

# 軍需機器の EMC — MIL-STD-461G の概要

## Part 4: 無線機器特有の試験 (CE106, RE103, CS103, CS104, CS105)

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2020 年 9 月 14 日

### 目次

<b>1</b>	<b>エミッション</b>	<b>2</b>
1.1	共通事項	2
1.1.1	測定周波数範囲	2
1.1.2	除外帯域 (送信機のみ)	2
1.1.3	測定用受信機	2
1.2	CE106 (伝導エミッション、アンテナ・ポート)	3
1.2.1	限度	3
1.2.2	送信状態の送信機や増幅器	3
1.2.2.1	インテグリティ・チェック	3
1.2.2.2	測定	3
1.2.2.3	データの提示	4
1.2.3	受信機、待機状態の送信機や増幅器	5
1.2.3.1	インテグリティ・チェック	5
1.2.3.2	測定	5
1.2.3.3	データの提示	5
1.3	RE103 (放射エミッション、アンテナ、スプリアス及び高調波出力)	5
1.3.1	限度	5
1.3.2	インテグリティ・チェック	5
1.3.3	測定	5
1.3.4	データの提示	6
<b>2</b>	<b>サセプティビリティ</b>	<b>6</b>
2.1	共通事項	6
2.1.1	試験方法	6
2.1.1.1	不要信号の受信機への影響の評価	6
2.1.1.2	不要信号のレベル	7
2.1.2	信号の確認	7
2.2	CS103 (伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、相互変調)	7
2.2.1	試験方法の例	8
2.3	CS104 (伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、不要信号の排除)	8
2.3.1	試験方法の例	8
2.4	CS105 (伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、混変調)	9
2.4.1	試験方法の例	10
<b>3</b>	<b>参考: サセプティビリティの試験法の例</b>	<b>10</b>
3.1	相互変調特性 (SINAD 法) <sup>[2]</sup>	10
3.2	相互変調特性 (NQ 法) <sup>[3]</sup>	11
3.3	混変調特性 (SINAD 法) <sup>[2]</sup>	11
3.4	スプリアス応答特性 (SINAD 法) <sup>[2]</sup>	11
3.5	スプリアス応答特性 (NQ 法) <sup>[3]</sup>	12
<b>4</b>	<b>参考資料</b>	<b>12</b>

MIL-STD-461G で規定されている試験の多くについてはこのシリーズの Part 1~3<sup>[4]</sup> で述べた。

本稿では、MIL-STD-461G で規定されている試験のうち、表 1 で太字で示した、主に無線機器<sup>†1</sup>にのみ関係する試験について、その概要を述べる。本稿ではこのシリーズの他のパートで述べた事項には触れないので、そのような事項についてはこのシリーズの該当するパート<sup>[4]</sup> や規格そのもの<sup>[1]</sup> を参照されたい。

また、本稿は規格の内容全てをカバーするものではなく、また正確であるとも限らないので、正確な情報は規格そのもの<sup>[1]</sup> や関連する公式な文書を参照されたい。



<sup>†1</sup> 無線通信機やレーダーを含む無線送信機/受信機、またそれに関する RF 増幅器が主な対象となる。だが、CS103 と CS104 について対象の例として音響受信機が明示されており、例えばソナーの受信機もこれらの試験の対象となるかも知れない。それぞれの機器へのこれらの要求の適用の要否は調達機関が指定するだろう。なお、適用が必要と判断された試験は機器を納入するための要求の一部となるだろうが、それらは無線機器に対する他の要求を置き換えるわけではない。

CE101	伝導エミッション、音声周波電流、電源線	30 Hz～10 kHz
CE102	伝導エミッション、無線周波電圧、電源線	10 kHz～10 MHz
<b>CE106</b>	伝導エミッション、アンテナ・ポート	10 kHz～40 GHz
CS101	伝導サセプティビリティ、電源線	30 Hz～150 kHz
<b>CS103</b>	伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、相互変調	15 kHz～10 GHz
<b>CS104</b>	伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、不要信号の排除	30 Hz～20 GHz
<b>CS105</b>	伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、混変調	30 Hz～20 GHz
CS109	伝導サセプティビリティ、構造電流	60 Hz～100 kHz
CS114	伝導サセプティビリティ、バルク・ケーブル注入	10 kHz～200 MHz
CS115	伝導サセプティビリティ、バルク・ケーブル注入、インパルス励起	
CS116	伝導サセプティビリティ、減衰正弦波トランジェント、ケーブル及び電源リード	
CS117	伝導サセプティビリティ、雷誘導トランジェント、ケーブル及び電源リード	
CS118	伝導サセプティビリティ、人体静電気放電	
RE101	放射エミッション、磁界	30 Hz～100 kHz
RE102	放射エミッション、電界	10 kHz～18 GHz
<b>RE103</b>	放射エミッション、アンテナ、スプリアス及び高調波出力	10 kHz～40 GHz
RS101	放射サセプティビリティ、磁界	30 Hz～100 kHz
RS103	放射サセプティビリティ、電界	2 MHz～40 GHz
RS105	放射サセプティビリティ、過渡電磁界	

表 1: 試験法の一覧

## 1 エミッション

### 1.1 共通事項

#### 1.1.1 測定周波数範囲

- 測定周波数の下限

EUT の動作周波数	測定周波数の下限
10 kHz～3 MHz	10 kHz
3 MHz～300 MHz	100 kHz
300 MHz～3 GHz	1 MHz
3 GHz～40 GHz	10 MHz

- 測定周波数の上限

EUT が発生、もしくは受信する最大周波数  $f_{\max}$  に応じて、

- $f_{\max} < 1 \text{ GHz}$  —  $f_{\max}$  の 20 倍と 18 GHz のいずれか高い方
- $f_{\max} \geq 1 \text{ GHz}$  —  $f_{\max}$  の 10 倍と 40 GHz のいずれか低い方<sup>†2</sup>

<sup>†2</sup> このルールでは測定周波数の上限は  $f_{\max} < 1 \text{ GHz}$  では 18 GHz となるにもかかわらず  $1 \text{ GHz} \leq f_{\max} < 1.8 \text{ GHz}$  では 18 GHz よりも低くなるという変則性が生じる。

#### 1.1.2 除外帯域 (送信機のみ)

送信状態の送信機や増幅器については、送信帯域幅内、あるいは基本周波数  $\pm 5\%$  のいずれか大きい方の周波数範囲では限度を適用しない。

海軍向けでピーク出力が 1 kW 以上 ( $P_{Pk(dBm)}$  が 60 dBm 以上) の場合、5% の代わりに  $\pm(0.5 + 0.1(P_{Pk(dBm)} - 60))\%$  の幅を適用する。

#### 1.1.3 測定用受信機

エミッションの測定には下記の条件を満たす測定用受信機 (テスト・レシーバ) やスペクトラム・アナライザを使用する:

- 帯域幅: 表 2 の値以上
- 検波器: 尖頭値
- 振幅の許容差  $\pm 2 \text{ dB}$

同調型の測定用受信機やスペクトラム・アナライザでの周波数掃引は、連続的に、あるいはステップで行ない、ステップ掃引の場合の掃引ステップは帯域幅の 1/2 以下とする。最小のドウェル・タイムや掃引率は表 2 に示したが、エミッションが間欠的に発生する、あるいは顕著な変動があるような場合、

周波数範囲	6 dB 帯域幅	最小ドウェル・タイム (s)		最小測定時間 連続掃引
		ステップ同調	FFT	
30 Hz～1 kHz	10 Hz	0.15	1	0.015 s/Hz
1 kHz～10 kHz	100 Hz	0.015	1	0.15 s/kHz
10 kHz～150 kHz	1 kHz	0.015	1	0.015 s/kHz
150 kHz～10 MHz	10 kHz	0.015	1	1.5 s/MHz
10 MHz～30 MHz	10 kHz	0.015	0.15	1.5 s/MHz
30 MHz～1 GHz	100 kHz	0.015	0.15	0.15 s/MHz
1 GHz～	1 MHz	0.015	0.015	15 s/GHz

表 2: 測定用受信機 (スペクトラム・アナライザ) の帯域幅と測定時間

その動作に応じてドウェル・タイムを長くする、あるいは掃引率を下げる必要があるかも知れない。<sup>†3</sup>

同調型の測定用受信機やスペクトラム・アナライザで周波数掃引を行なう代わりに FFT (タイム・ドメイン) による分析を用いることもでき、この場合、その測定用受信機は ANSI C63.2 (CISPR 16-1-1) の要求に適合していることが必要となる。

## 1.2 CE106 (伝導エミッション、アンテナ・ポート)

CE106 はアンテナ・ポート上のエミッション (送信機からの帯域内での放射を除く) を評価するもので、送信機、受信機、増幅器のアンテナ・ポートに適用される。

この測定は、§1.1.1 で述べた周波数範囲について行なう。

### 1.2.1 限度

- 受信機: 34 dB $\mu$ V
- 待機状態の送信機や増幅器: 34 dB $\mu$ V
- 送信状態の送信機や増幅器:

– 海軍の船舶向け:

- \* 除外帯域 (§1.1.2): 限度なし

<sup>†3</sup> 例えばビーコンの類は通常の動作状態ではかなり長い周期で間欠的な送信 (例えば 50 秒毎に 0.5 秒の送信) を行なうかも知れない。レーダーの類も間欠的な送信を行なうことが多いが、一般にパルス繰り返し周波数 (PRF) は比較的高く、伝導での測定、あるいは放射での測定でもビームが固定されていれば、ドウェル・タイムをそれほど長くしなくても間に合いそうである。

\* 2 次と 3 次の高調波: -20 dBm

\* その他: -40 dBm (そのエミッションのデューティ・サイクルが 0.2 % 未満の場合は 0 dBm)

– その他:

\* 除外帯域 (§1.1.2): 限度なし

\* 2 次と 3 次の高調波: -20 dBm、あるいは基本波 - 80 dB のいずれか高い方

\* その他: 基本波 - 80 dB

### 1.2.2 送信状態の送信機や増幅器

#### 1.2.2.1 インテグリティ・チェック

送信機の中間的な基本周波数 ( $f_0$ ) の既知の信号を測定系に入力して通常の測定と同様に周波数掃引 (§1.1.3) を行ない、測定用受信機で測定された値が予期される信号の  $\pm 3$  dB の範囲内にあることを確認する (図 1)。

さらに、試験周波数範囲の両端で同様の確認を行なう。

#### 1.2.2.2 測定

1. 送信機は所望の周波数に同調させて適切な変調をかける。

増幅器は、機器の仕様で示された適切な周波数、電力レベル、変調の入力信号を印加する。

これらのパラメータに幅がある場合、エミッションが最悪となるように選択する。

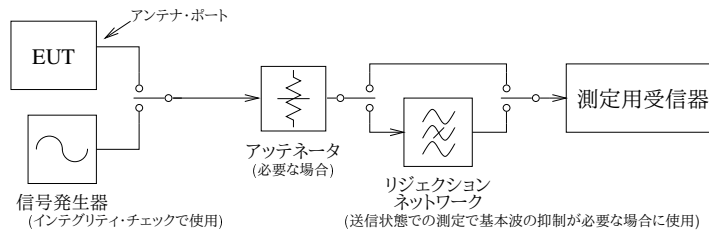


図 1: CE106 — 試験構成の例

2. EUT のアンテナ・ポートに適切なアッテネータを介して測定用受信機を接続する (図 1)。

この測定は送信状態で行なうが、送信出力は測定用受信機に直接入れるには大き過ぎるものとなることも多く、そのような場合はその出力に応じた減衰率と電力定格のアッテネータが必要となる。

あるいは、必要な周波数範囲をカバーする適度な結合率のカプラ (方向性結合器など) を通して送信電力の一部を取り出して測定用受信機に入力することもできる。

3. EUT の動作周波数  $f_0$  の近傍で指示が最大となるようにして電力レベルと測定帯域幅を記録する。
4. 必要に応じて、リジエクシオン・ネットワークの挿入<sup>†4</sup>、またアッテネータの変更を行なう (図 1)。

リジエクシオン・ネットワーク、例えば送信周波数帯の信号を大きく減衰させるバンド・リジエクシオン・フィルタは、送信機からの基本波が入力された状態では高調波やその他のスプリアスの測定を行なうことが難しい場合<sup>†5</sup>に必要となる。勿論、このフィルタは高調波やその他のスプリアスの測定を妨げないものでなければならない。

リジエクシオン・ネットワークで送信周波数帯の信号が十分に減衰していれば、残りの信号は外付けのアッテネータなしで測定用受信機を接続できる程度のものとなるかも知れない。だが、

<sup>†4</sup> フィルタが調整可能な場合、所定の周波数を除去できるように調整する。フィルタを含めた測定系の損失はこの先のステップで求めるので、このフィルタの損失はあらかじめ測定されていなくても良い。

<sup>†5</sup> スペクトラム・アナライザ自身のスプリアスは  $-60$  dBc 以下程度のものかも知れず、基本波がある状態で  $-80$  dBc 以下となるかも知れないスプリアスを測定することは困難かも知れない。

リジエクシオン・ネットワークは阻止帯域で著しく不整合となることが多く、これは送信機からの出力の大部分を反射させて問題を引き起こし得るので、その場合もリジエクシオン・ネットワークの前に適切な減衰量のアッテネータ (例えば  $6$  dB のアッテネータで SWR を  $1.2$  以下に下げられる) を入れて反射を抑えることが必要となるかも知れない。

5. 必要な周波数範囲を掃引して測定を行ない (§1.1.3)、高調波やその他のスプリアスのエミッション全てのレベルを記録する。

測定帯域幅は動作周波数  $f_0$  での電力レベルの測定の際と同一とする。

6. 測定された高調波やその他のスプリアスが EUT からのものであり測定系の応答によるものではないことを確認する。<sup>†6</sup>
7. 他の同調周波数で同様の測定を繰り返す。
8. 他の接続をそのままとして EUT の代わりに信号発生器を接続し、測定されたそれぞれの周波数で既知の信号を入力して測定系の損失を求める (図 1)。

### 1.2.2.3 データの提示

提示するデータには以下の情報を含める:

- それぞれの同調周波数に対する振幅の連続かつ自動的なプロット;
- データのプロットは、周波数分解能は少なくとも  $1\%$  か測定用受信機の帯域幅の  $2$  倍、振幅分解能は少なくとも  $1$  dB とする;

<sup>†6</sup> 測定用受信機自身も入力信号の高調波やその他のスプリアスを発生する。通常、それらが測定系の側で発生したものでないかどうかは、測定系の入力にアッテネータを入れた時にアッテネータの減衰量だけこれらの信号の強度が下がるかどうかから判断できる。

- $f_0$  と測定された全ての高調波やスプリアスの周波数、基本波と全ての高調波やスプリアスの電力レベル、基本波からの dB での差分、そしてケーブル・ロス、アッテネータ、リジエクション・ネットワークの損失を含む補正係数の表。

### 1.2.3 受信機、待機状態の送信機や増幅器

#### 1.2.3.1 インテグリティ・チェック

試験周波数範囲の中間の周波数で限度よりも 6 dB 低い既知の信号を測定系に入力して通常の測定と同様に周波数掃引 (§1.1.3) を行ない、測定用受信機で測定された値がその  $\pm 3$  dB の範囲内にあることを確認する (図 1)。

さらに、試験周波数範囲の両端で同様の確認を行なう。

#### 1.2.3.2 測定

1. EUT のアンテナ・ポートに測定用受信機を接続する (図 1)。<sup>†7</sup>
2. EUT を所望の周波数に同調させる。
3. 必要な周波数範囲を掃引して測定を行なう (§1.1.3)。
4. 他の同調周波数で同様の測定を繰り返す。

#### 1.2.3.3 データの提示

提示するデータには以下の情報を含める:

- それぞれの同調周波数に対する振幅の連続的かつ自動的なプロット;
- プロットには該当する限度も示す;
- データのプロットは、周波数分解能は少なくとも 1 % か測定用受信機の帯域幅の 2 倍、振幅分解能は少なくとも 1 dB とする;
- インテグリティ・チェック (§1.2.3.1) と測定 (§1.2.3.2) の双方についてのプロットを示す。

<sup>†7</sup> この状態で EUT を送信状態とすると送信出力がそのまま測定用受信機に入ってフロントエンドを焼損させる危険があるので、誤って送信状態としないように注意すべきである。また、追加の保護として信号経路上に高周波ヒューズを入れておくことで万一の場合の測定用受信機の損傷のリスクを下げられるかも知れない。

## 1.3 RE103 (放射エミッション、アンテナ、スプリアス及び高調波出力)

RE103 は送信状態の送信機のアンテナからの帯域外の放射を評価するもので、送信機をアンテナと組み合わせて試験するために CE106 (§1.2) の代わりに用いることができる。

この測定は、§1.1.1 で述べた周波数範囲について行なう。

### 1.3.1 限度

限度は ERP (実効放射電力) で規定されており、その値は CE106 (§1.2) の限度と同様である:

- 海軍の船舶向け:
  - 除外帯域 (§1.1.2): 限度なし
  - 2 次と 3 次の高調波:  $-20$  dBm
  - その他:  $-40$  dBm (そのエミッションのデューティ・サイクルが 0.2 % 未満の場合は  $0$  dBm)
- その他:
  - 除外帯域 (§1.1.2): 限度なし
  - 2 次と 3 次の高調波:  $-20$  dBm、あるいは基本波  $-80$  dB のいずれか高い方
  - その他: 基本波  $-80$  dB

### 1.3.2 インテグリティ・チェック

送信機の中間的な基本周波数 ( $f_0$ ) の既知の信号を測定系に入力して通常の測定と同様に周波数掃引 (§1.1.3) を行ない、測定用受信機で測定された値が予期される信号の  $\pm 3$  dB の範囲内にあることを確認する (図 2)。

さらに、試験周波数範囲内の他の 2 つの周波数で同様の確認を行なう。

### 1.3.3 測定

1. 送信周波数での測定を遠方界で行なうため、 $D$  を送信アンテナの最大寸法、 $d$  を受信アンテナの最大寸法、 $\lambda$  を送信周波数の波長として、測定は以下の距離以遠で行なう (図 2):

- $f \leq 1.24$  GHz
    - $2D^2/\lambda$  と  $3\lambda$  の大きい方
  - $f > 1.24$  GHz
    - $2.5D < d$  の場合、 $2D^2/\lambda$
    - $2.5D \geq d$  の場合、 $(D+d)^2/\lambda$
2. 可能な場合は送信機の出力にパワー・モニタを挿入して送信機出力を測定し、dBW に変換し、送信アンテナのゲインを加えて ERP を求める。
  3. 受信アンテナから必要に応じて適切なアッテネータを介して測定用受信機に接続する。
  4. 測定用受信器を送信周波数に合わせて読みが最大となるようにし、さらに必要に応じて双方のアンテナの方位角や仰角を調整して読みを最大にし、測定用受信機の最大の読みとその帯域幅を記録する。
  5.  $V$  (dB $\mu$ V) を測定用受信機の読み、 $R$  (m) を送信アンテナと受信アンテナのあいだの距離、 $AF$  (dB(1/m)) を受信アンテナのアンテナ係数として、

$$ERP = V + 20 \log R + AF - 135$$

として送信機の ERP (dBW) を求める。

これは 2 で求めた ERP と  $\pm 3$  dB の範囲で一致すべきである。

6. 必要に応じて、測定系へのリジェクション・ネットワークの挿入、またアッテネータの変更や取り外しを行なう。
7. 必要な周波数範囲を掃引して測定を行ない (§1.1.3)、高調波やその他のスプリアスのエミッション全てのレベルを記録する。  
最大のレベルを記録するためにそれぞれの周波数でアンテナの方位角や仰角を変える必要があるかも知れない。
8. それぞれの高調波やその他のスプリアスの ERP を求める。
9. 他の同調周波数で同様の測定を繰り返す。

### 1.3.4 データの提示

提示するデータには以下の情報を含める:

- $f_0$  と測定された全ての高調波やスプリアスの周波数、基本波の測定された電力モニタ・レベルと計算された ERP、全ての高調波やスプリアスの ERP、基本波からの dB での差分、そしてケーブル・ロス、アッテネータ、増幅器のゲイン、リジェクション・ネットワークの損失、アンテナのゲインを含む補正係数の表を示す。

## 2 サセプティビリティ

### 2.1 共通事項

#### 2.1.1 試験方法

CS103~CS105 では受信機のアンテナ・ポートから入る不要信号に対するサセプティビリティの評価について述べられている:

- CS103 (§2.2) — 相互変調
- CS104 (§2.3) — 不要信号の排除
- CS105 (§2.4) — 混変調

だが、評価の対象となる受信機が多様であるため、これらの試験については具体的な試験方法も限度も定められておらず、これらは事前に個別に決定することが必要となる。

#### 2.1.1.1 不要信号の受信機への影響の評価

伝統的には、不要信号の受信機への影響の程度は、SINAD<sup>†8</sup>や S/N 比<sup>†9</sup>、あるいは雑音の抑圧量<sup>†10</sup>で評価されることがあり、受信機によっては CS103~CS105 の評価でも同様の方法を適用できるかも知れない。

どのような方法での評価が適切か、またどの程度までの影響が許容されるかはそれぞれの無線受信機に依存するので、その評価の方法や判断の基準を事前に決定し、文書化しておくことが必要となる。

<sup>†8</sup> SINAD (signal-to-noise and distortion ratio) は、信号  $S$ 、雑音  $N$ 、歪み  $D$  として  $(S+N+D)/(N+D)$ 。

<sup>†9</sup> SNR (signal to noise ratio) とも呼ばれる。

<sup>†10</sup> 受信機に信号を加えた時に受信機の出力の雑音が抑圧される現象を利用するもので、NQ (noise quieting) 法と呼ばれる。

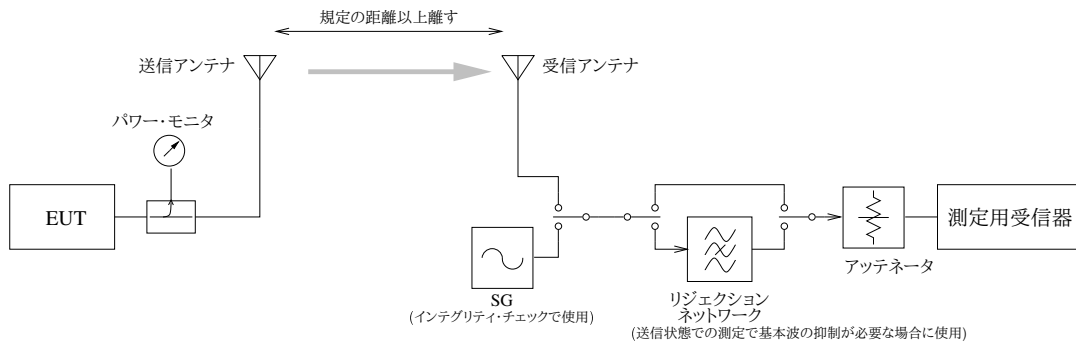


図 2: RE103 — 試験構成の例

### 2.1.1.2 不要信号のレベル

この規格ではこれらの試験で印加すべき不要信号のレベルも規定されておらず、これもそれぞれの試験に先立って決定することが必要となる。

一般には、この不要信号のレベルは、

- 電磁環境と受信アンテナの特性の分析 (実際の使用環境でどの程度のレベルの不要信号が入ることが予想されるか)、あるいは
- その特定のタイプの受信機の設計に関する技術水準 (そのタイプの受信機ではどの程度のレベルの不要信号に耐えるものが実際的に実現可能か)

を考慮して決定できるだろう。

### 2.1.2 信号の確認

信号発生器 (SG) の出力に含まれる高調波やその他のスプリアス<sup>†11</sup>が受信機の通過帯域内に入って受信機への影響を直接引き起こし、誤った判断をもたらす可能性があるため、SG からの高調波やその他のスプリアスのレベルを十分に低く抑える (必要な場合、SG の出力をフィルタに通して問題となる成分を抑制するなどの対応を行なう) ようにするとともに、測定用受信機 (スペクトラム・アナライザ) でそれを確認すべきである。

<sup>†11</sup> 信号の純度は信号発生器に依存し、信号発生器によっては基本波の  $-30$  dBc 程度以上の高調波が出力されるかも知れない。

## 2.2 CS103 (伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、相互変調)

増幅器などの非線形性を持つ回路<sup>†12</sup>に複数の周波数の信号 ( $f_i$ ) が入ると、その出力にはそれらの周波数 ( $f_i$ ) とその高調波 ( $2f_i, 3f_i, \dots$ ) に加えて、その相互変調積、すなわちそれらの周波数の和と差 ( $mf_i \pm nf_j$ 、例えば  $f_2 \pm f_1, 2f_1 \pm f_2, 2f_2 \pm f_1, \dots$ ) の成分が現れる (図 3)。

これは複数の不要信号が受信機に入った時にも生じ、このような相互変調によって受信機の通過帯域内の不要信号が発生した場合、その不要信号はアンテナから通過帯域内の不要信号が入った場合と同様に受信機に影響を与える。

例えば、チャンネルが等間隔で割り振られている場合、その受信機が受信しているチャンネルの周波数を  $f_0$ 、チャンネル間隔を  $\Delta f$  とし、 $f_1 = f_0 \pm \Delta f$ 、 $f_2 = f_0 \pm 2\Delta f$ 、 $2f_1 - f_2 = f_0$  より、その受信機が受信しているチャンネルの上側や下側の 2 つのチャンネル上の信号 (また、その関係を持つ他の周波数の組み合わせ) からの相互変調積がその他の様々な周波数成分とともにその受信機が受信しているチャンネル ( $f_0$ ) 上に不要信号を発生させ得ることがわかる (図 4)。

図 4 では  $f_1$  と  $f_2$  の双方を無変調で示したが、いずれかが変調されている場合、それらの相互変調積も変調されたものとなる。

図 3 で示したように、より離れた周波数の不要信号も受信周波数の成分を発生させ得る (例えば受信周波数が  $1$  MHz の場合の  $f_1 = 100$  MHz と  $f_2 = 101$  MHz の  $f_2 - f_1$  のように) が、そのような周波

<sup>†12</sup> 通常の増幅器は線形となるように意図されているが、ある程度の非線形性を持ち、これは信号の振幅が大きくなって飽和に近づくとさらに著しくなる。

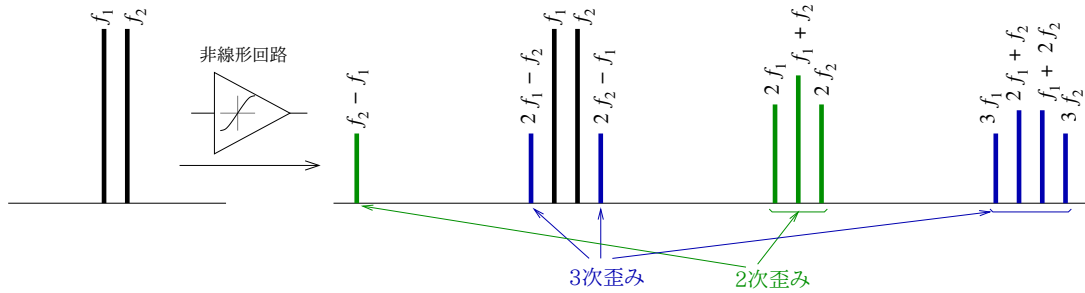


図 3: 高調波と相互変調積 (3 次まで)

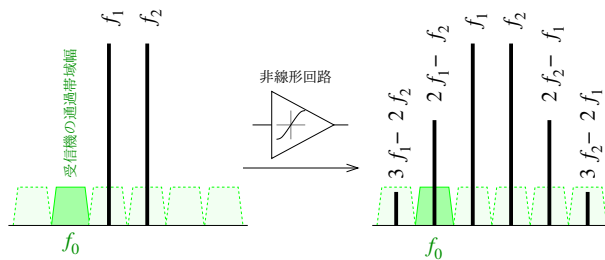


図 4: CS103 — 隣接チャンネル上の搬送波の相互変調積

数が大きく離れた不要信号はアンテナの同調特性や入力段の RF フィルタ (プリセレクタ) で比較的容易に低減できることなどもあり、受信周波数に近い周波数の不要信号の方が問題となりやすい。

CS103 はこのような相互変調の影響の評価を意図したもので、受信機のアンテナ入力ポートから所定のレベルの複数の不要信号が入った時に受信機で生じる相互変調積が規定の範囲を超えないことを確認する。

### 2.2.1 試験方法の例

基本的な試験構成の例は 図5 のようなもので、一方の SG は無変調、もう一方の SG は通常は受信機が想定しているものと同様の変調をかけ、その信号をコンバイナで合成したものを EUT のアンテナ入力ポートに印加する。SG 1 と SG 2 は、それらの信号の相互変調積が受信機の通過帯域内に入るように、例えば  $f_0 = 2f_1 - f_2$  の関係を保ちながら、受信機の通過帯域幅を除いた周波数範囲で周波数掃引を行なう。

受信機が帯域内の信号を必要とする場合、SG とコンバイナを追加し、その信号と 2 つの不要信号を合成したものを EUT に入力する。

いずれかの不要信号の周波数が受信機の通過帯域に近い状態での試験では特に、相互変調の影響では

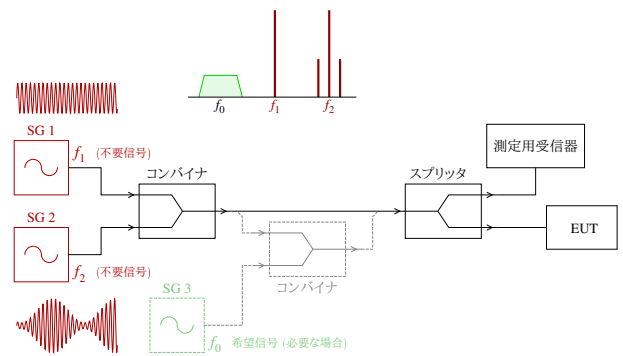


図 5: CS103 — 試験構成の例

なく単に受信機での通過帯域外の信号の排除が不十分であるために不要信号が直接受信機に影響を与える可能性もあるが、この試験ではそのような相互変調が関係しない影響の評価は意図されていない。

従って、この試験で受信機に影響が現れた場合、例えば SG 1 と SG 2 を片方ずつ切ることによってそれが相互変調の影響なのかどうかを確認すべきである。

### 2.3 CS104 (伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、不要信号の排除)

受信機は通過帯域外の不要信号を排除するように設計されるが、その排除の能力は完全ではなく、そのような不要信号が受信機の動作に影響を及ぼすことがある。

CS104 はこの評価を意図したもので、受信機のアンテナ入力ポートから所定のレベルの不要信号が入った時の受信機への影響が規定の範囲を超えないことを確認する。

#### 2.3.1 試験方法の例

基本的な試験構成の例は 図6 や図7 のようなもので、EUT のアンテナ入力ポートに受信機の通過



帯域を除いた周波数範囲の不要信号を印加し、受信機への影響を評価する。

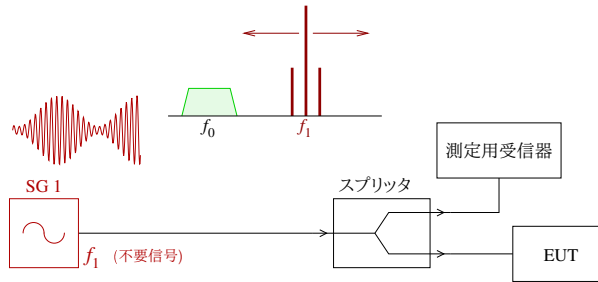


図 6: CS104 — 試験構成の例 (1)

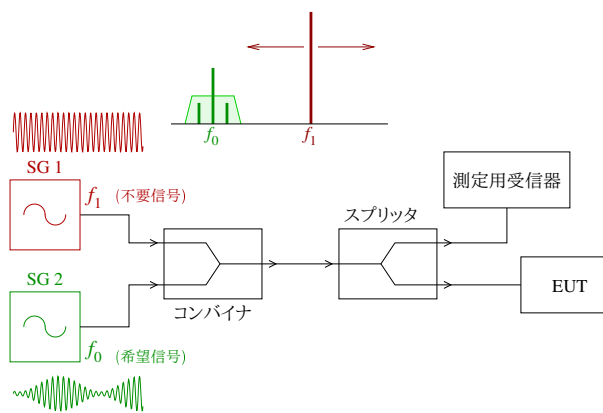


図 7: CS104 — 試験構成の例 (2)

受信機の通過帯域の近傍では不要信号を排除する能力は低下する (図 8) ため、この試験を適用する周波数範囲をそれを考慮して決定することが、あるいは試験で印加すべき不要信号のレベルを通過帯域の近傍で低くするような形で規定することが必要となるかも知れない。

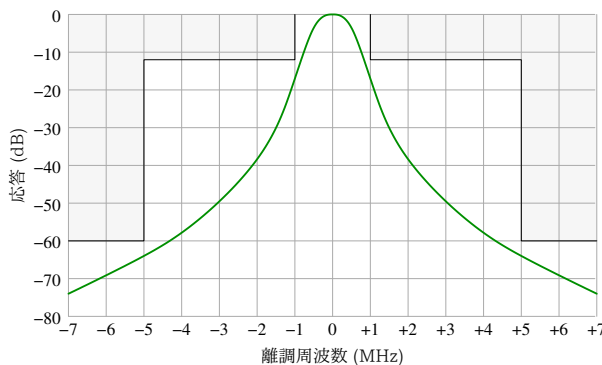
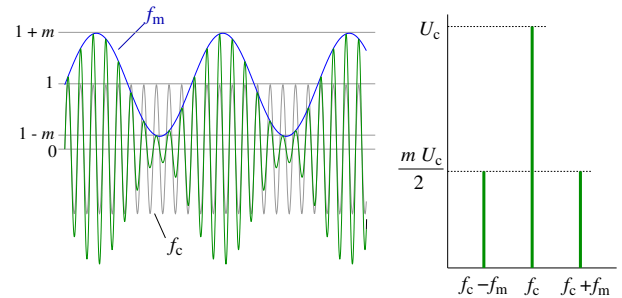


図 8: 受信機と同調周波数近傍の応答のイメージ

## 2.4 CS105 (伝導サセプティビリティ、アンテナ・ポート、混変調)

受信機の通過帯域の近くの不要信号の変調が通過帯域内の信号に変換されることによって引き起こされる影響の評価を意図したもので、通常は振幅変調された RF 信号を処理する受信機だけに適用される。

例えば、搬送波  $f_c$  が変調周波数  $f_m$  で振幅変調されたものは  $f_c$  と  $f_c \pm f_m$  の成分を含む (図 9)。



$$\sin(2\pi f_c t) + \frac{m}{2} (\cos(2\pi(f_c - f_m)t) - \cos(2\pi(f_c + f_m)t))$$

図 9: 振幅変調

これらと通過帯域内の  $f_0$  の搬送波が増幅器などの非線形性を持つ回路に入ると、その出力には他の周波数成分とともに  $f_0 - f_c + (f_c \pm f_m) = f_0 \pm f_m$ 、すなわち  $f_0$  が  $f_m$  で振幅変調されたものが生じる (図 10)。これは受信機の通過帯域幅に入るためそのまま復調され、受信機の復調出力に本来の受信信号には存在しない  $f_m$  の出力を生じる。

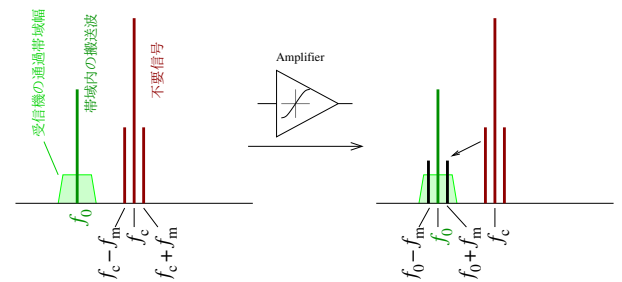


図 10: 振幅変調された不要信号からの混変調

CS105 はこの影響の評価を意図したもので、受信機のアンテナ入力ポートから所定のレベルの不要信号が入った時に受信機で生じる混変調が規定の範囲を超えないことを確認する。

### 2.4.1 試験方法の例

基本的な試験構成の例は 図 11 のようなものである。

SG 1 は通常は受信機が想定しているものと同様の変調をかけた不要信号を発生させるもので、受信機の通過帯域のやや外側で周波数掃引を行なう。

SG 2 は希望信号の発生のためのもので、受信周波数の適切なレベル (通常は受信感度付近) の無変調信号、あるいは受信機がそれを必要とする場合には変調信号を発生させる。

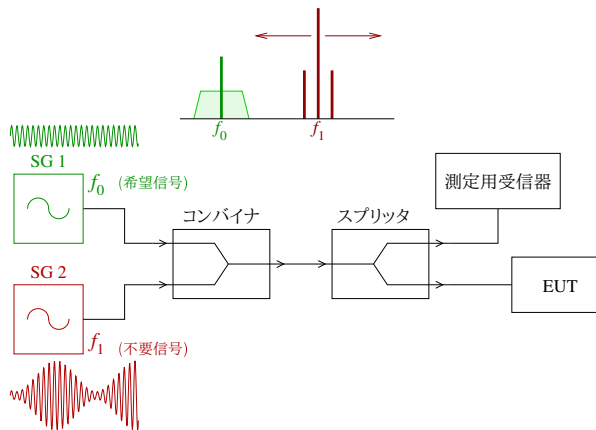


図 11: CS105 — 試験構成の例

## 3 参考: サセプティビリティの試験法の例

§2 で触れた MIL-STD-461G のサセプティビリティに関する記述は不特定の無線受信機を対象としており、具体的な試験方法は述べられていない。

以下では、参考のため、MIL-STD-461G とは全く無関係ではあるが、具体的な試験方法の例として、欧州規格である EN 300 676-1<sup>[2]</sup> で示されている AM の VHF 無線機の SINAD 法での評価、また「特性試験の試験方法を定める件」<sup>[3]</sup> に含まれている FM 受信機の NQ 法での評価の方法の概要を述べる。

### 3.1 相互変調特性 (SINAD 法)<sup>[2]</sup>

1. SG 1 を受信機の公称周波数 ( $f_0$ ) で標準試験信号 (1 kHz 30 % 振幅変調) を発生するように設定する (図 12)。

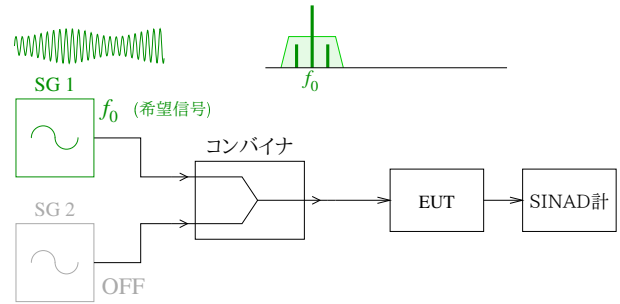


図 12: SINAD 法 — 希望信号の調整

2. SG 1 の出力を  $-53$  dBm に設定し、受信機の復調出力が定格の 50 % 程度となるように受信機のボリュームを調整する。
3. SG 1 の出力を受信機の復調出力の SINAD が 12 dB となるまで下げ、その出力を記録する。
4. 2 つの不要信号の発生のため、 $\Delta f$  を 100 kHz として、SG 1 を変調をそのままとして周波数を  $f_0 + 2\Delta f$  に変更し、また SG 2 を周波数  $f_0 + \Delta f$  の無変調の信号を発生するように設定する (図 13)。

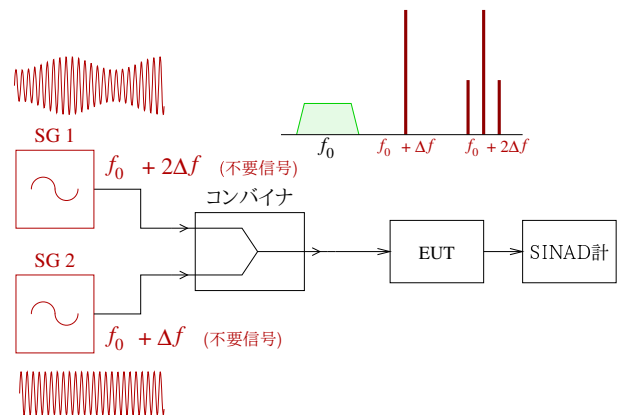


図 13: SINAD 法 — 相互変調除去比の測定

5. 2 つの SG の出力のレベルを同一に保ちながら、受信機の復調出力の SINAD が 12 dB となるまで出力を上げ、その出力を記録する。<sup>†13</sup>
6. この値の 3 で求めた値に対する比率が相互変調応答除去比である。
7. 公称周波数の反対側で同様の測定を行なう。

<sup>†13</sup> ここでは受信機に希望信号は入力されていないが、一方が変調された 2 つの不要信号の相互変調によって受信機の通過帯域内に変調された RF 信号が現われ、これは変調された希望信号と同様に受信機で復調されてトーンが出力され、そのトーンが強くなれば SINAD も上がる。

### 3.2 相互変調特性 (NQ 法)<sup>[3]</sup>

1. SG 1 を受信機の公称周波数 ( $f_0$ ) の 1 kHz 70 % 周波数変調された信号を発生するように設定する (図 14)。

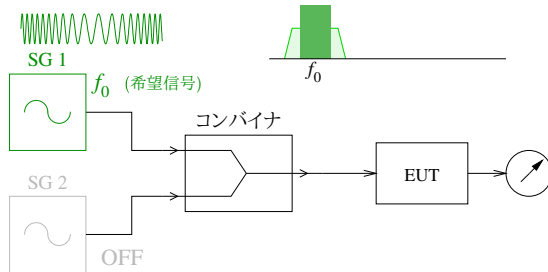


図 14: NQ 法 — 希望信号の調整

2. SG 1 の出力を 20 dB $\mu$ V 以上に設定し、受信機の復調出力が定格の 50 % 程度となるように受信機のボリュームを調整する。
3. SG 1 の出力を切り、受信機の復調出力の雑音レベルを測定する。
4. 2つの不要信号の発生のため、 $\Delta f$  を規定の周波数割当間隔として、SG 1 の周波数を  $f_0 + \Delta f$ 、SG 2 の周波数を  $f_0 + 2\Delta f$ 、いずれも無変調に設定する (図 15)。

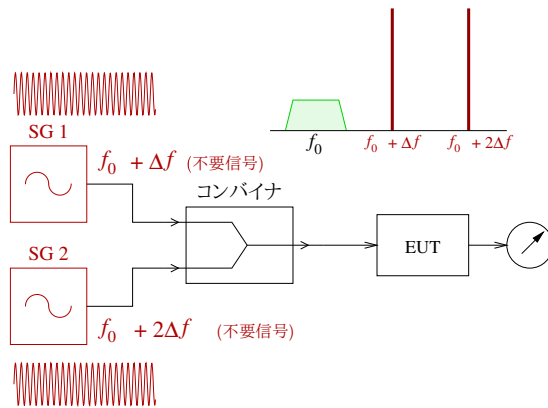


図 15: NQ 法 — 相互変調除去比の測定

5. 2つの SG の出力のレベルを同一に保ちながら、受信機の復調出力の雑音レベルが 3 で測定した無入力状態での値よりも 20 dB 下がるまで出力を上げ、その出力を記録する。<sup>†14</sup>
6. 公称周波数の反対側で同様の測定を行なう。

<sup>†14</sup> 2つの無変調の不要信号の相互変調によって受信機の通過帯域内の無変調の RF 信号が現われた場合、それは無変調の希望信号と同様に受信機の復調出力の雑音を抑圧する。

### 3.3 混変調特性 (SINAD 法)<sup>[2]</sup>

1. SG 1 を受信機の公称周波数 ( $f_0$ ) で標準試験信号 (1 kHz 30 % 振幅変調) を発生するように設定し、受信機の復調出力の SINAD が 30 dB となるように出力を調整する (図 12)。
2. 不要信号の発生のため、SG 2 を周波数  $f_0 + 1$  MHz の 400 Hz 30 % 振幅変調された信号を発生するように設定する (図 16)。

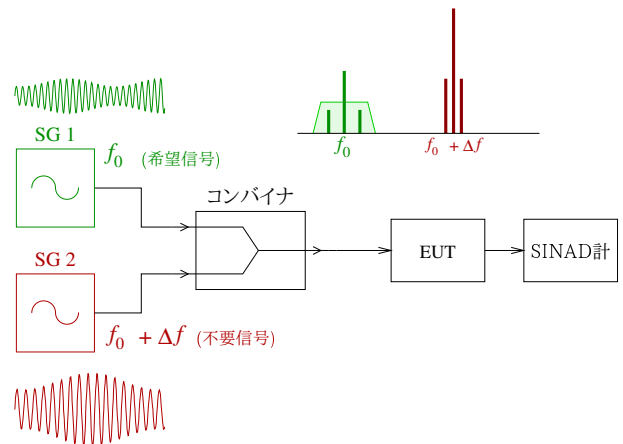


図 16: SINAD 法 — 混変調除去比の測定

3. 不要信号 (SG 2) のレベルを受信機の復調出力の SINAD が 20 dB に低下するまで上げる。<sup>†15</sup>
4. この不要信号のレベルの受信機の最大感度に対する比率が混変調除去比である。
5. 不要信号 (SG 2) の周波数を  $f_0 - 1$  MHz とし、同様の測定を行なう。

### 3.4 スプリアス応答特性 (SINAD 法)<sup>[2]</sup>

1. SG を受信機の公称周波数 ( $f_0$ ) で標準試験信号 (1 kHz 30 % 振幅変調) を発生するように設定し、受信機の復調出力の SINAD が 12 dB となるように出力を調整する (図 17)。
2. 試験信号のレベルを 80 dB 上げる。
3. 試験信号の周波数を受信機の通過帯域外で連続的に変化させ、スプリアス応答が見られる周波数を見付ける (図 18)。

<sup>†15</sup> 不要信号がない状態では受信機の復調出力には希望信号 (SG 1) の 1 kHz のトーン (また、若干の雑音) が出力されるが、不要信号 (SG 2) が入力されて混変調が生じると出力に 400 Hz のトーンが重畳し、混変調が強くなって 400 Hz のトーンのレベルが上がるのに応じて復調出力の SINAD は低下する。

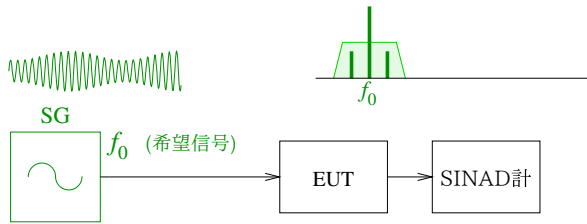


図 17: SINAD 法 — スプリアス応答除去比の測定 (信号レベルの設定)

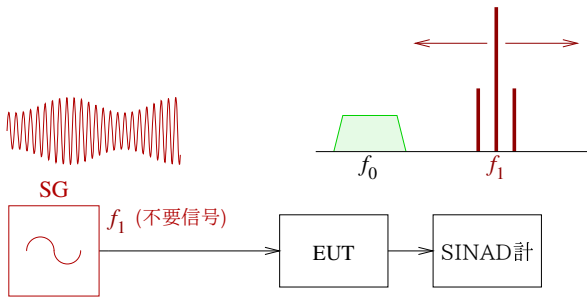


図 18: SINAD 法 — スプリアス応答除去比の測定

4. 試験信号をスプリアス応答が検出された周波数に合わせて受信機の復調出力の SINAD が 12 dB となるように信号レベルを調整し、そのレベルを記録する。<sup>†16</sup>
5. この値の 1 で求めた値に対する比率がスプリアス応答除去比である。

### 3.5 スプリアス応答特性 (NQ 法)<sup>[3]</sup>

1. SG を受信機の公称周波数 ( $f_0$ ) で 1 kHz 70 % 周波数変調を発生するように設定する (図 14)。
2. SG の出力を 20 dB $\mu$ V 以上に設定し、受信機の復調出力が定格の 50 % 程度となるように受信機のボリュームを調整する。
3. SG の出力を切り、受信機の復調出力の雑音レベルを測定する。
4. SG から受信機の公称周波数 ( $f_0$ ) の無変調の信号を印加して受信機の復調出力の雑音レベルが 3 で測定した値よりも 20 dB 下がるまで出力を上げ、その出力を記録する (図 19)。
5. SG の出力をスプリアス応答の許容値より 20 dB 程度大きい値として受信機の通過帯域

<sup>†16</sup> ここでは受信機に希望信号は入力されていないが、変調された不要信号に対するスプリアス応答によって受信機出力にトーンが現われるとその応答のレベルに応じて SINAD も上がる。

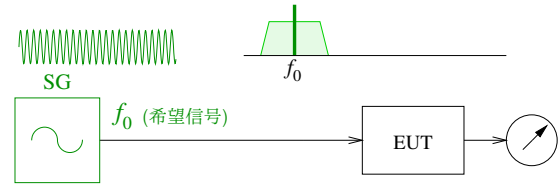


図 19: NQ 法 — 感度の測定

外で周波数掃引を行ない、スプリアス応答が見られる周波数を見付ける (図 20)。

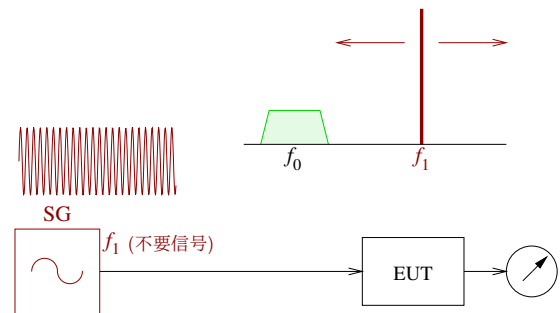


図 20: NQ 法 — スプリアス応答の測定

6. 試験信号をスプリアス応答が検出された周波数に合わせて受信機の復調出力の雑音レベルが 4 の時の雑音レベルと等しくなるように信号レベルを調整し、そのレベルを記録する。
7. その値と 4 で求めた値との差を求める。

## 4 参考資料

- [1] MIL-STD-461G, *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*, Department of Defense, 2015
- [2] ETSI EN 300 676-1 V1.5.2 (2011-03), *Ground-based VHF hand-held, mobile and fixed radio transmitters, receivers and transceivers for the VHF aeronautical mobile service using amplitude modulation; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement*
- [3] 特性試験の試験方法を定める件, 別表第十 証明規則第 2 条第 1 項第 1 号の 15 に掲げる無線設備の試験方法 (平成 16 年総務省告示第 88 号), 総務省, 2004,  
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/equ/tech/test/>

[4] 軍需機器の EMC — MIL-STD-461G の概要, 株式会社 e・オータマ 佐藤, 2020,

<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>

- Part 1: 主なエミッション要求 (CE101, CE102, RE101, RE102)
- Part 2: 主なサセプティビリティ要求 (CS101, CS109, CS114, CS115, CS116, CS118, RS101, RS103)
- Part 3: 雷誘導トランジェント、及び過渡電磁界へのサセプティビリティ (CS117, RS105)

[5] 無線機器測定法の実際, 中川永伸, 保田和之, 電気通信振興会, 2011, ISBN: 978-4807606337