域



船舶用・航空機搭載気象レーダーにおける
周波数ごとの利用時間率

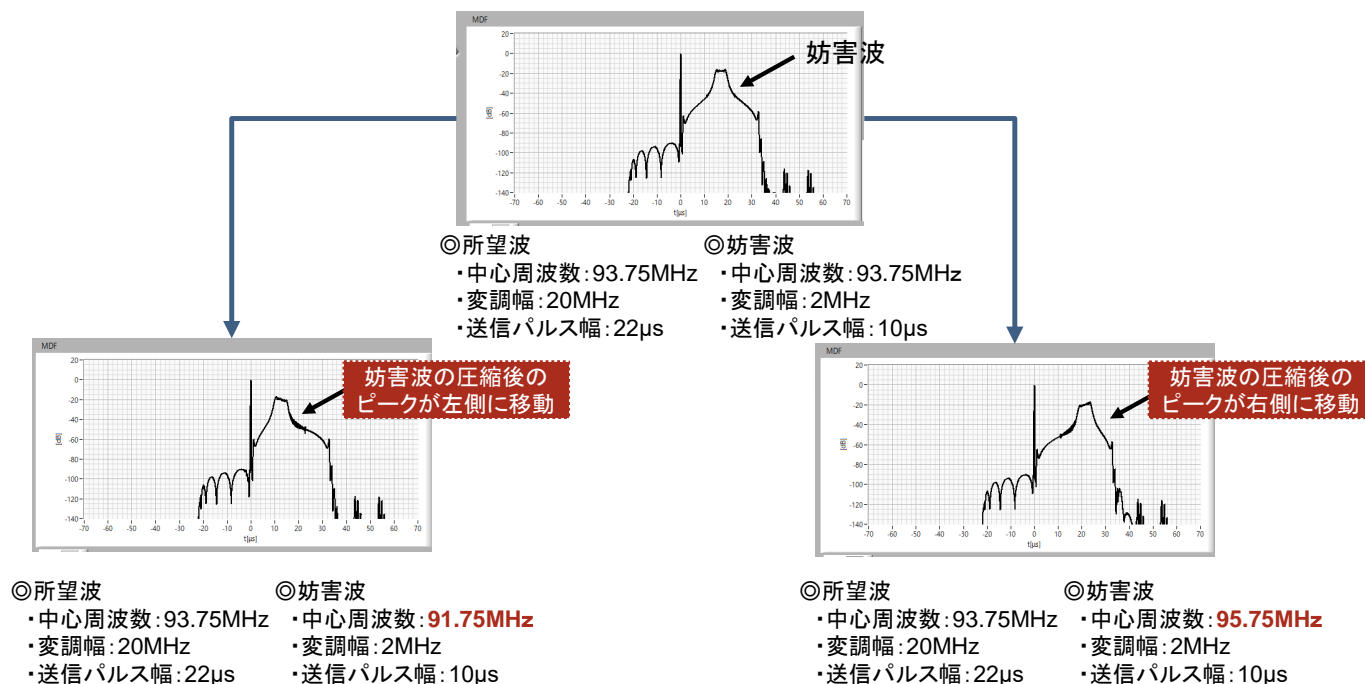
3.周波数共用条件の検討 船舶用レーダーの信号処理方式による共用検討

■ 目的

- 今後固体素子化が行われると想定される船舶用レーダーを対象に、信号処理方式による共用方法を検討した。
- 固体素子を用いた船舶用レーダーでは、受信信号の信号処理(チャープ圧縮等)を行うことでレンジ方向の解像度を上げる方策がとられている。この信号処理を利用し、干渉が少ないパルス仕様を検討した。

■ 検討結果

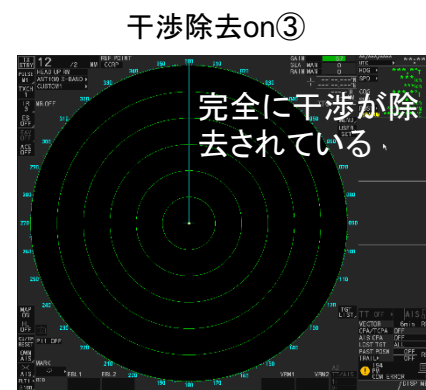
- 汎用型気象レーダのパルスの形状を変化させても、固体素子を用いた船舶用レーダーの信号所にて干渉を除くことはできなかった。
- 汎用型気象レーダのパルスの周波数を変更することで、パルス圧縮処理後の位置が異なることを用いて、第2干渉除去を利用し干渉を取り除く方法を検討した。



3.周波数共用条件の検討 船舶用レーダーの信号処理方式による共用検討

■ 検討結果

- パルス圧縮処理によってピーク位置がずれることに伴って、例えPRFを時間可変と設定した場合であっても、第2干渉除去にて干渉を除去可能であることが確認できた。
- 一方で、 -35dBm の場合には除去可能であるが、 -15.9dBm では除去できない等、出力に制限がかかることが分かった。



パルス圧縮によってピーク位置が変化すること第2干渉除去が機能している可能性が示唆される。

3.周波数共用条件の検討 BS放送受信設備への影響評価

■ BS放送受信設備への影響評価

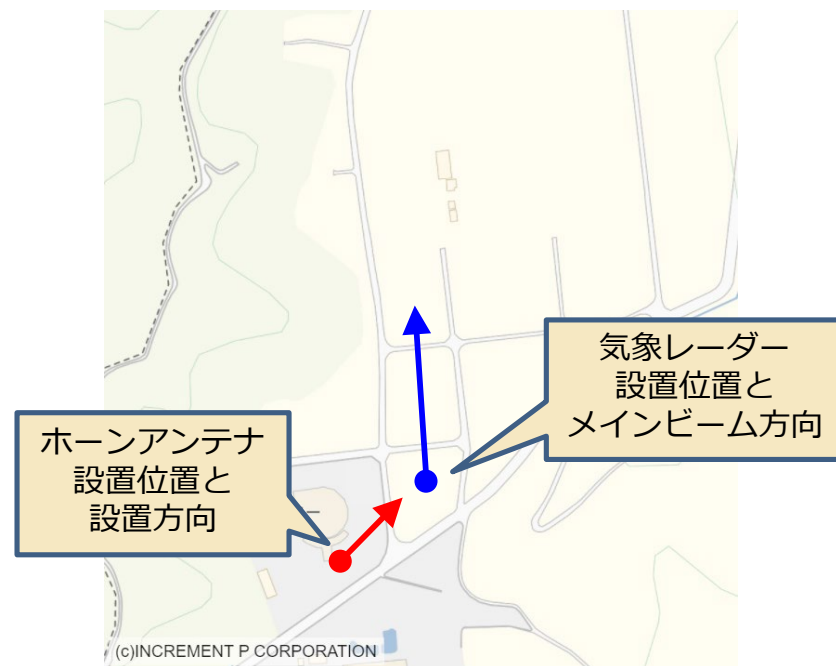
- 汎用型気象レーダーの周波数帯は、BS放送の受信設備に対してイメージ妨害の影響を与える可能性がある。
- BS放送受信設備への影響に関して実機を用いた測定を行うことにより、評価・分析を行った。

■ 試験概要

- 試験1 斜め後ろから気象レーダー信号を受信する条件下での所要 $Cave/1peak$ 測定
- 試験2 気象レーダー信号の型式・パルス幅ごとの所要 $Cave/1peak$ 測定



試験1：江川漁港での機材配置



試験2：紀州ラボでの機材配置

3.周波数共用条件の検討 BS放送受信設備への影響評価

■ 周波数共用方策

■ 運用開始前の検討事項

- 汎用型気象レーダを設置する周囲の地形やBSアンテナ設置状況を考慮し、以下の評価式による机上検討を行ってその影響範囲を確認するとともに、必要に応じてビーム発射方向や出力チャンネルの制限等による与干渉電力の低減を検討する。

$$(\text{レーダー出力} + \text{利得}) - 10 * \text{Log}_{10}(4 * \pi * R^2) < \text{晴天時のBS受信 pfd} - \text{画像破綻Cave/Ipeak} - M + (S + D)$$

R：離隔距離(アンテナ高度差を含む) 画像破綻Cave/Ipeak：干渉源のパルス幅に応じて設定
 M：マージン 12.2dB S：イメージ妨害抑圧比
 D：アンテナ識別度（方位角に応じて設定できない場合は最悪値を想定）

■ 運用開始後の対応事項

- 運用開始後において、汎用型気象レーダに起因するBS受信障害の報告があったときは汎用型気象レーダ運用者及び放送事業者間で協議の上、必要な干渉回避の対策を講じる。

■ 周波数有効利用に向けた検討事項

■ BS受信機の耐干渉性能の向上

- ARIB規格値55dBよりもイメージ妨害抑圧比が高いBSアンテナの開発及び普及によって、将来的にはイメージ妨害がより確実に防止されるとともに汎用型気象レーダの運用可能範囲が拡大されることが期待される。

■ BSアンテナパターンの代表値の把握・検討

- BSアンテナの識別度に関して、オフセットパラボラアンテナの斜め後方から干渉信号が入射する場合の利得値を最悪値として設定しているが、オフセットパラボラアンテナは本来、斜め後ろの方位角以外の範囲では仰角・方位角ともに正面方向に対して強い指向性を持つものであり、評価式においてもBSアンテナの利得値(識別度)は干渉波の入射方向に応じて過不足なく設定する必要がある。
- アンテナ識別度の仰角・方位角パターンは複数のメーカーから販売されているBSアンテナ機種の個体差を包含する代表的なものを設定する必要があるため、その設定には今後さらなる検討を要する。

3.周波数共用条件の検討 汎用型気象レーダの技術的条件の検討

■ 汎用型気象レーダの周波数共用条件案

■ 船舶用レーダー

- 船舶用レーダのほとんどが干渉除去機能を有しているため、汎用型気象レーダからの干渉は船舶の運航上ほとんど支障がないと考えられる。
- その結果、時間確率の低いメインローブ間、メインローブーサイドローブ、サイドローブーメインローブの干渉は許容可能であり、時間確率の高いサイドローブ間の干渉が生じない離隔距離を取ることで周波数共用可能。この場合は、汎用型気象レーダに対する制約条件はない。
- サイドローブ間の干渉が生じない離隔距離が取れない場合の対処方法としては以下が考えられる。
 - 汎用型気象レーダのパルス幅を50 μ 秒以下とする。
 - 船舶用レーダの使用周波数から40MHz程度周波数離調する(ただし周波数割当上困難)。
- 船舶用レーダの利用率の少ない周波数で運用する。

■ 航空機搭載気象レーダー

- 航空機搭載気象レーダが利用している中心周波数より ± 2.3 MHz内に汎用型気象レーダの運用周波数が含まれる場合は、汎用型気象レーダはその周波数での送信を停止する。

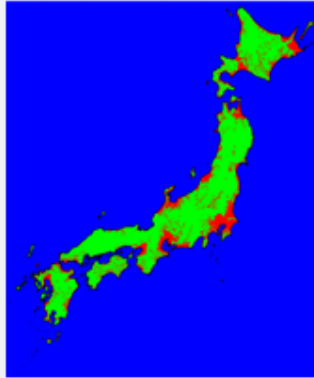
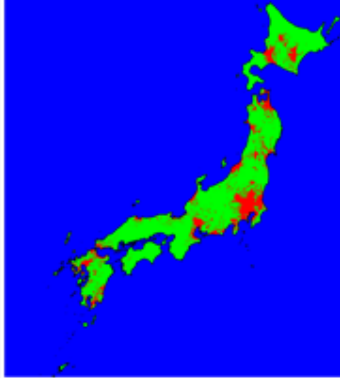
■ 公共業務用レーダー

- 汎用型気象レーダは公共業務用レーダの方向にメインローブを向けない。
- 汎用型気象レーダは公共業務用レーダに対し、汎用型気象レーダの運用周波数が公共業務用レーダの運用周波数から5MHz以上離調し、汎用型気象レーダのサイドローブと公共業務用レーダのサイドローブとの干渉を避ける離隔距離を取る。
- 汎用型気象レーダの運用周波数帯 ± 2.5 MHz内に公共業務用レーダの送信を検知した場合、直ちに汎用型気象レーダはその周波数での送信を停波する。
- 公共業務用レーダーに混信が発生した場合は、与干渉となる汎用型気象レーダー側が公共業務用レーダーに対し必要な干渉回避の対策を講じる。

ただし、本共用条件は元々高性能レーダーを前提として検討されたものであり、実機ベースにて検討したものではない。そのため、今後、試行期間等において、実態に則して定量的に干渉量を評価し、共用条件を取りまとめていくことが適当である。

3.周波数共用条件の検討 汎用型気象レーダの技術的条件の検討

■ DFS/キャリアセンスの必要性

周波数共用方策	船舶用レーダー	航空機搭載気象レーダー	公共業務用レーダー
周波数離調	<ul style="list-style-type: none"> ● 干渉を避けるためには40MHz程度の離調が必要 ● 同一周波数であっても干渉除去機能により運航上支障が出ることは少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ● 受信機のフィルタ特性より、中心周波数より2.3MHz以上周波数離調する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 公共業務用レーダーの方向へのレーダー照射を行わず、かつ10MHz程度周波数離調する（公共業務レーダーの運用周波数は公表されない）
離隔距離	<p>(サイドローブ間の干渉)</p> 	<p>同一周波数</p> <ul style="list-style-type: none"> ● メインローブ間：820km ● メインローブ-サイドローブ間：540km ● サイドローブ-メインローブ間：530km ● サイドローブ間：470km <p>隣接周波数（±2.3MHz以上離調）</p> <ul style="list-style-type: none"> ● メインローブ間：82km ● メインローブ-サイドローブ間：5km ● サイドローブ-メインローブ間：4km ● サイドローブ間：0.21km 	<p>(サイドローブ-メインローブ間の干渉)</p>  <p>(60 dBの周波数離調による減衰を想定)</p>
対応方策	<ol style="list-style-type: none"> ① 干渉が起こらない離隔距離をとる ② 離隔距離が取れない場合は40MHz程度周波数離調する。 ③ 離隔距離が取れない場合は周波数利用率の低い周波数帯で運用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 航空機搭載気象レーダーの中心周波数より2.3MHz以上周波数離調する。 ● サイドローブ（気象）-メインローブ間の干渉が発生する場合は停波する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 公共業務用レーダーの運用周波数より10MHz以上送信周波数を離調し、必要な離隔距離を取る。 ● 公共業務用レーダーの方向へメインローブを向けない。



周波数離調することで周波数共用可能となるため、DFS/キャリアセンスは必要
公共業務用レーダーのパルスパターンが分からないためDFSは困難

3.周波数共用条件の検討 汎用型気象レーダの技術的条件の検討

■ キャリアセンスの閾値の検討

	船舶用レーダ	航空機搭載気象レーダ	公共業務用レーダ	汎用型気象レーダ
9.3-9.5GHz内で-115dBmの入力を検知した場合停波する。	$74+5+115=194\text{dB}\rightarrow 93\text{km}$ 海岸より93km以内で常に停波が起こる。	$44+5+115=164\text{dB}\rightarrow 400\text{km}$ 見通し内では常に停波が起こる。	$70+10+115=195\text{dB}\rightarrow 87\text{km}$ 87km以内で常に停波が起こる。	$56+9+115=180\text{dB}\rightarrow 58\text{km}$ 58km以内で常に停波が起こる。
汎用型気象レーダの運用周波数で-115dBmの入力を検知した場合停波する。	$74+5+115=194\text{dB}\rightarrow 93\text{km}$ $74+5+115-60=134\text{dB}\rightarrow 13\text{km}$ 海岸より13km以内で常に停波が起こる。	$44+5+115=164\text{dB}\rightarrow 400\text{km}$ $44+5-60+115=104\text{dB}\rightarrow 300\text{m}$ 未満 見通し外でサイド間の干渉あり 周波数変更することで伝搬損失が150dBになるまでメイン間干渉なし、125dBまでメイン-サイド、123dBまでサイド-メイン、98dBまでサイド間干渉なし 300m以内で常に停波が発生する。	$70+10+115=195\text{dB}\rightarrow 87\text{km}$ $70+10-60+115=135\text{dB}\rightarrow 15\text{km}$ 伝搬損失135dB以上離れた場所に設置されるため、同一周波数でサイド間干渉を避けることが可能。	$56+9+115=180\text{dB}\rightarrow 58\text{km}$ $46+9+115-60=120\text{dB}\rightarrow 3\text{km}$ 3km以内の汎用型気象レーダにより常に停波が発生する。

■ 閾値として-115dBm

■ キャリアセンス間隔

- 汎用型気象レーダの観測シーケンスを考慮し1-2分程度

■ キャリアセンス時間

- ITU-R勧告M.1652-1、汎用型気象レーダの回転速度などを勘案し、30秒程度が妥当と考えられる

4.運用調整手法の検討

キャリアセンス方式を前提に各レーダーとの運用調整条件を検討。

■ 船舶用レーダー

- 時間確率の低いメインローブ間、メインローブーサイドローブ、サイドローブーメインローブの干渉は許容可能であり、時間確率の高いサイドローブ間の干渉が生じない離隔距離を取ることで周波数共用可能。この場合は、汎用型気象レーダに対する制約条件はない。
- サイドローブ間の干渉が生じない離隔距離が取れない場合の対処方法としては以下を実施する。
 - 汎用型気象レーダのパルス幅を50 μ 秒以下とする。
 - 船舶用レーダの使用周波数から40MHz程度周波数離調する(ただし周波数割当上困難)。
 - 船舶用レーダの利用率の少ない周波数で運用する。

■ 航空機搭載気象レーダー

- 見通し内で、航空機搭載気象レーダが利用している中心周波数より ± 2.3 MHz内に汎用型気象レーダの運用周波数が含まれる場合は、汎用型気象レーダはその周波数での送信を停止する。
- 航空機搭載気象レーダ側から総務省に干渉の報告が行われた際には、対象と考えられる汎用型気象レーダの運用者は停波するなど原因究明に協力する。

■ 公共業務用レーダー

- 汎用型気象レーダは公共業務用レーダの方向にメインローブを向けない。
- 汎用型気象レーダは公共業務用レーダに対し、汎用型気象レーダの運用周波数が公共業務用レーダの運用周波数から5MHz以上離調し、汎用型気象レーダのサイドローブと公共業務用レーダのサイドローブとの干渉を避ける離隔距離を取る。
- 汎用型気象レーダの運用周波数帯 ± 2.5 MHz内に公共業務用レーダの送信を検知した場合、直ちに汎用型気象レーダはその周波数での送信を停波する。
- 公共業務用レーダーに混信が発生した場合は、与干渉となる汎用型気象レーダー側が公共業務用レーダーに対し必要な干渉回避の対策を講じる。

ただし、本共用条件は元々高性能レーダーを前提として検討されたものであり、実機ベースにて検討したものではない。そのため、今後、試行期間等において、実態に則して定量的に干渉量を評価し、共用条件を取りまとめていくことが適当。

4.運用調整手法の検討

■ 技術的条件案

■ パルス幅

- 汎用型気象レーダのパルス幅を50 μ 秒以下とする。

■ 離隔距離

- 汎用型気象レーダは公共業務用レーダの方向にメインローブを向けないという条件の下、汎用型気象レーダは公共業務用レーダに対し、汎用型気象レーダの運用周波数と公共業務用レーダの運用周波数を5MHz以上離調した状態で汎用型気象レーダのサイドローブと公共業務用レーダのサイドローブとの干渉を避ける離隔距離を取る。

■ キャリアセンス機能

- 汎用型気象レーダの運用周波数帯 ± 2.5 MHz内に-115dBmを超える電力を受信した場合、停波するか、5MHz以上離調した周波数に変更する機能を具備する。

■ 運用調整案

- 被干渉側に混信が発生した場合は、汎用型気象レーダーは原因究明に協力するとともに、干渉回避の対策を講じる。