

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の成果(C帯)

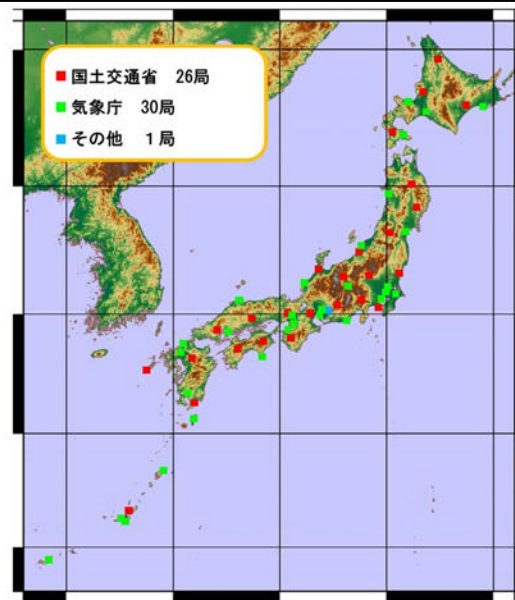
令和4年4月

検討の背景 (C帯)

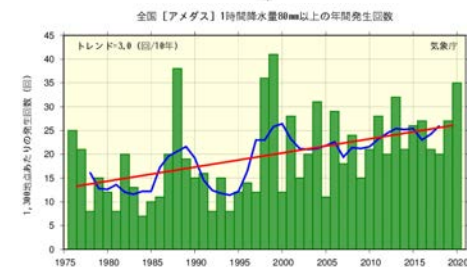
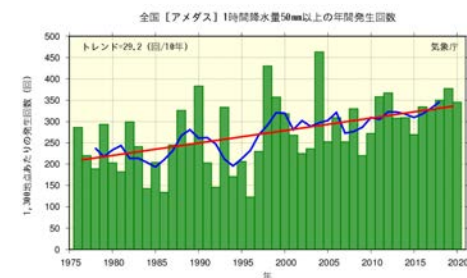
- 現在、気象レーダーは、その観測結果を基にした気象予報や災害情報が国民に広く提供され、国民生活の安心と安全に寄与。また、局地的大雨や大規模な水害の増加等を背景に、その重要性が更に高まっている。
- 従来から主に国の機関によって運用されている公的な目的で広域監視を行う目的の5GHz帯の気象レーダーは、従来の電子管型から、狭帯域かつ低出力で安定性の高い固体素子型への移行が進んでおり、併せてパルスを送信方法等が多様化している。
- 一方で、スマートフォン市場の拡大や、無線LANの大容量化などに伴い、電波利用状況はひっ迫しており、首都圏では5GHz帯気象レーダーに割り当てられる周波数が枯渇している。
- これらの動向を踏まえ、他システム等との共用条件を含めた5GHz帯気象レーダーの技術的条件を明らかにすることが必要。



C帯気象レーダーの外観
(気象庁東京レーダー)



C帯気象レーダーの設置(常置)場所
(令和3年9月末現在)



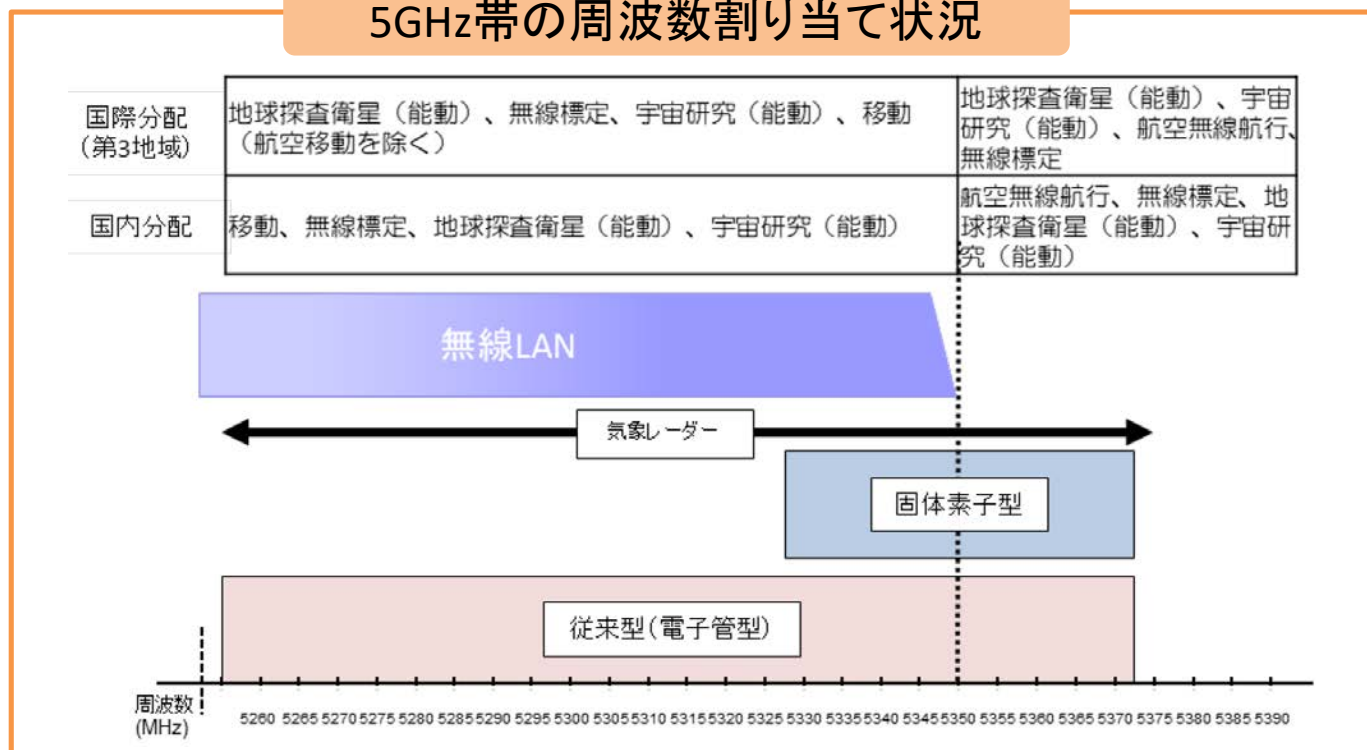
全国の1時間降水量50mm以上及び80mm以上の年間発生回数の経年変化(1976~2020年)(出典 気象庁)

- 5GHz帯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。

5GHz帯気象レーダーの現状

- 5GHz帯気象レーダーは、広範囲の雨雲の状態の観測が可能であり、気象庁による気象観測業務、国土交通省による防災業務に利用されている。
- スマートフォン市場の拡大や、無線LANの大容量化などに伴い、電波利用状況はひっ迫しており、首都圏では5GHz帯気象レーダーに割り当てられる周波数が枯渇している。
- 改善策として、国内のC帯気象レーダーに割り当てられる周波数帯は、現状の割り当て帯域の中で可能な限り狭い周波数帯域に移行が計画されており、これまで以上に周波数利用の効率化が求められている。

5GHz帯の周波数割り当て状況



- 5GHz帯気象レーダー間の周波数共用を行うため、干渉低減方式及び諸元等の技術的条件を検討する。

■ 背景と課題

- C帯気象レーダーは国土強靱化の観点から重要インフラを支えている気象レーダーであり、近年の豪雨災害の増大を受けてC帯気象レーダーの重要性が認識されている。
- 今後の増設も考えられるため、これを見据えた更なる周波数の有効利用の促進が必要である。

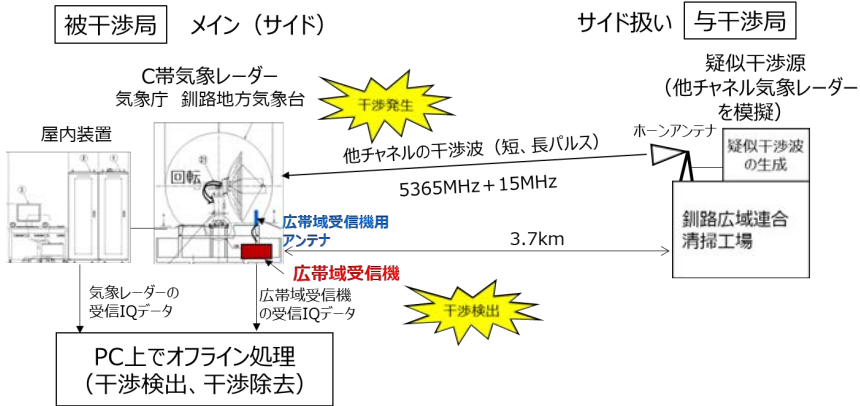
■ 検討する共用方式

- 対向レーダーのパルス情報と広帯域受信機を用いた干渉低減方式を検討する。
- 気象レーダーの送信スペクトラムマスクと受信フィルタマスクを規定し、離調減衰量の規格化について検討する。
- 上記の広帯域受信機による干渉除去方式の適用と現状の気象レーダーの送信スペクトラムマスクと受信フィルタマスクを考慮した上で、現状の割り当て帯域の中で可能な限り狭い周波数帯域に、運用されているC帯気象レーダーを収容するチャンネルプランを検討する。

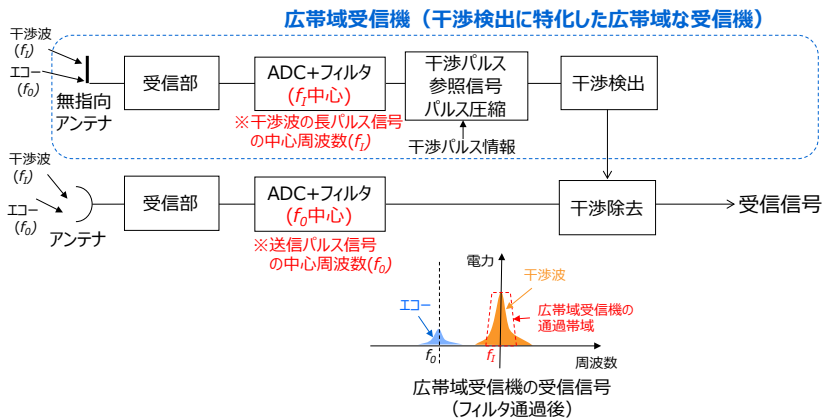
C帯気象レーダー間の共用条件

■ 広帯域受信機を用いた干渉除去

広帯域受信機を用いた干渉無効値化方式による干渉除去性能屋外試験を実施

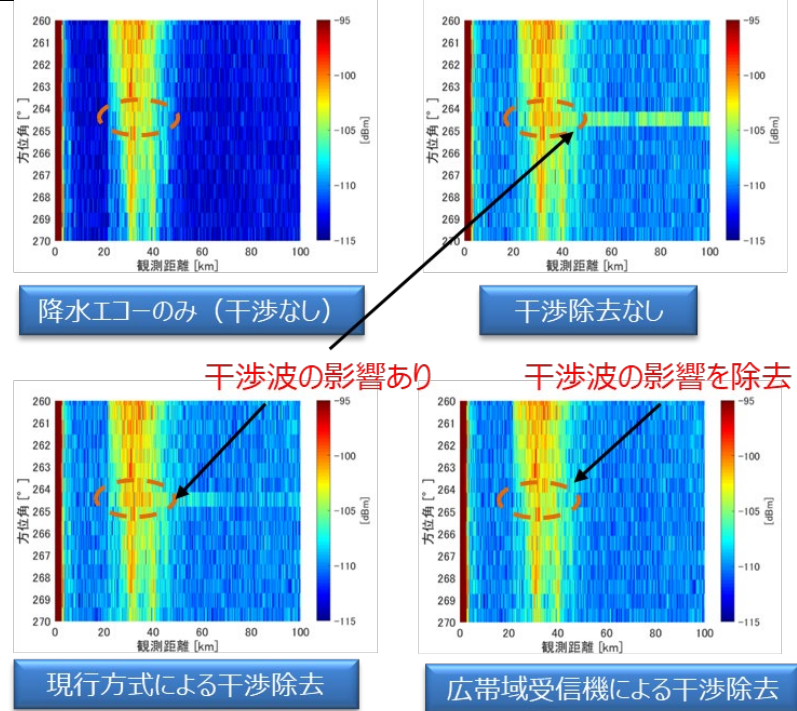


屋外試験概要図



広帯域受信機を用いた干渉検出、干渉除去

検証結果



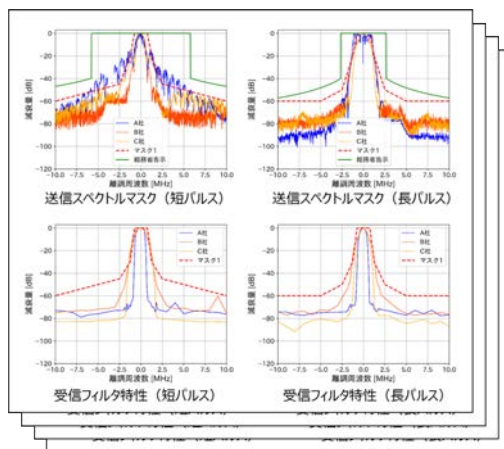
電力、反射因子差、偏波間相関係数、偏波間位相差において、干渉箇所を十分に低減できることを確認した。ただし、速度幅については精度劣化が生じることもあるため、速度幅の算出式に留意する必要がある。

C帯気象レーダー間の共用条件

■ 送信スペクトルマスクと受信フィルタマスク

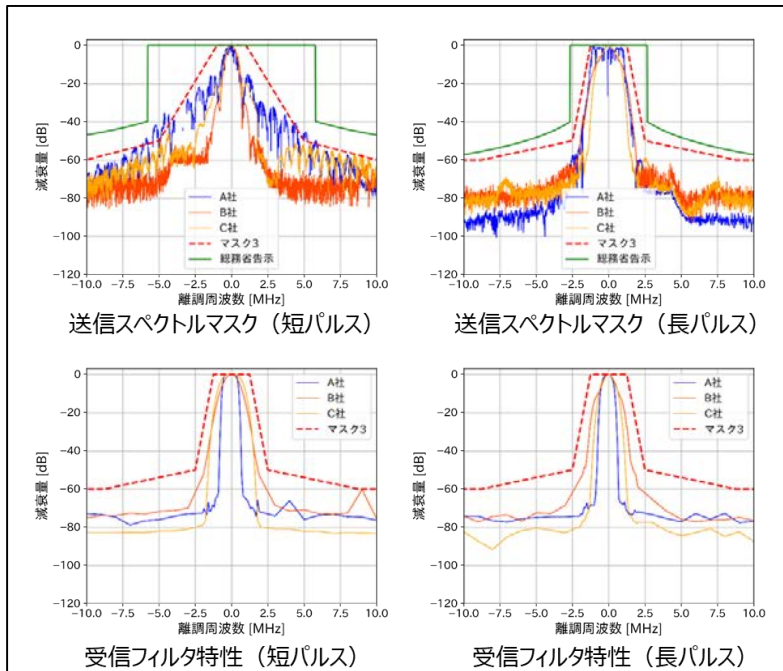
気象レーダーメーカー各社の送信スペクトルと受信フィルタ特性を測定し、複数の送信スペクトルマスクと受信フィルタマスク案を検討

検討結果



4種類のマスキ案を検討

マスク例



マスク3

離調周波数	送信スペクトルマスク		受信フィルタ特性	
	短パルス	長パルス	短パルス	長パルス
±1MHz	0dB	—	—	—
±1.25MHz	—	0dB	0dB	0dB
±2.5MHz	—	-50dB	-50dB	-50dB
±5MHz	-50dB	—	—	—
±8.7MHz	—	-60dB	-60dB	-60dB
±10 MHz	-60dB	—	—	—

気象レーダー各社の送信スペクトルと受信フィルタ特性から、4つのマスク案を検討

C帯気象レーダー間の共用条件

■ チャンネルプランの検討

広帯域受信機による干渉除去方式の適用と現状の気象レーダーの送信スペクトラムマスクと受信フィルタマスクを考慮した上で、運用されているC帯気象レーダー57台のチャンネルプランを検討

検討結果

■ 干渉許容基準

	メイン-メイン干渉		メイン-サイド干渉		サイド-メイン干渉		サイド-サイド干渉	
	与干渉局	被干渉局	与干渉局	被干渉局	与干渉局	被干渉局	与干渉局	被干渉局
模式図								
同一チャンネルの干渉許容基準	基準なし（許容する）		I/N < 0dB				I/N < 0dB	
他チャンネルの干渉許容基準	・回避が困難 ・発生頻度が非常に低い		条件1. I/N < 0dB 条件2. I/N < 35dB*				I/N < 0dB	

※広帯域受信機による干渉除去方式により、I/N 35dB未満の干渉を除去できる想定

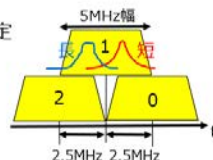
■ 検討条件

離調減衰量

4種類の送信スペクトルマスクと受信フィルタ特性を元に離調減衰量を規定

チャンネル割り当て方式（チャンネル幅／チャンネル間隔）

5MHz幅／2.5MHz間隔（2.5MHzインターリーブ）
→長短パルスが1セット



固体素子レーダーモデル

・実在するレーダーのうち最も干渉が大きくなる気象レーダー諸元をもとに設定
・モデル値にマージンが含まれていると考え、干渉電力計算時のマージンは0dBとする

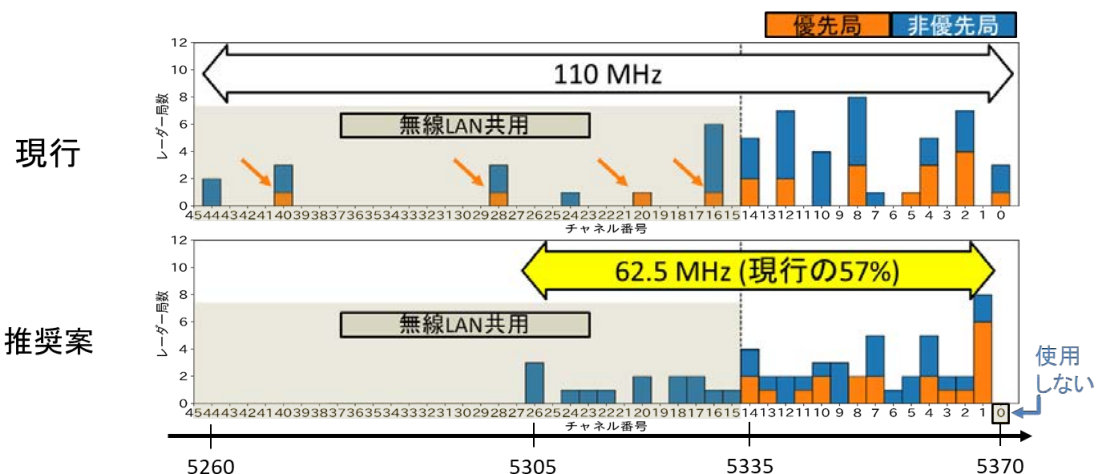
実諸元の最悪値

	国交省	気象庁	DRAW
EIRP [dBm] (H/V0.1km以上)	109.4 (那覇山)	109.4 (名古屋)	113.9 (東京国際空港)
アンテナゲイン [dBi] (H/V0.1km以上)	46.6 (白旗山)	45.4 (徳島)	49.93 (新千歳空港)
受信機電圧損失 [dB] (H/V0.1km以上)	2.52 (深山)	1.62 (広島)	5.93 (那覇空港)

モデル値

パラメータ	DRAW以外	DRAW
EIRP [dBm]	110	114
アンテナゲイン [dBi]	47	50
受信機電圧損失 [dB]	1.5	5.5
サイドローレベル [dB]	-35	-40

■ 推奨するマスク案によるチャンネルプラン結果



現行の使用帯域幅の 57% (62.5MHz) に全レーダーを収容し、優先局に割り当てた全てのC帯気象レーダーと無線LANを周波数分離したチャンネルプランが得られた。

■ 背景と課題

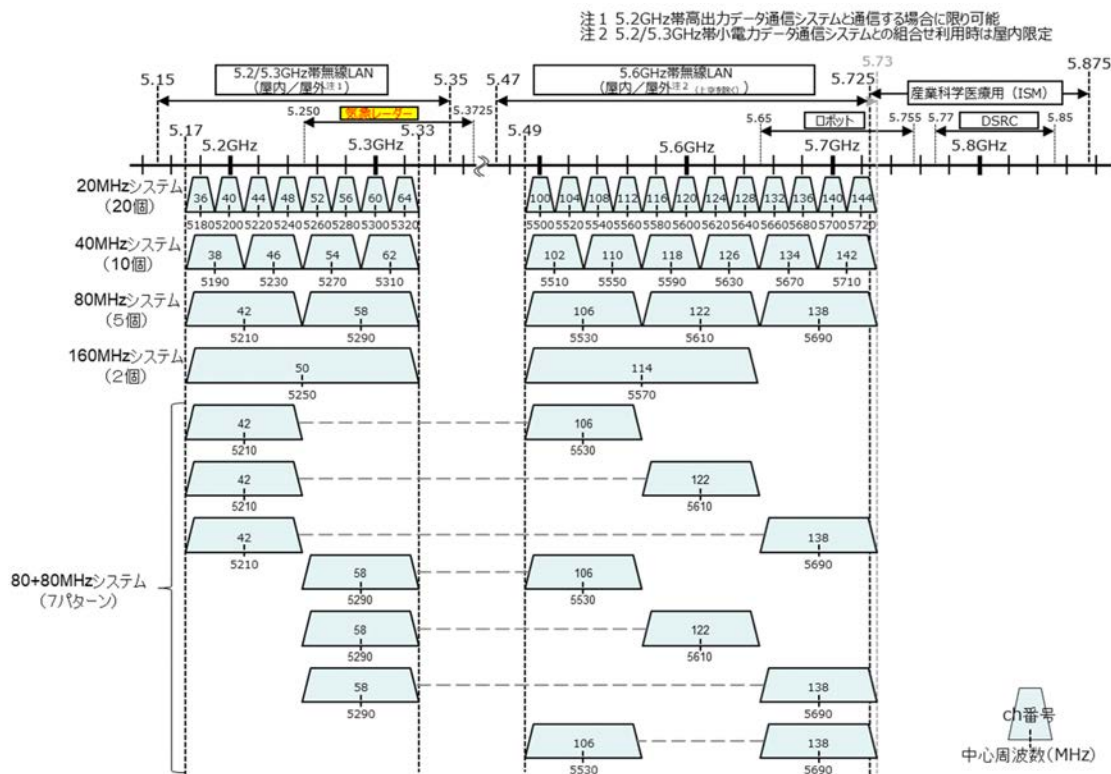
- 現在運用されている気象レーダーのパルスパターンについては概ねDFSパルスパターンに登録されているが、気象レーダー観測の多様な目的のため、一部該当していないパルスパターンが存在
- 現業の気象レーダーのパルスパターンを整理し、将来的にDFS機能に登録を求めるパルスパターンの策定が必要

■ 検討する共用方式

- 現業の気象レーダーで使われているパルスパターンを集約し、PRFシフトを考慮した将来DFS機能に登録を求めるパルスパターン案を検討

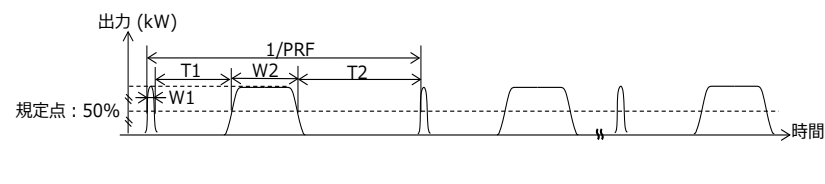
他システムとの共用検討: 5GHz帯無線LAN

■ 日本の5GHz帯無線LANシステムのチャンネル割り当てと代表共存システム



■ 現行のDFSパルスパターン

システム	PRF [Hz]	パルス幅 [μs]		ヒット数	チャープ幅 [MHz]
		短パルス	長パルス		
国交省 C 帯レグ雨量計	440 / 352	2.2	68.2	10 ~ 42	1.175
	400 / 320	1	100	25 ~ 38	1.63
	360 / 288	1	100	22 ~ 28	1.8
気象庁一般気象レーダー	330	1	128	9	2.2 or 2.4
	345	1	64	10	2.2 or 2.4
	535	1	64	15	2.2 or 2.4
	756 / 630	1	32	22 / 19	2.2 or 2.4
	888 / 740	1	32	25 / 21	2.2 or 2.4
	1080 / 900	1	32	21 / 19	2.2 or 2.4
気象庁 DRAW	1116 / 930	1	64	21 ~ 31 / 18 ~ 26	1.2
	1500 / 1200	1	64	25 / 20	1.2
	1040 / 832	1	32	22 ~ 29 / 18 ~ 23	1.63
	1365 / 1092	1	32	23 / 18	1.63



5GHz帯無線LAN干渉回避機能は、無線LAN システムによる干渉がある場合に気象レーダー側が取りうる有用な対策。レーダーシステムと無線LANを共存させるためのDFS機能を有効に機能させるためのパルスパターンの策定が必要。

検討結果

運用中の基本のパルスパターン

システム	PRF [Hz]	パルス幅 [μs]		ヒット数	チャープ幅 [MHz]
		短パルス	長パルス		
国交省 C 帯レーダ雨量計	440 / 352	2.2	68.2	10 ~ 42	1.175
	400 / 320	1	100	25 ~ 38	1.63
	360 / 288	1	100	22 ~ 28	1.8
気象庁一般気象レーダー	330	1	128	9	2.2 or 2.4
	345	1	64	10	2.2 or 2.4
	535	1	64	15	2.2 or 2.4
	756 / 630	1	32	22 / 19	2.2 or 2.4
	888 / 740	1	32	25 / 21	2.2 or 2.4
	1080 / 900	1	32	21 / 19	2.2 or 2.4
気象庁 DRAW	1830 / 1525	1	32	21 / 17	2.2 or 2.4
	1116 / 930	1	64	21 ~ 31 / 18 ~ 26	1.2
	1500 / 1200	1	64	25 / 20	1.2
	1040 / 832	1	32	22 ~ 29 / 18 ~ 23	1.63
	1365 / 1092	1	32	23 / 18	1.63

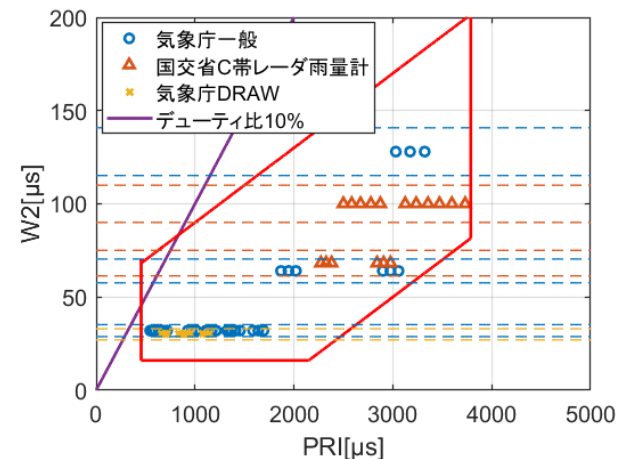


現業の気象レーダーのパルスパターンを整理し、パルスパターンを集約

パルスパターン案

パラメータ	規定値
W1(短パルス幅)	$1 \leq W1 [\mu s] \leq 2.22$
T1(短パルス受信時間)	$T1 \geq W2$
PRIとW2(長パルス幅)	$450 \leq PRI [\mu s] \leq 3800$ $16 \leq W2 [\mu s]$ $0.04PRI [\mu s] + 50 \geq W2 [\mu s]$ $0.04PRI [\mu s] - 70 \leq W2 [\mu s]$
周波数チャープ変調幅	2.5 MHz以下
1周期当たりのパルス数の最小値	7

W2とPRIの関係



赤枠：DFSへ登録をを求めるパルスパターン案の範囲

現業のパルスパターンを整理した結果、DFS機能に登録をを求めるパルスパターンの一案を策定した。