

情 通 審 第 3 号

令 和 6 年 1 月 18 日

総 務 大 臣

松 本 剛 明 殿

情 報 通 信 審 議 会

会 長 遠 藤 信 博

答 申 書

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「9.7GHz帯フェーズドアレイ気象レーダー等に関する技術的条件」について、審議の結果、別添のとおり答申する。

別添 9. 7GHz 帯フェーズドアレイ気象レーダーに関する技術的条件

1. 一般的条件

- ・ 適用範囲
この技術的条件は、9. 7GHz 帯フェーズドアレイ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。
- ・ 周波数帯
高性能型気象レーダーの周波数帯は、9, 702. 5～9, 797. 75MHz の範囲（割当周波数 9, 705～9, 795MHz）とする。

2. 送信装置の条件

- ・ 変調方式および電波の型式
変調方式はパルス変調とすることが適当である。電波の型式は、PON 又は QON、もしくはその両方とすることが適当である。
- ・ 搬送波の周波数
電波の型式が PON の搬送波の周波数は、電波の型式が QON の搬送波の周波数より 2. 5MHz 高い周波数とすることが適当である。ただし、これらは同時に送信しないこと。
- ・ 周波数の許容偏差
周波数の許容偏差は、恒温槽付水晶発振器や温度補償水晶発振器が高い周波数精度を確保できることから、百万分率で 100 とすることが適当である。
- ・ 占有周波数帯幅の許容値
フェーズドアレイレーダーの場合、各ユニットの振幅・位相のばらつきによるその影響が出やすく、パルス波形や OBW 等がひずむことが知られている。パルス圧縮が必要な QON については、狭帯域検討を行い 2. 5MHz に収めた。PON については、その影響が出やすく、現在運用中の気象レーダーの実測結果も踏まえ、3MHz とすることが適当である。
- ・ 等価等方輻射電力（EIRP）
EIRP は 107dBm 以下（単偏波）、110dBm 以下（二重偏波）とすることが適当である。
- ・ 空中線電力
空中線電力は、5KW 以下（単偏波）とすることが適当である。また、垂直及び水平偏波を同時に用いる場合（以下「二重偏波」という。）、それぞれの送信出力の和を取ることとする。電波の型式が PON、QON とともに尖頭電力で表示す

ることとする。

- ・ 空中線電力の許容偏差
空中線電力の許容偏差は、上限 50%、下限 50%とすることが適当である。
- ・ デューティー比
気象レーダー観測の感度を向上させるためには、デューティー比をなるべく大きくし送信平均電力を上げた方が良いが、複数台の隣接レーダーによる協調観測を行うには、それぞれのレーダーの受信時間を確保する必要がある。自局以外に 2 台程度設置された際には、それぞれの送信タイミングを調整した上で受信時間を確保するために、デューティー比は 10%以下とすることが望ましい。
降雨エコーは対流圏（中緯度では最大約 15km 程度）の高度内であり、高仰角の観測ではレーダーからある程度離れると通常の降雨エコーが存在しないため、パルス繰返周波数 (PRF) を大きく、デューティー比を大きくすることで、効率よく観測することが可能になる。フェーズドアレイ気象レーダーの仰角 30 度以上では、デューティー比を 20 %以下とすることが望ましい。

3. 搬送波の変調波スペクトラムの許容範囲

搬送波の空中線電力（尖頭電力）から、次の減衰量とすることが適当である。

- ・ 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
- ・ 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

ただし、変調波スペクトラムの許容範囲は、周波数の許容偏差を含むこと。

4. スプリアス発射又は不要発射の強度

- ・ 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値
基本周波数の平均電力より、40dB 低い値とすることが適当である。
無線測位業務を行う無線局の送信設備の帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数は、ITU-R 勧告 SM. 1541-5 Annex 8 の条件に適合することとし、以下のとおりとする。

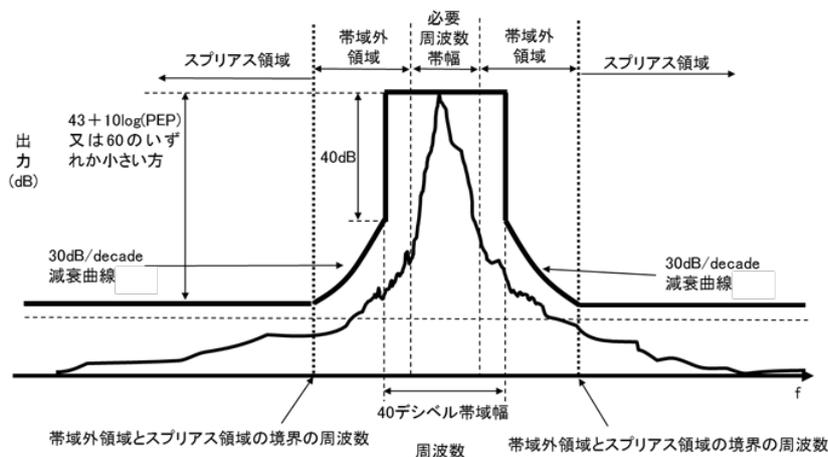


図1 帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数

- ・ スプリアス発射領域における不要発射の強度の許容値
基本周波数の尖頭電力より、60dB 低い値とすることが適当である。なお、参照周波数帯幅及び帯域外領域とスプリアス発射領域の境界の周波数は、ITU-R 勧告 SM. 1541-5 Annex 8 の条件に適合することが適当である。

5. 空中線

- ・ 空中線利得
空中線利得については、EIRP、空中線電力での規定を満足すればよいので、規定しない。
- ・ 空中線ビーム幅
空中線のビーム幅は、水平方向のビーム幅を 1.2 度以下とする。
- ・ 送信方向制御
送信方向制御として、任意の方位角方向へのブランキングができることが適当である。更に任意の仰角方向に送信ヌルが設定できることが望ましい。
- ・ 主指向方向以外の等価等方輻射電力の上限値
方位角方向の主指向方向から 3 度以上離隔した方向における最大 EIRP を 84dBm 以下（単偏波）、87dBm 以下（二重偏波）、方位角方向の主指向方向から 15 度以上離隔した方向における最大 EIRP を 72dBm 以下（単偏波）、75dBm 以下（二重偏波）とする。
観測性能や実現性に無理の無い範囲で上限値を管理するのが現実的対応であり、空中線の指向性モデルが必要であることより、ITU-R 勧告 M. 1851-1 の sinc モデルを想定する。

6. 電波防護指針

9. 7GHz 帯高性能型気象レーダーについては、当該レーダーを設置する段階において、その諸元が電波防護指針と適合できるか確認するものである。（電波防護指針については、参考資料 1 を参照。）

電波防護対策としては、電波防護指針に基づき、設置環境に応じてそれぞれが離隔距離を算出し、離隔距離以内に立ち入れないように対策（ビルの屋上に人が立ち入るときは電源が切れる、など）を施したり、空中線が停止した際は、電波の送信も停止させる機能を装備したりするなどの対策を行う必要がある。

X 帯高性能型気象レーダーの以下の諸元に基づき、電波防護指針の適合性を確認する。ひとつの参考値を以下に示す。

表 1 離隔距離と計算条件

離隔距離	計算条件
15.3m	空中線は回転する EIRP : 110dBm デューティー比 : 10% 直接波+ビル等の反射

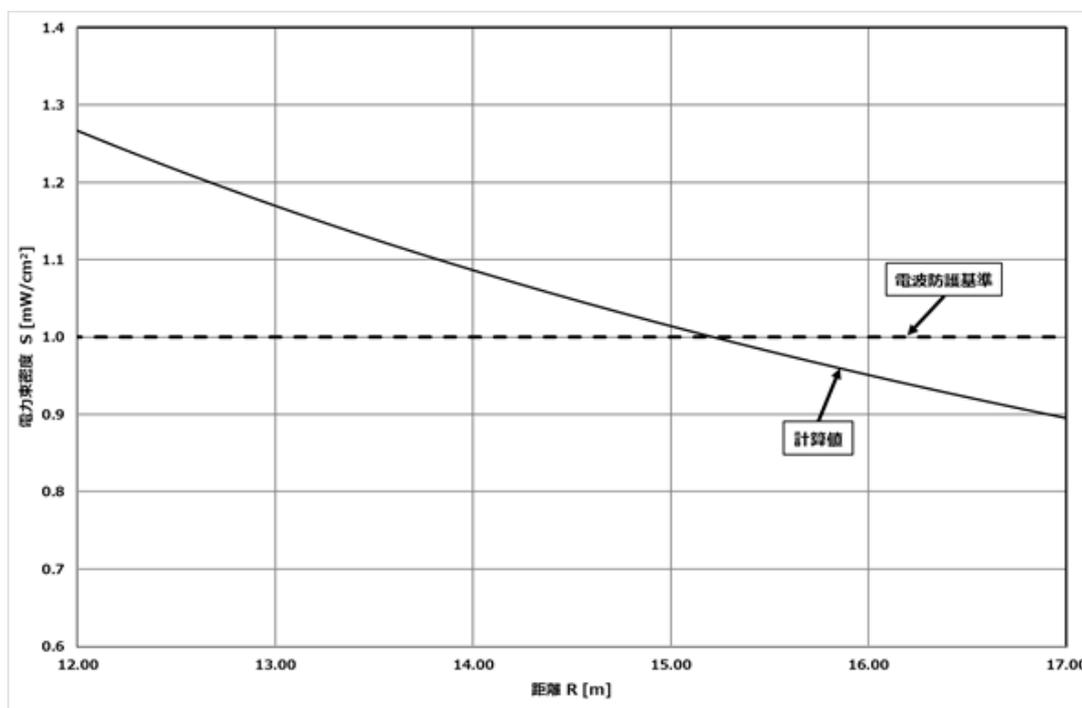


図 2 X 帯高性能型気象レーダーの電波防護指針と適合性（例）

この例の場合、離隔距離を 15.3m 程度確保することにより、電波防護指針に適合できることを確認した。ビルの屋上等に設置する際には、人の立ち入りに応じて送信を停止させる、アンテナの回転を停止した状態で送信できないようにする等の対策を行う必要がある。

7. 受信装置

- ・ 等価雑音帯域幅および雑音指数
雑音指数は規定しない。
- ・ 最小受信感度
最小受信感度は、 -108dBm/MHz とすることが望ましい。
- ・ 副次的に発する電波等の限度
現行無線設備規則第 24 条の規定のとおり、X 帯高性能気象レーダーについても、受信機から副次的に発する電波の限度は、 4nW 以下とする。

8. 測定法

本節では、9.7GHz 帯フェーズドアレイ気象レーダーの技術的条件のうち、測定法に関する項目について定める。

なお、被干渉局に対する与干渉が認められる場合は、必要に応じて送信ヌル制御や送信ブランキングの処置を講じ、被干渉局運用者との間で協議を行うこととする。

- ・ 周波数の測定（特性周波数）
電波の型式が PON の場合 -3dBpp 、QON の場合 -10dBpp となる周波数の平均とする。
- ・ 占有周波数帯幅の測定
占有周波数帯幅（以下、OBW）の測定において、周波数オフセットした PON と QON を同時にスペクトラム・アナライザーにて測定すると分解能帯域幅（RBW）の設定値によって PON と QON のピークレベル差が変化するため、RBW の設定値を規定する必要がある。この解決方法として、周波数オフセットした PON と QON を個別にスペクトラム・アナライザーにて測定する。（測定例については、参考資料 2 を参照。）

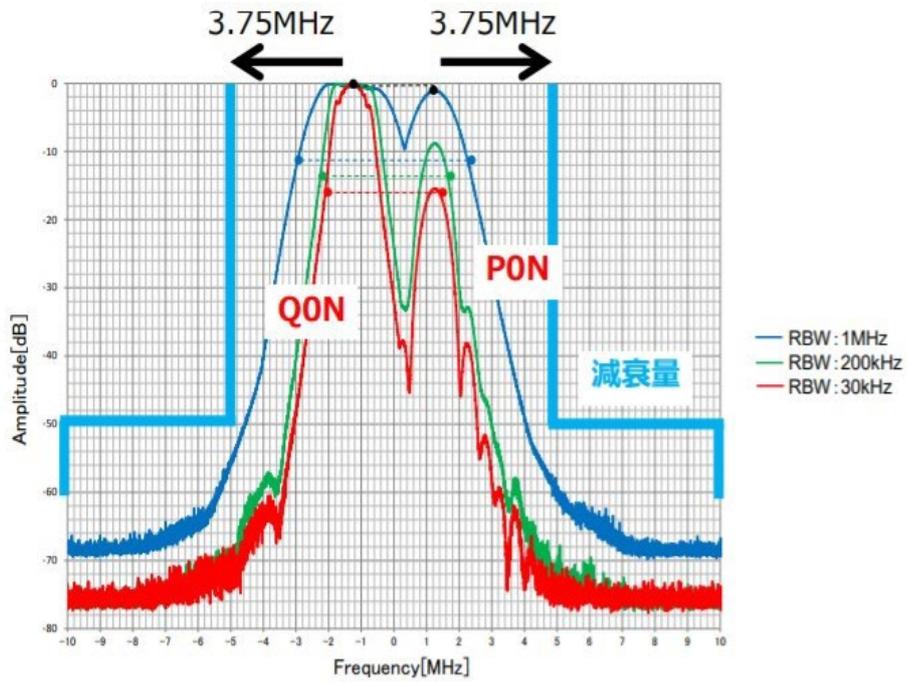


図3 周波数オフセットについて

表2の条件で測定を行うと、OBW、送信周波数及び搬送波の変調波スペクトルが同時に測定できる。

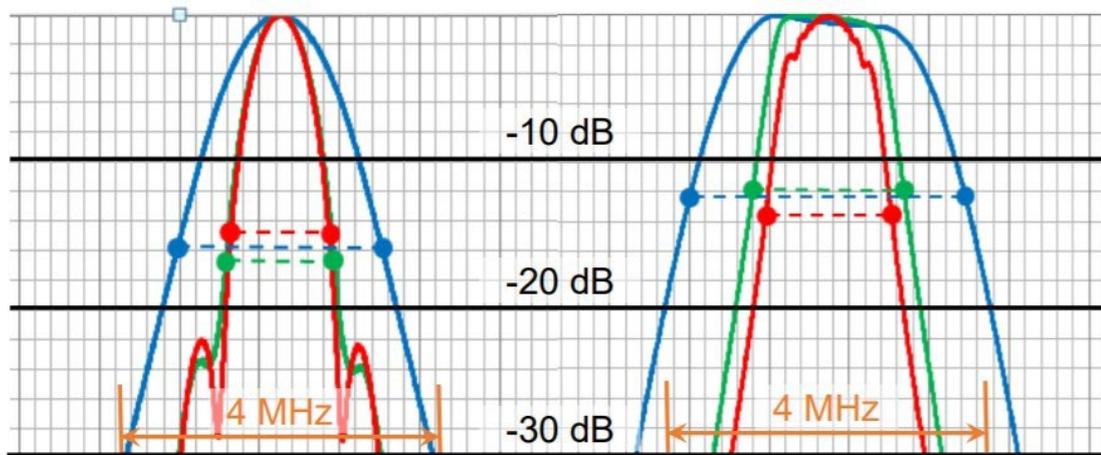
表2 測定条件

	測定条件	数値例	
		PON	QON
掃引周波数幅	OBW、送信周波数、及び搬送波の変調スペクトルの許容範囲が同時に測定できる幅	30 MHz	
分解能帯域幅 (RBW)	OBW 許容値の 1%以上	30 kHz	
ビデオ帯域幅 (VBW)	RBW と同程度	30 kHz	
データ点数	1000 点以上	1501 点以上	
掃引モード	繰り返し掃引	繰り返し掃引	
掃引時間	PRF の逆数とデータ点数の積以上	10 秒	
信号対雑音比 (S/N)	50 dB 以上	70 dB 以上	
検波モード	ポジティブピーク	ポジティブピーク	
表示モード	マックスホールド	マックスホールド	
特性周波数 (参考)	ピークから一定割合電力低下した周波数の平均	-3 dBpp となる周波数の平均	-10 dBpp となる周波数の平均

測定条件の根拠は、以下のとおりである。

ア 掃引周波数幅

- OBW 計算をするためには、適切な幅で掃引しなければならない。OBW は、掃引周波数幅内の電力総和に対して 99%の電力が集中する周波数幅で規定される。つまり、掃引周波数の幅が狭すぎる場合には、OBW が過小評価される。
- 国内規定には根拠の記述がないため、ITU - R 勧告 SM. 443-4 を引用する。掃引周波数幅が過剰に広い場合、多量の雑音計算過程に混入して精度低下要因となる。そのため、少なくとも最大振幅に対して 0.5% (または-26dB) のスペクトル成分が十分に含まれる幅とする。(図4)
- OBW の端点は概ね-15dB~-10dB となる。OBW の2倍程度幅を取れば、スペクトルの接点は-30dB を下回るが、OBW だけでなく、送信周波数や減衰量など全体を一度に測定するには、掃引周波数幅を 30MHz とすることが適当である。



*ITU-R 勧告 SM. 443-4 “Bandwidth measurement at monitoring stations”

図4 OBWの測定方法の根拠

イ RBW

OBWは探知性能に直結するため、許容値付近で運用することが望ましい。また、2桁程度の測定精度が必要であるため、RBWはOBWの1%程度とする。ただし、実際のスペクトラム・アナライザは離散的なRBWしか設定できないため、RBWはOBWの1%以上とする。

PONをスペクトラム・アナライザで測定すると、PRF毎に分布する線スペクトルとして観測されるため、観測点毎にスペクトルを1本以上入れる必要があることから、RBWはPRF以上とする必要がある。PRFとして50Hz~20kHzが想定されているが、RBWを1%とした場合は概ね要件を満たす。

ウ データ点数

データ点数は、掃引周波数幅をRBWで除した値が下限値となる。掃引周波数が30MHz、RBWをOBWの1% ($30\text{MHz} \times 1\% = 0.030\text{MHz}$) とすると、下限値は $30/0.030 = 1000$ 点となる。

エ 掃引モード

スペクトルの測定においては、レーダーと非同期で測定するために、1回の掃引だけでは、スペクトルのエンベロープが形成されないため、ある程度の繰り返しが必要である。ITU-R 勧告 SM. 443-4 では、400回以上の掃引が必要であると言われている。

オ 掃引時間

各データ点の測定時間は最低でも、送受信 1 周期以上が必要である。PRF の逆数が送信周期であり、各点の測定時間の最低値となるため、掃引時間は PRF の逆数とデータ点数の積以上とする。

カ 信号対雑音比

OBW の測定には、最低でも 26dB のダイナミックレンジが要求されている。許容誤差を 0.02dB とすると、 $(S+N)/S \leq 10^{(0.02/10)}$ より $S/N \geq 216.65 \approx 23.4$ [dB] となるため、測定系には $26\text{dB} + 23.4\text{dB} = 49.4\text{dB}$ 以上のダイナミックレンジが要求される。よって、信号対雑音比は 50dB 以上とする。

- ・ 副次的に発する電波等の限度

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、受信装置を連続受信状態として、スペクトラム・アナライザ等を用いて測定すること。

- ・ フェーズドアレイレーダーにおける測定法

フェーズドアレイレーダーの周波数、パルス幅、空中線電力、占有周波数帯幅、スプリアス発射又は不要発射の強度の測定では、空中線から空間に発射された電波を測定する方法（空間発射測定）と、各送信モジュールに直接測定器を接続して送信出力段における電力を測定する方法（有線接続測定）、各送信モジュールの出力を合成器等でまとめ測定する方法（複数合成測定法）のいずれかの方法で測定する。

なお、空間発射測定については、マルチパス等の影響を十分考慮した測定環境の確保が必要である。（3つの測定方式については、参考資料3を参照。）

9. その他

今後気象は激甚化していき、高性能レーダーを含む気象レーダー局数は増加していくものと想定される。その際、気象レーダー間の干渉問題が深刻化することが予想される。そのため今後導入される高性能気象レーダーには相手局情報+広帯域受信による干渉除去等の高度な干渉除去処理を行うことにより、メインローブ-サイドローブ間の干渉基準として $I/N < 35\text{dB}$ を許容することが将来的には望ましい。ただし、高度な干渉除去処理に関しては、相手局情報をどのように入手するかなど実際の運用方法に注意が必要である。

参考資料 1 電波防護指針

我が国では、無線設備から発射される電波について、これまでの科学的知見を基に人体の健康に好ましくない影響を及ぼさない電波の強さの指針（電波防護指針）を定め、それに基づき電波法令により安全性を確保している。電波法施行規則第二十一条の四においては、無線設備が安全施設をしなければならない電波の強度について、次のとおり定められている。

電波法施行規則第二十一条の四

（電波の強度に対する安全施設） 無線設備には、当該無線設備から発射される電波の強度（略）が別表第二号の三の三に定める値を超える場所（略）に取扱者のほか容易に出入りすることができないように、施設をしなければならない。（以下、略。）

別表第二号の三の三 電波の強度の値の表（第 21 条の 4 関係）

第 1

周波数	電界強度の実効値 (V/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	電力束密度の実効値 (mW/cm ²)
100kHz を超え 3 MHz 以下	275	2.18 f ⁻¹	
3 MHz を超 30MHz 以下	824f ⁻¹	2.18 f ⁻¹	
30MHz を超え 300MHz 以下	27.5	0.0728	0.2
300MHz を超え 1.5GHz 以下	1.585f ^{1/2}	f ^{1/2} /237.8	f/1500
1.5GHz を超え 300GHz 以下	61.4	0.163	1

注 1 f は、MHz を単位とする周波数とする。

- 2 電界強度、磁界強度及び電力束密度は、それらの 6 分間における平均値とする。
- 3 人体が電波に不均一にばく露される場合その他総務大臣がこの表によることが不合理であると認める場合は、総務大臣が別に告示するところによるものとする。
- 4 同一場所若しくはその周辺の複数の無線局が電波を発射する場合又は一の無線局が複数の電波を発射する場合は、電界強度及び磁界強度については各周波数の表中の値に対する割合の自乗和の値、また電力束密度については各周波数の表中の値に対する割合の和の値がそれぞれ 1 を超えてはならない。

第 2

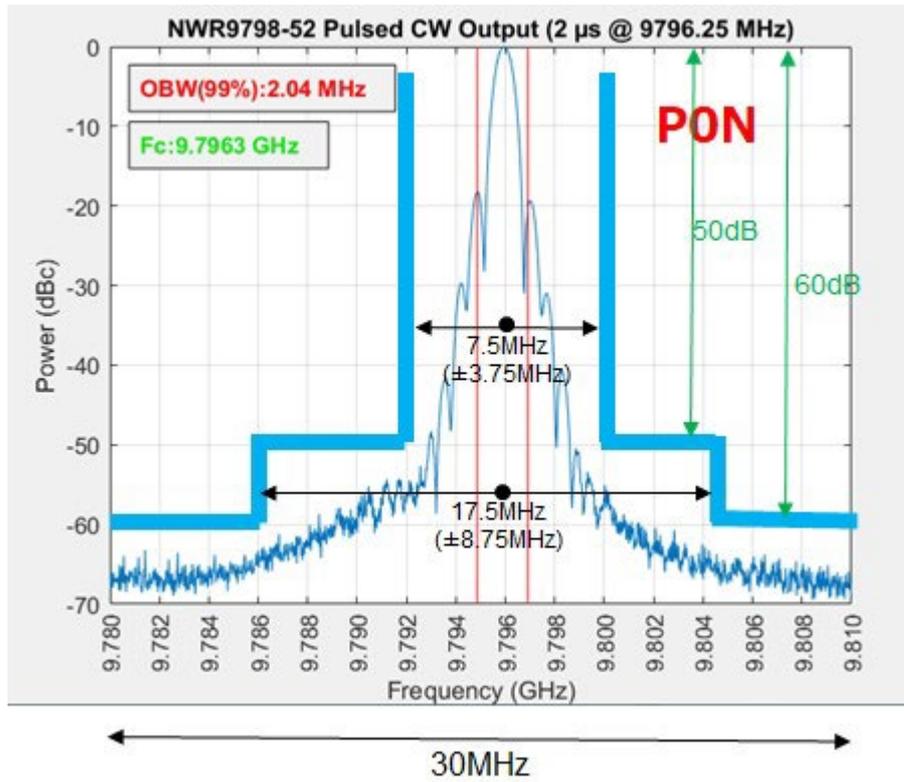
周波数	電界強度の実効値 (V/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	磁束束密度の実効値 (T)
10kHz を超え 10MHz 以下	83	21	2.7×10^{-5}

注 1 電界強度、磁界強度及び磁束密度は、それらの時間平均を行わない瞬時の値とする。

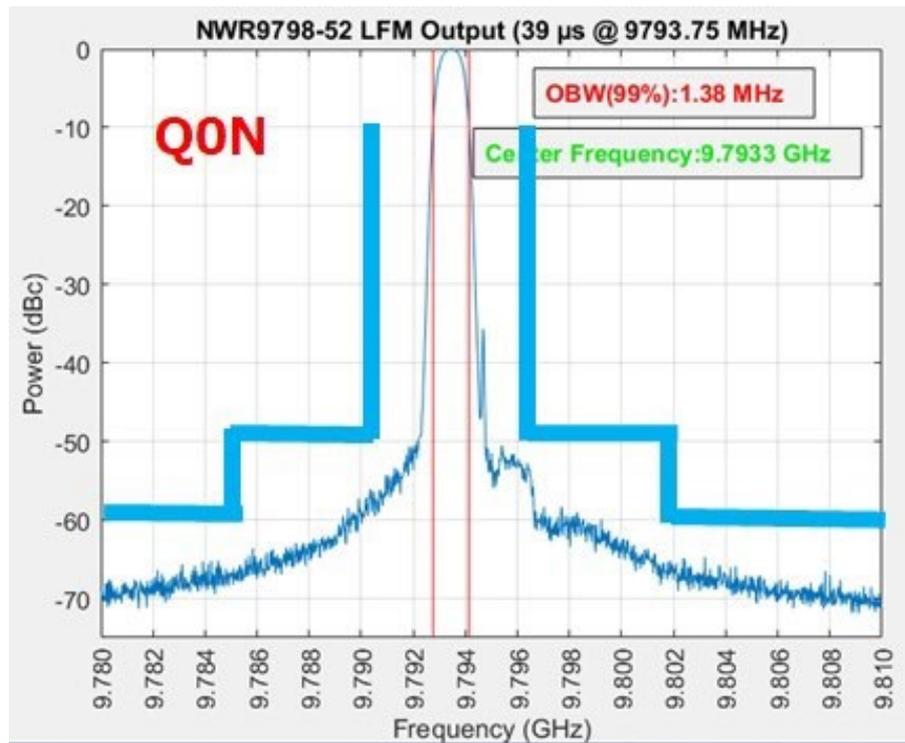
- 2 人体が電波に不均一にばく露される場合その他総務大臣がこの表によることが不合理であると認める場合は、総務大臣が別に告示するところによるものとする。
- 3 同一場所若しくはその周辺の複数の無線局が電波を発射する場合又は一の無線局が複数の電波を発射する場合は、電界強度、磁界強度及び磁束密度については表中の値に対する割合の和の値、又は国際規格等で定められる合理的な方法により算出された値がそれぞれ 1 を超えてはならない。

参考資料 2 占有周波数帯幅の測定例

占有周波数帯幅（OBW）の測定における測定例を以下に示す。

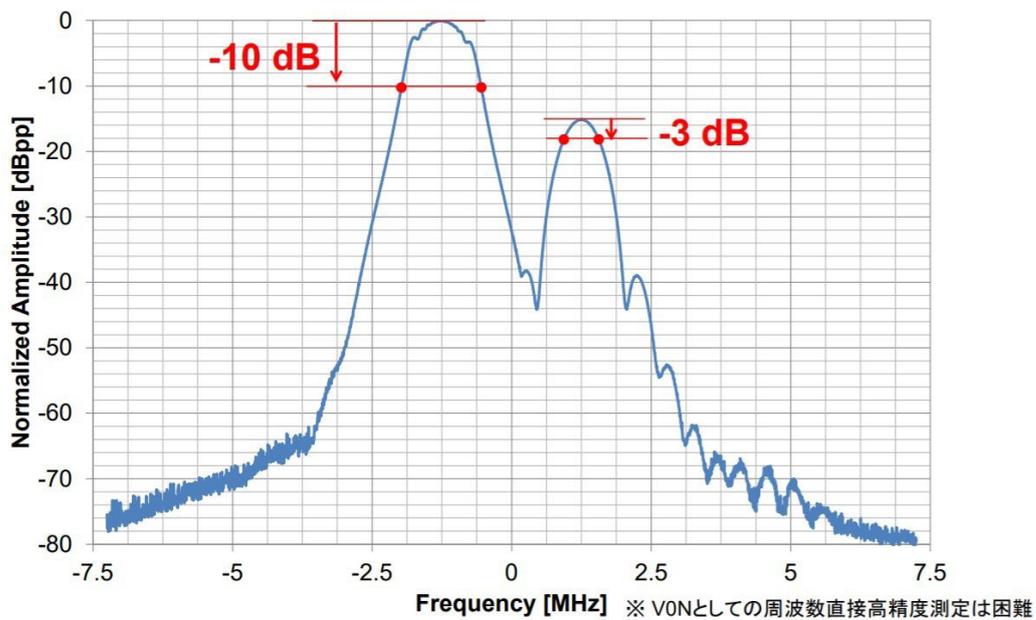


OBW の測定 (PON)



OBW の測定 (QON)

特性周波数のスペクトルの測定例を以下に示す。



OBW の測定 (VON)

表 特性周波数スペクトル測定例

	電波の型式	測定値
OBW [MHz]	PON	1.26
	QON	1.58
	VON	3.48
送信周波数偏差 [kHz]	PON	-2.5
	QON	-10.0
送信周波数偏差 [ppm]	PON	-0.27
	QON	-1.06

パルス仕様

PON : パルス幅 $1\mu s$

QON : パルス幅 $50\mu s$ 、変調幅 2MHz

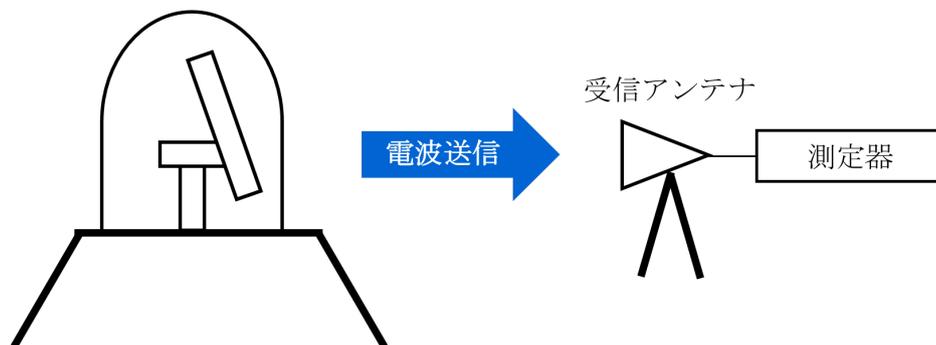
参考資料3 フェーズドアレイレーダーにおける測定法の概要

フェーズドアレイレーダーにおける測定法の概要を以下に示す。

(1) 空間発射測定法

空間発射測定法は、全ての送信モジュールを一度に送信し、空間に発射された電波を受信アンテナによって測定する方法である。レーダー運用時の状態でパラメータを測定できる一方で、測定に適した場所が確保できない場合、マルチパス等の影響で正確なパラメータを測定できない可能性がある。以下に、空間発射測定法の概要図を示す。

フェーズドアレイ気象レーダー

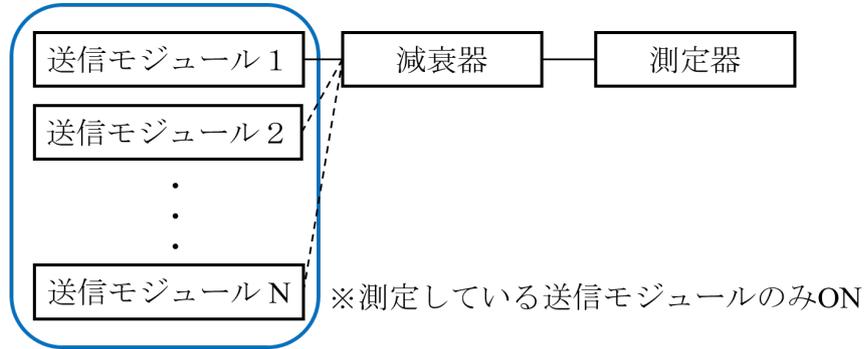


空間発射測定法の概要図

(2) 有線接続測定法

有線接続測定法は、各送信モジュールに直接測定器を接続し、送信出力段における出力を測定する方法である。レーダーの設置場所に関わらず測定できる一方で、アンテナ素子数の増加に伴い、送信モジュールの測定数が増えるため、測定時間が膨大になる可能性がある。以下に、有線接続測定法の概要図を示す。

フェーズドアレイ気象レーダー

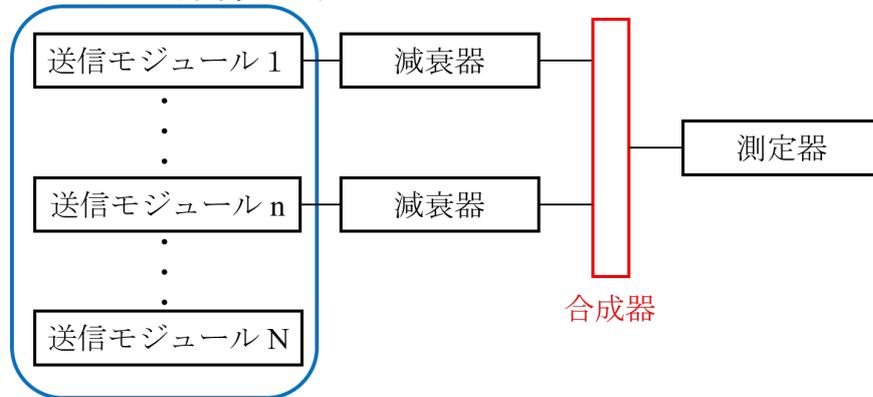


有線接続測定法の概要図

(3) 複数合成測定法

複数合成測定法は、各送信モジュールの出力を合成器等でまとめ測定する方法である。レーダーの設置場所に関わらず測定でき、有線接続測定法に比べて測定時間を短縮できる一方で、空間発射測定法と等価となるように、複数合成測定法での測定点において、同位相合成となる調整と経路ロス補正を実施する必要がある。以下に、複数合成測定法の概要図を示す。

フェーズドアレイ気象レーダー



複数合成測定法の概要図