



Title	屋内電力配線のアンテナ係数のその場測定
Author(s)	北川, 勝浩
Citation	電子情報通信学会技術研究報告. EMCJ, 環境電磁工学. 2007, 107(278), p. 7-12
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/77666
rights	copyright©2007 IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

屋内電力配線のアンテナ係数のその場測定

北川 勝浩†

† 大阪大学大学院基礎工学研究科
〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3
E-mail: †kitagawa@es.osaka-u.ac.jp

あらし 住宅の屋内電力配線は中波・短波帯において比較的良好なアンテナとして動作するため、その輻射能力を定量的に把握することは、短波帯を使用する広帯域電力線搬送通信の漏洩電磁界を制御する上で極めて重要である。そこで、既設住宅のコンセントから見た屋内電力配線のアンテナ係数又は利得をモード毎にその場で測定する方法を2つ考案し、木造2階建ての住宅で実験を行った。その結果、コモンモード (CM)、ディファレンシャルモード (DM) とともに、アンテナ係数は 0dB/m 程度、動作利得は -3dBi 程度に達することが分った。従って、漏洩電界を制御するには、CM だけでなく DM も規制する必要がある。

キーワード 電力線搬送通信, PLC, 漏洩電界, コモンモード, ディファレンシャルモード, アンテナ係数, アンテナ利得

In-situ Measurements of the Antenna Factor of In-house Power Lines

Masahiro KITAGAWA†

† Graduate School of Engineering Science, Osaka University
1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka, 560-8531 Japan
E-mail: †kitagawa@es.osaka-u.ac.jp

Abstract The in-house power line network could be relatively good antenna at MF/HF. Measurement of the antenna gain or antenna factor of the power line network is crucial to control the radiated field from the wideband power line communications (PLC) which use MF/HF. We have measured the antenna gain of the in-house power line network fed through the common mode (CM) or the differential mode (DM) of the different outlets by two methods at the wooden two-story house. We have found that the antenna factor reaches 0dB/m and the antenna gain reaches -3dBi for both CM and DM. To control the radiated field, both CM and DM must be restricted.

Key words power line communications, PLC, radiated electric field, common mode, differential mode, antenna factor, antenna gain

1. はじめに

電力線搬送通信 (Power Line Communications, PLC) は、商用電源を通すための電力配線に本来想定していない高周波信号を通して通信を行うため、それによって生じる電磁界により放送や無線通信に混信を与えるおそれがある。数年前から PLC を Mbps 以上に高速化してインターネットアクセスや家庭内 LAN に利用できるように、2~30MHz の周波数を開放せよとの強い要望が、産業界から経済団体を通して政府に規制緩和と要求として出され、紆余曲折 [1]~[6] の末に昨年 10 月に屋内利用限定で規制緩和が行われた。[7]~[9]

そのための技術基準は、放送や無線通信に妨害を与えないように離隔距離 10m において PLC による漏洩電界を周囲雑音と同程度以下にするという前提で定められた。[1], [2], [10] 総

務省情報通信審議会 CISPR 委員会は、周囲雑音レベルとして ITU-R の勧告 P.372-8 [11] よりもかなり大きな、28dB μ V/m (2~15MHz) および 18dB μ V/m (15~30MHz) という値を独自に採用した。[2], [10] また、漏洩電界の原因が PLC モデムからコンセントに流入するコモンモード (CM) 電流であるとして、それによって発生する漏洩電界が 10 m 離れた点で、上記の周囲雑音以下となるように、通過帯域幅 9kHz での CM 電流を平均値 (RMS) で 20dB μ A 以下 (2~15MHz) および 10dB μ A 以下 (15~30MHz) と定め、PLC モデムを特定の条件の ISN(LCL=16dB [12], ディファレンシャルモードインピーダンス DMZ=100 Ω , CM インピーダンス CMZ=25 Ω) に接続したときにこれを満たすことを技術基準とした。

ところが、この技術基準 [8], [9] に基づいて型式指定を受け市販されている各種の PLC モデムを、実際に一般住宅で使用し、

コモンモード電流と離隔距離 10m における漏洩電界を測定した結果、CM 電流が許容値を満たしていても漏洩電界が周囲雑音を 20dB 以上上回ることが判明した。[13] この住宅のコンセントの LCL [12] は全て 16dB 以上で技術基準の想定内であり、モデムも技術基準を満たしているにもかかわらず、漏洩電界が想定値を 20dB 以上上回ったことは、当初から私達が予見していたとおり [4], [6]、現行の技術基準に根本的な誤りがあり、漏洩電界を周囲雑音以下に抑制し得ないことを示している。その原因は複数あるが、[14] 本研究では、その中で最も本質的な屋内電力配線のアンテナ作用を明らかにするために、アンテナ係数およびアンテナ利得の測定を行った。

2. 屋内電力配線のアンテナ作用

電力線搬送通信による電磁界の漏洩を通信・放送受信に影響のないレベルに制御するには、まず屋内電力配線のアンテナとしての作用を知っておく必要がある。諸外国では、いくつかの研究があり、屋内電力配線のアンテナ利得として -15dBi ~ -30dBi の値が報告されている。[15] しかし、我が国の住宅事情は諸外国と異なり木造住宅が多く、屋内配線の形態も異なっているため、これらの値がそのまま適用可能かどうか不明である。

ところが、広帯域電力線搬送通信設備の技術基準の策定にあたって、我が国では非常に簡単なモデルによるシミュレーションと縮小サイズでの実験だけで、[16], [17] 実際の住宅の屋内配線のアンテナ利得を測定せずに、従来の CISPR22 [18] と同様に CM 電流からの輻射のみを漏洩の原因として、ジオサパールの法則によって CM 電流の許容値を算定した。[1], [10] その後、実際の住宅で、その許容値を満たす PLC モデムを使って漏洩電界を測定し、15MHz 以上について漏洩電界が周囲雑音を上回ったとして許容値を 10dB 厳しくし、[2] 現行の技術基準を策定した。モデムの出力も屋内配線のアンテナ利得も不明な僅か 3 箇所の実験であり、許容値を裏付ける根拠としては極めて薄弱であったと言わざるを得ない。

さらに、配電盤での減衰が 30dB 以上もあるとして、[1] ブロッキングフィルタなど引込み線への PLC 信号の漏洩対策を義務付けなかったが、[2], [10] この減衰量は実際にはせいぜい 10dB しかなく [14]、引込み線からの輻射の懸念も深刻である。PLC を使用している建物から 30m も 50m も離れた地点の短波ラジオで PLC 由来の信号が聞こえるということは、その地点で PLC からの漏洩電界が周囲雑音を上回っているということであるが、距離による減衰を考えれば、引込み線に漏洩した PLC 信号によるものである可能性も高い。

また、建物による遮蔽減衰量については、測定が困難であるとして計算値を採用したが、実際の住宅の遮蔽効果については不明な点が多い。

屋内配線上の CM 電流分布を全て求めて漏洩電磁界を推定しようという試みもあるが、[19] 不平衡性が高いスイッチ分岐 [20] が含まれておらず、実際の住宅の屋内配線からの漏洩電磁界を解明するには程遠いように見受けられる。

漏洩電界強度を決めている要素を全て明らかにして、それらを積み上げて漏洩電界を求めることは、学術的には非常に興味

深い、個々の要素の不確定性や住宅ごとのばらつきを考えると、労が多い割りに信頼すべき結果が得られる可能性は低いように思える。

そこで、建物の遮蔽や引き込み線への漏洩など全ての効果を含み、漏洩電界強度の算定に直接意味のある量として、屋内電力配線のアンテナ利得を測定することが有効と考えられる。

3. 実験方法

コンセントの CM とディファレンシャルモード (DM) を LCL プローブで分離して、各モードのアンテナとしての能力を測定した。測定は 2 つの異なる方法で行った。一つは屋内配線を送信アンテナとして用いるもので、コンセントの CM または DM に高周波を印加して、屋外に設置した標準アンテナで受信して、送信アンテナの利得 (またはアンテナ係数) を求める方法である。もう一つは、屋内配線を受信アンテナとして用いて、遠方から到来した同じ電波の受信強度を屋外に設置した標準アンテナと比較することによって受信アンテナの利得を求める方法である。これら 2 つの方法は、いくつかの点で相補的である。いずれの実験も、60cm 角のシールドドスモールループアンテナを標準アンテナとして用いた。

3.1 アンテナ係数と動作利得

後で使うために、アンテナ係数 F と動作利得 G の関係を導いておく。アンテナの有効面積を A_e 、絶対利得を G_a 、波長を λ とすると、 $A_e = \lambda^2 G_a / 4\pi$ である。[21] 電界 (実効値) を E 、真空の波動インピーダンスを $\eta_0 = 120\pi$ とすると、アンテナに流入する電力は $A_e E^2 / \eta_0 = \lambda^2 G_a E^2 / 4\pi \eta_0$ であるが、そのうち給電線に供給されるのは、給電点での電圧反射係数を Γ とすると、 $P = (1 - |\Gamma|^2) \lambda^2 G_a E^2 / 4\pi \eta_0 = \lambda^2 G E^2 / 4\pi \eta_0$ である。ここで、動作利得は $G = G_a (1 - |\Gamma|^2)$ である。給電点の電圧 (実効値) を V 、給電線の特性インピーダンスを $Z_0 = 50\Omega$ とすると、 $P = V^2 / Z_0$ であるから、アンテナ係数は

$$F[1/\text{m}] = \frac{E}{V} = \sqrt{\frac{4\pi\eta_0}{Z_0 G \lambda^2}} = \frac{4\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{30}{Z_0 G}} = \frac{\pi f[\text{MHz}]}{25\sqrt{15G}} \quad (1)$$

あるいは、

$$F[\text{dB}/\text{m}] = 20 \log_{10} f[\text{MHz}] - G[\text{dB}] - 29.8$$

となる。

3.2 送受信アンテナ間の伝送損失測定による方法

アンテナと給電線との間に不整合がある場合の伝送損失は、プリスの公式の絶対利得を動作利得に読み替えて、

$$|S_{21}|^2 = \frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 G_T G_R = \left(\frac{\eta_0}{\lambda r Z_0 F_T F_R}\right)^2 \quad (2)$$

となる。従って、図 1 のように、屋内電力配線の CM または DM を被測定アンテナとして、その給電線をネットワークアナライザのポート 1、標準アンテナの給電線をポート 2 にそれぞれ接続して、 S_{21} 、 S_{11} を測定すれば、被測定アンテナのアンテナ係数、動作利得、絶対利得は、下式で求まる。

$$F_T = \frac{\eta_0}{\lambda r Z_0 F_R |S_{21}|}$$

$$G_T = \frac{Z_0}{30} r^2 F_R^2 |S_{21}|^2, \quad G_{T,a} = \frac{Z_0}{30} r^2 F_R^2 \frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2}$$

あるいは、

$$F_T[\text{dB/m}] = 20 \log f[\text{MHz}] - F_R[\text{dB/m}] - |S_{21}|[\text{dB}] - 20 \log r - 32.0 \quad (3)$$

$$G_T[\text{dB}] = F_R[\text{dB/m}] + |S_{21}|[\text{dB}] + 20 \log r + 2.218 \quad (4)$$

$$G_{T,a}[\text{dB}] = G_T[\text{dB}] - 10 \log(1 - |S_{11}|^2) \quad (5)$$

ただし、式(2)が厳密に成り立つのは $r \gg \lambda/2\pi$ の遠方界の場合である。 $\lambda/2\pi$ の値は、2MHzでは23.87m、30MHzでは1.59mとなり、大きな開きがある。 $r=10\text{m}$ が $\lambda/2\pi$ と等しくなるのは $\lambda=62.83\text{m}$ 、周波数4.77MHzであるので、これより高い周波数では遠方界、これより低い周波数では近傍界が支配的となる。そのため、この方法によるアンテナ利得の値は、概ね5MHz以上で有効と考えられる。

本来は、全方位、直交2偏波について測定すべきであるが、ここでは標準アンテナを図3に示すとおり建物の外壁から10m離れた地点1箇所の、地上高2mに塩ビのパイプを支柱として設置し、指向性が建物の中心を向くように固定した。

3.3 到来電波の受信強度を標準アンテナと比較する方法

2つのアンテナ1, 2で、遠方からの同じ到来電波を受信して、その受信電力を比較すると、

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2$$

となり、一方の利得またはアンテナ係数が既知であれば、他方のそれを求めることができる。すなわち、

$$G_1[\text{dB}] = G_2[\text{dB}] + P_1[\text{dBm}] - P_2[\text{dBm}]$$

$$F_1[\text{dB/m}] = F_2[\text{dB/m}] - P_1[\text{dBm}] + P_2[\text{dBm}]$$

標準アンテナの配置は図3のとおりとし、指向性は直交する2方向で測定し、電界強度のデータを後で合成して、等価的に無指向性とした。短波帯の電波は基本的に電離層で反射されたものでありフェージングによって時間的に信号強度が変化している。そのため、Maxholdによってフェージングのピークを記録した。スペクトラムアナライザの設定は、掃引周波数範囲2~26MHz、RBW=8kHz、平均値検波とし、一つのコンセントについてCM、DM、標準アンテナによる直交2方向のスペクトルを順番に取得する。

3.4 LCLプローブによるモード選択

コンセントのCMとDMの分離には、LCLプローブ[12]を、CM端子に直列に入っている25Ωを短絡したTCL測定モードで用いた。トランスは全て、Fair-Rite社の43材フェライトビーズ2643000801に0.25mmのエナメル線を6回バイファイラ巻きしたものをを用いた。また、DM端子の一方は常に50Ωで終端している。そのため、ディファレンシャル端子には常に6dBの損失があるので、 $|S_{21}|$ または受信電界強度に6dBを加えて補償している。

LCLプローブは、モード分離のために用いているだけなの

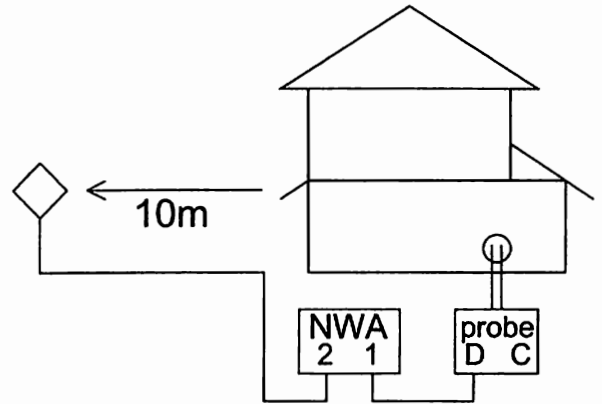


図1 屋内配線から送信して標準アンテナで受信する

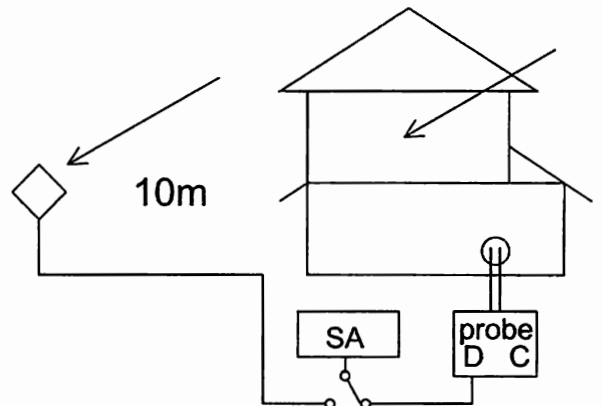


図2 屋内配線と標準アンテナで到来電波を受信して比較する

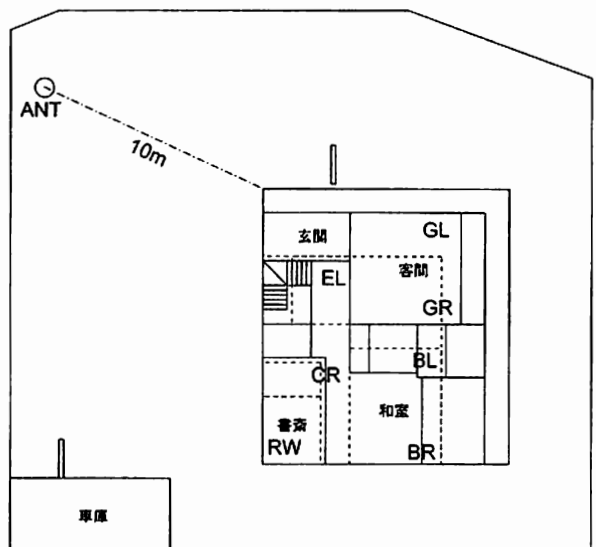


図3 実験を行った住宅の敷地・間取りとアンテナ配置
EL, GL, GRは1階で、BL, BR, CR, RWは2階(破線)

で、LCL 測定の場合 [1] のように 1m 四方の金属板は用いていない。また、LCL プロープとネットワークアナライザまたはスペクトラムアナライザを接続する同軸ケーブル RG58CU の LCL プロープ側の端は、Fair-Rite 社の 43 材トロイダル・コア 5943003801 に 12 回巻いて CM チョークとしている。

CM で受信した場合の受信電界強度は LCL プロープの対地容量によって変化し、一般に対地容量が大きいほど強くなる。しかし、今知りたいのは、実際の PLC モデムが接続された場合の状況である。市販の PLC モデムの筐体は樹脂製で、本実験で用いた LCL プロープの金属筐体と同程度かやや大きい程度なので、対地容量は LCL プロープと同程度かそれ以下と考えられる。

3.5 実験環境

実験は、PLC による漏洩電界を測定したのと同じ木造二階建て [13] で行なった。実験配置を図 3 に示す。測定したコンセンは、1 階の EL (玄関横)、GL (客間左)、GR (客間右)、2 階の CR (廊下)、BL (和室左)、BR (和室右)、RW (書斎窓側) の計 7 箇所である。

4. 実験結果

4.1 アンテナ係数

図 4 に式 (3) から求めた屋内配線のアンテナ係数の例を示す。比較のため標準アンテナとして用いた 60cm 角ループアンテナと半波長ダイポールアンテナのアンテナ係数 (理論値) も示している。屋内配線のアンテナ係数は CM、DM とともに、これら 2 つのアンテナのほぼ中間にある。しかし、この例では、DM の方が概ねアンテナ係数が良く、20MHz 付近では半波長ダイポールと数 dB 程度の差しか無い。

低周波側の 500kHz 付近で両モードともにダイポールの値に接近しているが、 $\lambda/2\pi = 477 \gg r$ の完全な近傍界の領域であり、式 (2) による評価は困難と思われる。

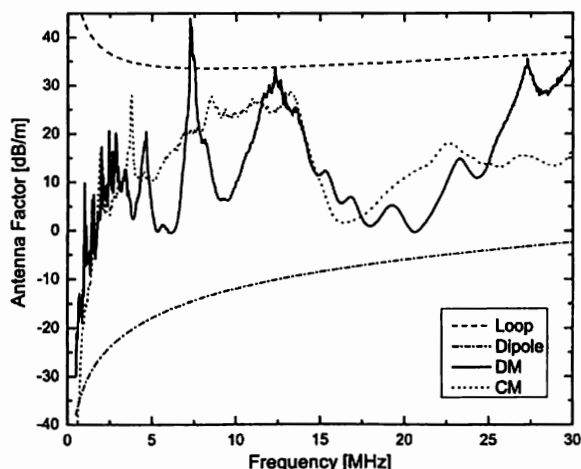


図 4 2F BR アンテナ係数

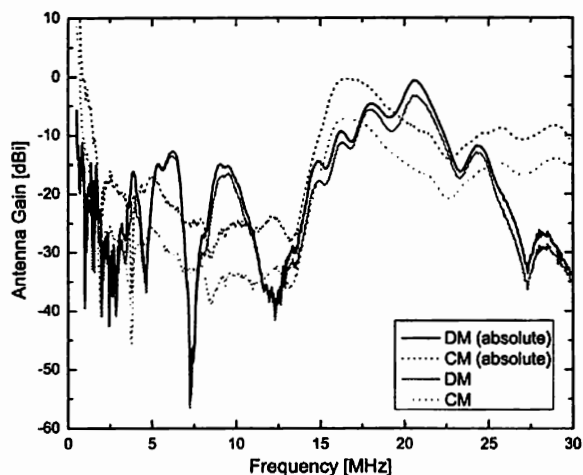


図 5 2F BR 動作利得と整合時の絶対利得

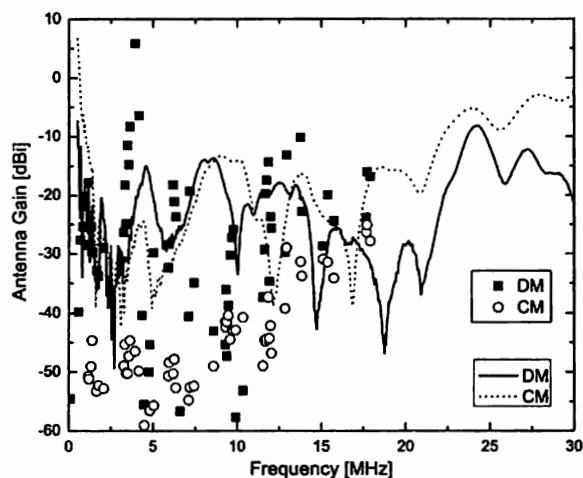


図 6 1F EL 動作利得

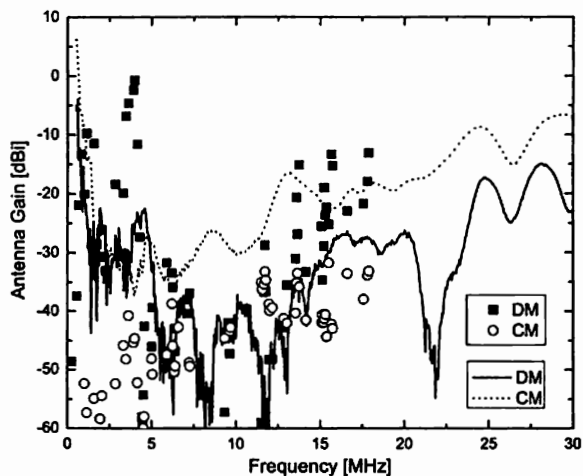


図 7 1F GR 動作利得

4.2 動作利得と絶対利得

屋内配線からの輻射を見積もる場合に、アンテナ利得で表す方が一般的であるので、式 (4)、式 (5) によって動作利得と絶対利得を求めたものを図 5 に示す。絶対利得は CM、DM ともに 0dBi に達している。建物の遮蔽があるにも関わらず、0dBi の絶対利得を持つということは、屋内配線そのものの利得は半波長ダイポールを超えるということである。特に、PLC のための高周波信号をほぼ整合に近い条件で供給する DM の利得がこれだけ大きいということは、十分予想されたこととは言え、[4] 注目に値する。

動作利得と絶対利得の差は、DM では 4dB 程度以下であった。これは、LCL プローブの DM ポートインピーダンス 100Ω との間の不整合が小さいことによる。実際に PLC モデムをコンセントに接続した状況でも、ほぼ同様の状況と考えられる。一方、CM では、動作利得と絶対利得の差は 5~10dB 程度あり、これは LCL プローブ (TCL モード) の CM ポートのインピーダンス 50Ω との不整合が大きいことによる。動作利得と絶対利得の差は、どのコンセントでもほぼ同様の値であったため、以下では、各コンセントについて動作利得のみを表示する。

4.3 動作利得

図 3 の各コンセントで測定した動作利得を以下の図に示す。実線、破線は 3.2 の方法で測定した DM、CM の値、■、○は 3.3 の方法で測定した DM、CM の値である。

2つの方法は、以下の点で異なるものを測定していると考えられる。それを考慮すれば、2つの実験結果は比較的一致しており、補完し合っていると見ることができる。

表 1 測定法の比較

	3.2 伝送損失法	3.3 受信比較法
界	近傍界~遠方界	遠方界
偏波	特定偏波	楕円偏波
方向	特定方向	全方向
周波数	任意	特定 (放送波等)
誤差	少ない	多い (強度変動)
標準空中線利得	-	+

例えば、4MHz 付近の DM のピークは受信比較法では全てのコンセントで一貫して大きいが、伝送損失法ではそれより小さく、コンセントによっては見えない。これは、伝送損失法での測定が屋内配線からの輻射の空間パターン、偏波などのヌルになっている可能性がある。

10MHz 以上では比較的良好一致しているが、GL、GR、RW の 15MHz 付近のピークについては、受信比較法の方が大きく、やはり伝送損失法のヌルの可能性がある。DM の最大利得は 1 階では -10dBi 程度、2 階では -3dBi 程度である。

4.4 コモンモードチョークの効果

コンセントと LCL プローブの間に CM チョークを挿入すると、図 11 に示すように、DM はほとんど変化せず、CM の利得だけが低下する。CM についてはモデム側の高インピーダンス化によってアンテナ利得を低減する余地があることを示している。

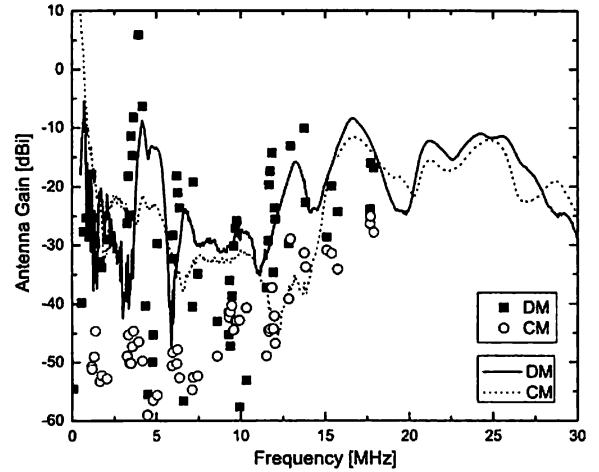


図 8 2F CR 動作利得

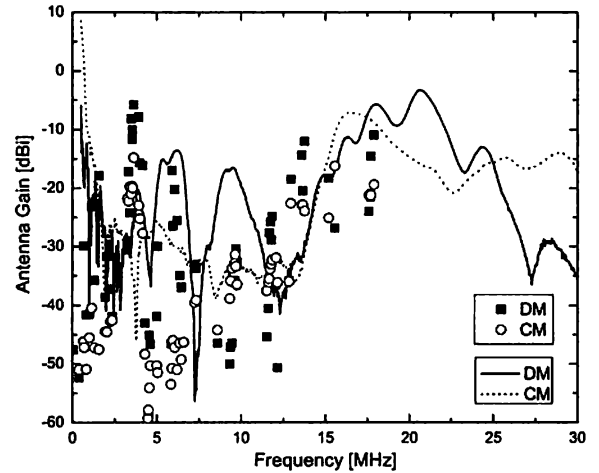


図 9 2F BR 動作利得

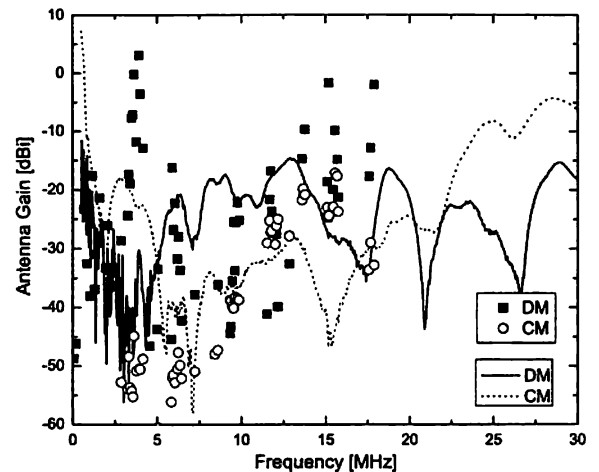


図 10 2F RW 動作利得

それに対して、DM については、アンテナ利得は不変で、モテム側でできることは出力を小さくすることだけである。

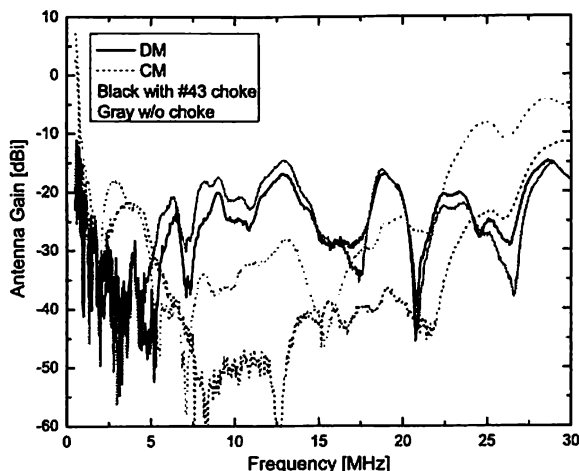


図 11 2F RW CM チョークの効果

5. まとめ

木造 2 階建て住宅の屋内電力配線では、

- (1) 絶対利得は、DM、CM 共に 0dBi に達する、
- (2) 動作利得は DM、CM 共に -3dBi に達する、
- (3) 伝送損失法と受信比較法の結果はほぼ一致する、
- (4) CM チョークで CM 利得を数~20dB 低減可能である。

(2) から、DM、CM の許容電力、電流を算定する。動作利得 $G[\text{dBi}]$ の屋内配線で離隔距離 r における漏洩電界を E にするには、電力を $P_E = r^2 E^2 / 30G$ 、すなわち、

$$P[\text{dBm}] = 20 \log r + E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] - 90 - G[\text{dB}] - 14.77$$

とする必要がある。インピーダンスを $Z[\text{dB}\Omega] = 20 \log Z$ とすると、電流 $I = \sqrt{P/Z}$ は、

$$\begin{aligned} I[\text{dB}\mu\text{A}] &= P[\text{dBm}] + 90 - Z[\text{dB}\Omega]/2 \\ &= 20 \log r + E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] - G[\text{dB}] - 14.77 \\ &\quad - Z[\text{dB}\Omega]/2 \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

漏洩電界の許容値を、仮に現行の 15MHz 以上の値と同じ $18[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]$ 、離隔距離も現行の 10m とすると、DM、CM ともに電力許容値は $P[\text{dBm}] = 20 + 18[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] - 90 + 3[\text{dB}] - 14.77 = -63.77[\text{dBm}]$ となる。電流許容値は、DM については $Z=100\Omega$ として、 $I_{\text{DM}}[\text{dB}\mu\text{A}] = 20 + 18[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + 3[\text{dB}] - 14.77 - 20[\text{dB}\Omega] = 6.23[\text{dB}\mu\text{A}]$ となる。CM については、 $Z=240\Omega$ として、 $I_{\text{CM}}[\text{dB}\mu\text{A}] = 20 + 18[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + 3[\text{dB}] - 14.77 - 23.8[\text{dB}\Omega] = 2.43[\text{dB}\mu\text{A}]$ となる。これらは、DM 電流が $28\text{dB}\mu\text{A}$ 、CM 電流が $20\text{dB}\mu\text{A}$ のときに、漏洩電界が想定値 $18[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]$ を 20dB 程度上回り、DM 電流の寄与が支配的であるという実験結果 [13], [14] をほぼ再現している。

真に放送・通信と共存するためには、さらに少なくとも下記

の 3 点を考慮する必要がある。

- 周囲雑音レベルは $10[\text{dB}\mu\text{V}]$ とする [11], [22]
- 離隔距離は我が国の住宅事情により 3m とする [14]
- 複数 PLC の累積効果 9dB を考慮する [1]

これによって、許容値は合計 -27.45dB する必要があり、電力許容値は $-91[\text{dBm}]$ 、電流許容値は $I_{\text{DM}} = -21[\text{dB}\mu\text{A}]$ 、 $I_{\text{CM}} = -25[\text{dB}\mu\text{A}]$ となる。

広帯域 PLC の漏洩電界を真に周囲雑音以下に制御して、通信・放送との電波共存上の問題を解決するには、屋内電力配線のモード毎のアンテナ利得に基づく各モードの規制が不可欠である。今回報告したのは一軒の木造 2 階建て住宅についての結果であるが、様々な住宅についてアンテナ利得を測定し、早急に技術基準の見直しを行う必要がある。

文献

- [1] 総務省、高速電力線搬送通信に関する研究会報告書、http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/pdf/051226_6.bt2.pdf, 2005.12
- [2] 総務省、情報通信審議会情報通信技術分科会 CISPR 委員会報告、http://www.soumu.go.jp/joho.tsusin/policyreports/joho.tsusin/bunkakai/pdf/060629_3.1-2.pdf, 2006.6
- [3] 西本修一、総務省、電波監理審議会意見書(第 415 回意見の聴取) http://www.soumu.go.jp/joho.tsusin/policyreports/denpa_kanri/pdf/060823_2.pdf, 2006.9
- [4] 同上、別紙, pp.21-27 (北川意見); pp.27-31 (大石意見)
- [5] 総務省、電波監理審議会(第 909 回)議事要旨, pp.1-2, http://www.soumu.go.jp/joho.tsusin/policyreports/denpa_kanri/pdf/060913_2.pdf, 2006.9
- [6] 総務省、電力線搬送通信設備の技術基準等の整備に関する電波監理審議会答申及び意見募集の結果、http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/pdf/060913_9.7.pdf, 2006.9
- [7] 無線設備規則第 59 条第 1 項第 1 号、同第 2 項、第 60 条第 2 号
- [8] 電波法施行規則第 46 条第 1 項第 5 号、同条の 2 第 1 項第 5 号
- [9] 総務省告示第 520 号 (平成 18 年 10 月 4 日)
- [10] 杉浦、上、雨宮、山中、"我が国的高速 PLC 規格とその技術的背景," 信学技報, EMCJ2007-36, 2007.7
- [11] ITU-R Recommendation P.372-8, "Radio Noise," 2003.4
- [12] I. P. Macfarlane, "A Probe for the Measurement of Electrical Unbalance of Networks and Devices," IEEE Trans on EMC, Vol. 41, No. 1, pp. 3-14 (1999).
- [13] 北川、大石、"住宅環境における屋内広帯域電力線搬送通信からの漏洩電界とコモンモード電流の測定 I," 信学技報, EMCJ2007-49, 2007.9
- [14] 北川、大石、"住宅環境における屋内広帯域電力線搬送通信からの漏洩電界とコモンモード電流の測定 II," 信学技報, EMCJ2007-53, 2007.10
- [15] NATO, "HF Interference. Procedures and Tools," TR-IST-050, [http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-IST-050/\\$TR-IST-050-ALL.pdf](http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-IST-050/$TR-IST-050-ALL.pdf), 2007.6
- [16] 前川、石川、神宝、稲田、牧、渡邊、徳田、"単純化された電力線モデルからの漏洩電界測定," 信学技報, EMCJ2005-67, 2005.9
- [17] 渡邊、徳田、牧、"分岐のある電力線モデルの平衡度と漏洩電界に対するモーメント法計算," 信学技報, EMCJ2005-69, 2005.9
- [18] IEC/CISPR, CISPR22 第 5.2 版 (2006-03)
- [19] 三吉、桑原、秋山、田島、"4 ポート回路網を用いた屋内配電線から放射される磁界強度解析法," 信学論 B, J90-B, pp. 592-600, 2007.6
- [20] 石原、梅原、森広、"屋内電力線通信における漏洩電界の測定," 信学技報, EMCJ2005-145, 2006.3
- [21] 例えば、榎本、関口、"電波工学", オーム社, 1964 年
- [22] F. Weinmann, K. Dostert, "Verification of background noise in the short wave frequency range according to recommendation ITU-R P.372," Int. J. Electron. Commun., 60, pp. 208-216 (2006).