

IEC 60601-1-2:2014 に対応したアンリツ EMC 試験サイト

ANRITSU EMC test site corresponding to IEC 60601 -1-2:2014

高橋 敏行 Toshiyuki Takahashi

〔要 旨〕 コンピュータの高速化、無線機器の多様化、機器の相互接続の拡大などにより EMC 試験の重要性は益々高まっている。これに伴い EMC 試験に関する米国の国家規格や国際規格の IEC 規格などは逐次改定されており、これらの規格に対応していく必要がある。今回、これらの規格改定に対応し、EMC 試験サイトのパワーアンテナやそれと組み合わせるアンテナ、そして電波暗室の電波吸収体の改善を行った。改善の結果、電波暗室の 1 GHz 以下の評価指標の 1 つである NSA 値 ± 3 dB 以内を実現し、しかも耐久性、耐震性に優れた EMC 試験環境を構築した。

1 まえがき

コンピュータの高速化、無線機器の多様化、機器の相互接続の拡大などによって電磁妨害波干渉の起こり易い状況が増加し、EMC (Electro-Magnetic Compatibility: 電磁両立性) の重要性は益々高まっている。これに伴い EMC 試験に関する米国の国家規格 ANSI C63.4、国際規格で基本 EMC 出版物の IEC61000-4-5 や医用電気機器の IEC60601-1-2 などは逐次改定されている。

EMC 試験は、製品自身が発する妨害電磁波の影響を評価するエミッション(EMI)試験と、周囲の電気機器からの妨害電磁波耐性を評価するイミュニティ(EMS)試験に大別される。電波暗室内での EMI 試験には、放射妨害波試験、電源ポート伝導妨害波試験、電気通信ポート伝導妨害波試験があり、EMS 試験には、放射電磁界イミュニティ試験がある。これらの試験は外部からの電磁波に影響されず、また外部に電磁波を漏らさないように設計された EMC 試験サイトで行われる。改定された規格に対応し、安定した EMC 試験を行うためには、電波暗室と評価設備の性能を改善することが必要である。

アンリツグループでは、携帯電話のコンフォーマンステストシステムや金属検出機といった大型製品からハンドヘルドの小型製品といったさまざまな大きさや形態の製品を試験できる EMC 試験サイトが要求され、また最近では 1 GHz 超のクロック周波数で動作する LSI などの機器への搭載が増えてきたことから、1 GHz 以上の EMC 品質を保証する必要性も出てきた。そこで、当センターは、EMC 試験サイトの性能改善に取り組んだ。

本稿では、まず EMC 試験サイトの性能改善についてその概要を述べる。次に 1 GHz 以下の電波暗室の評価指標である NSA (Normalized Site Attenuation: 正規化サイトアッテネーション) 評価手法とその評価結果を説明する。最後に 1 GHz~18 GHz の電波暗室の評価指標である SVSWR (Site Voltage Standing Wave Ra-

tio: サイト電圧定在比) 評価手法とその評価結果について報告する。

2 EMC 試験サイトの改善方針

従来の EMC 試験サイトは、アンリツグループ内の製品開発を効率的に行うため、1999 年に新設した。新たな国際規格などへ適応させるため、以下の方針で EMC 試験サイトの性能改善に臨んだ。

- (1) 信頼性が高く安定した試験データを取得できる。
(NSA 規格値 ± 4 dB に対して ± 3 dB 以内)
- (2) 耐久性、耐震性に優れた電波暗室(電波吸収体)とする。
- (3) 最新の EMC 試験規格に適合させる。
 - ① ANSI C63.4-2014: FCC(Federal Communications Commission) 要求に対応するためアンテナマストにチルト機構を備える。
 - ② IEC 61000-4-5:2014: 電子機器の(雷)サージ耐性試験の基本規格に対応する。
 - ③ IEC 60601-1-2:2014: 「医用電子機器_基礎安全及び基本性能に関する一般要求事項・副通則_電磁両立性・要求事項及び試験」に対応する。
 - ・ 385 MHz~5785 MHz の放射 RF 電磁界イミュニティ(EMS)試験の強電界スポット周波数に対応する。
一例: 2.4 GHz 帯の強電界 28 V/m 試験に対応する。
なお、26 MHz~1 GHz を要求する旧規格の放射 RF 電磁界イミュニティ(EMS)試験を従来のとおり維持する。
 - ④ CISPR25 (車載機器の妨害波測定法に関する規格, CISPR:Comite International Special des Perturbations Radioelectrique, 国際無線障害特別委員会): 車載部品の放射エミッション試験と RF 伝導エミッション試験
 - ⑤ ISO11452-2: 車載部品の 80 MHz~2700 MHz 間でレベル IV (100 V/m) に対応する。

3 EMC 試験サイトの改善

3.1 電波吸収体

大型電波暗室における使用実績の高い TDK 製 IP-BL 材を電波吸収体として採用した。電波吸収体を図 1 に示す。IP-BL 材は、難燃性発砲スチロールを基材とするカーボンのオーム損失を利用した電波吸収材 IP 材と、フェライトの磁気損失を利用した電波吸収材 IB 材とを組み合わせた複合型電波吸収体で、30～500 MHz 程度の低周波領域では電波吸収材 IB 材が、500 MHz 以上の高周波領域では電波吸収材 IP 材が効率よく電波を吸収する。

この電波吸収体は、垂直入射時に代表値 20～30 dB の電波吸収性能を備えている。



図 1 電波吸収体 IP-BL 材

3.2 パワーアンプ

医用電気機器の旧欧州規格(EN 60601-1-2:1993)の 26 MHz～1 GHz(電界強度 3 V/m)の維持に加えて、国際規格の医用電気機器規格の最新版 IEC60601-1-2:2014 の放射 RF 電磁界イミュニティ試験に対応することとした。この条件を満たすため 1 GHz 以下のパワーアンプとして、PRANA 製 MT1400 の低周波数領域を 26 MHz まで拡張し特別仕様として採用した。

高周波数領域用のパワーアンプには、AMETEK グループ MILMEGA 製の AS0860A-200/50 を採用した。このパワーアンプは、周波数帯域の異なる(0.8 GHz～2.7 GHz, 2.0 GHz～6.0 GHz) 2 つのパワーアンプが内蔵されており、1 GHz～6 GHz の広帯域化に対応し、その出力は医用電気機器規格 IEC 60601-1-2:2014 が要求している 2.4 GHz 帯などの強電界 28 V/m にも対応している。図 2 および図 3 に両アンプの外観を、図 4 および図 5 にその出力特性(P1dB:1 dB コンプレッションポイント)を示す。

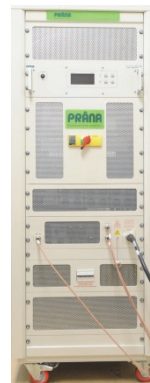


図 2 パワーアンプ 26 MHz～1000 MHz
(PRANA MT1400)



図 3 パワーアンプ 1 GHz～6 GHz
(MILMEGA AS0860A-200/50)

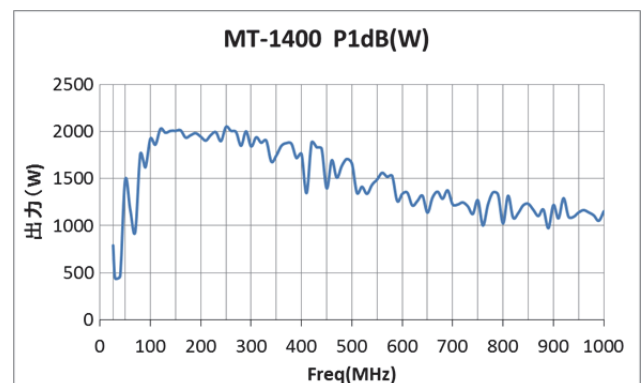


図 4 MT1400 出力特性(実測値)

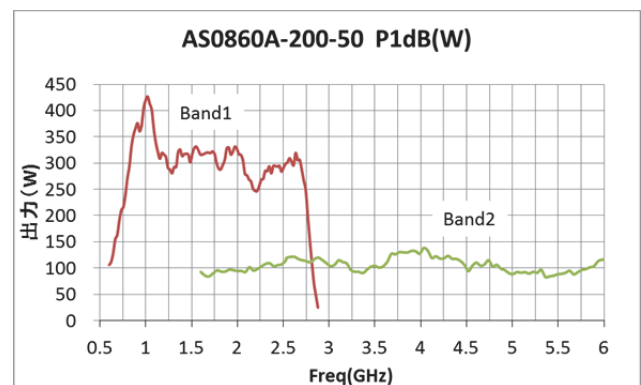


図 5 AS0860A-200/50 出力特性(実測値)

3.3 アンテナ

前記パワーアンプは、ログペリオディック・アンテナ(LPDA:Log Periodic Dipole Array antenna)やハイ・ゲイン・RF ホーン・アンテナ(High-Gain Horn Antenna)などのイミュニティ用アンテナと組み合わせて、放射 RF 電磁界イミュニティ試験に用いられる。

図 6 に採用したログペリオディック・アンテナ STL9128Esp を示す。このアンテナは、7/16 サイズ(内導体外径／外導体内径、単位 mm)のコネクタを搭載した高電力に対応したアンテナで、使用

周波数に依存するが定常状態で約 2 kW の電力まで入力でき、1 GHz までの試験が可能になる。また、これらのパワーアンプとアンテナは医療用途以外の自動車分野(ISO 11452-2)にも適用できる。

図 7 の左図にハイ・ゲイン・RF ホーン・アンテナ ATH800M5GA、図 7 の右図にログペリオディック・アンテナ STLTP-9149 を示す。ハイ・ゲイン・RF ホーン・アンテナ ATH800M5GA は主に自動車用途として用いられる。これらのアンテナを組み合わせることにより、医用電気機器規格の IEC 60601-1-2:2014(第 4 版)の 385 MHz～5785 MHz の放射 RF 電磁界免疫試験が可能になった。また、指向性の高いアンテナを用いることにより車載機器試験用の 200 V/m(CW)や 1 m 距離で ISO 11452-2 の表 C.1 テストレベル IV の 100 V/m(CW)の強電界放射免疫試験にも対応できる。

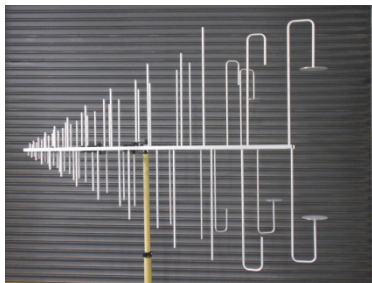


図 6 イミュニティ用アンテナ 80 MHz～1000 MHz
(Schwarzbeck Double Stacked LPDA STLTP-9128Esp)

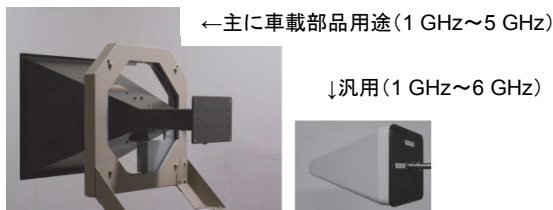


図 7 イミュニティ用アンテナ 1 GHz～6 GHz
右:Schwarzbeck Stacked LPDA STLTP-9149
左:AR High-Gain Horn Antenna ATH800M5GA

3.2.4 車載部品評価用試験テーブル

CISPR25 用の車載部品評価のために、長さ 2.5 m の試験テーブルを電波暗室内に設置し、長いワイヤー・ハーネス等の放射および伝導エミッション試験を行えるようにした。図 8 のように、電波暗室のターンテーブルには接地用のネジ加工を施し、試験テーブル上面板(銅板)から床へと 9 枚の接地板(ground straps)を固定し、規格要求の接地抵抗 2.5 mΩ を満たした。また、現在改定審議が進んでいる CISPR25 における壁面接地にも迅速に対応するため、図 9 のように壁面へ接地用のネジ加工を施した。



図 8 測定テーブル設置例:床面
(自動車部品用 長さ 2.5 m)

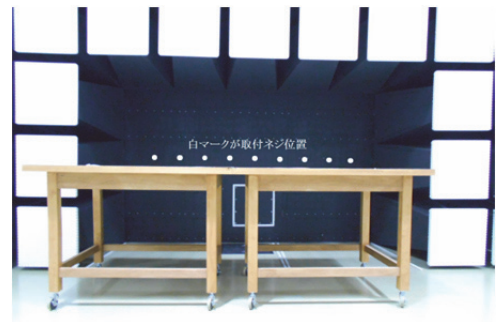


図 9 測定テーブル設置例:壁面
(自動車部品用 長さ 2.5 m)

3.2.5 チルト機構付きアンテナマスト

FCC 規則の Title 47 CFR part15 が要求する ANSI C63.4-2014 規格に対応するために、アンテナ高を変化させたときにアンテナのメインローブが EUT(被測定装置)の指定位置から外れないように自動制御するアンテナのチルト(仰角)機構を備えた。今回設備したチルト機構付きアンテナマストを図 10 に示す。



図 10 アンテナマスト(チルト機構付き)

3.2.6 サージ試験機

サージ試験機にはノイズ研究所製の(雷)サージ試験機 LSS-F03C1ED2 を採用した。この試験器は 15 kV のサージ電圧を印加できる。さらに、外部にサージ減結合回路網(CDN:decoupling network)である高速通信線用重畳ユニット F-130814-1004-4 を取り付け、Ethernet Cable(RJ-45コネクタ)を接続することで高速通信線

へのサージ電圧を印加可能できるようにした。本サージ試験機により、IEC61000-4-5:2014 規格の試験が可能となる。

図 11 にサージ試験機を、図 12 にサージ CDN を示す。



図 11 サージ試験機
(Noiseken LSS-F03C1ED2)



図 12 SURGE CDN
(FCC F-130814-1004-4)

4 NSA による電波暗室評価

4.1 NSA 評価法の概要

側壁や天井の電波吸収体からの反射波が存在する電波暗室と、オープンサイトとでは EMC 試験結果が異なる。

電波暗室の NSA 評価法は、EMC 国際標準規格において 30 MHz～1 GHz 以下の周波数について定めている。同規格では、金属床(完全反射)以外に反射物がない状態(理想オープンサイト)での送受信アンテナ間の減衰量(NSA)を基準値とし、その基準値との偏差が規格値以内(NSA 理論値 ± 4 dB)である場合に限り、電波暗室での測定を認めている。

以下に、NSA 評価手法について説明する。

- ① 理想的なオープンサイトで、NSA(理論値)算出し、基準値とする。
- ② 次に電波暗室の送受信特性を測定する。
- ③ 基準値と測定値との偏差を求める。

評価の詳細を図 13 および図 14 で説明する。

CISPR16-1-4に記載されている測定法では、送信アンテナを図 14 の水平面 5ヶ所(front/center/back/left/right)に配置し、図 13 のように送信アンテナの 2 種類の偏波(水平と垂直)、2 種類の高さ(測定距離が 10 m の場合には、水平偏波で 1 m と 2 m、垂直偏波で 1 m と 1.5 m)で NSA 測定を実施する。

測定を行う際、図 14 のように送受信アンテナをお互に対向させて配置する。距離補正や周波数に依存するアンテナ指向性の補正が不要となるため、送受信特性の基準値(理論値)の算出が容易である。

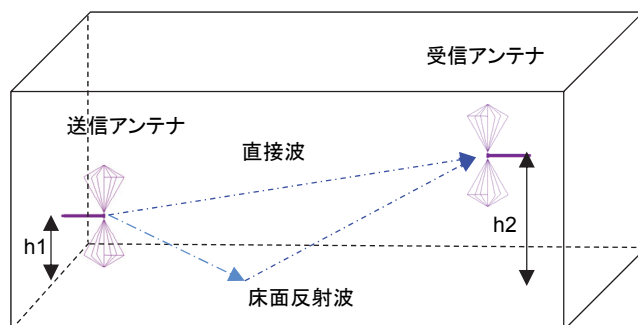


図 13 NSA 測定イメージ
(例 10 m 電波暗室, h1: 垂直偏波 1 m/1.5 m, 水平偏波 1 m/2 m
固定 h2: 1 m～4 m 移動)

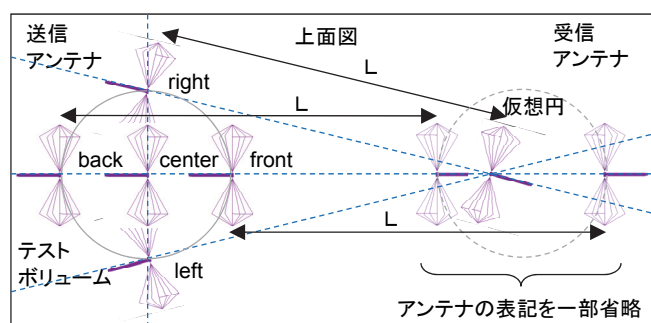


図 14 NSA 測定イメージ
上面図(例 10 m 電波暗室 L: 10 m)

4.2 NSA 基準値

SA(Site Attenuation: サイトアッテネーション)および NSA の基準値を求める計算式は CISPR 16-1-4 に記載されている。

アンテナ間やアンテナと大地間の相互作用や、送受信アンテナの指向性や距離依存等のアンテナ特性の違いにより、補正係数が規定されている。

同調ダイポールアンテナを用いる場合には、同規格に記載(規格の表 E.1 以降参照)されているアンテナ校正時のアンテナ高に対応した近傍界補正係数(相互インピーダンス補正係数)を用いる。測定の効率化を図るために広帯域特性となるパイコニカルアンテナを用いる場合には、ANSI C63.4-2014 に記載の NSA の測定手順に従い、ANSI C63.5-2006 に記載の補正係数を用いる。

4.3 NSA 測定

NSA 測定法には、離散周波数法と周波数掃引法がある。

離散周波数法は、各特定周波数において、各測定位置で受信アンテナを上下させ受信信号の最大値を求める方法で、信号源(SG: Signal Generator)とスペアナを用いて実施する。

また周波数掃引法は、広帯域アンテナと、VNA(Vector Network Analyzer)あるいはスペアナとトラッキングジェネレータ(TG: Tracking Generator)を用いる。アンテナ高と周波数を所要の全

範囲に渡って連続的に掃引し、受信信号をマックスホールド測定することにより実施できる。なお、周波数掃引速度はアンテナ高の変化速度よりも十分に速くなければならない。

NSA の測定では、直線偏波のアンテナが必要であり、これらのアンテナの正確なアンテナ係数が必要である。

4.3.1 スペアナと TG を用いた NSA 測定

ここではスペアナと TG を用いた周波数掃引法について説明する。

- ① スペアナのスパン周波数を 30 MHz～1000 MHz に設定する。
- ② データ・ストレージをマックスホールドに設定する。
- ③ 送受信アンテナの位置ごとに、受信アンテナを 1 m～4 m まで垂直に移動させながら周波数掃引を行い、受信電圧の最大値を求める。なお、周波数掃引速度はアンテナ高の変化速度よりも十分に速くする。
- ④ 送信アンテナの位置を変え、送受信アンテナの間隔が 10 m となるように受信アンテナの位置を変える。
- ⑤ 送受信アンテナはお互いに対向させる。

上記の測定を繰り返し、送信アンテナを図 14 の水平面 5 ヶ所 (front/center/back/left/right) に配置し、送信アンテナの 2 種類の偏波 (水平と垂直)、2 種類の高さ (測定距離が 10 m の場合、水平偏波で 1 m と 2 m、垂直偏波で 1 m と 1.5 m) の計 20 箇所で NSA 測定を実施する。

4.3.2 NSA 測定結果

改良した電波暗室の NSA の評価結果を図 15 から図 18 に示す。

SA の測定結果 20 箇所の中から比較的に NSA 値の大きなデータを掲載した。30 MHz～1 GHz 以下のすべての領域において NSA 値 ± 3 dB を実現し、また 200 MHz～1 GHz の領域では ± 1.8 dB に収まっている。200 MHz でデータが不連続となっているが、これは測定に使用した異なる帯域のアンテナを 200 MHz で切り替えているためである。

耐久性、耐震性や電波吸収性能に優れた電波吸収体を用いた電波暗室の構築により、目標とした NSA 値 ± 3 dB 以内を長期間安定して維持できる EMC 試験環境を構築することができた。

周波数ポイントの多くが ± 1.5 dB に入っていることから、オープンサイト測定した値との差が小さく抑えられる。これはお客さまが被測定機器の EMC 規格に対するマージンを設定する際に有利となる。

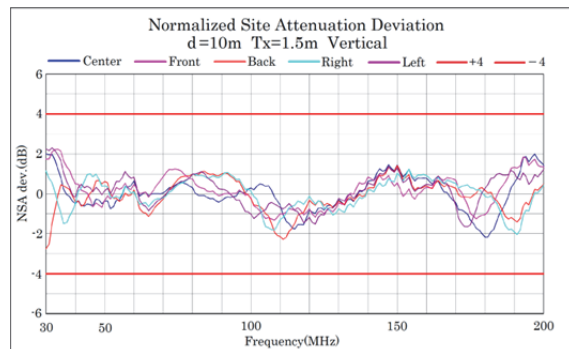


図 15 NSA 偏差
(d=10 m 送信アンテナ高=1.5 m 垂直偏波 パイコニカル・アンテナ)

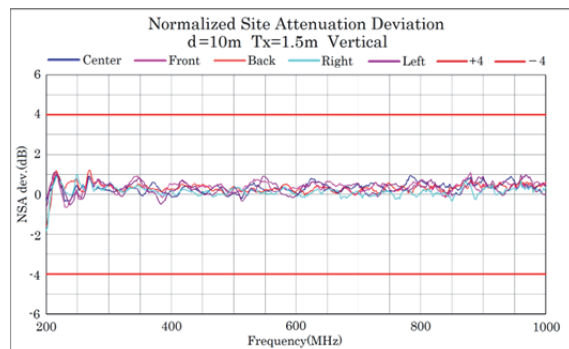


図 16 NSA 偏差
(d=10 m 送信アンテナ高=1.5 m 垂直偏波 ログペリ・アンテナ)

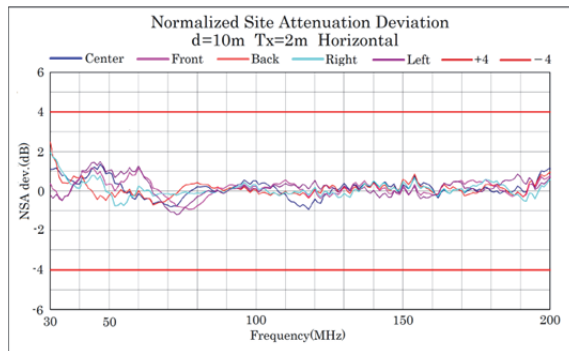


図 17 NSA 偏差
(d=10 m 送信アンテナ高=2 m 水平偏波 パイコニカルアンテナ)

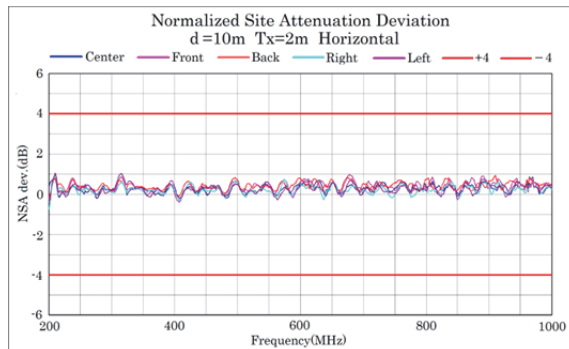


図 18 NSA 偏差
(d=10 m 送信アンテナ高=2 m 水平偏波 ログペリアンテナ)

5 SVSWR による電波暗室評価

5.1 SVSWR 評価法の概要

1 GHz 超のサイト評価法としては、CISPR16-1-4 規格で SVSWR (Site Voltage Standing Wave Ratio: サイト電圧定在比) が規定されている。この方法は、床面にも電波吸収体を敷設して無反射とした全 6 面無反射空間に近い環境において、直接波と周囲の反射等による間接波の干渉による強弱 (定在波比) で評価を行う方法である。送信アンテナから放射された直接波と周辺物からの間接波は干渉を生じ、送信アンテナの移動によって受信アンテナでは電界強度レベルの強弱が観測される。この電界強度レベルの最大値と最小値の差 (dB) または受信器の測定電圧の最大値と最小値の差 (dB) が SVSWR である。この SVSWR が 6 dB 未満であれば、EMC 試験サイトは適合とされる。測定周波数範囲は被試験機器や規格により変わる。一部を紹介する。情報技術機器を取り扱う CISPR22 を引用する IEC 61000-6-3, 4 (一般規格) や日本の VCCI 規格では SVSWR の上限周波数は 6 GHz である。米国の FCC 規則の Title 47 CFR part15 では ANSI C63.4 を引用し SVSWR の上限周波数は 18 GHz である。「計測、制御、および試験所用の電気機器」を取り扱う CISPR11 を引用している IEC 61326-1 のグループ 1 機器いわゆる計測器は 1 GHz 以上の測定はない。

まず、図 19 に従い SVSWR 評価手法について説明する。

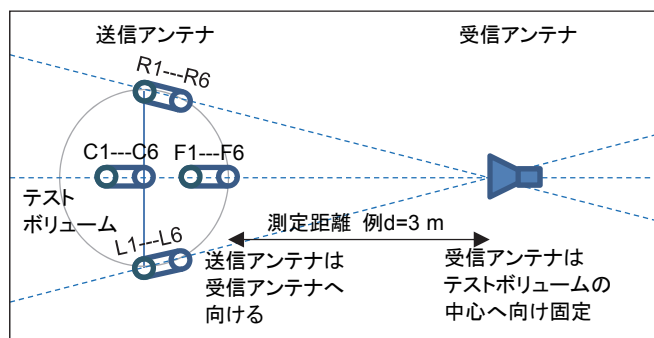


図 19 SVSWR 測定イメージ

上面図 (例 10 m 電波暗室 d: 3 m)

- ① 受信アンテナの水平面上の位置は固定とする。
その高さは送信アンテナと同じ (h1, h2) とする。
- ② 送受信アンテナの高さを h1 として対向させる。
- ③ 送信アンテナを図 19 の front (F6), right (R6), left (L6), center (C6) の測定位置に配置する。

* テストボリウムの直径 > 1.5 m の場合には、center での測定も必要

* h2-h1 > 0.5 m の場合には、front では h1 の高さに加えて h2 の高さの測定も必要

ここで、h2: テストボリウムの上面の高さ

h1: テストボリウムの中心、またはテストボリウムの下面から 1 m の高さのうち低い方

最大で 5 つの測定位置 front (h1), right (h1), left (h1), center (h1), front (h2) となる。

- ④ アンテナ偏波 (水平, 垂直) を設定する。
- ⑤ left と right 位置の場合は、送信アンテナを受信アンテナ方向に 40 cm 近づけ left (L6), right (R6) とする。
- ⑥ 最大 5 測定位置 × 2 偏波 × 6 ポジションについて測定する。参照規格に従い周波数範囲 1 GHz から 6 (最大 18) GHz の範囲をスイープまたは 50 MHz 以下のステップで (50 MHz ステップで 6 GHz までの場合は、101 周波数ポイント) 測定する。(最大 5 測定位置 × 2 偏波 × 6 ポジション × 101 周波数ポイント = 6060 回)
- ⑦ front (F6), right (R6), left (L6), center (C6) を基準の 0 として、基準から +2 cm, +10 cm, +18 cm, +30 cm, +40 cm と受信アンテナから遠ざけて、これらの 6 ポジションの測定をする。
- ⑧ 測定値の最大値と最小値の差 (dB) を求める。

5.2 SVSWR 測定結果

当センターで取扱数が多い CISPR22 に対応した 1 GHz ~ 6 GHz の SVSWR の測定結果を紹介する。SVSWR 測定にはダイナミックレンジの大きな VNA (例: 出力レベル +15 dBm) を用いたことやアンテナを固定するアンテナマストに高周波特性に優れた発泡スチロール系の素材を用いるなどした結果、図 20 ~ 図 24 に示すように規格の 6 dB を下回る良好なデータを得た。

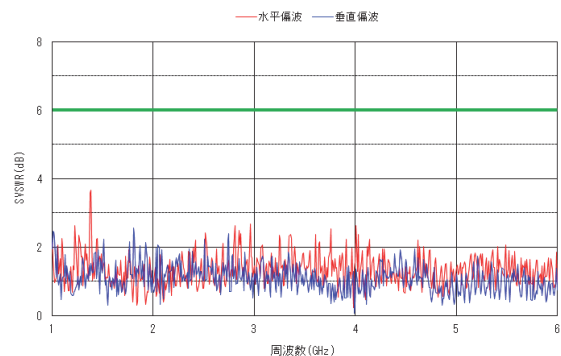


図 20 SVSWR 水平/垂直偏波

(d=3 m 送信アンテナ高 h1=1 m Front)

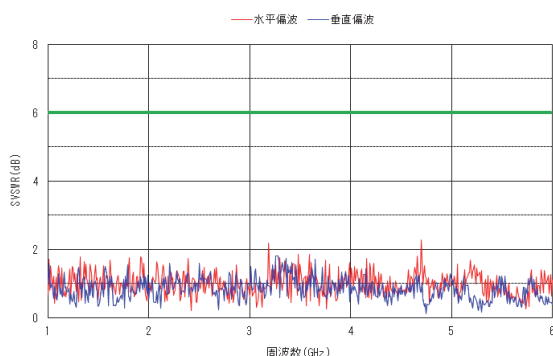


図 21 SVSWR 水平／垂直偏波
(d=3 m 送信アンテナ高 h1=2 m Front)

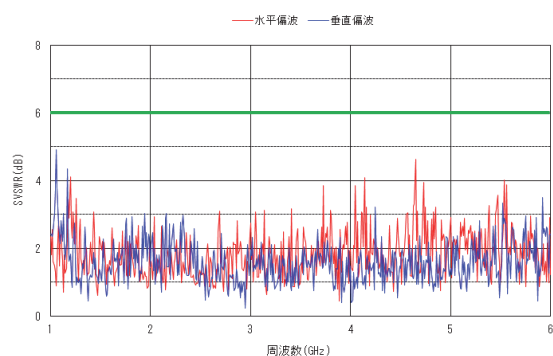


図 22 SVSWR 水平／垂直偏波
(d=3 m 送信アンテナ高 h1=1 m Right)

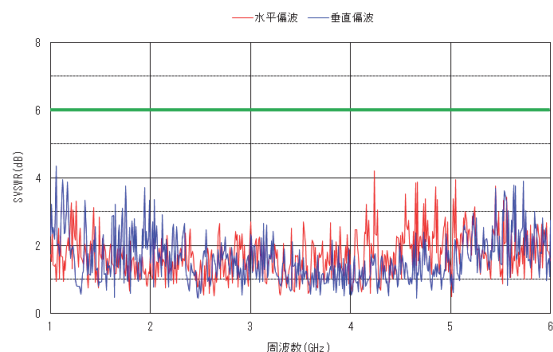


図 23 SVSWR 水平／垂直偏波
(d=3 m 送信アンテナ高 h1=1 m Left)

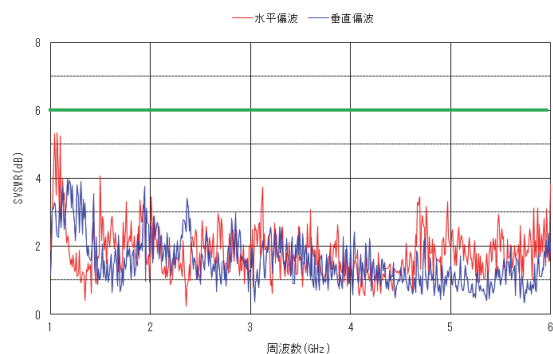


図 24 SVSWR 水平／垂直偏波
(d=3 m 送信アンテナ高 h1=1 m Center)

5 むすび

EMC 試験サイトの電波暗室などの電波吸収体やパワーアンプやアンテナの改善を行い、電波暗室の性能を NSA 法により評価した。今回の改善により電波暗室の NSA 値は ± 4 dB 以内から ± 3 dB 以内に改善し、しかも耐久性、耐震性に優れた EMC 試験環境を構築することができた。NSA の評価では周波数ポイントの多くが ± 1.5 dB に入っていることから、オープンサイトで測定した値との差が小さく抑えられる。これはお客さまが被測定機器の EMC 規格に対するマージンを設定する際に有利となる。また、最新の EMC 試験規格にも対応し、EC61000-4-5:2014「試験技術及び測定技術—サージイミュニティ試験」、および IEC 60601-1-2:2014「医用電気機器の基礎安全及び基本機能に関する一般要求事項—副通則：電磁妨害—要求事項及び試験」の放射 RF 電磁界イミュニティに対応できる EMC 試験サイトを構築することができた。

今後も、試作試験、認証試験、量産試験など開発段階から商品化に至るあらゆるステージでの EMC 品質の向上に貢献していきたい。

当社の EMC 試験サービスの概要は、以下の URL で参照できるのでご覧いただきたい。

- ・ EMC 試験サービス: Web 検索「アンリツ EMC」

<http://www.anritsu-customersupport.com/emc.aspx>

執筆者



高橋 敏行
アンリツカスタマーサポート(株)
EMC センター

公知