



Title	屋内広帯域電力線搬送通信による漏洩電波（1）： 遠方での電界強度測定とコモンモード電流の直接測定
Author(s)	大石，雅寿；北川，勝浩；三澤，浩昭 他
Citation	電子情報通信学会技術研究報告．EMCJ，環境電磁工 学．2009，109(185)，p. 29-34
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/77660
rights	copyright©2009 IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

屋内広帯域電力線搬送通信による漏洩電波 (1)

遠方での電界強度測定とコモンモード電流の直接測定

大石 雅寿[†] 北川 勝浩^{††} 三澤 浩昭^{†††} 土屋 史紀^{†††}

[†] 国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

^{††} 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

^{†††} 東北大学大学院理学研究科附属惑星プラズマ・大気研究センター

〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6 番 3 号

E-mail: [†]masatoshi.ohishi@nao.ac.jp, ^{††}kitagawa@es.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{misawa,tsuchiya}@pparc.gp.tohoku.ac.jp

あらまし 日本の屋内広帯域電力線搬送通信 (PLC) を使用した際の、これまでの漏洩電界の実測データは、家屋の外壁からの離隔距離が 10m 以内のものばかりであり、それより遠方での実測例は知られていない。我々は、離隔距離をより長く取った場合の漏洩電波を測定し、離隔距離 30m で周囲雑音を 20dB 以上超過する場合があることを見いだした。また、このような漏洩を生じる原因と考えられる屋内電力線上的コモンモード電流値を直接測定し、PLC 技術基準の許容値を 20dB 以上超過する場合があることを見いだした。

キーワード 広帯域電力線搬送通信, 漏洩電界, 周囲雑音, コモンモード電流

Leaked Emissions due to the In-House Broadband Powerline Communications (1)

Measurements of the Electric Field Strength at a Distance and Direct

Measurements of the Common-Mode Current

Masatoshi OHISHI[†], Masahiro KITAGAWA^{††}, Hiroaki MISAWA^{†††}, and Fuminori TSUCHIYA^{†††}

[†] National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo, 181-8588 Japan

^{††} Graduate School of Engineering Science, Osaka University,
1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka, 560-8531 Japan

^{†††} Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University,
6-3 Aoba, Aramaki, Aoba, Sendai, Miyagi, 980-8578 Japan

E-mail: [†]masatoshi.ohishi@nao.ac.jp, ^{††}kitagawa@es.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{misawa,tsuchiya}@pparc.gp.tohoku.ac.jp

Abstract Measurements on the leaked electric field, when the in-house broadband power line communication (PLC) devices are in use, have so far been made with the separation distance not exceeding 10 m. We measured the field strength farther than 10 m, that has not been known, and found cases that the field strength exceeds the ambient noise by more than 20 dB at the separation distance of 30 m. We also made “direct” measurements on the common mode current (CMI) “on” the in-house power line, that has been regarded as the source of the leaked field, and found cases that the CMI exceeds the CMI limit for the Japanese PLC devices by more than 20 dB.

Key words broadband power line communications, leaked electric field, ambient noise, common-mode current

1. はじめに

日本の広帯域電力線搬送通信 (PLC) は、2006 年 10 月に、屋内限定という条件の下、その技術基準が制度化された。その技術基準は、総務省情報通信審議会 CISPR 委員会により、放送や無線通信の運用を阻害する妨害を与えないという基本方針の下、離隔距離 10m において PLC による漏洩電界を周囲雑音レベルと同程度以下にするという前提で定められた。[1]~[3] 周囲雑音は場所や季節によって変わるが [4]~[6]、同委員会はわずか 3 カ所で各 1 日だけの測定値に基づいて、独自に $28\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ (2~15MHz) および $18\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ (15~30MHz) という値を採用した。[2], [3] 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電流である”とし、発生する漏洩電界が 10 m 離れた点で上記の周囲雑音レベル以下となるように、特定の条件の ISN (LCL=16dB, DMZ=100 Ω , CMZ=25 Ω) に接続した時の、通過帯域幅 9kHz でのコモンモード電流を平均値 (RMS) で $20\text{dB}\mu\text{A}$ 以下 (2~15MHz) および $10\text{dB}\mu\text{A}$ 以下 (15~30MHz) と定めた。[1]

その後、上記技術基準を満たすとして総務大臣から型式指定を受け市販されている PLC モデムを実際に使用した場合の離隔距離 5m あるいは 10m での漏洩電波の実測結果が複数報告されている。工場敷地内やコンクリート建物を用いた測定では一部でのみ周囲雑音レベルを超過する漏洩電界が測定されているに過ぎないが、[7] 木造住宅における測定では漏洩電波が周囲雑音レベルを最大 30dB も越える結果が報告されている。[8]~[12] しかし、離隔距離が 5m ないし 10m は、短波帯の近傍界と遠方界の境界の目安である波長の $1/2\pi$ (約 $25\text{m}@2\text{MHz}$ ~ 約 $1.6\text{m}@30\text{MHz}$) と比較すると多くの場合短く、これまでの報告は多くの場合近傍界もしくは境界領域に対応することが分かる。従って、PLC からの漏洩電界の距離依存性など、PLC による妨害の振る舞いをより詳細に理解するためには、遠方界に対応する離隔距離における測定が必要となると考えられる。

そこで我々は、漏洩電波による影響の詳細な理解のため、10m よりも長い離隔距離での漏洩電波の測定を行った。

2. 実験方法

2.1 PLC

今回実験に用いた PLC は、広帯域電力線搬送設備として総務大臣から型式指定を受けて市販されているもののうち、HD-PLC 方式と UPA 方式の各 1 機種ずつである。

2.2 実験環境

10m より遠方における漏洩電界を測定するためには、敷地面積が相当広い場所で行なければならない。一般住宅などの周囲に十分な空き地があることは、我が国の都市部では、なかなかない。そこで本実験は、30m を越える離隔距離が取れ、しかも人工雑音の影響が都市部の住宅地に比べて少ないと期待される、東北大学理学部惑星圏観測所 (福島県相馬郡飯舘村、北緯 37 度 42 分、東経 140 度 40 分) において実施した。

観測所内にある、縦約 3.6m 横約 5.4m の木造家屋内のコンセ

ントに PLC を接続して、PLC とパソコンの間を LAN ケーブルで接続し、2 台のパソコン間で PLC を介して 100MB~1GB の大きなファイルを FTP プロトコルで転送することによって、PLC によって生じる漏洩電界、PLC モデムから送出されるデファレンシャルモード電流 (以下、DMI と呼ぶ) とコモンモード電流 (以下、CMI と呼ぶ)、そして、家屋内に露出している屋内配電線上の CMI を数点で測定した。

2.3 漏洩電界強度の測定

漏洩電界強度の測定には、直径 60cm のパッシブループアンテナ (ETS-Lindgren 社、6512) を用いた。このアンテナを建物の外壁から 5m、10m、30m 離れた地点で、ループ下端高が 1m になるように、アンテナをカーボンファイバ製三脚で支えた。測定方向は、木造家屋から南東、南、西の各方向である。測定点と木造家屋の間には、南方向 30 m 点を除き、障害物はなかった。南方向 30 m の測定点は、林の中に入っていたため、測定データには植生による減衰が含まれている可能性がある。

アンテナ出力はスペクトラムアナライザ (NEC エンジニアリング社 SpeCAT²) で測定した。設定は、2.4 の電流測定の場合と共通で、掃引周波数範囲 2~26MHz、RBW=8kHz、平均値 (RMS) 検波、Maxhold である。技術基準では RBW=9kHz であるが、換算は行っていない。

ループを含む平面が、大地面に対して垂直かつ木造家屋に向く方向を x 方向、大地面に対して垂直かつ x 方向に垂直 (木造家屋に平行) を y 方向、大地面に平行な方向を z 方向として独立な 3 軸方向の磁界強度を測定した。スペクトラムアナライザの測定値は電力であったが、これらを、各測定周波数におけるループアンテナの磁気アンテナ係数を用いて磁界強度に換算し、さらにこれらの磁界強度を、空間インピーダンスを 120π として電界強度に換算し、そして 3 軸の電界強度成分を合成したものを最終測定値とした。

2.4 PLC 出力の DMI と CMI の測定

電流プローブとして Fair-Rite 社の 43 材フェライトビーズ 2643102005 に 2 次側巻線を 7 回巻いたものを用い、2 次側の電力 $P[\text{dBm}]$ をスペクトラムアナライザで測定した。1 次側は、CMI 用プローブでは AC コードをビーズに 1 回通しているのので 1 巻、DMI プローブでは AC コードの 2 線をビーズで 1 回交差させているので 2 巻である。電力からの換算式は、 $\text{DMI}[\text{dB}\mu\text{A}]=P[\text{dBm}]+84$ 、 $\text{CMI}[\text{dB}\mu\text{A}]=P[\text{dBm}]+90$ を用いた。PLC モデムがデータ通信のために屋内配電線に注入しているものは DMI であるので、DMI の測定は PLC モデム送信出力の推定に繋がることとなる。

2.5 屋内配電線上の CMI の直接測定

通常、屋内配電線は壁、天井裏、床下、配管などに隠れているので、電流プローブを使って CMI 分布を直接測定するのは非常に困難である。このため、過去の研究では、コンセントに延長用電線を挿し、その配電線上の CMI を測定していた。[8]~[10] 今回の実験サイトでは、木造家屋の内壁に屋内配電線が露出しており、この配電線上の CMI を電流プローブで測定する

ことが可能であった。測定には Fair-Rite 社の 43 材フェライトトロイダルコア 2643102002 を 2 分割したものを、屋内配電線を挟んでから再びコアの切断面を密着させて、2.4 と同様の CMI プロブを構成して CMI を測定した。

3. 実験結果

3.1 モデム出力の DMI と CMI

測定する漏洩電界強度や屋内配電線上の CMI は、PLC モデムが配電線に送出する電力あるいは DMI に依存するため、漏洩電界などの測定に先立ち、使用した HD-PLC 方式と UPA 方式のモデムとそれを接続したコンセントとの間に 2.4 の DMI/CMI プロブを挿入して、DMI と CMI の測定を行った。

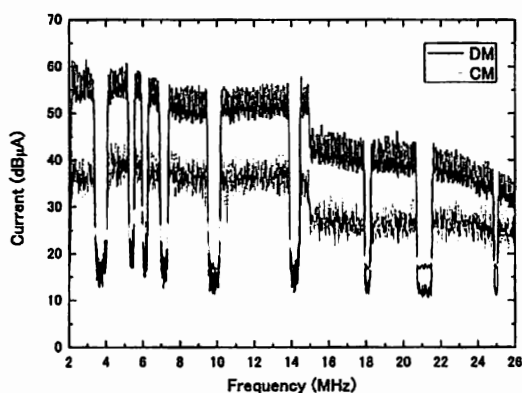


図 1 モデム出口で測定した DMI,CMI (HD-PLC 方式モデム)

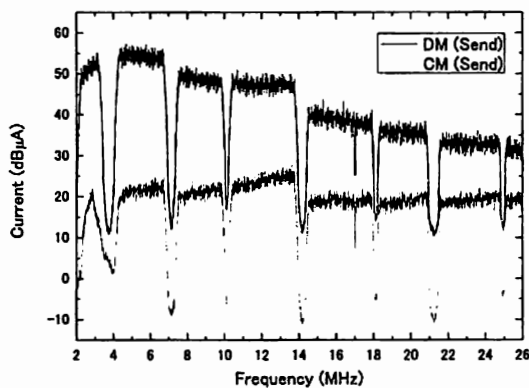


図 2 モデム出口で測定した DMI,CMI (UPA 方式モデム)

これらの測定値を図 1～図 2 に示す。UPA 方式のモデムについては、モデムをコンセントに接続するだけでハンドシェイクのためと思われる大きな DMI が流れるが、本測定はデータを陽に送信している状態（最大電流が流れる SEND 状態）において行った。

これらの測定から、モデムが配電線に送出する DMI は 55～

50dB μ A (2～15MHz)、45～35dB μ A (15～30MHz) であることが分かる。今回使用したモデム間の比較をすると、HD-PLC 方式のモデムによる送信 DMI は UPA 方式のモデムより若干（約 5dB）高いことも分かる。

PLC モデムからの CMI は、日本の PLC 技術基準に定める 20dB μ A 以下 (2～15MHz) および 10dB μ A 以下 (15～30MHz) より高い場合があるが、技術基準に定める電流許容値は特定の ISN に接続した場合のものであり、その ISN が実際の屋内配電線に流れる CMI を模擬するという科学的根拠が示されていないので、技術基準に定める電流許容値を超える CMI が生じることは容易に理解できる。

3.2 周囲雑音および測定下限値

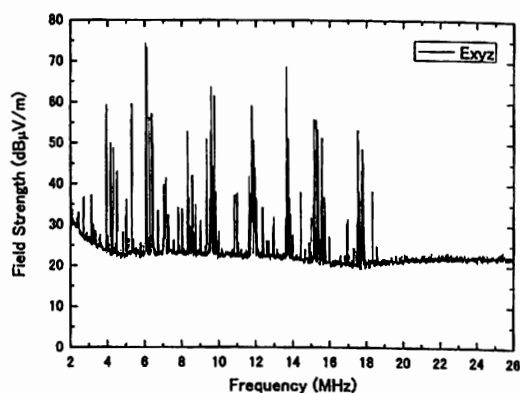


図 3 (西側 10 m地点での周囲雑音測定データ)

漏洩電界測定時には、各測定点において、漏洩電界測定の直前もしくは直後に周囲雑音も漏洩電界の測定と同様のやり方で測定した。漏洩電界強度の各測定点における周囲雑音には大きな違いは見えなかったため、典型的データとして西方向 10m 地点での計測結果を図 3 に示す。

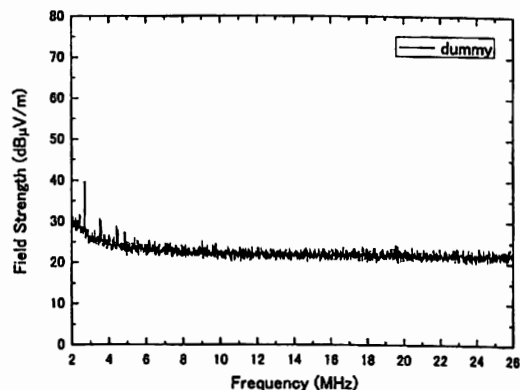


図 4 (今回の測定下限値)

周囲雑音の測定下限値は、主として使用した測定系（アンテ

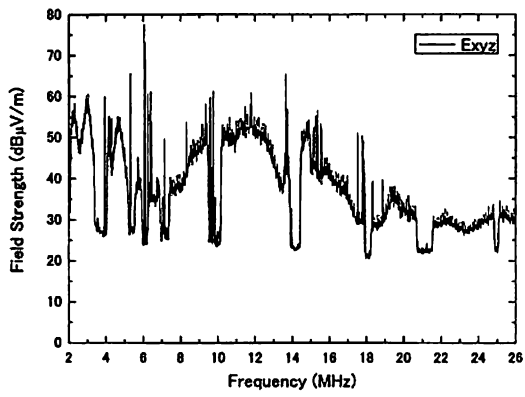


图 5 HD-PLC 方式、西、離隔距離 5m

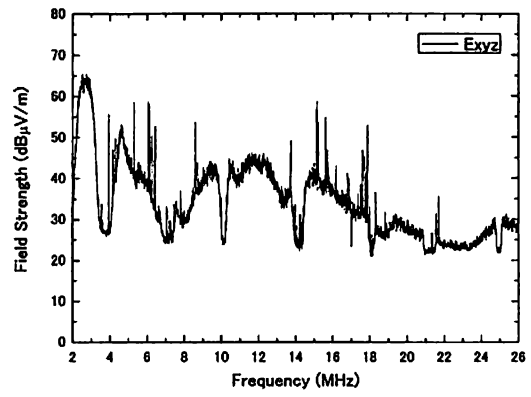


图 8 UPA 方式、西、離隔距離 5m

0

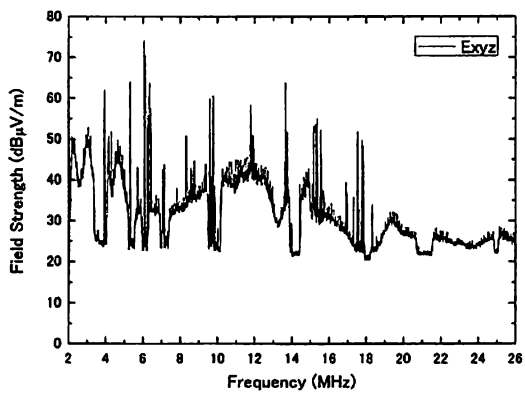


图 6 HD-PLC 方式、西、離隔距離 10m

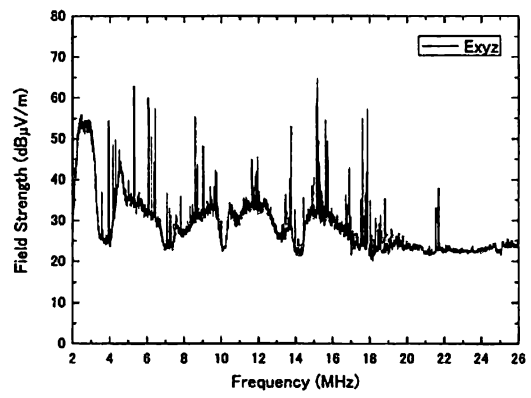


图 9 UPA 方式、西、離隔距離 10m

0

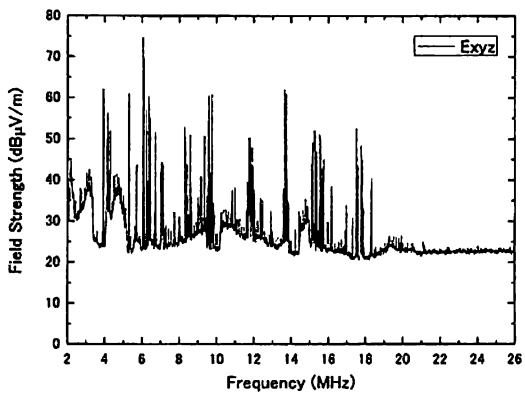


图 7 HD-PLC 方式、西、離隔距離 30m

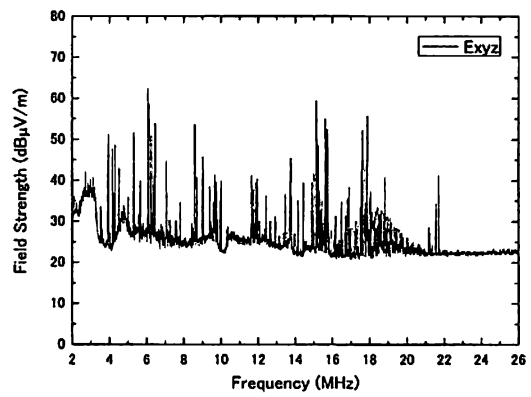


图 10 UPA 方式、西、離隔距離 30m

ナとスペクトラムアナライザ)の感度によって支配されると考えられる。そこで、スペクトラムアナライザの入力端を50Ωで終端したデータを取得し、そこから測定下限値を求めた(図4)。周波数範囲15~30MHzにおける測定下限値は、PLC技術基準における周囲雑音レベルの想定値である18dBμV/mより高い。このため、この周波数範囲内では、“周囲雑音レベル”からの超過量が少なく見えていることになる。従って、より感度の高い測定系によってより低い電界強度の周囲雑音を測定すれば、PLC技術基準が想定する許容値に相当する電界強度よりどれだけ超過するかが明確に分かると考えられる。測定サイトである東北大学惑星圏観測所から最も近い人家までは約1.5km離れているため、本来の周囲雑音は相当低いと思われる。

3.3 漏洩電波の測定結果

次に、2種類のPLCモデムについて、図5から図10に、木造家屋の外壁面から5m、10m、30m地点での漏洩電波の測定結果を示す。距離減衰の傾向は、測定点の家屋からの方向にはあまり依存しなかったため、ここでは西方向のデータを示す。外壁面からの離隔距離5mのデータは、2005年に開催された高速電力線搬送通信に関する研究会における検討では、漏洩電波源が家屋の中心に集中していると見なしたために、離隔距離10mに相当するとされていたことに注意されたい。[1]

これまでの報告と同様に、[8]~[12]測定された漏洩電界強度は、様々な周波数領域で想定値(28dBμV/m(2~15MHz)および18dBμV/m(15~30MHz))を上回っている。離隔距離5m(これは家屋の中心に妨害波源が集中していると仮定すると離隔距離10mに相当)の場合、最大の漏洩電界強度は65dBμV/m(UPA方式、およそ3MHz)に達する。従って、漏洩電界強度が周囲雑音レベルを超える量は、37dBほどになる。そのほか周波数においても、漏洩電界強度は40~50dBμV/mに達している。これまで離隔距離5m及び10mでの測定しかなかったが、離隔距離30mにおいても、3MHz及び6MHz付近では、漏洩電界強度が約35dBμV/mに達していることが分かる。

3.4 屋内配電線上的コモンモード電流の直接測定結果

屋内配電線上的コモンモード電流の直接測定は、木造家屋内壁に露出している配電線上的3カ所で行った。HD-PLC方式モデムを用いた際のこれらの測定値(Line1~Line3)を図11に示す。図11にはPLC技術基準のCMI許容値も示しているが、容易に分かるように、3MHz付近などいくつかの周波数では、CMI許容値を超過するCMIが流れている。今回の測定の結果、最大の超過は3MHz付近で生じており、その超過量はおよそ20dBに達する。

また、3点における測定値の間には大きな差があり、(1)屋内配電線上でCMI値が大きく変動していること、(2)測定された最大値と最小値はおよそ60dBも異なる、ことが分かる。これから言えることは、屋内配電線上にはCMIの定在波が存在していることである。

さらに、3.3で示した漏洩電界データと比較すると、屋内配電線上的いくつかの点でのCMI測定値がPLC技術基準にある

CMI許容値を満たしているとしても、生じる漏洩電界はPLC技術基準が想定した周囲雑音レベルを大きく超過している場合が多いことも分かる。このことから考えられることは、(1)漏洩電界とCMIの関係が、単純なビオ・サバルの法則では記述できない放射機構を持っている、(2)今回のCMI直接測定では、CMIの最大値を測れていない、などの可能性である。

今回使用したPLCモデムは、PLC技術基準に定める測定法の下でCMI許容値を満たすとして型式指定を受け、市販されているものである。従って、今回の測定結果は、総務大臣により型式指定を受けたPLCモデムであっても、実際の家屋の屋内配電線に接続した場合には、許容値を大幅に超過するCMIが流れ得ること、そして、その結果生じる漏洩電界強度は、周囲雑音レベルを大幅に超過し得ることを示している。

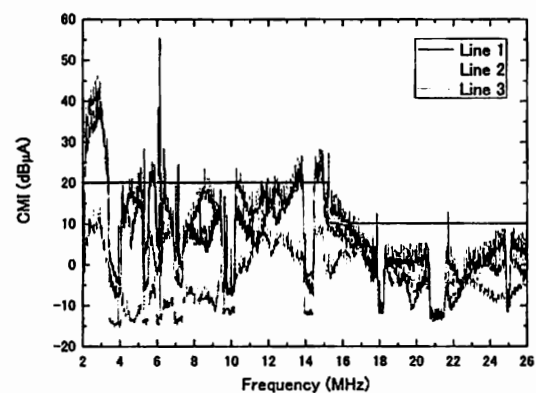


図11 CMIの直接測定結果。3つの測定箇所のデータを重ねたもの。赤くて太い水平線はPLC技術基準のCMI許容値(平均値)を示す。

4. 漏洩電波の減衰の距離依存性

今回の測定の目的の一つである、漏洩電波の減衰の距離依存性を以下の手順で調べた。漏洩電波に強い放送波や通信波が混じっていると誤った距離依存性を導く可能性が出るため、3.3にある図5から図7の中から、強い放送波あるいは通信波の周波数分配がなく、かつ、図3にも明確な信号と思われるピークがない周波数帯域を3つ(2.896~3.200MHz, 10.304~10.592MHz, 14.502~14.792MHz)選んだ。これらの帯域内で、漏洩電波の測定値の平均値と標準偏差を求めた。このようにして求めた測定点の電界強度値と距離の関係を図12に示す。

各帯域につきデータポイントは3点しかないものの、得られた減衰の振る舞いを説明しうるモデルを検討した。2~30MHzでは、近傍界と遠方界の境界と目安となる距離(波長/2π)は約25m~約1.5mとなるため、適切なモデルは、近傍界もしくは遠方界近似をしないものである必要がある。いくつかのモデルを検討したところ、ダイポールによる放射式を用いると今回得られた電界強度分布を説明できることが分かった。

図 12 のモデル曲線の式は、

$$E = \frac{Z_0 I L}{2\pi D} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi D}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi D}\right)^4} \quad (1)$$

で、 E は電界強度、 Z_0 は空間のインピーダンス、 I は電流値、 L は長さ、 λ は波長、そして、 D は距離である。[13] さてここで、長さ (L) として今回の測定に用いた木造家屋の長さ ($\sim 5\text{m}$) を採用すると、当てはめたモデル式から漏洩電波を生じる原因となった屋内配電線上の電流値を求めることができることとなる。

こうやって求めた電流値は、3MHz に対し 42dB μ A、10MHz に対し 24dB μ A、14MHz に対し 20dB μ A となった。これらの電流値が図 11 から読み取れる CMI 値よりやや少なめであるがかなり近いこと、今回測定を実施した木造家屋内の配電線の構造は単純で分電盤からの配線が水平に内壁に沿って延長された部分が主体となっていること、木造家屋の壁による減衰があるので (1) 式により計算される電流値はその減衰の分だけ少なめに出ることを考えると、ダイポールによる放射により漏洩電波の距離による減衰がよく記述できることが理解できる。また先行研究に、電力線からの放射を半波長ダイポールからのものと考えて放射強度を予測し実測値とおおむね合致するという報告があるが、[14] 本解析結果はその先行研究の結果とも矛盾しない。

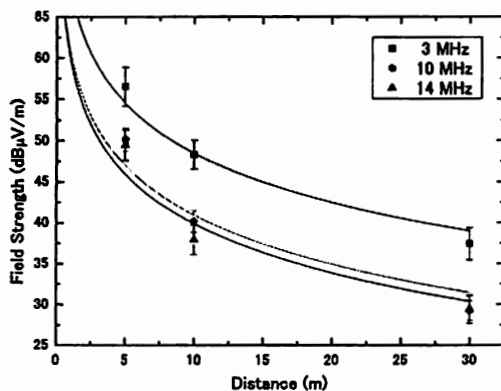


図 12 漏洩電界の離隔距離による変化とダイポール放射曲線の比較

5. ま と め

今回の定量的な実験から、以下のことが判明した。

- PLC を設置した木造家屋の外壁からの離隔距離 30m においても、周囲雑音を 10dB 以上超過する漏洩電波が生じることがある
- 屋内配電線上のいくつかの点で直接測定した CMI が許容値を満たしていても漏洩電界は周囲雑音を 30dB 以上も上回ることがある
- これまで実測が行われた木造家屋の多くの場合について、漏洩電波は周囲雑音レベルを大幅に超過する

- 電力線からの放射はダイポールによるものとみなすとよく説明ができる
- 屋内配電線に流れる CMI は場所毎に大きく変化し、最大値と最小値の差は約 60dB であった。

PLC 技術基準を策定する際に十分な数の漏洩電界強度測定を行わずに技術基準を有効なものとした。しかし、本報告も含め過去に実施された漏洩電界強度測定により周囲雑音レベルを大きく超過することなど、広帯域 PLC による漏洩電界の振る舞いがよく分かってきた。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・放送との電波共存を図るためには、本研究のみならず、これまでに蓄積された実測結果や研究結果を踏まえ、迅速に PLC 技術基準を見直す措置を執る必要がある。

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] 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
- [4] Recommendation ITU-R P.372-9, “Radio Noise,” 2007.8
- [5] 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).
- [6] R. Kobayashi, “Example of Electromagnetic Environment below 30MHz in Japan,” ITU-T SG5 TD297, 2006.5
- [7] Japan, “Comments on Working Document towards PDN Report on PLT systems (Doc. 1A/62, Annex 4) – Measurements of the radiated emissions from in-house power line telecommunications systems into the residential environment,” Document ITU-R 1A/116, Geneva, Switzerland, 2009.02
- [8] 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, pp.37-42, 2007.9 とその参考文献
- [9] 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, pp.1-6, 2007.10
- [10] 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 III,” 信学技報, EMCJ2007-117, pp.1-6, 2008.03
- [11] 土屋, 櫻井, 星山, “住宅環境における屋内広帯域・高速電力線搬送通信からの漏洩電界に関する測定実験 I,” 信学技報, EMCJ2008-4, pp.19-24, 2008.04
- [12] 土屋, 櫻井, “住宅環境における屋内広帯域・高速電力線搬送通信からの漏洩電界に関する測定実験 II,” 信学技報, EMCJ2008-51, pp.7-12, 2008.09
- [13] M. Mardiguian (羽鳥光俊監修, 小林岳彦訳), “EMC 設計の実際 放射妨害波の制御”, 丸善, 2000.06
- [14] R. Vick: “Estimating the radiated emissions of domestic main wiring caused by power-line communication systems”, February 2003 EMC Zurich Conference, pp. 87-92, 2003.02