

著作:電波環境協議会

第 39 号

EMCC	レポー	\vdash	

EMCCレポート第39号 目次

•	CISPR 16-4-4改定に関する動	向 3 国立研究開発法人情報通信研究機構 松本 泰
•	2022年度 妨害波委員会の活動 エミッション測定でのループス	アンテナの設置高可変の検討と課題
•	2022年度 イミュニティ委員会の 近接電磁界イミュニティ試験の その2	 活動 D適用除外規定(IEC 61000-4-39、8.6.2節)に関する調査研究 一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会(CIAJ) 電磁妨害対策委員会 出原 昇
•	第21回技術講演会を開催 …	
	編集後記	

CISPR 16-4-4 改定に関する動向

国立研究開発法人情報通信研究機構 松本 泰

1. はじめに

CISPR/TR16-4-4は、無線業務の保護に必要な妨害 波許容値の算出に用いるモデルを記載した技術報告 書(TR)である。このTRの初版は2003年11月に発 行されており(前身はISM装置の許容値の決定法を 記載した1987年発行のCISPR 23である)。TR16-4-4 の現行版2.2版は2020年4月の発行である[1]。この間、 周波数1GHz以上や30MHz以下の許容値モデルの追 加、太陽光発電用の電力変換器の許容値設定への適用 例の追加など、何度かの改定が行われてきた。しかし その結果、構成が複雑化し、また章や対象周波数によっ て考え方や用いる変数標記に一部相違が生じていた。 さらに、近年の装置数の増加に伴う許容値設定法の見 直しが度々 CISPR 総会の議題にのぼったことなどか ら、この技術報告書の第3版に向けた全面改訂が行わ れることとなった。この作業は現在、CISPR SC-Hの WG8において行われており、2023年11月に第1CD (CIS/H/491/CD) が発行されている。本稿では改定 に向けた現時点(2024年1月)における審議状況につ いて述べる。なお現行版のTR16-4-4には無線干渉苦 情統計の様式も含まれるが、これはCISPR/TR16-4-6 として独立させることが決まっている。このため、こ こでは許容値設定法についてのみ紹介したい。

2. CISPR/TR16-4-4を用い た許容値設定の考え方

2.1 干渉シナリオ

ここではまず、CISPR/TR16-4-4に基づく妨害波許 容値設定の基本的な考え方を述べる。概念図を図1に 示す。受信機は無線業務のサービスエリアの端部で動 作していると仮定し、所望波電界強度が利用可能な必 要最小値 E_W であるとする。また受信機から距離 r 離 れて単一の妨害源があり(複数波源による妨害波の集 積は考慮しない)、それにより生じている妨害波電界 強度が $E_i(r)$ であるとする。無線受信の保護に必要な 基本的な条件は、

$$E_i(r) \le E_w - R_p \quad (\mathrm{dB}\mu\mathrm{V/m}) \tag{1}$$

と表される。ここで R_p は同一チャネル混信保護比 である。様々な無線業務に対する電界強度最小値と 保護比は、IECのWEBページ(https://www.iec.ch/ emc/radio-services-database)に公表されている無線 業務データベースを参照する。



2.2 保護距離と最悪ケース許容値

次に、妨害波許容値を定義する距離 d を定める必要 がある。この距離は保護距離と呼ばれる。住宅環境に おいては保護距離10mが代表的な値として使われて いる。これは臨家にある受信機の保護を意図している とされている。一般に妨害波電磁界強度は波源からの 距離の減少に従って増加する。このため保護距離にお いて許容値を満足する妨害源であっても、受信機まで の離隔距離が保護距離よりも近ければ式(1)を満足し なくなる。したがって保護距離 d は波源と保護され るべき受信機間の離隔距離の下限とみなされる。なお

保護距離以内にある(受信機使用者が同一敷地で使用 する)妨害源は、必要であれば受信機使用者がOFF する、あるいは場所を変えることなどの対処により干 渉を回避できるとされている。

式(1)において受信機に入力される妨害波強度が 最大になる場合(「最悪ケース」と呼ぶ)を考えると、 距離減衰が最小(すなわち離隔距離rが保護距離dに 等しい)かつ、距離減衰以外の減衰要素が最小(妨害 波の指向性が受信機を向き、所望波周波数に妨害波ス ペクトルがピークを持ち、受信時間に妨害波強度も最 大となるなど)の場合となる。このような最悪ケース においても保護条件を満足する妨害波強度は、最悪 ケース許容値と呼ばれ、

$$E_{max}(d) = E_w - R_p \ (\mathrm{dB}\mu\mathrm{V/m}) \tag{2}$$

により表される。試験においてこの最悪ケース許容 値への適合性を判断するためには、保護距離 d と等し い測定距離 dmにおいて、妨害波強度の方向、周波数、 動作モードなどにおける最大値を検出し、式(2) に 示す最悪ケース許容値と比較することになる。

2.3 確率的要素を用いた許容値導出

実際の状況では、上記のような空間・時間・周波数 領域の全てにおいて無線受信と一致した最大妨害波強 度(すなわち最悪ケース)が常に発生するわけではな いことを考慮する必要がある。さらに妨害波の位置や 周波数スペクトルや時間変動、指向性は一般に予測は 難しく、確率的な事象として扱うのが便利である。こ の点を考慮し、CISPR/TR16-4-4では許容値に影響を 与えうるいくつかの要素を導入し、式(1)の条件が所 定の確率(たとえば80%)で満足できるための許容 値を算出する方法を示している。現行版では代表的な 確率として下記が例示されている。

- P1: 妨害波放射が受信機方向へ指向する確率
- P2:受信機アンテナ指向性が妨害波源方向へ向く 確率
- P3:受信機が固定である確率*
- P4:所望信号の周波数帯域に妨害波が入る確率
- P5: 妨害波レベルが許容値に対しマージンを持つ 確率*
- P6:妨害波が無線受信へ大きな影響を与える確率

P7: 妨害波発生と無線受信の時間が一致する確率

P8: 妨害波源が無線受信に影響する場所に位置す

る確率

P9:受信機がサービスエリア端に位置し,かつ許 容値程度の妨害波が発生する確率*

P10:妨害波が建物による減衰を受ける確率

ただし、*を付したP3、P5、P9については、その 定義や必性を疑問視する意見もSC-H/WG8内にあり、 改訂版の第1CDでは各国内委員会に意見照会を行っ ている。また、確率P6の影響の一部は、CISPR16-1-1 で規定された測定受信機の重み付検波機能で補正され ていることに注意が必要である。

上記それぞれの確率に対応して、最悪ケースにお ける妨害波受信電力からの干渉量の減少分(単位dB) を確率的要素(ランダム変数)とみなし、その平均値 と標準偏差を定義する。たとえば確率P1に対応して、 妨害波放射指向性の最大方向に対する妨害波放射強度 の減少量(正の値)の平均をμ1、その周囲の標準偏 差をσ1とする。単位はいずれもdBである。

次に許容値計算を簡単にするため、P1~P10にそれ ぞれ対応したランダム変数が独立で、その和が正規分 布に従うと仮定する。これは個々のランダム変数の従 う確率分布が既知であることが一般に期待できない一 方で、有限な分散を持った独立な多数のランダム変数 の和が正規分布に漸近する性質による。以上の仮定の 下で、式(1)で表される無線の保護条件を確率αで満 足するために必要な、保護距離αにおける最大許容可 能な妨害波強度は下記で与えられる。

$$E_i(d) = E_w - R_p + \sum_n \mu_n - t_\alpha \sqrt{\sum_n \sigma_n^2} \quad (dB\mu V/m) \quad (3)$$

ただし μ_n と σ_n は、それぞれ確率 P_n に関する確率的 要素(妨害波強度の最悪ケースからの減少分 dB)の 平均値と標準偏差であり、 t_α は平均0、標準偏差1の 標準正規分布の α 分位点である。さらに製品からの 妨害波強度が標準偏差 σ_i を持ち、許容値に対する適 合率を β とすると、許容値は次のようになる。

 $E_{limit}(d) = E_i(d) + t_\beta \sigma_i$

$$= E_w - R_p + \sum_n \mu_n + t_\beta \sigma_i - t_\alpha \sqrt{\sum_n \sigma_n^2} \quad (\mathrm{dB}\mu\mathrm{V/m}) \quad (4)$$

ここで t_{β} は標準正規分布の β 分位点である。ただ し許容値への適合確率と許容値に対するマージンの考 え方についてはSC-Hの中でも議論があり、改定版の 第1CDでは $t_{B}\sigma_i$ の項は除かれている。

2.4 系統的要素による妨害波許容値の変換

前節で述べた許容値は保護距離における電界強度 (受信機がフェライトバーアンテナなど磁界アンテナ を用いる場合は磁界強度)与えられている。試験場に おける妨害波測定において、上記と異なる測定条件を 用いる場合は、次のような系統的要素を用いて許容値 を変換する。

- 1) 保護距離と異なる測定距離
- 2) 所望波の帯域幅と異なる測定分解能帯域幅
- 電磁界強度と異なる測定量(例えば端子電圧やコ モンモード電圧などの伝導妨害波強度)
- アンテナの偏波損(測定偏波面が限定されている 場合)

なお、3)の放射妨害波強度と伝導妨害波強度の変 換係数は実環境における実測結果の統計に基づくが、 固定値(系統的要素)として扱われている。

3. CISPR/TR16-4-4の改定 に関する動向

本節では全面改訂における現時点(第1 CD 発行時 点)における内容について述べる(今後の審議動向に よって変更される可能性がある)。

3.1 改定の基本方針

現行版からの主要な変更は下記の通りである。

- 技術報告書本編には周波数に依存しない許容値導 出法とその説明を記載し、現在附則として収録され ている特定の製品や周波数における許容値導出事例 やその根拠は別の出版物「許容値の設定根拠」とし て独立させる。この出版物については、今後TR16-4-4の改定が進んだ時点でドラフト作成作業が開始 される予定である。
- 2) 干渉苦情統計の部分を独立した出版物(CISPR/ TR16-4-6)として分離する。
- 3) 周波数や章によって相違のあった系統的要素と確率的要素を整理する(定義の明確化、表記の統一含む)。特に周波数や時間の一致確率(一致/不一致の二値の場合)について、対応する確率的要素(dB単位の平均・標準偏差)の定義や表記法を整理し、

許容値計算への適用方法と条件を明確化する。

- 許容値計算に用いることについて疑義のある確率
 的要素は、その旨を編集者注として記載し、各国
 NCに情報提供を要請する。
- 5) 無線業務サービスエリア端部における所望波レベルの変動(標準偏差)は許容値計算から除外し、所望波レベルは固定値とする(無線業務データベースには所望波レベル変動の情報がない。また保護比は一般には所望波レベルあるいは所望波/雑音電力比の関数になるが、これもCISPRエキスパートにとっては入手困難であるため)
- 6) 各無線業務・周波数に対して計算された許容値に 基づき、1本の許容値ラインを周波数の関数として 引く際の考え方を追記する。

一方、従来のCISPR許容値設定法の基本的考え方 は維持している。具体的には

- 7) 1対1の干渉シナリオ(単一の妨害波源から一つの無線受信機への干渉を想定)。複数波源による妨害波の集積は考慮しない。
- 8) 許容値を定義する波源・受信機間の距離(すなわち保護距離)よりも内側に存在する可能性のある妨害波源からの寄与は仮定しない。
- 9) 妨害波源と無線受信の空間・時間・周波数の一致 の確率と対応する確率要素、および必要とされる無 線受信の保護確率をそれぞれ考慮し、無線システム のサービスエリア端における所望波強度に対して所 定の保護確率で正常受信が達成できる条件で許容値 を調整する。
- 10) 最終的な妨害波許容値は、本技術報告書に 記載した方法により算出された「技術的許容値」 (Technical CISPR limitと呼んで最終的許容値とは 区分)だけでなく、許容値への適合性判断のため の測定法の難易度、製品が許容値に適合するため の技術的難易度や経済的効果などの事項も考慮し て定める。ただし上記事項は「non-technical」な要 素として詳細は本技術報告書に含めない。

上記変更点のうち、1)、2)は主として編集上の事項 であるので、次節以降では3)確率的事項の定義と許 容値計算への適用法について干渉シナリオを含めて紹 介する。

3.2 干渉シナリオ

図2左に示すように複数の妨害源と無線受信機が混 在する状況を想定する。波源はランダムな位置に置か れており、それぞれからの妨害波の放射指向方向も ランダムとする。妨害波源の周囲の濃い部分は妨害波 強度が強いことを模式的に表現している。任意の受信 機に対する二次元の干渉シナリオを図2右に示す。受 信機アンテナの指向性最大方向は所望波到来方向と一 致している。また受信アンテナ位置を原点とし、干渉 に寄与する妨害波源は受信機からの距離が保護距離 d からrmまでの円環状の領域内に密度 ρ でランダムに 分布するとする。



図2 複数波源と受信機が混在する状況の模式図(左)と 任意選択した受信機に対する干渉シナリオ

次にいくつかの重要なパラメータについて述べる。

- 規格化波源数 πd²ρ:環境に対する波源の混雑度 を示すパラメータとして、半径が保護距離 d の円面 積に波源密度を乗じた規格化波源数 πd²p を用いる。 住宅環境において保護距離が10mとすると πd²はお よそ314m²であり、世帯当たりの平均的な敷地面積 に近い(CISPR/H/WG8に提出された資料によると オランダでは平均敷地面積の最頻値はほぼ400m²、 日本では約200m²である)。従って保護距離10mの 場合の規格化波源数は、波源となる装置の世帯普及 率に相当する。
- (2) 伝搬係数 x: 簡単のため、妨害波源を点波源で表し、妨害波電力の距離 r による減衰を、保護距離 d を基準として次式で表す。

$$f(r) = \left(\frac{d}{r}\right)^{2x} \tag{5}$$

ここで定数 x は伝搬係数であり、周波数や状況に より1~3程度の値となる。自由空間の遠方界では x=1である。短波帯における地表波伝搬やマイクロ 波の市街地伝搬においては、伝搬係数は1よりも大き くなる。

3.3 対象波源の選択と受信妨害波強度の分布

複数波源による妨害波の集積効果を考慮しない1対 1の干渉シナリオでは、無線受信に影響する一つの波 源による妨害波強度に対し、無線保護条件(式(1))を 所定の確率で満足することが条件となる。なお、受信 機のアンテナ指向性を確率要素として考慮する場合、 アンテナ利得の最大方向は通常、到来方向と一致する。 一方、妨害波に対するアンテナ利得は最大値からの差 分(利得低下分)が確率要素となる。波源から受信機 までの妨害波の減衰が、式(5)で表される距離減衰の みであれば、受信機に最も近い波源からの妨害波が対象 となる。距離減衰以外の減衰要因が存在する場合、考 慮すべき妨害波源の選択は次の2種類の考え方がある。

1) 最寄りの波源

最も受信機に近い(距離減衰が最小の)波源を特定 し、その波源からの妨害波に対して距離減衰以外の要 因を考慮して受信妨害波強度の確率分布を推定し、所 定の確率で無線保護条件(式(1))を満足するように 許容値を定める。図2に示す様に、保護距離 d の外側 に一様ランダムに波源が分布する場合、最寄りの波源 までの距離は保護距離を下限として切り取られたレイ リー分布となり、それによる dB 単位の距離減衰は下 限が 0 dB で切り取られた対数レイリー分布となる [2]。 場所一致の確率要素の平均と標準偏差は、上記の距離 減衰(dB)の確率分布から決定される。

2) 最強の波源

距離減衰とそれ以外の減衰の和(dB単位)が最小 となる(すなわち受信点から見て最強の妨害波を発す る;必ずしも最寄りの波源とは限らない)波源を対象 として受信妨害波強度分布を推定し、所定の確率で無 線保護条件(式(1))を満足するように許容値を定め る。この場合、対象となる波源までの距離は、距離減 衰以外の減衰要素の取る値に依存する。したがって対 象となる妨害波の距離減衰(場所一致の確率要素)と、 それ以外の確率要素は独立ではなくなる点が1)と異 なる。

3) 最寄り波源と最強波源による受信妨害波強度の比較

いくつかの波源密度について最強波源からの妨害 波強度分布を計算した結果を図3の実線で示す。図中 の矢印は、最強波源による規格化受信妨害波強度に おける80パーセンタイル値である。無線保護の確率 が80%の場合、すなわち妨害波強度が式(1)の右辺 $E_w - R_p を確率80%で下回る場合、図3に示す80パー$ $センタイル値は<math>E_w - R_p$ に相当する。従って図3にお ける80パーセンタイル値が負の場合、横軸の0 dB(保 護距離に波源があり距離減衰以外の減衰要素のない最 悪ケースの受信妨害波強度)との差に相当する量だけ 許容値の緩和が可能となる。

比較のため最寄り波源による妨害波強度の確率分布 を図3の点線で示す。最強波源による分布と比較する と、やや負(図の左側)にシフトしている。波源密度 が小さい場合には最寄り波源と最強波源による妨害波 分布は、それぞれの最頻値よりも右半分の分布では重 なる部分が多い。しかし波源密度が高くなると両分布 の差は増大する。このため例えば80パーセンタオイ ル値に基づく許容値計算結果の差も大きくなると考え られる。この点は以降の節で言及する。



伝搬係数 x=1、距離減衰以外のランダムな減衰は、平均10dB、 標準偏差3dBの正規分布に従うと仮定

3.4 確率要素による妨害波強度分布への影響

図4は、図3と同様の条件における、最強波源によ る受信妨害波電力の確率分布を、より小さい波源密度 まで比較した結果である。

1)低波源密度条件下における確率要素の効果

規格化波源数が0.03以下(保護距離を10mとした 場合には普及率3%以下に相当)では、規最強波源に よる格化妨害波強度分布は類似した形状を示す。



図4 最強波源による受信妨害波電力の確率分布の例。伝搬係 数 x=1、距離減衰以外のランダムな減衰は平均10dB、標 準偏差3dBの正規分布に従うと仮定

文献[2]に示す検討結果によると、これらの分布は 対数レイリー分布に漸近し、その最頻値(分布のピー ク) は $xA_{\rho} + xA\alpha$ (dB)、平均値 は $xA_{\rho} + xA\alpha + 2.5x$ (dB) で与えられることが知られている。ただし

$$xA_{\rho} \equiv 10x \log_{10}(\pi d^2 \rho) \text{ (dB)}$$
(6)

$$xA_{\alpha} \equiv 10 x \log_{10} \left(\langle \alpha^{\frac{2}{x}} \rangle \right)$$
 (dB) (7)

 $\langle \alpha_x^2 \rangle$ は、距離減衰以外の妨害波振幅に対する全減 衰要素(真値)の2/x 乗の平均値を表す(文献[2]では 変数αを妨害波電力に対する減衰量としているので平 均値は $\langle \alpha_x^1 \rangle$ と表されていることに注意)。最頻値と平 均値の差は最頻値の正側に分布の裾が長い非対称性に より生ずる。式(6)は規格化波源数(保護距離10mの 場合は世帯普及率)のdB変換値であり、場所一致の確 率要素による妨害波強度の平均低下分に相当する。一 方式(7)は場所以外の確率要素による妨害波強度の低 下分を表す。式(6)(7)の合計は10x log₁₀ ($\pi d^2 \rho \langle \alpha_x^2 \rangle$) となり、これは波源密度 ρ が場所以外の一致の確率要 素によって間引かれて (α_x^2)倍に減少したのと等価で ある。以下に式(7)による波源間引き効果の例をいく つか述べる。

① 放射指向性および受信アンテナ指向性

各妨害波源の放射指向性と受信アンテナ指向性が 真値でそれぞれ g_t 、 g_r で表され、それらの最大値が g_{t_max} 、 g_{r_max} であるとする。それぞれの最大利得 方向が、全方向に対し一様ランダムな方向を取りうる 場合、式(7)は(指向性が定義されるのは遠方界 x =1 であること、受信電力は指向性利得に比例すること、 および指向性利得の全方位平均値は1であることを考 慮すると)下記のようになる。

 $xA_{\alpha} = 10\log_{10}\left(\langle g_{t}^{1}\rangle \langle g_{r}^{1}\rangle\right) = 10\log_{10}\left(\frac{1}{g_{t_max}g_{r_max}}\right)$ $= -G_{t_max} - G_{r_max} \text{ (dB)} \tag{8}$

ただし *G_{t_max}*, *G_{r_max}* は、最大指向性のdB表記で ある。式(8)の結果は、波源の間引き係数が最大利得 の逆数に相当することを示す。所望波と妨害波の到来 方向が同じ場合、受信アンテナの指向性利得は両者に 対して同じ効果を与える。しかし指向性の鋭い受信ア ンテナは、実効的に寄与する可能性のある波源数を減 らす効果があると解釈できる。

② 妨害波強度が離散的二値分布に従う場合

無線受信中に一定強度の妨害波が時間率P₇で放射 され、残りの時間率1-P₇では強度ゼロの場合を考える。 各波源が独立・ランダムにこのような放射を行う場合、 式(7)は、

 $xA_{\alpha} = 10 x \log_{10}(P_7) (dB)$ (9)

となる。これは波源数がP₇倍に間引かれたのと等 価であり、一致確率のdB変換値に伝搬係数xを乗じ た結果になる。これは距離減衰が大きいほど、妨害波 の発生が局所的であり、波源密度が低ければ干渉が発 生しにくいことを反映している。無線信号の帯域内に 妨害波が現れる確率がP₄の場合も同様であり。時間一 と周波数一致が独立に生ずる場合は、下記で表される。

 $xA_{\alpha} = 10 x \log_{10}(P_7) + 10 x \log_{10}(P_4)$ (dB) (10) 2) 高波源密度条件下における確率要素の効果

次に図4において規格化波源数が0.31(保護距離 10mの場合には世帯普及率31%に相当)以上の条件 における分布に注目すると、規格化波源数の増加に伴 う最頻値の増加は頭打ちになり、最頻値の周囲に集中 した分布に変化している。これは単一波源からの妨害 波の強度が、最悪ケース(離隔距離が保護距離に等し い、すなわち距離減衰が最小、かつ距離減衰以外の要 素が無い状態)における強度で頭打ちとなるためであ る。特に離隔距離の下限が保護距離で制限されている 効果が大きいと考えられる。3.3 2)で述べた通り、規 格化波源数が高い状態では、受信機からみた保護距離 のすぐ外側に多数の波源が存在し、妨害波の距離減衰 に大差がなくなる。このような状態で波源の間引き効 果による最強妨害波強度の減少量は少ない。

4. 妨害波許容値の導出

ここでは、最寄り波源を対象とした許容値設定と、 最強波源を対象とした場合について述べ、両者を比較 する。

4.1 最寄り波源を対象とした許容値導出

許容値導出に用いる場所一致の確率要素は、最寄り 波源までの距離減衰となる。保護距離 d の外側に一 様ランダムに波源が分布する場合の、dB単位の距離 減衰の平均値 µ8と標準偏差 σ8の例を図5に示す。



図 5 妨害波源が密度 ρ でランダムに分布する場合における最 寄り波源までの距離減衰(dB)の平均値(上)と標準偏 差(下)。伝搬減衰 x=1。破線は近似式(11)(12)による。

図の実線は3.3 1)に述べた対数レイリー確率分布 を用いた数値計算によるが、以下の簡単な近似式が利 用可能である(図5の破線で示す)。

$$\mu_8 \cong 10x \log_{10} \left(1 + \frac{0.562}{\pi \rho d^2} \right) \, (\text{dB}) \tag{11}$$

$$\sigma_8 \cong \frac{5.6x}{1 + (3\rho\pi d^2)^{\frac{3}{4}}} \quad (dB) \tag{12}$$

いずれも規格化波源数 πpd^2 と伝搬係数 \mathbf{x} から求めることができる。

現行のTR16-4-4は、場所一致の確率要素として最 寄り波源までの距離減衰の平均と標準偏差を定め、他 の確率要素とは独立と扱う。またdB単位の確率要素 の和が正規分布に従うと近似する。従って妨害波許容 値の設定は、式(11)(12)で求めた場所一致の確率要 素に対する平均と標準偏差を他の確率要素の平均、標 準偏差と合わせて式(3)(4)に適用すれば導出できる。

ただし、時間あるいは周波数領域で無線受信と妨害 波発生が、ある確率Pで有/無の2値をランダムに取 る場合は、妨害波強度に対しdB単位の平均値と標準 偏差を用いることはできない。このような場合、34 に述べたように波源数がP倍にランダムに間引かれた とみなし、(間引き後の)等価的波源密度 P $\rho \ e \ \rho \ o$ 代わりに式(11)(12)に代入して平均 μ_8 、標準偏差 σ_8 を求める。波源密度のP倍の低下に伴って、平均 μ_8 と分散 σ_8^2 はともに増加するが、それぞれの増加分が 有/無の2値で変化する確率要素に対応した平均と分 散とみなされる。

規格化波源数が増加した場合、最寄りの波源までの 距離は保護距離に漸近するので、場所一致の確率要 素である距離減衰の平均μnと標準偏差σnはともに0 dBに漸近する。その場合、最大許容可能な妨害波強 度(式(3))は場所一致の確率P8以外の確率に対応 する要素から計算された平均和と標準偏差を用いた計 算結果となる。

$$E_i(d) = E_w - R_p + \sum_{n \neq 8} \mu_n - t_\alpha \sqrt{\sum_{n \neq 8} \sigma_n^2} (dB\mu V/m)$$
 (13)

距離減衰以外に妨害波の減衰要素がある場合には、 式(13)の値は最悪許容値 $E_w - R_p$ よりも大きくなる。

4.2 最強波源を対象とした許容値導出

最強波源を対象とした場合、3.3で述べた通り場所 一致の確率要素(すなわち最強波源までの距離減衰) は、一般に他の確率要素と独立でない。このため式 (3)(4)は直接適用できない。所定の確率で無線保護が 可能な許容値は、最強波源により生ずる妨害波強度の 確率分布(図3の実線で例を示す)から算出すること ができるが、特殊な場合を除くと積分を含む数値計算 が必要となる。その代わりとなる簡便な近似計算法が 第1 CD[3]に記載されている。これは、3.4で述べた確 率要素の影響を波源に対するランダムな間引き効果と みなし、間引き後の(仮想的な)波源分布における最 寄り波源からの距離減衰の平均と標準偏差を求め、全 確率要素の平均値と標準偏差の近似値するものであ る。式(11)(12)の密度ρに替えて間引き後の実効密度

$$\rho_{\rm eff} \equiv \rho \left\langle \alpha^{\overline{x}} \right\rangle \,$$
を用いると

$$\mu_{\text{total}} \cong 10x \log_{10} \left(1 + \frac{0.562}{\pi \rho_{\text{eff}} d^2} \right) \text{ (dB)}$$
(14)

$$\sigma_{\text{total}} \cong \frac{5.6x}{1 + (3\rho_{\text{eff}}\pi d^2)^{\frac{3}{4}}}$$
 (dB) (15)

許容値は式(3)の代わりに次式を用いて求める。

 $E_i(d) = E_w - R_p + \mu_{\text{total}} - t_\alpha \sigma_{\text{total}} \quad (\text{dB}\mu\text{V/m}) \quad (16)$

なお、減衰要素(真数)が複数の独立な確率要素の 積である場合は、真値の間引き係数は、それぞれによ る間引き係数の積、dB単位では和となる。例えば3.4 に示す波源と受信アンテナの指向性(式(8))や、時 間・周波数の一致確率(式(9)(10))などである。ま た、距離減衰以外のdB単位の確率要素が平均μ、標 準偏差σの正規分布に従う場合には、間引き係数*Pa* (真値) は次式で与えられる。

$$P_a = \exp\left(\frac{\mu}{Ex} + \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma}{Ex}\right)^2\right), \qquad E \equiv 10\log_{10}(e) \quad (17)$$

式(16)による許容値について規格化波源数を増加 させた場合を考えると、平均(式(14))、標準偏差(式 (15))とも0dBに漸近するので式(16)による許容値 は最悪ケースにおける許容値 $E_w - R_p(式(2))$ に漸近 する。この点は最寄り波源に対する許容値(式(13)) とは異なる。高い波源密度の状況においては、最強の 波源に対する許容値設定の方が無線保護に対しては安 全側となる。なおTR16-4-4の第1CD[3]では、上記2 種類の許容値算出法を併記している。

4.3 最寄り波源と最強波源に対する許容値の比較

図6は、最寄り波源と最強波源に対する許容値を規 格化波源数の関数として比較した例である。距離減衰 以外の減衰要素(dB)がない場合、および各波源に対 して平均10dB、標準偏差3dBの正規分布、あるいは 平均20dB、標準偏差6dBの正規分布に従う独立ラン

ダムな減衰量が生ずるとした。伝搬係数xは1(自由

空間、遠方界)あるいは2(短波帯の地上波伝搬など) を仮定している。図の縦軸は最悪ケース許容値 E_w – R_p に対する許容値、すなわち緩和量に相当する。

いずれの場合にも規格化波源数が0.1(保護距離dが 10mの場合は世帯普及率10%に相当)以下では、規 格化波源数の対数目盛に対し緩和量(dB単位)が傾 き - xのほぼ直線になる。これは式(14)に示唆され るように波源密度が小さい場合は、最寄り波源までの 2乗距離の平均値が波源密度と反比例な関係に近似で きることによる。また自由空間(x=1)よりも距離減 衰の激しいx=2の場合には、最寄り波源と最強波源 に対する許容値の差は小さい。これは最寄りの波源が ほぼ最強であるためであり、距離減衰が激しいほど場 所一致の確率要素がそれ以外の要素よりも支配的であ ることを反映している。





これは保護距離のすぐ外側に多くの波源が存在する場 合、それぞれに対する距離減衰に大差がなくなるので、 距離減衰以外の要素によって、最寄り波源が最強とな らない確率が増えるためである。4.1、4.2に述べた通り、 規格化波源数の増加に伴って、最強波源に対する許容 値は縦軸 0 dBすなわち最悪ケース許容値に漸近する のに対し、最寄り波源に対しては式(13) に示す正の 値に漸近する。たとえば距離減衰以外の減衰要素が平 均10dB、標準偏差 3 dBの場合、保護確率80%、 t_{α} = 0.84 であれば、最悪ケース許容値に対し10dB - 0.84*3 dB=7.48dBに漸近する。すなわち最強波源に対する許 容値よりも緩和量が大きくなる。

4.4 許容値導出における注意事項

これまでに述べた許容値計算方法の適用時において、 いくつかの注意すべき点を述べる。

1) 異なる確率要素間の独立性

妨害波放射に関する確率要素間の独立性は重要であ る。たとえば無線受信と妨害波の周波数一致P4の確 率要素(すなわち妨害波スペクトル)と、受信機方 向における妨害波指向性の一致P1が独立とした場合、 無線信号帯域内に現れる妨害波のスペクトル(および その確率分布)は、妨害波放射方向に依存しないこと を前提とする。しかし、異なるスペクトルを放射する 複数の要素(たとえば装置に実装されたケーブルや筐 体のスリットなど)が混在する場合は、必ずしもそう ではない。このような場合は2つの確率P1とP4に対 する確率要素の積(dB単位の場合は和)をまとめて 1つの確率要素として評価する。上記の例では、各放 射方位角における妨害波の周波数特性を測定し、ある (方位角、周波数)に対する妨害波の相対強度(最大 値からの低下量)の平均μ_{1&4}と標準偏差σ_{1&4}を求める。

2) 複数波源間の妨害波放射特性の独立性

それぞれの波源は独立に動作し、その妨害波放射特 性は同じ確率分布を持つと仮定している。たとえば夜 間に一斉に点灯する街灯は、同じ動作時間率(点灯 時間/24時間)を持つが、その動作は独立ランダムで はない。このような場合は時間一致の確率要素は1 (dB単位では平均、標準偏差とも0)である。

3) 確率要素を用いた許容値緩和量の上限

これまで述べた許容値計算法では、図6に例示した ように、規格化波源数が非常に小さい(距離減衰が平 均的に大きい)場合や距離減衰以外の妨害波減衰が大 きい場合に大きな許容値緩和量が算出される。しかし 実際に許容値に適用するには下記のような緩和量の上 限に注意が必要である。

- あるオンオフ比(オン状態のピーク電力とオフ状態のピーク電力の比)を持つ間欠的な妨害波に対しては、妨害波電力の過小評価を避けるために、時間一致の確率による緩和量は、オンオフ比の逆数よりも小さくすべきである。例えば、オンオフ比が30dBの場合、緩和量は30dB以下とするべきである。
- ② 同様に、周波数一致確率から得られる緩和量は、 被干渉受信機のフィルタの周波数選択性(あるいは 受信フィルタの帯域外除去比)よりも小さい必要が ある。
- ③ 建物が妨害波に減衰を与える確率から得られる緩 和量は、建物による最大減衰量より小さい必要があ る。
- ④ 被干渉受信機において妨害波による非線形効果を 避けるために、被干渉受信機のダイナミックレンジ または直線性の範囲を考慮して緩和量の上限を決め なければならない。

本技術報告書の第1 CDでは、許容値設定過程の透明化を図るため、個々の製品(群)に対する許容値設 定の過程を、導出に使用したパラメータとともに別の 独立したCISPR出版物に収録することとしている。

5. まとめ

本稿では、無線保護のためのCISPR許容値設定モ デルTR16-4-4の第3版に向けた全面改訂について、 現時点(2024年1月、第1CD発行時点)における状 況について紹介した。この改定は、従来の許容値設定 モデルと同様、1対1の干渉シナリオや確率要素を用 いた許容値の調整などの基本的考えは維持している一 方、近年議論されている装置数(波源数)の増加も考 慮し、場所一致の確率要素の定義、周波数・時間の一 致確率に対応した確率要素の扱いなどの明確化を図っ ている。

この技術報告書には、仮定した確率要素の値から許 容値を導出する手順や数式が、必要な仮定や条件とと もに記載される。この導出法による許容値導出にあ たっては、4.4で述べたような使用する確率要素の値 や仮定の妥当性や、それらが実際の装置から生ずる妨 害波特性を反映しているか否かの検証が重要であるこ とを強調しておきたい。これは当該製品の妨害波特性 に関する情報を持ち、許容値の決定を所掌とする製品 委員会の重要な役割と考えられる。

また、本技術報告書に示された方法により導出さ れる許容値は第1 CDにおいては"Technical CISPR limit"として最終的な許容値と区別されていることに も注意が必要である。導出された許容値に対して、当 該製品を適合させることが技術的に可能か否か、適合 するために必要なコストや時間は許容可能か、適合性 を判断するための適当な試験法が存在するか、あるい は開発可能か、などの観点での検討も重要である。こ のような"non-technical"な事項は本技術報告書には具 体的には記載されていない。このためTR16-4-4に収 録された許容値設定法は、様々な条件を仮定して許容 値案を比較検討するためのツールとしての機能を持つ と理解すべきである。

【参考文献】

- [1] CISPR/TR 16-4-4 Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods – Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services, Ed. 2.2, April 2020.
- [2] Y. Matsumoto, K. Gotoh, and Y. Yamanaka, "Effects of increasing number of disturbance sources on the setting of emission limits," IEEE Trans. EMC, vol. 65, no. 4, June 2023.
- [3] CIS/H/491/CD "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 4-4: The CISPR model for the calculation of limits for the protection of radio services," Nov. 2023.

2022年度 妨害波委員会の活動 エミッション測定でのループアンテナの 設置高可変の検討と課題

NTTアドバンステクノロジ株式会社 (NTT Advanced Technology Corporation) 小松 周平 (Shuhei Komatsu)

1. 調査背景と目的

30MHz以下の放射エミッションは、ループアンテ ナを用いて磁界測定を行うこととされており、アンテ ナの設置高は大地面から1.3mとすることが定められ ている。一方、30MHz以上の電界測定では、大地面 での反射波と直接波との重ね合わせによりハイトパ ターンが生じることから、磁界測定とは異なり、ア ンテナ高を1mから4mまでの間で昇降させてエミッ ションの最大値を得る規定となっている。しかし、図 1に示すように、磁界測定においてもアンテナ設置 高を固定すると、EUTの設置状態や測定距離などの 条件によっては、アンテナを昇降させる場合に対し て、エミッションを過小評価する原因となり得る。さ らに、CISPR A小委員会においてはループアンテナ のループ面をZ軸方向(ループ面が大地面に平行とな る方向)に設置しての測定の必要性が検討されており、 Z軸方向の測定では、特に30MHzに近い周波数帯で、 アンテナ設置高を昇降させると得られる強度が大きく 変化することが想定される。



図 1 エミッション測定でアンテナ設置高を昇降する測定のイ メージ そこで、本調査研究では30MHz以下のエミッション測定に用いるループアンテナの設置高を昇降させる ことの有効性や課題について調査を行った。

調査で扱うループアンテナは、エレメント部が電気 的に遮へいされているシールデッドループアンテナ (以下、「ループアンテナ」、という。)である。この ループアンテナは、磁界を検出するため図 2に示すよ うに、遮へい部であるシールドの一部に切り欠き(以 下、「ギャップ」、という。)が設けられている。



図2 ループアンテナのギャップ位置の例

なお、アンテナ昇降による強度変化は測定サイトご とに特性が異なると考えられるが、本調査では測定サ イトの違いによる評価は検討の対象外とした。



ループアンテナの設置高を変えて行うエミッション 評価の有効性や課題を調査するため、アンテナ設置高 と単一周波数での受信強度の関係を表すハイトパター ンを取得した。本項では、構築した測定系とハイトパ ターンの測定方法を記す。

2.1. 使用機器と測定系

電波発射源とループアンテナ間の距離とアンテナ設 置高の基準点は、電波発射源がダイポールアンテナ の時は給電点、ループアンテナではループ面の中心 とした。ループアンテナの各軸方向の表記とループ 面方向の対応を図3に示す。測定時のループアンテナ のギャップ位置は、CISPR 16-2-3規格改定案(CIS/ A/1344/CDV)に準じて、X軸方向およびY軸方向の 測定では、天井方向になるように、また、Z軸方向の 測定では、測定対象に対して真横を向くようにした。



図 3 ループアンテナの各軸方向での電波発射源との配置方向 の設定

測定系の構成は以下の通りとした。

- ・送受信アンテナは、ともに同一型式のパッシブ型
 ループアンテナ
- ・受信側アンテナは、設置高を1.3mから4mに変更
 するため、アンテナタワーのアームに固定
- ・送信側アンテナの設置高は、全ての軸方向で基準 点が大地面から1.3mとなるよう配置
- ・信号の送受信はスペクトラムアナライザのトラッ
 キングジェネレータ機能を使用
- ・観測に必要なダイナミックレンジ確保のために送 受信側にそれぞれ増幅器を挿入
- ・送信側の増幅器は、送信側と受信側の大地面を介 した電気的結合の抑制のため電波暗室内に配置
- ・受信側アンテナは、同軸ケーブルを用いて電波暗
 室と計測室間のコネクタパネルを介してプリアン
 プに接続
- ・送信側は、スペクトラムアナライザの出力端から
 同軸ケーブルを用いて計測室と電波暗室間のコネ
 クタパネルを介して接続した増幅器から、送信側

アンテナに入力

- ・各アンテナの入出力端には、機器のインピーダン スの不整合抑制のため6dBの減衰器を挿入
- ・測定周波数は150kHzから30MHz
- ・内蔵プリセレクタを使用して入力減衰量は10dB
- ・周波数分解能帯域幅(RBW)とビデオ帯域幅
 (VBW)は各1kHz、検波は平均値検波

測定系概要を以下の図4に示す。



図 4 測定系概要図

2.2. ハイトパターンの測定方法

ループアンテナの昇降による受信強度変化の有無を 捉えるために、構築した測定系を用いてハイトパター ンの測定を実施した。測定周波数は150kHzと30MHz の2周波数とし、ハイトパターンはスペクトラムアナ ライザをゼロスパンモードとして、アンテナ高を等速 度で変化させながらスペクトラムアナライザの掃引測 定を行うことで取得した。

図5にハイトパターンの測定例を示す。



図 5に示すように、本調査では、ハイトパターンの 測定結果は、アンテナ高が1.3mでの受信強度を基準

として、昇降させたときの受信強度を相対値で表すこ ととしている。

この例では、30MHz以下の磁界測定においても、 受信アンテナの設置高を昇降させることでハイトパ ターンが発生することを確認した。特に30MHzでは、 アンテナ高4mでの強度は、1.3mでの強度と比較して 7dB大きくなった。この差はサイトの不完全さによる 測定不確かさである4dBよりも大きいことから、この 例では、アンテナ高1.3mのみで測定すると、強度が 過小評価されることとなる。

3. ハイトパターンへ影響を与え る条件の調査

ハイトパターンの測定結果から、ループアンテナを 固定高に配置した場合、エミッションの最大値を捕捉 できず、エミッションの過小評価を発生し得ることを 確認した。ハイトパターンは、大地面の反射等によっ て発生するため、測定条件によってハイトパターンの 現れ方が変わることが考えられる。ハイトパターンの 現れ方が変化するとき、エミッションの過小評価の度 合いを変化させ得る。そこで、測定距離と送信アンテ ナの設置高を変えたときの、条件の違いによる傾向を 調査した。

3.1. 測定距離の違いによる比較

30MHz以上の電界強度測定では、測定距離が変わ ると、ハイトパターンにも変化が生じることが知られ ている。そのため、30MHz以下のループアンテナを 用いるエミッション測定においても、測定距離を変え るとハイトパターンの現れ方にも変化が生じることが 想定される。そこで、送受信アンテナ間の距離(エ ミッション測定における測定距離)を変えた時のハイ トパターンの特性比較を行った。

使用機器と主な設定、配置概要は2.1項に示した機器および測定系とした。送受信アンテナ間の距離は3m、5m、10mの3通りで、各測定距離において送受信アンテナの設置軸方向は、同じ軸方向同士の3通りに加えた、X軸とZ軸方向の組み合わせを加えた5通りで設置して、ハイトパターンの測定を実施した。ハイトパターン測定方法は2.2項に示す方法とした。

各測定条件(測定距離および送受信アンテナ方向) において、アンテナ設置高を1.3mから4mまで昇降さ せたときの最大強度と、アンテナ高1.3mでの強度と の差を表1に示す。

表 1 固定高と昇降させたときの受信強度差 (測定距離による違い)

2关/音	平信	国论粉	測定距離(m)		
四百	文旧	问版奴	3	5	10
v	v	150kHz	-	-	-
	Λ	30MHz	-	-	1dB
	37	150kHz	-	-	-
Y	Y	30MHz	-	0dB	-
7	Z	150kHz	-	1dB	5dB
		30MHz	0dB	3dB	7dB
v	7	150kHz	6dB	4dB	8dB
	L	30MHz	6dB	4dB	9dB
7	v	150kHz	_	_	_
	Å	30MHz	6dB	4dB	3dB

-: 強度の上昇無し

表1に示すように、送受信アンテナがともにZ軸方 向の場合、送信アンテナがX軸方向で受信アンテナが Z軸方向の場合、および送信アンテナがZ軸方向で受 信アンテナがX軸方向の場合では、送受信アンテナ間 の距離を変えることによって、アンテナを固定高とし た場合に対して昇降させたときの強度差が変わる傾向 がみられた。特に送受信アンテナがともにZ軸方向の 時、送受信間のアンテナ距離を大きくすることによっ て受信強度の差は大きくなった。また、送受信ともに X軸方向および、送受信ともにY軸方向に設置したと き、測定距離が3mでは、受信側アンテナを昇降させ た時の最大強度は固定高で得られる受信強度を超える ことはなかったが、送受信アンテナ間の距離を変える ことによって、ハイトパターン内で固定高の受信強度 を超えた条件があった。以上より、アンテナを昇降さ せた場合と固定高とした場合の受信強度差、すなわち 固定高での過小評価の大きさは、測定距離によって変 化することが確かめられた。

3.2. 送信側アンテナの高さ違いによる比較

EUT実機によるエミッション測定では、発射源の 高さは機器の形状や設置状態などによって異なる。放 射源が大地面と結合している場合や、受信側アンテナ が金属大地面によって生じる鏡像や反射波を受信して いる場合は、発射源と大地面との位置関係によって受 信強度が変化し、また、ハイトパターンの特性も変化 することが考えられる。特に、ループアンテナのルー プ面が大地面方向となるZ軸方向ではその傾向が顕著 となることが想定される。そこで、送信側アンテナの 設置高(送信源の高さ)を変えた場合の、ハイトパ ターンの特性比較を行った。

使用機器と主な設定、配置概要は2.1項に示した機 器および測定系と同一とした。アンテナは、送信側 はZ軸方向、受信側はX軸方向、Z軸方向に設置した。 送信側アンテナは、大地面から1.3m、0.8m、0.15mの 3通りの高さで設置してハイトパターンの測定を実施 した。なお、0.8mと0.15mの高さとした理由は、机上 設置機器のエミッション測定では対象機器を0.8m高 の机上に設置すること、床置きの機器でのエミッショ ン測定では放射源の位置が床面近くになることを想 定したためである。なお、床置き設置されるEUTは、 通常では機器下端が大地面から0.1mの高さとなるよ う設置するが、機器下端部が放射源となることは無い と考え、EUTの模擬放射源となる送信アンテナの大 地面からの高さは0.15mとした。ハイトパターン測定 方法は2.2項に示す方法とした。

各測定条件(送信源の高さおよび受信アンテナ方向)において、アンテナ設置高を1.3mから4mまで昇降させたときの最大強度と、アンテナ高1.3mでの強度との差を表2に示す。

受信 周波数		受信アンテナ高(m)		
		0.15	0.8	1.3
v	150kHz	-	-	-
Х	30MHz	6dB	7dB	3dB
7	150kHz	6dB	5dB	5dB
Z	30MHz	15dB	2dB	7dB

表 2 固定高と昇降させたときの受信強度差 (送信源の高さによる違い)

- : 強度の上昇無し

送信側アンテナの高さを変えることによって、固定 高での強度と比較して、増加量が変わる傾向を確認し た。特に周波数が30MHzの時には、X軸方向とZ軸 方向ともに、送信側アンテナ高を昇降させた場合の受 信強度の増加量に3dB以上の差が見られた。また、Z 軸方向の測定においては、全ての送信アンテナ高にお いて、受信強度が固定高で得られる受信強度を超える 傾向がみられた。従って、放射源の高さが変わること によってもハイトパターンの現れ方は変化し、受信強 度の過小評価の大きさも変わることが明らかとなった。

4. 電界が支配的な状況での特性

30MHz 以下のエミッションは磁界測定を行う規定 となっているが、この周波数帯でのEUT 実機からの 放射エミッションは電界が支配的となる状況もあり得 る。また、10m 程度の距離でのエミッションは近傍 電磁界の性質であり、大地面での反射特性は電界が支 配的な場合と磁界が支配的な場合とで異なることも想 定されることから、電界が支配的な状況でのハイトパ ターン特性は磁界が支配的な場合とは異なると考えら れる。そこで、送信側アンテナを、主に電界を放射す るダイポールアンテナとしてハイトパターン測定を行 い、受信アンテナを固定高とした場合に強度の過小評 価が生じるかを調査した。

使用機器と主な設定、配置概要は2.1項に示した 機器および測定系を基本とし、送信側アンテナをダ イポールアンテナ(KBA-511A)に、測定周波数を 1MHzと30MHzの2周波数に変更した。ダイポール アンテナの設置高は基準点(給電点)で1.3mとなる ようにし、エレメント長を27MHzに同調させて水平 偏波で設置した。受信側アンテナは、X軸方向とZ軸 方向の2通りで測定を実施した。送受信アンテナ間の 距離(基準点間の距離)は、3m、5m、10mの3通り とした。ハイトパターン測定方法は2.2項に示す方法 とした。

各測定条件(測定距離および送受信アンテナ方向) において、アンテナ設置高を1.3mから4mまで昇降さ せたときの最大強度と、アンテナ高1.3mでの強度と の差を表3に示す。

表 3 固定高と昇降させたときの受信強度差 (電界が支配的な場合)

平行 田沈粉		受信アンテナ高(m)		
受信 向波	同权效	0.15	0.8	1.3
V	1MHz	-	-	-
Х	30MHz	-	3dB	7dB
7	1MHz	1dB	4dB	6dB
Z	30MHz	1dB	4dB	8dB

-: 強度の上昇無し

表3に示すように、半数以上の条件において固定高 の受信強度と比べて、アンテナ高の昇降による強度の 上昇を確認した。このことから、電界が支配的な状況 においても、受信アンテナを高さ1.3mの固定高とす ると、アンテナを昇降させる結果と比較して、エミッ ション強度の過小評価が生じることが明らかとなった。 また、磁界が支配的な場合と同様に、測定距離を大き くすると、過小評価の度合いも大きくなる傾向であっ た。

5. EUT 実機測定時の設置高昇 降の必要性

4項までに示した測定結果からは、受信側アンテナ を1.3mの高さに固定した場合の受信強度は、測定周 波数やアンテナの軸方向などの測定条件によっては、 アンテナを昇降させた場合の受信強度よりも小さくな ることが明らかとなった。そこで、本項目ではEUT 実機に対して受信アンテナを昇降させてエミッション 測定を行い、送信にアンテナを用いた場合と同様に、 エミッションの過小評価が起こり得るかを確認した。

測定では、実際のエミッション試験を想定して、 EUT実機を用いて受信側ループアンテナの昇降に よって得られる受信強度と、固定高で得られる受信強 度との比較を行った。測定対象とするEUT実機には 下記の図 6に示す市販のプラズマディスプレイとワイ ヤレス給電マウスの2機種を選定した。





 プラズマディスプレイ
 ワイヤレス給電マウス

 図 6 測定に使用したEUT実機

測定条件

EUT実機を用いてのハイトパターン測定での測定 系概要図を以下の図7に示す。



図7 EUT実機を用いたハイトパターン測定の測定系概要図

本項目での使用機器と主な設定、配置概要は2.1項 に示した機器および測定系を基本とし、送信側アンテ ナに代わって図6のEUT実機を設置した。受信側ア ンテナは、X軸、Y軸、Z軸の3通りの方向で設置し、 各軸方向で周波数特性を確認したのちにエミッション が確認された周波数において、ターンテーブル使用し てEUTを水平方向に360度回転させ、受信強度が最 も大きくなった角度において、ハイトパターン測定を 実施した。なお、ハイトパターン測定方法は2.2項に 示す方法とした。測定距離は、3m, 5m, 10mの3通り とした。

EUT1(プラズマディスプレイ)

EUT1 (プラズマディスプレイ)は、大地面と絶縁 された架台に装着された状態で測定を実施した。映 像表示にはノートパソコンからのVGA信号を使用し、 ノートパソコンのディスプレイは非表示に設定して、 プラズマディスプレイ上にはHパターンを表示し続 ける設定とした。電源はEUT、ノートパソコン共に 安定化電源からAC100Vを供給した。ノートパソコ ンは全てのポートを占有するように、USB端子や映 像端子に各種機器を接続した。予め、ノートパソコン のみ動作させた状態での周波数特性を確認して対象機 器以外からのエミッションの状況を把握した。ディス プレイケーブルや電源ケーブルの余長は、不要な誘導 を発生しないよう束ねた状態とした。

各測定項目において、アンテナ設置高を4mまで上 昇させて、固定高で得られる受信強度を基準に、強度 が上昇した場合、固定高で得られる受信強度との差 を以下の表4に示す。なお、強度の上昇が確認されな かった測定条件の結果は表からは省いた。

表 4 EUT1の測定距離ごとのエミッションの過小評価

平信	国	測定距離(m) 3 5 10		測定距離(m)		
文旧	问版数			10		
7	185.0kHz	1dB	2dB	6dB		
L	925.5kHz	0dB	2dB	6dB		

表4に示すように、受信アンテナがZ軸方向の時、 185kHzと925.5kHzの周波数で受信側のアンテナの昇 降によって受信強度が、固定高で得られる受信強度よ りも大きくなる結果となった。また、これらの周波数 では、送信側がアンテナを用いた時と同様に、測定距 離を変えることによって強度も変化する傾向もみられ た。アンテナ高の固定による妨害の過小評価は、最大 で6dB程度であった。

EUT2(ワイヤレス給電マウス)

EUT2(ワイヤレス給電マウス)は、高さ80cm のFRP製の机上に配置した。電源は安定化電源から USB端子付きテーブルタップを介し、USBケーブル を接続してDC5Vを供給した。テーブルタップの電源 ケーブルの余長は、不要な誘導を発生させさせないよ うに束ねて大地面から40cmの高さに固定した。ワイ ヤレス給電されるマウスの配置位置は、スペクトラム アナライザの表示を確認しながらマウスパッドの位置 を走査してエミッションが最も大きくなる位置に固定 した。

各測定項目において、アンテナ設置高を4mまで上 昇させて、固定高で得られる受信強度を基準に、強度 が上昇した場合、固定高で得られる受信強度との差 を以下の表5に示す。なお、強度の上昇が確認されな かった測定条件の結果は表からは省いた。

表 5 EU	T2の測定距離ご	とのエミ	ッショ	ンの過小	∖評価
--------	----------	------	-----	------	-----

平信	信 周波数	測定距離(m)		
'又'后		3	5	10
Z	6.78MHz	_	1dB	5dB

-:強度の過小評価無し

表 5に示すように、受信アンテナがZ 軸方向の時 には6.78MHzの周波数では受信側のアンテナの昇降 によって得られる受信強度が、固定高で得られる受信 強度よりも大きくなる結果となった。また、この周波 数では測定距離を変えることによって強度も変化する 傾向もみられた。アンテナ固定高の測定によるエミッ ションの過小評価は、最大で5dB程度であった。

これらEUT実機2機種での測定結果から、実際の エミッション測定においても受信アンテナを固定高と したままでは、強度の過小評価が起こることを確認し た。また、測定距離が異なるとエミッションの過小評 価の度合いも変わる傾向も確認した。

6. まとめ

本調査研究では、「エミッション測定でのループア ンテナの設置高可変の検討と課題」として、30MHz 以下のエミッション測定における、ループアンテナの 固定高配置によるエミッションの過小評価発生の影響、 ループアンテナの設置高の昇降による過小評価抑制の 有効性について各種調査を行い、結果を取りまとめた。

本調査研究での成果は、今後、磁界測定に用いるルー プアンテナを規定しているCISPR 16-1-4、30MHz以 下の磁界測定法を規定しているCISPR 16-2-3、および 放射磁界の許容値と測定法を規定しているCISPR製 品群規格(CISPR 11, CISPR 14-1, CISPR 15)での規 定の改善検討に活用されることが期待される。

【参考文献】

 CISPR 16-2-3 Ed. 4.0:2016 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity -Radiated disturbance measurements

2022年度 イミュニティ委員会の活動 「近接電磁界イミュニティ試験の適用除外規定 (IEC 61000-4-39、8.6.2節)に関する調査研究 その2」 一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会(CIAJ) 電磁妨害対策委員会

1. 背景

スマートフォンやタブレット端末などのモバイル送 信デバイスの通信性能向上により、5Gシステムに対 応した製品が普及し始めている。これらのモバイル送 信デバイスは、娯楽や仕事といった多岐にわたり用い られており、パーソナルコンピュータや通信装置等の マルチメディア機器の近傍で使用されている。これら のモバイル送信デバイスなどのRF送信機が装置の近 接で使用される状況においてのイミュニティ耐性試験 について国際規格としてIEC 61000-4-39が規定して いるが、本規格の8.6.2節には試験免除項目が記載さ れている。マルチメディア機器は、プリンタ、FAX、 パーソナルコンピュータ、通信伝送装置等多種あり、 この試験免除項目が適用される装置も存在する。

このため本研究では、この試験免除項目に着目して、 試験免除項目となる条件について実験的検証を行い、 条件の妥当性について調査・検討をすることとした。

2. 目的

IEC 61000-4-39の8.6.2節に試験免除項目が記載さ れている。試験免除項目はa)からe)の5項目あり、 その根拠の妥当性の検証と除外条件の拡大可能性の検 討を行うことを目的とする。

2021年度は2.0GHz、3.5GHzを試験周波数として、 2種類のTEMホーンアンテナを用いた調査を行った 結果、隙間の無い均一な金属板だけではなく、スリッ トのある金属板やパンチングメタルも、昨年度の条件 では均一な金属板相当の効果のあることがわかった。 今年度の本研究テーマでは、周波数を拡大してスリッ トやパンチングメタルの開口寸法の関係性を調査して、 均一な金属板以外の有効性を検証することとした。

また、医療機器への実影響評価では、携帯電話端末 実機及びこれに相当する電界強度を発生させることの できる半波長ダイポールアンテナが使用されているこ とから、本研究テーマにおいても半波長ダイポールア ンテナによる検討を実施した。

3. 試験免除項目の条件と測定 項目

IEC 61000-4-39の8.6.2節には、試験免除項目として以下の5項目が記載されている。

- a)装置の外側に固定された機械的なバリアがあり、 電磁界源が装置表面から25cm以下に近接すること を防止できるEUT面
- b) EUTのアクティブな部品(センサ、ケーブル、 PCB等)に25cm以下に近接できないようになっ ているEUTの表面(例えば、受動的な機械的構造 の背後に空間を有するか、またはそれだけを覆う プラスチックハウジング)
- c) EUT を設置した後は可搬型送信機が近接する可能 性のない点または表面(たとえば、機器やエリア の底面や壁側)
- d) 厚さが0.25mmを超える均一な金属でTEMホーン アンテナの均一領域の150%以上の大きさを有する 1つの部品から成る表面

e) サービス又は保守作業中にのみ携帯送信装置が近 接して使用されて電磁界に曝されるEUTの表面又 は領域

これら5項目のうち、条件c)およびe)は物理的な 制約によりRF送信機が近接できないこと、サービス や保守作業時のみに近接して使用することから、本研 究テーマでは、昨年度の研究テーマと同様に条件a)、 b)、d) について条件の妥当性を検証することとした。

条件d)は、TEM ホーンアンテナの均一領域の150 %以上の大きさを有する1つの部品から成る表面と規 定されているが、昨年度の検討条件では装置類を格納 するキャビネットや装置本体の筐体で使用される事が 想定されるスリット穴やパンチング穴があっても一定 の遮蔽効果が確認できたことから、本研究では条件を 追加して測定を行い、どこまで試験免除が適用できる か、さらなる検証を行うこととした。

2021年度の研究テーマでは、携帯電話で使用され ている2.0GHz帯、3.5GHz帯の周波数を試験周波数と して選定したが、2022年度は、近接イミュニティ試 験規格の上限周波数である6.0GHzを追加することと、 2021年度はスリット穴を縦方向にのみ配置したのを、 縦、横の両配置条件で検討を行った。

また、試験免除項目d)の規定では、金属板が装置 の一部に使用されている場合には、金属板の外側では アンテナの均一領域で装置に照射する必要があるが、 その時に金属板のある領域にどの程度電磁界が印加さ れるのかを確認するため、アンテナの均一領域の端に 金属板がある場合も電界強度を測定した。



* SPC: 冷間圧延鋼板

なお、実験には、2021年度に使用したものと同一 サイズのスリット穴またはパンチング穴を有する金属 板を使用した。使用した金属板の種類を表4.1に示し、 金属板の形状を図4.1に示す。



(a) A 社製 金属板の外観



(b) B 社製 スリットあり金属板の外観

4. 使用機材

本研究テーマで使用する使用機材を表5.1に示す。 各アンテナの外観を図5.1から図5.2に示す。

	表 5.1	使用機材	
機器名称	機能・性能 (概略)	製造メーカ	型式
TEM ホーンアンテナ	380.0 MHz ~ 6.0 GHz	ノイズ研究所	THA-380M60G
半波長ダイボールアンテナ	2.0 GHz	アンリツ	MA5612B3
半波長ダイボールアンテナ	6.0 GHz	アンリツ	MA5612C5
高周波電力増幅器	1.0 GHz ~ 6.0 GHz	R&K	CGA102M602-4040R
信号発生器	9.0 kHz ~ 6.0 GHz	KEYSIGHT	N5182B
スペクトラムアナライリ゙	9.0 kHz ~ 26.5 GHz	Rohde&Schwarz	ESR26
光電界センサ	100.0 kHz ~ 10.0 GHz	精工技研	SH-10EL



図 5.1 TEM ホーンアンテナ外観



(引用 URL:http://www.anritsu.comja-jptest-measurementproductsma5612-series)

5. TEMホーンアンテナと半波長ダイポー ルアンテナの電界強度と距離特性

1) 試験条件

IEC 61000-4-39では、電界照射用アンテナである TEMホーンアンテナと被試験装置(EUT: Equipment under test)との離隔を規定しており、ア ンテナ端面からEUTの端面までを10cmとしている。 市販製品であるTEMホーンアンテナのサイズは各 メーカにより異なるため、アンテナ端面と位相中心の 位置も異なると考えられることから、端面を基準にし て10cm以上離すと電界の広がりや距離ごとに対する 電界強度の変化に違いが発生する可能性がある。この ため、TEMホーンアンテナを用いて、アンテナ端面 から10cm 離したアンテナ開口中心点の位置で電界強 度の校正を行った後、1.0cm 間隔でアンテナから電界 センサを離して校正時と同様にTEMホーンアンテナ の電界主成分であるZ方向の電界強度の距離特性を測 定した。

一方、スマートフォンなどのモバイル機器のアンテ ナは、TEMホーンなどの開口アンテナではなく、「板 状逆F型アンテナ」などの小型のエレメントを持った アンテナが多いと考えられる。この場合には位相中心 はアンテナ付近にあり、近傍界を除けば半波長ダイ ポールアンテナと同様な放射パターンとなると考えら れる。

この仮定のもとに、実際の無線デバイスからの放射 電磁界の近似として半波長ダイポールアンテナからの 電磁界の測定を行った。測定は、TEMホーンアンテ ナとの比較のためTEMホーンアンテナと同一の条件 とした。

なお、半波長ダイポールアンテナの電界強度の距離 特性の測定結果と比較するため、電磁環境の分類に関 する技術レポートでありイミュニティに関する基礎的 なガイドを与えている IEC TR 61000-2-5の Annex B に記載されている近傍界・遠方界におけるダイポール アンテナの電界強度の計算式により理論計算を行った。

$$E = \frac{\sqrt{30PGa}}{d} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi d}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi d}\right)^4}$$

(P:アンテナ入力電力、Ga:絶対利得、d:距離)

2) 試験構成

TEMホーンアンテナ、半波長ダイポールアンテナの測定条件を、試験構成図とともに図6.1に示す。

TEMホーンアンテナはアンテナ中心軸上で、開口 面から10cm離れた校正点での電界強度を10.0V/mに 設定して、校正点から1cmごとに離隔を大きくして 電界強度を測定した。電界強度は光電界センサを使用 し、周波数は2.0GHzおよび6.0GHzとした。(TEMホー ンアンテナの2.0GHzの電界強度距離特性は2021年に 実施したデータを活用した)





3) 測定結果

測定結果を図6.2.1および図6.2.2に示す。図6.2.1お よび図6.2.2の0cmは、TEMホーンアンテナおよび半 波長ダイポールアンテナと電界センサを10cm離して 10V/mの校正を行った時の距離である。なお、半波 長ダイポールアンテナの電界強度の理論値は、測定と 同一条件で計算を行い、点線で示している。

TEMホーンアンテナは半波長ダイポールアンテナ に比べて距離に対する電界強度の減衰が小さい。これ は、IEC 61000-4-39 において、アンテナとEUTの離 隔をアンテナ端面からと規定しているため、アンテナ 毎に位相中心からの距離が異なるためであると考えら れる。

各アンテナの位相中心を実測するには、正確な位相 パターンの測定が必要であり容易なことではないが、

本測定に使用したTEMホーンアンテナの位相中心は、 文献にて報告されている。このため、位相中心位置の 情報を引用して、半波長ダイポールアンテナの給電点 の位置をTEMホーンアンテナの位相中心位置に合わ せて電界強度の距離依存性を比較した。

図6.2.3および図6.2.4に半波長ダイポールアンテナ の給電点の位置をTEMホーンアンテナの位相中心位 置に合わせて補正した計算値と測定値を示す。これよ り半波長ダイポールアンテナの電界強度の距離特性は 計算値と実測値がよく一致する。

TEMホーンアンテナの方が距離に対する電界強度の減衰は、半波長ダイポールアンテナと比較して少ない。

また、位相中心を一致させることによって半波長ダ イポールアンテナと TEM ホーンアンテナの減衰特性 がほぼ一致することがわかった。

これらのことから、TEMホーンアンテナによる試 験においては半波長ダイポールアンテナを使用いた場 合よりも装置の筐体表面から離れた部分まで高い電界 強度で試験電波が照射され、厳しい試験となると考え られる。つまり、TEMホーンアンテナによる試験で EUTが誤動作を起こさなければ、半波長ダイポール アンテナに近い放射特性のRF送信機などが近接する ことによる実環境での誤動作は発生し難いのではない かと考えられる。











図 6.2.4 6.0 GHz の電界強度の距離特性(アンテナと電界センサ間 42 cm)

6. 試験免除項目a)およびb)

IEC 61000-4-39 の8.6.2 節の試験免除項目のa)およ びb)の記載内容は、筐体表面またはアクティブな部 品(センサ、ケーブル、PCB等)から電磁界源が25cm 以下に近接することを防止できることが条件となって いる。このことから、これらの条件と比較できるよう な測定構成系にて実験検討を実施することとした。

1) 試験構成

TEMホーンアンテナの電界均一エリアは上下左右 でシンメトリーであるため、中心からX軸方向、Z軸 方向ともにプラス方向に測定を行った。X軸方向、Z 軸方向の測定範囲は、試験免除項目d)の電界均一エ リアの150%を考慮して決定した。図7.1.1にTEM ホーンアンテナの2.0GHz、3.5GHz、6.0GHzでの電界 強度分布を示す。

測定は、TEMホーンアンテナの中心位置と電界センサの中心位置を合わせて、アンテナ端面から10cmの離隔をとり、10V/mの校正をした後に1cm間隔でX軸方向またはZ軸方向に電界センサを移動して測定した(測定系①)。この後に、アンテナと電界センサの間隔を25cmに離して、10cmの時と同様に測定を行った(測定系②)。





図7.1.1 TEMホーンアンテナの電界強度分布(左から2.0 GHz,3.5 GHz,6.0 GHz)



図7.1.2 試験免除項目a)およびb)の測定構成

2) 測定結果

測定結果を、図7.2.1から図7.2.8に示す。横軸は TEMホーンアンテナの中心軸からX軸またはZ軸の プラス方向へ移動した位置である。TEMホーンアン テナの中心位置において離隔を10cmから25cm に離 すと電界強度は2.0GHz で約25 %の減少、6.0GHz で 約24%減少する。これに対して、半波長ダイポール アンテナ は、中心位置において2.0GHz で約60%、6.0 GHzで約60%減少し、中心位置ではTEM ホーンアン テナよりも電界強度の減少が大きい。これは、電界強 度の距離特性にて考察した位相中心の差によるものと 考える。

また、測定位置が中心から外れると、離隔が25cm の時の方が電界強度の大きくなる領域がある。これは TEMホーンアンテナの放射パターンが立体曲線のた め距離により異なるためと考えられる。





図 7.2.2 TEM ホーンアンテナの 2.0 GHz の測定結果(Z 軸方向の電界強度変化)



図 7.2.3 半波長ダイボールアンテナの 2.0 GHz の測定結果(X 軸方向の電界強度変化)



図 7.2.4 半波長ダイポールアンテナの 2.0 GHz の測定結果(Z 軸方向の電界強度変化)















図 7.2.8 半波長ダイボールアンテナの 6.0 GHz の測定結果(Z 軸方向の電界強度変化)

7. 試験免除項目d)

IEC 61000-4-39の8.6.2節の試験免除項目d)の記載 内容は、厚さ0.25mmを超える均一な金属でTEM ホーンアンテナの均一領域の150%以上の大きさを有 する1つの部品から成る表面である。このため、4項 の「試験免除項目の条件と測定項目」に示した各種金 属板を各アンテナと電界センサ間に入れて電界強度の 測定を実施した。図7.1.1に示すように、TEMホーン アンテナの周波数6.0GHzでの電界均一エリアは 2.0GHzよりも小さいことから、2.0GHzでの電界均一 エリアの150%に相当する金属板を用いて試験構成を 行った。

試験免除規定では、装置表面が均一な金属面とされ ているが、昨年度の実験結果からパンチング穴やス リット穴のある金属板でも均一な金属面相当の遮蔽効 果があることがわかった。しかし、金属板の開口長が 電磁波の半波長に近くなると電磁波が透過しやすくな ると報告されている。試験対象周波数とした6.0GHz の場合、半波長は約25mmとなり、使用した金属板の スリット最大長25mmと一致するため、電磁波の透過 が大きくなる可能性がある。また、スリット穴の長辺 をアンテナからの電界に対して並行な場合(縦方向; 角度0度)と垂直な場合(横方向;角度90度)になる よう金属板を配置して、電界強度分布を確認すること とした。

8.1 金属板の開口による電波の漏れの概要

金属板に開けた円形穴やスリット穴による電波の漏 れについての傾向を調べるため、金属板の中心とアン テナの中心軸をあわせて、アンテナと金属板間を 10cm、金属板と電界センサ間を10cmとして、電界強 度の分布について測定した。なお、金属板は2.0 GHz での電界均一エリアの150%に相当する大きさのもの を使用した。

測定結果を図8.1.1から図8.1.4に示す。これらの測 定結果から以下のことがわかる。

- パンチングメタルについては、電波をTEMホー ンアンテナから放射したときもダイポールアンテナ から放射したときも均一金属板とほぼ同等に低い電 界分布となる。
- (2) スリットのある金属板の場合には、スリットが縦の場合には、どちらのアンテナから放射しても電界分付は低いレベルであるが、スリットが横の場合には電界の漏れが観測された。
- (3) スリットのある金属板の場合、電界の漏れは、2.0 GHzでは3V/m以下と低いが、6.0GHzでは10V/m に近くなった。また、電界強度分布が縞状になるこ とも観測された。





図8.1.3 半波長ダイボールアンテナと均一金属板およびパンチングメタル金属板



図8.1.4 半波長ダイボールアンテナとスリット金属板

8.2 試験免除項目d)に関する詳細測定

試験免除の規定ではアンテナの均一領域の150%以 上の金属板の外側に、金属板に覆われていない装置表 面がある場合には、その部分は試験除外にならず、ア ンテナの電界均一領域を配置して試験を実施する必要 がある。このときの装置内部の電界強度分布を確認す るため、電界均一エリアが金属板の外側で、金属板の 辺とアンテナの電界均一領域の境界が一致するように 配置して、電界強度を測定した。

以下が試験条件である。

・金属板の中心にアンテナの中心を合わせて設置する。
 ・アンテナの電界均一エリアの端を金属板の端に合わせて設置する。

1) 試験構成

図8.2.1に試験構成(アンテナと金属板、光電界センサの構成概要)を示す。また、図8.2.2および図8.2.3 にアンテナと金属板の位置関係、図8.2.4に試験構成の一例を写真で示す。

図8.2.2および図8.2.3はY面(Y軸に垂直な面)への投影図であり、それぞれの図面で(A)はTEMホーンアンテナの均一電界領域の端を金属板の端に合わせた場合、(B)はTEMホーンアンテナの均一電界領域の中心を金属板の中心に合わせた場合である。また、(C)および(D)は、(A)又は(B)のTEMホーン中心位置にダイポールアンテナを置いた場合である。

TEM ホーンアンテナまたはダイポールアンテナの 中心位置と電界センサの中心位置をXY座標の原点に 合わせた後、電界センサと金属板、金属板とTEMホー ンアンテナ間でそれぞれ離隔を設定するが、電界セン サと金属板との離隔は物理的な制約により4cmとした。

TEMホーンアンテナと金属板間は10cmの離隔と した。このため、電界強度の校正はIEC 61000-4-39 の規定であるアンテナとセンサ間を10cmとする構成 と異なるが14cmの離隔にて10V/mとした。

まず、金属板を設置しない条件で、電界センサを 1cm間隔で中心からX軸方向、Z軸方向に移動して電 界強度を測定した(図8.2.1③)。この後に、アンテナ と電界センサ間に各種金属板を入れて金属板のない場 合と同様に電界強度の測定を行った(図8.2.1④)。な お、測定結果はTEMホーンアンテナと電界センサの 間隔10cmで10V/mとした場合に補正をして示す。

TEMホーンアンテナの中心軸を金属板の中心に合わせたときには、電界強度の分布は上下左右でシンメトリーであるため、測定は試験免除項目a)、b)と同様に、中心からX軸、Z軸のプラス方向に測定を行い、測定終了位置は電界均一エリアの150%を考慮した金属板の端をカバーする位置とした。

金属板の位置をずらした場合には、電界強度分布は シンメトリーではなくなるが、測定治具の都合と時間 的制約のため左右方向のみとし、TEMホーンアンテ ナの均一領域を含むX軸のプラス・マイナス両方向 について測定を実施した。







図 8.2.2 2.0 GHzでの測定における金属板とアンテナの位置関係 (Y面への投影)



図8.2.4 アンテナ、金属板の配置例写真

2) 測定結果

図8.3.1から図8.3.8はアンテナと金属板間を10cm、 金属板と電界センサ間を4cmにして、アンテナの中 心および金属板の中心をY軸上(X=0、Y=0)に設 置して、電界センサをX軸およびZ軸に走査した時の 電界強度の測定結果である。

電界強度の分布測定結果から、以下のことが分かる。

- パンチングメタルでは均一な金属板とほぼ同等な レベルまで電界強度が減少している。
- (2) 開口長25mmのスリットを縦にした場合には均一 な金属板とほぼ同等なレベルまで電界強度が減少し ている。
- (3) 6.0GHzで開口長25mmのスリットを横にした場合には、金属板がないときと同等またはそれを超えるレベルの電界強度が観測された。(図8.3.5~図8.3.8)
- (4) 6.0GHzで開口長25mmのスリットを横にした場合、電界強度が、TEMホーンアンテナではZ軸方向に電界強度がハンプを打ち、ダイポールアンテナではZ方向にハンプを打つ。
- (5) 6.0GHzのTEMホーンアンテナを使用しスリット

を横にした場合にはX軸方向にスキャンしたとき の電界強度は金属板の無いときに比べて約15%減 少し、Z軸方向にスキャンしたときはハンプが生じ 3つのピークが見られる。

- (6) 6.0GHzの半波長ダイポールアンテナを使用し、X 軸方向にスキャンしたときは電界強度がハンプを打 ち、5つのピークと6つの谷が見られる。また、Z 軸方向スキャンしたときはハンプが生じず、減衰量 は10%以下となった。
- (7) なお、2.0GHzではスリットを横にした場合の測 定を行っていないが、図8.1.2から、漏れのレベル は小さいが電界強度がハンプを打つことが推定され る。

図8.3.9から図8.4.2は金属板の位置をずらした場合 の電界強度の測定結果である。これらから以下のこと がわかる。

- 金属板の端から、金属板の裏に入る電波の電界強度は端から順次低下し、2.0GHz、6.0GHzともに 50~60mm程度中に入ると1 V/m以下となる。
- (2) 金属板の外側では、電界強度がハンプを打ち金属板の無い場合の電界強度を超える場合があるが、金属板がない場合のアンテナ中心軸でのレベルを超えることはなかった。











図8.3.3 半波長ダイポールアンテナの2.0 GHz の測定結果(X 軸方向の電界強度変化)



図8.3.4 半波長ダイポールアンテナの2.0 GHz の測定結果 (Z 軸方向の電界強度変化)



図8.3.5 TEM ホーンアンテナの6.0 GHz の測定結果(X 軸方向の電界強度変化)



図8.3.6 TEM ホーンアンテナの6.0 GHz の測定結果 (Z 軸方向の電界強度変化)





図8.3.8 半波長ダイボールアンテナの6.0 GHz の測定結果 (Z 軸方向の電界強度変化)







図8.4.0 金属板の位置をずらしたTEMホーンアンテナの6.0 GHz の測定結果 (X 軸方向の電界強度変化)



図8.4.1 金属板の位置をずらした半波長ダイポールアンテナの2.0 GHz の測定結果 (X 軸方向の電界強度変化)



図8.4.2 金属板の位置をずらした半波長ダイポールアンテナの6.0 GHz の測定結果 (X 軸方向の電界強度変化)

💻 EMCC レポート

8. まとめ

IEC 61000-4-39 で規定された試験構成であるアン テナから離隔距離10cmにて10V/mになるように校正 を行った後、25cm距離を離した場合は、周波数に関 係なく電界強度は約20 %の減少することが確認され た。一方で半波長ダイポールアンテは約60%の減少 が確認された。さらに距離を離してもTEMホーンア ンテナの減衰量は半波長ダイポールアンテナに対して 小さくなった。

アンテナを垂直偏波となるように配置し、アンテナ と電界センサ間に金属板を入れた電界強度分布の結果 では、均一金属板、Φ5mm開口のパンチングメタル、 およびスリット開口金属板(開口を縦(高さ25mm、 幅5mm)に配置した場合)は電波の漏れが小さかっ た。一方、スリット開口金属板を90度回転させ、ス リットの開口を横(高さ5mm、幅25mm)にすると、 TEMホーンアンテナ、半波長ダイポールアンテナと もに6.0GHzの周波数では金属板が無い場合に近いレ ベルの電界強度となり、かつ電界強度のハンプが見ら れた。このハンプのピークでは金属板がない場合より 電界強度が高くなる場合もあった。

9. 考察

TEMホーンアンテナと半波長ダイポールアンテナの違いによる電界強度の離隔依存性

TEMホーンアンテナは半波長ダイポールアンテナ と比べて距離に対する減衰量が小さいためTEMホー ンアンテナを用いた試験を満足すれば装置の携帯電話 などに対する耐イミュニティは担保出来ることが分 かった。また、半波長ダイポールアンテナは25cm離 隔した時の減衰量が約60%であることから、25cm未 満の離隔距離では遮蔽板を入れた場合の減衰量が 60%以下になることが試験免除の目安とみなすことが 可能と考えられる。

(2) 金属板表面の除外規定について

周波数6.0GHz以下の電磁波に対して、開口径が

5mm Φ以下のパンチングメタルであれば均一金属板 と同等の減衰特性があり、除外規定に加えることがで きると考えられる。安全規定「JISC6950-1:2016 4.6 エンクロージャの開口」の観点では、側面開口(装置 表面と同等)があらゆる方向に5mm以下である。通 常、金属筐体の通信装置では放熱用の開口を5mm以 下としていることから除外対象になりえる。また、実 際の装置表面では表示や操作インターフェースがある ため、開口(穴)の数は今回の試験したパンチングメ タルの穴数よりも少ないといえる。

他方、長さ25mmのスリット状の開口をもった金属 板では、6.0GHzの電磁波の半波長に近く漏洩が大き くなる。そこでは、複数のスリット開口があるためそ れぞれで回折、干渉が発生し、あたかも電磁波を再放 射(二次輻射)する複数のスロットアンテナが存在す る状態が作られているものと考えられ、金属板が無い 場合よりも電界強度が高くなることが認められた。こ のため、スリット状の開口については、簡単には除外 条件とならないことが分かった。

(3) 金属端面の影響について

電磁波源が金属端面から外れた場所から照射した場 合、金属板に覆われていない部分で電界強度のハンプ が発生し、金属板が全くない場合と比較して電界強度 が増加する現象が確認された。これは電磁波の回折お よび干渉が発生したためと思われる。この電界強度の 分布はアンテナの種類により変わるので注意が必要で ある。

10. 課題

規格の上限である6.0GHzの周波数範囲においては、 5mm以下の円形開口を均一に施した金属板であれば、 均一金属板と同等の減衰が得られ、免除対象の追加と なると考えられる。しかし、5G、6Gシステムの普及 において、無線端末で使用する電波の周波数上限が更 に高くなった場合を考慮して、電磁波の減衰と周波数 や開口直径との関係を明らかにする必要がある。

また、スリット形状の場合にはスリット長が電磁波 の半波長に近づくと遮蔽効果がほとんど無くなるため、 スリット長と電磁波の減衰の関連を調査し、除外規定

の適用可否や適用条件を明らかにする必要がある。

さらに、金属板端を電磁波が通過した場合の回折お よび干渉により装置へのイミュニティ影響についても 懸念がある。

11. 国際標準化への対応

IEC 61000-4-39で規定している TEM ホーンアンテ ナ端面とEUT間を10cmとした電界強度の校正方法 により、試験電界強度を校正した場合、TEMホーン アンテナのサイズにより位相中心位置が異なることか ら、10cm以降の電界強度の減衰傾向に違いが生じる。 また、スマーフォンなどのモバイル機器のアンテナは 「板状逆F型アンテナ」などの小型エレメントを持っ たものが多く、半波長ダイポールアンテナに類似した 性能を示し、その位相中心はアンテナ付近にあり、近 傍界を除けば半波長ダイポールアンテナと同様な放射 パターンとなる。半波長ダイポールアンテナとTEM ホーンアンテナの距離に対する電界強度の減衰傾向を 比較すると、半波長ダイポールアンテナの方が電界強 度の減衰は早い傾向にあり、TEMホーンアンテナに よる試験はEUTにとっては、実機より厳しい試験と なる可能性が高い。

これらのことから、IEC 61000-4-39を規定してい るSC77B/MT12に、これらの情報提供を行い、次版 改訂の際の検討に協力することが必要であると考える。 例えば、TEMホーンアンテナからの距離の減衰特性 の違いがあるがいずれもダイポールアンテナよりも厳 しいことから、複数のTEMホーンアンテナを用いて も、どれかで合格すれば良いなどの規定を加えるなど の修正も妥当と考える。

また、最大周波数6.0GHzではあらゆる方向に5mm 以下の開口であれば均一金属板と同様に免除可能との 結果であり、この除外規定を加えることを次回の改訂 に提案することが妥当である。

シールドとなる金属板端では干渉により電界強度が 増す場合があり、この点を注意点として情報提供する ことも有益と思われる。

電波環境協議会 第21 回技術講演会を開催

2023年12月4日(月)に、電波環境協議会 第21回 技術講演会を電波産業会会議室とオンライン併用で開 催しました。

今回は、特別講演1件と、電波環境協議会の妨害波 委員会・イミュニティ委員会の2022年度の成果報告2 件の、3講演を実施いたしました

特別講演は、「CISPR16-4-4改訂に関する議論の紹介」 について、国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波 研究所電磁環境研究室研究員の松本泰氏に講演いただ きました。

2件目は、妨害波委員会の調査研究成果:「エミッ ション測定でのループアンテナ設置高可変の検討と課 題」について、NTTアドバンステクノロジ株式会社グ リーン&プロダクト・イノベーション事業本部環境ビ ジネスユニットEMCセンタの小松周平氏に講演いただ きました。

3件目は、イミュニティ委員会の調査研究成果:「近 接電磁界イミュニティ試験の適用除外規定(IEC61000-4-39、8.6.2節)に関する調査研究」について、一般社団 法人情報通信ネットワーク産業協会電磁妨害対策技術 委員会委員長の出原昇氏に講演いただきました。

当日は、会議室とオンラインを合わせて65名の皆様 に参加いただきました。





松本泰 氏



小松周平 氏



出原昇 氏

編集後記

今回のEMCCレポートは、上記技術講演会にて講演いただいた皆様に執筆いただきました。 編集にあたり、執筆者の皆様をはじめ、ご協力をいただきました方々に感謝申し上げます

(事務局)

ー無断転載を禁ずー

EMCCレポート第39号				
2024年3月				
著 作:電波環境協議会				
<u>E</u> lectro <u>m</u> agnetic <u>C</u> ompatibility <u>C</u> onference Japan 〒100-0013 東京都千代田区霞が関1-4-1(日土地ビル) 一般社団法人電波産業会内 電波環境協議会事務局 TEL 03-5510-8596 FAX 03-3592-1103				

