

# 簡易電波暗室の 1GHz 超放射エミッション規格への対応

藤本正克\*・川畑将人\*<sup>2</sup>・尾前 宏\*<sup>3</sup>・石松賢治\*<sup>4</sup>

## Compliance with Radiation Emission Regulations above 1GHz for Compact Anechoic Chamber Masakatsu Fujimoto, Masato Kawabata, Hiroshi Onomae, Kenji Ishimatsu

### 1. 緒言

近年では電子情報機器の高速処理化や高密度実装が進み、更に無線 LAN 等の無線通信機器の普及も急速に進んでいる。このため電磁妨害波(EMI)問題が、従来よりも高い周波数で起こるようになり、2005年に CISPR は EMI 測定を 1GHz 超にも拡張する規格を規定した<sup>1)</sup>。それにともない VCCI 協会では 2011年 10月より情報技術装置の 1GHz を超える放射妨害波規制を実施している<sup>2)</sup>。

CISPR では、1GHz 超の EMI 測定においては自由空間での測定を規定しているため、EMI 測定環境である電波暗室の評価法もサイト VSWR (以下、SVSWR と称する)法が CISPR 16-1-4<sup>3)</sup>によって規定された。また、国内でもこれに準じた測定法<sup>4)</sup>が VCCI によって規定された。そのため、電波暗室も規格に適合するための対応が必要となる。

そこで、容易でかつ安価な簡易暗室の改修を目的として、安価なピラミッド型電波吸収体を用いて SVSWR 測定を実施した。その結果、電波吸収体の配置を工夫することで、規格を満足させる測定環境を実現することができた<sup>4)</sup>。また、産業技術総合研究所 (以下、産総研と称する)が提案した 1GHz 超 EMI 測定サイト比較法<sup>5)</sup>の光-電気変換デバイス内蔵アンテナ (以下、標準発振器と称する)を EUT (擬被試験機器)として EMI 測定を実施し、その結果と SVSWR 測定結果を比較することで、最適な電波吸収体の配置の検討を行った<sup>6)</sup>。

### 2. 実験方法

#### 2.1 SVSWR 測定法

VSWR は分布定数回路における電圧定在波比の考え方を空間電磁界に適用したものである。受信アンテナ出力における受信電圧の最大値と最小値の比で表されるため、1GHz 以下のサイトアッテネーション法と異なり、アンテナ係数を知る必要がないという点でメリットがあるとされている。

CISPR16-1-4 に規定されている SVSWR 測定法を図 1 に示す。電波暗室内に設置可能な最大の被試験機器を配置する円筒形状の試験空間(Test Volume)を定義する。高さの同じ水平面に Front, Center, Right, Left の試験ポイントを配置する。X<sub>1-6</sub>(X:F,C,R,L)は受信アンテナに対して一直線上に配置され、受信アンテナに最も近い点を X<sub>6</sub>とする。X<sub>n</sub>(n:5-1)は X<sub>6</sub>からそれぞれ受信アンテナから 20, 100, 180, 300, 400mm だけ離れた点とする。X<sub>n</sub>(n:1-6)の点に配置した送信アンテナに一定の電力

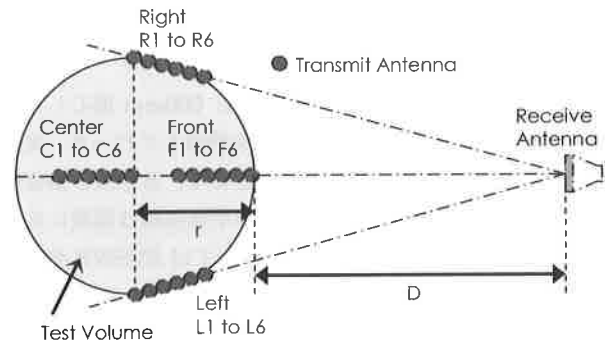


図 1 サイト VSWR 法の測定配置

を供給し、受信アンテナの受信電圧 V<sub>Xn</sub>を測定する。なお、受信電圧は式(1)により距離減衰を考慮した規格化を行う。

$$V'_{Xn} = V_{Xn} + 20 \log(L_{Xn} / L_{X6}) \text{ (dB}\mu\text{V)} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、L<sub>Xn</sub>は X<sub>n</sub>における送受信アンテナ間距離とする。V<sub>Xn</sub> (n:1-6)の 6 点における受信電圧の最大値及び最小値を V<sub>Xmax</sub> 及び V<sub>Xmin</sub>としたとき、SVSWR は次式で与えられる。

$$\text{SVSWR}_X = V_{X_{\max}} - V_{X_{\min}} \text{ (dB)} \dots\dots\dots (2)$$

この測定を全ての点で水平、垂直偏波に対して行い、全ての位置における SVSWR が 6dB 以下であることを要求している。また、全方向での測定が必要なため、測定に用いる送信アンテナには広い指向性を要求し、半波長ダイポールアンテナに類似した指向性を有するアンテナが規定されている。

なお、CISPR16-1-4 では、1-18GHz の範囲で上記測定法を規定しているが、当面の EMI 測定に必要なとされる測定範囲は 6GHz 以下であるため、今回は 1-6GHz の範囲に限って測定を実施した。

#### 2.2 EMI 測定システム

産総研が提案した EMI 測定システムを図 2 に示す。システムは EUT として用いる標準発振器と受信アンテナ、ベクトルネットワークアナライザ (以下、VNA と称する)、ターンテーブルで構成される。VNA の出力信号をレーザーダイオードに入力して光強度変調信号を生成し、光ファイバ、フォトダイオードを通して標準発振器に供給され電波を放出する。また、標準発振器には別のフォトダイオードも内蔵され、別のレーザーダイオードからの光による給電システムとなっている。また、標準発振器を回転させるターンテーブルもバッテリー駆動で、制御信号も光ケーブルを用いている。

\* 企業支援部電子応用グループ \*2 福岡県工業技術センター  
\*3 鹿児島県工業技術センター \*4 熊本県産業技術センター

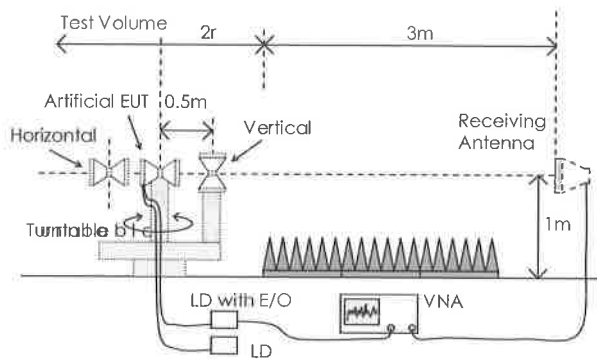


図2 EMI測定システムの測定配置

測定はターンテーブルの中心(Center)と500mm偏心した位置(Outside)で、高さ1mに標準発振器を設置して行った。実際の測定と同様にターンテーブルを回転させて、水平及び垂直偏波でMAXHOLDでの測定を行った。標準発振器は偏波にあわせて向きを変えた。電波吸収体配置についてはSVSWR測定を実施した配置とした。

### 2・3 測定環境及び条件

山口県産業技術センターで保有する簡易暗室の大きさを表1に示す。簡易暗室は1GHz以下の電波吸収特性を有するフェライトタイルが床面以外の5面に敷き詰められている。長さは約7m、幅は3.5m、高さは3.9mの簡易暗室となっている。

簡易暗室内に配置する電波吸収体は60cm×60cm角の発泡スチロール製及び紙製電波吸収体を用いた。発泡スチロール製電波吸収体(リケン環境システム製 PFP30)は床、側面及び背面に配置した。側面及び背面に関しては前面に保護カバーを取付け、3段もしくは4段で自立させた状態で設置した。この電波吸収体は1GHzで約30dB、6GHzで約40dBの吸収特性を持つ。但し、300MHz以下ではフェライトタイルの吸収特性を低下させてしまうため常設はできない。また、紙製電波吸収体(TDK製 ID-045)は天井及び背面に配置した。設置はマジックテープにより行った。使用した電波吸収体は1GHzで約6dB、6GHzで約20dBの吸収特性を持つ。なお、ID-045はGHzの吸収特性は低いものの、紙製のため発泡スチロール製より軽量で、かつフェライトタイルと併用することでMHz帯の吸収特性もあるため常設が可能な吸収体である。

次に測定条件を表2に示す。各々の測定にはVNA(Agilent製 E5071C)を用い、測定周波数は1-6GHzとした。SVSWR測定の規格では50MHz間隔での測定と規定しているが、より詳細な測定を行うために5MHz間隔で詳細な測定を実施した。受信アンテナSchwarzbeck製BBHA9120Bを用いた。受信アンテナのビーム幅 $\theta_{3dB}$ については、E-面またはH-面のいずれか小さい値をデータシート<sup>7)</sup>から引用した。測定は水平及び垂直偏波で行った。

SVSWR測定では送信アンテナにスモールパイコニカルアンテナ(Schwarzbeck製SBA9119)を用い、IF帯域幅は1kHz、送信パワーは+10dBmとし、受信アンテナ開口部からFrontのF<sub>6</sub>ポジションまでの距離は3mとした。テストボリュームは各簡易暗室のターンテーブルの直径とし、Front, Center, Left

表1 測定環境

大きさ	L7.00m×W3.55m×H3.90m
ターンテーブル	1.5m

表2 測定条件

#### (a)SVSWR測定

IF帯域幅	1kHz
測定距離	3m(受信アンテナからF <sub>6</sub> まで)
テストボリューム直径	1.5m, 1.2m (ターンテーブルと同じ)
測定位置	Front, Center, Right, Left
送信アンテナ	SBA9119 (Schwarzbeck)

#### (b)EMI測定

IF帯域幅	100Hz
測定距離	3m+テストボリューム半径(Center)
測定位置	1)ターンテーブル中心 2)500mm偏心した位置

#### (c)共通条件

測定周波数	1~6GHz(5MHz間隔, 1001ポイント)
送信パワー	+10dBm
受信アンテナ	BBHA9120B(Schwarzbeck)
3dBビーム幅	68deg.(1GHz), 35deg.(3GHz) 22deg.(6GHz)
VNA	E5071C(Agilent)

及びRightの4ポジションにおいてVNAにより $S_{21}$ を測定し、各ポジションのSVSWRを計算した。

EMI測定ではIF帯域幅は100Hz、送信パワーは+10dBmとし、受信アンテナ開口部からターンテーブル先端までの距離は3mとした。EUTとなる標準発振器はターンテーブル中心と500mm偏心した場所に設置し、5°間隔でターンテーブルを回転させ測定し、その各周波数の最大値を測定値とした。また、リファレンスとして産総研の大型電波暗室での測定値を用いた。

## 3. 実験結果

### 3・1 SVSWR測定

最初に簡易暗室で電波吸収体の配置を検討するために、床面、背面、側面及び天井に吸収体を設置してSVSWR測定を実施した。図3に測定した電波吸収体の配置を示す。また、図3に示す配置(i)~(v)の測定結果を図4に示す。

電波吸収体を床面、側面及び背面に設置した場合(i)では、1.0~2.2GHzで6dB以上となった。特に水平偏波で大きな値を示した。そのため、反射面で唯一吸収体を設置していない天井に吸収体を設置することを検討した。その結果、天井に電波吸収体を設置した場合(ii)では、殆どの周波数範囲で6dB以下となり特性がかなり改善された。特に水平偏波では、全周波数範囲で小さくなっており、天井での吸収体による減衰が有効であることがわかった。しかしながら、1.010GHz(Center:H)、1.015GHz(Right:V)で6dB以上となった。(但し、規格による50MHz間隔での測定の場合には基準値以内となる)

そこで、アンテナ後方での反射波の影響を改善させるため受信アンテナ横に吸収体を設置した場合(iii)では、全て

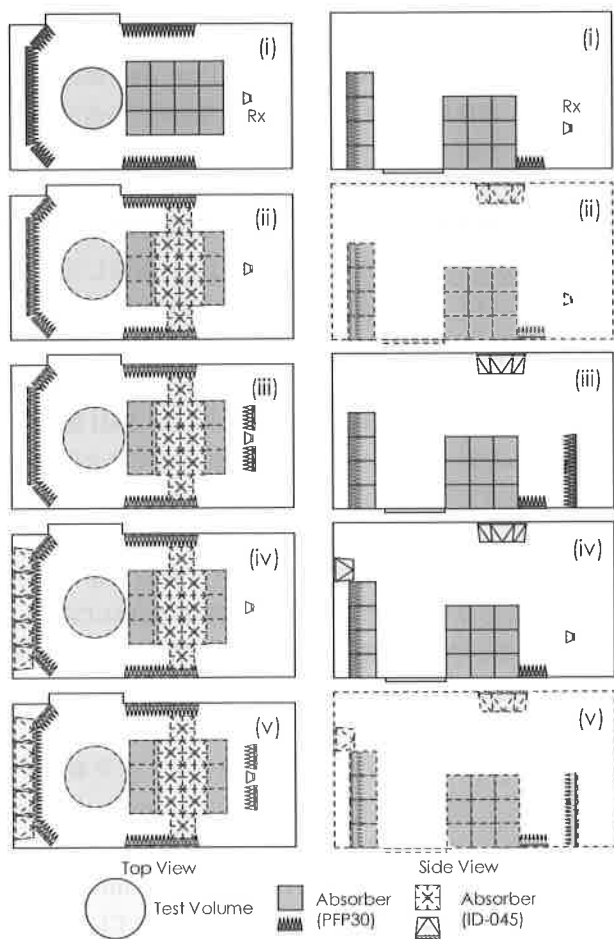


図3 電波吸収体の配置

の周波数範囲で6dB以下を実現できた。また、同様に背面での吸収特性を改善させるために背面にさらに1段追加した場合(iv)でも全ての周波数範囲で6dB以下を実現できた。これにより1~2次反射での影響以外にも、3次以上の高次反射による影響を抑える必要があることがわかった。さらに、アンテナ横及び背面の追加の両方の配置の場合(v)には、全ての周波数範囲で5dB以下となり、測定や設置の位置の誤差に起因した測定値の差を考慮しても充分規格を満足する配置とすることができた。

以上の結果から、追加する電波吸収体配置は(iii)、(iv)及び(v)の全てで規格を満足し、SVSWR測定値で比較すると(v)は最適な配置であることがわかった。

### 3・2 EMI測定

次に標準発振器を用いたEMI測定を行った。図5に図3の配置(v)での標準発振器をターンテーブル中心と500mm偏心させた場合の結果を示す。また、リファレンスとして産総研での測定結果もあわせて示す。なお、光コネクタでの接続の再現性に問題があったため、タイムドメイン波形から各々の直接波の強度を求め補正を行っている。

全ての測定結果から山口産技は産総研と比較して変動の大きい波形となっている。特にターンテーブル中心での垂直偏波の変動が大きいことがわかった。

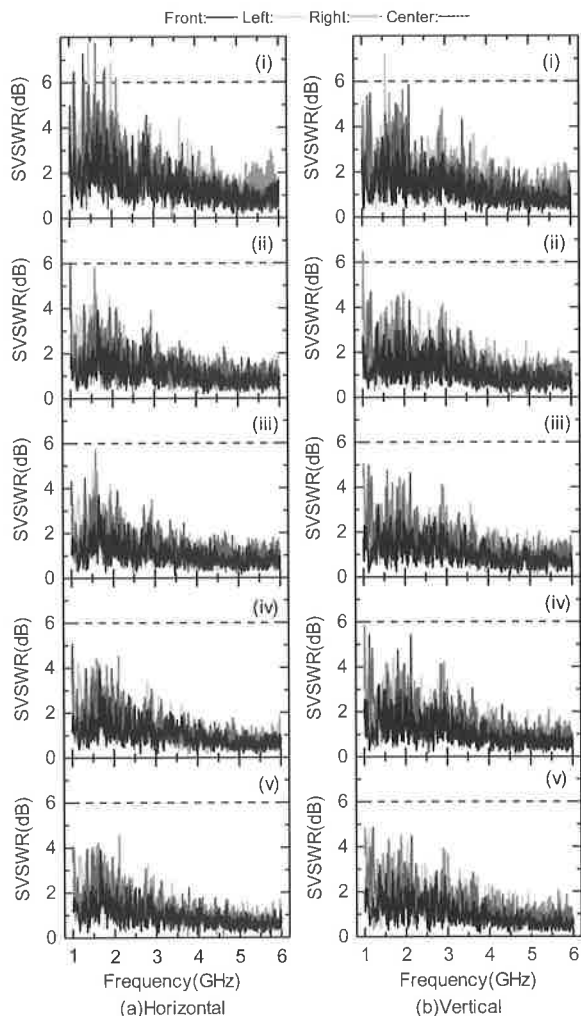


図4 配置(i)~(v)におけるSVSWR測定結果  
(水平・垂直偏波)

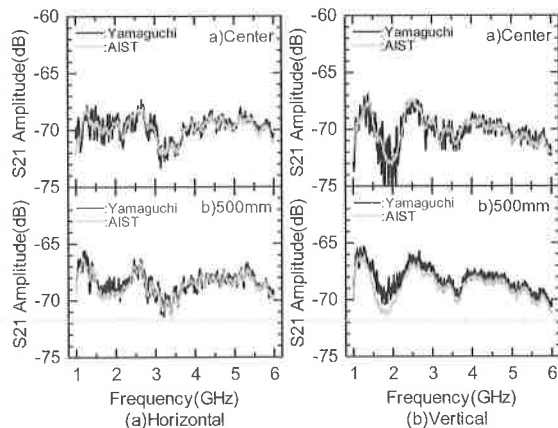


図5 EMI測定結果(実測値)

これはターンテーブルには電波吸収体を設置できないため、金属面となっていることによる反射の影響と、他の測定位置と違い、ターンテーブルの回転でアンテナまでの伝搬経路が変化しないためだと考えられる

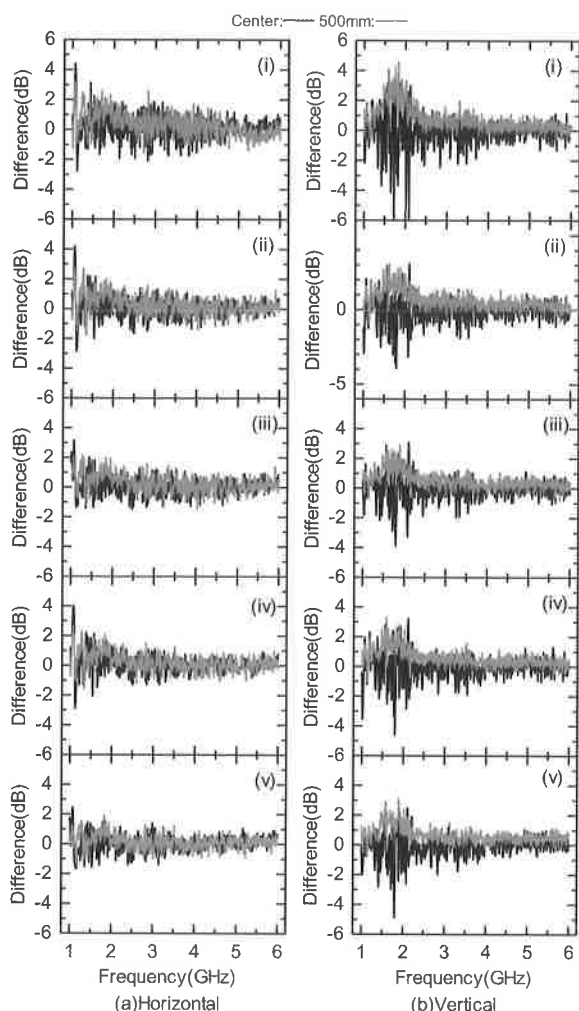


図6 配置(i)~(v)における EMI 測定結果  
(リファレンス(産総研)との差分)

表3 SVSWR 測定結果と EMI 測定結果の比較

a) Center				
(dB)	Horizontal		Vertical	
	SVSWR	EMI	SVSWR	EMI
(i)	7.25	4.41	5.85	5.98
(ii)	6.05	4.20	4.67	3.95
(iii)	4.46	3.16	4.98	3.88
(iv)	5.07	4.03	5.42	4.63
(v)	4.04	2.48	4.83	4.89

b) Outside				
(dB)	Horizontal		Vertical	
	SVSWR	EMI	SVSWR	EMI
(i)	7.72	3.31	7.17	4.59
(ii)	5.81	3.24	6.46	3.08
(iii)	5.70	2.82	5.04	2.91
(iv)	4.51	3.25	5.83	3.31
(v)	4.45	2.80	4.82	3.15

そのため、上記の影響を抑制するためには、SVSWR 測定では問題とならなかった伝搬経路の反射を抑制する必要がある。但し、実際の EMI 測定ではターンテーブルの側面に沿って配

置するためターンテーブル中心に配置されることは少ない。そのため実際の測定での影響は少ないと考えられる。

次に図3に示す電波吸収体配置(i)~(v)での EMI 測定結果を図6に示す。結果はリファレンスである産総研との差分を示している。どの配置の測定でも中心に置いたときの垂直偏波が最も大きい差を示した。また、1~2GHz 帯域が 2GHz 以上の帯域より大きい差を示した。これはアンテナの指向性が、周波数が大きくなるにしたがって小さくなることに起因していると考えられ、このことは SVSWR 測定結果と同じ結果を示した。しかしながら、SVSWR 測定と違った結果を示すところもみられた。例えば、SVSWR 測定では大きなピークは水平偏波では 1GHz、1.5GHz 及び 2.0GHz 付近にあったが、EMI 測定では 1.0GHz のみ測定された。また、SVSWR 測定では水平偏波と垂直偏波に大きな差はみられないが、EMI 測定では Center での垂直偏波が大きい結果となった。

配置(i)~(v)での SVSWR 測定の最大値と EMI 測定の差分の最大値の比較を表3に示す。a)では SVSWR 測定は Center と EMI 測定の中心での測定結果を、b)では SVSWR 測定の Front, Right, Left と EMI 測定の 500mm 偏心した場合を比較している。

ターンテーブルの中心での測定において、水平偏波では SVSWR 測定と EMI 測定では EMI 測定の方が小さい値となったが、垂直偏波では両者は大きい差は見られなかった。配置による違いにおいては、水平偏波では共に配置(i)と(ii)が大きく、(iii)と(v)が小さい値を示し、良い相関性が得られているのに対し、垂直偏波では、配置(ii)と(iii)のように逆転する配置となり相関が悪い結果となった。

一方、500mm 偏心させた測定においては、水平偏波と垂直偏波共に SVSWR 測定より EMI 測定が小さい値となっている。これは EMI 測定においては標準発振器を回転させてその最大値を測定していることから、伝搬経路が変化し測定値の変動が小さくなるのが原因だと考えられる。また、配置による違いについても配置によっては差が大きく相関が悪い結果となった。

SVSWR 測定及び EMI 測定の両方の測定結果から配置を検討すると、配置(iii)と(v)の水平偏波では配置(v)の方が小さい値を示したのに対し、垂直偏波では(iii)の方が小さい値を示した。これは、垂直偏波での SVSWR 測定では問題とならなかった伝搬経路が存在し、EMI 測定に影響することを示している。

以上のことから、SVSWR 測定による結果と標準発振器を用いた EMI 測定の結果で異なる点があることがわかった。そのため、サイトの評価には SVSWR 測定だけでなく、実際の EMI 測定での評価が必要であると考えられ、実際の測定により近い EMI 測定の結果を重視すれば、検討した配置の中では(iii)が最適な配置であると考えられる。

#### 4. 結論

簡易暗室において安価な電磁吸収体を用いての GHz 化を行った。その際の吸収体配置を、SVSWR 及び光-電気変換デバイス内蔵アンテナと測定システムを用いた EMI 測定を実施し

た。その結果、規格に準拠した電波暗室の改良を、電波吸収体を追加することで可能となった。また、規格の評価方法である SVSWR 測定のみで最適配置を決定することで、SVSWR 測定では確認できない伝搬経路があることがわかった。そのため、その伝搬経路の有無を確認するためにも EMI 測定も同時に実施することで、より測定環境の良い吸収体配置を検討することができた。

#### 謝辞

本報告は九州山口知事会政策連合(公設試連携)の研究会「電波暗室の共同測定及び GHz 測定への対応」で得られた結果である。関係者に感謝します。

また、測定機材の提供と有益なご助言をいただいた産業技術総合研究所 黒川悟氏、飴谷充隆氏、TDK(株)電波エンジニアリング部 斎藤寿史氏に深く謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) CISPR 22 Ed.5, Amd.1 : "Information technology equipment-Ratio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement", (2005)
- 2) 一般財団法人 VCCI 協会: 「VCCI 規定集」, V-3/2012.04, 付則 1 技術基準, (2012)

- 3) CISPR 16-1-4 Ed.2.1 : "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4 : Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Ancillary equipment - Radiated disturbances", (2008)
- 4) 藤本正克・川畑将人・尾前宏・石松賢治: 「発泡ピラミッド吸収体を用いた簡易電波暗室のサイト VSWR 測定」, 電気学会研究会資料(計測研究会), IM-11-007, pp29-33 (2011-2)
- 5) 黒川悟・飴谷充隆・廣瀬雅信: 「1GHz 超 EMI 測定サイト比較試験法」, 電気学会研究会資料(計測研究会), IM-11-018, pp47-50 (2011-2)
- 6) 藤本正克・川畑将人・尾前宏・石松賢治・飴谷 充隆・黒川 悟: 「簡易電波暗室における Site VSWR 測定結果と擬似被試験機器を用いた EMI 測定結果との比較」, 電気学会研究会資料(計測研究会), IM-12-024, pp6-14 (2012-6)
- 7) Schwarzbeck Mess Elektronik : " Double Ridged Broadband Horn Antenna BBHA 9120 B", <http://www.schwarzbeck.com/Datenblatt/ri9120b.pdf>, 参照 Jan. 2011.