

「気象レーダーの技術的条件」のうち
「C帯気象レーダーのパルスパターン」に関する
検討の状況について(案)

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

C帯気象レーダーのパルスパターンの見直しに係る検討状況

検討の背景

- C帯気象レーダーについて、同一周波数帯で運用されている他システムとして「無線LAN」が存在しており、当該システムには、レーダーシステムと周波数共用を図るための機能として、DFS(※)が具備されている。
- しかし、現状では、「運用の気象レーダーのパルスパターン」と「DFSの動作要件のパルスパターン」の間に相違がある状況。(P2 参照)
- また、C帯気象レーダーについては、現在、短パルスのみでの運用を行う従来の「電子管型」の設備から、低電力化や観測性能の向上を目的として、短パルスと長パルスを用いた「固体素子型」への計画的な設備更新がなされていることに伴い、気象レーダーのパルスパターンが多様化してきている。
- これらのことから、無線LAN側で検討を行っている新規格「IEEE802.11ax」の導入に合わせ、DFSや気象レーダーのパルスパターンの見直しに係る検討を実施しているものである。

※ 5GHz帯小電力データ通信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の検出と検出時に電波発射を停止する機能、または、他のチャンネルに移動する機能であり、ITU-R勧告M.1652においてDFSの搭載が義務付けられている。

作業班、サブ・ワーキング・グループの開催状況

気象レーダー作業班	C帯サブ・ワーキング・グループ
<ul style="list-style-type: none"> ○ 平成29年10月13日(第1回作業班) <ul style="list-style-type: none"> ・ 気象レーダー作業班の運営方針等 ○ 平成29年12月21日(第2回作業班) <ul style="list-style-type: none"> ・ サブ・ワーキング・グループからの検討状況報告 ○ 平成30年4月19日(第3回作業班) <ul style="list-style-type: none"> ・ 周波数の有効利用のためのDFSの技術的条件のあり方 ○ 平成30年4月19日(第4回作業班) <ul style="list-style-type: none"> ・ サブ・ワーキング・グループからの検討状況報告 ○ 平成30年12月6日(第5回作業班) <ul style="list-style-type: none"> ・ サブ・ワーキング・グループからの検討状況報告 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 平成29年11月27日(第1回C帯SWG) <ul style="list-style-type: none"> ・ 検討の方向性等 ○ 平成30年3月23日(第2回C帯SWG) <ul style="list-style-type: none"> ・ 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(平成29年度技術試験事務)の報告 ○ 平成30年6月28日(第3回C帯SWG) <ul style="list-style-type: none"> ・ DFSの技術的条件に関する検討状況の報告 ○ 平成30年12月27日(第4回C帯SWG) <ul style="list-style-type: none"> ・ DFSの見直しに関する気象レーダーのパルスパターンについての検討

5GHz帯無線LANのDFS

各国のDFS動作条件

- ・ 欧米では周波数帯による区別がないのに対し、**日本では5.3GHz帯と5.6GHz帯を区別**
- ・ **日本の5.3GHz帯は、欧米と異なり、固定パターン(2種類)のみを規定**

	欧州		米国		日本	
周波数帯 [GHz]	5.3	5.6	5.3	5.6	5.3	5.6
動作条件*	レンジ内可変		レンジ内可変 + 固定		固定パターンのみ	レンジ内可変 + 固定

* パルス幅及びパルス繰り返し周波数

日本の5.3GHz帯の検討経緯

- ・ 日本では、事実上国際標準となる米国の動作条件が策定(2006年)される前の2005年に独自に策定
- ・ 米国が動作条件を検討中に日本でも並行してフィールド試験を実施。米国仕様案の無線LANのDFSが日本の気象レーダーに十分反応しなかったため、米国仕様案とは異なる動作条件を検討

フィールド試験で使用した気象レーダー

	パルス幅 [us]	繰り返し周波数[Hz]
新千歳	1	840又は1120
函館	2.7	260

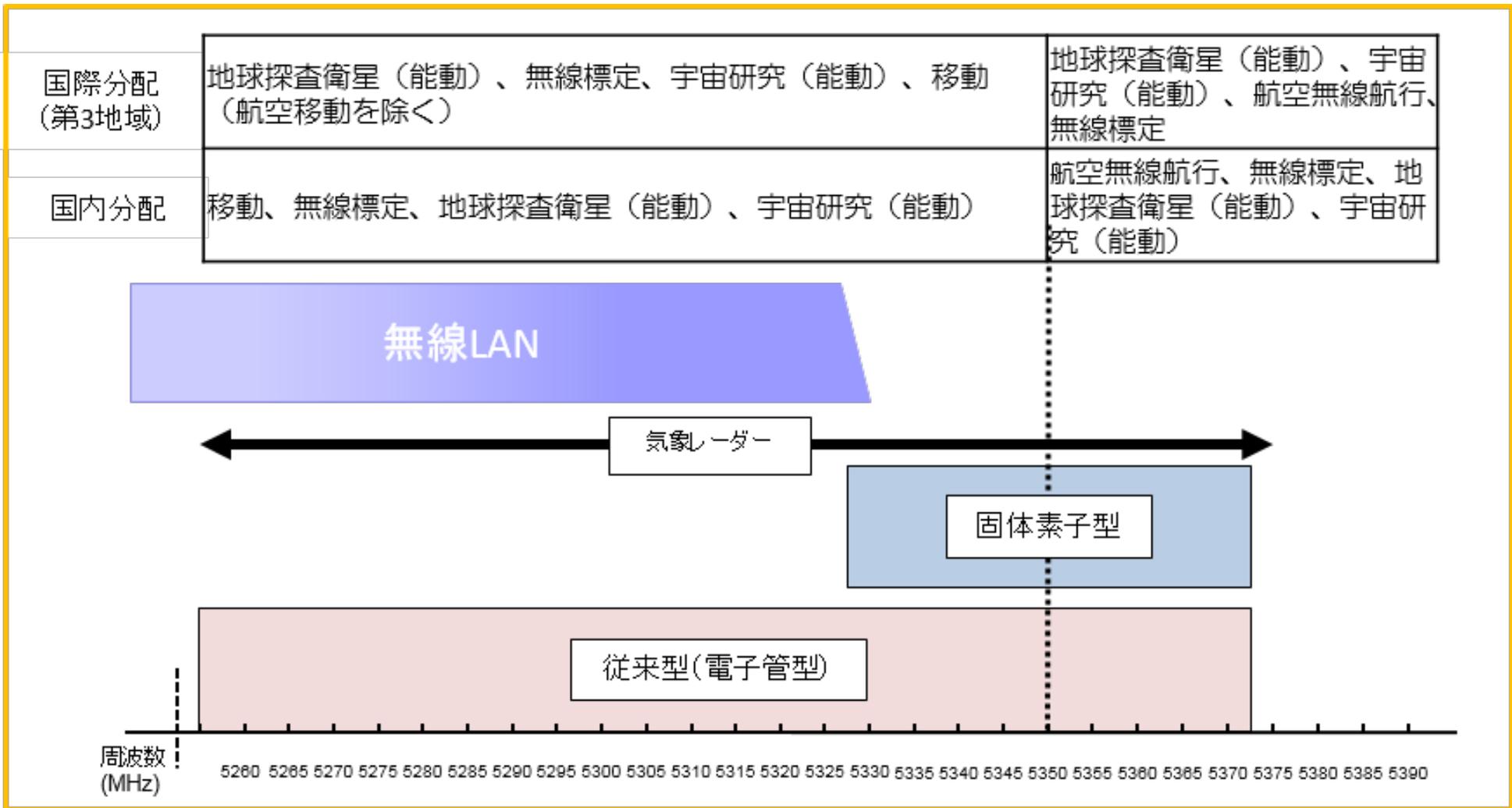
**策定当時のどのレーダーにも該当しない
検出条件を選択**

日本のDFS規定(無線設備規則)

	パルス幅 [us]	繰り返し周波数[Hz]
固定1	1	700
固定2	2.5	260

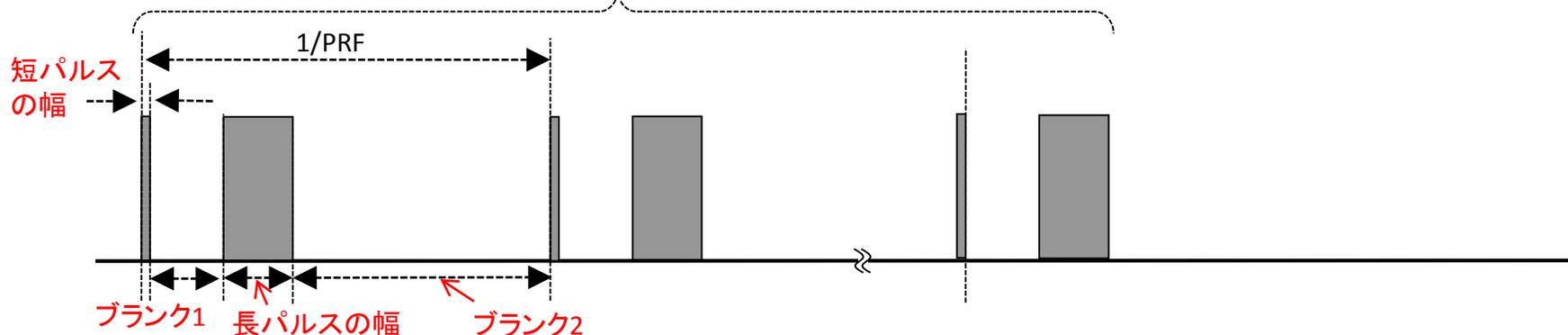
5.3GHz帯の周波数割当て状況

第1回気象レーダー作業班（H29.10.13）資料 抜粋



固体素子型気象レーダーの運用

バーストに含まれる短・長パルスの組 L



短パルスの幅

- 距離分解能に応じて設定する。150mの距離分解能は $1.0\mu\text{s}$ に相当。

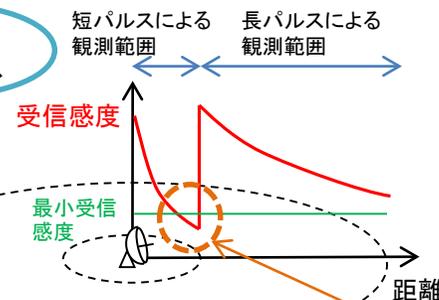
長パルスの幅

- 長くすることで、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が、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。
- そこで、短パルスを送受信することで近距離の補完を行うが、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。

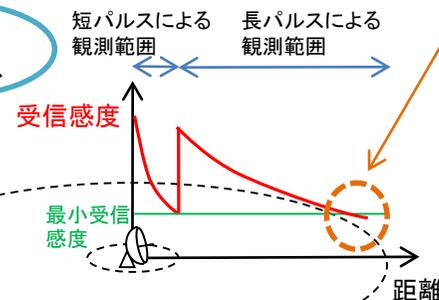
ブランク1、2

- ブランク1は短パルスの受信時間（＝観測範囲）に相当し、長パルス送信中に受信ができない長パルス幅+aに設定する（これ以上長くすると、処理に用いるパルス数が減り観測精度が低下）。
- +aを設けるのは、パルス幅を3dB幅で定義しており、全パルス長としてはもう少しだけ長いため。
- ブランク2は長パルスの受信時間（＝観測範囲）に相当。

長めの長パルス



短めの長パルス



長めの長パルスを用いると近傍で、短めの長パルスを用いると遠方で、それぞれ受信感度を割りやすい

気象レーダー側の要求するパルスパターン

- IEEE 802.11ax規格に係る国内の法制度整備に際し、欧州のETSI規格 (EN 301 893) の#1、#2の値をベースとし、かつ固体素子レーダーに対応できるように、短パルスと短パルスの間に長パルスが送信されることをNOTE 7に、1バーストあたりのパルス数は最小値を意味することをNOTE 8に注釈として追加した、#1'、#2'相当の規格を、固体素子レーダーに対応する日本の新たなW53帯DFSパルスパターンとしていただけないか提案したい。
- 告示等への追加規定の具体については、上記対応可否の確認後に別途検討したい (現在の固定パルス1,2の規定は削除可)。

固体素子レーダーで必要とするパラメータ範囲

表 2.3.3-1 気象庁及び国土交通省で想定される固体素子レーダーのパラメータ範囲

パラメータ	範囲
短パルス長 [us] (半値幅で定義)	0.5 ~ 2.5 ± 10%
長パルス長 [us] (半値幅で定義)	20 ~ 400 ± 5%
繰り返し周波数[Hz]	100 ~ 2000、 短パルスのみの場合 20000 も含む
チャープ幅 [MHz]	1 ~ 2
周波数変調方法	線形、非線形
周波数遷移方向	Up、Down

出典: H29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報告書

短パルスのパラメータ範囲 (赤枠) は、ETSI規格 (#1, #2) にほぼ包含されるため、固体素子レーダーに係る注釈(NOTE)を追加する形の規格を提案したい。

ETSI規格におけるDFSパルスパターン

Table D.4: Parameters of radar test signals

Radar test signal # (see note 1 to note 3)	Pulse width W (us)		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	1 000	1	10 (see note 6)
2	0,5	15	200	1 600	1	15 (see note 6)
3	0,5	15	2 300	4 000	1	25
4	20	30	2 000	4 000	1	20
5	0,5	2	300	400	2/3	10 (see note 6)
6	0,5	2	400	1 200	2/3	15 (see note 6)

出典: ETSI EN 301 893 V2.1.1 (2017-05)
Annex D (normative): DFS parameters

提案するW53帯DFSパルスパターンの規格 (#1', #2')

Table D.4: Parameters of radar test signals

Radar test signal # (see note 1 to note 3)	Pulse width W (us)		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)

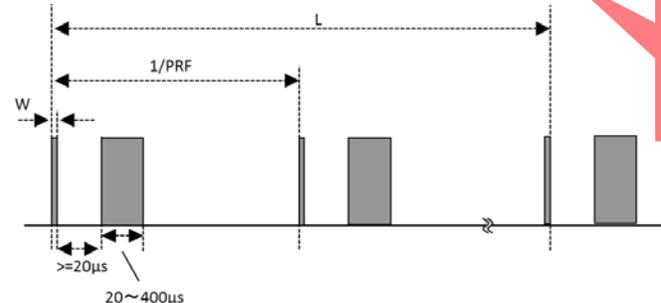
NOTE 1~4 (略)

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 us (which has an accuracy of ±5%) is also emitted after at least 20 us 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.



(注) DFSにおいて周波数を区別していないのであれば、下線部の考慮は特段不要

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

DFSの検証試験に用いたパルスパターン

No.	送信時間 [μs]				長パルス波形形状			パルス数	備考		
	短パルス	ブランク1	長パルス	ブランク2	α	γ	B		タイプ	レーダー電波種別	PRF
1	2.5	0	0	3028	-	-	-	10	クライストロン	可変長パルス	330
2	1	0	0	1063	-	-	-	27	クライストロン	可変長パルス	940
3	1	0	0	1329	-	-	-	21	クライストロン	可変長パルス	752
4	2	0	0	3844	-	-	-	10	クライストロン	可変長パルス	260
5	2	0	0	2379	-	-	-	15	クライストロン	可変長パルス	420
6	1	0	0	892	-	-	-	32	クライストロン	可変長パルス	1120
7	1	0	0	1189	-	-	-	24	クライストロン	可変長パルス	840
8	1	72	64	825	0	1.48	1.2	28	固体化	チャープ・可変長パルス	1040
9	1	72	64	1065	0	1.48	1.2	23	固体化	チャープ・可変長パルス	832
10	1	108	100	2291	0	1.48	1.67	20	固体化	チャープ・可変長パルス	400
11	1	108	100	2916	0	1.48	1.67	30	固体化	チャープ・可変長パルス	320
12	1	72	64	2762	0.45	1.48	2	10	固体化	チャープ・可変長パルス	345
13	1	40	32	1031	0.45	1.48	2	26	固体化	チャープ・可変長パルス	906
14	1	40	32	1252	0.45	1.48	2	22	固体化	チャープ・可変長パルス	755
15	0.5	20	20	585	0.1	1.48	2	10	固体化	チャープ・可変長パルス	1600
16	0.5	20	20	585	0.89	1.48	2	10	固体化	チャープ・可変長パルス	1600
17	5	200	200	2928	0.1	1.48	1	10	固体化	チャープ・可変長パルス	300
18	5	200	200	2928	0.89	1.48	1	10	固体化	チャープ・可変長パルス	300
19	15	400	400	4185	0.1	1.48	1	15	固体化	チャープ・可変長パルス	200
20	15	400	400	4185	0.89	1.48	1	15	固体化	チャープ・可変長パルス	200

- 無線LAN側の通信負荷率を、現在の規定に沿って「50%」としている。
- 上記の20パターンは、ETSIの規格を参考にしたDFSパルスパターンの規格案（前ページ参照）の中から選んだもの。
- No.1～14は国内で既に使用している若しくは今後1年間で使用を開始する予定のものであり、ETSIの規格を参考にしたパルスパターンの端の値を選んだもの。
- 橙色のセルは実際に気象庁で現在（又は近い将来）利用しているもの。パルス幅やPRF（パルス繰り返し周波数）はこの値しか使用しないということではなく、若干変更して使用する場合がある。
- 距離分解能は125～150m以下が必要であり、短パルスの幅は原則として1.0μsとしている。
- 降水予測のためには、レーダーの周囲を3次的に観測し、落ちてくる前の上空の降水粒子を捉える必要がある。降水粒子は高さ10～15km程度以下にしか存在しないため、高仰角の観測でこれらを捕捉するには、長パルスの幅を30μs程度(5km程度)とする必要がある（高仰角の観測が必要ない場合は、この限りではない。）。

検証試験の結果 等

○ 検証試験の結果

試験の結果、20パターンの中に現状の無線LAN設備では検知できないものが存在した。なお、検知の可否を分ける主な要素として、「通信負荷率」「長パルスの長さ」「短パルスと長パルス間のブランクの長さ」「パルス数(PPB)」「パルス繰り返し周波数(PRF)」があることが明確となった。

○ パルスパターンの修正案

検証試験の結果を加味して、**当面の間**、「無線LAN側で検知が必要なパルスパターン」として以下を提案する。

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	1115	1117	1	30	(see note 8')
14'	0,5	1,5	929	931	1	25	
13''	0,5	1,5	887	889	1	24	
14''	0,5	1,5	739	741	1	20	

固体素子レーダー

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'.

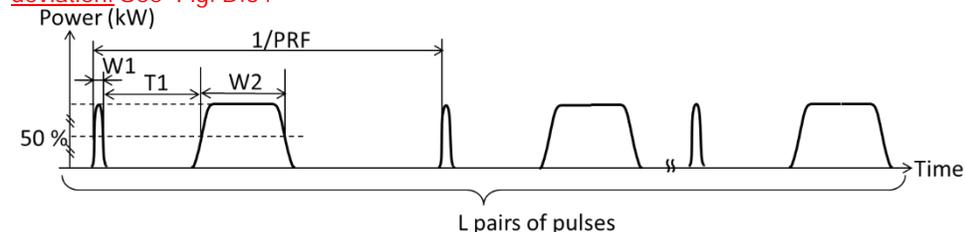


Figure D.6': General structure of a single burst/constant PRF based solid-state radar test signal

※ 試験時の通信負荷率はETSI規格を鑑み、30%とする。

パルスパターンに関する継続検討

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 (μ s)		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 μ s (which has an accuracy of $\pm 5\%$) is also emitted after at least 20 μ s since emitting the normal pulse. The modulation to be used is a linear (or non-linear) chirp modulation with a $\pm 0,5 - 1,0$ MHz frequency deviation. See Figure D.6.

NOTE 8: This means minimum value.

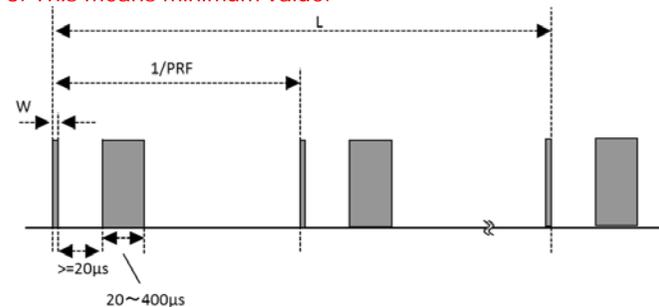


Figure D.6: General structure of a single burst/constant PRF based solid-state radar test signal

※ 上記のパルスパターンについては、引き続きの検討が必要。