

2005.4.11

「高速電力線搬送通信と既存無線局との共存について」
——短波帯近放射電磁界の測定について——

(社) 日本アマチュア無線連盟

1. 米国商務省、NTIA の PLC 測定の公式報告書

資料 2－3 には PLC 機器の漏洩電界の測定値が示されており、これに対する質問に対して、実測値とほぼ一致しているとの回答があります。しかしその実測値は測定方法等についての解析と理解がなされないまま PLC-J 側のみの解釈で測定した値で、漏洩妨害を受ける側では、この値を直ちに信用することはできません。

日本アマチュア無線連盟では、今回の PLC 漏洩電磁界の解析と測定に当たり、過去 50 年にわたる短波対電磁放射に関する実績の上に立ち、2004 年 4 月に、アメリカ政府が PLC に関して報告した膨大な報告書を参考とし、短波帯の電磁放射測定について出来る限りの検討を行ってきた。

その報告書は、アメリカ連邦通信委員会(FCC)が昨年 8 月に新しい PLC の解禁に当たって、如何なる問題について研究し、膨大な測定と結果の考証を行った過程について、アメリカ商務省(U.S. Department Commerce)の全米通信情報局(NTIA－National Telecommunications and Information Administration)が、公式文書として公表している報告書である。

NITA Report 04-413

**POTENTIAL INTERFERENCE FROM BROADBAND OVER POWER LINE (BPL)
SYSTEMS TO FEDERAL GOVERNMENT RADIOCOMMUNICATIONS AT 1.7-80
MHz**

Phase 1 Study

VOLUME 1 (113 Page)

VOLUME 2 (154 Page)

報告書の中では、多くの部分が屋外のアクセス系に関するものが多いが、Volume 1 の 2 章で BPL システムの技術的説明。3 章では関係規則との関係と解釈、4 章で連邦政府通信施設の周波数とスペクトラムの関連、5 章でコンピュータモデリングから見た BPL 電磁放射特性と測定の関係、6 章は色々な既存システムと干渉の可能性について、7 章は BPL 測定系の対応、8 章は干渉の防止と緩和、9 章で結果の集大成を示している。

Volume 2 は Appendix で、A は関係法規、B は国外の関連論文、C は連邦政府割り当て周波数と施行範囲及び既存システムとその主要パラメータ、D は色々な架線に対する測定例、E は BPL の放射のモデリングデータ、F は NTIA の今後(Phase 2)の展開について述べている。FCC はこのレポートで得た実測結果を踏まえて「妥協案」を作成し、BPL に運用禁止周波数、運用禁止地域、データベースへの登録と公開を義務付け、その上で BPL の使用を許可する体制をとっている。

今回の研究会において、日本アマチュア無線連盟では、特に測定法、測定値の取り扱いなどに、この NTIA 報告書に記載された方向で議論を進めてきたが、PLC-J および他の大部分の出席者の発言の中に、NTIA について触れられることは無かった。今後は、アメリカでも、80MHz まで拡大した新しい FCC の BPL 規制のために、政府側機関によってこれだけの検討と努力を払っているの、本研究会においても同程度の研究と実験を重ねてこの報告書程度の努力が必要であると考え。

ここでは特に第 5.2 章の HF 帯の伝搬に関する理論を要約し提示する。なお、この報告書は以下の米国国務省のホームページから取り出すことが可能で、今後の研究会の進行をスムーズにするため、関係者は出来るだけ参照していただきたい。

<http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/bpl/>

本報告書によると、短波帯の電波は Ground wave, Space wave, Sky wave の 3 種類のモードに分かれ、PLC モデムまたは屋内配電線の水平面を仮に PLC Horizon と呼ぶとこの面の上下で伝播モードがはっきり異なる。PLC Horizon 以下では直接波と地面反射波の合成波である Ground mode wave が卓越し、直接波の受信電力の距離減衰特性は距離の 2 乗に半比例し、合成波は波源がポイントソースと仮定すると距離の 4 乗に反比例して減衰する。PLC Horizon 以上の高さでは Space wave(直接波) と Sky wave(電離層反射波)が卓越する。第 5.4 章では PLC Horizon 以上の高さの領域における放射を数値モデルを用いた詳細な放射パターンについて解析している。この結果、最大放射方向は、PLC Horizon より必ず上方になり、PLC Horizon 方向には放射しない。垂直面パターンは周波数によって変化する。

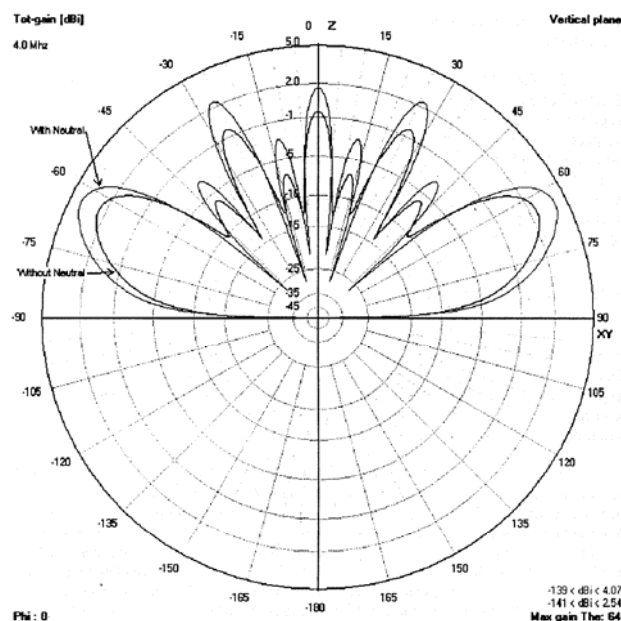


Figure 5-1: Comparison of NEC model with and without a parasitic multi-grounded neutral at 4 MHz.

この場合の色々な周波数と負荷インピーダンスの異なる状態における放射パターンについて、Volume 2 の APPENDIX E に例示されている。

このことから NTIA は「少なくとも電力線と同じ高さ以上で測定しないと正確な電界強度は測定できない」と結論している。

これらの結果を踏まえると、資料 2－3 の測定は同じ高さの測定が主体となり、

- (1) 最大放射方向の電界強度を測定していない。
- (2) 距離依存性は Ground wave についての計算を求めているが、以上の結果からは正しい距離依存性は測定していない。直接波の卓越する短波帯では、伝搬路に沿う地表の電気伝導度の影響は非常に少ないのではないか。
- (3) 測定法を確立することが先決で、これに基づいて 3 次元または出来るだけ仰角を変化して測定を行わなくては、PLC モデムや電力線からの正確な電界強度は測定できない。

従って既存無線業務との共存の可否を資料 2－3 の測定値のみで議論することは出来ない。なので測定のやり直しを求める。

2. 日本アマチュア無線連盟と PLC-J との共同実験の意義

日本アマチュア無線連盟と PLC-J による共同実験は、今後のモデムや配電方法の改良を行なった場合、どのように改善されたかを比較検討できるように、一つの基準を決める目的を持ってオープンサイトに一つの配電線モデルを作り実験を行なった。今後の測定では、アマチュア無線側から 10m の伸縮ポールを提供し、10m、30m の距離でハイトパターンを測定する予定である。今後も両者が合同で協力し今回の基準測定システムとする事を合意している。

3. 近傍電磁界でのループアンテナの電界測定について

NTIA は、ループアンテナによって電界強度値を算定する方法について、測定された磁界強度を電界強度に変換する時の近傍界での波動インピーダンスが自由空間値 (377Ω) に対して変動することを指摘している。この点は、第 3 回研究会の席上で、当連盟の指摘に対し、すべて 377Ω として算出せよとの指摘があったが、既に前回報告したとおり外国では色々なアンテナを使用して測定し、これを較正して電界測定を行なっている。NTIA では、ループアンテナの代わりに較正されたロッドアンテナで直接、電界強度を測定するように述べている。今後の測定ではアマチュア無線連盟側から提案した短ダイポールセンサーを標準ループと自由空間に近い状態で較正し、距離 5m 以上で使用するよう提案する。

4. NTIA による航空機への影響

NTIA 報告書では、アクセス系の場合の市街地上空を比較的低い高度で飛ぶヘリコプター、航空機に対する影響がかなりあることを述べている。資料 3－8 の添付資料 2 では、飛行高度 10km、として算出されているが、低空を飛ぶ航空機についてはこの式は使えない。

5. アマチュア無線の周波数帯域について

短波帯アマチュア無線の帯域は通常 SSB では 2.4kHz、電信および RTTY では 200～500Hz が標準である。従って妨害雑音のレベルは、この付帯条件を付けて評価されるべきである。もし同じ外来雑音の元では、帯域が 9kHz の場合に対して 5.7dB(2.4kHz)、12.5～16.5dB 低い値となる。

ITU-R 勧告の雑音レベルがランダム分布と近似すればバンド幅によって妨害の許容レベルが下がり資料 2-3 の 12 ページの E_{plc} の値は、

37.4dB μ V/m $\Rightarrow$ 31.7dB μ V/m (SSB 受信)

21～25dB μ V/m (電信受信)

アマチュアの場合分類④の E_{plc} 値は 21dB μ V/m とするべきである。

6. FCC-Part15(January 26, 2005)による規制との比較

(1) Section 15.109 Radiation emission limits (P.34)

これは電波放射を前提としない、Unintentional radiator の機器に対する規定である。ここでは Class A の機器（商用、産業用などの環境で使用される機器）を除いて、30MHz から上の周波数を、周波数別に 3m 法による電界強度を規定している。ちなみに 30MHz では 100 μ V/m @3m で、これは自由空間では 30 μ V/m @10m に相当する。日本の微弱（150 μ V/m@10m）に対して 1/5 倍で 14dB 低い値である。

また 15.109(e)で、9KHz～30MHz の周波数を使用する Carrier current system は、Section 15.209 の規制に従うと記載されている。

(2) Section 15.209 Radiation emission limits, general requirements (P.82)

これは Intentional radiator (何らかの電波放射が前提の機器)をもつ機器の規制である。

ここで妨害のレベルは 1.705～30MHz の周波数範囲で、30 μ V/m@30m となっている。これは 90 μ V/m (= 39.1dB μ V/m) @10m と等価である。

EIRP に換算すると -45.7dBm である。仮にこの放射の全帯域が 1MHz とすれば、EIRP の電力密度は -105.7dBm/Hz

(3) Section 15.223 Operation in the Band 1.705～10MHz (P.87)

Section 15.209 に加えて、この周波数帯ではさらに別の規定がある。これは妨害放射のスペクトルが、中心周波数の 10%に集中している場合で、このときは 15 μ V/m@30m である。これは 45 μ V/m (= 33.1dB μ V/m) @10m に等しい。十分なエネルギー拡散の処理をしないときの PLC の放射は、このような条件に当たると考えられる。

(4) Section 15.113 Power line carrier systems (P.36)

15.113(b)にて、PLC 機器が既存の通信に障害を与えた場合、速やかに使用を停止するか、それを修正することを求めている。

(5) Section 15.107 Conducted limits (p.33)

AC ラインに接続される機器からラインに流れ出すコモンモード（ラインと大地の間）の RF 電圧はつぎのように規定されている。これは LISN(*1)とよばれる $50\mu\text{H}/50\Omega$ のネットワークを介して測定するもので、実質的に 50Ω 負荷測定である。ただし、これは PLC 機器には適用しない（15.107(c)）。

Freq (MHz)	Quasi-Peak	Average (dB μV)
0.5-5	56(-51dBm)	46(-61dBm)
5-30	60(-47dBm)	50(-57dBm)

*1) ANSI C63.4-2003 'Measurement of Radio-Noise Emission from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9KHz and 40GHz,' *IEEE*

7. 実際の屋内配線の例に対する考察についての質問

「資料1－3 3.4 項」によると、モデムを屋内に設置した場合には電力線が非接地系であるため対地間平衡度が良く、漏洩が発生しにくい環境にあると説明されているが、実際の屋内配線は非常に複雑であり、むしろ漏洩電磁放射が発生しやすくなると考えられる。非常に簡単な例として図1に示す、電灯と壁スイッチによる不平衡回路を考察してみる。

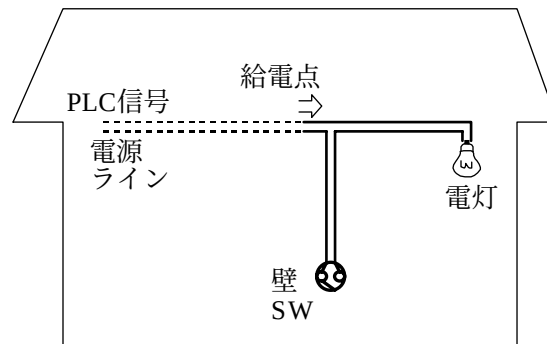


図1 電灯と壁スイッチ

この場合、図2に示すように等価回路となり電磁波の放射が発生する。

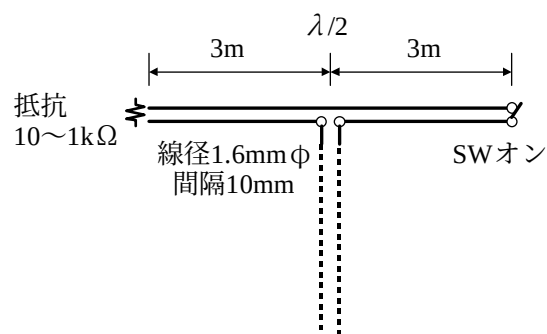


図2 図1の等価回路

このような回路は一例にすぎないが、さらに複雑な屋内配線の電磁放射の解析について今後研究を進める必要がある。