

レーダの基本と送信特性の測定



目次

1	はじめに	3
2	レーダの基礎知識.....	4
2.1	レーダとは	4
2.2	レーダに使用される周波数	4
2.3	レーダシステムの構成要素	5
2.4	レーダ方式	6
2.5	社会インフラにおけるレーダシステムの運用	7
3.	レーダ送信機の測定	8
3.1	主な測定項目	8
3.2	不要発射の規格	8
3.3	レーダ送信機の無線特性試験のための測定器	12
	参考/関連資料.....	13

1 はじめに

軍事的な利用を目的に開発・発展してきたレーダ技術は、現在、公共交通システムの安全確保や効率的な運用、気象観測、車の衝突防止などに幅広く利用されています。レーダを使用したシステムは、私たちの安心・安全な社会生活を支えるインフラの一部となっていて、正確かつ安定した動作が求められます。また、レーダが使用する電波は資源が有限で、使用される周波数帯やその周辺はさまざまな無線通信機器や衛星通信／放送、電波測定システムも使用しています。そのため、レーダシステムは、他の無線システムへ干渉を与えないように、国際規則で定められた技術基準を満たしている必要があります。高度なレーダシステムが普及するに伴い、その安定した運用と法令順守のために、レーダ送信機の定期的な保守試験とその効率的な測定方法の検討が重要になってきています。

本書は、主に気象観測や空港管制などで使用される、パルスレーダ送信信号の基本的な無線特性とそれを試験する測定器の概要を説明します。実際の測定においては、レーダの設置地域における法規制や装置仕様書に定められた詳細な測定条件を確認してください。

2 レーダの基礎知識

2.1 レーダとは

レーダ (Radar) は、RAdio Detection And Ranging の略で、電磁エネルギーの反射を使用した物体の検出装置を表します。レーダシステムは、観測地点から離れた場所にある物体の方向・高さ・距離、そして移動速度を測定できます。高度なレーダシステムは、観測対象の物体の形状や種類を識別したり、移動する物体の追跡をしたりする事も可能です。

レーダシステムは光学／機械的な測定法と比較して次のような利点があります。

- ・ 昼夜、視界の良し悪しを問わず測定できます
- ・ 離れた場所から目視や物理的なものさしでは不可能な長い距離と広い範囲を測定できます
- ・ 複数の方法を用いて集めたデータを統合して処理することでより正確かつ詳細に測定できます

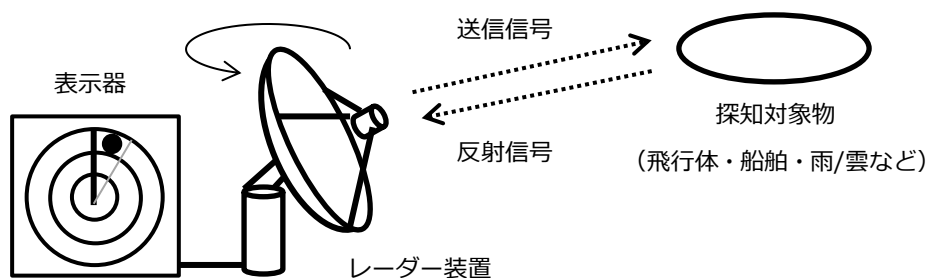


図 2-1 レーダの基本概念

2.2 レーダに使用される周波数

レーダが使用する電波の周波数帯を表 2-1 に示します。相対的に、周波数が低い帯域では長距離の測定に、周波数が高い帯域では近距離・高分解能な測定に適しています。軍事用の他、気象レーダ、船舶用レーダ、空港管制用レーダ、沿岸監視用レーダなどがこれらの周波数帯を使用しています。

さらに高い周波数帯（24/60/76/79 GHz 帯など）を使用したレーダは、「ミリ波レーダ」とも呼ばれ、車載の衝突防止レーダをはじめとする高度道路交通システム (ITS) や、ヘルスケアの分野でのセンシング技術として近年応用が進んでいます。

表 2-1 レーダに使用される主な周波数帯

IEEE 定義名称	周波数帯	最大距離	分解能	アンテナ
UHF 帯	30 ~ 1,000 MHz	長い ↑ ↓ 短い	低い	大きい
L 帯	1,000 ~ 2000 MHz		↑ ↓ 高い	↑ ↓ 小さい
S 帯	2,000 ~ 4,000 MHz			
C 帯	4,000 ~ 8,000 MHz			
X 帯	8 ~ 12 GHz			
Ku 帯	12 ~ 18 GHz			
K 帯	18 ~ 26.5 GHz			

2.3 レーダシステムの構成要素

レーダシステムは一般的に、アンテナ・デュプレクサ・送信部・受信部・制御部・表示部から構成されます。

アンテナは送受信で共用されるのが一般的で、デュプレクサによって送信と受信（信号の向き）を切替えます。レーダの電波は狭いビームにエネルギー集中させる指向性の高いアンテナで出力されます。測定範囲を広げるために機械的に回転させる方式や、高速または複数の対象物を走査するための電子式のアンテナが使用されます。

送信部にはクライストロンなどの電子管や半導体素子などが使われます。代表的な送信管であるクライストロンは、25 kW から 1000 kW クラスの大電力を扱うことができ、長距離探索に長年使用されていますが、寿命が短く保守コストがかかり、周波数の安定度や周波数の利用効率の面でも課題があります。固体素子を使ったレーダは、部品の信頼性が高いため保守コストが非常に低く、安定した周波数で不要発射（スプリアス）が低減できます。一方で、出力電力が 300 W~400 W 程度とクライストロンなどの送信管にまだ及びません。今後、半導体の性能向上や補完技術の活用により利用範囲は広がると考えられます。

受信部は外来の干渉や雑音などの不要な信号から所望の信号を検出します。一般的に遠方の対象物で反射した電波は非常に小さいため優れた雑音指数（NF）のアンプやフィルタによって感度を向上させています。制御部は信号処理やデータ処理を行い、送信機と受信機、および表示器との同期をとります。表示部は対象物の種類やシステムに応じてすばやく分かりやすく確認できるように地図データを重ねるなどしてグラフィカルに設計されています。

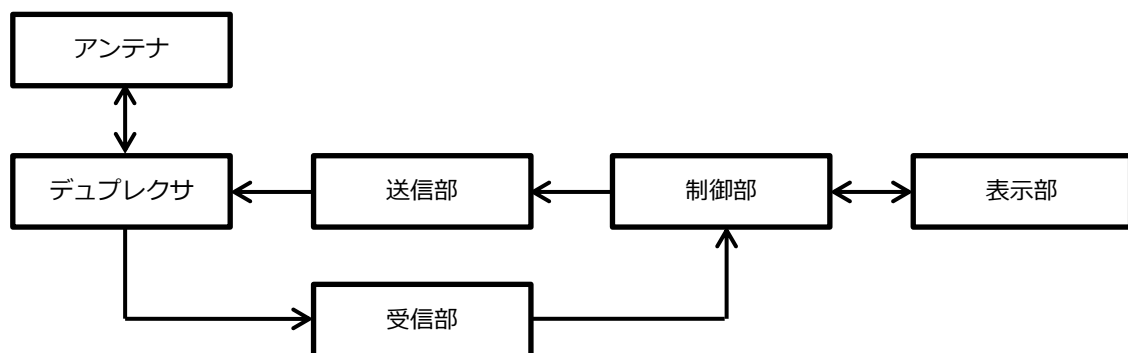


図 2-2 レーダシステムの構成要素

2.4 レーダ方式

主要なレーダは、信号の変調方式の違いにより、パルスレーダと FM-CW レーダに大きく分類することができます。

パルスレーダは、矩形上のパルスを一定時間ごとに繰り返し送信し、対象物から反射してきた信号を受信した時との時間差を基に距離を求める方式です。探知する最大距離の往復に要する時間を周期としてパルスを送信します。パルスレーダの距離分解能と最小探知距離は概ねパルス幅に比例します。パルス幅が長いと送信電力が大きくなってパルスが遠くまで届いて長距離にある対象物を探知できる一方、パルス送信の繰り返し周期が長くなって最小探知距離も長くなります。

一般的に、クライストロンレーダは短いパルスを大出力の送信尖頭電力で送信することで広範囲を探知します。一方、送信尖頭電力が低い固体素子レーダは、クライストロンと同等の送信電力を得るためにパルスの送信時間を長くすることで遠距離探知を実現しています。さらにパルス圧縮技術を使用し、長いパルス内に特殊な変調をかけて送信したものを受信時に復調して狭いパルス幅に変換することで距離分解能を向上させています。しかし、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、長いパルスと短いパルスを組み合わせることで、遠距離と近距離を補完します。長パルスは「Q0N」（Q:パルスで角度変調 0:変調信号のないもの N:無情報）、短パルスは「P0N」（P:無変調パルス 0:変調信号のないもの N:無情報）と規格されているパルスレーダもあります。

FM-CW レーダは、連続波（CW : Continuous Wave）に周波数変調（FM : Frequency Modulation）を施した信号を用いたもので、送信周波数からドップラーシフトした受信周波数から移動速度を、FM 変調をかけた周波数の変化から距離を測定する方式です。FM-CW は、パルスレーダのような高い送信電力がなくても高い信号雑音比を実現することができるため、小型化が容易な半導体素子を用いて航空機や衛星の電波高度計、車載の衝突防止レーダなどに広く応用されています。

近年のより高性能化したレーダは複数の技術を組合せることにより、より広範囲で高分解能な検出や測位ができるようになってきています。



図 2-3 パルスレーダの概念図

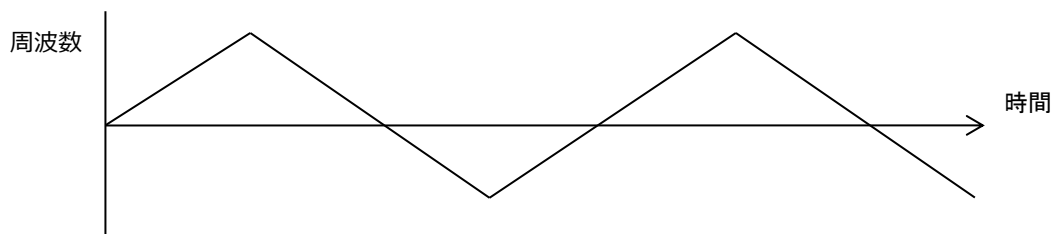


図 2-4 FM-CW レーダの概念図

2.5 社会インフラにおけるレーダシステムの運用

レーダシステムは航空管制や気象観測、船舶航行などの社会インフラの安全を支えています。

航空管制用レーダ

航空機が安全に秩序正しくかつ効率的に運行されるように各地の空港事務所や航空交通管制部ではレーダシステムを使用しています。空港内や上空にいる航空機の位置や高度、その識別を行うためのレーダシステムには、ASR（Airport Surveillance radar：空港監視レーダ）、ARSR（Air Route Surveillance Radar：航空路監視レーダ）や ORSR（Oceanic Route Surveillance Radar：洋上航空路監視レーダ）、ASDE（Airport Surface Detection Equipment：空港面探知レーダ）などがあります。

ASR は、キャリア周波数 2700 MHz から 2900 MHz を使用し、送信電力は 500 kW、半径約 110 km の空域をカバーし、出発・進入機の誘導や航空機相互間の間隔設定などに利用されています。ARSR は、キャリア周波数 1200 MHz から 1350 MHz を使用し、送信電力は 2 MW、半径約 460 km の空域をカバーします。ASDE は空港の滑走路や誘導路にある航空機や車両などの動きを監視して交通の安全を図るレーダで、キャリア周波数は 24.25 GHz から 24.75 GHz、送信出力は 30 kW、半径約 5 km の範囲をカバーします。

これらの地上に固定されたレーダ施設の他に、航空機にはトランスポンダと呼ばれる航空交通管制用の自動応答装置を搭載したものがあります。航空機上のトランスポンダは、地上の ASR や ARSR に併設された SSR（Secondary Surveillance Radar：2 次監視レーダ）からの信号（1 GHz 帯）を受けて、その航空機の識別情報や高度情報などを SSR へ返します。

気象観測用レーダ

気象レーダは電波を発射し、雨や雪にぶつかって戻ってきた電波の強さやドップラー周波数から雨や雪の強さや風向きを観測するものです。山や建物などの障害物を避けて遠くまで観測できるように、気象レーダ装置は山の上や鉄塔の上などの高い場所に設置されます。

気象レーダが使用する周波数帯は主に S 帯（3 GHz 帯）、C 帯（5 GHz 帯）、X 帯（9 GHz 帯）です。一般的に最も広範囲をカバーする S 帯の気象レーダは半径 500 km から 600 km 程度の範囲の観測が可能で、X 帯の観測範囲は半径 30 km~80 km 程度です。雨粒の粒径が大きいほど水平と垂直の寸法差が大きくなるという性質を利用して、水平偏波と垂直偏波の両方を使用して雨粒の水平・垂直の寸法差を測定することによって、降雨量を高精度に観測可能な二重偏波レーダ（マルチパラメータ／MP レーダ）が主流になってきています。

X 帯の気象レーダは、従来の S 帯・C 帯を利用したものよりも小型で高い解像度の観測が可能です。一般的に周波数帯と共に距離分解能と関係するパルス幅は、C 帯レーダで、短パルスが 1~3 μ 秒で長パルスが 30~350 μ 秒、X 帯レーダで、短パルスが 0.1~50 μ 秒で長パルスが 128 μ 秒です。X 帯レーダを高密度に配置することで、局所的な豪雨を予測して土砂災害や浸水、洪水などによる被害を最小限に抑えるなどの活用が期待されています。X 帯の気象レーダは航空機にも搭載され、進行方向の雲を観測するなど、安全な運航に役立てられています。

船舶用／沿岸監視用レーダ

船舶に搭載されるレーダは、電波航法の一つとして、他船との衝突防止や自船の位置確認、気象や海面の観測などに主に利用されます。沿岸監視用レーダは陸地から沿岸を航行する船舶を監視するためのレーダです。船舶用のレーダには S 帯と X 帯が使用されています。代表的な船舶用レーダの尖頭電力は数 kW から数十 kW、パルス幅は数十 n 秒~1.2 μ 秒です。従来のクライストロンを使用したものに代わり、長寿命かつ低消費電力の固体素子の船舶用レーダが増えつつあります。

3. レーダ送信機の測定

3.1 主な測定項目

パルスレーダの送信機の無線仕様を表す主な諸元には次のようなものがあります。

- ・ 尖頭電力／平均送信電力
- ・ パルス持続時間／パルス幅
- ・ パルス立上り／立下り時間
- ・ 送信周波数／周波数偏差
- ・ 必要周波数帯域幅／40 dB 帯域幅

すでに説明したように、送信周波数・送信尖頭電力・パルス幅・パルス周期がレーダの能力に大きく影響します。これらの無線特性を正しく測定することが、レーダシステムの安定した運用と保守のために必要です。そのため、レーダの測定に使用する測定器は、そのレーダの仕様と国際機関やその運用国／地域の法律が定める規格が測定可能な、必要十分な性能と機能を満たしている必要があります。更に、その測定を行う場所や環境、一連の試験を行うために許された時間やリソース、作業者のスキルや経験、レポートフォーマット、設備コストなども考慮する必要があります。レーダの設置数が増加している中で、従来から行われてきた方法と最新の規格を踏まえながら、より効率的で低コストな試験方法を模索することが重要と言えます。

3.2 不要発射の規格

レーダシステムを含めて、あらゆる無線通信システムにとって、限られた電波とその周波数帯を有効活用し、また他の無線システムに干渉を与えないように制作することは重要な基本技術要件の一つです。国際連合の専門機関の一つであるITU（International Telecommunication Union：国際通信連合）は、ITU-R 勧告 SM.329「Unwanted emissions in the spurious domain」とITU-R 勧告 SM.1541「Unwanted emissions in the out-of-band domain」で定めたスプリアス領域と帯域外領域の不要発射の国際的な基準限界値を定義し、ITU-R 勧告 M.1177「Techniques for measurement of unwanted emissions of radar systems」で測定方法することを求めています。

スプリアス領域（Spurious domain）とは帯域外領域の外にあって、スプリアス発射が支配的な領域を言います。帯域外領域（out-of-band (OoB) domain）とは、情報の伝送に必要な、変調された信号の必要周波数帯域幅（ B_N ：necessary bandwidth）のすぐ外側にある領域で、スプリアス領域を除いた、帯域外発射が支配的な領域です。

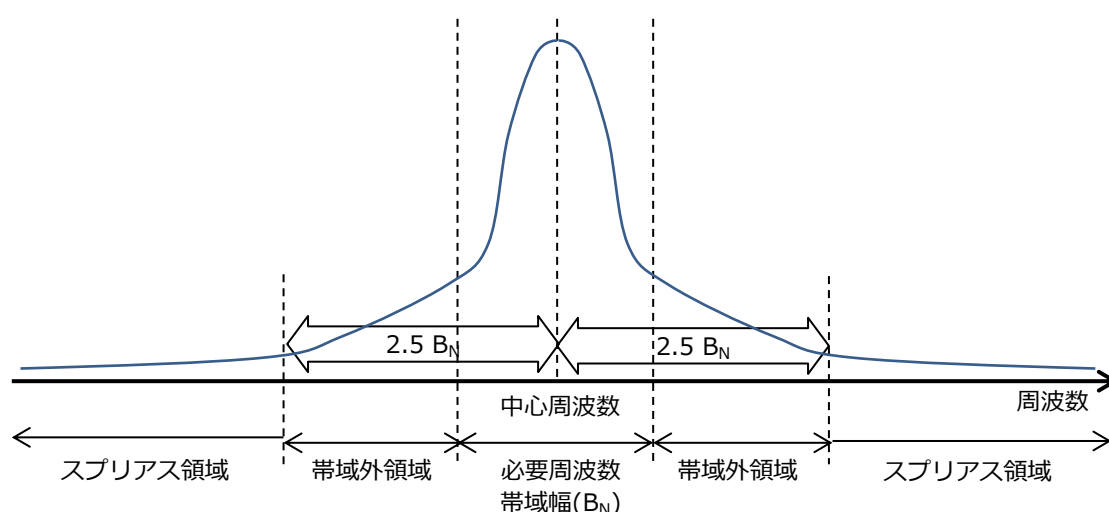


図 3-1 不要発射が定義されるスプリアス領域と帯域外領域

ITU-R 勧告 SM.329 は、不要発射の測定周波数範囲を表 3-1 のように定義しています。不要発射は、レーダの送信機が実運用状態で、変調波が送信された状態で測定します。

表 3-1 不要発射の測定周波数範囲

中心周波数範囲	測定周波数範囲	
	下限周波数	上限周波数
100 MHz ~ 300 MHz	9 kHz	10 倍高調波
300 MHz ~ 600 MHz	30 MHz	3 GHz
600 MHz ~ 5.2 GHz	30 MHz	5 倍高調波
5.2 GHz ~ 13 GHz	30 MHz	26 GHz
13 GHz ~ 150 GHz	30 MHz	2 倍高調波

レーダ装置のスプリアス領域の不要発射の許容値は、各国や地域の法律、およびレーダ装置の種類や運用形態によって個別に定義されています。ITU-R 勧告 SM.329 の Category A は無線測位のレーダ装置に対して $43+10\log\text{PEP}$ または 60 dB のいずれか小さい方の減衰量をスプリアス領域の不要発射限度として定義しています。PEP は Peak Envelope Power の略で、単位は W です。スプリアス領域の不要発射を測定する測定システムは、スプリアスレベルよりも 10 dB 以上のマージンをもって測定できることが推奨されています。

ITU-R 勧告 SM.1541 は、Annex8「OoB domain emission limits for primary radar systems」においてレーダ装置に対する帯域外領域のマスク線を定義しています。マスク線は周波数ドメインで定義されますが、時間ドメインのパルス持続時間 (pulse duration) t (またはパルス幅 pulse width) と立上り時間 (rise time) t_r が必要周波数帯域幅 B_N を決定します。ある一つのパルス信号の持続時間 t は振幅の 50%ポイントの間の時間です。立上り時間 t_r は尖頭の最大振幅の 10%から 90%へ増加するのにかかる時間です (図 3-2)。

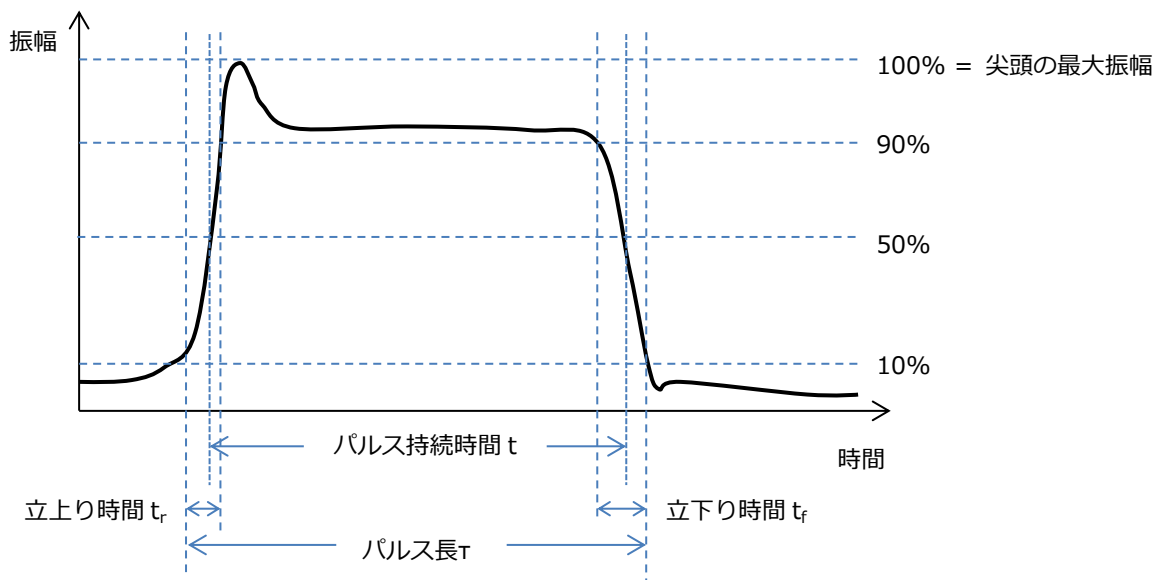


図 3-2 パルス信号の時間変化と呼称

非 FM 変調のパルスレーダの必要周波数帯域幅 B_N は次式の小さい方です。

$$B_N = \frac{1.79}{\sqrt{t \cdot t_r}} \text{ or } \frac{6.36}{t}$$

また、FM パルスレーダの必要周波数帯域幅 B_N は次式のとおりです。Bc は周波数偏移幅です。

$$B_N = \frac{1.79}{\sqrt{t \cdot t_r}} + 2B_c$$

帯域外領域の不要発射の上限は、送信波形のスペクトラムの 40 dB 帯域幅 (B_{-40}) を基準に決められます。この値は出力レベルや出力周波数、変調方法の種類によって計算方法とパラメータが決まっています。非 FM 変調のパルスレーダにおける 40 dB 帯域幅 B_{-40} は次式の小さい方です。ここで K の値は、100 Kw を超える出力レベルのレーダでは 6.2、100 kw 以下の出力レベルのレーダと 2900 MHz から 3100 MHz、9200 MHz から 9500 MHz で使用される無線航行のレーダでは 7.6 です。

$$B_{-40} = \frac{K}{\sqrt{t \cdot t_r}} \text{ or } \frac{64}{t}$$

FM パルスレーダの 40 dB 帯域幅 B_{-40} は次式のとおりです。

$$B_{-40} = 1.5 \{ B_c + \sqrt{\pi} \cdot [\ln(B_c \cdot \tau)]^{0.53} \cdot [\text{Min}(B_{rise}, B_{fall}, B_{rise\&fall}) + \text{Max}(B_{rise}, B_{fall}, B_{rise\&fall})] \}$$

$$B_{rise} = \frac{1}{\sqrt{\tau \cdot t_r}} \quad B_{fall} = \frac{1}{\sqrt{\tau \cdot t_f}} \quad B_{rise\&fall} = \frac{1}{\sqrt[3]{\tau \cdot t_r \cdot t_f}}$$

以上の式は、レーダの $B_c \cdot \text{Minimum}(t_r, t_f)$ が 0.10 以上、そして $B_c \cdot \tau$ もしくは 圧縮率が 10 より大きい場合に適用します。それ以外の場合は、次式を適用します。A は数字係数 (K=6.2 の場合は 0.105 および、K=7.6 の場合は 0.0065) です。

$$B_{-40} = \frac{K}{\sqrt{t \cdot t_r}} + 2 \left(B_c + \frac{A}{t_r} \right)$$

帯域外領域のマスク線は、40 dB 帯域幅からスプリアスのレベルまでなだらかに下がった形で描かれ、波形の種類などによって 20 dB/decade、30 dB/decade あるいは 40 dB/decade が適用されます。「per decade」は周波数が 10 倍になるときに対数的に減衰する量を言います。40 dB 帯域幅の中心周波数を 0% とした場合、その 40 dB 帯域幅の周波数は -50% ~ +50% で表され、その片側 50% からその 10 倍である 500% までの減衰量が 20 dB のときが 20 dB/decade です。この対数的な減衰量が大きいほど、40 dB 帯域幅の両端から描かれたマスク線は少ない周波数変化量でスプリアスレベルに達するため、スペクトラム近傍の不要発射を抑える必要があります。

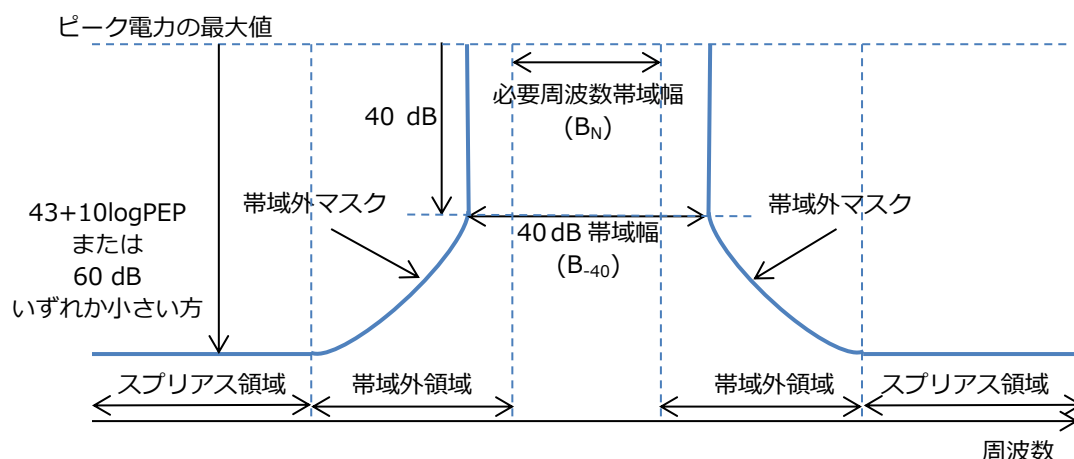


図 3-3 レーダ送信信号の不要発射の上限

ITU-R 勧告 M.1177 は、測定対象のレーダ装置が運用される周波数領域ごとに、Annex 1 と Annex 2 という二つの章立てで測定方法を定義し、それぞれで直接法と間接法を説明しています。Annex 1 は、50 MHz から 400 MHz まで、および 400 MHz 超で運用されるレーダ装置、Annex 2 は、50 MHz 未満、および 50 MHz から 400 MHz までで運用されるレーダ装置が対象です。直接法は無響チャンバ（anechoic chamber）を用いてレーダ装置のアンテナからの放射電力を測定アンテナで測定する方法です。間接法は、送信機の出力端での電力とアンテナ特性を別々に測定してから遠方界測定 of 補正を加味して計算する方法です。実際の測定に際しては、測定するレーダシステムの種類や運用形態、試験用インタフェース、および関連する規格や業界標準などを参照して試験環境を構築する必要があります。

3.3 レーダ送信機の無線特性試験のための測定器

レーダ送信機の無線特性を測定する場合、送信電力はパワーメータ／センサを、送信周波数／周波数偏差は周波数カウンタを、パルスの時間的遷移の測定はオシロスコープを、必要帯域幅や帯域外／スプリアス領域の不要発射などの周波数ドメインの測定はスペクトラムアナライザを、それぞれ測定器として用いることが一般的です。これは、各種無線規則や測定規格、レーダの無線特性諸元が従来から最も基本的な測定器を用いて測定方法を定義していることが多いという理由が挙げられます。また、従来の慣習で、ある特定の機種種の測定器が常用されてきたことも理由の一つと言えます。

近年は各測定器がそれぞれ多機能化かつ高性能化してきており、一つの測定器で幅広い測定項目をより効率的に測定できるようになってきました。レーダ信号の諸元や試験規格に基づいて測定可能な測定器を複数候補に挙げた上で、各測定器の特長や特性、従来使用してきた測定器での測定結果との相関性などを理解・確認して選択することで、従来よりもシンプルでコストを抑えた測定システムを構築できる可能性があります。

パワーメータ／センサ

パワーメータは、他の測定器の電力測定の校正基準にも使用される、確度が優れた電力測定のための測定器です。パルスレーダ信号を測定する場合、広い帯域幅（50 MHz 程度）と高速な立上り時間（1 μ 秒未満）を備えたパワーセンサを選択します。パルス幅や立上り時間を直接測定することが可能なモデルもあります。

周波数カウンタ

周波数カウンタは RF 信号の搬送周波数と周波数偏移を測定するときに使用します。安定度の高い基準発振器を内蔵し、正確な単位時間の間ゲートを開き、パルス信号に変換させた測定信号を通過させてその数を数えて周波数を求めます。レーダ信号のパルスを検波してその時間をクロックカウントから計算してパルス幅を測定可能なモデルもあります。

オシロスコープ

オシロスコープは信号を A/D 変換して電圧／振幅成分の時間変化を測定します。ここに挙げた中では、最も時間分解能が高く、非常に短いパルス幅と急峻な立上り時間を測定できる測定器です。オシロスコープでレーダ信号を測定するときは RF 信号を電圧に変換するための検波器を入力前段に置きます。

シグナル／スペクトラムアナライザ

シグナル／スペクトラムアナライザは、スーパーヘテロダイン方式で入力信号を IF 信号に変換した後、A/D 変換して直接信号をサンプリングしたり（シグナルアナライザ機能）、指定した周波数範囲を参照帯域幅で掃引したり（スペクトラムアナライザ機能）することで、信号の時間変化や周波数成分を測定します。簡易的な試験や保守などの用途において、必要な条件を満たすことができれば、シグナル／スペクトラムアナライザ 1 台でレーダ送信機の主要な測定をすべてカバーできる可能性があります。

シグナルアナライザ機能は、レーダの RF 信号を設定された送信周波数を中心にして特定の時間とスパンでサンプリングし、そのベクトル成分を持つ IQ 信号をデジタルデータに変換して高速なプロセッサで処理することで、送信電力や送信周波数、パルス幅、パルス立上りなどを測定できます。パルス幅測定の分解能は、設定されたスパン（シグナルアナライザの解析帯域幅）で決まり、一般的な基準では、解析帯域幅 31.25 MHz の場合は 0.02 μ s（サンプリングレート 50 MHz）、解析帯域幅 1 GHz の場合は 0.8 ns（サンプリングレート 1300 MHz）です。

スペクトラムアナライザ機能による不要発射の測定では、単位掃引時間に一つのパルス周期が含まれるように設定し、指定された周波数範囲を掃引します。測定系と内外部の減衰量、および測定器の表示平均雑音レベル（DANL）性能が不要発射の測定マージンに大きく影響します。一般的なシグナル／スペクトラムアナライザのRF入力端の最大許容電力は1 W（+30 dBm）です。特に高出力のレーダ信号を測定する場合、測定器に一瞬でも過大な電力が入力しないように、信号経路上に十分な減衰器を測定器の前段に配置する必要があります。直接法の場合は、空間口スや試験用受信アンテナのゲイン、間接法やモニタ端子を使用する場合はその出力端の仕様を参照して測定器外部の減衰量を決めます。

たとえば、送信機端で最大尖頭電力1 kW（+60 dBm）のX（9 GHz）帯レーダを測定する場合、最大入力レベルが1 W（+30 dBm）のシグナル／スペクトラムアナライザであれば、外部に40 dB減衰器を置きます。レーダ信号自体の波形と特性を正確に測定／表示するときは、シグナル／スペクトラムアナライザ内部のミキサ回路で波形が歪まないように、ミキサの前段にある内部減衰器の量を最適な設定値に調整します。適切な内部減衰量が30 dBである場合、平均表示雑音レベル（DANL）が-145 dBm/Hzのシグナル／スペクトラムアナライザで、RBW 1 MHzで掃引するときのノイズフロアは、およそ、 $-145 \text{ dBm/Hz (DANL)} + 40 \text{ dB (外部減衰器)} + 30 \text{ dB (内部減衰器)} + 60 \text{ dB (RBW 換算)} = -15 \text{ dBm/MHz}$ です。これは、レーダ信号自体を測定可能な範囲で、スプリアスレベルの60 dB（+60-60=+0 dBm）に対して15 dB（10 dB以上）のマージンがとれていることを意味しますが、より詳細な測定の不確かさの要因を考慮すればそのマージンはより減少します。

高出力のレーダ信号を測定する場合などは、不要発射とそれ以外の測定項目を分けて別の系で測定することで、不要発射の測定マージンを得やすくなります。不要発射のみを測定するときは、レーダ信号の波形が多少歪んでも測定に影響はないため、内部の減衰器を減らして測定マージンを増やすことができます。さらに測定マージンを増やしたい場合は、外部の減衰器の前でレーダ帯域幅の電力をノッチフィルタで十分に減衰させることで外部の減衰量も減らします。

参考/関連資料

- [1] ITU-R M.1177-4 “Techniques for measurement of unwanted emissions of radar systems”
- [2] ITU-R SM.329-12 “Unwanted emissions in the spurious domain”
- [3] ITU-R SM.1541-4 “Unwanted emissions in the out-of-band domain”
- [4] 吉田 孝 監修 “改訂 レーダ技術 / Radar Engineering Revised Edition” 電子情報通信学会編,
- [5] 総務省/MIC:Ministry of Internal Affairs and Communications <<https://www.soumu.go.jp>>
- [6] 国土交通省/MLIT:Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism <<https://www.mlit.go.jp>>
- [7] 気象庁/Japan Meteorological Agency <<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>>
- [8] RFワールド No.7 電波と交通システム, CQ 出版株式会社 <www.rf-world.jp>
- [9] Anritsu Company, “Radar Testing with Simulation Signals”, Application Note, Part Number: 11410-00752



お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。
記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社

<https://www.anritsu.com>

本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1 TEL 046-223-1111
厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5
通信計測営業本部 TEL 046-296-1244 FAX 046-296-1239
通信計測営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 S S 3 0
通信計測営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
名古屋 〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル
通信計測営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485
大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル
通信計測営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア
通信計測営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699

■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。

通信計測営業本部 営業推進部

TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX: 046-296-1248
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: SJPost@zy.anritsu.co.jp

■計測器の使用法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: MDVPOST@anritsu.com

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。
また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

2104