

無線周波妨害波およびイミュニティ測定装置

第 5 編 30 MHz～1,000 MHz のアンテナ較正試験場

目 次

はじめに	1
1. 適用範囲	1
2. 引用規格	1
3. 定義	2
4. 周波数範囲 30MHz～1000MHz においてアンテナの較正に使用される試験場の仕様 および適合性確認手順	3
4. 1 序文	3
4. 2 アンテナ較正試験場(CALTS)の仕様	4
4. 3 試験アンテナの仕様	4
4. 4 アンテナ較正試験場の適合性確認手順	7
4. 5 アンテナ較正試験場の適合基準	1 3
4. 6 妥当性確認報告書	1 7
付則 A (情報) CALTS の要求事項	1 9
付則 B (情報) 試験アンテナについて	2 2
付則 C (情報) アンテナおよびサイトアッテネーション理論	2 8
付則 D (情報) 適合性確認手順のチェックリスト	3 9
図 1 試験アンテナの概略図	5
図 2 伸縮型線状エレメントの長さを L_{we} に調整する方法	5
図 3 $U_{r1}(f)$ および $U_{r2}(f)$ の決定	1 0
図 4 規定された位置における線状アンテナの $U_s(f)$ の決定	1 0
図 5 SA 適合性判断基準に用いる量の関係	1 6
図 B. 1 試験アンテナの例	2 3
図 B. 2 S_{11} 、 S_{21} の測定図	2 3
図 B. 3 挿入損失 $A_1(f)$ 測定法の概略図	2 6
図 B. 4 挿入損失 $A_2(f)$ 測定法の概略図	2 6
図 C. 1 SA 計算用の回路網モデル	3 0
図 C. 2 図 C.1 の回路網の等価回路	3 0
図 C. 3 反射面上のアンテナ及びそれらの鏡像アンテナ間の相互結合、給電端子電圧並びに アンテナ電流の定義	3 0

表 1	SA 測定を行うべき周波数および受信アンテナ固定高	9
表 2	d=10 m 測定に関する最大許容範囲	13
表 A.1	ダイポールアンテナの同調周波数、掃引周波数範囲および受信アンテナ高の組合せ ..	20
表 C.1	数値計算例、La、 SAc の計算	34
表 C.2	ΔSAt の数値計算例	35
表 C.3	hrc 及び Δhrt の数値計算例	36
表 C.4	fc 及び Δft の数値計算例	36
表 D.1	CALTS 妥当性確認報告書に記載すべき項目	39

はじめに

本編は、CISPR16-1-5（第1版2003-11）に準拠し、無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置並びに測定方法の規格 第1部－第5編 無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置 30 MHz～1,000MHzのアンテナ較正試験場の技術的条件および性能評価法について定めたものである。

本編は、4つの節および付則から構成される。付則A、B、C、およびDは、技術情報である。

1 適用範囲

本編は、アンテナ較正を実施するために使用する較正試験場、試験アンテナの特性、較正試験場の適合性確認手順、およびサイト適合性規準に関する要求事項を定めた基本規格である。較正試験場要求事項、試験アンテナ、およびアンテナとサイトアッテネーション理論に関する詳細情報を付則（情報）に記載する。

測定装置の仕様は、本規格第1編および第4編に記載されている。一般的な不確かさに関する詳細情報および背景は、CISPR 16-4-1に記載され、それは、アンテナの較正手順の不確かさ評価を確立するのに有用である。

2 引用規格

以下の引用規格は、本編の利用に不可欠なものである。年号が記された規格は、その版を適用すること。年号が記されていない規格は最新の版（あらゆる修正を含む）を適用すること。

CISPR 14-1:2000 電磁両立性 — 家庭用機器、電動工具および類似機器に対する要求事項 —

第1部：エミッション（放射）

本規格：無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置並びに測定方法の規格

第1部：無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置 第1編：測定用受信機

本規格：無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置並びに測定方法の規格

第1部：無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置 第4編：補助装置－放射妨害波

CISPR 16-4-1:2003 無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置並びに測定方法の規格

第4部－第1編 — 不確かさ、統計および許容値モデル－標準化されたEMC試験の不確かさ

CISPR 16-4-2:2003 無線周波妨害波およびイミュニティの測定装置並びに測定方法の規格

第4部－第2編 — 不確かさ、統計および許容値モデル－測定装置の不確かさ

JIS C 60050(161):1997 EMCに関するIEV用語

計量における基本および一般的な国際用語、ISO、ジュネーブ、第2版、1993

3 定義

本編に関する用語を以下のように定義する。あわせてIEC 60050(161)を参照すること。

3.1 較正試験場(CALTS)

金属大地面を持ち、厳密に規定された水平および垂直偏波のサイトアッテネーション特性を満足する野外試験場。

CALTSは、アンテナの自由空間アンテナ係数を決定するために用いられる。

CALTSのサイトアッテネーション測定値は、適合性確認用試験場の性能を評価するために、その試験場のサイトアッテネーション測定値との比較に用いられる。

3.2 適合性確認用試験場(COMTS)

適合性許容値との比較をするために使用される、供試装置からの妨害波電界強度の有効かつ再現性のある測定結果を保証する場所。

3.3 アンテナ

送信又は受信システムの一部であり、規定されたとおりに電磁波を放射又は受信するように設計されたもの。

注1 この規格においては、バランはアンテナの一部である。

注2 "線状アンテナ"の用語も参照。

3.4 バラン

平衡伝送線・装置から不平衡伝送線・装置へ、あるいはその逆に変換するための受動電気回路網

3.5 自由空間共振長ダイポール

一直線に並べた二個の同じ長さの導線、各導線は約1/4波長の長さ、を小さな間隙で分離し対称に配置した線状アンテナ。自由空間に設置されたダイポールの場合には、指定された周波数において線状アンテナ間隙で測定した入力インピーダンスの値は実数のみとなる。

注1 この規格においては、バランに接続されたこの線状アンテナを“試験アンテナ”と呼ぶ。

注2 この線状アンテナは、“同調ダイポール”とも呼ばれる。

3.6 サイトアッテネーション

試験場において規定された二か所間のサイトアッテネーションは、発生器出力および受信器入力を直接接続を、規定の位置に設置した送信および受信アンテナに置き換えた時の2端子対測定によって決定される挿入損失である。

3.7 試験アンテナ

自由空間共振長ダイポールと規定されたバランを組合せたもの。

注 この規格だけの定義である。

3.8 線状アンテナ

電磁波を放射又は受信するために設計された構造物で、一つ以上の金属の線又は棒で構成される。

注 線状アンテナはバランを含まない。

4 周波数範囲30 MHz～1000 MHzにおいてアンテナの較正に使用される試験場の仕様および適合性確認手順

周波数範囲30 MHzから1000 MHzにおいて無線周波妨害波電界強度測定を実施するための試験場の条件に関しては、本規格第1部—第4編（CISPR16-1-4）の5章に定められている。この試験場は、アンテナの較正には適さないことがある。周波数範囲30 MHz から 1000 MHzにおける、平坦な導電性金属面上で行うアンテナ較正に適した試験場の要求事項および適合性確認手順を本章で規定する。これらの厳密な要求事項を満たす試験場は、本規格第1部—第4編（CISPR16-1-4）の5.6節の適合性確認手順の代わりに用いる確認法（注：本規格第1部—第4編（CISPR16-1-4）の5.6節には未だ規定されていない）において、比較のための基準試験場として使用しても良い。

4.1 序文

アンテナ較正に適した試験場、ここではCALTSと呼んでいるものは、自由空間アンテナ係数を求めるためのアンテナ較正に適した場所を提供するものである。アンテナ較正は、水平偏波だけを使用し、金属大地上で行うのが最も容易である。CALTSの特性、計算可能な試験アンテナの特性、CALTSの検証(適合性確認)手順および判定基準を4.3節 から4.6節に示す。4.5節に示すCALTS適合性確認手順では、4.4節で規定する計算可能なダイポールアンテナの使用が必要であり、これによりサイトアッテネーションの理論的予測値と測定されたCALTS性能値との比較が可能になる。CALTS適合性確認報告書に記載すべき項目を4.7節にまとめる。4.6節に指定した適合性確認基準に合致するCALTSの指針を付則Aに示す。

本規格第1部—第4編（CISPR16-1-4）の第5章に従い、試験場の性能を確認するための基準試験場(REFSITE)としてCALTSを使うためには、幾つかの要求事項を追加する必要がある。4.7節に追加の特性および基準性能を指定する。本規格第1部—第4編（CISPR16-1-4）の第5章に定める試験場、即ち、放射妨害波許容値の適合確認に使用する試験場を、適合確認試験場(COMTS)と名付ける。COMTSの性能は、本規格第1部—第4編（CISPR16-1-4）の第5節に規定したサイトアッテネーションの理論値と測定値を比較することによって判定できる。なお、同じ測定配置および機器(アンテナ、ケーブル、信号発生器、測定用受信機など)を使用して、REFSITEおよび当該試験場のサイトアッテネーション測定値を比較することによって判定しても良い。

この規格の付則には、CALTSおよびCALTS適合性確認手順に用いられる計算可能な自由空間共振

ダイポール(同調ダイポール)の仕様(情報)を示す。さらに、理論的サイトアッテネーション計算式、数値例および適合性確認手順のチェックリストも示す。

4.2 アンテナ較正試験場(CALTS)の仕様

4.2.1 序文

CALTSは、次の主要部分で構成されている。

- 導電性の良い平坦な金属面(反射面)
- 反射面周囲に電磁的妨害物(訳注：反射物)がない環境

さらに、次の補助機器が必要である。

- CALTS適合性確認手順又はアンテナ較正手順に使用するアンテナを支えるマスト2本
- これらのアンテナの接続ケーブル
- 無線周波信号発生器および測定用受信機などの電子機器

CALTSに対する要求仕様を、4.2.2項に示す。また、適合性確認基準を一般に満たすCALTSの製作および設置に関するガイドとして、多数の情報を付則Aに示す。

4.2.2 要求仕様

アンテナの較正のためには、CALTSは、4.5.3項に示す適合性確認基準を満足しなければならない。すなわち

- a)固定されたアンテナ地上高でのサイトアッテネーション、および
- b)アンテナが較正されるべきすべての周波数における最大サイトアッテネーションを示すアンテナ地上高、又は最大サイトアッテネーションを示す周波数

注1 CALTS適合性確認手順において使用する機器は、要求仕様(4.3節および4.4節参照)を満足すること。

注2 CALTS適合性確認報告書(4.6節)には、CALTSが実際の使用中に要求事項に合致していることを示すため、要求事項への適合性をどのように維持しているのかに関し情報を記載することが望ましい。

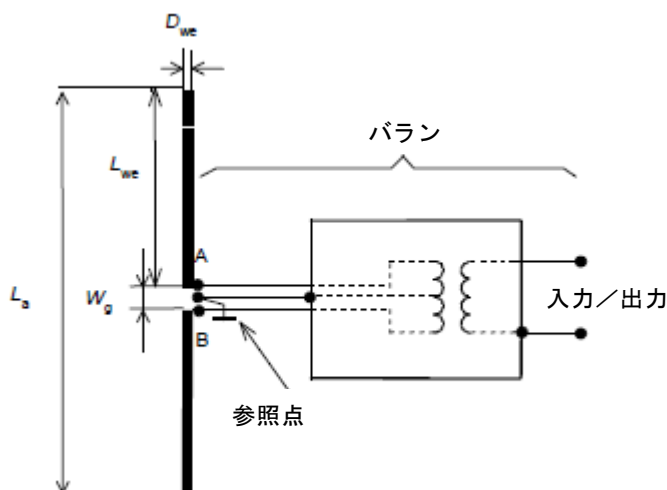
4.3 試験アンテナの仕様

4.3.1 序文

適合性確認手順に必要な理論的サイトアッテネーション S_{Ac} の計算を行うには、正確にモデル化できるアンテナが必要である。したがって、試験アンテナは、指定された特性を持つバルンに接続された自由空間共振ダイポールとする。この試験アンテナの要求仕様を4.3.2項に示す。また、試験アンテナの構造例を付則Bに示す。

試験アンテナは、バルンおよび直線配列の二本の線状導体エレメント(直径 D_{we} および長さ L_{we})で構成される。これらのエレメントは、バルンの2か所の給電端子(図1のAおよびB)に接続する。これらの給電端子間の隙間の幅を W_g とする。アンテナの先端と先端の長さを L_a とすれば、 $L_a = 2 L_{we} + W_g$ になる。試験アンテナの中心は、直線配列線状導体エレメント中心線上において給電端子間隙の中央である。

バランは、1個の不均衡入/出力(送/受信アンテナ)ポートおよび2つの給電端子AおよびBによって構成される1個の平衡ポートを有する。例として、バランの機能の概略を平衡/不平衡変成器を用いて図1に示す。



注 試験アンテナの中心は、2本の線状導体エレメント中心線上における間隙の中央である

図1 試験アンテナの概略図

4.3.2 要求仕様

4.3.2.1 試験アンテナは同一の長さ L_{we} の線状導体エレメントで構成され、エレメントはバランから取り外すことができること。これによって、バランの特性を確認でき、またサイトアッテネーション測定では、2本のアンテナのバランの平衡ポートを相互に接続できるようになる。

4.3.2.2 約半波長の線状アンテナの先端間の長さ $L_a(f, D_{we})$ は、自由空間における給電端子（訳注：端子AおよびB）の入力インピーダンスの虚数部の大きさが、指定周波数 f において 1Ω 未満になるように決定される。

注1 線状エレメントの直径が一定で、 $D_{we} \ll L_a$ ならば、 $L_a(f, D_{we})$ は、C.1.1項の式(C.2)によって計算できる。直径が一定でない場合、例えば、伸縮型ロッドアンテナの場合は、数値計算のみによって $L_a(f)$ を計算できる。C.2.2参照。

注2 伸縮型ロッドアンテナを用いたときは、直径の太い方のエレメントから順に伸ばし(図2参照)、ロッドアンテナ素子を同調することが望ましい。また、このようなアンテナの伸ばし方に対応して数値計算を行うこと。

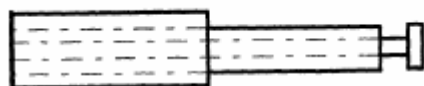


図2a 正しい



図2b 誤り

図2 伸縮型線状エレメントの長さを L_{we} に調整する方法

4.3.2.3 給電端子間隙は、 $Wg \leq 15 \text{ mm}$ 、又は $Wg \leq 0.03 \lambda_{\min}$ のいずれか小さい方とする。

ここで

$$\lambda_{\min} = c_0 / f_{\max}$$

f_{\max} は試験アンテナ使用時の最高試験周波数

c_0 は真空状態における電磁波の速度

4.3.2.4 実際の線状アンテナの先端間の長さ $L_a(f)$ が、そのアンテナの指定長 $L_a(f)$ の ΔL_a (表 2 参照) 以内であり、給電端子間隙が 4.3.2.3 項を満たしている時、その長さは適切とみなされる。

4.3.2.5 バランの平衡ポートは、次の項目を満足しなければならない

- 規定された最大 VSWR に対応するインピーダンス Z_{AB} (表 2 参照)。但し、不平衡ポートを外部回路(アンテナ給電ケーブル)によって、インピーダンス Z_e で終端した時。
- バラン基準点における振幅の平衡度は ΔA_b dB 以内であること (表 2 参照)。但し、両給電端子をバラン基準点に対してインピーダンス $Z_{AB}/2$ で終端した場合。
- 位相の平衡度は $180^\circ \pm \Delta \Phi_b$ であること (表 2 参照)。両給電端子をバラン基準点に対してインピーダンス $Z_{AB}/2$ で終端した場合。

注1 バランの 3 ポートのコネクタは、無線周波測定が行えるようなものであること。

注2 平衡ポートインピーダンス Z_{AB} は、図 1 の給電端子 A-B 間のインピーダンスである。このインピーダンスの望ましい値は $Z_{AB} = 100 \Omega$ (実部)。

注3 外部回路によって提供されるインピーダンス Z_e は通常 50Ω で、この値を推奨する。

注4 振幅および位相の平衡度に関する要求事項は、給電端子 A および B における信号がバラン基準点に関して同振幅・逆位相であることを保証するものである。平衡ポートがこの要求事項を満たしている場合、不平衡ポートがインピーダンス Z_e で終端された時、二つの給電端子間の分離度(isolation)は 26 dB を超える。

注5 バランは、できるだけ反射を最小にするために、線状アンテナと同一偏波にならないように向けることが望ましい。

注6 バランの構成部品は、それらの浮遊的な特性が周囲の影響を受けないように、電氣的に遮へいされていなければならない。バラン基準点および出力/入力ポートの接地端子は、その遮へい体に接続すること。

4.3.2.6 4.3.2.5 項で要求されているバランの特性は、S パラメータ測定、および一部は注入測定によって決定できる。

注1 4.4.4.2 項および 4.4.4.4 項に示す 2 つのバランの平衡ポートの直接的な相互接続は、ケーブルとケーブルの接続に置き換えてもよい。但し、バラン特性が S_{Ac} の計算値に包含されており、バランの全 S パラメータ、バランから見た信号発生器および測定用受信機のインピーダンスが分っていること。

4.3.2.7 CALTS 適合性確認手順において、試験アンテナおよび/又は試験機器に推奨値 100Ω および 50Ω と異なる Z_{AB} および/又は Z_e をそれぞれ用いるならば、その旨を適合性確認報告書(4.6 節)に明確に記載すべきである。

4.4 アンテナ較正試験場の適合性確認手順

4.4.1 序文

適合性確認手順において、サイトアッテネーション測定値 S_{Am} と理論的なサイトアッテネーション計算値 S_{Ac} を比較する。従って、この手順によって、CALTSがSAの計算において仮定した特性を十分に満足しているかどうかを検証する。すなわち、

- a) その面は完全に平坦で、無限に大きい
- b) その面の反射係数の絶対値は $r=1$
- c) その面における水平偏波の電磁波の入射波および反射波の位相差は、 $\Phi=\pi$ ラジアン
- d) 補助機器およびその面の周囲の反射物からの影響は無視できる

その特性の検証には、二通りの測定が要求される。

- 1) 固定アンテナ高を用いるSA測定を行い(4.4.4参照)、SAの測定値および計算値とを比較することによって、特性a)、b)およびd)を同時に検証する。
- 2) SA最大値を求めるために試験アンテナの一方の高さを走査し(4.4.5参照)、最大値を示す高さの測定値と計算値とを比較することによって、特性a)、c)およびd)を同時に検証する。

代替りの方法として、周波数掃引測定によっても(4.4.6参照)、後者の組み合わせの特性を同時に検証できる。

以下に示す物理量 $\pm \Delta X$ は、適合性確認において許容されるパラメータ値 X の最大偏差を表す。許容偏差の定量的データを表2にまとめて示す。

4.4.2 試験装置類

4.4.2.1 2本の試験アンテナの中心、それを支えるアンテナマストおよびアンテナ用同軸ケーブルは、反射面（金属大地面）に垂直な1平面内に設置し、かつ反射面の中央付近に置く。

注 試験アンテナの中心は、4.3.1項で定義されている。

4.4.2.2 (水平偏波のアンテナの)直線配列の線状エレメントは、反射面に対して常に平行に、かつ、4.4.2.1項に述べる(垂直)面に対して直角になるように設置する。

注 周波数範囲の低限、例えば30 MHz-40 MHzでは、比較的長い線状エレメントが垂れ下がるため、測定結果に影響する。この影響は、物理的に導線を引き上げるか、又は理論的なサイトアッテネーションの計算において考慮することで除くことが可能である(4.4.4.3項および4.5.3.1項参照)。

4.4.2.3 試験アンテナの中心間の水平距離は

$$d=10.00 \text{ m} \pm \Delta d \text{ m} \quad (\text{表 2 参照})$$

4.4.2.4 反射面上の送信アンテナの中心高は

$$h_t = 2.00 \text{ m} \pm \Delta h_t \text{ m}$$

4.4.2.5 反射面上の受信アンテナ中心は、表 1 および表 2 に指定されている高さ $h_r \pm \Delta h_r$ に設置できること。また4.4.5で要求しているとおり、高さ範囲 $1.0 \text{ m} \leq h \leq 4.0 \text{ m}$ にわたって、走査可能であること。

4.4.2.6 送信および受信アンテナのバランに接続する同軸ケーブルは、線状エレメントに直角に、かつ線状エレメントから、少なくとも1 mの距離まで反射面に平行に引き伸ばす。その後、ケーブルを反射面に垂れ下げ、(できれば)続けて反射面の下又はその面の上を線状エレメントに対して直角に、反射面の隅にいたるまで配線する。コモンモードの結合を避けるためには、バランに接続する同軸ケーブルにフェライト・コアを装荷することが推奨される。

注1 ケーブル表面に流れる誘導電流が伝達インピーダンスを介して測定結果に及ぼす影響を低減するために、その伝達インピーダンスは低くすべきである。

注2 ケーブルを反射面より下に降ろす場合、その面を貫通する際に、ケーブルシース（外被）は反射面に確実に接合(360° 周囲を)すべきである。

4.4.2.7 無線周波信号発生器および無線周波測定用受信機は、それらが反射面から20 m以内にある場合は、反射面を超える高さに設置してはならない。

4.4.2.8 無線周波信号発生器は、サイトアッテネーションの測定中、高い周波数安定度と出力レベル安定度を持たねばならない。 4.4.4.5も参照すること。

注 測定においては、十分な長時間安定度を保証するために、無線周波発生器および無線周波測定用受信機にはウォームアップ時間（それは、一般的に機器製造者によって示される）を確保することが必要である。

4.4.2.9 無線周波測定用受信機は、少なくともダイナミックレンジ50 dBにわたって直線性を持っていなければならない。受信機の直線性不確かさを ΔA_r で表す(4.5.2.2参照)。受信機の直線性不確かさの妥当な値は、0.2 dBである。

注 直線性ダイナミックレンジが50 dB未満の場合には、4.4.4.7項に記述されているように、較正された正確な減衰器による置換法を用いても良い。

4.4.3 試験周波数および受信アンテナ高

4.4.3.1 4.2.2項を遵守して、4.4.4項の適合性確認測定は、少なくとも表 1 に示す周波数で、それに対応する受信アンテナの固定高（反射面上のアンテナ中心の高さ） $h_r(m)$ において実施すること。

注1 規定の周波数以外の周波数におけるCALTS性能に関する情報は、A.2.2項に示す周波数掃引測定を用いることで得られる。

注2 アンテナが高いQ値の特性を有する場合、特に周波数300 MHzを超えるとときは、注意を払わなければならない。その場合、指定周波数付近および対応する地上高で、周波数掃引測定を実施すべきである。

4.4.3.2 4.4.4項に示す適合性確認測定に加え、4.4.5項に記載の三つの受信アンテナ高走査測定又は4.4.6項に示す三つの周波数掃引測定のいずれかを実施しなければならない。

- a)受信アンテナ高走査測定を選択する場合は、周波数 f_s : 300 MHz、600 MHzおよび900 MHzで、対応する周波数 f_s に同調させた試験アンテナを使って、測定を実施しなければならない。
- b)周波数掃引測定を選択する場合は、受信アンテナ高 h_{rs} および試験アンテナ同調周波数 f_s の組合せ $\{h_{rs}, f_s\}$: $\{2.65\text{m}, 300\text{MHz}\}$ 、 $\{1.30\text{m}, 600\text{MHz}\}$ および $\{1.70\text{m}, 900\text{MHz}\}$ で測定を実施しなければならない。

表 1 SA測定を行うべき周波数および受信アンテナ固定高
 $h_t=2\text{m}$ および $d=10\text{m}$ (4.4.2.3および4.4.2.4)の場合

周波数 MHz	hr m	周波数 MHz	hr m	周波数 MHz	hr m
30	4.00	90	4.00	300	1.50
35	4.00	100	4.00	400	1.20
40	4.00	120	4.00	500	2.30
45	4.00	140	2.00	600	2.00
50	4.00	160	2.00	700	1.70
60	4.00	180	2.00	800	1.50
70	4.00	200	2.00	900	1.30
80	4.00	250	1.50	1000	1.20

4.4.3.3 4.4.3.1項および4.4.3.2項に指定する周波数において、放送局から生ずるような狭帯域雑音が正確な測定を妨げる場合は、指定周波数にできる限り近い使用可能な試験周波数を選択しなければならない。

指定周波数からの周波数偏差に関する根拠を、適合性確認報告書に記録すること(4.6参照)。

4.4.3.4 送信アンテナに信号を供給する無線周波信号発生器の周波数は、表 1 又は4.4.3.2に指定されている試験周波数に Δf (表 2 参照)以内で合うように調節しなければならない。

4.4.4 サイトアッテネーション測定

この項では、指定の周波数におけるサイトアッテネーション測定値 S_{Am} を決定するための、三つの測定手順を説明する。対象とするサイトアッテネーションとは、送信アンテナ給電端子(図 3 中および図 4 中のAおよびB)および受信アンテナ給電端子(図 3 中および図 4 中のCおよびD)間のSA (サイトアッテネーション) のことである。

注 バランの全Sパラメータが得られており(4.3.2.6項を参照)、これを理論上のSAの計算に考慮することができるならば、二つのケーブル/バランのインターフェース間のSAも使用することが可能である。以下の説明では、後者の可能性について、それが可能な場合には、注に示す。

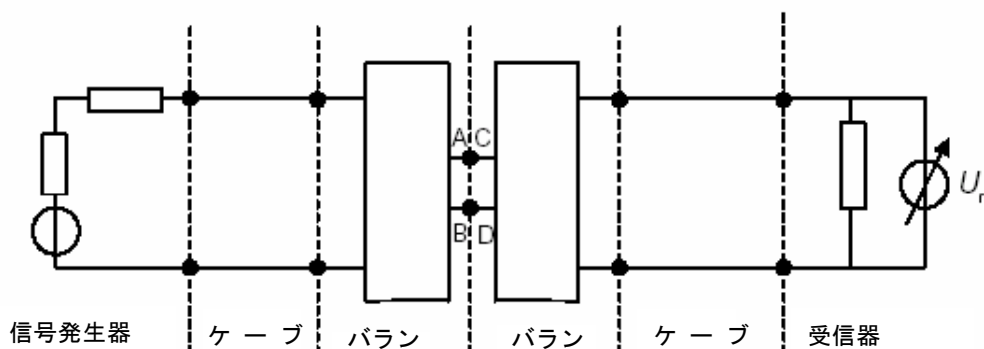


図3 $U_{r1}(f)$ および $U_{r2}(f)$ の決定

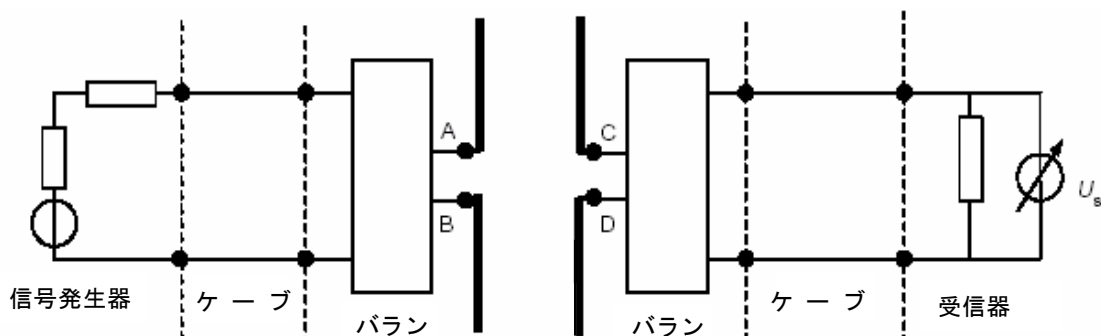


図4 規定された位置における線状アンテナの $U_s(f)$ の決定

4.4.4.1 測定1: 指定周波数 f で、基準電圧 $U_{r1}(f)$ を決定する。この電圧によって、無線周波信号発生器出力ポートから送信用線状アンテナ給電端子までの信号の減衰、および同様に、受信用線状アンテナ給電端子から受信機入力ポートまでの信号の減衰を評価することができる。

$U_{r1}(f)$ は、次のように決定される(図3参照)。試験アンテナの線状エレメントを、それらのバランから取り外し、二つのバランの平衡ポート同士を接続する(次の注4も参照)。接続は、できる限り短く、 $\lambda_{\min}/10$ 以下であることが望ましい。なお、 λ_{\min} は4.3.2.3項で定義した。

受信機の指示値が受信機の雑音レベルから少なくとも60 dB高くなるように、無線周波信号発生器のレベルを設定する(次の注2を参照)。この時の受信機指示値を $U_{r1}(f)$ として記録する。

注1 放射電磁界のレベルは、我国の許可された送信レベルを超えるべきではない。

注2 この項では、無線周波受信機は4.4.2.9項の規定に合致しているものとする。4.4.2.9項の注が適用される場合には、4.4.4.7の方法を用いるべきである。

注3 受信機の雑音レベルは、受信帯域幅を下げることによって、減らすことができる。しかし、無線周波発生器および受信機の周波数が自動同期していなければ、受信帯域幅を十分に広くし、無線周波信号発生器の周波数ドリフトが測定結果に影響を与えないようにすることが望ましい。

注4 4.4.4項に示す方法に従うならば、試験アンテナ全体をケーブルから外し、2本のアンテナケーブルを相互に接続して、 $U_{r1}(f)$ と4.4.4.4項の $U_{r2}(f)$ を決定する。

4.4.4.2 個々の周波数において、4.4.4.1項で用いた無線周波発生器の振幅設定は、4.4.4.3項および4.4.4.4項に関連する測定全般にわたって、一定にすること。

4.4.4.3 測定2 : 2つのバランを分離し、線状エレメントをそれぞれのバランに接続して規定の長さ $L_a(f)$ に調節する(図4参照)。これらの試験アンテナを4.4.2項および4.4.3項に指定されている位置に配置する。試験に必要なその他のすべての装置類(elements)は、4.4.4.1項と同じものであること。4.4.2.2項および4.4.4.5項の注も参照すること。

指定試験周波数 f について、指定位置のアンテナにおいて受信機の読みを $U_s(f)$ として記録する。

4.4.4.4 測定3 : 基準電圧の測定(4.4.4.1参照)を、同じ指定周波数で再度行う。測定値を $U_{r2}(f)$ として記録する。

4.4.4.5 対数表示の $U_{r1}(f)$ および $U_{r2}(f)$ が0.2dBを超えて異なる場合は、試験に用いる装置の安定性を改善し、前述の測定法1、2および3を繰り返し行わなければならない。

注 不安定性の原因の一つとして、特に直射日光の下では同軸ケーブル減衰量の温度依存性がある。

4.4.4.6 サイトアッテネーション測定値 $SAm(f)$ を、次の式で示す：

$$SAm(f) = 20 \log_{10} \{ U_{ra}(f) / U_s(f) \} \quad (\text{dB})$$

ここで $U_{ra}(f)$ は $U_{r1}(f)$ と $U_{r2}(f)$ の平均値である。

注 30 MHz、35 MHzおよび40 MHzの低周波数において、両試験アンテナの線状エレメントのたるみ避ける方法を講じない場合には、サイトアッテネーション測定値 SAm に対する補正が必要かもしれない(4.5.3.1項参照)。

4.4.4.7 無線周波受信機のダイナミックレンジが4.4.2.9項を満足しないときは、バランの全Sパラメータが利用可能で、それらをSAの理論値の計算に含むことができるならば、次の置換測定法を使用してもよい。

a) 4.4.4.3項に示す受信機読み $U_s(f)$ を測定し、記録する。

b) 試験アンテナを較正済みの精密減衰器と入れ替え、両アンテナケーブルを減衰器に接続する。a)で決定した $U_s(f)$ と同じ受信機の読みになるように、減衰器の挿入損失をレベル $A_{i1}(f)$ に調節する。 $A_{i1}(f)$ およびその測定不確かさ $\Delta A_{i1}(f)$ を記録する。

c) 4.4.2.8項に記述した試験装置類の安定性を立証するために、ステップa)の $U_s(f)$ とステップb)の $A_{i1}(f)$ の測定時間の和にほぼ等しい時間経過後に、ステップb)を繰り返して $A_{i2}(f)$ を測定する。もし、 $A_{i2}(f)$ が $A_{i1}(f)$ と0.2 dBを超えて異なる場合は、試験装置類の安定性を改善し、ステップa)、b)およびc)を繰り返さなければならない。

d)試験装置類が十分に安定していれば、次の式でサイトアッテネーション測定値が得られる。

$$SA_m(f) = 20 \log_{10} \{A_{ia}(f)\} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

ここで $A_{ia}(f)$ は、 $A_{i1}(f)$ と $A_{i2}(f)$ を真値で表した場合の平均値。

4.4.5 アンテナ高掃引測定

この項では、サイトアッテネーション測定値が鋭い最大値を示す受信アンテナ高 $h_{r,max}$ を決定するために必要な、アンテナ地上高掃引測定法の3回の測定手順を説明する(4.4.3.2 a)および4.5.3.2参照。なお、この鋭い最大値は、間接波、すなわち、反射面からの反射波によって、受信アンテナに到来する直接波が(ほぼすべて)打ち消されることに起因する。

4.4.5.1 4.4.3.2 項a)で指定される周波数 f_s において、4.4.2項に記載されている試験装置類を用いて、アンテナを高さ $h_r=1.0\text{m}$ からSAの最初の鋭い最大値が得られる高さ $h_{r,max}(f_s)$ まで上昇させる。なお、この最初の鋭い最大値は受信機の指示値の最初の鋭い最小値に対応する。

注 受信機指示値の最小値は重要ではない。この読みは、単に $h_{r,max}(f_s)$ を見つけるためのものである。

4.4.5.2 高さ $h_{r,max}(f_s)$ を測定し、その測定不確かさ $\Delta h_{r,max}(f_s)$ とともに記録する。

注 測定値 $h_{r,max}(f_s)$ は、必ずしも4.4.3.2項 b)に示す $h_{rs}(f_s)$ と等しくない。なぜなら、 $h_{r,max}(f_s)$ は実際の試験アンテナの特性にも依存するからである。

4.4.6 周波数掃引測定

この項では、周波数掃引測定法において、サイトアッテネーション測定値が鋭い最大値を示す周波数 f_{max} を決定するための必要な3回の測定手順を説明する。4.4.3.2項 b)および4.5.3.3項参照。なお、この鋭い最大値は、間接波、すなわち、反射面からの反射波によって、受信アンテナに到来する直接波が(ほぼすべて)打ち消されることに起因する。

4.4.6.1 4.4.3.2項 b)に指定されている試験アンテナの固定高 $h_{rs}(f_s)$ において、4.4.3.2項 b)に示す対応する周波数 f_s に同調させた試験アンテナを用いて、 f_s より十分に低い、例えば f_s より100 MHz低い周波数から、SAの鋭い最大値、すなわち、受信機指示値の最小値に対応する $f_{max}(h_{rs})$ 値まで、無線周波信号発生器の周波数を掃引する。

注 受信機指示値の最小値は重要ではない。この読みは、単に $f_{max}(h_{rs})$ を見つけるためのものである。

4.4.6.2 周波数 $f_{max}(h_{rs})$ を、その測定不確かさ $\Delta h_{r,max}(f_s)$ とともに記録する。

注 測定値 $f_{max}(h_{rs})$ は、必ずしも4.4.3.2項 a)に示す $f_s(h_{rs})$ と等しくない。なぜなら、 $f_{max}(h_{rs})$ は実際の試験アンテナの特性にも依存するからである。

4.5 アンテナ較正試験場の適合基準

4.5.1 序文

CALTSは以下の場合に、基準を満足しているものとみなせる。すなわち、CALTSを使用するアンテナ較正のすべての周波数で、サイトアッテネーション測定値(4.4.3.1)およびアンテナ地上高測定値又は周波数測定値(4.4.3.2)が、理論的計算値(4.5.3)から許容範囲内にある場合、基準を満足しているものとみなせる。この許容範囲には、各種測定データの不確かさの他に、測定配置の許容偏差も考慮されている。

4.5.2で説明しているとおり、不確かさの許容範囲は次の要素から構成される。すなわち、理論的なモデルから計算すべき値と、サイトアッテネーション測定における電圧測定、およびアンテナ高走査測定又は周波数掃引測定の不確かさに直接関連する値である。

4.5.2 許容範囲および測定の不確かさ

4.5.2.1 それぞれのパラメータの最大許容範囲を表2に示す。

表2 d=10 m 測定に関する最大許容範囲

パラメータ	最大許容範囲	項
La	$\pm 0.0025L_a$ 又は もし $L_a < 0.400(\text{m})$ ならば $\pm 0.001(\text{m})$	4.3.2.4
Z_{AB}	$VSWR \leq 1.10$	4.3.2.5 a
A_b	$\pm 0.4 \text{ dB}$	4.3.2.5 b
Φ_b	$\pm 2^\circ$	4.3.2.5 c
d	$\pm 0.04 \text{ m}$	4.4.2.3
h_t	$\pm 0.01 \text{ m}$	4.4.2.4
h_r	$\pm 0.01 \text{ m}$	4.4.2.5
f	$\pm 0.001f$	4.4.3.4
注 アンテナエレメントの半径に関する許容偏差 ΔD_{we} および2つのアンテナの軸合わせに関連する不確かさについては検討中である。		

4.5.2.2 4.4.4.6 項の式(1)で定義したサイトアッテネーションの測定値 SA_m における不確かさ ΔSA_m は、次の式で与えられる。

$$\Delta SA_m(\text{dB}) = \sqrt{\{\Delta SA_r(\text{dB})\}^2 + \{\Delta SA_t(\text{dB})\}^2} \quad (3)$$

ここで、 ΔSA_r としては、4.4.2.9 項の ΔA_r 又は 4.4.4.7 項の $\Delta A_i(f)$ のいずれか適用可能な値を用いる。 ΔSA_t は、上記パラメータの許容範囲(表2に示す最大値)内の変動に伴うサイトアッテネーションの不確かさである。 ΔSA_r および ΔSA_t としては、95 %信頼レベルの値を式(3)に代入すること。

注 ΔSA_t (95%)は、付則 C に示すモデルを使用して計算できる。

4.5.2.3 パラメータが表 2 の許容範囲内である場合、 $\Delta \text{SA}t$ (95 %) = 0.2 dB を 30 MHz ～ 1,000 MHz の全周波数に使用してもよい。その場合、 $\Delta \text{SA}t$ を計算する必要はなく、また CALTS 適合性確認報告書に計算結果を記す必要はない。

注 $\Delta \text{SA}t$ (95 %) = 0.2 dB の根拠を、C.1.3.2 項に示す。

4.5.2.4 4.4.5 項で定義されている受信アンテナ高の測定値 $h_{r,\max}$ における不確かさ Δh_m は、次の式で得られる。

$$\Delta h_m(m) = \sqrt{\{\Delta h_{r,\max}(m)\}^2 + \{\Delta h_{rt}(m)\}^2} \quad (4)$$

ここで、 $\Delta h_{r,\max}$ は、4.4.5.2 項で定義される。また、 Δh_{rt} は、パラメータの許容範囲(表 2 に示す最大値)内の変動に伴う測定値 $h_{r,\max}$ の不確かさである。

注 Δh_{rt} は、C.1.3.3 項に示すモデルを使用し計算することができる。

4.5.2.5 パラメータが表 2 の許容範囲内である場合、 Δh_{rt} (95 %) = 0.025 m を指定の 3 周波数に使用してもよい。その場合、 Δh_{rt} を計算する必要はなく、また CALTS 適合性確認報告書に計算結果を記す必要はない。

注 Δh_{rt} (95 %) = 0.025 m の根拠を、C.1.3.3 に示す。

4.5.2.6 4.4.6 項で定義されている周波数の測定値 f_{\max} における不確かさ Δf_m は、次の式で得られる。

$$\Delta f_m(\text{MHz}) = \sqrt{\{\Delta f_{\max}(\text{MHz})\}^2 + \{\Delta f_t(\text{MHz})\}^2} \quad (5)$$

ここで

Δf_{\max} は、4.4.6.2 項に定義されている。

Δf_t はパラメータの許容範囲(表 2 に示す最大値)内の変動に伴う測定値 f_{\max} の不確かさである。

注 Δf_t は、C.1.3.4 項に示すモデルで計算することができる。

4.5.2.7 パラメータが表 2 の許容範囲内である場合、 Δf_t (95 %) / $f_c = 0.015$ を指定された 3 つの受信アンテナ高に使用してもよい。その場合、 Δf_t を計算する必要はなく、また CALTS 適合性確認報告書に計算結果を記す必要はない。

注 Δf_t (95 %) / $f_c = 0.015$ の根拠を、C.1.3.4 項に示す。

4.5.3 適合性判断基準

この項では、計算に用いるパラメータ値は、測定における実際の値を使用すること。実際のパラメータ測定は十分に小さな不確かさで行い、そのパラメータ値が表 2 に示す最大許容偏差内にあることを確かめることができること。

例 アンテナ中心間の指定距離が、 $d = 10.00 \text{ m}$ (4.4.2.3)で、実際のSA測定中の距離が、 $d_a = 10.01 \text{ m}$ の場合、後者の値を計算に使用する。しかし、 $(d - d_a)$ は、常に 0.04 m (表 2 参照)未満でなければならない。但し、 d_a は $|d - d_a| < 0.04 \text{ m}$ が確かめられるような小さな不確かさで測定されていること。

4.5.3.1 アンテナ較正に用いるすべての周波数において、次の式が成り立てば、CALTSはサイトアッテネーションの適合性判断基準に合致している(図 5)。

$$|SA_c(dB) - SA_m(dB)| < T_{SA}(dB) - \Delta SA_m(dB) \quad (6)$$

ここで、

$SA_c(f)$ は、指定周波数におけるSAの理論値であり、付則Cに記載のとおり計算された値である。その際、4.3.2.6項を適用して得られた試験アンテナデータ（バランのロス）、および実際のアンテナパラメータ値 L_a 、 d 、 h_t 、 h_r を使う。

$SA_m(f)$ は、式(1)又は(2)から得られるSA測定値である(注も参照)。

$\Delta SA_m(f)$ は、4.5.2.2項から導出されたSA測定の不確かさ(95 %信頼レベル)である。

$T_{SA}(f)$ は、SAの許容範囲である。

CALTSの使用を指定するアンテナ較正規格に特に記載のない限り、30 MHzから1,000 MHzの周波数全体にわたって $T_{SA}(f) = 1.0 \text{ dB}$ とする。

少なくとも、表 1 に記載の周波数においてCALTSがSAの判断基準に合致していることを立証しなければならない。

注1 30MHz-40MHzの周波数では、線状アンテナの先端に大きなたるみが生じるため、 SA_m 値を修正する必要がある。

a)30MHzで、4.8m長のダイポールの先端は16cmまで垂れ下がることがある。その場合、 SA_m と SA_c を正しく比較するために、ダイポール高さが1 m、2 mおよび4 mに対して、 SA_m をそれぞれ0.27 dB、0.13 dBおよび0.08 dBだけ増加すること。

b)もし先端のたるみが20cm以上であれば、 $SA_m(f)$ の増加分を数値計算することが望ましい(C.2参照)。

注2 例

もし、 $\Delta SA_t(95\%) = 0.2 \text{ dB}$ (4.5.2.3の適用)および $\Delta SA_r(95\%) = 0.2 \text{ dB}$ ならば、 $\Delta SA_m(95\%) = 0.3 \text{ dB}$ となる。結果として、0.7 dBがサイトアッテネーションの計算値と測定値の最大許容偏差である。低い $\Delta SA_r(95\%)$ の受信機を使用すること、各種パラメータの誤差を減少させること、また $\Delta SA_t(95\%)$ の実際値を考慮することによって、最大許容偏差を増加できる。

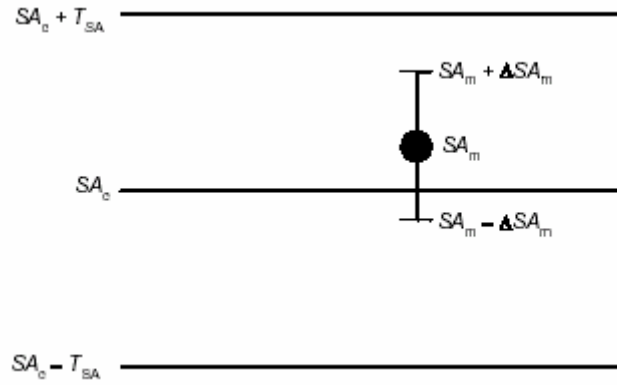


図5 SA適合性判断基準に用いる量の関係

4.5.3.2 4.4.3.2 a)に示す周波数 f_s において、SA最大値に対応する受信アンテナ高が下記の条件を満足するならば、CALTSは受信アンテナ高に関する判断基準に合致するものとする。

$$\left| h_{rc}(m) - h_{r,max}(m) \right| < T_{hr}(m) - \Delta h_{rm}(m) \quad (7)$$

ここで、

$h_{rc}(m)$ は、SAが最大値（信号伝送の最小）になる受信アンテナ高の理論値であり、付則Cによって計算できる。その際、4.3.2.7項を適用して得られた試験アンテナデータ（バランのロス）、および実際のアンテナパラメータ値 L_a 、 d 、 h_t と実周波数 f_s を使う。

$h_{r,max}(m)$ は、4.4.5項で述べた手順による受信アンテナ地上高の測定値である。

$\Delta h_{rm}(m)$ は、4.5.2.4項によって導出された受信アンテナ地上高測定の不確かさ(95%の信頼度)である。

$T_{hr}(m)$ は、 $h_{r,max}$ の許容範囲である。

CALTSの使用を指定するアンテナ較正規格に特に記載のない限り、 $T_{hr} = 0.05m$ が許容される範囲である。

注 4.5.3.2項か4.5.3.3項のいずれかを適用する。4.4.3.2項参照。

4.5.3.3 4.4.3.2 b) に示す周波数 f_s にアンテナ長を同調させ、受信アンテナを対応する高さ h_{rs} に設置した時、SAが最大値になる周波数が下記の条件を満足するならば、CALTSは周波数に関する判断基準に合致するものとする。

$$\left| f_c(MHz) - f_{max}(m) \right| < T_f - \Delta f_{rm}(MHz) \quad (8)$$

ここで

$f_c(MHz)$ は、SAが最大値（信号伝送の最小）になる理論上の周波数で、付則Cにより計算する。

この時、4.3.2.7項を適用して得られた試験アンテナデータ（バランのロス）、および実際のアンテナパラメータ値 L_a 、 d 、 h_t 、 h_{rs} を使う。

$f_{max}(MHz)$ は、4.4.6で述べた手順による測定周波数である。

$\Delta f_m(\text{MHz})$ は、4.5.2.6から導出された周波数測定の不確かさ(95 %信頼度)である。

T_f は、 f_{\max} の許容範囲である。

CALTSの使用を指定するアンテナ較正規格に特に記載のない限り、 $T_f = 0.03 f_c$ が許容される範囲である。

注 4.5.3.2項又は4.5.3.3項のいずれかを適用する。4.4.3.2参照。

4.6 適合性確認報告書

4.6.1 序文

この規格は、CALTSに関する要求事項、適合性確認手順および適合性基準を規定している。この適合性確認作業は、いわゆる"CALTS適合性確認報告書"を作成し、承認をもって完了とする。

この適合性確認報告書は、この規格に定められているCALTSの要求事項に合致していることを調べ、保証するための方法である。

CALTSの所有者か、他の関係者のいずれかが、CALTSの適合性を実証する責任がある。

CALTS適合性確認報告書は、4.6.2項に示す要求事項を満たさなければならない。

4.6.2 適合性確認報告書の要求事項

適合性確認報告書は多くの項目を扱い、それぞれは、CALTSの適合性確認に関するものである。各項目およびそれを報告書に含める理由を次に示す。記載すべき項目の一覧チェックリストを付則Dに示す。

a) 一般情報

CALTSの場所、責任ある所有者などの一般情報を記載しなければならない。

サイトの適合性確認を他の団体/機関によって実施する場合には、それらを記載しなければならない。

CALTSの構造を記載し、かつ、付属装置を図面、写真、部品番号などを使って記載しなければならない。

さらに、適合性確認実施の日付および適合性確認報告書の発行日を記載する。適合性確認報告書の作成責任者および承認者の氏名は、それらのサインも含めて表紙にわかるように記載しなければならない。

b) 有効期限および制約条件の評価

アンテナの較正前に、CALTSが適合していることを示さなければならない (4.2.2 a 参照)。

したがって、そのCALTSの予測される有効期限を提示することが重要である。CALTSは、恐らく室内か屋外設備のいずれかなので、CALTSの予測される有効期限は異なる。また、環境変化、ケーブルの経時変化又は吸収材の経時変化などの異なる要因によって影響される。CALTSの適合性確認の有効期限を評価および申告することは設備所有者の責任である。

この有効性の評価にあたっては、設備の使用過程で変化する項目、状況を明らかにしなければならない。

らない。例えば、屋外の施設では、環境、木々、雪、地面の含水率などである。一般的に、ケーブル、機器、アンテナおよびアンテナマストの性能安定性は重要なものである。また、環境条件、機器又は吸収体の経時変化、および機器の較正の有効性によりCALTSの有効期限を決定することができる。

CALTSの性能の有効性/類似性を日常的に評価するための簡単な測定手段又は目視検査法を含めてもよい。

環境又は構造について特別の条件又は制約がある場合は、それらを明記すること。

c)試験アンテナの記述および適合性確認

適合性確認報告書のこの項目は、アンテナの要求事項に対する適合性を示すものである。

試験アンテナ(エレメントおよびバラン)は、4.3.2項の仕様および表2の該当項目の値に合致しなければならない。

各々の仕様項目について、検査又は測定の何れかによって適合性を確認しなければならない。適合性の確認結果については、付録又は別紙資料(写真、測定結果、較正結果、供給元資料など)に記載しなければならない。

d)試験装置

適合性確認報告書のこの項目は、試験装置の有効性を示すものである。試験装置は、4.4.2の仕様および表2の該当項目の値に合致しなければならない。

各々の仕様項目について、検査又は測定の何れかによって適合性を確認しなければならない。適合性の確認結果については、付録又は別紙資料に記載すること。

e)適合性確認測定

サイトアッテネーションの適合性確認測定は、4.4.4項に示す手順および表1に示す試験周波数とアンテナ地上高に従って実施し、その結果を適合性確認報告書のこの項に記載すること。さらに、アンテナ地上高走査測定(4.4.5項)又は周波数掃引測定(4.4.6項)の何れかの結果を、この項に記載すること。

f)サイトアッテネーションおよび許容範囲の計算

適合性確認報告書のこの項目には、アンテナの長さを、付則Cの手順か、又は別の数値計算法によって計算したかを明示すること。サイトアッテネーションの計算および測定の不確かさの計算結果については、表2の許容偏差の場合、規定された値又は計算値を用いて示すこと。

g)適合性判断基準の計算

適合性確認報告書のこの項において、SAの計算値と測定値の結果、また、それに対応する許容範囲と不確かさを式(6)を代入して、周波数ごとに適合性を判断すること。同様に、アンテナ高の基準(式(7))、又は周波数の基準(式(8))のいずれかについて適合性を判断すること。

h)適合性の最終判定

すべての周波数でサイトアッテネーションの測定値が式(6)を満足し、さらにアンテナ高走査又は周波数掃引の何れかの判断基準を満足していれば、b)の有効期限、記載の制約条件および構造条件の下で、当該のCALTSは要求事項に適合していることを宣言することができる。

付則 A
(情報)

CALTSの要求事項

A.1 序文

仕様は、一般的に、CALTSが屋外試験場(OATS)であることを想定している。但し、CALTSが必ずしもOATSであることを要求するものではない。したがって、すべての仕様を満足するならば、CALTSは全天候性のものや大きな岩塩抗の中などでもよい。

本規格第1部－第4編（CISPR16-1-4）の第5節に試験場の詳細を示している。さらに、追加の情報を次に示す。特に、この規格の利用者に参考文献のリスト(A.4参照)を提供するものである。

A.2 金属反射面

A.2.1 金属反射面の構造

反射面の材料は、金属板か導線網とする。金属板又は網は、つなぎ目が連続的に溶接されていることが望ましい。さもなくば、つなぎ目に沿って $\lambda_{\min}/10$ 未満の間隔で溶接すること（ λ_{\min} ：使用する最大周波数の波長）。導線網を使用する場合には、交差する金属線が互いに良好な導電接触をするように配慮すること。網目の幅は、 $\lambda_{\min}/10$ 未満にすること。

反射面の材料の厚さは、機械的な強度および安定性に関する要求事項によって決めるべきである。導電性は鉄と同等かそれ以上であれば十分である。反射面の形状は、楕円以外であれば、それほど問題にはならない(A.2.2参照)。ごく厚めの保護層は反射波の位相を変えるかも知れないので、反射面を厚い保護層で覆わないほうがよい。すなわち4.4.1項のΦが π ラジアンと異なる原因になる[A.4]*。反射面の平坦度および粗さに関しては、本規格第1部－第4編（CISPR16-1-4）の第5節および[A.3]を参照。1000 MHzまでの測定には、通常は、平坦度 ± 10 mmで充分である。

反射面の水平寸法は充分に大きく、それがアンテナ較正の不確かさに及ぼす影響が、充分に小さくなければならない。残念ながら、今のところ、アンテナ較正において、規定の最大不確かさと、これを満足する水平反射面の最小寸法との関係に関する理論は存在しない。基準としては、反射面が第1フレネルゾーンより大きいことが考えられる([A.1]、[A.2]および[A.3])。これにより、最小平面寸法20 m (長)×15 m(幅)が得られるが、より小さな反射面でもCALTS要求事項を満たすことがある。最低周波数(30MHz)において、アンテナの長さ L_a は約5mである。したがって、反射面20 m×15 mの場合、30 MHz – 1000 MHzの範囲の全周波数において、適合性確認におけるアンテナから反射面の周辺までの距離が少なくとも L_a になる。

A.2.2 反射面縁端の影響およびその周辺

反射面の寸法が有限の場合、反射面縁端で反射特性が変わるため、電磁波がその縁端で散乱し、測定結果に悪影響を及ぼすことがある。通常、縁端における散乱の影響は、垂直偏波に関する測定結果に顕著に現れ、水平偏波に関しては無視できる[A.7]。

特に、散乱の程度は、反射面が周囲の地面(土が湿っているか、乾燥しているかに依存する [A.5])

* 鍵括弧内は、A.4の参考文献を示す。

と同じ平面にあるか、又は高くなっているか（例えば、屋根の上）に依存する。これらに関する調査結果は[A.6]に記載されており、それには、反射面の形状が第 1 フレネル楕円であってはならないと記載されている。その理由は、反射面縁端における散乱波によって生じる不確かさが増大するためである。

反射面の縁端を周囲の地面に多点接地すれば、地面の導電性がよい場合、例えば湿っていれば、金属反射面が広がることになる[A.7]。

反射を生じる可能性のある物体が、反射面の縁端からある距離、例えば 40 m 以内にある場合には、その影響を無視できるか否かを検証すべきである。この適合性確認には、固定長ダイポールアンテナを用いて、周波数掃引によるサイトアッテネーション測定を行っても良い。その測定方法は、4.4.6 に記載のものと同等である。送信アンテナ高さ h_t が 2 m の場合、掃引周波数範囲に対応するアンテナの固定長(周波数 f_r に同調している)と受信アンテナ高 h_r の組合せとして、表 A.1 を利用しても良い。このような広い周波数範囲にわたる測定値の理論値は、NEC のような数値計算法によって求められる(C.3 参照) [C.5]。

表A.1 ダイポールアンテナの同調周波数、掃引周波数範囲および受信アンテナ高の組合せ

f_r MHz	B_s MHz	h_r m
60	30-100	4.0
180	100-300	1.8
400	300-600	1.2
700	600-1000	1.4

反射物がなければ、測定結果は周波数に対して滑らかに変化する。反射物がある場合には、その結果に狭帯域な共振が重畳する。この共振によって、顕著な反射が存在している周波数が分かる。その疑わしい反射物の位置は、その前に大きな金属板を置き、金属板の反射波が最大になるように向けて、その共振が無くなれば、決定することができる。

A.3 補助機器

CALTSをCOMTSとしても使用するならば、アンテナの支柱、アンテナホルダ、支柱支持用ロープ、測定用ケーブルのガイド、ケーブルコネクタ、回転台が測定結果に影響のないように注意を払うことが望ましい。その場合、A.2 に述べたように周波数掃引測定を行えば、問題点を明らかにできることがある。

A.4 参考文献

- [A.1] ANSI Standard C63.4, 1992, Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the range of 9 kHz to 40 GHz, 1992.
- [A.2] Microwave Antenna Measurements, Hollis, J.S., Lion T.J. and Clayton L. (Editors), Scientific Atlanta Inc., Atlanta, GA, U.S.A., 1986.
- [A.3] Transmission and Propagation of Electromagnetic Waves, Sander K.F. and Reed G.A.L., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1987.
- [A.4] Note on the Open-Field Site Characterization, Livshits B. and Harpell K., IEEE EMC Symposium, Denver, pp 352-355, 1992.
- [A.5] Site Attenuation for Various Ground Conditions, Sugiura A., Shimizu Y. and Yamanaka Y., Trans. IEICE, E73, 9, pp 1517-1523, September 1990.
- [A.6] Ground-Plane Size and Shape experiments for Radiated Electromagnetic Emission Measurements, Berquist A.P. and Bennett W.S. , EMC/ESD Symposium, Denver, U.S.A. pp 211-217, 1992.
- [A.7] EMC Antenna Calibration and the Design of an Open-Field Site, Salter M.J. and Alexander M.J., Meas. Sci. Technol., 2, pp 510-519, 1991.
- [A.8] Calibration of Antennas used for Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control, ANSI Standard C63.5, 1988.

付則 B
(情報)

試験アンテナ

B.1に試験アンテナの例を提示する。また、B.2では、バラン特性の決定方法として、Sパラメータ測定法と注入測定法（4.3.2.6に記載）について述べる。

B.1 試験アンテナの例

[B.1]^{*}に記載されている試験アンテナの例を図 B.1に示す。アンテナのバランは、次のとおり構成する。

- a) 180° 3dBハイブリッド・カプラの和ポート(Σ)は、常時、特性負荷インピーダンス(50 Ω と仮定する)で終端する。また、差ポート(Δ)は、アンテナの入出力ポートである。
- b) セミリジッド同軸ケーブルを、高品質コネクタ、例えばSMAコネクタを介して、ハイブリッド・カプラの平衡ポートAおよびBに接続する。そのケーブル長は約 1 mで、この長さは、アンテナエレメントにおける支柱やカブラからの反射波の影響を低減するのに役立つ。
- c) セミリジッド同軸ケーブルについているフェライトビーズ(F)は、バランおよび接続アンテナケーブルに誘導するコモンモード電流を抑制する。
- d) セミリジッド同軸ケーブルの出力端にある 3 dB減衰器は、インピーダンス安定器や整合用パッド(M)として機能しており、SMAコネクタを介してアンテナエレメントに接続されている。これらのコネクタは、4.4.4および付則Cに示すAおよびBポート(CおよびDポート)に対応する。これらのコネクタの外部導体は、アンテナエレメント付近で電氣的に接続する。この接続点は、Sパラメータ測定の際にバランの基準点となる。

上述のバランは、有用なバランの一例である。別の形式のバランも同様に使用しても良い。但し、どのバランも、4.3.2の要求事項を満足すること。

アンテナエレメントの長さは、バランに取り付た状態で、4.3.2.2に示す試験アンテナの長さ $La(f)$ を満たすこと($La(f)$ の計算については C.1.1を参照)。表C.1では、周波数180MHz未満において、アンテナエレメントの直径を 10 mmとしている。これによって、比較的長いアンテナでも良好な機械的強度を保つことができる。周波数180MHz以上では、直径は 3mmで充分である。周波数60MHz未満では、エレメントは伸縮型でも、固定長型でもよい。(付則D参照)。

* 鍵括弧内は、B.3の参考文献を示す。

B.2.1 理想的な無損失バラン

パラ

入出力

Δ

Σ

50 Ω

F

M

F

M

A

B

D_{we}

L_{we}

W_g

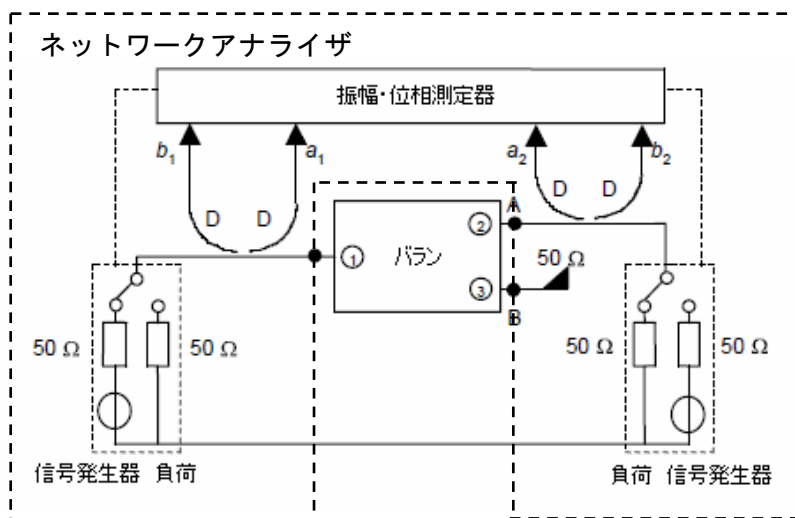
L_a

F:フェライトビーズ
M:整合パッド

セミリジッド
同軸ケーブル

基準点

図B.1 試験アンテナの例



図B.2 S11、S21の測定図（S22およびS12の測定では、発生器および負荷を置き換える。この図では、代わりにスイッチを用いている）

Sパラメータを測定するための基本設定を、図B.2に示す。バランの不平衡ポートを”1”とし、平衡ポートを”2”および”3”とする。

三つのポートの特性インピーダンスは、それぞれ50Ωとする(4.3.2.5参照)。図B.1に対して、図B.2の四角い箱"バラン"には、図B.1のカプラ、ケーブル他を含む。図B.1のハイブリッド・カプラのΣポートは、特性インピーダンスで常に終端しておくこと。

Sパラメータは、図B.2のa1又はa2で示す入射波と、b1およびb2で示す散乱波の関係を示す。入射信号および散乱信号は、方向性結合器(D)を有するネットワークアナライザで測定する。変数 $S_{11}=b_1/a_1$ および $S_{21}=b_2/a_1$ (条件 $a_2=0$ で)は、ポート3を50Ωで終端して測定する。信号発生器および負荷を交換(両スイッチの位置を変えて)すると、測定値は、 $S_{22}=b_2/a_2$ および $S_{12}=b_1/a_2$ (条件 $a_1=0$ で)が得られる。同様に、ポート2に50Ω負荷を接続し、ポート1および3の間を測定すると、 S_{11} および S_{31} 、 S_{13} および S_{33} が得られる。最後に、50Ω負荷をポート1に接続し、ポート2および3の間を測定すると S_{22} および S_{32} 、 S_{23} および S_{33} が得られる。

理想的なバランのSパラメータ・マトリックスを次の式で示す。

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{B.1})$$

各ポートでの反射がないので、このSマトリックスにおいて、 $S_{11}=S_{22}=S_{33}=0$ となる。完全に平衡であるため $S_{12}=S_{21}=1/\sqrt{2}$ 、および $S_{13}=S_{31}=-1/\sqrt{2}$ となる(このバランは無損失のため、絶対値は $1/\sqrt{2}$ に等しい)。また、位相差は正確に180°である(マイナス記号で表示した)。さらに、ポート2および3の間は完全に分離されているので、 $S_{23}=S_{32}=0$ となる。

B.2.2 バラン特性およびSパラメータの関係

Sマトリックスを、インピーダンス・マトリックスに変換でき、これによって、バランの入出力電流と電圧の関係が得られる。ポート1を特性インピーダンスで終端し、かつ、ポート2および3だけを考慮すれば、次の式となる([B.2]参照)。

$$\begin{pmatrix} Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{32} & Z_{33} \end{pmatrix} = \frac{50}{(1-S_{22})(1-S_{33})-S_{23}S_{32}} \cdot \begin{pmatrix} [(1+S_{22})(1-S_{33})+S_{23}S_{32}] & 2S_{32} \\ 2S_{23} & [(1-S_{22})(1+S_{33})+S_{23}S_{32}] \end{pmatrix} \quad (\text{B.2})$$

よって、インピーダンス Z_{AB} (4.3.2.5a参照)は、次の式で示される。

$$Z_{AB} = \frac{1-S_{22}S_{33}+S_{23}S_{32}-S_{23}-S_{32}}{(1-S_{22})(1-S_{33})-S_{23}S_{32}} 100 = R_{AB} + jX_{AB} \quad (\text{B.3})$$

なお、測定値 Z_{AB} は、SACの計算に必要である(付則C参照)。同様に、計算に必要な別のバランのインピーダンス Z_{CD} を求める。

次の式が成り立てば、VSWRは4.3.2.5 a)および表2を満足する

$$\frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} < 1.10 \quad \text{ここで、} \Gamma = \frac{Z_{AB}-100}{Z_{AB}+100} \quad (\text{B.4})$$

注 ハイブリッド・カプラ自体が(B.4)の式を満足しない場合、非常に低いVSWRの整合減衰器を使えば、VSWRを下げるができる。

実際のバランの平衡度および位相差は、以下の式を用いて、検証する

$$\frac{S_{12}}{S_{13}} = \frac{S_{21}}{S_{31}} = r_b e^{j\phi_b} \quad (\text{B.5})$$

次の式が成り立てば、振幅平衡度は 4.3.2.5 b)および表2を満足する。

$$0.95 < r_b < 1.05 \quad (\text{B.6})$$

次の式が成り立てば、位相差は、 4.3.2.5c)および表2を満足する。

$$178^\circ < \left| \frac{180^\circ + \phi_b}{\pi} \right| < 182^\circ \quad (\text{B.7})$$

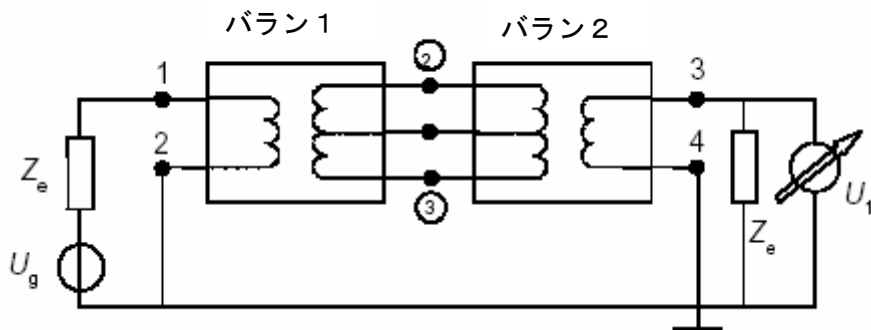
実際のバランの分離度は、 S_{23} および S_{32} の実測値を用いて検証する。次の式が成り立てば、4.3.2.5の注4を満足する。

$$|S_{23}| = |S_{32}| < 0.05 \quad (\text{B.8})$$

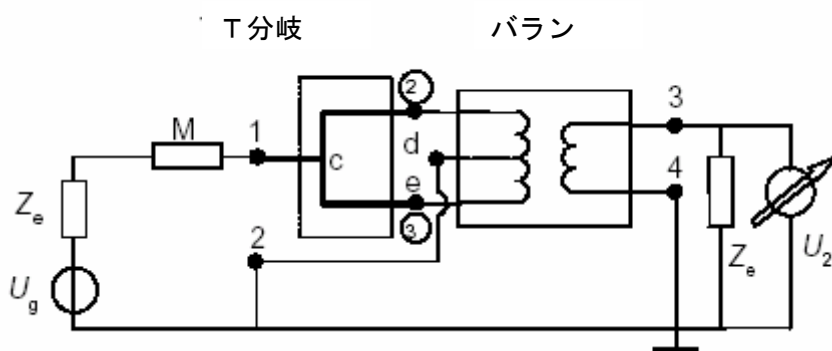
実際のバラン損失の影響は、CALTS適合性確認手順の基準電圧 U_r の測定によって相殺される。図B.1のバラン例では、バラン損失は主として3dB整合パッドに起因する。

B.2.3 挿入損失の測定

図B.3および図B.4に示した挿入損失測定を実施することにより、4.3.2.5 b)および4.3.2.5 c)のバラン仕様に関する検証を行うことができる。その結果から、いわゆるバランの不平衡除去特性(BUR)を決定できる。



図B.3 挿入損失 $A_1(f)$ 測定法の概略図



図B.4 挿入損失 $A_2(f)$ 測定法の概略図

この測定では、4.4.4.1のとおり、平衡ポート同士を接続した二つの同一バランの挿入損失 $A_1(f)$ の測定、および一つのバランの平衡ポート2および3 (図B.4も参照)を並列接続した場合の挿入損失 $A_2(f)$ の測定を行う。バランの不平衡除去特性は、コモンモード除去特性とも呼ばれるが、 A_1 に及ぼす二つのバランの影響が等しいと仮定すると、デシベル表示で以下の式で表される。

$$\text{BUR}(f) = A_2(f) - A_1(f)/2 \text{ (dB)} \quad (\text{B.9})$$

$\text{BUR} > 28 \text{ dB}$ であれば、バランは、前述の節および表2に示す許容範囲を満足していることになる。

初めの挿入損失測定では、まず、バランの周波数帯域にわたって周波数ごとに基準電圧 $U_{r1}(f)$ を測定する。すなわち、二つのバランが無い状態で、図B.3に示す接続端子1、3と2、4の間を短絡させ、回路の電圧を測定する。次に、平衡ポートを互いに接続した二つのバランを挿入し、電圧 $U_1(f)$ を測

定する(図B.3参照)。これらの測定によって、 $A_1(f)$ は次式で得られる。

$$A_1(f) = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{r1}(f)}{U_1(f)} \right) \quad (\text{dB}) \quad (\text{B.10})$$

2番目の挿入損失測定では、まず、バランの周波数帯域にわたって周波数ごとに基準電圧 $U_{r2}(f)$ を測定する。すなわち、Tコネクタとバランが無い状態で、図B.4に示す接続端子1、3と2、4の間を短絡させ、回路の電圧を測定する。次に、Tコネクタおよび被測定バランを回路に挿入して電圧 $U_{2a}(f)$ を測定する。この場合、ポート2、3は同軸型平衡Tコネクタで接続する。但し、このTコネクタはセミリジッドケーブルで構成され、そのc-dおよびc-e間の電気長は等しくする(完全に機械的に対称)。この測定では、dをポート2に、eをポート3に接続する。図B.4にMで示す6dB減衰整合パッドは、定在波の影響を低減するために付加されている。

測定系の非対称性等によって生じる誤差を低減するために、バランおよびT接合器の接続を逆にし、後者の測定を繰り返す。すなわち、dをポート3に、eをポート2に接続する。この測定で電圧 $U_{2b}(f)$ を得る。これより、 $A_2(f)$ は次式で得られる。

$$A_2(f) = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{r2}}{\max\{U_{2a}(f), U_{2b}(f)\}} \right) \quad (\text{dB}) \quad (\text{B.10})$$

理想的なバランでは、すべての周波数において $A_2(f) = \infty$ dBとなる。

注 このTコネクタおよび6dB減衰器の代わりに、較正済みの6dB電力分配器を使用してもよい。その場合、分配器による減衰をBURの計算で考慮すること。

B.3 参考文献

- [B.1] Standard Linear Antennas, 30-1,000 MHz, FitzGerrell R.G., IEEE Trans. on Antennas and Propagation, AP-34, 12, pp 1425-1429, December 1986.
- [B.2] Microwave Impedance Measurement, Somlo P.I., Hunter J.D. , published by Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1985.
- [B.3] Low Measurement Uncertainties in the Frequency Range 30 MHz to 1 GHz using Calculable Standard Dipole Antenna and National Reference Ground Plane, Alexander M.J. and Salter M.J., IEE Proc. Sci. Meas. Technol., Vol. 143, no. 4, pp 221 228, July 1996.

付則C
(情報)

アンテナ及びサイトアッテネーションの理論

C.1 理論式

この節では、線状アンテナ(図C.1.1)の全長 $L_a(f)$ 及びサイトアッテネーション S_{Ac} (C.1.2)の計算法について述べる。解析モデルでは、送信アンテナと受信アンテナ、さらに反射面によるそれらの鏡像間の相互結合を考慮に入れている。また、受信アンテナに沿った実際の電磁界分布を考慮し、受信アンテナに入射する電磁波は平面波であるとは仮定しない。但し、線状アンテナの電流分布は正弦波状であるということのみを仮定する。

ここで示す理論式によって計算される S_{Ac} 値は、長さ L_a で、十分に細い線状アンテナについて正確に数値計算した S_{Ac} 値の ± 0.01 dB以内に収まっている。この規格において、十分に細いとは、ワイヤアンテナの半径 R_{we} が、次の条件を満たすことである[C.1]*。

$$\alpha \geq 30 \quad \text{但し} \quad \alpha = 2 \ln \left(\frac{L_a}{R_{we}} \right)$$

半波長ダイポールアンテナ($L_a = \lambda_0/2$)については、この条件式は、次式となる。

$$\alpha \geq 30 \quad \text{但し} \quad R_{we} = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{e^\alpha}} \quad (C.1)$$

数値計算例と測定不確かさの考察をC.1.3に示す。

C.1.1 試験アンテナの全長

定義により、試験アンテナ、すなわち自由空間共振ダイポールアンテナの周波数 f における全長 $L_a(f)$ は、次式を解くことにより求まる。

$$X_a(f, R_{we}) = 0 \quad (C.2)$$

ここで

$X_a(f, R_{we})$ は、境界のない媒体、すなわち自由空間において電波を放射しているダイポールアンテナのインピーダンスの虚数部である。

R_{we} は線状エレメントの半径であり、その値は長さ方向に一定で(非伸縮型のエレメント)、 L_a より十分に小さいと仮定する。

* 鍵括弧内の文字は、C.3 の参考文献を示す。

給電点の間隔 Wg は、無限小と仮定する。 Xa は、次の式から得られる([C.2]参照)。

$$X_a = \frac{\eta}{4\pi} \times \left[2 \operatorname{Si}(kL_a) + \cos(kL_a) \times \{ 2 \operatorname{Si}(kL_a) - \operatorname{Si}(2kL_a) \} - \right. \\ \left. \sin(kL_a) \{ 2 \operatorname{Ci}(kL_a) - \operatorname{Ci}(kL_a) - \operatorname{Ci}(2kR_{we}^2/L_a) \} \right] \times \sin^{-2}(kL_a/2) \quad (C.3)$$

ここで、 $\eta = 377 \, \Omega$ 、 $k = 2\pi/\lambda_0$ 、 λ_0 は真空中の波長である。

$\operatorname{Si}(x)$ 、 $\operatorname{Ci}(x)$ は以下の式で与えられる。

$$\operatorname{Si}(x) = \int_0^x \frac{\sin(t)}{t} dt \quad (C.4a)$$

$$\operatorname{Ci}(x) = \int_{-\infty}^x \frac{\cos(t)}{t} dt \quad (C.4a)$$

$$\operatorname{Si}(x) = \frac{\pi}{2} - f(x) \cos x - g(x) \sin x \quad (x \geq 1) \\ \operatorname{Si}(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n+1}}{(2n+1)(2n+1)!} \quad (x < 1) \quad (C.5a)$$

これらの値は、以下の式によって十分正確に計算できる[C.3]。

$$\operatorname{Ci}(x) = f(x) \sin x - g(x) \cos x \quad (x \geq 1) \\ \operatorname{Ci}(x) = \gamma + \ln x + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n}}{2n(2n)!} \quad (x < 1) \quad (C.5b)$$

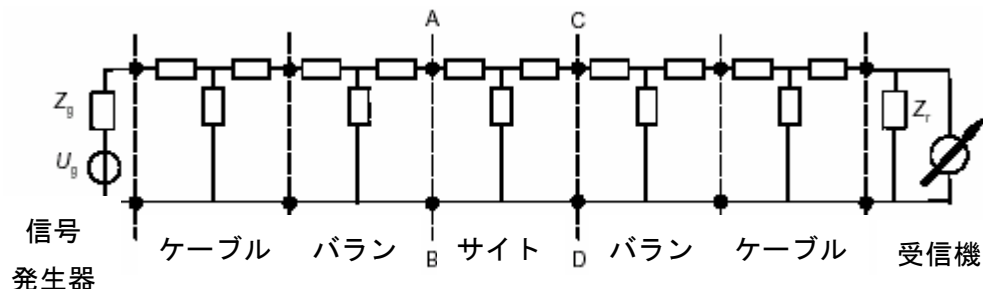
$$f(x) = \frac{1}{x} \left(\frac{x^4 + a_1 x^2 + a_2}{x^4 + b_1 x^2 + b_2} \right), g(x) = \frac{1}{x^2} \left(\frac{x^4 + c_1 x^2 + c_2}{x^4 + d_1 x^2 + d_2} \right) \quad (C.5c)$$

但し、 $a_1=7.241163$ $b_1=9.068580$ $c_1=7.547478$ $d_1=12.723684$
 $a_2=2.463936$ $b_2=7.157433$ $c_2=1.564072$ $d_2=15.723606$

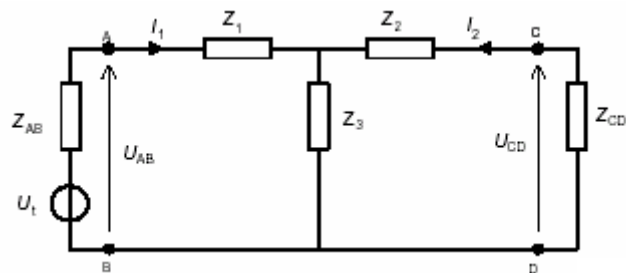
表C.1に示す $La(f)$ の値は、式(C.3)から(C.5)を用いて式(C.2)によって得られたものである。

C.1.2 サイトアッテネーションの理論値

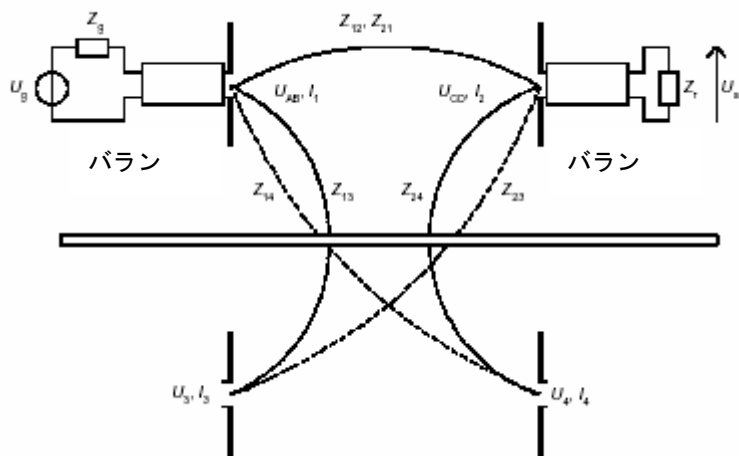
サイトアッテネーション(SA)は、回路網モデルを用いて計算する[C.4] (図C.1参照)。無線周波信号発生器は、送信アンテナのバランにある給電端子A及びBに信号を供給する。受信アンテナの給電端子C及びDに発生する信号は、測定用受信機のインピーダンス Z_r の両端で測定する。ケーブル及びバランは、T型回路網により表示される。



図C.1 SA計算用の回路網モデル



図C.2 図C.1の回路網の等価回路



図C.3 反射面上のアンテナ及びそれらの鏡像アンテナ間の相互結合、給電端子電圧並びにアンテナ電流の定義

基準電圧 $U_{r1}(f)$ 及び $U_{r2}(f)$ (4.4.4.1及び4.4.4.4参照)を測定する際は、給電端子A及びCを、無視できるくらいのインピーダンスを持つ短い導体で相互に接続する。同様に、B及びDも相互に接続する。線状エレメントを給電端子(ABまたはCD)に接続し、指定の位置に設置して行う $U_s(f)$ (4.4.4.3参照)の測定に関しては、信号伝送に与える試験場の影響を、図C.1に示すポートAB及びCDを持つT回路網によって表すことができる。

図C.1の回路を簡略化したものが図C.2である。但し、 Z_{AB} 及び Z_{CD} は平衡ポートインピーダンスの測定値である(付則B参照)。図C.2の回路から、基準電圧 $U_{CD,r}$ (従って、 $Z_1=Z_2=0$ 及び $Z_3=\infty$)は次式で与えられる。

$$U_{CD} = U_{CD,r} = \frac{Z_{CD}}{Z_{AB} + Z_{CD}} U_t \quad (C.6)$$

また、 $U_{CD,s}$ は次式で与えられる。

$$U_{CD} = U_{CD,s} = \frac{Z_{CD} Z_3}{(Z_{AB} + Z_1 + Z_3)(Z_{CD} + Z_2 + Z_3) - Z_3^2} U_t \quad (C.7)$$

従って、サイトアッテネーション SA_c は、次の式で計算される。

$$SA_c = \frac{U_{CD,r}}{U_{CD,s}} = \frac{(Z_{AB} + Z_1 + Z_3)(Z_{CD} + Z_2 + Z_3) - Z_3^2}{Z_3(Z_{AB} + Z_{CD})} \quad (C.8)$$

次の段階は、インピーダンス Z_1 、 Z_2 及び Z_3 を図C.3に描いた実際の状況、すなわち、反射面上に2本の試験アンテナがある状況と関連づけることである。

送信ポート1 (給電端子A及びB)と受信ポート2 (給電端子C及びD)の間の信号伝送は、アンテナとその鏡像アンテナ間の種々の結合の影響を受ける。図C.3では、この影響を伝達インピーダンス Z_{nm} (n, m: 1から4の値、 $n \neq m$)で示す。

端子電圧 U_{AB} 及び U_{CD} は、形式的に、図C.3の4本のアンテナのアンテナ電流 I_1 から I_4 を用いて次の式で得られる。

$$\begin{aligned} U_{AB} &= Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 + Z_{13} I_3 + Z_{14} I_4 \\ U_{CD} &= Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 + Z_{23} I_3 + Z_{24} I_4 \end{aligned} \quad (C.9)$$

理想的な反射面で、アンテナが水平かつ互いに平行に配置された場合、 $I_3 = \rho I_1$ 及び $I_4 = \rho I_2$ となる。ここで、 $\rho = r \cdot \exp(i\Phi)$ は、導電面の複素反射係数である。ここで $\rho = -1$ である。さらに、相反定理により、 $Z_{12} = Z_{21}$ 及び $Z_{23} = Z_{14}$ である。したがって、式(C.9)は、次のように変形できる。

$$\begin{aligned} U_{AB} &= (Z_{11} + \rho Z_{13}) I_1 + (Z_{12} + \rho Z_{14}) I_2 \\ U_{CD} &= (Z_{12} + \rho Z_{14}) I_1 + (Z_{22} + \rho Z_{24}) I_2 \end{aligned} \quad (C.10)$$

図C.2の回路から、次の式になる。

$$\begin{aligned} U_{AB} &= (Z_1 + Z_3) I_1 + Z_3 I_2 \\ U_{CD} &= Z_3 I_1 + (Z_2 + Z_3) I_2 \end{aligned} \quad (C.11)$$

さらに、式(C.10)と比較すれば、次の式が得られる。

$$Z_1 + Z_3 = Z_{11} + \rho Z_{13}, \quad Z_2 + Z_3 = Z_{22} + \rho Z_{24} \quad \text{and} \quad Z_3 = Z_{12} + \rho Z_{14}$$

よって、式(C.8)は次のように表せる。

$$SA_c = \frac{(Z_{AB} + Z_{11} + \rho Z_{13})(Z_{CD} + Z_{22} + \rho Z_{24}) - (Z_{12} + \rho Z_{14})^2}{(Z_{12} + \rho Z_{14})(Z_{AB} + Z_{CD})} \quad (C.12)$$

式(C.9)の Z_{11} 及び Z_{22} は、自由空間に放射するワイヤアンテナの入力インピーダンスであり、したがって反射面はない状況のものである。これらのインピーダンスの虚数部は、 $X_{11}=X_{22}=X_a$ として、(C.3)式から計算できる。実数部は、 $R_{11}=R_{22}=R_a$ として、次の式から求められる。

$$\begin{aligned} R_a = & \frac{\eta}{2\pi} \{ \gamma + \ln(kL_a) - Ci(kL_a) \\ & + \frac{1}{2} \sin(kL_a) \times [Si(2kL_a) - 2Si(kL_a)] \\ & + \frac{1}{2} \cos(kL_a) \times [\gamma + \ln(kL_a/2) + Ci(2kL_a) - 2Ci(kL_a)] \} \times \sin^{-2}(kL_a/2) \end{aligned} \quad (C.13)$$

相互インピーダンス Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{14} 、及び Z_{24} は、ローレンツの相反定理[C.1, C.2]を利用して計算できる。この計算法では、線状アンテナに沿った実際の電磁界を考慮している。従って、受信アンテナに到来する電磁波を平面波と仮定する必要はない。唯一の仮定は、線状エレメント上の電流分布が、正弦波状であることである。この仮定は、 $L_a(f) \approx \lambda_0/2$ 、かつ、 R_{we} が式(C.1)の条件を満たすなら、妥当なものである。

$Z_{nm}=R_{nm} + jX_{nm}$ ($n=1, \dots, 4$ $m=1, \dots, 4$, $n \neq m$)と置くと、実数部分 R_{nm} は以下のように表される。

$$\begin{aligned} R_{nm} = & \frac{\eta}{4\pi} \times \{ 2[2Ci(kr_{nm}) - Ci(ks_3) - Ci(ks_4)] \\ & + \cos(kL_a) \times [2Ci(kr_{nm}) + Ci(ks_1) + Ci(ks_2) - Ci(ks_3) - 2Ci(ks_4)] + \sin(kL_a) \\ & + \sin(kL_a) \times [Si(ks_1) - Si(ks_2) - 2Si(ks_3) + 2Si(ks_4)] \} \times \sin^{-2}(kL_a/2) \end{aligned} \quad (C.14)$$

かつ、虚数部分は次式によって得られる。

$$\begin{aligned} X_{nm} = & \frac{-\eta}{4\pi} \times \{ 2[2Si(kr_{nm}) - Si(ks_3) - Si(ks_4)] \\ & + \cos(kL_a) \times [2Si(kr_{nm}) + Si(ks_1) + Si(ks_2) - 2Si(ks_3) - 2Si(ks_4)] \\ & - \sin(kL_a) \times [Si(ks_1) - Ci(ks_2) - 2Ci(ks_3) + 2Ci(ks_4)] \} \times \sin^{-2}(kL_a/2) \end{aligned} \quad (C.15)$$

ここで r_{nm} は、アンテナnとm間の距離である。

$$\begin{aligned}
 s_1 &= \sqrt{r_{nm}^2 + L_a^2} + L_a \\
 s_2 &= \sqrt{r_{nm}^2 + L_a^2} - L_a \\
 s_3 &= \sqrt{r_{nm}^2 + (L_a / 2)^2} + L_a / 2 \\
 s_4 &= \sqrt{r_{nm}^2 + (L_a / 2)^2} - L_a / 2
 \end{aligned} \tag{C.16}$$

式(C.12)の中の全てのインピーダンスが分かっているので、4.5.3.1項で要求されるS_{Ac}は、この式によって計算することができる。すなわち、Z_{AB}及びZ_{CD}は実測値(付則B参照)、その他のインピーダンスは式(C.3)及び(C.13)から(C.16)によって得られる計算値。同じ式が、任意の周波数でのS_{Ac}(hr)の計算に使用できるので、4.5.3.2項で必要とされるh_{r,max}(fs)を決定することや、4.5.2.2項及び4.5.3.2項で必要な測定不確かさΔS_{At}及びΔh_{r,max}を計算することができる。

C.1.3 数値計算の例

数値計算結果の例として、表C.1 に L_a及びS_{Ac}、表C.2 に ΔS_{Ac}、表C.3 に h_{rc}及びΔh_t、表C.4 に f_c及びΔf_tの計算結果を示す。

すべての計算において、受信アンテナ及び送信アンテナの地上高、アンテナ中心間の水平距離及び周波数については、4.4項で規定した値を用いている。測定不確かさの計算では4.5.2.1項に示した許容偏差を用いている。

線状アンテナの半径は、周波数30MHz ≤ f< 180MHzにおいて R_{we}=5.0mm、180MHz ≤ f ≤ 1000MHzにおいて、R_{we}=1.5mmと仮定した。

C.1.3.1 L_a及びS_{Ac}の計算(表C.1)

アンテナ長L_a(f)は、式(C.2)を用いて計算した。S_{Ac}(f)の値は(C.13)から(C.16)を用いて計算した。但し、平衡ポートインピーダンス(100 +j0) Ωを持つ理想的なバランと、理想的な反射面、すなわちρ=-1を仮定した。

C.1.3.2 ΔS_{At}の計算(表C.2)

95%信頼度の測定不確かさ□S_{At} (4.5.2.2)は、次の式を用いて計算した([C.6]参照)。

$$\Delta S_{At} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\sum_{i=1}^9 \Delta S_{Ac}^2(i)} \tag{C.17}$$

但し、変数 \square SAcは一樣確率分布に従うと仮定し、かつ、($p=$) 9個の変数：hr、ht、d、f、Z_{AB}、Z_{CD}、La、Ab、及び Φ bに関する不確かさを考慮した(表2も参照)。

初めの6個の変数について Δ SAcは次の式から計算できる。

$$SA_c(i) = \text{Max}[Abs\{SA_c - SA(pi \pm \Delta pi)\}] \quad (i = 1, 2, \Lambda, 6) \quad (C.18)$$

ここで、SAc は、C.1.3.1で計算したサイトアッテネーションの公称値である。
SA(pi+ Δ pi)及びSA(pi- Δ pi)は、それぞれ変数pから許容偏差 Δ pだけ加減して計算したサイトアッテネーションの値である。

表2に示した Δ hr、 Δ ht、 Δ d及び Δ fによって生じる Δ SAcの計算結果を、表C.2の列3から列6に示す。

注 Δ fの影響を計算する場合、アンテナ長Laは一定とし、公称周波数におけるLaに等しいとした。

表C.1 数値計算例、La、 SAcの計算(C.1.3.1項 参照)

f MHz	h _r m	R _{we} mm	L _a m	SA _c dB	f MHz	h _r m	R _{we} mm	L _a m	SA _c dB
30	4.00	5.00	4.803	21.03	160	2.00	5.00	0.885	26.44
35	4.00	5.00	4.112	20.95	180	2.00	1.50	0.797	27.52
40	4.00	5.00	3.594	20.60	200	2.00	1.50	0.716	29.37
45	4.00	5.00	3.192	20.70	250	1.50	1.50	0.572	30.43
50	4.00	5.00	2.870	21.12	300	1.50	1.50	0.476	32.47
60	4.00	5.00	2.388	22.13	400	1.20	1.50	0.355	34.90
70	4.00	5.00	2.043	21.76	500	2.30	1.50	0.283	37.02
80	4.00	5.00	1.785	20.93	600	2.00	1.50	0.236	38.35
90	4.00	5.00	1.585	21.49	700	1.70	1.50	0.201	39.59
100	4.00	5.00	1.425	22.97	800	1.50	1.50	0.176	40.91
120	4.00	5.00	1.185	25.16	900	1.30	1.50	0.156	41.84
140	2.00	5.00	1.013	27.20	1000	1.20	1.50	0.140	42.71

インピーダンスZ_{AB}及びZ_{CD}に関しては、表2に最大VSWR=1.10が規定されている。従って、この計算例では、これら2つのインピーダンスは、インピーダンス平面において、円形(中心はp=(100±j0 Ω)、半径 Δ p =9.5 Ω)の境界線を描くことを意味している。検討結果によれば、p= (100± Δ p+j0)及びp= (100±j Δ p)を単に計算するだけで充分である。 Δ SAcの計算結果を、表C.2の列7及び列8に示す。列7及び列8の Δ SAc値は、hr = htのとき、等しくなる。

La、Ab、 Φ bの不確かさによる Δ SAcの値は、C.2に示した数値計算によって見積ることができる。その結果、 Δ SAc(La) < 0.03 dB及び Δ SAc(Ab, Φ b) < 0.03 dBとなることが分かる。

表C.2の列9に、その前6つの列の ΔSAc 値の二乗和平方根(RSS)値 $\Delta SA_{\Sigma} = \sqrt{[\sum \{\Delta SA(i)\}]}$ を示す。列10の95 %信頼度の値は、列9のデータの $2/\sqrt{3}$ 倍である (式(C.17)参照)。 ΔSA_t の95%信頼度の値は、次式で表される。

$$\Delta SA_t(CL = 95\%) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^6 \Delta SAc^2(i) \right\} + \Delta SAc^2(La) + \Delta SAc^2(Ab, \phi b)} \quad (C.19)$$

$\Delta SAc(La) = 0.03$ dB及び $\Delta SAc(Ab, \Phi b) = 0.03$ dBと仮定すると、列11の ΔSA_t が得られる。この例では、最大値は $\Delta SA_t = 0.19$ dB (80 MHzのとき)となる。これが、4.5.3.1に記載の値 $\Delta SA_t = 0.20$ dBの根拠である。

表C.2 ΔSA_t の数値計算例(C.1.3.2参照)

周波数 MHz	SAc dB	Δh_r ΔSAc dB	Δh_r ΔSAc dB	Δd ΔSAc dB	Δf ΔSAc dB	ΔZ_{AB} ΔSAc dB	ΔZ_{CD} ΔSAc dB	RSS ΔSA_{Σ} dB	95% ΔSA_{Σ} dB	95% ΔSA_t dB
30	21.03	0.023	0.018	0.056	0.03	0.110	0.026	0.13	0.15	0.16
35	20.95	0.028	0.020	0.05	0.007	0.080	0.057	0.12	0.13	0.14
40	20.60	0.025	0.024	0.054	0.005	0.059	0.105	0.14	0.16	0.16
45	20.70	0.013	0.028	0.055	0.013	0.036	0.121	0.14	0.16	0.17
50	21.12	0.001	0.033	0.048	0.016	0.010	0.106	0.12	0.14	0.15
60	22.13	0.002	0.044	0.051	0.005	0.027	0.049	0.09	0.10	0.11
70	21.76	0.019	0.050	0.050	0.038	0.061	0.058	0.12	0.14	0.14
80	20.93	0.014	0.041	0.038	0.039	0.104	0.098	0.16	0.18	0.19
90	21.49	0.011	0.012	0.035	0.011	0.121	0.084	0.15	0.18	0.18
100	22.97	0.007	0.021	0.036	0.027	0.106	0.056	0.13	0.15	0.15
120	25.16	0.008	0.039	0.012	0.018	0.051	0.092	0.12	0.13	0.14
140	27.20	0.043	0.043	0.047	0.029	0.055	0.055	0.11	0.13	0.14
160	26.44	0.030	0.032	0.046	0.023	0.097	0.097	0.15	0.18	0.18
180	27.52	0.021	0.021	0.039	0.029	0.086	0.086	0.13	0.16	0.16
200	29.37	0.015	0.015	0.029	0.017	0.057	0.057	0.09	0.10	0.11
250	30.43	0.035	0.019	0.038	0.027	0.089	0.072	0.13	0.15	0.15
300	32.47	0.010	0.008	0.016	0.020	0.075	0.076	0.11	0.13	0.13
400	34.90	0.042	0.054	0.008	0.016	0.084	0.092	0.14	0.16	0.17
500	37.02	0.005	0.006	0.047	0.009	0.068	0.069	0.11	0.12	0.13
600	38.35	0.000	0.004	0.013	0.012	0.075	0.075	0.11	0.12	0.13
700	39.59	0.002	0.046	0.017	0.008	0.080	0.072	0.12	0.14	0.14
800	40.91	0.004	0.051	0.008	0.009	0.071	0.075	0.12	0.13	0.14
900	41.84	0.005	0.018	0.025	0.009	0.075	0.068	0.11	0.12	0.13
1000	42.71	0.011	0.062	0.004	0.010	0.079	0.075	0.13	0.15	0.15
ΔSA (dB) 最大値		0.043	0.062	0.056	0.039	0.121	0.121	0.16	0.18	0.19

注 この表の最終行に各列の最大値を示す。列3から列8の小数点以下3桁目は実質的な意味を持たないが、比較のために示したものである。

C.1.3.3 hrc及びhrtの計算(表C.3)

この項では、4.4.3.2 a)項及び4.4.5項に規定された $h_{r,max}(fs)$ について述べる。この値は、hr を1 m から増加させてSAを求め、最初のシャープな最大値を探すことにより得られる。シャープな最大値は、受信アンテナでの直接波及び反射波が相殺することによって得られるので、注意して探すこと。4.4.3.2 a)項に規定された周波数でのhrc(4.5.3.2参照)の結果を、表C.3に示す。

また、表C.3には測定不確かさの計算結果 $\Delta h_{r,max}$ を示しており、これは、C.1.3.2と同様な手法で、表2に示す許容偏差を用いて計算したものである。 $h_{r,max}$ については、許容偏差 Δht 、 Δd 及び Δf だけが顕著な影響を与える。 Δhrt の最大値(CL=95%)は0.02mである。これが、4.5.2.5項に記載した値0.025mの根拠である。

表C.3 hrc及び Δhrt の数値計算例(C.1.3.3参照)

周波数 MHz 4.4.3.2a)	hrc m	Δht Δhrc m	Δd Δhrc m	Δf Δhrc m	RSS Δhrc_{Σ} m	95% Δhrt m
300	2.630	0.014	0.010	0.004	0.017	0.020
600	1.284	0.006	0.005	0.005	0.010	0.011
900	1.723	0.008	0.009	0.002	0.013	0.015
最大値	-	0.014	0.010	0.005	0.017	0.020

C.1.3.4 fc及び Δft の計算(表C.4)

この項では、4.4.3.2 b)項及び4.4.6項に指定されている $f_{max}(hr, fs)$ について述べる。この値は、(hr, fs)の規定値に関してSAの最大値を探すことによって得られる。シャープな最大値は、受信アンテナでの直接波及び反射波が相殺することによって得られるので、注意して探すこと。4.4.3.2 b)項に規定する組合せに関するfcの結果(4.5.3.3項 参照)を、表C.4に示す。

表C.4 fc及び Δft の数値計算例(C.1.3.4参照)

周波数/ 地上高 MHz/m 4.4.3.2 b)	fc MHz	Δhr $\Delta fc/fc$	Δht $\Delta fc/fc$	Δd $\Delta fc/fc$	RSS $\Delta fc_{\Sigma}/fc$	95% $\Delta ft/fc$
300/2.65	297.4	0.004	0.006	0.005	0.009	0.010
600/1.30	592.6	0.008	0.005	0.004	0.010	0.012
900/1.70	912.1	0.006	0.005	0.004	0.009	0.010
最大値	-	0.008	0.006	0.005	0.010	0.012

また、表C.4には測定不確かさ計算結果 $\Delta ft/fc$ を示しており、これは、C.1.3.2と同様な手法で、表2に示す許容偏差を用いて計算したものである。 f_{max} については、許容偏差 Δhr 、 Δht 、及び Δd だけが顕著な影響を与える。 Δft の最大値(CL = 95 %)は0.012fcである。これが、4.5.2.7項に記載した値0.015 fcの根拠である。

C.2 数値の計算

この項では、アンテナインピーダンス、全アンテナ長及びサイトアッテネーションの最小値に関する代替計算手法を提供する。この手法は、モーメント法に基づく入手可能な計算プログラムを用いるものであり、PCで利用することができる。そのプログラムの例としては、MININEC[C.6、C.7]がある。この方法では、線状エレメントの電流に関して、正弦波状の分布を仮定しない。

このプログラムにおいては、アンテナは、解析のためにセグメントに分割された複数の直線導体で表される。正確な結果を得るためには、セグメントは波長に対して長すぎたり短すぎたりしないことが重要である。また、セグメント長は、セグメントの直径を超える長さであることが重要である。半波長につき約30セグメントが良い結果を与える。

セグメントの分割が適切であることを確認するために、セグメント数を増加してインピーダンス及び電流の計算値の収束性を調べるのが望ましい。このプログラムでは、計算モデルに、無限大の完全金属基準面を含むことができる。また、導体の1点に電圧を印加したり、導体の1点に集中負荷インピーダンスを装荷したりすることができる。

C.2.1 アンテナ入力インピーダンス

給電点におけるアンテナ入力インピーダンス Z_a は、プログラム出力から読み取ることができる。

C.2.2 試験アンテナの全長

アンテナの長さは、開放空間において共振する(すなわち、入力リアクタンスがゼロとなる)ように、反復手法によって定めること。まず、長さを半波長としてプログラムを動作させ入力リアクタンスを求める。もし、入力リアクタンスが正であれば、アンテナ長を短くし、負であれば、逆にアンテナ長を長くして、プログラムを再度動作させ、そのアンテナの入力リアクタンスを求める。

このように、アンテナ長を変更し、アンテナ入力リアクタンスを求める計算は、入力リアクタンスの大きさが 1Ω 未満になるまで繰り返す。その結果、アンテナ長は正確な値になる。

C.2.3 サイトアッテネーションの理論値

モーメント法のプログラムには、無限大の完全導体面上の二つの線状導体の配置や寸法が入力される。二つの導体は、正確な高さ及び間隔に配置する。送信アンテナを表す導体の中心に電圧 $U_f = 1 + j0$ [V]を給電し、かつ、受信アンテナの導体には Z_{CD} (受信機及び受信アンテナのケーブル及びバランを継続接続したものの入力インピーダンス。図C.2参照) に等しい負荷を接続する。プログラム出力の求めるべきパラメータは、送信アンテナの入力インピーダンス及び負荷電流の振幅である。

サイトアッテネーションは次の式で示される。

$$SA_c = 20 \log_{10} \left\{ \frac{U_f}{|I_2|} \left| \frac{Z_a + Z_{AB}}{Z_a (Z_{AB} + Z_{CD})} \right| \right\} \quad (C.20)$$

ここで、

I_2 は、負荷電流(図C.2参照)

Z_a は、送信アンテナの入カインピーダンス(図C.2.1参照)

Z_{AB} は、バラン、送信アンテナのケーブル及び信号発生器を縦続接続したものの入カインピーダンス

Z_{CD} は、バラン、受信アンテナのケーブル及び受信機を縦続接続したものの入カインピーダンス(図C.2参照)。

上記の式によってサイトアッテネーションの最小値を求めることができる。但し、この式は、基準電圧を求める際に、2つのバランの平衡ポートを直接的に相互接続する場合にのみ適用できる。その代わりに、信号発生器及び受信機のケーブルを直接的に相互接続する場合には、バランのSパラメータの測定値をサイトアッテネーションの計算に入力すること。

C.3 参考文献

- [C.1] *High-Frequency Models in Antenna Investigations*, Brown & King, Proc. IRE, vol. 22, No.4, pp 457-480, April 1934.
- [C.2] *Antenna Theory, Analysis and Design*, Balanis C.A., Harper & Row, Section 7.3.2., New York, 1982. (Other textbooks on antenna theory may provide an expression for the antenna impedance as well.)
- [C.3] *Handbook of Mathematical Functions*, Abramowitz M. and Stegun I.A., Dover, Section 5.2., New York, 1972.
- [C.4] *Formulation of Normalized Site Attenuation in terms of Antenna Impedances*, Sigiura A., Trans. IEEE on EMC, EMC-32, 4, pp 257-263, 1990.
- [C.5] NIST Technical Note 1297, *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*, 1994 Edition.
- [C.6] *The MININEC system: Microcomputer Analysis of Wire Antennas*, Rockway J.W., Logan J.C., Daniel W.S.T. and Li S.T., Artech House, London, 1988.
- [C.7] *Low Measurement Uncertainties in the Frequency Range 30 MHz to 1 GHz Using a Calculable Standard Dipole Antenna and a National Reference Ground Plane*, Alexander M.J. and Salter M.J., IEE Proc. Sci. Meas. Technol., vol 143, No.4, July 1996.

付則 D
(情報)

妥当性確認手順のチェックリスト

表D.1 CALTS妥当性確認報告書に記載すべき項目

4.6.2 参照	項目	備考
a	一般情報	
a1	CALTS場所の住所。	
a2	CALTS所有者の住所、電話/ファックス番号。	
a3	CALTS妥当性確認報告書に責任がある者/組織の住所、電話/ファックス番号	a2に同じこともある。
a4	CALTS妥当性確認を実施した者/組織の住所、電話/ファックス番号。	a2および又はa3に同じこともある。
a5	a2、a3およびa4に記載の者/組織の署名。	
a6	CALTS適合性に用いるCALTS構成および補助部分の一般的内容。	写真、図面、部品番号を使い、説明を容易にする。
a7	CALTS妥当性確認の完了日および妥当性確認報告書の発行日の日付。	
b	適合評価	
b1	適合評価の結果。	
b2	現行CALTS妥当性確認の有効期間の決定。	
b3	制約条件および構成の記載。	
c	試験アンテナ	
c1	計算可能なアンテナの記載。	型名、部品番号。
c2	使用する規定仕様への適合性の確認。	4.3.2および表2の値との比較。
c3	使用する特性インピーダンスの記載。	4.3.2.7参照。
d	試験設定	
d1	試験配置の詳細説明。	
d2	使用する規定仕様への適合性の確認。	4.4.2および表2の値との比較。
e	測定	
e1	可能ならば指定周波数からの偏差の理由を記載。	4.4.3.3参照。
e2	4.4.4および表1に従ったSA測定結果、並びにSA不確かさの決定。	4.4.3.1および4.4.4参照。
e3	アンテナ地上高走査測定又は周波数走査測定および不確かさのいずれかの結果。	4.4.3.2および4.4.5又は4.4.6参照。

4.6.2 参照	項目	備考
f	サイトアッテネーションおよび許容偏差の計算	4.5.2参照。
f1	SA基準、および最大SAのための地上高基準又は周波数基準のいずれかの計算方法の詳細。	参照：付則C又は数値手法。
f2	理論上のSA基準、および地上高基準又は周波数基準のいずれかを決定する。	
f3	すべての測定不確かさを、表2のデフォルト値を用い決定する。表2と異なる場合はその計算値を決定する。	式(3)および(4)又は(5)。
g	適合性基準計算方法	4.5.3参照。
g1	SAおよびアンテナ地上高又は周波数のいずれかの計算値および測定値の絶対値を決定する。	
g2	SAおよびアンテナ地上高又は周波数のいずれかの許容偏差と測定不確かさとの差を決定する。	
g3	式(6)および(7)又は(8)を使い、適合性を確認する。	
h	適合性の最終申告	
h1	結果、有効期間を考慮した適合宣言、制約条件および構成に関しまとめる。	b を引用する。