

電力線搬送通信 (PLC) ARIB/JARL 合同実験 報告書

社団法人 日本アマチュア無線連盟 電磁環境委員会

平成 14 年 4 月 3 日

本報告書では、平成 14 年 1 月 26～27 日、財団法人電力中央研究所赤城試験センターにおいて実施された電力線搬送通信 (PLC) ARIB/JARL 合同実験 (略称「赤城実験」、以下、本実験と略) の取得データの分析及びアマチュア業務等への影響評価を報告する。

分析・評価の結果、本実験の電磁界漏洩モデルはワーストケースのものではないものの、

- オピニオン評価の結果、600[Hz] 帯域幅のときアマチュアバンドで数～10[dB] 程度、標準電波帯域では 10～25[dB] 程度の受信ノイズフロアの悪化となった。
SSB 通信で使用される 2.4[kHz] 帯域幅では、さらに 6[dB] 悪化することが予想できる。
- 漏洩電界強度は PSD マスクにより保護されているアマチュアバンド内においても ITU-R 勧告で示されている商業地人工雑音強度より遙かに大きくなることが推定できる。
- 現実の電離層反射波通信や地表波通信は 0[dB μ V/m] 以下の非常に微弱な電界強度レベルで行われているものも多く、受信電界強度を下回る漏洩電界強度でなければ通信が成立しない。
- 電波伝搬の指標となる短波放送及び標準電波の受信に関しては、ITU-R 勧告に基づく放送計画が成立しない漏洩電界強度となっている。

ことが明らかとなり、PLC はノッチフィルタを挿入した状況下においてさえアマチュア業務及び短波放送等の受信に非常に大きな影響を与えると判断する。

したがって電磁環境委員会として、PLC の欧米諸国並みの規制緩和、すなわち FCC Rule Part 15 の 30[μ V/m] @ 30[m] や NB30 の値は容認できない。

容認可能な漏洩電界強度レベルは、電力線からの離隔距離 3[m] において ITU-R 勧告 P.372-6 に規定された「静穏な田園地帯」の人工雑音電界強度以下である。また、放送帯域に関しては線路から 1.5[m] の距離において 3.5[dB μ V/m] 以下、3.0[m] の距離において -7.5[dB μ V/m] 以下が容認可能な漏洩電界強度レベルとしなければならない。

なおこれらの規制値は、1 台のモデムによるものではなく、多数の PLC モデムが同時に動作しているシステム全体の値として規定されなければならない。

本報告書は、この本文及び以下に掲げる別紙類より構成される。

- 別紙 1 実験要領
- 別紙 2 オピニオン評価結果
- 別紙 3 水平成分電界強度
- 別紙 4 垂直成分電界強度
- 別紙 5 実験線路の差動インピーダンス

本報告書において「PLC システム」とは 1.7～30[MHz] の周波数を使用する PLC モデム及びそれらに電源を供給すると同時に信号を伝送する媒体となる電力線の総体をいうものとし、450[kHz] 以下の周波数を使用するものは対象としない。

1 実験の概要

1.1 実験の目的

1.7MHz～30[MHz] までの周波数帯を使用する PLC システムから漏洩する電磁界が短波周波数帯に与える影響について調査し、特にアマチュアバンド及びその他のいくつかの短波周波数での測定方法、測定データを共有し、それぞれの団体が活用することを目的とする。

1.2 実験者

- 社団法人日本アマチュア無線連盟（以下、JARL と略）
- 社団法人電波産業会（以下、ARIB と略）

1.3 実験場所及び日時

財団法人 電力中央研究所 赤城試験センター（群馬県勢多郡宮城村、以下、赤城サイト）
平成 14 年 1 月 26 日（土）～ 27 日（日）

1.4 実験項目及び実験方法

1.4.1 実験項目

- 環境電磁界スペクトルの測定
- 漏洩電磁界スペクトルの測定
 - － アマチュア無線機による受信状況の測定
 - － 水平面電磁界スペクトルの測定
 - － 垂直面電磁界スペクトルの測定
- 実験線路のインピーダンス測定

1.4.2 実験方法

別紙 1「実験要領」により行った。

1.5 JARL 実験態勢

- JARL 電磁環境委員会
JA1XF, JA1ABA, JA1LAS, JA1XKG, JH1DGF, JH1VCC, JH5ESM, 森下 豊
- 電磁環境委員会 実験作業班
JA1ADH, JH1FCZ, JG1EAD, JG1RVN, JA3VAP, JP3PZD, JL4CVB
- 機材提供及び実験支援（50 音順）
アイコム（株）（有）FCZ 研究所（株）ケンウッド、第一電波工業（株）（株）パーテックス スタンドアード

1.6 供試モデム

本実験において使用した供試モデムは表 1 に示す 4 種類である [1]。ノッチ周波数域における減衰量の最小値は 30[dB] である。

表1 供試モデムの概要

名 称	方 式	周波数帯域 [MHz]	ノッチ周波数 [MHz]
モデム A	OFDM	4.3 ~ 20.9	1.710 ~ 2.000 3.500 ~ 4.000 7.000 ~ 7.300 10.100 ~ 10.150 14.000 ~ 14.350 18.068 ~ 18.168 21.000 ~ 21.450
モデム B	スペクトラム拡散 (SS)	4.0 ~ 21.0	7.000 ~ 7.300 9.800 ~ 10.300 13.900 ~ 14.400 17.850 ~ 18.350
モデム C	シングルキャリア	4.158 ~ 5.058	3.500 ~ 3.575 3.747 ~ 3.754 3.791 ~ 3.805 4.630 ± 0.01 7.000 ~ 7.100 10.100 ~ 10.150
モデム D	マルチキャリア	2.0 ~ 18.0	3.500 ~ 3.805 7.000 ~ 7.100 10.100 ~ 10.150 14.000 ~ 14.350 18.068 ~ 18.168

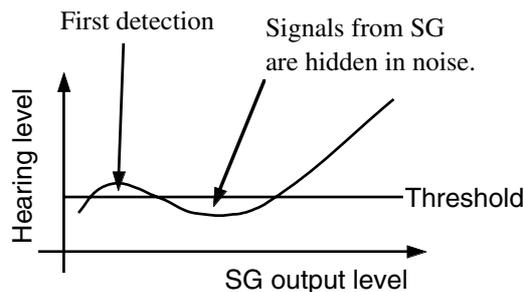


図1 オピニオン評価時の聴覚特性概念図

2 オピニオン評価の分析

オピニオン評価は、別紙1の実験システムにおいて、PLC モデムが OFF の状態と ON の状態における受信可能な標準信号発生器 (SG) の出力下限値をそれぞれ p_{OFF} 、 p_{ON} [dBm] とし、劣化量

$$D = p_{ON} - p_{OFF} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

を求めることにより行った。その結果を別紙2「オピニオン評価結果」に示す。このオピニオン評価結果においては、モデム OFF 時の測定時刻とモデム ON 時の測定時刻に数分～数時間の時間差があったが、モデム A に関しては数分以内の時間差で計測している。

全体的な傾向として、アマチュアバンドにおいては数～10[dB] 程度、非常通信呼出周波数及び標準電波帯で 10～25[dB] 程度劣化している。

モデム A (OFDM 方式) に関しては 14[MHz] 帯で劣化がないように見える。これは供試モデムの電力スペクトル密度 (PSD) マスクの減衰量が他のアマチュアバンドに比べて良好であることによる [1]。垂直成分については、10[MHz] の標準電波周波数で平均 28[dB] も劣化している。

モデム B (SS 方式) では、非常通信呼出周波数及び 14[MHz] 帯で劣化が少なくなっているが、その他の周波数帯域では全般傾向と一致した傾向となっている。

モデム C (シングルキャリア方式) は特に 4630[kHz] に対する保護がなされており、それはオピニオン評価においても顕著に確認できた。しかしながら、その他の周波数帯に関しては数～15[dB] 程度の劣化を生じている。

モデム D (マルチキャリア方式) では、水平成分の 4630[kHz] 及び 7[MHz] 帯、垂直成分の 18 及び 21[MHz] 帯で劣化が少なく、その他の帯域では数～25[dB] 程度の劣化を生じている。

特記事項として、図1に示すように、モデム ON 時において一度検出された SG の信号がレベルを増加させるとともにノイズに埋もれ、さらにレベルを増加させると再び検出できるようになるという現象が複数の評価者及び評価者ではないが試験室に詰めていた実験参加者より報告されている。モデムが OFF の場合には、このような現象は生じなかった。

この現象はモデムの影響によるものと推定されるがそのメカニズムは明らかではない。

オピニオン評価の結論は、供試モデムが単独で動作している場合、今回の実験線路においてアマチュアバンドで数～10[dB] 程度、非常通信呼出周波数及び標準電波の周波数帯で 10～25[dB] 程度の受信ノイズフロアの悪化をもたらす。SSB 通信で標準的に用いられる 2.4[kHz] 帯域幅の場合、さらに 6[dB] 悪化することが予測できる。なお、オピニオン評価の正当性は後に 3.4 において示すとおり、赤城サイトの外来雑音評価により保証される。

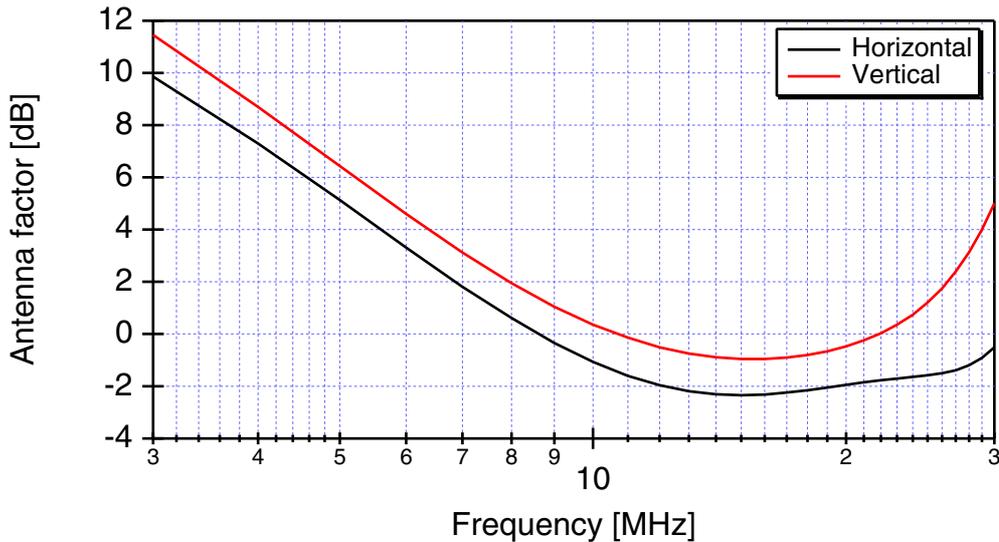


図2 T2FD アンテナのアンテナ係数

3 漏洩電界強度の分析

実験データとして直接取得したのはスペクトラムアナライザの入力電力である．これを電界強度に換算して，影響評価を行う．換算式は

$$E = P_{in} + AF + L_c + 107 \quad (2)$$

である．式(2)において， P_{in} ， AF ，及び L_c はそれぞれスペクトラムアナライザ観測値（[dBm]），T2FD アンテナのアンテナ係数及び受信系同軸ケーブルの損失である．

アンテナ係数 AF は， $\epsilon = 10$ ， $\sigma = 5.0$ [mS/m] の大地上に T2FD アンテナを設置し，近傍から電界を照射した時の誘起電圧をモーメント法により算出して求めた．得られたアンテナ係数を図2に示す．

また同軸ケーブルの損失 L_c は，赤城実験で使用したケーブルの一般的な値を用いた．

換算して得た漏洩電界強度を別紙3「水平成分電界強度」及び別紙4「垂直成分電界強度」に示す．なお，別紙3及び4において図中のノイズフロアは計測に使用したスペクトラムアナライザの感度特性によるものであり，外来雑音に起因するものではない¹．したがって，このノイズフロア以下の電界強度は測定できていない²．また，実際の通信や放送等の無線スペクトルは除去していないことを断っておく．

3.1 SG 信号を線路に重畳したときの受信信号特性

実験線路に標準信号発生器（SG）で発生させた無変調の単一正弦波信号を重畳した時の受信信号レベル及び電界強度を表2及び図3に示す．図3において，プロットはSG出力を10[dBm]に換算した値を用いている．

参考までに，同様の実験結果でこれまでに公開された唯一のものである武藤らの実験（以下，詫間実験）結果[2]を離隔距離3[m]に換算した値³と比較すると，6～18[MHz]の範囲で本実験の計測値は詫間実験より低い値となっている．

¹これは別紙3 図 A3-1(a)を用いて説明することができる．この図はモデム A を 3.5MHz 帯について計測したものであるが，環境値はスペクトラムアナライザ単体で，モデム A の値はスペクトラムアナライザの前段に計測用前置増幅器を挿入して計測した．もしノイズフロアが外来雑音に起因するのであれば，3.6[MHz]以下のモデム A ON 時のノイズフロアは環境値とほぼ同じ値でなければならない．また，モデム OFF 時のオビニオン評価結果から推定した外来雑音電界強度レベル（図5）からも明らかである．

²同様の電界強度測定結果が ARIB より公開された場合，そのノイズフロアはここで記述したのと同様に計測器に起因するものであることを指摘しておく．

³詫間実験は線路からの離隔距離 30[m] で測定され，赤城実験と同じ離隔 3[m] に換算するため，遠方界（放射電磁界）に対して 20[dB] を，また近傍電磁界，特に誘導磁界に対しては 40[dB] を加算している．図に示す“minimum”及び“maximum”のプロットは加算後の値を示している．

表 2 SG 信号を線路に注入した場合の受信信号レベル

水平成分			垂直成分		
周波数 [MHz]	SG 出力 [dBm]	観測値 [dBm]	周波数 [MHz]	SG 出力 [dBm]	観測値 [dBm]
3.5385	-10.0	-75.0	3.5385	-10.0	-74.5
7.0200	-10.0	-77.2	7.0500	0.0	-67.4
10.1250	-10.0	-76.1	10.1250	-10.0	-88.1
14.1050	0.0	-61.8	14.1750	-10.0	-76.8
18.1180	-10.0	-82.0	18.1180	-10.0	-62.3
21.2250	-10.0	-79.1	21.2250	-10.0	-60.8
24.9400	10.0	-84.7	24.9400	-10.0	-75.4

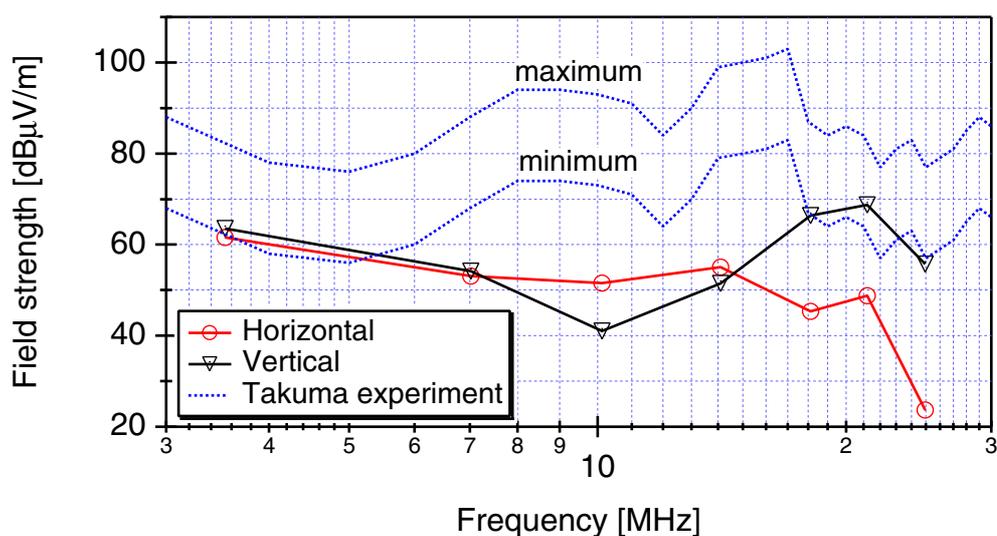


図 3 SG 信号を線路に注入した場合の漏洩電界強度 (SG 出力 10[dBm] 換算値)

したがって本実験の実験線路は、電磁界漏洩の観点からはワーストケースの線路とはいえ、この値より大きな漏洩特性を持つ線路はかなりの頻度で存在するものと予想される。

3.2 OFDM モデムの漏洩電界強度特性

本節では実験データのうち、モデムからの漏洩信号が明白に識別できるモデム A (OFDM 方式) についてその漏洩電界強度を評価する。

図 4 に、実験線路より 3[m] 離隔した地点における OFDM モデムの漏洩電界強度を示す⁴。この図では、別紙 3「水平成分電界強度」及び別紙 4「垂直成分電界強度」で明確に識別可能なキャリア信号のピークをプロットしている。アマチュアバンド内については、スペクトラムアナライザの計測限界以下となっていること及び実通信のスペクトルが存在するため、この図には示していない。

観測した範囲内で最も高いピークは 7.8[MHz] 付近にあり、このときの水平成分は 29.5[dBμV/m]、垂直成分は 38.7[dBμV/m] である。このワーストケース値を用いれば、アマチュアバンド内において水平及び垂直成分に対しそれぞれ -0.5 及び 8.7[dBμV/m] の漏洩電界強度が推定できる。スペクトル観測は HF 帯の全域に対して行っていないので、これよりさらに大きなワーストケース値があり得る。3.1 で述べたように、漏洩特性のより大きな線路ではさらに悪化する。

⁴なお、ARIB が EMI 計測用のループアンテナを用いて行った同様の測定においては、JARL の計測値より数 [dB] ~ 10[dB] 程度高い値となっている。

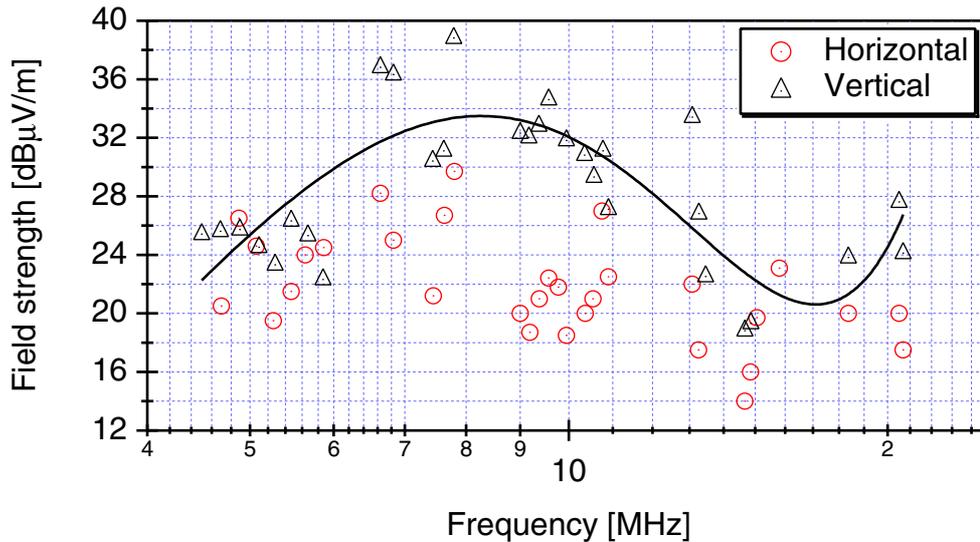


図 4 線路より 3m 離隔した地点における OFDM モデムの漏洩電界強度

表 3 標準的な HF 無線機・通信型受信機の感度特性

モード	感度	規定 S/N	雑音レベル	規定帯域幅
SSB/CW	-12[dBμ]	10[dB]	-22[dBμ]	2.4[kHz]
AM	6[dBμ]	10[dB]	-4[dBμ]	6.0[kHz]

垂直成分については、別紙 1「実験手順」で示すように受信アンテナの位置は固定であり、線路上の電流分布と周波数との間に相関が推定されることから [3]、4 次多項式によるカーブフィットを行った。一方、水平成分に関しては周波数により受信アンテナの位置を変えているので、カーブフィットは行わない。

垂直成分の推定電界強度は周波数を f [MHz] として

$$E_v \approx -41.092 + 22.888f - 2.3309f^2 + 0.087167f^3 - 0.00098208f^4 \quad [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] \quad (3)$$

と近似できる。

3.3 標準的な無線機感度との比較

標準的な短波帯 (HF) 無線機及び通信型受信機の感度特性を表 3 に示す。半波長ダイポール及び $\lambda/4$ 垂直接地アンテナを接続した場合について、この感度条件を満たす入力電界強度を計算した値は表 4 のようになる。

図 4 と表 4 を比較すると、両者の間には 30~60[dB] の隔たりがある。したがって PLC モデムの保護帯域での減衰量は、無線機感度を基準とした場合、これ以上のものでなければならない。実験線路の漏洩特性を考慮するとさらに大きな減衰量が必要であり、供試モデムで規定されている 30[dB] の減衰量では不十分である。

3.4 外来雑音との比較

外来雑音の電界強度は半波長ダイポールアンテナを用いた場合

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + 10 \log B_{\text{Hz}} - 99.0 \quad (4)$$

表 4 規定 S/N での無線機感度特性を満たす最小電界強度 [dB μ V/m]

モード	周波数 [MHz]	3.5	7	10.1	14	18.1	21	24.9	28
SSB/CW	$\lambda/2$ DP	-34.7	-28.7	-25.5	-22.7	-20.4	-19.2	-17.7	-16.7
	$\lambda/4$ GP	-28.7	-22.7	-19.5	-16.7	-14.4	-13.2	-11.7	-10.7
AM	$\lambda/2$ DP	-16.7	-10.7	-7.5	-4.7	-2.4	-1.2	0.3	1.3
	$\lambda/4$ GP	-10.7	-4.7	-1.5	1.3	3.6	4.8	6.3	7.3

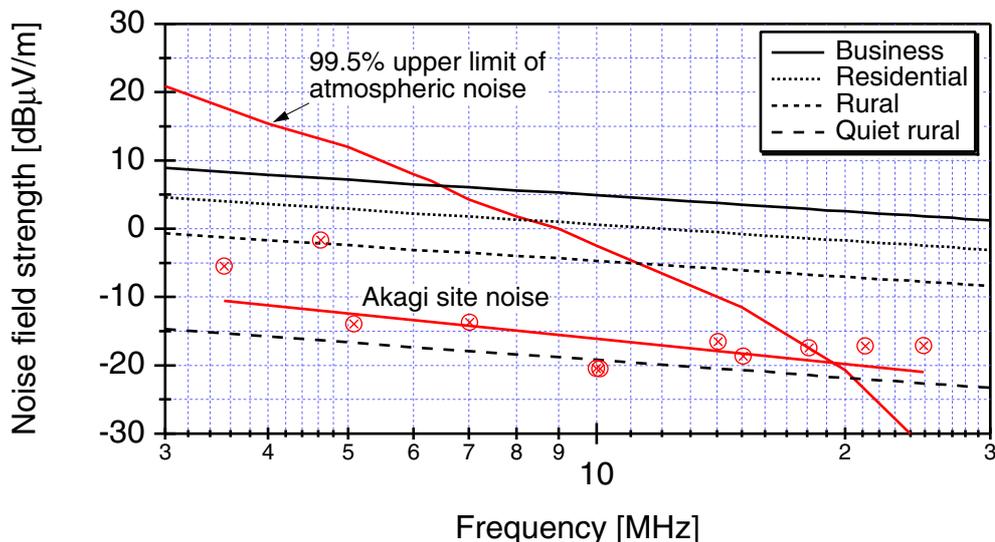


図 5 3[kHz] 帯域幅で計算した外来雑音電界強度

で表される [4] . ここで F_a は外来雑音係数であり, 雑音要因ごとに異なる値を持つと同時に周波数特性を有する .

ITU-R 勧告 P.372-6[4] に基づく外来雑音係数を用いて計算した帯域幅 3[kHz] の外来雑音電界強度は図 5 のようになる . 日本国内における空電電界強度は, 一般にこの図で示した値より小さい .

モデム OFF 時のオピニオン評価の結果を用いて推定した赤城サイトの外来雑音電界強度は, 同図に示すようにほぼ「静穏な田園地帯」に該当することがわかる . このことより, オピニオン評価は JARL に有利な条件を作為しておらず, 公正に評価しているものであることがわかる .

図 4 及び 5 を比較して明らかなように, 本実験での OFDM モデムの漏洩電界強度は ITU-R 勧告で計算される外来雑音レベルより遙かに高い . アマチュアバンド内に関してはスペクトラムアナライザの感度特性及び実通信スペクトルの存在のため観測できないが, 3.2 で推定したようにアマチュアバンド内においては図 5 に示す商業地域人工雑音より大きな値となる .

このことは, 1 台の PLC モデムによって従来の外来雑音より遙かに大きな雑音を受けると同時に, ITU-R 勧告に基づく人工雑音モデルが全く使用できなくなることを意味する .

4 実通信環境の電界強度推定

4.1 電離層反射波通信

実際に電離層反射波を用いた交信が行われた際の受信地点における電界強度推定値の計算結果を表 5 に示す⁵ . 計算モデルは ITU-R 勧告 P.533[5] に基づくものを用い, 相対黒点数は World Data Center for the Sunspot Index[6] (ベルギー) から公表されている月別平均値を用いた . ただし, アーリントンハイツとの

⁵ 交信データは Web 上で募集し, 有志より提供いただいたデータの中から選定した .

表 5 実際の電離層反射通信における電界強度の推定結果

送信地	受信地	年	月	SSN	UT	MHz	kW	Ant.	dB μ V/m
Hamburg	Matsuyama	1997	05	19	20	7	1.0	GP	10
Hamburg	Osaka	1997	07	10	08	14	0.2	3ele	-18
The Hague	Matsuyama	1997	07	10	14	14	0.1	GP	-22
Hamburg	Matsuyama	1997	08	24	13	18	0.3	3ele	-11
Los Angeles	Matsuyama	1997	06	13	09	7	0.1	GP	-5
Arlington Heights	Tokyo	2002	03	79	23	21	0.005	DP	-40

交信については、通信総合研究所 平磯宇宙環境センターから公表されている交信日の SSN 値を用いている。また送信地点は、ドイツ、オランダ及びカリフォルニア州についてはそれぞれハンブルグ、ハーグ、ロサンゼルスで代表させ、受信地点は解析プログラム ITS HF Propagation[7] で準備されている地点のうち実際の受信地点に最も近い場所を選定した。

この表からわかるように、推定電界強度は非常に小さな値となるが、現実に交信は成立している。特にアーリントンハイツとの交信データでの電界強度推定値は -40 [dB μ V/m] という値であり、図 5 の外来雑音レベルと比較すると静穏な田園地帯でも受信不可能な電界強度レベルである。実際の受信環境は住宅地であり、タワー上に上げたビームアンテナの垂直面指向特性により受信に必要な信号対雑音比を確保したものと推定される。

アマチュア局の使用するアンテナは千差万別であり、必ずしも指向特性で受信信号と PLC システムからの漏洩電界とを分離できるとは限らない。上述の例のような微弱電界強度による交信が成立するためには、PLC システムからの漏洩電界強度は希望波のそれよりさらに低い値でなければならない。

4.2 地表波通信

国内の近距離通信は、電離層反射波の他に地表波によっても行われる。ここでは距離約 100[km] の回線をモデルに、近距離通信の電界強度を算出し PLC システムの漏洩電界強度と比較する。

設定した通信回線

- 送信地点：東京都豊島区巣鴨（JARL 事務局）
- 周波数：7.000[MHz]
- 送信出力：100[W]
- 電波形式：A1A（A1）
- 受信地点：群馬県勢多郡宮城村（電中研 赤城試験センター）
- アンテナ：送受信とも $\lambda/4$ 垂直接地アンテナ
- 回線距離：96[km]
- 通信時期：1996 年 10 月（SSN=1）、2000 年 7 月（SSN=170）及び 2002 年 1 月（SSN=114）

地表波電界強度の計算は ITU-R 勧告 P.368-7[8] に基づく計算プログラム GRWAVE により行った。大地の比誘電率及び導電率は、それぞれ $\epsilon_r = 10$ 、 $\sigma = 5.0$ [mS/m] とした [9]。電離層波電界強度は 4.1 の場合と同様に、ITS HF Propagation を用いて ITU-R 勧告 P.533-6 のモデルで計算した。

計算した電界強度の時刻変化を図 6 に示す。電離層反射波の電界強度は SSN 極大期を別にすると夜間は極端に落ち込み、地表波のみでの通信となる。

この計算結果は現実の状況をよく表しており、この通信回線は SSN 極大期を除いて日中～前半夜にかけては電離層反射波、深夜から日出頃にかけては地表波で通信が可能であることを示している。

このモデルにおいて PLC システムの影響を受けることなく通信を維持するためには、漏洩電界強度の大きさが地表波電界強度以下、所要 S/N を確保できるレベルでなければならない。

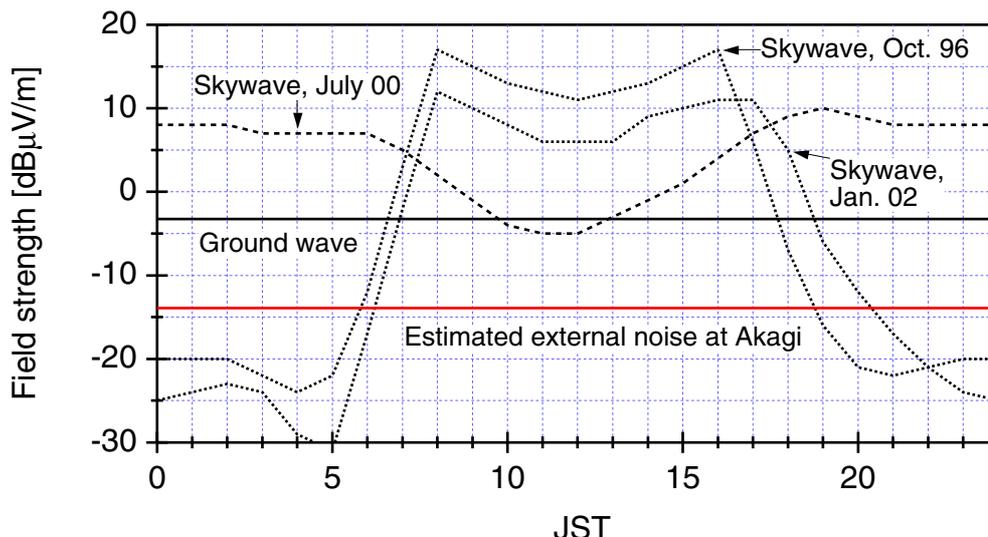


図 6 巣鴨 - 赤城間の電界強度

4.3 放送等の受信に対する保護

短波放送は対外向けの情報発信手段の一つとして位置付けられており、例えば我が国においても日本放送協会の海外向け放送 Radio Japan は総務省命令により実施されている。短波放送はアマチュア局と比べて非常に高出力であり、アマチュア無線にとって遠距離の外国との通信可否を推定する重要な手段となっている。また、我が国に滞在する外国人が母国の情報を得るための非常に重要な手段である。

一方、標準電波（標準周波数局）は我が国においては長波帯（40 及び 60[kHz]）に移行したが、米国、ロシア及び中国等では現在も短波帯で運用されている。長波帯標準電波は時刻基準として広く用いられているが、ルクセンブルグ効果 [10] のため周波数基準として用いることはできない [11]。したがって無線機の周波数校正を行う際の基準としては、電離層の変動に起因するドップラー効果が存在するもののダブルビート法により 10[Hz] 以下の精度を確保できる短波帯標準電波が用いられる。

そこで、本節では放送等の受信に対する影響について検討する。

短波帯の電離層反射波を用いた放送業務における同一周波数の高周波保護比⁶は 27 ~ 40[dB]、3.5[kHz] 離調時にはさらに最大 18[dB] 増加すべきことが定められている [12]。HF PLC システムはその信号スペクトルが広範囲に存在することから、保護比については同一周波数保護比ではなく 3.5[kHz] 離調時保護比、すなわち 45 ~ 58[dB] を確保する必要がある。

また、短波放送計画上の最小電界強度は、空電の電界強度 [4] もしくは $3.5[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]^7$ のいずれか大きい方より 34[dB] 大きな値でなければならないことも規定されている [12]。

したがって短波放送に対する保護を考慮すると、PLC が運用される配電線からの漏洩電界強度の上限値は図 7 のようになる。この図において、実線はいわゆる短波ラジオに対する上限値、点線は通信用受信機に対する上限値で、空電については 99.5[%] 上限値を用いている。いずれの場合も、配電線と空中線との離隔距離は平均的な住宅における配置により定められなければならない。短波ラジオに関しては室内で伸縮式ロッドアンテナを用いることが多いことから離隔距離 1.5[m] での電界強度として定められるべきである。通信用受信機については、アマチュア局と同様のアンテナを使用することが多いので、線路からの離隔距離はアマチュア局同様に規定しなければならない。

図 4 及び図 7 を比較すると、明らかに PLC システムは短波放送等の受信に重大な影響を与えることがわかる。将来においては短波帯以下の周波数におけるデジタル放送が計画されており、保護比に対してはより一層厳しい値が適用されることとなる [13]。

⁶ 受信機出力端における信号対妨害波比の最小値を満足するための高周波における希望波対妨害波比

⁷ 受信機（いわゆる短波ラジオ）の固有（内部）雑音レベル

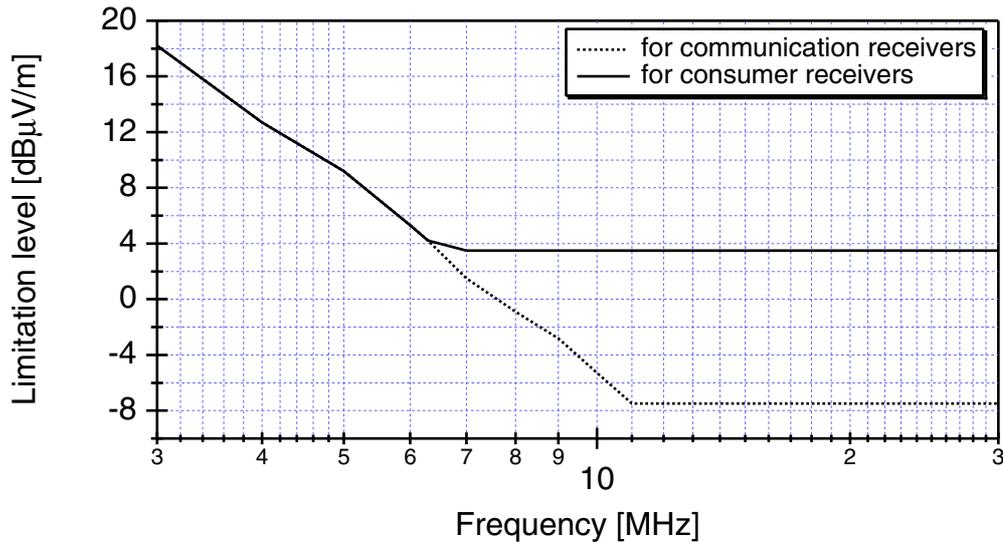


図 7 短波放送に対する保護比を考慮した漏洩電界強度の上限

なお本実験では実際の放送等の受信確認を行っていないが、同期検波方式を採用した短波ラジオや通信用受信機の場合、回路が放送の搬送波に同期した局部発振信号を生成できなければ受信が全くできない。特に低減搬送波 (R3E) 方式を使用した SSB 放送においては、両側帯波全搬送波 (A3E) 方式に比べて搬送波レベルが 26[dB] 低いので、さらに厳しい値が要求される。

5 線路インピーダンス

別紙 1「実験要領」図 A1-1 に示す測定系統において、A 点及び C 点から実験線路を見た差動インピーダンスの測定結果を別紙 5「実験線路の差動インピーダンス」に示す。

A 点から見たインピーダンスは、先端を短絡した伝送線路のインピーダンス特性にほぼ一致した特性が得られている。一方、C 点から見たインピーダンスは柱上トランスから高圧系のインピーダンスが並列に接続されるため複雑な様相を示している。

6 結論

本報告書においては、赤城実験で得たデータを元に PLC システムの漏洩電磁界について分析を行った。その結果、

- オピニオン評価の結果、600[Hz] 帯域幅のときアマチュアバンドで数 ~ 10[dB] 程度、標準電波帯域では 10 ~ 25[dB] 程度の劣化となった。
SSB 通信で使用される 2.4[kHz] 帯域幅では、さらに 6[dB] 以上の劣化が予想される。
- 漏洩電界強度は PSD マスクにより保護されているアマチュアバンド内においても ITU-R 勧告で示されている商業地人工雑音強度より遙かに大きくなるのが推定できる。
- 現実の電離層反射波通信や地表波通信は 0[dBμV/m] 以下の非常に微弱な電界強度レベルで行われているものも多く、受信電界強度を下回る漏洩電界強度でなければ通信が成立しない。
- 電波伝搬の指標となる短波放送及び標準電波の受信に関しては、ITU-R 勧告に基づく放送計画が成立しない漏洩電界強度である。

ことが明らかとなり、PLC システムはアマチュア業務及び放送等の受信に非常に大きな影響を与える。

漏洩電界強度の容認可能なレベルは、電力線からの離隔距離 3[m] において、ITU-R 勧告 P.372-6 に規定された「静穏な田園地帯」の人工雑音電界強度以下である。また、放送帯域に関しては線路から 1.5[m] の

距離において $3.5[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]$ 以下, $3.0[\text{m}]$ の距離において $-7.5[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]$ 以下が容認可能な漏洩電界強度レベルである. この値は 1 台の PLC モデムについての値ではなく, PLC システム全体としての値である.

PLC の本質的な問題点はモデムにあるのではなく, 「インピーダンス整合がとれていない⁸不平衡状態の非シールド平行 2 線線路で, 波長が線路長と同等程度以下となるような高周波差動信号を伝送しようとすること [2, 14]」及び「運用形態が時間的にも場所的にも周波数的にも局所的なワイヤレスマイクやトランシーバに代表される免許を要しない微弱な無線局と異なり, 常時・広範囲・広帯域にわたって運用されること」である.

本実験では線路からの漏洩電磁界のみに焦点を当てて計測を行ったが, 線路から機器の電源系統を經由して混入する高周波信号の影響(伝導妨害)についても評価・検討する必要がある. このことは医療・医用機器及び計測機器に対して重要で, 特に前者に関しては医師の診断及び人命に直結する問題であることを指摘する.

また漏洩電磁界についても, 電波天文, 電離圏等の地球物理観測, 地震観測ならびに科学計測分野に対する影響を評価・検討する必要があると同時に, 医療・医用機器に関しては高感度のセンサ部分に対する影響は十分に検討しなければならない.

さらに, 多数の PLC モデムが同時に動作している状態, すなわち PLC システムの実運用状況下での漏洩電磁界がどのようなものになるかの検討は必須である.

謝 辞

本報告書をまとめるにあたり, 詫間電波工業高等専門学校 情報通信工学科より卒業研究論文ならびに実験データの提供を, また複数の有志のアマチュア局より交信データの提供をいただいた. ここに記して謝意を表する.

文献

- [1] ARIB, “実験モデム仕様”, Jan. 2002
- [2] 武藤浩二, 真鍋克也, 森本敏文, “電力搬送波通信における EMI/EMC 問題について”, 平 13 電気関係学会四国支部連合大会論文集, 12-6, Sept. 2001
- [3] 小林弘和, “電灯線に高周波信号を重畳した場合の漏洩電磁界評価に関する研究”, 詫間電波工業高等専門学校 卒業論文, March 2002
- [4] ITU-R Recommendation P.372-6, “Radio noise,” Geneva, 1994
- [5] ITU-R Recommendation P.533-6, “HF propagation prediction method,” Geneva, 1999
- [6] <http://sidc.oma.be/index.php3>
- [7] G.R.Hand, “High frequency propagation models,” Institute for Telecommunication Sciences, National Telecommunications and Information Administration, U.S. Department of Commerce, May 1997 (<http://elbert.its.blrdoc.gov/hf.html>)
- [8] ITU-R Recommendation P.368-7, “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10kHz and 30MHz,” Geneva, 1992
- [9] ITU-R Recommendation P.832-2, “World atlas of ground conductivities,” Geneva, 1999
- [10] 奥澤隆志, 標準無線工学 空中線系と電波伝搬, CQ 出版, 1983
- [11] 原 康祐, “長波標準電波観測システムの構成に関する研究”, 詫間電波工業高等専門学校 卒業論文, March 2002
- [12] ITU-R Recommendation BS.560-4, “Radio-frequency protection ratios in LF, MF and HF broadcastings,” Geneva, 1997

⁸ここでいう整合とは, 同相・差動の双方に対するものである.

- [13] ITU-R Recommendation BS.1348, "Service requirements for digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers using terrestrial transmitters in the LF, MF and HF bands," Geneva, 1998
- [14] 武藤浩二, 真鍋克也, 森本敏文, "電力線搬送通信における電磁界干渉及び電磁環境両立性に関する研究," 詫間電波工業高等専門学校 プロジェクト研究報告会 2001 講演論文集, pp.3, March 2002