

2-6 屋外測定場及び5面電波暗室の性能評価

藤井勝巳 酒井孝次郎 杉山 功 瀬端好一 西山 巖

NICT が所有する屋外測定場及び2011年2月に新設した5面電波暗室の特性評価を、国際規格(CISPR規格)で定められた2種類の評価手法を用いて行った。一つは、放射妨害波測定(EMI測定)用アンテナの校正に用いる測定場(CALTS)としての評価手法、もう一つは、放射妨害波測定に使用する測定場(COMTS)を評価するための基準サイト(REFTS)としての評価手法によるものである。これらの評価手法に従い、測定を行った結果、屋外測定場、5面電波暗室ともCALTS及びREFTSとしての条件を満足していることが明らかになった。

1 まえがき

電子機器などから空間に放射される放射妨害波の測定(EMI測定)は、周波数30 MHz～1 GHzにおいては、グランドプレーンと呼ばれる金属が敷かれた測定場(サイト)で行うことが、国際無線障害特別委員会による国際規格(CISPR規格)をはじめとした各種規格で定められている[1][2]。屋外にグランドプレーンが敷設されたサイトを、一般に屋外測定場またはオープン・エリア・テスト・サイト(OATS: Open Area Test Site)、略してオープンサイト、屋内の電波暗室にグランドプレーンを敷設したサイトを、5面電波暗室や電波半無響室(SAC: Semi-Anechoic Chamber)と呼ぶ。

周波数30 MHz～1 GHzのEMI測定は、図1に示すように、グランドプレーン上に配置した供試機器(例えばコンピュータ)から発生する妨害波を、規格で定められた距離(例えば10 m)だけ離れた場所に配置した受信アンテナで測定することで行われる。EMI測定は、放射妨害波が許容値よりも小さいことを証明するための試験を専門に行う試験業者をはじめ、電機メーカ、電子機器メーカ等で、日々行われており、EMI測定に用いるサイトは国内・国外を問わず数多

く存在する。理想的には、どのサイトで測定しても同じ試験結果が得られなければならないが、同じ試験結果が得られるためには、(1)受信系(アンテナ、ケーブル、プリアンプ、受信機)が、正しく校正されており安定して動作すること、(2)サイトが、平坦なグランドプレーンを有しており、完全反射すると見なせる反射率と十分な寸法を有すること、周囲に反射物がないこと、放送波や周囲からの雑音が十分に小さいことが不可欠である。

そこで、EMI測定の再現性を担保するために、CISPR規格ではサイト評価法については、アンテナ校正用サイト(CALTS: Calibration Test Site)のための評価方法、EMI測定用サイト(COMTS: Compliance Test Site)の適合性を評価するための評価方法、さらにはCOMTSの基準となるサイト(REFTS: Reference Test Site)を評価するための方法を定めている[3]。

本稿は、これらCISPR規格で定められた3つの手法の中から、NICTが所有するOATS及びSACを実際に評価し、CALTS及びREFTSとしての条件を満足するサイトであるか否かを判定する。なお、OATSについては、5年の期間をおいて再び測定した結果も示す。

2 NICTのOATS及びSAC

NICTでは、グランドプレーンを有するサイトとして、OATS及びSACを有している。以下概略を示す。

2.1 屋外測定場(OATS)

OATSはNICT本部の南側敷地にある。OATSの概観を図2、図面を図3に示す。グランドプレーンの大きさは、45 m × 30 mであり、外周は地面に接地

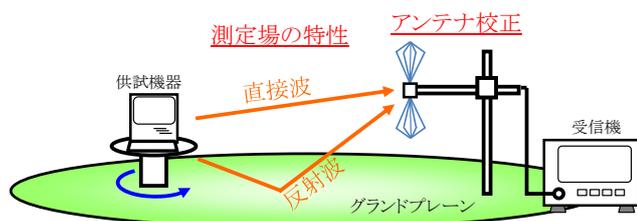


図1 放射妨害波測定

2 較正技術の研究開発

されている。グラウンドプレーンに設置されたピットと隣接した測定小屋との間に同軸ケーブルが埋設されており、測定小屋に置かれた送受信機を用いて、グラウンドプレーン上に置いた送受信アンテナ間の伝搬特性の測定が行える構造となっている。

2.2 5面電波暗室(SAC)

SACはNICT本部の3号館にある。SACの概観を図4、図面を図5に示す[4]。シールドルームとしての大きさは、28.5 m × 17.0 m × 11.7 mであり、壁面及び天井には、フェライトタイルと長さ2.5 mの電波吸収体から構成される「ハイブリッド電波吸収体」が貼られている。オープンサイトの場合と同様、グラウンドプレーンに設置されたピットと測定室との間に同軸ケーブルが埋設されており、測定室に置かれた送受信機を用いて、グラウンドプレーン上の送受信アンテナ間の伝搬特性の測定が行える構造となっている。また、SACには直径5 mのターンテーブル(耐荷重4 t)、さ

らに、その内側に直径1 mの小型ターンテーブル(耐荷重100 kg)が備わっており、大きさの異なる供試体のEMI測定を効率よく行えるようになっている。なお、グラウンドプレーン上に電波吸収体を敷設することによって、6面電波暗室(FAR: Fully Anechoic Room)として使用できる[5]。

3 CALTS 及び REFTS

3.1 アンテナ校正用サイト(CALTS)としての適合性評価法

CALTS(Calibration Test Site)とはEMI測定用のアンテナを校正するために使用するための適合判定条件を満たすサイトのことである。すなわち、EMI測定用アンテナは、CALTSで校正されなければならない。CALTSの条件はCISPR規格[3]で規定されている。EMIアンテナの校正は水平偏波で行う。

CALTSと認められるための条件は、CALTS測定に適した2つの半波長共振ダイポールアンテナを、



図2 屋外測定場(OATS)



図4 5面電波暗室(SAC)

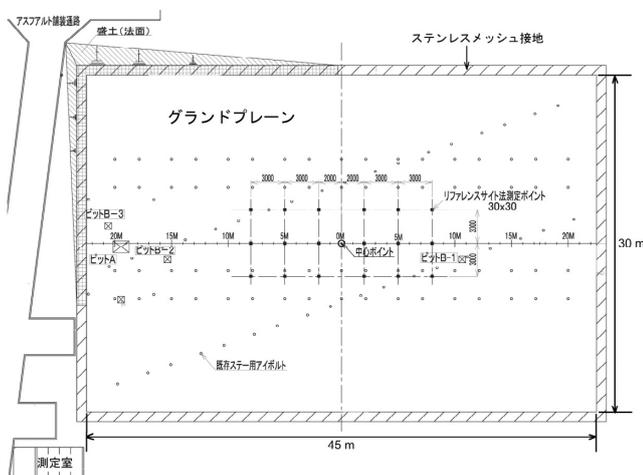


図3 屋外測定場(OATS)の平面図

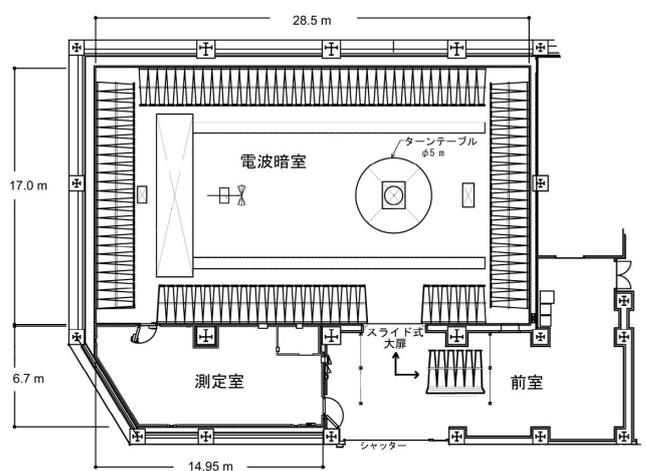


図5 5面電波暗室(SAC)の平面図

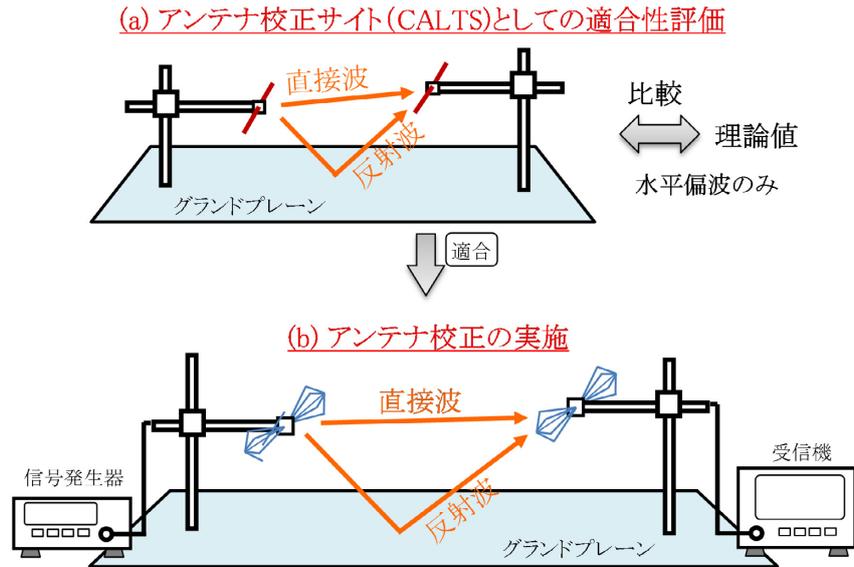


図6 EMI測定用アンテナの校正の概要

図6(a)に示すように、送信アンテナ、受信アンテナとして用い、表1に示すアンテナ配置(水平偏波のみ)にて、電波を伝搬させ、得られるサイト挿入損(SIL: Site Insertion Loss)の測定値 $A_{im}(f)$ [dB]と計算による理論値 $A_{ic}(f)$ [dB]との差が次式を満たすことである。

$$|A_{ic} - A_{im}| < T_{SIL} - \Delta A_{im} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

ただし、 T_{SIL} は許容値1.0 dB、 ΔA_{im} はSIL測定の不確かさである。通常の測定では、 ΔA_{im} は0.3 dB程度である。したがって、測定値と計算値との差が ± 0.7 dB未満であることが、CALTSとして認められるための条件となる。CALTSとして認められれば、図6(b)に示すように、ダイポールアンテナだけでなくEMI測定に使用する広帯域アンテナ(バイコンカルアンテナ、対数周期ダイポールアンテナ)の校正を行うことができる。

3.2 EMI測定サイト評価用基準サイト(REFTS)としての適合性評価法

EMI測定サイト(COMTS)を評価するための方法としては、従来から正規化サイトアッテネーション測定[1][2](NSA測定)と呼ばれる方法が広く用いられている。NSA測定は、計算によって得られた理論値と、EMI測定サイトで測定した測定値との差が ± 4 dB以内であることが判定条件として定められているが、使用する送受信アンテナのアンテナ係数の不確かさが影響して、サイトの特性を正しく評価できないという問題があった。この問題を解決するために、近年、参照サイト法(RSM: Reference Site Method)がCISPR規格として定められた。

図7はRSMの概要である。RSMは、NSA測定と同様、図1のEMI測定を行うCOMTSにおいて、(d)供試機器(妨害波源)を送信アンテナに置き換えて評価を行う。このとき、使用する送受信アンテナ対には、(b)REFTSと呼ばれる基準サイトで測定されたSILの値(水平偏波・垂直偏波)が付与されている(c)アンテナ・ペアを用いる。このアンテナ・ペアを用いて、COMTSで測定を行って得られた値が、REFTSで測定したSIL値と ± 4 dB以内で一致していれば、このCOMTSは、EMI測定を行うための基準を満足するサイトであると判定される。すなわち、RSMは、REFTSにおいて測定した結果が、同じアンテナ・ペアを使ってCOMTSで得られるか否かを比較することで、EMI測定を行ってもよいかどうか、COMTSとしての適合性を判定する方法である。したがって、RSMは、従来のNSA測定法と異なり、送受信アンテナのアンテナ係数による影響を受けることは原理的にない。その代わりに、REFTSの質が良好であることが問題となる。そこで、図7(a)に示すように、REFTS測定に適した半波長共振ダイポールアンテナを用いて、水平偏波の場合には表1で示したアンテナ配置、垂直偏波の場合には表2に示すアンテナ配置で、SILの測定を行い、計算によって得られた理論値と比較することで、REFTSとしての適合性を評価する。

REFTSとして認められるための条件は、表1、2で与えられた送受信アンテナ配置にて得られるSIL測定値 A_{im} と計算による理論値 A_{ic} とが、

$$|A_{ic} - A_{im}| < T_{SIL} - \Delta A_{im} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

を満たすことである。ただし、許容値 T_{SIL} は、水平偏

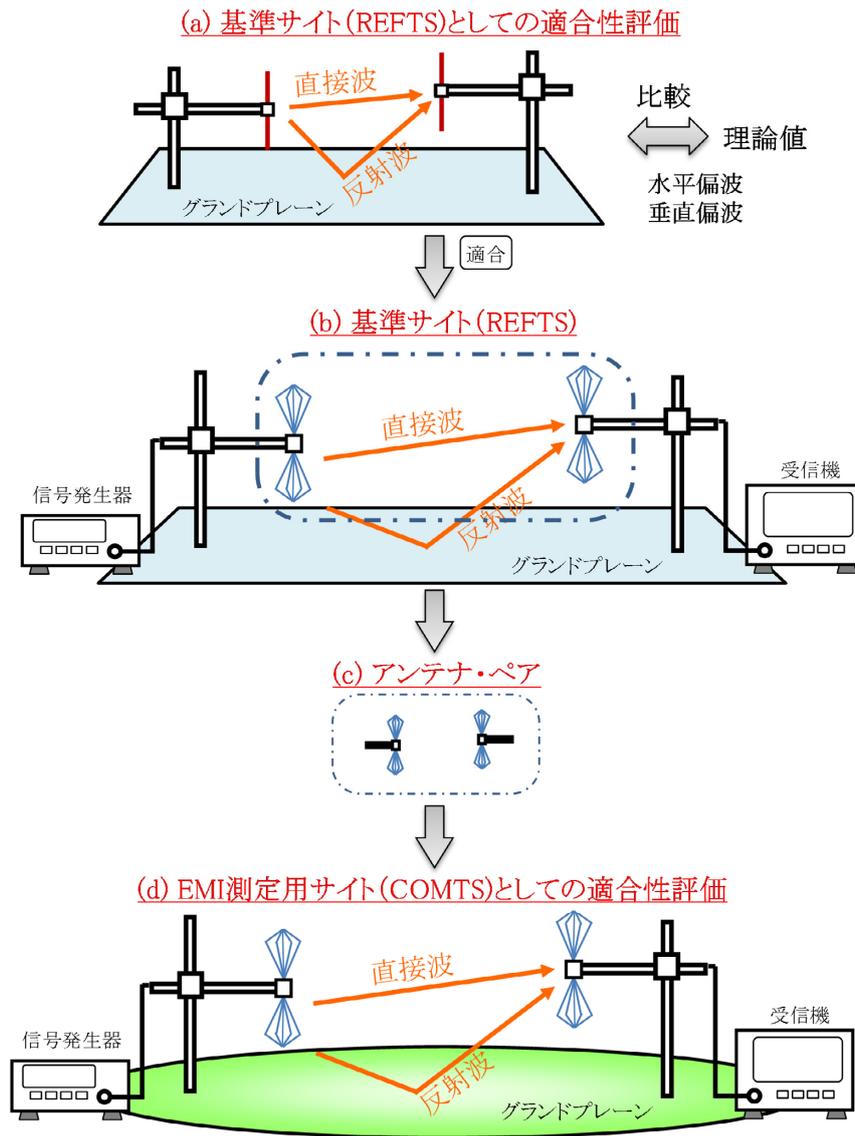


図7 参照サイト法RSMの概要

表1 SIL測定におけるアンテナ配置(水平偏波)
距離 $d=10.00$ m、送信アンテナの高さ $h_t=2.00$ m

Frequency MHz	h_r m	Frequency MHz	h_r m	Frequency MHz	h_r 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	1,000	1.20

波においてはCALTSの適合条件と同じ $T_{SIL}=1.0$ dB、垂直偏波においては $T_{SIL}=1.5$ dB であり、通常の測定では、 ΔA_{im} は 0.3 dB 程度であるので、測定値と計算値との差が、それぞれ、 ± 0.7 dB (水平偏波)、 ± 1.2 dB (垂直偏波) 未満であることが、REFTSとして認

められるための条件となる。

4 測定結果

オープンサイト(OATS)におけるSILの測定は

表2 SIL測定におけるアンテナ配置(垂直偏波)
距離 $d=10.00$ m

Frequency MHz	h_t m	h_r m	Frequency MHz	h_t m	h_r m	Frequency MHz	h_t m	h_r m
30	2.75	2.75	90	2.00	1.15	300	2.00	2.60
35	2.75	2.40	100	2.00	1.00	400	2.00	1.80
40	2.75	2.40	120	2.00	1.00	500	2.00	1.40
45	2.00	1.90	140	2.00	1.00	600	2.00	1.40
50	2.00	1.90	160	2.00	1.00	700	2.00	1.00
60	2.00	1.50	180	2.00	1.00	800	2.00	1.00
70	2.00	1.50	200	2.00	1.00	900	2.00	1.60
80	2.00	1.15	250	2.00	3.10	1,000	2.00	1.60

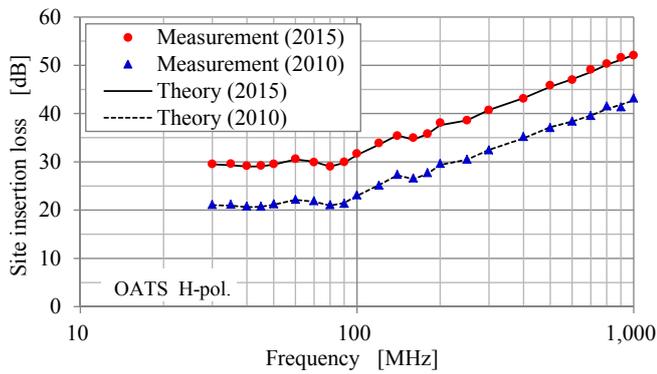


図8 OATSにおけるSIL測定結果(水平偏波)

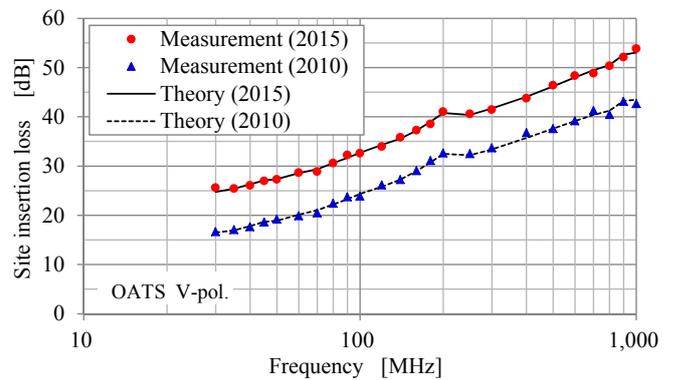


図10 OATSにおけるSIL測定結果(垂直偏波)

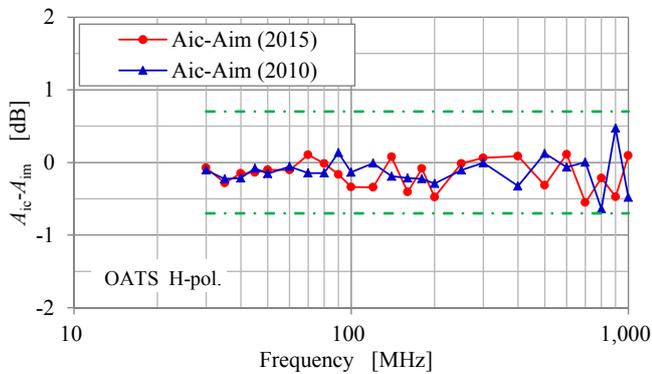


図9 OATSにおけるSIL測定結果の理論値との差異(水平偏波)

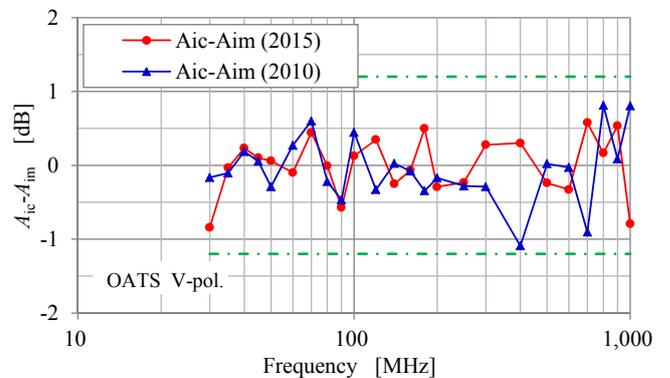


図11 OATSにおけるSIL測定結果の理論値との差(垂直偏波)

2010年9月、5面電波暗室(SAC)におけるSILの測定は2011年1月に行った[4]。また、OATSについては、2015年10月にも再び測定を行った。使用した半波長共振ダイポールアンテナは、2010年度の測定ではAustrian Research Center(現Seibersdorf Laboratories社)のダイポールアンテナ(PRD)を、2015年度の測定ではShaffner-Chase(現TESEQ社)のダイポールアンテナ(6500シリーズ)である。

理論値を求めるに当たっては、ダイポールエレメント間の特性は、モーメント法に基づく電磁界シミュレーションソフトNEC2を用いて計算、バラン部の

特性は、ベクトル・ネットワーク・アナライザを用いて測定したSパラメータを用いて決定した[3][6]-[8]。

4.1 OATS

OATSにおける測定結果を図8~11に示す。図8は水平偏波の場合、図10は垂直偏波の場合である。●印(赤色)は2015年度の測定結果、▲印(青色)は2010年度の測定結果、実線(黒色)及び破線(黒色)は、それぞれの理論値である。両者の差は、2015年度の測定値はダイポールアンテナのバラン部の通過損失を含めてSILを表示しているが、2010年度の測定値は

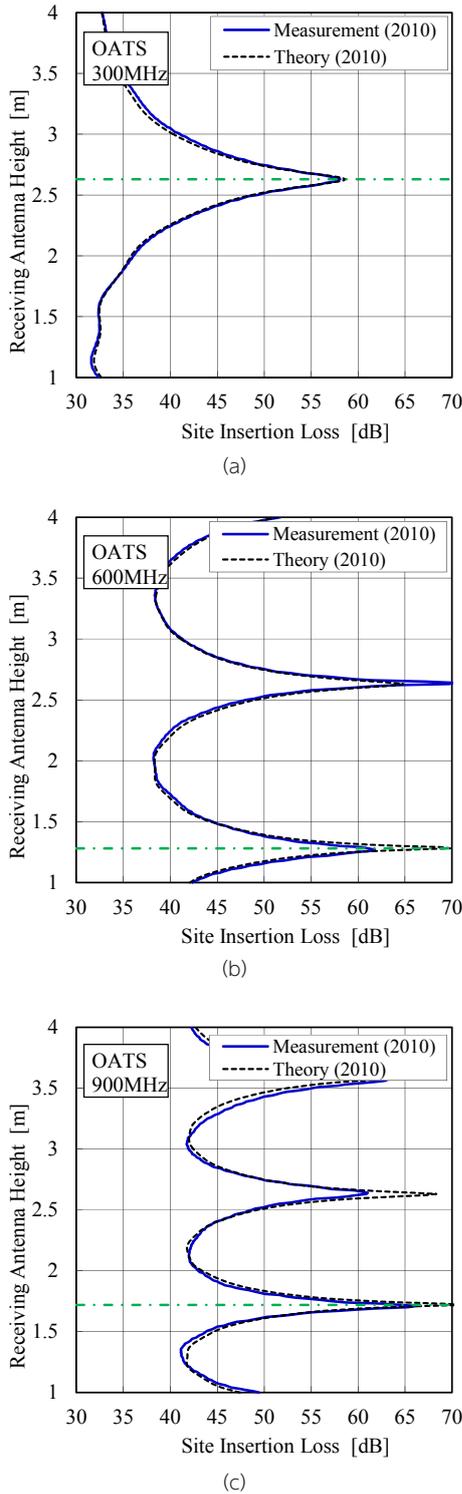


図12 OATSにおいて受信アンテナを高さ掃引した測定結果 (水平偏波)
(a) 300 MHz, (b) 600 MHz, (c) 900 MHz

エレメント間だけの SIL を表示しているためである。それぞれ別の理論値と測定値が得られている。理論値と測定値の差を求めた結果を図9、11に示している。一点鎖線(緑色)の線は、それぞれ CALTS (水平偏波でのみ規定)、REFTS (水平、垂直の両偏波で規定) と認められるために満足すべき許容値 (± 0.7 dB, ± 1.2 dB) である。

これらの結果をみると、いずれの結果も許容値を満足しており、「NICTのOATSはCALTS、REFTSとしての条件を満足している」と言える。周波数が高い範囲で理論値との差異が大きいの、特に垂直偏波の場合に差異が大きくなることから、ケーブルやアンテナマストからの反射の影響であると考えられ、依然として改善の余地があることが分かる。

また、図12は、水平偏波の場合に、周波数300 MHz, 600 MHz, 900 MHzにおいて、受信アンテナを高さ1 mから4 mまで掃引した結果である。直接波と反射波が干渉することで受信レベルが極小(ヌル)となる高さが存在するが、計算により求めたヌルとなる受信アンテナの高さと、測定値が最小となった高さを比較することで、測定結果の妥当性を確認することができる。この検証方法は、CISPR規格[3]にて、測定の妥当性を検証する方法として述べられている。2010年度に測定を行った結果、理論値と測定値のヌルとなる受信アンテナの高さの差は最大で2 cmであり、十分な能力で測定を実施できていることが示された。

4.2 SAC

SACにおける測定結果を図13~16に示す。図13は水平偏波の場合、図15は垂直偏波の場合である。▲印(青色)は測定結果、破線(黒色)は、それぞれの理論値である。理論値と測定値の差を求めた結果を図14、16に示している。一点鎖線(緑色)の線は、それぞれ CALTS (水平偏波のみ規定)、REFTS (水平、垂直両偏波で規定) と認められるために満足すべき許容値 (± 0.7 dB, ± 1.2 dB) である。

図14をみると水平偏波の場合において、許容値 ± 0.7 dB の値を満足していることが分かる。35 MHz, 40 MHz, 140 MHz で比較的差異が大きいののは電波暗室固有の特性の影響、800 MHz で差異が大きいののは、ケーブルやアンテナマストからの反射による影響によるものであると思われる。

同様に、図16において、垂直偏波のSIL測定では、REFTSの許容値 ± 1.2 dB の値を満足していることが分かる。ただし、40 MHz, 45 MHz, 250 MHz の差異が比較的大きい結果が得られているが、こちらも水平偏波の場合と同様、暗室固有の特性である可能性が高い。今後も継続的に測定を行い、理論値との差異の原因を明らかにする必要がある。

図17は、水平偏波の場合に、周波数300 MHz, 600 MHz, 900 MHzにおいて、受信アンテナを高さ1 mから4 mまで掃引した結果である。図に示す測定値は2010年度における結果であるが、理論値と測定値のヌルとなる受信アンテナの高さの差は最大で2 cmであり、これらの測定が妥当であることを確認できた。

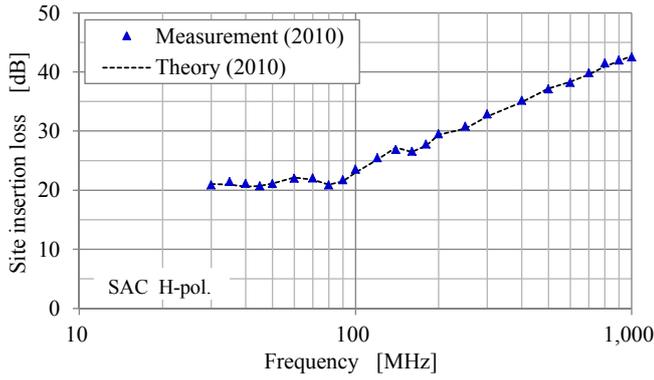


図 13 SACにおけるSIL測定結果(水平偏波)

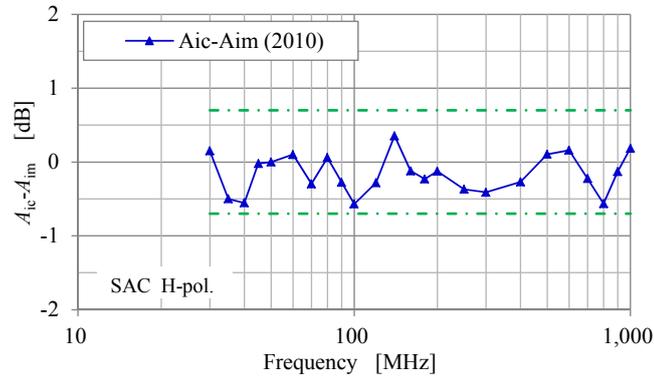


図 14 SACにおけるSIL測定結果の理論値との差異(水平偏波)

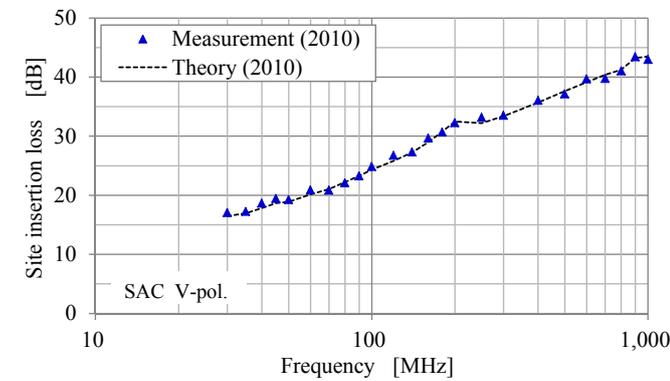


図 15 SACにおけるSIL測定結果(垂直偏波)

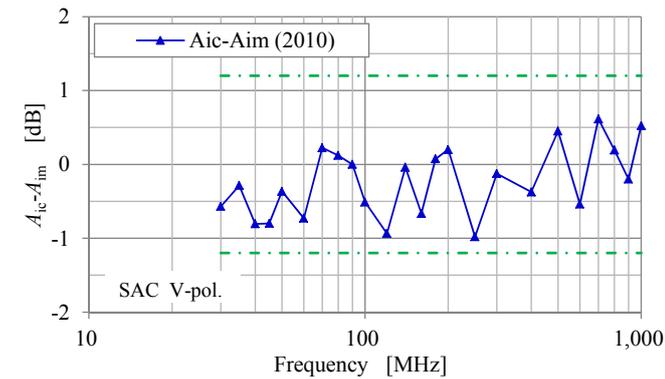
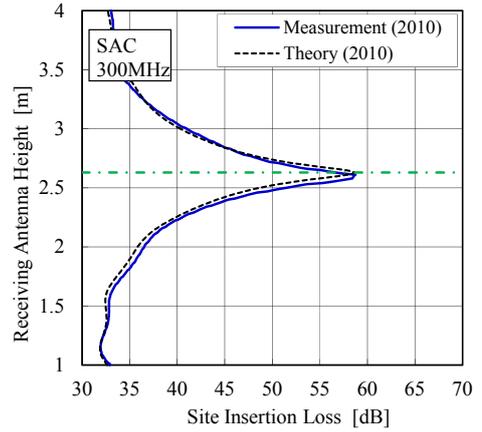
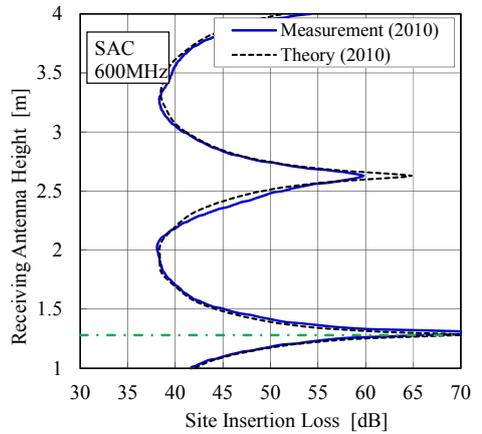


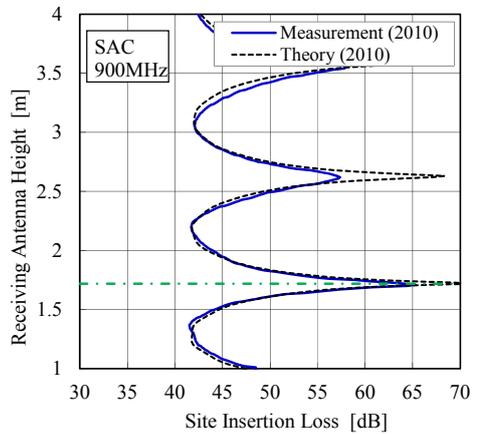
図 16 SACにおけるSIL測定結果の理論値との差(垂直偏波)



(a)



(b)



(c)

図 17 SACにおいて受信アンテナを高さ掃引した測定結果(水平偏波)
(a) 300 MHz, (b) 600 MHz, (c) 900 MHz

5 おわりに

CISPR規格で定められたEMIアンテナの校正に用いるサイト(CALTS)の適合性評価法及びEMI測定に使用するサイトの適合性を評価するための基準サイト(REFTS)を評価する方法を用いて、NICTが所有する屋外測定場及び2010年度に新設した5面電波暗

2 較正技術の研究開発

室の特性測定を行った。なお、屋外測定場は実際の校正業務に使用しており、周囲環境等の影響を受ける可能性もあるので、経年変化を確認するために2010年度と2015年度の2回、測定を実施した。その結果、屋外測定場は、2回の測定ともCALTS及びREFTSとしてのサイトの条件を満足することが明らかになった。同様に5面電波暗室もCALTS及びREFTSの条件を満足することが分かった。今後も定期的に測定を行い、測定場としての性能を保証することで、アンテナ校正の質を維持していく。

【参考文献】

- 1 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antennas and test sites for radiated disturbance measurements, CISPR 16-1-4, Edition 3.1, 2012-07.
- 2 VCCI 協会, VCCI 規定集 付則 1 技術基準, V-3/2015.04, April 2015
- 3 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and method - Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antenna calibration sites and reference test site for 5 MHz to 18 GHz, CISPR 16-1-5, Edition 2.0, 2014-12.
- 4 藤井勝巳, 山中幸雄, 松本泰, "NICT 5面/6面共用大型電波暗室～5面電波暗室としての測定～," 信学技報, EMCJ2011-21, pp.69-74, May 2011.
- 5 藤井勝巳, 山中幸雄, 松本泰, "NICT 5面/6面共用大型電波暗室～6面電波暗室としての測定～," 信学技報, EMCJ2011-69, pp.47-52, July 2011.
- 6 M. J. Alexander, M. J. Salter D. A. Knight, B. G. Loader, and K. P. Holland, "Calibration and use of antennas, focusing on EMC applications," A National Measurement Good Practice Guide, no.73, Dec. 2004, available from http://www.npl.co.uk/publications/good_practice/
- 7 M. Alexander, M. Salter, B. Loader, and D. Knight, "Broadband Calculable Dipole Reference Antenna," IEEE Trans. on EMC, vol.44, no.1, pp.45-58, Feb. 2002.
- 8 M. Alexander and M. Salter, "EMC antenna calibration and the design of an open area antenna range," Proc. of Electromagnetic Measurements Conf., pp.31/1-31/3, Nov. 1989.



杉山 功 (すぎやま つとむ)

電磁波研究所
電磁環境研究室
主任研究員
無線用測定器の較正



瀬端好一 (せばた こういち)

電磁波研究所
電磁環境研究室
主任研究員
無線用測定器の較正、測地学



西山 巖 (にしやま いわお)

電磁波研究所
電磁環境研究室
無線用測定器の較正



藤井勝巳 (ふじい かつみ)

電磁波研究所
電磁環境研究室
研究マネージャー
博士(工学)
無線用測定器の較正、環境電磁工学



酒井孝次郎 (さかい こうじろう)

電磁波研究所
電磁環境研究室
有期研究技術員
無線用測定器の較正