Osaka University Knowledge Archive

Title	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
Author(s)	北川, 勝浩; 大石, 雅寿
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. 1-6
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/77665
rights	copyright©2007 IEICE
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report
EMCJ2007-53, MW2007-100 (2007-10)

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

北川 勝浩† 大石 雅寿††

† 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
†† 国立天文台
〒 181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1
E-mail: †kitagawa@es.osaka-u.ac.jp, ††masatoshi.ohishi@nao.ac.jp

あらまし 我が国の広帯域電力線搬送通信設備 (PLC) の技術基準は、コモンモード (CM) 電流の規制によって漏洩電界を離隔距離 10m で周囲雑音以下に抑制するとしていたが、実際には周囲雑音を 20dB 以上上回る漏洩電界を発生する。この原因を探るために、CM チョークによる CM 電流、漏洩電界の抑制効果、PLC モデムのディファレンシャルモード (DM) 電流、引込み線の CM/DM 電流、パソコンの CM 電流を測定し、技術基準の問題点を考察した。

キーワード 電力線搬送通信, PLC, 漏洩電界, 周囲雑音, コモンモード電流, LCL, ディファレンシャルモード電流, CISPR22, コモンモードチョーク

Measurements of the Radiated Electric Field and the Common Mode Current from the In-house Broadband Power Line Communications in Residential Environment II

Masahiro KITAGAWA† and Masatoshi OHISHI††

† Graduate School of Engineering Science, Osaka University
1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka, 560-8531 Japan
†† National Astronomical Observatory of Japan
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo, 181-8588 Japan
E-mail: †kitagawa@es.osaka-u.ac.jp, ††masatoshi.ohishi@nao.ac.jp

Abstract Japanese regulations of in-house broadband power line communications (PLC) are supposed to suppress the radiated electric field (REF) at the distance of 10m below the ambient noise level by restricting the common mode (CM) current of the modem. However it turns out that the REF could exceed the ambient noise level by more than 20dB. To investigate the origin of the discrepancy, we have performed the measurements of the CM current, REF and LCL with and without the CM choke, the DM current of the PLC modems, the CM/DM currents outside the house, and the CM of the personal computers.

Key words power line communications, PLC, radiated electric field, ambient noise, common-mode current, LCL, differential-mode current, CISPR22, common-mode choke

1. はじめに

電力線搬送通信 (PLC) は、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。PLC に 2〜30MHz の周波数を開放せよとの規制緩和要求があり、2006 年 10 月に技術基準が定められた。[1]〜[4] その技術基準は、放送や無線通信に妨害を与えないように離隔距離 10m において漏洩電界を周囲雑音以下にするという前提で定められた。[2], [3], [5] 総務省情報通信審議会 CISPR 委員会は、漏洩電界の原因がコモンモード (CM) 電流であるとして、それから発生する漏洩電界が離隔距離 10 mで、独自に採用した周囲雑音レ

ベル、28dBμV/m (2〜15MHz)、18dBμV/m (15〜30MHz)、以下となるように、通過帯域幅 9kHz での CM 電流を平均値で 20dBμA(2〜15MHz)、10dBμA 以下 (15〜30MHz) と定め、PLC モデムを特定の条件の ISN(LCL=16dB [7], ディファレンシャルモード (DM) インピーダンス DMZ=100Ω, CM インピーダンス CMZ=25Ω) 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 [4] 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、CM 電流と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。[1] この住宅のコンセントの LCL [7] は全て 16dB 以上で、技術基準を満たすモデムの漏洩電界が想定値を大幅に上回ったことは、技術基準の根本的な誤りを示している。

今回は、これらの点をさらに明らかにするために、CM チョークを用いた場合の CM 電流、漏洩電界、LCL の測定、PLC の DM 電流の測定、パソコンの CM 電流の測定、引き込み線の積算電力計入り口での CM/DM 電流の測定を行い、技術基準の問題点を考察した。

2. 実験方法

実験は、前回 [1] に引き続き大阪府吹田市の住宅地にある木造二階建ての一般住宅で行った。1 階と 2 階のコンセントに表 1 の PLC を接続して、2 台のパソコン間で PLC を介して 100MB〜1GB のファイルを FTP プロトコルで転送することによって、主として送信側の PLC によって生じる漏洩電界、CM 電流、DM 電流を測定した。漏洩電界は、60cm 角のシールデッドスモールループアンテナを、建物の外壁から 10m 離れた地点の地上高 2m に指向性が建物の中心を向くように設置し、スペクトラムアナライザで、掃引周波数範囲 2〜26MHz、RBW=8kHz、平均値検波、Maxhold で測定した。技術基準では RBW=9kHz であるが、換算は行っていない。[1] LCL は、前回と同じ LCL プローブ [1], [7] を用いて、総務省研究会と同じ方法 [2] で測定した。

表 1　実験に使用した PLC

記号	方式	指定番号
P	HD-PLC	第 HT-06001 号
L	UPA	第 AT-07006 号
H	HomePlug 1.0 Turbo	第 AT-07008 号
N	UPA	第 AT-07012 号
Z	HomePlug AV 1.0	第 AT-07013 号

2.1 cm 電流および dm 電流の測定

CM 電流と DM 電流は、43 材トロイダル・コアに 2 次巻線を 7 回巻いた電流プローブを用いて、スペクトラムアナライザで上と同じ設定で 2 次側の電力 P[dbm] を測定した。CM プローブは 1 次側 1 回巻（貫通）で、CM 電流は CMI[dbμa]=P[dbm]+90、DM プローブは 1 次側 2 回巻（交差）で、DM 電流は DMI[dBμA]=P[dBm]+84 で求めた。コアとしては、コンセントでの測定には Fair-Rite 社の 2643102002 を用いた。積算電力計の入力（柱上トランス側）での測定には、同社の 5943003801 を 2 分割したものを用いた。

2.2 CM チョーク

PLC による漏洩電界が PLC 出力の CM 電流によるものか DM 電流によるものかを調べるには、どちらかを一定にしたままで他方を変化させる必要がある。基本的に、CM 電流も DM 電流に比例しているので、単に CM 電流と漏洩電界の間に正の相関があるというだけでは、漏洩電界の原因が CM 電流なのか、DM 電流なのかを区別することはできない。単なる相関関係を因果関係と混同すると、真の原因を見失ってしまう。そこで、PLC とコンセントの間に CM チョークを挿入して、CM 電流だけを変化させて漏洩電界を測定した。

フェライト・トロイダルは、77 材 (μ = 2000)、43 材 (μ = 850)、61 材 (μ = 125)(Fair-Rite 社 59XX003801)、および、K 材 (μ = 290)(Amidon 社 FT-240-K) で、AC コードを 6 回ずつ分割巻きで計 12 回巻いている。測定した CM 阻止インピーダンスを図 1 に示す。43 材と K 材では、2〜30MHz で 500Ω 以上のインピーダンスが得られることが分る。

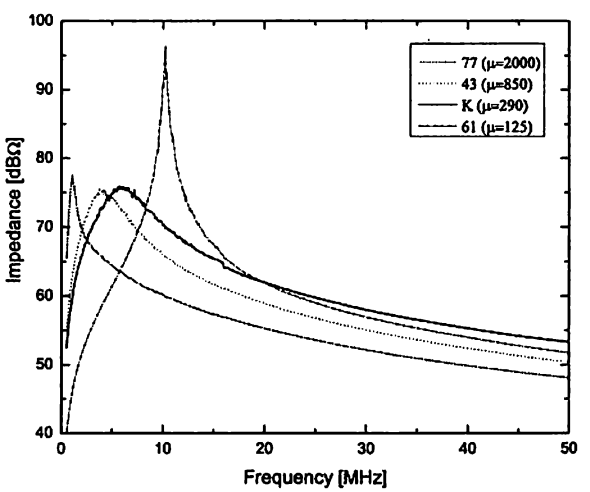

図 1　CM チョークの阻止インピーダンス

3. 実験結果

3.1 CM チョークの効果

CM チョークを PLC とコンセントの間に挿入して、CM 電流および漏洩電界を測定し、挿入前と比較した。短波帯で最も効果が大きかった K 材 CM チョークの結果を示す。

H の PLC については、図 2 のとおり 1F のモデムの CM 電流はチョークの挿入によって最大 20dB 程度減るものの、漏洩電界の有意な変化は観測できなかった。

N については、図 3 のとおり、CM 電流は減る部分と増える部分があり、図 4 のとおり漏洩電界は減る部分と不変の部分があった。

これらの結果を見る限り、CM チョークは CM 電流を低減する場合もあるが、その場合でも、漏洩電界が低減される場合も

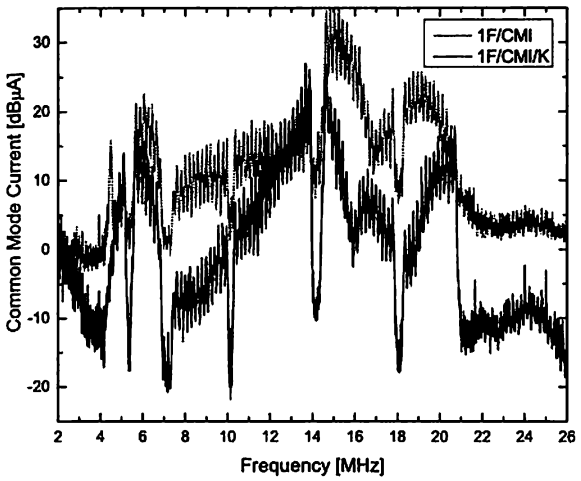

図 2　H: CM 電流

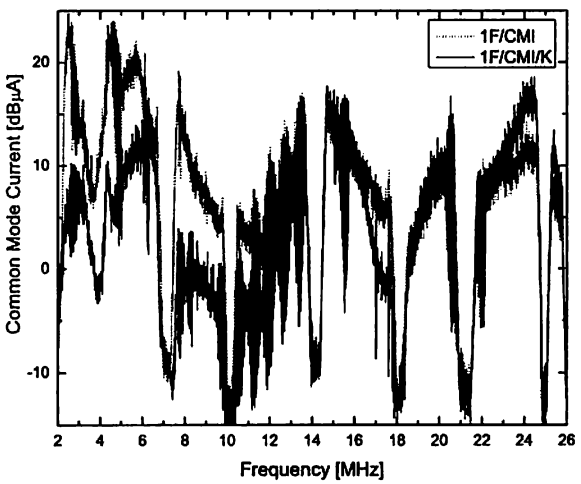

図 3　N: CM 電流

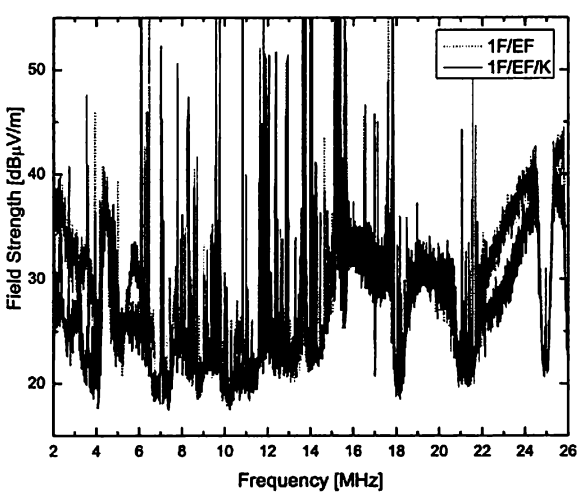

図 4　N: 漏洩電界強度

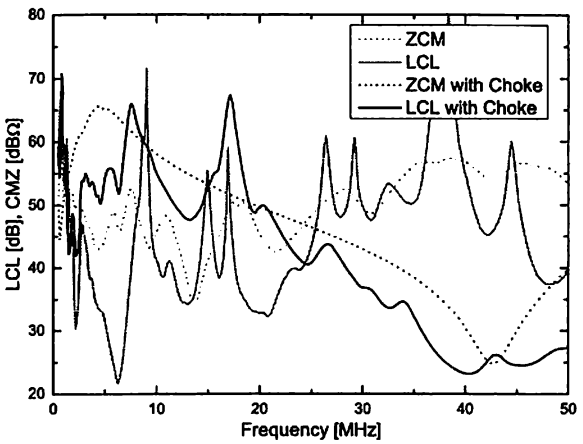

図 5　CM チョークによる LCL と CM インピーダンスの変化

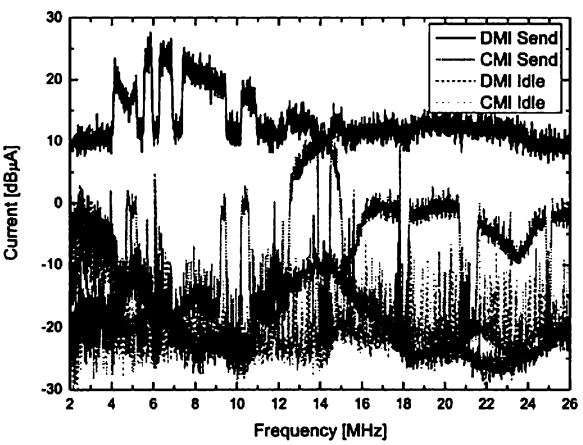

図 6　P: DM 電流と CM 電流

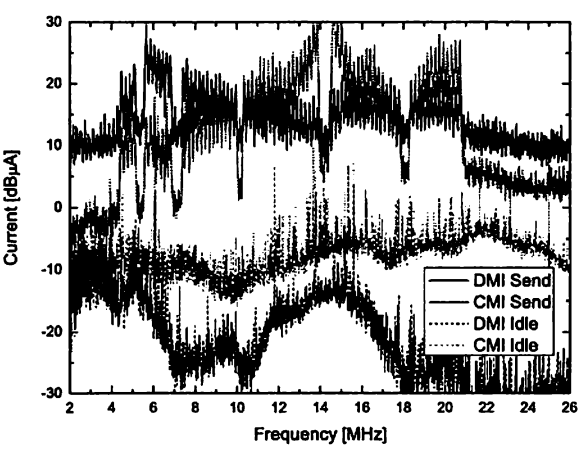

図 7　H: DM 電流と CM 電流

あれば変わらない場合もあるということになる。また、CM 電流が増えているにも関わらず漏洩電界が減る場合があった。

CM チョークによるコンセントの LCL と CM インピーダンスの変化を測定した結果を図 5 に示す。25MHz 以下では図 1 のインピーダンスが直列に入ることによって CM インピーダンスが高くなり、LCL も高くなっていることがわかる。それに対し、25MHz 以上ではかえって CM インピーダンスは下がり LCL も低くなっている。

3.2 各 PLC モデムの CM 電流と DM 電流の比較

全ての PLC モデムについて、送信側の PLC と一階コンセントの接続点における CM 電流および DM 電流の測定結果 (RMS) を、図 6〜9 に示す。各図のグラフは黒の実線が送信時の DM 電流、灰色の実線が送信時の CM 電流、各点線はそれぞれのアイドル時の値である。

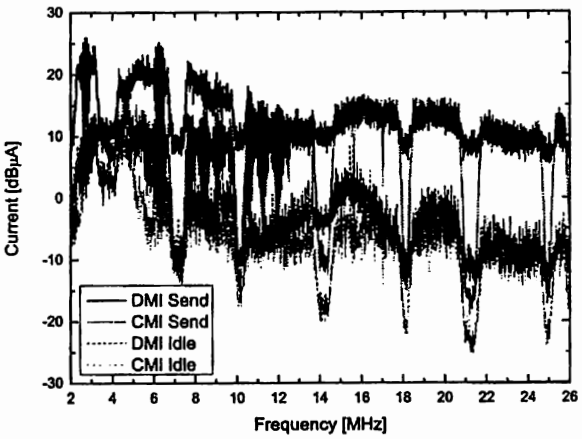

図 8　N: DM 電流と CM 電流

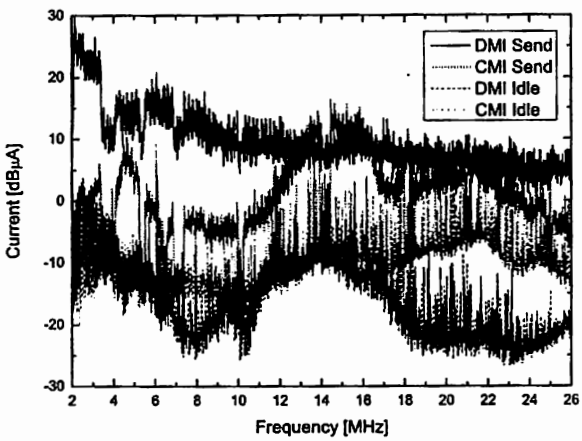

図 9　Z: DM 電流と CM 電流

ほとんどのモデムで、送信時の DM 電流は、2〜15MHz が 10〜28dBμA、15〜30MHz で 10〜20dBμA であり、モデムに

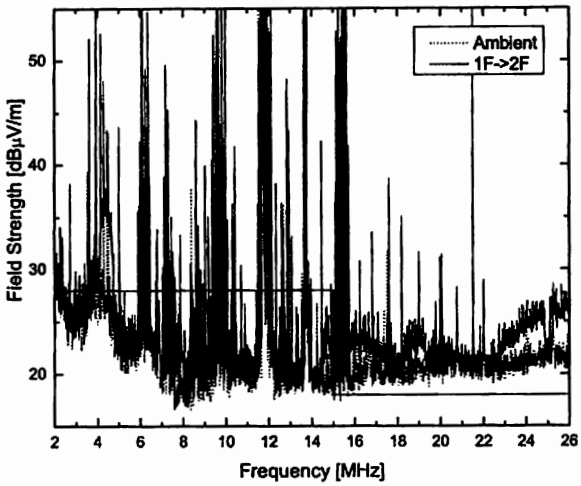

図 10　P 漏洩電界強度

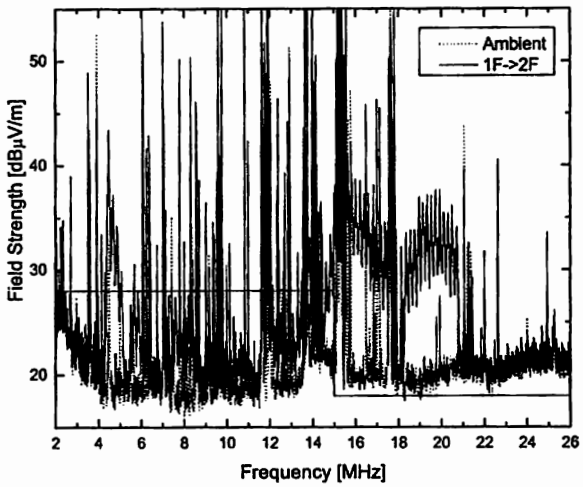

図 11　H 漏洩電界強度

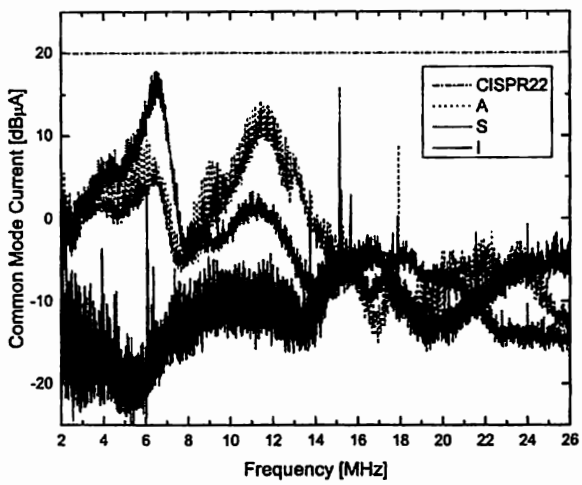

図 12　パーソナルコンピュータの CM 電流

よる差は少ない。一方、CM 電流の方は大きな差がある。特に、図 6 と図 7 は DM 電流が 5dB しか違わないにも関わらず、CM 電流は 20dB も異なっている。図 10 と図 11 の漏洩電界を比較すると、16〜20MHz で 15dB 程度異なっている。

一方、3.1 の CM チョークを用いた実験では H の CM 電流を小さくしても漏洩電界強度は変わらなかった。これらの一見矛盾する振舞いの原因としては、(i) CM による漏洩電界と DM による漏洩電界が同程度に寄与し干渉している、(ii) CM 電流も DM 電流も測定しているのは PLC モデム端の定在波であって、線路上の進行波ではないこと、などが考えられる。特に、CM については定在波比が大きく、モデム・周波数によって終端条件も異なるため、モデム端の電流はあまり良い指標ではないと考えられる。

そもそも、屋内配線の総延長は短波帯の波長と同程度以上であり、それに含まれる分岐も 1/4 波長と同程度以上のものが多いので、屋内配線は分布定数回路として扱う必要がある。その場合、コンセントで測った LCL やコモンモード電流、あるいは、CM インピーダンスのように端子電圧あるいは端子電流に関する量に本質的な意味はなく、全て進行波に分解する必要がある。

4. 現行の技術基準の問題点

4.1 パソコンの CM 電流

現行の技術基準の根底には、既に広く使われているパーソナルコンピュータの CM 電流から発生する漏洩電界による短波帯の無線通信・放送への妨害が報告されていないことを根拠として、PLC の CM 電流もパソコンと同じ許容値であれば問題ないとする考え方がある。[2] ところが、ここには論理的な落とし穴がある。多くのパソコンの電源の CM 電流が CISPR22 [8] ClassB の通信ポート許容値まで出ていれば、この論理は成り立つが、許容値との間に大きなマージンがあれば、PLC に対してはそのマージンの分だけ甘い許容値になってしまう。そこで、パソコンの電源の CM 電流を測定した結果を図 12 に示す。これから分るとおり、15MHz 以上では測定した全てのパソコンが通信ポート許容値よりも 25dB 低い値しか出していない。15MHz 以下では一部の周波数で許容値に数 dB まで近づくものもあるが、概ね 15dB 程度マージンがある。従って、PC のノイズによる短波帯無線通信や放送への妨害が報告されていないからといって、その許容値まで CM 電流を流しても問題が起らないと考えるのは大きな誤りである。

4.2 LCL と CM 電流による規制の原理的問題

4.2.1 コンセントにおける CM 電流

CM 電流による規制の根拠として、低い LCL で CM 電流を規制しておけば、DM 電流は自動的に CM 電流より LCL だけ大きな値に規制されるので問題ないという見解がある。[5] しかし、ここにも落とし穴がある。LCL は CM 電圧から DM 電圧への変換率であるが、今問題にしているのは電流である。

PLC モデムを電力線に接続した場合の CM 電流と DM 電流の関係は、CISPR22 [8] の付則 E の情報を準用すれば、

$$I_{CM}[dB\mu A] \approx I_{DM}[dB\mu A] - LCL[dB] - 20\log\left|\frac{2(Z_{CM}+Z_{CT})}{Z_0+4Z_{CM}}\right| \quad (1)$$

となる。ここで、I_{CM}, I_{DM} は CM 電流、DM 電流、Z_0 は DM インピーダンスである。LCL と Z_{CM} は、電力線と PLC モデムのうち LCL の悪い側の値を用いるので、今これは電力線の LCL と CM インピーダンスとする。Z_{CT} は LCL が良い側の PLC モデムの CM インピーダンスとする。

電力線側の特性 Z_0, Z_{CM}, LCL が決まっていても、I_{CM} と I_{DM} の関係はモデムの CM インピーダンス Z_{CT} によって変化する。技術基準が暗に仮定しているように $I_{CM} = I_{DM} - LCL$ となるのは、$Z_{CT} = Z_{CM} + Z_0/2$ の場合だけである。Z_{CT} がそれよりも大きければ、I_{CM} の値は $I_{DM} - LCL$ よりも小さくなる。逆に、I_{CM} を許容値に固定すれば、I_{DM} はそれに LCL を加えた値よりも大きくなり得る。

実環境の値として、技術基準で想定した $Z_{CM} = 240[\Omega]$, $Z_0 = 80[\Omega]$ の場合で試算すると、$Z_{CT} = 240 + 80/2 = 280[\Omega]$ ならば、$I_{CM} = I_{DM} - LCL$ となる。

次に、技術基準の測定環境、$Z_{CM} = 25[\Omega]$, $Z_0 = 100[\Omega]$, LCL=16dB で試算すると、$Z_{CT} = 25 + 100/2 = 75[\Omega]$ のときに $I_{CM} = I_{DM} - LCL = I_{DM} - 16$ となる。しかし、Z_{CT} がここまで低いことは実際にはおそらくないだろう。PLC の設計・実装では、規制されている CM 電流を低減するために、Z_{CT} をできる限り高くするはずであり、数百 Ω の Z_{CT} は可能と考えられる。例えば、$Z_{CT} = 291[\Omega]$ なら $I_{CM} = I_{DM} - LCL - 10$、$Z_{CT} = 537[\Omega]$ なら $I_{CM} = I_{DM} - LCL - 15$ となる。仮に、$Z_{CT} = 291[\Omega]$ として、この状態で、I_{CM} を許容値 $I_{CM,REG}$ いっぱいにすると、$I_{DM} = I_{CM,REG} + LCL + 10 = I_{CM,REG} + 26$ となる。このモデムを、想定する実環境に接続すると、$I_{CM} = I_{CM,REG} + 26 - LCL$ となり、LCL が 26dB より悪ければ、I_{CM} は許容値を超えてしまう。

表 1 のモデムに関しては、DM 電流は 15MHz 以下で 28[dBμA]、15MHz 以上で 20[dBμA] までしか流しておらず、$I_{CM,REG} + 16$ 以下に抑えているようである。しかし、I_{CM} に余裕のあるモデムもあり、許容値を満たしながら、さらに大きな I_{DM} を流すことは技術基準で許されている。すなわち、CM 規制によって制限される DM 電流の値は、CM の許容値から LCL 分だけ高い値ではなく、モデムの CM インピーダンス Z_{CT} によっては、それよりもさらに 10〜15dB 高い値まであり得る。そして、その場合には、実環境での I_{CM} は、LCL が 16dB 以上であっても、許容値を超えてしまう。

4.2.2 屋内配線上でのモード変換

一方、屋内配線上のスイッチ分岐 [9] などの不平衡性によって起きるモード変換は、全く事情が異なり、DM 進行波から CM 進行波へのモード変換係数で与えられる。これには、PLC モデムの CM インピーダンスが関与する余地は無く、DM の振幅が同じならば、そこで発生する CM は同じである。本来 S 行列で議論すべきところであるが、敢て LCL を使って議論すると、以下のようになる。屋内配線の平衡部分と不平衡部分の境界での DM 電流と CM 電流の関係を、前と同じ式 (1) で表すとす

る。今度は、LCL と Z_{CM} は、電力線の不平衡部分の LCL と CM インピーダンスであり、Z_{CT} は電力線の平衡部分の CM インピーダンスである。どちらも電力線の CM インピーダンスであって、等しいと考えられる。従って、

$$I_{CM}[\mathrm{dB}\mu\mathrm{A}] \approx I_{DM}[\mathrm{dB}\mu\mathrm{A}] - LCL[\mathrm{dB}] + 20\log\left|1+\frac{Z_0}{4Z_{CM}}\right| > I_{DM}[\mathrm{dB}\mu\mathrm{A}] - LCL[\mathrm{dB}] \quad (2)$$

となる。つまり、この場合の CM 電流は、DM 電流と不平衡部分の LCL だけで決まる。これを小さくするには、DM 電流を小さくするしか無い。

ところで、電力線の不平衡部分の LCL は、スイッチ分岐では 16dB よりもずっと小さくなり得る。従って、I_{DM} が $I_{CM,REG}$ よりも 16dB あるいはそれ以下しか高くなくても、I_{CM} は許容値を超えることがある。

4.2.3 複数のスイッチ分岐からの寄与

屋内配線の不平衡部分毎に、このようなモード変換による CM 電流が発生する。発生箇所は、大まかに言って、スイッチ分岐の数だけあり、それは、廊下、階段、玄関、風呂場、トイレなどを含めた部屋数 N 程度になる。通常の一戸建て住宅では N の値は 10 程度と考えられる。それらは全て同じ DM によって駆動されているので、位相関係が固定している。従って、輻射された電磁波の振幅はコヒーレント加算されるので、方向によっては非常に強く成り得る。

4.3 引き込み線への漏洩

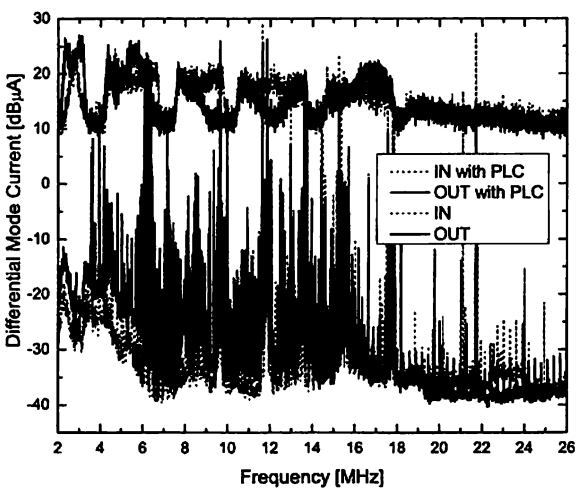

図 13 L: 分電盤・漏電ブレーカ・積算電力計の内外の DM 電流

PLC が屋内で使用されていても、引込み線に高周波電流が漏洩すれば、より広い範囲に想定外の妨害を与える可能性がある。しかし、技術基準策定にあたって、分電盤での減衰が 30〜50dB もある [2] ので引込み線への漏洩は問題にならないとして、ブロッキングフィルタの設置を義務付けなかった。[5] ところが、実験を行った住宅から 30〜50m 離れた地点でも、PLC 由来の雑音が短波ラジオで聞こえることが分り、引き込み線を通した妨害が疑われる。そこで、配電盤のブレーカのすぐ近くに PLC を接続し、ブレーカの出口と積算電力計の入り口で DM 電流 (図 13) と CM 電流を測定した結果、引き込み線にも 25dBμA を超える大きな CM, DM 電流が流れることが分った。また、ブレーカ出口に比べて積算電力計入口の電流は、DM で-10〜0dB、CM では −6〜+23dB であり、電流の減衰はせいぜい 10dB 以下であることが分った。

5. まとめ

本研究によって、以下のことが分った。

- CM チョークによって CM 電流が減っても漏洩電界が減るとは限らない。
- 現行モデムの DM 電流は 15MHz 以下で 28[dBμA]、15MHz 以上で 20[dBμA] 程度である。
- 技術基準を満たすモデムを LCL>16dB のコンセントに接続しても CM 電流が許容値を満たすとは限らない。
- PC 電源の CM 電流は CISPR22 Class B の通信ポート許容値よりかなり低い。
- 屋内 PLC から引き込み線への DM 電流、CM 電流の減衰は 10dB 以下である。

技術基準にはさらに下記の問題も残されている。

- 周囲雑音は信号が存在しない周波数で測った中央値であり、スペクトラムアナライザによる RBW=9kHz Maxhold の測定値は過大である [10]。
- 敷地面積 100m^2、建ぺい率 50%とすると、外壁間は 3m となり、隣家の建物全体が離隔距離 10m 内に入る。
- 複数の PLC の累積効果が考慮されていない。

広帯域 PLC の漏洩電界を制御して真に通信・放送と共存するためには、これらの問題点を解決できるように技術基準を早急に見直す必要がある。

文献

[1] 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 とその参考文献

[2] 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

[3] 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

[4] 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; 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; 総務省告示第 520 号 (平成 18 年 10 月 4 日)

[5] 杉浦, 上, 雨宮, 山中, "我が国の高速 PLC 規格とその技術的背景," 信学技報, EMCJ2007-36, 2007.7

[6] ITU-R Recommendation P.372-8, "Radio Noise," 2003.4

[7] 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).

[8] IEC/CISPR, CISPR22 第 5.2 版 (2006-03)

[9] 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

[10] 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).