

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
気象レーダー作業班 報告（案）

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 帯気象レーダーの技術的条件」

令和 3 年〇月〇日
陸上無線通信委員会
気象レーダー作業班

目次

I.	検討事項	2
II.	委員会及び作業班の構成	2
III.	検討経過	2
IV.	検討の概要	8
	第1章 検討の背景	8
	1.1. 気象レーダーとは	8
	1.2. 現在国内で展開されている気象レーダーについて	10
	1.3. 5GHz 帯気象レーダーの現状と動向	10
	1.3.1. 5GHz 帯気象レーダーの現状	10
	1.3.2. 5GHz 帯気象レーダーの高度化の動向	12
	1.3.3. これまでの情報通信審議会における検討状況	16
	第2章 5GHz 帯無線 LAN との共用	17
	2.1. 共用システムの概要	17
	2.2. 無線 LAN の周波数チャンネル配置エラー! ブックマークが定義されていません。	
	2.3. DFS の概要 エラー! ブックマークが定義されていません。	
	2.3.1. 無線 LAN の DFS に関する規定状況	17
	2.3.1.1. ITU-R における規定状況	18
	2.3.1.2. 我が国における規定状況	18
	2.3.1.3. 米国における規定状況エラー! ブックマークが定義されていません。	
	2.3.1.4. 欧州における規定状況エラー! ブックマークが定義されていません。	
	2.3.1.5. その他の諸外国における規定状況エラー! ブックマークが定義されていません。	
	2.3.1.6. 各国における規定状況の比較エラー! ブックマークが定義されていません。	
	2.3.2. DFS に求められる基本的な要素	21
	第3章 5.3GHz 帯無線 LAN との共用条件	24
	3.1. 次世代高効率無線 LAN との周波数共用条件	24
	3.2. 高速移動時における DFS 動作検証	24
	第4章 動的周波数選択 (DFS) の技術的条件	27
	第5章 気象レーダーの高度化に係る課題	28
	<参考資料>	
	参考資料1 平成 19 年総務省告示第 48 号「小電力データ通信システムの無線局の無線設備の技術的条件を定める件」	00
	参考資料2 成田空港の気象レーダー (5335MHz) に対する W53 無線 LAN の干渉量評価	00
	参考資料3 W53 帯における DFS パルスパターンの暫定的な修正案	00

I. 検討事項

陸上無線通信委員会（以下「委員会」という）は、情報通信審議会諮問第 2040 号「気象レーダーの技術的条件」（平成 29 年 9 月 27 日諮問）のうち、「5GHz 帯気象レーダーの技術的条件」について検討を行った。

II. 委員会及び作業班の構成

委員会の構成は別表 1 のとおりである。

検討の促進を図るため、委員会の下に設置されている気象レーダー作業班（以下「作業班」という。）において気象レーダーの技術的条件について調査を実施した。

作業班等の構成は別表 2 及び別表 3 のとおりである。

III. 検討経過

1 委員会での検討

①第 39 回陸上無線通信委員会（平成 29 年 10 月 5 日）

気象レーダーの技術的条件に関する調査の進め方について検討を行った。

2 作業班での検討

①第 1 回気象レーダー作業班（平成 29 年 10 月 13 日）

気象レーダーの概要、気象レーダー作業班の運営方針の説明及び気象レーダーの技術的条件に関する検討（案）を説明し、（案）のとおり承認した。また、今後の作業班及び各サブ・ワーキング・グループの開催予定について説明、確認を行った。

②第 2 回気象レーダー作業班（平成 29 年 12 月 21 日）

X 帯の共用検討対象システムの概要等について、以下の項目について説明を行った。

- ・船舶レーダー
- ・航空機気象レーダー
- ・BS/CS 放送受信システム

③第 3 回気象レーダー作業班（平成 30 年 4 月 19 日）

周波数の有効利用のための 5.3GHz 帯無線 LAN の DFS の技術的条件のあり方について説明を行い、技術的条件や課題について、今後の対応方針を確認した。

④第 4 回気象レーダー作業班（平成 30 年 4 月 19 日）

主に船舶用レーダーとの混信及び共用の条件、航空機レーダーと X 帯気象レーダーとの共用検討方針、気象レーダーと BS/CS 受信共用検討等について説明を行った。

⑤第 5 回気象レーダー作業班（平成 30 年 12 月 6 日）

気象情報のユーザーからの要望、技術的条件（諸元）の分類、X 帯気象レーダーに必要な諸元案、共用システムとの検討状況、5.3GHz 帯無線 LAN の DFS の見直しに係る測定の結果等の検討状況の結果を報告した。また、気象レーダー作業班の報告書骨子案について確認を行った。

⑥第6回気象レーダー作業班（令和元年5月27日）

9.7GHz帯汎用型検討スケジュールや検討体制（案）、汎用型における9.4GHz帯と9.7GHz帯の区分け（案）、9.7GHz帯汎用型気象レーダーの諸元や設置台数について検討結果を報告した。また、占有周波数帯幅（OBW）及び特性周波数や、衛星放送受信設備との共用検討の状況について報告を行った。

⑦第7回気象レーダー作業班（令和2年5月13日）

C帯サブ・ワーキング・グループにおける検討状況の報告を行った。

⑧第8回気象レーダー作業班（令和3年10月22日）

⑨第9回気象レーダー作業班（令和元年〇月〇日）

別表1

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 構成員

(令和3年6月1日現在 敬称略)

氏名		所属
主査委員	安藤 真	独立行政法人国立高等専門学校機構 理事
主査代理 専門委員	豊嶋 守生	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター 総合研究センター長
委員	森川 博之	東京大学大学院 工学系研究科 教授
専門委員	秋山 裕子	富士通株式会社 共通技術開発統括部 ソフトウェア化技術開発室長
	飯塚 留美	一般財団法人マルチメディア振興センター 電波利用調査部 研究主幹
"	伊藤 数子	特定非営利活動法人 STAND 代表理事
"	河野 隆二	横浜国立大学大学院 工学研究院 教授 兼 同大学 未来情報通信医療社会 基盤センター長
	児玉 俊介	一般社団法人電波産業会 専務理事
	齋藤 一賢	日本電信電話株式会社 技術企画部門 電波室長
	田中 秀一	一般社団法人全国陸上無線協会 専務理事
"	田丸 健三郎	日本マイクロソフト株式会社 技術統括室 業務執行役員 ナショナルテクノロジー オフィサー
	土田 健一	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部 部長
"	日野岳 充	一般社団法人日本アマチュア無線連盟 専務理事
	藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授
"	藤野 義之	東洋大学 理工学部 電気電子情報工学科 教授
"	本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
"	松尾 綾子	株式会社東芝 研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所 ワイヤレスシステムラボラトリー 研究主幹
"	三谷 政昭	東京電機大学 工学部 情報通信工学科 教授
"	三次 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
"	吉田 貴容美	日本無線株式会社 シニアエキスパート

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
 気象レーダー作業班 構成員

(令和3年9月16日現在 敬称略)

氏名		所属
主任	川西 哲也	早稲田大学 教授
主任代理 (X 帯リーダー)	牛尾 知雄	大阪大学 教授
(C 帯リーダー)	中村 健治	名古屋大学 名誉教授
構成員	相川 和則	電気事業連合会 情報通信部 副部長 (第4回まで)
	村上 直弘	電気事業連合会 情報通信部 副部長 (第5回から)
	石垣 悟	日本無線 (株) 担当部長
	市川 麻里	(国研) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長 (第5回から第7回まで)
	渡辺 知尚	(国研) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長 (第 回)
	柿元 生也	三菱電機 (株) 主席技師長
	梶原 佑介	気象庁 大気海洋部 観測整備計画課 遠隔観測技術管理調整官 (第3回から)
	川村 和也	国土交通省 航空局 交通管制部 管制技術課 航行支援技術高度化企画室 管制技術調査官 (第6回から)
	菊池 弘明	全日本空輸 (株) 整備センター 技術部長 (第2回から)
	工藤 則安	気象庁 観測部 観測課 調査官 (第2回まで)
	小出 孝治	(国研) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長 (第4回まで)
	小嶋 正一	国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 企画専門官 (第3回から第7回まで)
	中村 淳一	国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 企画専門官 (第8回から)
	佐藤 常人	国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 課長補佐 (第2回まで)
	鮫島 耕治	海上保安庁 総務部 情報通信課 システム整備室 課長補佐 (第3回から)
	清水 昭典	古野電気 (株) SSBU ソリューション開発2課 課長
	正源 和義	(株) 放送衛星システム 総合企画室 専任部長
鷹取 泰司	(一社) 電波産業会 無線 LAN 開発部会 副委員長	

田北 順二	(一社) 全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長
田島 慶一	スカパーJSAT (株) 技術運用部門 放送技術本部システム技術部 放送技術主幹
龍野 真哉	海上保安庁 総務部 情報通信課 システム整備室 課長補佐 (第2回まで)
田中 祥次	NHK 放送技術研究所 伝送システム研究部 (第4回まで)
横畑 和典	NHK 放送技術研究所 伝送システム研究部 (第5回から)
田村 知紀	全日本空輸 (株) 整備センター 技術部 電装技術チーム (第1回)
初村 昭敏	国土交通省 航空局 交通管制部 管制技術課 航空管制技術調査官 (第4回まで)
花土 弘	(国研) 情報通信研究機構 電磁波研究所 リモートセンシング研究室研究マネージャー
松田 圭太	防衛省 整備計画局 情報通信課 防衛部員 (第6回まで)
阿部 敏和	防衛省 整備計画局 情報通信課 電波政策室 防衛部員 (第7回から)
山口 貴洋	住友電設 (株) 通信システム事業部 広域通信システム部 部長 (第5回まで)
今井 克之	住友電設 (株) 通信システム事業部 広域通信システム部 主管 (第6回から)
山路 昭彦	(一財) 日本気象協会 防災ソリューション事業部 部長
山本 雅也	(株) ウェザーニューズ 執行役員
横山 悠	(株) JAL エンジニアリング 技術部 システム技術室電装技術グループ
米本 成人	(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 上席研究員
和田 将一	東芝インフラシステムズ (株) 電波システム事業部 電波応用技術主幹
渡邊 浩志	国土交通省 航空局 交通管制部 管制技術課 航行支援技術高度化企画室 管制技術調査官 (第5回)

別表 3

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
 気象レーダー作業班 C帯サブ・ワーキング・グループ構成員

(令和2年4月16日現在 敬称略)

氏名		所属
リーダー	中村 健治	獨協大学 教授
構成員	小林 顕造	国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 係長
	岡田 良教	電気興業(株) 機器統括部 技術部 専任課長
	梶原 佑介	気象庁 大気海洋部 観測整備計画課 遠隔観測技術管理調整官
	斎藤 浩二	住友電設(株) 通信システム事業部 事業企画部 課長
	朝日 和哉	電気事業連合会 情報通信部 副長
	花土 弘	(国研) 情報通信研究機構 電磁波研究所 リモートセンシング研究室研究マネージャー
	羽田 利博	日本無線(株) 担当課長
	松田 知也	三菱電機(株) チームリーダー
	和田 将一	東芝インフラシステムズ(株) 電波システム事業部 電波応用技術主幹

IV. 検討の概要

第1章 検討の背景

1.1. 気象レーダーとは

気象レーダーは電波を空中に放射し、雨や雲の粒からの反射波を捉えることで、降水分布や風向風速等の観測を行う観測装置である。具体的には、図 1.1-1 のように、空中線を回転させながら電波（マイクロ波）を発射し、半径数百 km の広範囲内に存在する雨や雪を観測する。発射した電波が戻ってくるまでの時間から雨や雪までの距離を測り、戻ってきた電波（レーダーエコー）の強度から雨や雪の強度を観測する。気象ドップラーレーダーは、雨や雪の強度に加え、戻ってきた電波の周波数のずれ（ドップラー効果）を利用して、雨や雪の動きを観測することが可能である。気象レーダーは、仰角を変更しながら水平回転し、気象レーダー設置位置を中心とした半球内の降雨分布を3次的に走査・測定する。

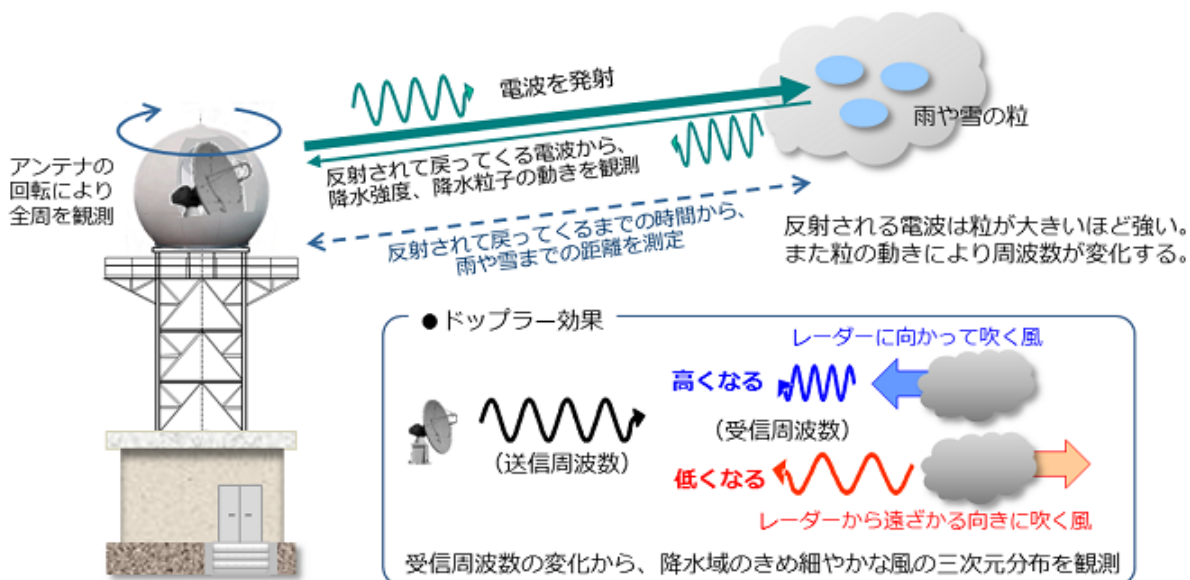


図 1.1-1 気象レーダーの概念図（出典 気象庁 HP）

気象レーダーの持つ観測装置の特徴から、地上気象観測装置よりも早く雨雲の発生を観測することが可能である。地上の気象観測網の代表例として、気象庁アメダス（AMeDAS：Automated Meteorological Data Acquisition System）があるが、これは現在日本全国約 1300 か所に設置され、1 分又は 10 分毎に降水量、風向・風速、気温、日照時間及び積雪深の観測を自動的に行っている。しかし、降水量はあくまで上空の雨雲により降らせた雨の量を観測しているものであり、事前に雨雲の発生を検知できるものではない。気象レーダーは、図 1.1-2 のとおり、積乱雲になる前の雨雲の卵の発生から、その雨雲の発達過程や衰弱過程、竜巻、突風の前兆現象を早期に観測することが期待されている。

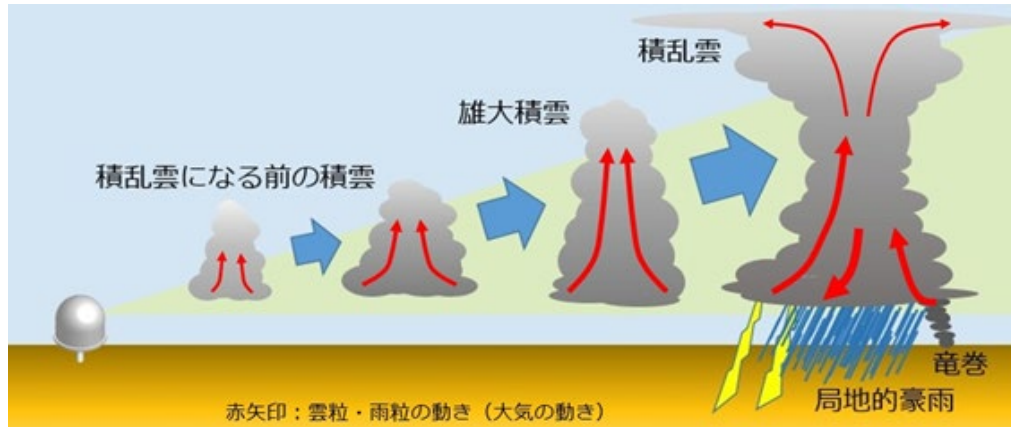


図 1.1-2 雨雲の発達過程とレーダーによる観測イメージ

その気象レーダーの観測範囲は主として使用周波数に依存し、日本国内ではC帯（5GHz帯）、X帯（9GHz帯）の電波が使用されている。世界的にはS帯（3GHz帯）¹も使用されている。C帯気象レーダーはより広域を観測することを目的としているが、X帯は広範囲を観測するタイプと狭い範囲を観測するタイプに分かれる（図 1.1-3）。観測タイプの違いは、その観測可能な気象現象と関連性が高く、広域観測を目的とするC帯気象レーダー、X帯気象レーダーでも広範囲観測を目的とするタイプのレーダーの場合は、台風や低気圧、前線などといった空間的な広がり大きい気象現象の観測に向いている。一方、X帯気象レーダーのうち、狭い範囲の観測を目的とするものは、局地的大雨や突風、竜巻など、空間的な広がりが小さい気象現象の観測に向いている。

このように様々なタイプの気象レーダーにより多様な気象現象の観測が可能となっており、この観測結果を基にした気象予測や防災情報が気象庁や民間気象会社などから情報提供されている。これらの情報は国民に広く提供されており、国民の安全安心の確保に活用されている。昨今の局地的大雨（いわゆるゲリラ豪雨）や大規模な水害の増加等を受け、気象レーダーによる気象予測や防災情報の重要性は増してきていると言える。

¹ 日本では、富士山レーダーとして2.8GHz帯気象レーダーを使用してきたが、気象衛星により台風の接近を観測できるようになったこと及び代替のレーダーが長野県車山と静岡県牧之原台地に設置されることによりその役割を終え、平成11年に富士山レーダーの運用は終了した。

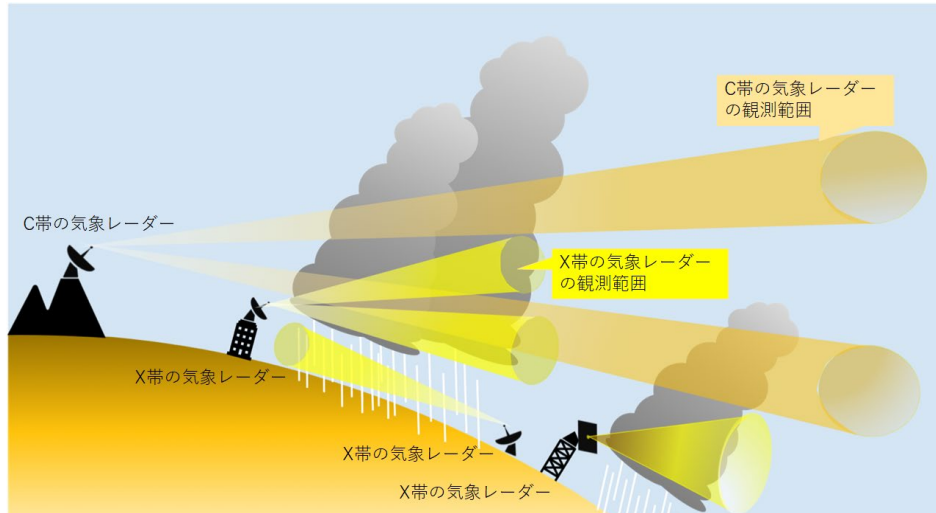


図 1.1-3 気象レーダーの観測範囲の特徴

1.2. 現在国内で展開されている気象レーダーについて

災害をもたらす気象現象をなるべく早く検知するためには、広範囲での観測が可能な気象レーダーを用いることは非常に有効である。かつ、なるべく少ない台数で日本全国をカバーできる観測網を整備することが、周波数の利用効率の観点から見ても望ましい。このため、我が国では広範囲が観測可能なC帯の気象レーダーを中心に展開を進めてきた。C帯気象レーダーの特徴として、観測半径が気象レーダーから最大400km程度で非常に広範囲な観測が可能であるため、気象庁による予報業務への活用に加えて、国の関係機関や地方自治体、公共インフラ運営企業（電力、ガスなど）、及び一般国民が広く利用できる。また、X帯に比べて降雨減衰の影響を受けにくい特長を生かし、空港に設置して、航空機の離着陸に大きな影響を与える低い高度での風向変動である低層ウィンドシアアの検出にも用いられている。

これに対して、X帯気象レーダーは、アンテナ径を小さくできるのでレーダー本体を小型化することができ、様々な探査方法（高速スキャンやスキャン方法の多様化）を実現しやすい。ただし、送信周波数がX帯であるため、降水による信号の減衰が大きく、観測半径をあまり大きくすることはせず、気象レーダーから半径50～80km程度としている。現在では、X帯気象レーダーの免許人として、国や地方自治体、公共インフラ運営企業に加えて、民間企業でも設置が可能となってきた。

C帯気象レーダーの現状について、詳細を以下のとおり述べる。

1.3. 5GHz帯気象レーダーの現状と動向

1.3.1. 5GHz帯気象レーダーの現状

C帯気象レーダーは、免許人が気象庁や国土交通省、電力会社等により運用されている。C帯気象レーダーの特徴の一つとして、半径数百kmの広範囲での観測が可能であることが挙げられる。このため、台風や低気圧、前線などを要因とする雨雲、冬によく見られる日本海での筋状の雪雲といった、現象のサイズが数百km程度の気象現象の観測を行い、雨雲や雪雲の発生や台風、低気圧の動きを早期検知することに強みを持つ。こうした特徴は、気象庁や国土交通省等の公的機関が国民に対する一般的な気象予測や幅広い気象情報の提供と

いった目的に合致する。



図 1.3.1-1 気象庁東京レーダー（気象庁 HP より）

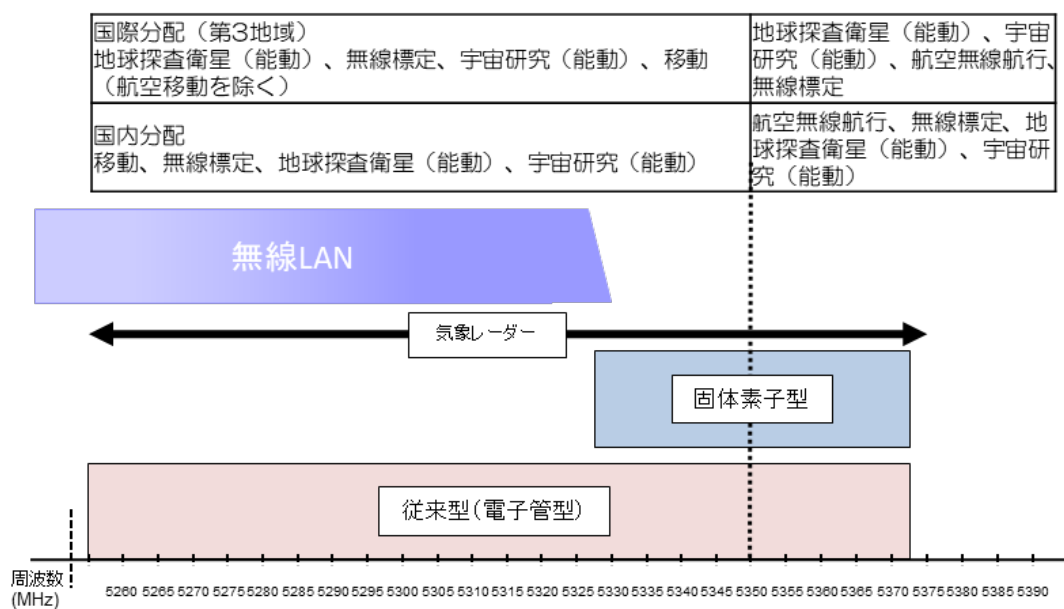


図 1.3.1-2 5 GHz 帯の周波数割当状況

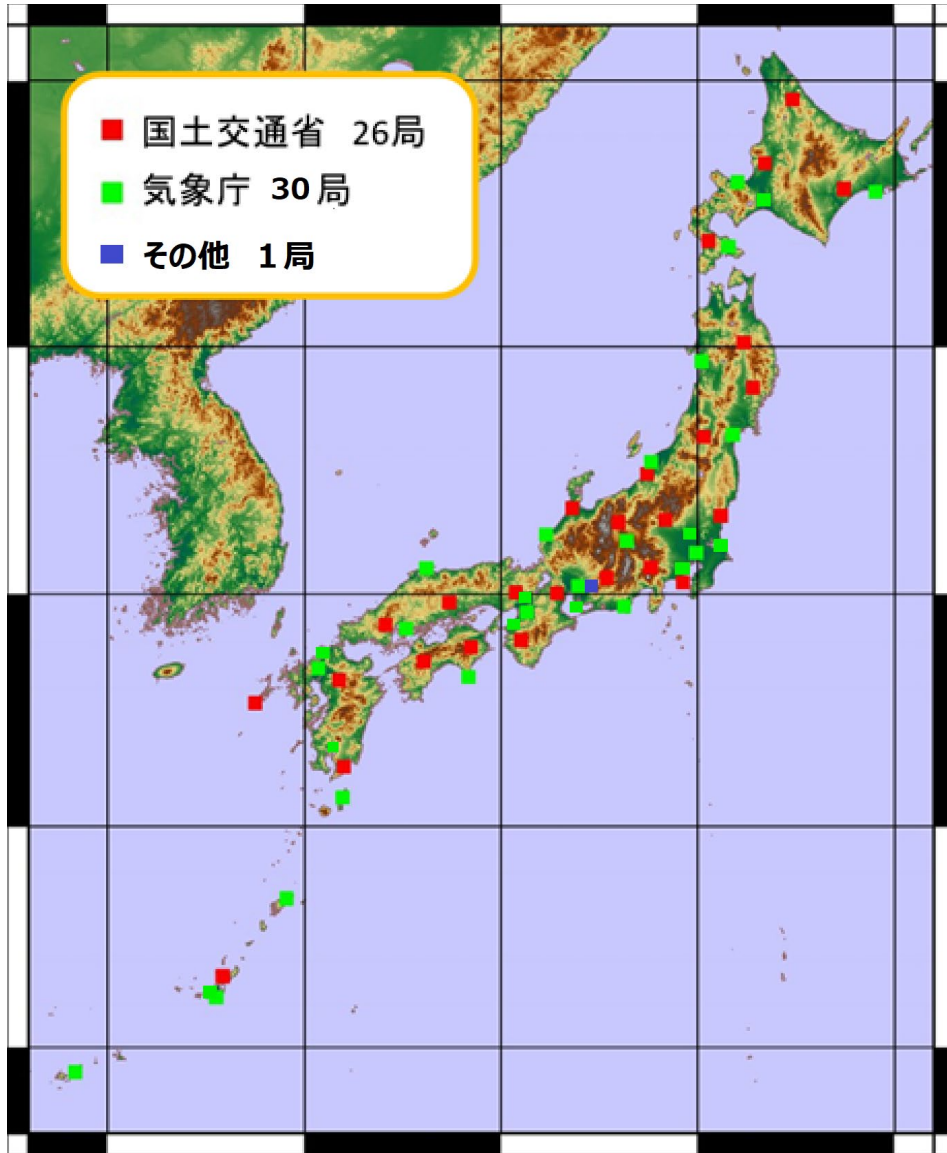


図 1.3.1-3 C帯気象レーダーの設置（常置）場所
（令和3年9月末現在）

1.3.2. 5GHz 帯気象レーダーの高度化の動向

国内で現業用気象レーダーが稼働して既に半世紀以上が経過した。開発当初から現在、また近い将来までの気象レーダー技術の動向を図 1.3.2-1に示す。気象レーダーは、1950年代から降雨からの反射電力により雨の強弱を定性的に観測する反射型レーダーとして始まった。この時代の要素技術としては送信管として自励発振型のマグネトロンが用いられ、受信機はアナログ方式の対数増幅器が用いられた。受信機の出カビデオ信号は白黒の残光型ディスプレイ（PPI: Plan Position Indicator）に空中線回転と同期しながら映し出され、雨域の強弱を輝度の強弱に比例させ暗室で観測（スケッチ）するアナログタイプのシステムであった。

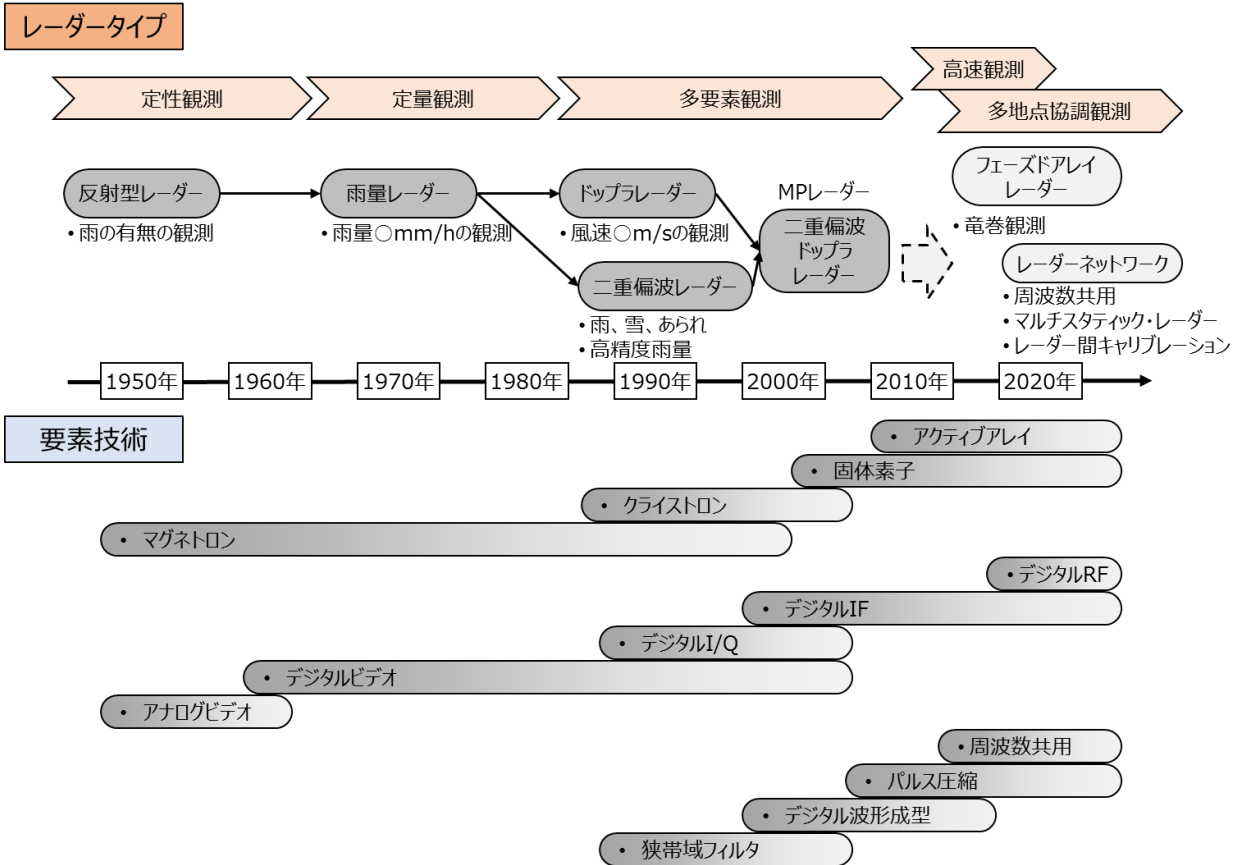


図 1.3.2-1 気象レーダー技術の動向

その後、1970年代にはデジタルICやミニコンピュータなどデジタル技術が発達し、これらの採用によりシステムの安定化と高度な処理が可能となり、定量的雨量観測ができる雨量レーダーへと発展してきた。観測データはカラー表示器により明るい場所でも鮮明に映し出され、デジタル記録によりオフラインでの解析等も可能になった。

1990年代に入ると、降雨強度に加え、大気の流れ（反射電波の位相情報から風を推定）を観測できるドップラレーダーへと発展してきた。位相情報を安定的に扱うために送信機として増幅型のクライストロンが主流となり、受信機もリニアアンプとデジタルIQ方式が採用されるようになった。また、ここまでのレーダータイプでは単一の偏波（一般的には水平偏波）のみを用いた電波の送受信であったが、2つの偏波（水平偏波と垂直偏波）を用いた二重偏波レーダーがドップラレーダーとほぼ同時期に実用化されてきた。これにより、降水現象を2つの偏波を用いて観測することで降水の粒径分布がリアルタイムに推定でき、より精度の高い降水量を推定することが可能となった。ドップラレーや二重偏波による観測を多要素（MP：Multi Parameter）観測と呼ぶ。

2000年代に入ってくると、ドップラレーダーと二重偏波レーダーを統合した二重偏波ドップラレーダー、いわゆる本格的なMPレーダーの実用化が進み、5GHz帯気象レーダーについては順次MPレーダーに置き換えられている。

図 1.3.2-2 5GHz 帯気象レーダーの性能

技術スペック等	概要
用途	広域を対象とした観測（固定運用）
観測範囲	半径120km～400km程度

使用周波数帯	5250～5372.5MHz
観測分解能	250m～1 km程度
観測周期	約5分
空中線サイズ	直径4 m程度（ビーム幅約1度）
設置場所	比較的高い山頂、市街地のビルや鉄塔

この2000年代ではデジタル技術がさらなる発展を遂げ、より高い周波数の信号もデジタル処理できるようになってきた。要素技術としては中間周波数（IF）をデジタル処理するデジタルIF処理が採用され、信号を更に安定的に扱うことができるようになった。

更に周波数有効利用の観点から、総務省の「クライストロン送信機デジタル波形成形技術及び固体素子等を用いたレーダー技術の研究開発」（2005～2007年）によって固体化MPレーダーが開発され、2010年代に現業気象レーダーとして実用化された。このレーダーは、図 1.3.2-3に示すように従来のマグネトロンやクライストロンの代わりに半導体素子を使用した固体化送信機を採用している。これによりチャンネル幅の狭帯域化、送信電力の低出力化が図られて、レーダー間の電波干渉が低減された。

この固体化MPレーダーの登場によって、従来の半分以下の離調幅で密な周波数配置をした場合でも与干渉レベルの大幅な軽減が可能となった。これを受けて、従来気象レーダー用に割り当てられていた100MHzの周波数の帯域幅を45MHzに抑える周波数の再配置計画が実施され、設備更新されるレーダーから順次周波数移行が進められている。

既に防災目的で運用中である固体化MPレーダーシステムの一例として、その外観を図 1.3.2.-4に示す。

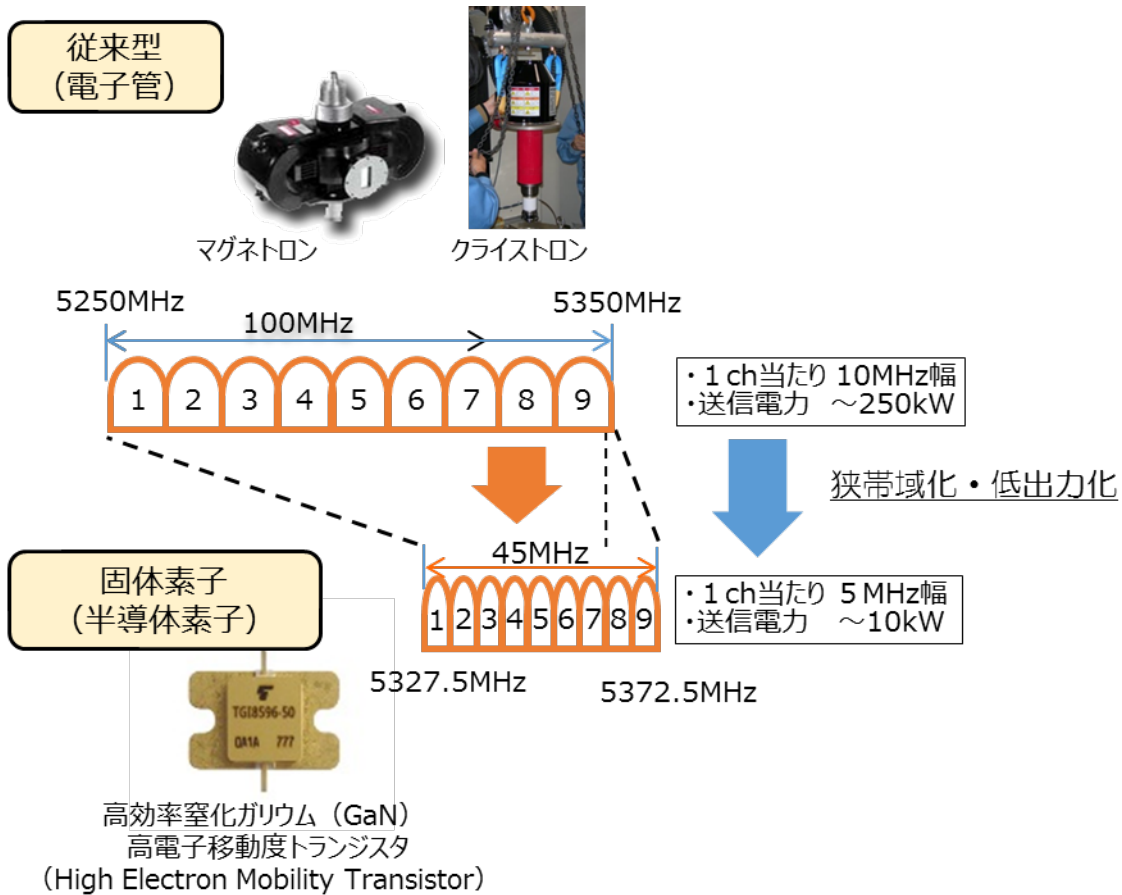


図 1.3.2-3 送信素子の移行による狭帯域化と低出力化



図 1.3.3-4 固体化 MP レーダーシステムの外観

気象レーダーの送信電波のスプリアス（当該レーダーの必要周波数帯以外で放射される電波）を抑圧するためのデジタル波形技術、また固体化MPレーダーで必要となるパルス圧縮技術等が近年のレーダーにおける重要な技術要素である。

同一周波数帯域で共用する他の無線システム、具体的には5.3GHz帯無線LANは、このような技術変化に対応することが必要となる。

1.3.3. これまでの情報通信審議会における検討状況

我が国においては、WRC-03において5150～5350MHz及び5470～5725MHzが無線LANを含む無線アクセスシステムに一次業務として分配され、無線標定業務、地球探査衛星及び宇宙研究業務との共用に係るDFS及びTPCの仕様や共用基準に係る勧告が採択されたことを受け、平成16年度情報通信審議会一部答申において、無線LANに5250～5350MHzが開放された際、無線標定業務との共用を考慮して、親局はDFSを具備することとされたと同時に、今後の検討課題として、無線LANと気象レーダーとの間で5250～5350MHzを共用する観点から、「今後の気象レーダーの高機能化等に際しては、その諸元や技術的特性に配慮」することとされた。

さらに、平成18年度情報通信審議会一部答申においては、半導体素子を用いた気象レーダー技術の移行が想定され、既存システムのDFSの検出レベルや測定方法では共用できない可能性が指摘されたことを踏まえ、今後、気象レーダーが採用する技術方式の動向を注視するとともに、必要に応じ、無線LANのDFSに係る技術的条件を見直すことが必要であるとされ、平成24年度及び29年度情報通信審議会一部答申においても同様に、「5250MHzから5350MHzまでの周波数の電波を使用する気象レーダーの高度化が導入される段階で現行のDFSの測定条件で適切に動作するかの検証を行い、その上で必要が生じればDFSの測定条件の見直しを図ることが適当である」とされたところである。

第2章 5GHz 帯無線 LAN との共用

2.1. 共用システムの概要

我が国における5GHz帯の使用状況を図 2.1に示す。我が国では気象レーダーは5.25～5.37GHz帯を使用しており、5250～5350MHzを使用する5.3GHz帯の無線LANとの共用が必要となる。

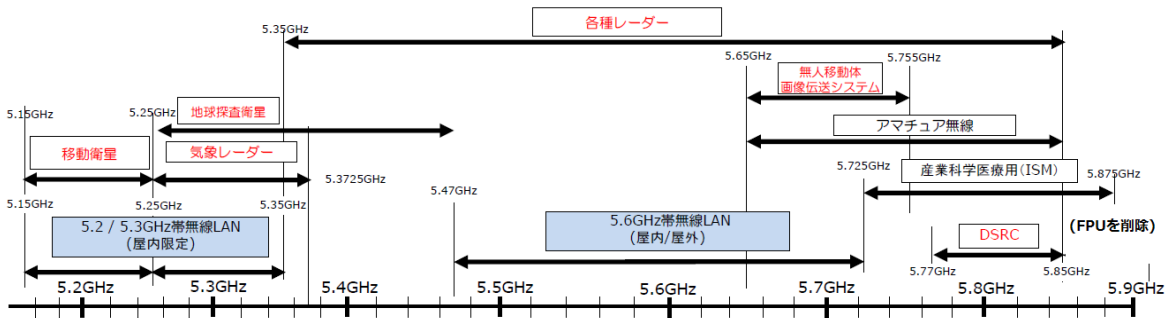


図 2.1 現在の 5GHz 帯の使用状況
(赤字は、無線LANとの共用検討対象システム)

2.1.1. 無線 LAN の DFS に関する規定状況

2.1.1.1. DFS の概要

DFSとは、5GHz帯無線LAN等の無線アクセスシステムがレーダーシステムに影響を与えないように、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には、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り、ITU-R勧告M. 1652-1においてDFSの搭載が義務付けられ、我が国においては技術基準²に基づき、DFSの具備を必須としている（参考資料1：平成19年総務省告示第48号）。

DFSの動作概要については図 2.1.1.1で示すとおり、無線アクセスシステムは、運用前の60秒間及び運用中において、レーダーシステムからのレーダー波をモニタリングする。上記モニタリングにおいてレーダー波を検出した場合、10秒以内に当該周波数から立ち退き、また、当該周波数での電波発射は最低30分間回避する必要がある。

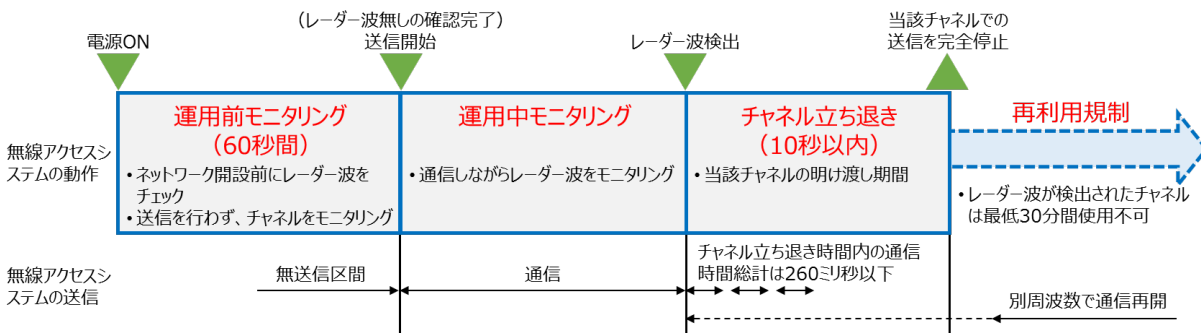


図 2.1.1.1 DFS の動作概要

²無線設備規則第 49 条の 20 第 3 号ワ、同条第 4 号リ及び同条第 5 号リ

我が国においては、5.3GHz帯小電力データ通信システムにおけるレーダー波の要求レベル（DFS閾値）については表 2.1.1.1で示すとおり、受信利得が0dBiのアンテナを使用した場合において、最大EIRPが200mW未満のデバイスについてはDFS閾値を-62dBm、最大EIRPが200mW以上のデバイスについてはDFS閾値を-64dBmにすることが規定されており、あわせて5.3GHz帯小電力データ通信システムのDFSを対象とした試験方法を定めている。

表 2.1.1.1 我が国の DFS 検出閾値

最大EIRP	DFS閾値
200mW未満	-62dBm
200mW以上	-64dBm

注 送信空中線の絶対利得は、0dBiとする。

2.1.1.2. ITU-R における規定状況

5250～5350MHz及び5470～5725MHzでは、平成24年（2012年）世界無線通信会議（WRC-12）における決議第229のresolves 8により、レーダシステムと無線LANの共用を保証するため、無線LANシステムはITU-R勧告M.1652-1のAnnex1の干渉軽減技術（DFS）の搭載が義務付けられている。ただし、2.2節で述べるとおり、5650～5850MHzについては、我が国における移動業務によるこの帯域の使用は決議第229の対象外となり、DFSの具備は義務となっていない。

なお、現時点では、当該周波数帯において保護の対象となるレーダーは、ITU-R勧告M.1638-0に規定されたものに限定されている。

2.1.1.3. 我が国における規定状況

我が国におけるDFSに係る要求条件の詳細は、以下の表に示すとおりであり、これらは無線設備規則第四十九条の二十第三号ワ及び第四号のりの規定に基づく小電力データ通信システムの無線局の無線設備の技術的条件（平成19年総務省告示第48号）の四で規定され、特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則別表第一号一(3)の規定に基づく特性試験の試験方法（平成16年総務省告示第88号）別表第45に基づいてDFSの特性試験が行われる。

試験機器の通信負荷条件は、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、無線設備の最大伝送信号速度の50%となるように設定されている。

表 2.1.1.3-1は、DFSの各機能に要求される時間パラメータを示したものであり、ITU-R勧告M.1652-1の規定を参照した値が設定されている。

表 2.1.1.3-1 我が国の DFS 要求の時間パラメータ

パラメータ	値
Channel Availability Check Time (送信しようとしているチャンネルの占有周波数帯幅内におけるレーダーが送信する電波の有無の確認時間)	60 秒
Channel Move Time ^注	10 秒

(運用中チャンネル監視の機能及び送信停止時間)	
Non-Occupancy Period ^注 (運用中チャンネル監視によりレーダー電波が検出された場合の送信停止時間)	30 分

注 工事設計書において確認される。

我が国におけるDFSの検出閾値は、表2.2.2.1のとおりであり、ITU-R勧告M.1652-1の規定を参照した値が設定されている。

表 2.1.1.3-2は、試験信号のパラメータを示したものである。

5.3GHz帯については、パルス1と2は、いずれも固定パラメータの短パルス波形である。

5.6GHz帯については、パルス1～3が固定パラメータの短パルス波形、パルス4～6が可変パラメータの短パルス波形、チャープはチャープパルス波形、ホッピングは周波数ホッピング波形であり、これらのパラメータの多くはFCCと共通している。

表 2.1.1.3-2 我が国の DFS パルスパターン

周波数帯	試験信号	パルス幅 [μ s]	パルス繰り返し周波数 [Hz]	Pulses per burst (PPB)	繰り返し周期 [s]
5.3GHz 帯	固定パルス1	1.0	700	18	15
	固定パルス2	2.5	260	18	15
5.6GHz 帯	固定パルス1	0.5	720	18	15
	固定パルス2	1.0	700	18	15
	固定パルス3	2.0	250	18	15
	可変パルス4	1～5	4377～6667	18	15
	可変パルス5	6～10	2000～5000	23～29	15
	可変パルス6	11～20	2000～5000	16～18	15
	チャープ	50～100	500～1000	1～3	12
ホッピング ^注	1	3000	9	10	

注 ホッピング間隔は、3msとする。

表 2.1.1.3-3は、必要とされるレーダー信号の検出確率を示したものである。

5.3GHz帯を使用する場合、はじめの20信号中の検出回数が15回以上、又は、はじめの20信号中で検出回数が11回以上かつ40信号中の検出回数が24回以上である必要がある。

5.6GHz帯を使用する場合、固定パルス1～3と可変パルス4～6については、5.3GHz帯と同じ条件が設定されているほか、パルス1～6の平均で80%以上の検出率が必要となる。

5.6GHz帯のチャープ信号の場合、はじめの20信号中の検出回数が18回以上、又は、はじめの20信号中の検出回数が15回以上かつ40信号中の検出回数が32回以上である必要がある。

5.6GHz帯のホッピング信号の場合、はじめの20信号中の検出回数が16回以上、又は、はじめの20信号中の検出回数が11回以上かつ40信号中の検出回数が28回以上である必要がある。

表 2.1.1.3-1 我が国で要求される検出確率

レーダーの種別		最小検出確率
5.3GHz帯	固定パルス 1	以下のどちらかの条件を満たす ・ 15/20 以上 ・ 11/20 以上 かつ 24/40 以上
	固定パルス 2	同上
5.6GHz帯	固定パルス 1	同上
	固定パルス 2	同上
	固定パルス 3	同上
	可変パルス 4	同上
	可変パルス 5	同上
	可変パルス 6	同上
	パルス 1～6 の平均	80%以上
	チャープ	以下のどちらかの条件を満たすこと ・ 18/20 以上 ・ 15/20 以上 かつ 32/40 以上
	ホッピング	以下のどちらかの条件を満たすこと ・ 16/20 以上 ・ 11/20 以上 かつ 28/40 以上

2.1.2. DFS に求められる基本的な要素

従来、DFSが検出すべきパルスパターンは、電子管タイプのレーダーが使用する短パルスに基づき規定されていたが、固体化MPレーダーは図 2.1.2-1及び図 2.1.2-2のように短パルスと長パルスを使用する。

図 2.1.2-1 気象庁が運用している固体化MPレーダーのパルスバーストに含まれる短・長パルスの組合せ

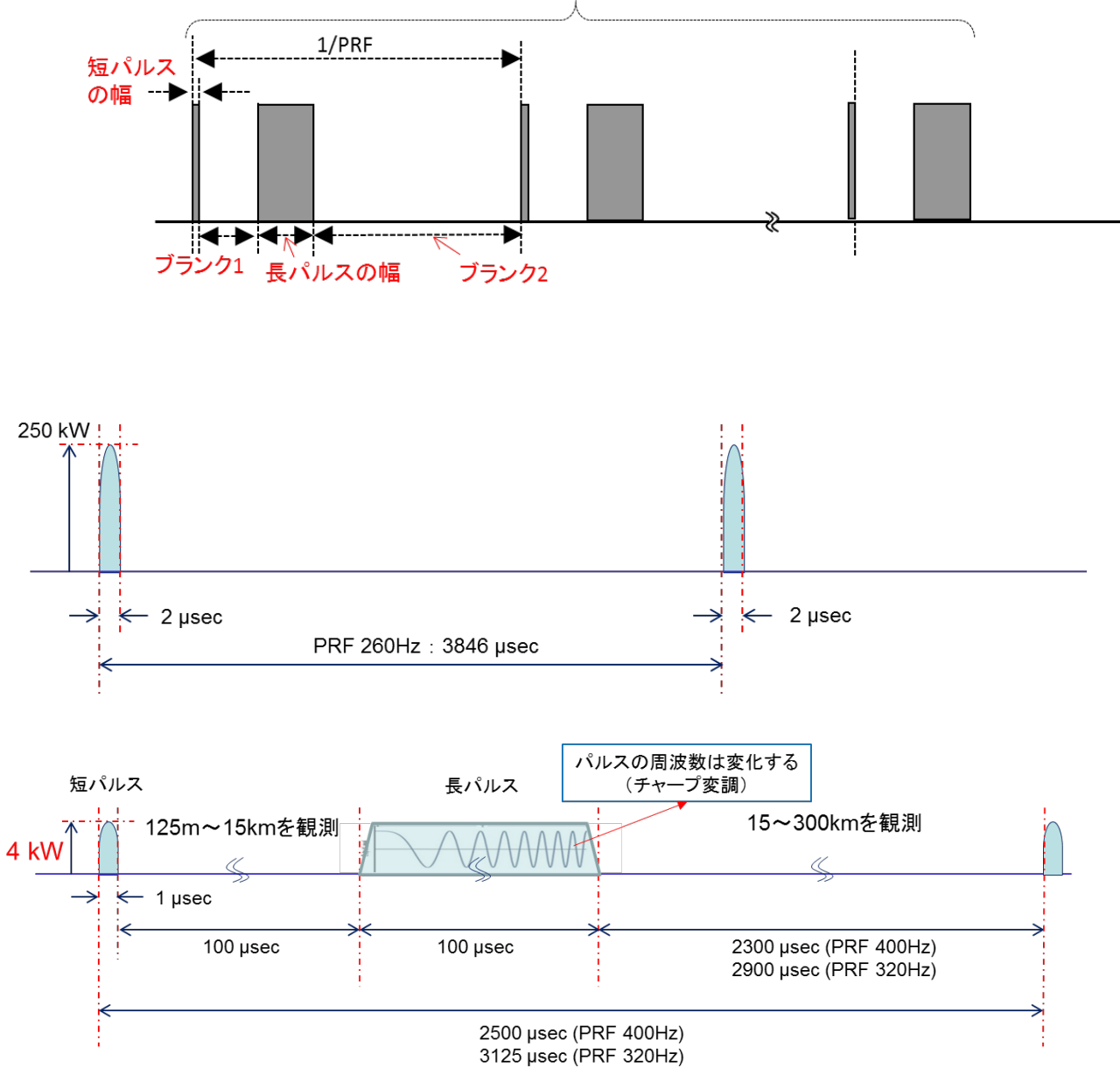


図 2.1.2-1 国土交通省が運用しているレーダー雨量計のパルス
(上段：従来のパルス方式レーダー雨量計、下段：固体化MPレーダー)

固体化MPレーダーによる気象観測のイメージを図2.1.2-3に示す。

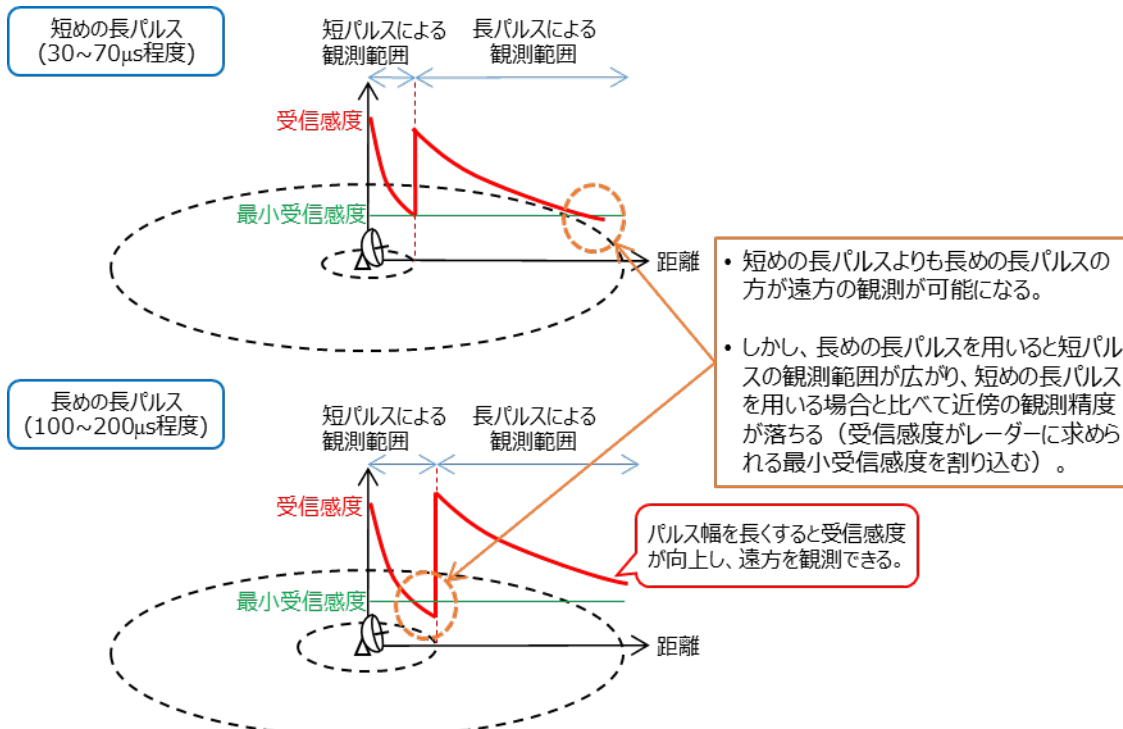


図2. 1. 2-3 固体化MPレーダーによる気象観測イメージ

気象レーダーの受信感度は、送信波のピーク電力とパルスの幅の積に比例し、レーダーからの距離の2乗に反比例する。これに基づいて気象レーダーでは、観測に必要な探知距離と、最小受信感度を満たすように、パルス幅等を設定する。

短パルスの幅の値は、距離分解能に応じて設定され、例えば150mの距離分解能は $1.0 \mu s$ 幅に相当する。

長パルスの幅の値は、観測範囲と受信感度に応じて設定され、幅を長くすると遠方の受信感度が向上し、より遠くの雨を捕捉できるようになる。パルス幅を長くするほど、小さなピーク電力により遠方を観測することができるが、距離分解能はパルス幅に比例するため、長パルスにおいては距離分解能を維持するためにチャープ変調を施したパルス圧縮技術が用いられる。また、パルス送信中は受信ができず、近距離の観測ができなくなるため、近距離の観測では短パルスを送受信することで補完を行うが、短パルスの受信感度は低いため、長パルスが長くなり補完領域が増えると、補完しきれなくなる。このため、遠距離（300～400km）の観測には長めのパルス（100～200 μs ）を、中距離（150km程度）の観測には短めのパルス（30～70 μs ）を用いる。

短パルスと長パルスの間（ブランク1）は、短パルスの受信時間（近距離の観測範囲）に相当し、長パルスの送信中は受信ができない領域を補う目的から、基本的に長パルスの幅とほぼ同じ長さとなる。なお、長パルスの幅は半値幅（3dB幅）で定義され、パルスの立ち上がり開始から立ち下がり終了までの全パルス長は、長パルスの幅より10～20%程度長くなる。また、ブランク1を必要以上に長くすることは、処理に用いるパルス数の減少により観測精度の低下に繋がるとともに、ドップラー速度の観測精度が大幅に低下するため、避ける必要がある。

長パルスと短パルスの間（ブランク2）は、長パルスの受信時間（観測範囲）に相当する。

国土交通省では、従来の電子管型レーダーによる雨量観測から、固体化MPレーダーへの移行に伴い、パルス出力が数百kW級から数kWに低減されたが、観測精度を維持するため、長パルス（100 μ s以上）によるパルス圧縮の技術が導入されたところである。

また、気象庁では、平成27年度（2015年度）以降、空港に設置された気象レーダーについて、電子管型レーダーから固体化MPレーダーへと設備更新を進めており、空港以外に設置した気象レーダーについても同様の更新を令和元年度（2019年度）以降に進めている。

このため、今後、全国への固体化MPレーダーの導入がいつそう進むことが想定され、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MP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。具体的には、我が国で規定されている項目として、パルスの変調方式、パルス幅、パルス繰り返し周波数（PRF）、バースト当たりのパルス数、バースト間隔（繰り返し周期）、検出確率、検出閾値及び通信負荷率について見直すことが適当である。

第3章 5. 3GHz帯無線LANとの共用条件

3.1. 次世代高効率無線LANとの周波数共用条件

5. 3GHz帯で運用される次世代高効率無線LANと気象レーダーとの周波数共用検討については、平成16年度、18年度及び24年度情報通信審議会一部答申にあるとおり、これまでの20MHz/40MHz/80MHzシステムとの周波数共用条件の検討結果を踏まえ、以下のようにすることが必要である。

- ① 隣接チャンネル及び次隣接チャンネル帯域、帯域外領域及びスプリアス領域における不要発射の強度の許容値が802.11axで規定するスペクトラムマスクに準拠すること。
- ② ITU-R勧告M.1652に基づくDFS機能を具備すること。
- ③ WRC決議第229に基づき、TPC機能を具備すること、又はTPCを具備しない場合は規定の最大出力から3dB低下すること。

また、今回の技術検討において、IEEE802.11無線LANの使用周波数帯から外れた帯域において動作する気象レーダー（成田空港、中心周波数5335MHz）について、DFS機能が動作しないことが想定される。そこで、参考資料2に示すとおり検討を行った。その結果、従来の802.11acのスペクトルマスクを想定した場合において、帯域外漏洩電力が十分に抑圧されることから干渉マージンが確保されることを確認した。従って、802.11acよりも厳しいスペクトルマスクを規定する802.11axにおいても共用可能であると結論付けることが適当である。

3.2. 高速移動時におけるDFS動作検証

平成24年度情報通信審議会一部答申では、平成18年度情報通信審議会一部答申において検討された高速移動時におけるDFS動作検証の結果が引用されおり、本報告においても同様に、(ア)及び(イ)のとおり、その結果を述べる。

基本的には、WRC-03において決議第229により一次分配された移動業務については、固定利用に限定したものではないため、高速移動体内での利用も含まれるものと考えられる。また、グローバルな製品普及による利便性を確保する必要性を勘案すれば、高速移動体内で使用する無線LANに対して特殊な基準や試験工程を設けることは極力避けることが望まれる。

(ア) レーダービームの旋回速度に対する高速移動体の相対速度

高速移動体の現実的な移動速度としては、300km/h程度が想定されるが、レーダービームの旋回速度（4rpmの場合、5kmの距離で7540km/h、50kmの距離で75398km/h）に対する移動体の移動速度はごくわずかであり、DFSでモニタリングできないほど、レーダービームの照射範囲内に高速で出入りするといったケースはほとんど想定されないため、300km/hの高速移動体であっても、レーダーからは相対的に固定運用している無線LANと変わりはないと考えられる。

(イ) レーダーが干渉を受ける確率と距離の関係及びレーダー画面上での干渉縞の現れ方

厳密には、高速移動体においては、レーダービームの旋回速度に対しDFSの検出ウィンドウが相対的に小さくなることが想定されるが、4rpmのレーダーに対し、対地速度1000km/hのときでも離隔距離6kmの地点で90%を維持できると推定される。

また、高速移動する移動体が建物等のシャドウイングによりレーダー波を検出できない場合も想定されるが、これは「隠れ基地局」のモデルケースに相当すると考えられ、平成16年度情報通信審議会一部答申にあるとおり、特段の支障はないものと考えられる。

さらに、DFSの機能上、レーダー波検出後に停波するまでの1の通信系内の総送出期間が260msであることに対し、例えば、無線LANを運用中の列車がトンネル等を抜けた瞬間にレーダーと見通しとなり、その総送出期間に無線LANがレーダーに対し定期的に干渉を与える可能性等について検討した結果、以下のとおりであると考えられ、そのようなケースとなる確率は非常に小さく、通常では特段支障はないものと考えられる。

A レーダーが干渉を受ける確率と距離の関係

(A) 列車車両の遮蔽損が17dB程度では、隠れ基地局問題は起こらず、DFSが正常に機能すると考えられる。

(B) トンネル等を抜けレーダーと突然見通しになる場合などでレーダーに干渉を及ぼす条件は、

- ① レーダーが干渉を受けるエリア内にレーダー空中線軸があること
- ② 窓際に置かれた無線LAN端末が送信していること
- ③ レーダーの距離、方位平均時間内にあるレベル以上の干渉を与え続けていること
- ④ その窓際側の列車の側面がレーダー方向に面しており、伝搬路が自由空間であること

であり、これら全ての条件が揃ったときにレーダーは干渉を受ける可能性がある。しかし、干渉を受けるエリア内にレーダー空中線軸がある確率は距離12kmで1%程度であり比較的小さく、さらにこれら全てが揃う確率は極めて小さいと考えられ、平成16年度情報通信審議会一部答申において「隠れ基地局問題」として検討されているとおり、列車の地上高は低く、車窓からレーダー局までフレネルクリアランスが確保できて自由空間となる状況は一般に少ないと考えられる。

B レーダー画面上での干渉縞の現れ方

無線LANとレーダーが近距離で突然見通しとなる場合干渉を生じる確率は高くなるが、そのような状況、位置関係は特殊であると考えられ、決まった軌道・航空路を通る列車や航空機の場合、事前に影響を与えない周波数選択等で対応できるものと考えられる。また、航空機の場合かなり遠方から見通しとなるので突然出現する確率自体無視できる程度に小さいと思われる。

従って、本干渉問題は、隠れ基地局問題と同様にかなり特殊な場合であって、問題が発生する確率は極めて小さく、列車、航空機での利用は可能であると考えられる。

ただし、以上の結果はあくまでもレーダーに対する干渉確率が小さいというシミュレーション結果であり、以上に掲げる条件が整った場合においては、干渉が発生する可能性があるという結果であることを踏まえる必要がある。

高速移動体内における無線LANの設置運用の場合においては、その設置運用者は、運用地域周辺のレーダーの運用状況等について十分な事前調査を行い、このようなケースが起こらないことを確認することが望ましい。

C 高速移動体での実証試験結果

実際の航空機にDFS機能を具備した無線LANシステムを搭載し、レーダー波をDFSにより検出できるかどうかについて実証したところ、特段支障なく検出できたとの報告がある^[18]。

第4章 動的周波数選択（DFS）の技術的条件

DFSの技術的条件の検討については、気象レーダーからの要求条件を踏まえ、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。

なお、気象レーダーにおけるさらなる固体素子型の導入をはじめ、フェーズドアレイ気象レーダーの実用化等各種レーダーの高度化に伴い、またチップセットの対応や諸外国におけるDFSの技術基準を踏まえた無線LANシステムの設計・開発状況により、今回のDFSの測定条件に影響を及ぼす事象が生じ、又は生じるおそれがある場合には、必要に応じてDFSの技術的条件の見直しを図ることが適当である。また、当該技術的条件の見直しに当たっては、あらかじめ今回のDFSの測定条件に影響を及ぼす事象が生じ得るか検証し、必要に応じて対応策を協議することが適当である。

第5章 気象レーダーの高度化に係る課題

1.3.2節で述べたとおり、電子管（マグネトロンなどの発振管やクライストロンなどの増幅管）を用いる無変調パルス列のパルス変調方式のものから、進行波導波管並の性能を有しパルス圧縮による低出力化・狭帯域化の可能な固体半導体素子を用いる技術の採用への移行が進んでいる。

このようなパルス圧縮技術を用いたレーダーについては、ピーク電力が低く、パルス幅が長く、パルス期間中に周波数変調されている等、既存の無変調パルスのレーダーとは特性が異なるため、既存システムのDFSの検出レベルや測定方法では共用できない可能性があることが平成29年度技術試験事務「無線LANのDFSにおける周波数有効利用の技術的条件に関する調査検討」において指摘されている。

よって、気象レーダーの高度化に伴い5.3GHz帯無線LANのDFSの技術的条件を見直すこととし、今後検出しなければならないレーダーのパルスパターンは、第2章を踏まえることが適当である。

なお、今回の技術的条件の検討においては、既に仕様が確定しているパルスパターンへの速やかな対応を図る観点から、5.3GHz帯無線LANのDFSについて暫定的な基準を設けることとし、将来運用されるパルスパターン（参考資料3）への対応については、引き続き検討することが適当である。

参考資料

参考資料 1～3 については、「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（第 15 回）」の報告書（案）参考資料 2～4 を引用している。

○小電力データ通信システムの無線局の無線設備の技術的条件を定める件

(平成十九年一月三十一日)

(総務省告示第四十八号)

無線設備規則（昭和二十五年電波監理委員会規則第十八号）第四十九条の二十第三号ヲ及び第三号の二のニの規定に基づき、小電力データ通信システムの無線局の無線設備の技術的条件を次のように定める。

なお、平成十七年総務省告示第五百八十号（無線設備規則第四十九条の二十第三号ヲの規定に基づき、小電力データ通信システムの無線局の無線設備の技術的条件を定める件）は廃止する。

一 キャリアセンスは、通信の相手方以外の無線局の無線設備から発射された電波を受信し、受信空中線の最大利得方向における電界強度が毎メートル一〇〇ミリボルトを超える場合に、当該無線局の無線設備が発射する周波数の電波と同一の周波数の電波の発射を行わないものであること。

二 無線設備は、キャリアセンスを行った後、送信を開始するものであること。ただし、他の無線設備から送受信を制御されている場合及び送信を行った無線設備がキャリアセンス後四ミリ秒以内に送信を再開する場合は、キャリアセンスを行うことを省略することができる。

三 五、一五〇MHz を超え五、三五〇MHz 以下の周波数の電波を使用する無線局の無線設備は、次の各号のいずれかに適合すること。

1 ^{きょう}筐体^の見やすい箇所に、当該無線設備の送信は五・二 GHz 帯高出力データ通信システムの基地局又は陸上移動中継局と通信する場合を除き屋内においてのみ可能である旨が表示されていること。

2 電磁的方法（電子的方法、磁気的方法その他の人の知覚によって認識することができない方法をいう。）により当該無線設備の送信は五・二 GHz 帯高出力データ通信システムの基地局又は陸上移動中継局と通信する場合を除き屋内においてのみ可能である旨を当該無線設備に記録し、特定の操作によって当該無線設備の映像面に表示することができるものであること。この場合において、当該特定の操作について、書類等により明らかにするものとする。

四 五、二五〇MHz 以上五、三五〇MHz 以下又は五、四七〇MHz を超え五、七二五 MHz 以下の周波数の電波を使用する無線局の無線設備は、次に掲げる条件に適合すること。

1 親局（証明規則別表第二号第三注 12 (5) に規定する無線局をいう。以下同じ。）の無線設備は、次のとおりであること。

(一) 無線設備が送信しようとしている場合には、送信しようとしている周波数の占有周波数帯幅内において、レーダーが送信する電波の有無を六〇秒間確認（以下「利用可能チャンネル確認」という。）すること。

(二) 無線設備が送信している場合には、送信している周波数の占有周波数帯幅内

において、レーダーが送信する電波の有無を連続的に監視（以下「運用中チャンネル監視」という。）すること。

(三) 利用可能チャンネル確認又は運用中チャンネル監視により無線設備が検出するレーダーが送信する電波及び当該電波を検出する確率（以下「検出確率」という。）は、次のとおりであること。

(1) 五、二五〇MHz 以上五、三五〇MHz 以下の周波数の電波を使用する無線設備は、別表第一号によること。

(2) 五、四七〇MHz を超え五、七二五 MHz 以下の周波数の電波を使用する無線設備は、別表第二号から別表第四号までによること。

(四) 利用可能チャンネル確認又は運用中チャンネル監視により無線設備が検出するレーダーが送信する電波に対する親局の受信電力は、絶対利得〇デシベルの空中線で受信するレーダー波送信期間中の平均電力において、次のとおりであること。

(1) 無線設備の最大等価等方輻射電力が〇・二ワット未満の場合

(一) 六二デシベル（一ミリワットを〇デシベルとする。）以上

(2) 無線設備の最大等価等方輻射電力が〇・二ワット以上の場合

(一) 六四デシベル（一ミリワットを〇デシベルとする。）以上

(五) 無線設備は、利用可能チャンネル確認又は運用中チャンネル監視によりレーダーが送信する電波を検出した場合には、当該電波を検出してから三〇分の間、当該電波が検出された周波数の電波の送信を行ってはならない。

(六) 無線設備は、運用中チャンネル監視によりレーダーが送信する電波を検出した場合には、無線設備及びそれに従属する子局（証明規則別表第二号第三注 12 (5) に規定する無線局をいう。以下同じ。）の無線設備が送信する当該電波が検出された周波数の電波の送信を一〇秒以内に停止しなければならない。この場合において、全ての無線設備の送信時間の合計は、二六〇ミリ秒以下とする。

2 子局の無線設備は、親局からの制御によって自動的に送信する周波数を選択し、送信を行い、送信を停止する機能を備えること。

附 則 （平成三十年六月二十九日総務省告示第二百十五号）

（施行期日）

1 この告示は、公布の日から施行する。

（経過措置）

2 この告示の施行の際現にされている小電力データ通信システムの無線局の無線設備に係る電波法（昭和二十五年法律第百三十一号）第三十八条の二の二第一項に規定する技術基準適合証明及び同法第三十八条の二十四第一項に規定する工事設計認証の求めの審査は、なお従前の例による。

3 この告示による改正前の第三項の規定により屋内においてのみ送信可能である旨が表

示された又は表示することができる適合表示無線設備については、改正後の同項の規定により五・二 GHz 帯高出力データ通信システムの基地局又は陸上移動中継局と通信する場合を除き屋内においてのみ可能である旨が表示された又は表示することができるものとみなす。

別表第一号 変調方式がパルス変調のうち無変調パルス列のレーダーが送信する電波及び当該電波の検出確率

レーダーが送信する電波				検出確率
種別	パルス幅 (マイクロ秒)	繰り返し周波数 (Hz)	連続するパルスの数	
一	一	七〇〇	一八	六〇パーセント以上
二	二・五	二六〇	一八	六〇パーセント以上

注 検出確率は、親局の無線設備（接続方式がキャリアセンス多元接続方式のものに限る）から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の最大信号伝送速度の五〇パーセントの伝送を行う場合のものをいう。

別表第二号 変調方式がパルス変調のうち無変調パルス列のレーダーが送信する電波及び当該電波の検出確率

レーダーが送信する電波				検出確率
種別	パルス幅 (マイクロ秒)	繰り返し周波数 (Hz)	連続するパルスの数	
一	〇・五	七二〇	一八	六〇パーセント以上
二	一	七〇〇	一八	六〇パーセント以上
三	二・〇	二五〇	一八	六〇パーセント以上
四	一マイクロ秒以上五マイクロ秒以下の幅のうち一マイクロ秒又は一マイクロ秒に一マイクロ秒の整数倍を加えた幅	四、三四七Hz以上六、六六七Hz以下の間の任意の一周波数	二三以上二九以下の任意の一の整数	六〇パーセント以上
五	六マイクロ秒以上一〇マイクロ秒以下の幅のうち六マイクロ秒又は六マイクロ秒に一マイクロ秒の整数倍を加えた幅	二、〇〇〇Hz以上五、〇〇〇Hz以下の任意の一周波数	一六以上一八以下の任意の一の整数	六〇パーセント以上
六	一一マイクロ秒以上二〇マイクロ秒以下の幅のうち一一マイクロ秒又は一一マイクロ秒に一マイクロ秒の整数倍を加えた幅	二、〇〇〇Hz以上五、〇〇〇Hz以下の任意の一周波数	一二以上一六以下の任意の一の整数	六〇パーセント以上

注1 検出確率は、親局の無線設備（接続方式がキャリアセンス多元接続方式のものに限る）から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の最大信号伝送速度の一七パーセントの伝送を行う場合のものをいう。

注2 レーダーが送信する電波の種別ごとの検出確率の平均値は、八〇パーセント以上でなければならない。

別表第三号 変調方式がパルス変調のうち変調パルス列（パルスの期間中に搬送波を線形周波数変調するものに限る。）のレーダーが送信する電波及び当該電波の検出確率

レーダーが送信する電波				検出確率
種別	パルス幅（マイクロ秒）	繰り返し周波数（Hz）	連続するパルスの数	
一	五〇マイクロ秒以上 一〇〇マイクロ秒以下の幅のうち五〇マイクロ秒又は五〇マイクロ秒に一マイクロ秒の整数倍を加えた幅	五〇〇Hz以上一〇〇〇Hz以下の任意の一の周波数	一以上三以下の任意の一の整数	八〇パーセント以上

注1 検出確率は、親局の無線設備（接続方式がキャリアセンス多元接続方式のものに限る）から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の最大信号伝送速度の一七パーセントの伝送を行う場合のものをいう。

注2 連続するパルスの数の一のまとまり（以下「バースト」という。）は、一二秒間に発射されるものとする。

注3 パルス期間中に線形周波数変調を行うための周波数の偏移幅（以下「チャープ幅」という。）は、五 MHz 以上二〇MHz 以下の周波数幅のうち五 MHz 又は五 MHz に一 MHz の整数倍を加えた周波数幅とする。この場合において、チャープ幅は、バーストごとに任意とし、同一バースト内のチャープ幅は等しいものとする。

注4 バースト数は、八以上二〇以下の任意の整数とし、バースト間隔は、一二秒間をバースト数で除した時間とする。

注5 一のバースト内で複数のパルスがある場合、そのパルス幅は等しいものとする。

注6 一のバースト内で複数のパルスがある場合、その繰り返し周波数は、一のパルスの繰り返し周波数と当該パルスの次の一のパルスの繰り返し周波数との間で関連性を有してはならないものとする。

別表第四号 変調方式がパルス変調のうち周波数ホッピング方式のレーダーが送信する電波
及び当該電波の検出確率

レーダーが送信する電波				検出確率
種別	パルス幅 (マイクロ秒)	繰り返し周波数 (Hz)	一のバースト内におけるパルスの数	
一	一	三〇〇〇	九	七〇パーセント

注1 検出確率は、親局の無線設備（接続方式がキャリアセンス多元接続方式のものに限る）から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の最大信号伝送速度の一七パーセントの伝送を行う場合のものをいう。

注2 この表において「バースト」とは、連続するパルスの数の一のまとまりをいう。注3 周波数ホッピングにおける周波数（以下「ホッピング周波数」という。）は五、二

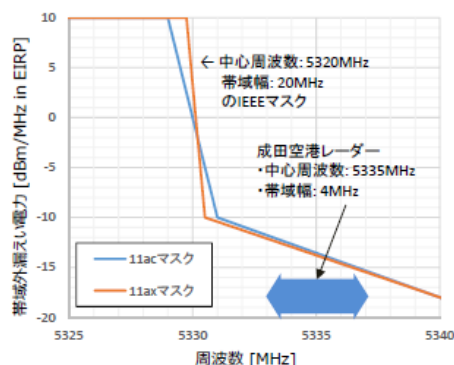
五〇MHz から五、七二四 MHz までの周波数のうち、五、二五〇MHz 又は五、二五〇MHz に一 MHz の整数倍を加えた周波数のうち任意の周波数とする。

注4 ホッピング周波数の切替間隔は三ミリ秒とし、すべてのホッピング周波数の切替間隔の合計は三〇〇ミリ秒とする。

注5 バースト間隔は、三ミリ秒とする。

成田空港の気象レーダー

- 成田空港の気象レーダーは中心周波数が5335MHz、帯域幅が4MHzである(右下図)。
 - ⇒無線LANの運用チャネル外であるW53右側のガードバンド部分に中心周波数が位置する。そのため、無線LAN機器がこのレーダーからのパルスを受信したとしても、帯域外であるためDFSによる動作停止が期待できない。したがって、これを前提とした共用検討が必要となる。
- 802.11無線LANでは、伝送帯域の拡大に反比例して帯域外のスペクトルマスクのレベルが低下する。5335MHzにおける与干渉の支配的要因は「5320MHzを中心周波数とする20MHzシステム」である。
 - ⇒以降、この20MHzシステムから気象レーダーへの与干渉を評価する。
- 評価モデルは平成29年度情通審(諮問第2014号)一部答申の参考資料2を用いる(本資料別紙)。
 - ⇒W53の気象レーダーに対してDFSを行わない5.2GHz帯高出力データ通信システムの無線局が放射する帯域外漏えい電力の影響を評価しており、今回のモデルと符合するため。
- W53無線LANと利用条件が異なるため、以下のパラメータを変更する。
 - EIRP: 200mW (現行のW53の規定より)
 - 遮蔽損失: 17dB (W53は屋内運用となるため)
 - スペクトルマスク: -13.6dBm/MHz
 - ⇒中心周波数5320MHzで運用される802.11ac*の20MHzシステムの5335MHzにおけるマスク値を参照)



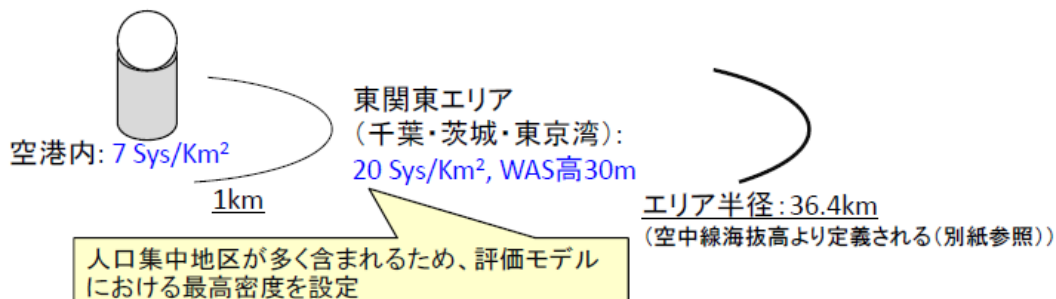
*スペクトルマスクについては、802.11acの規定が802.11axよりも緩いため(右図)、こちらを基準とした。

レーダーの諸元・サブエリアモデル

●レーダーの諸元

- 中心周波数: 5335MHz
- アンテナ利得: 47dBi
- RF系損: 4.7dB
- 空中線海拔高: 78.2m
- 許容干渉レベル: -111dBm/MHz
- 最低仰角: 0.7°
- 設置位置: 東経140° 22' 55" 北緯: 35° 46' 30"

●サブエリアモデル(場所ごとの無線局の密度)



評価結果

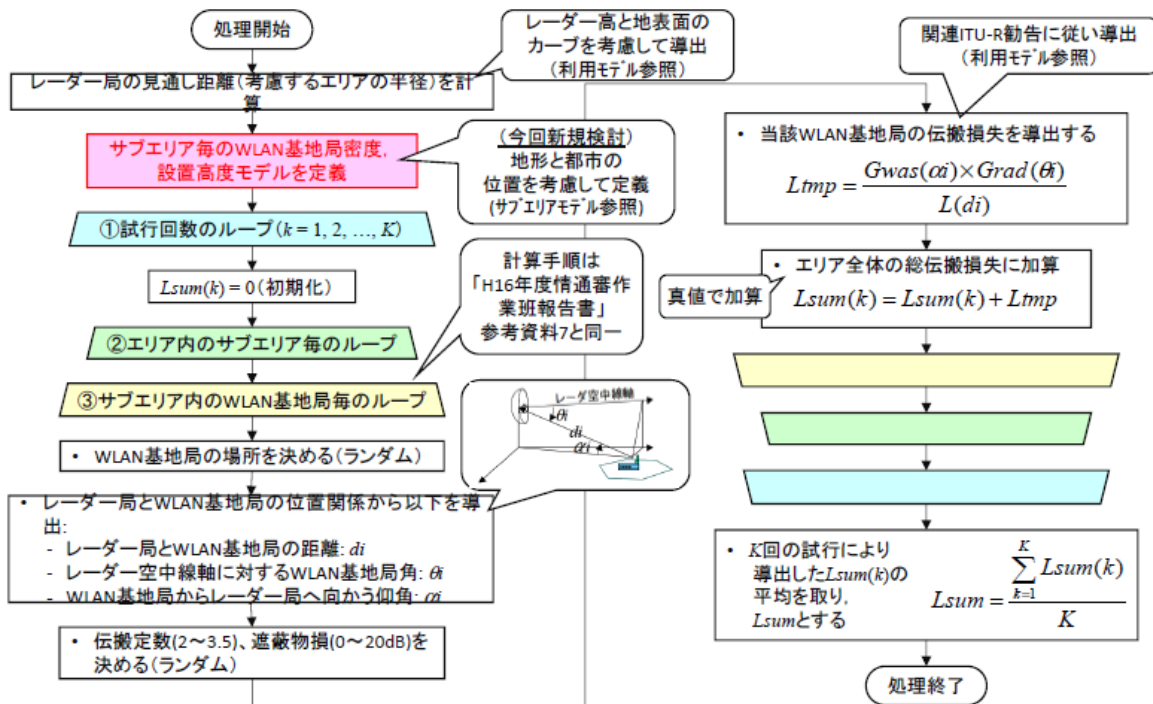
- 評価結果より、有意なマージン(13.1dB)が見込まれる
⇒ 共用可能であることを確認。

周波数差 (MHz)	レーダー 局	許容干渉レベル (dBm/MHz)	許容I/N* (dB)	レーダー受信 RF系損 (dB)	Lsum (dB)	遮蔽物損 (dB)	平均/ピーク比 (dB)	許容輻射電力 (dBm/MHz)	802.11スペク トルマスク (dBm/MHz)	マージン (dB)
5	成田空港	-111	-6	4.7	93.6	17	1.2	-0.5	-13.6	13.1

* 無線通信規則脚注5.447F(5.3GHz帯)及び5.450A(5.6GHz帯)
⇒ 無線標定及び無線測位は、ITU-R勧告 M.1638-0で規定される干渉基準
(I/N ≤ -6dB)よりも厳しい保護基準を移動業務に課してはならない。

別紙

モンテカルロシミュレーションによる L_{sum} の導出手順



評価モデル (1/3)

- レーダー局の見通し距離(エリア半径)

大気中の電波の屈折を考慮し、レーダー局アンテナ高 h (m)の見通し距離 $d_{horizon}$ (km)を以下の式により導出

$$d_{horizon} = 4.12 \times \sqrt{h}$$

- 伝搬損

ITU-R 勧告 M.1652-1 Annex 6の記載に従い、距離 d_i (km)の伝搬損 L (dB)を以下の式により導出。

$$L(d_i) = 10 \times \beta \times \left(\log\left(\frac{4\pi}{3}\right) + \log(d_i) + \log_{10}(f) + 4 \right) + clutter\ loss$$

β : 伝搬定数 (2~3.5でランダム)

f : 周波数 (GHz)

$clutter\ loss$: 遮蔽物損 (0~20でランダム) (dB)

ITU-R 勧告 M.1652-1 Annex 6の記述

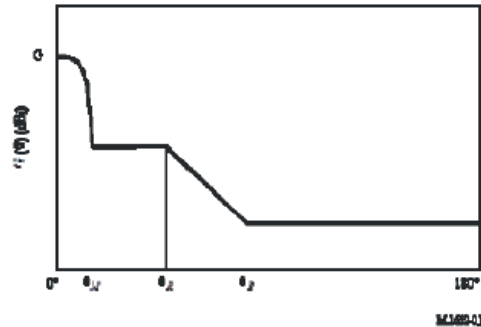
For ground-based radars a random propagation factor was utilized in determining the propagation path loss to each WAS device. A value from 20 to 35 $\log D$ was used. In addition a random building/terrain propagation attenuation was used. A value from 0 to 20 dB was used. A uniform distribution was applied in determining these values.

評価モデル (2/3)

・レーダーアンテナパターン: $G_{rad}(\theta)$

ITU-R 勧告 M.1652-1 Annex 6 Appendix 1よりアンテナ利得Gおよび主軸からの離角 θ を用いて以下の式から導出(アンテナ利得Gが22~48dBiの場合)。

Angular interval (degrees)	Gain (dBi)
0 to θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
θ_M to θ_R	$0.75 G - 7$
θ_R to θ_B	$53 - (G/2) - 25 \log(\theta)$
θ_B to 180	$11 - G/2$



θ_M 、 θ_R 、 θ_B の定義は以下の通り

High-gain (22 < G < 48 dBi)
$\theta_M = 50 (0.25 G + 7)^{0.5} / 10^{G/20}$
$\theta_R = 250 / 10^{G/20}$
$\theta_B = 48$

評価モデル (3/3)

・RLAN アンテナパターン $G_{was}(\varphi)$

ITU-R 勧告 M.1652-1 Annex 6 Appendix 1に記載される Table 11の値を利用。

水平方向: オムニ

垂直方向: 下表参照(φ : アンテナ仰角)

Elevation angle, φ (degrees)	Gain (dBi)
$45 < \varphi \leq 90$	-4
$35 < \varphi \leq 45$	-3
$0 < \varphi \leq 35$	0
$-15 < \varphi \leq 0$	-1
$-30 < \varphi \leq -15$	-4
$-60 < \varphi \leq -30$	-6
$-90 < \varphi \leq -60$	-5

W53帯におけるDFSパルスパターンの暫定的な修正案

- 5GHz無線LAN作業班にて気象庁より提案したW53帯DFSパルスパターン修正案について、無線LAN各社による検証試験の結果、一部チップベンダーのDFSのアルゴリズムでは対応できないことがわかった。
- 当面、現行の気象レーダーにDFSが対応するよう暫定的なパルスパターン規格案を提案する。
- 数年後に、気象レーダーが今後使用する予定のパルスパターンにもDFSが対応できるよう、検討を求める。

数年後に対応が必要なW53帯DFSパルスパターンの規格案

Table D.4: Parameters of radar test signals

Radar test signal # (see note 1 to note 3)	Pulse width W (μs)		Pulse repetition frequency PRF (PPS)		Number of different PRFs	Pulses per burst for each PRF (PPB) (see note 5)
	Min	Max	Min	Max		
1'	0.5	5	200 (see note 7)	1 000 (see note 7)	1	10 (see note 8)
2'	0.5	15	200 (see note 7)	1 600 (see note 7)	1	15 (see note 8)

NOTE 1~4 (略)

NOTE 5: The total number of pulses in a burst is equal to the number of pulses for a single PRF multiplied by the number of different PRFs used.

NOTE 6: For the CAC and Off-Channel CAC requirements, the minimum number of pulses (for each PRF) for any of the radar test signals to be detected in the band 5 600 MHz to 5 650 MHz shall be 18.

NOTE 7: A modulated long pulse which width is 20 - 400 μs (which has an accuracy of ±5%) is also emitted after at least 20 μs (T1) since emitting the normal pulse. The modulation to be used is a linear (or non-linear) chirp modulation with a ±0.5 - 1.0 MHz frequency deviation. See Figure D.6.

NOTE 8: This means minimum value.

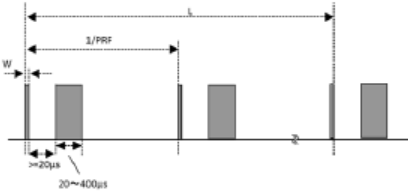


Figure D.6: General structure of a single burst/constant PRF based solid-state radar test signal

暫定的なW53帯DFSパルスパターンの規格案

Radar test signal # (see note 1 to note 3)	Pulse width W1 (μs) (see note 9)		Pulse repetition frequency PRF (PPS)		Number of different PRFs	Minimum number of pulses per burst for each PRF (PPB) (see note 5)	Remarks
	Min	Max	Min	Max			
1'	0.5	5	200	1000	1	10	電子管レーダー
2'	0.5	15	200	1600	1	15	
1''	0.5	5	200	1000	1	0.015 PRF	(see note 7')
2''	0.5	15	200	1600	1	0.015 PRF	
13'	0.5	1.5	1114	1118	1	30	(see note 8')
14'	0.5	1.5	928	932	1	25	
13''	0.5	1.5	886	890	1	24	
14''	0.5	1.5	738	742	1	20	

NOTE 1~4 (略)

NOTE 5: The total number of pulses in a burst is equal to the number of pulses for a single PRF multiplied by the number of different PRFs used.

NOTE 6: (略)

NOTE 7: A modulated long pulse which width W2 is 20 - 110 μs (which has an accuracy of ±5%) is also emitted after at least 70 μs (T1) since emitting the normal pulse. The modulation to be used is a linear (or non-linear) chirp modulation with a ±0.5 - 1.0 MHz frequency deviation. Duty (which is pulse width multiplied by PRF) is less than 10 %. See Fig. D.6'.

NOTE 8: A modulated long pulse which width W2 is 30 - 32 μs (which has an accuracy of ±5%) is also emitted after at least 50 μs (T1) since emitting the normal pulse. The modulation to be used is a linear (or non-linear) chirp modulation with a ±0.5 - 1.0 MHz frequency deviation. See Fig. D.6'.

NOTE 9: Pulse width is defined as transmit pulse half power width.

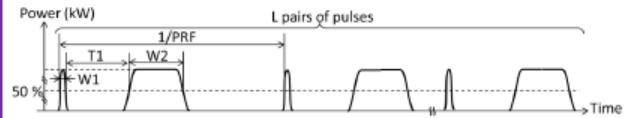


Figure D.6': General structure of a single burst/constant PRF based solid-state radar test signal

暫定規格案に対応して検証に使用するレーダーパターンの修正例

- 表中、赤字の部分を中心に現在、詳細を確認中（修正の可能性あり）。
- #15~#20への対応は、暫定対応中は必要としない。

No.	時間 [μs]				長パルス波形形状			パルス組数 PPB (L pairs)	PRF [Hz]	備考	タイプ	PPB/PRF [sec]	Duty ratio [%]	Channel Loading	Test No.
	短パルス幅 (W1)	ブランク1 (T1)	長パルス幅 (W2)	ブランク2 (T2)	α	γ	B (MHz)								
1	2.5	0	0	3028	-	-	-	10	330	気象庁一般クライストロン	0.030	0.1	30%	1	
2	1	0	0	1063	-	-	-	27	940	気象庁一般クライストロン	0.029	0.1	30%	1	
3	1	0	0	1329	-	-	-	21	752	気象庁一般クライストロン	0.028	0.1	30%	1	
4	2	0	0	3844	-	-	-	10	260	国交省クライストロン	0.038	0.1	30%	1	
5	2	0	0	2379	-	-	-	15	420	国交省クライストロン	0.036	0.1	30%	1	
6	1	0	0	892	-	-	-	32	1120	気象庁DRAWクライストロン	0.029	0.1	30%	2	
7	1	0	0	1189	-	-	-	24	840	気象庁DRAWクライストロン	0.029	0.1	30%	1	
8	1	72	64	825	0	1.48	1.2	28	1040	気象庁DRAW固体化	0.027	6.8	30%	2	
9	1	72	64	1065	0	1.48	1.2	23	832	気象庁DRAW固体化	0.028	5.4	30%	1	
10	1	108	100	2291	0	1.48	1.67	20	400	国交省固体化	0.050	4.0	30%	1	
11	1	108	100	2916	0	1.48	1.67	30	320	国交省固体化	0.094	3.2	30%	1	
12	1	72	64	2762	0.45	1.48	2	10	345	気象庁固体化	0.029	2.2	30%	1	
13'	1.1	56.2	30.5	808.7	0.89	1.48	1.63	30	1116	気象庁DRAW固体化	0.027	3.5	30%	2	
14'	1.1	235.2	30.5	808.7	0.89	1.48	1.63	25	930	気象庁DRAW固体化	0.027	2.9	30%	1	
13''	1	61	32	1032	1.1	1.2	2	24	888	気象庁固体化	0.027	2.9	30%	1	
14''	1	61	32	1257	1.1	1.2	2	20	740	気象庁固体化	0.027	2.4	30%	1	
15	0.5	20	20	585	0.1	1.48	2	24	1600	固体化(短い長パルス)	0.015	3.3	30%	2	
16	0.5	20	20	585	0.89	1.48	2	24	1600	固体化(短い長パルス)	0.015	3.3	30%	2	
17	5	200	200	2928	0.1	1.48	1	10	300	固体化(長めの長パルス)	0.033	6.2	30%	1	
18	5	200	200	2928	0.89	1.48	1	10	300	固体化(長めの長パルス)	0.033	6.2	30%	1	
19	15	400	400	4185	0.1	1.48	1	15	200	固体化(長い長パルス)	0.075	8.3	30%	2	
20	15	400	400	4185	0.89	1.48	1	15	200	固体化(長い長パルス)	0.075	8.3	30%	2	

