

第3回 高速電力線搬送通信研究会発表資料

日本アマチュア無線連盟
電磁環境委員会委員長
芳野 昶夫

海外における高速電力線搬送通信(BPL)の最新報告

2005年2月13日-18日、スイス、チューリヒ市のスイス連邦工業大学で開催された第16回国際 EMC チューリヒシンポジウム(16th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility)に参加した際に、BPL=PLCに関する3件の発表と、2月14日夕刻、同時に開いた国際アマチュア無線連合(IARU)のRegion 1の懇談会の討議のうち、とくにBPLに関する報告・討議内容を報告いたします。

会議名: IARU Region 1 懇談会

日 時: 2005年2月14日 17:00-20:00

場 所: スイス連邦工業大学チューリヒ校本部、F2.2 教室

人 員: スイス4名、ドイツ3名、アメリカ2名、日本、フランス、スウェーデン、チェコ、
スペイン、イタリア、デンマーク 各1名 合計 15名

座 長: Christian M. Verholt, Danish National Secretary on EMC Standardization
Chairman of IARU Region 1 EMC WG.
Chairman of CENELEC TC-20 on EMC
Secretary CISPR H.

セクレタリ: Diethard Hansen, Euro EMC Service

① BPLに関する討議項目 1.

オーストリア政府によるBPLに対する警告と改善命令。

Verhold氏より、2004年12月21日、北オーストリア地方のリンツ(Linz)市を中心にMAINETモデム(イスラエル製)を使用し、約4000世帯(モデム)に対して2年前から商業的にPLC回線を運用しているオーストリア企業のリンツストロム(LINZ STROM GmbH)株式会社に対し、北オーストリア地方電波管理局が、BPLによる混信が発生していることを正式に通告し、改善命令を出した。付属1に地方電波管理局の裁定の原本(ドイツ語)を示す。裁定原書の内容を要約すると、地方電監局長 DR. IBINGER は、リンツストロム社が運用しているBPLが電磁波を放射しており、近隣の短波通信機器(アマチュア無線、デジタル短波放送、その他の短波利用局)に干渉を起こしている事実が短波利用者の苦情と、公式測定によって確定された。リンツストロム社は4週間以内に、他の通信機器にBPLが原因となる干渉を除去する方法を電力線に施し、その測定結果を提出せよ。放射電波は不要放射である。

更に DR. IBINGER 局長は、重ねてリンツストロム社が不服な場合には注意事項 1 に対し上告できるが、その場合の郵政省の採決は 6 ヶ月後に出される。その時点において官側の測定結果が不十分の場合は、オーストリア通信省はリンツストロム社に対し BPL の運用を禁止する。

また、リンツストロム社は法律に決められていないが電力線にシールド線を使用していない。無線技術の立場から見るとシールドの施されない線路上に高周波を乗せることは技術上よくない結果を及ぼすとの説明が付いている。

オーストリア アマチュア無線連盟(OeVSV)、および IARU Region 1 はこの裁定を歓迎し、同時に BPL に関して同様な問題に直面しているヨーロッパの国々それぞれの政府機関に対する警鐘を鳴らす好い前例を投じたと大歓迎していた。

② BPL に関する討議項目 2

スイス電力会社の BPL からの撤退

スイスにおける BPL 推進に力を入れてきた ETH ローザンヌ校の IANOZ 教授、チューリヒ EMC シンポジウムの前会長 ETH チューリヒ校のロイトホルト教授から発言があったが、スイスの取り締まり官庁 OFCOM は 2004 年秋までに数回、電力会社に対し Home Plug 方式を用いた屋内電力配線における BPL による干渉問題が問題となっていることを警告し改善命令を出していた。これに対し、スイスの電力会社は、2005 年 1 月に BPL からの撤退を決定した。その主な理由は集合住宅の干渉除去の困難さと、急速な光通信の普及による将来性の低下、加入者が少なくて採算が取れないことなどを挙げている。

2004 年にスイスのニューシャテル県に新設された Datwyler 社が光ケーブルの自国生産を開始した。同社の生産量はスイス国内の需要を充分まかない、さらに全ヨーロッパに対して供給を開始した。そのため光ケーブルの価格も低下したことが挙げられている。

③ BPL に関する討議項目 3

ヨーロッパ内での BPL からの撤退の風潮

EMC 問題の観点から、今回の CISPR ゼロの影響もあり、ドイツでは公示対象となった CE 検定基準がヨーロッパ EMC の目指す方向と究極で調和しないことが認められ始めてきた。そこで、ヨーロッパの電力会社の中に、集合住宅内の技術的問題の複雑さと解決の困難さ、(殆どがケースバイケース)、急速な光ケーブルの進展による BPL の将来性と、開始以来の加入者の伸びがいずれの国も思わしくないこと、短波使用者の圧力が高いことなどで当初の予想に反して採算性が低く、BPL から撤退を考慮し始めている会社が現れている。(オランダ、スウェーデン等、尚フィンランドは最初から参加をしていない)。スイスは前述のように撤退を決めた。またドイツなどは取敢えず殆どの地域で屋外アクセス系の中止を決めている。スペインでも一部の日本製のモデムの干渉に対し、スペインアマチュア無線協会内で改善要求が盛り上がりつつあり、オーストリアの例もあるので、近くスペイン郵政省に改善要求を出すことを検討中との説明があった。

④ BPL に関する討議事項 4

多数のBPLを稼動した時の漏洩電波の重畳について

スイスのHansen氏等の発言で、2005年1月21日-29日の磁気嵐の区間に典型的なBPL信号が重畳したと思われる広範囲の周波数に広がるノイズが、東北方向から入感した。そのレベルは、周波数により変化し、最大では背景雑音上20dB近くあった。これはドイツ、スイス、イタリアから見た方位で、おそらく中国から電離層伝播したものではないかと思われる。現在太陽活動が最低期にあるが、5年後の最大期では電離層のf_oF₂が高くなるので、この影響の常時発生が心配される。今後監視を続けていくとの発言があった。

⑤ 米国については第2回で報告したので割愛する。

第16回チューリヒ EMC シンポジウムのBPLセッションの発表論文の概要

セッション名: Broadband Powerline Communications

1. 「高速電力線搬送通信(BPL)に対する技術的考察」

(Technical Considerations for Broadband Powerline (BPL) Communication)

Robert G. Olsen: Washington State University, USA

広帯域通信の伝送手段として電力送電線と配電系統の使用が考えられる。このようなシステムをうまく実用化する際に立ちはだかる3つの顕著な技術上の障害である。第一は、システムに接続された複数のタップ、トランスや他の機器類の不連続に起因する高い減衰。第2は送電線上の比較的高い背景雑音。第3は電力線を通信媒体として使用する無許可システムに対する政府の規制に限界があることである。

2. 「PLC送信に関する短波受信局の感度」

(Sensitivity of a Short-Wave Receiving Station Regarding PLC Transmission)

Sven Batterman, Heyno Garbe: University of Hannover, Germany

電力線搬送通信技術(PLC)は電力配電会社によって今尚推進されている。この新しい企ては電力線搬送を基本として田園地帯に広帯域インターネットを接続するものである。PLCの新しい応用は二つのコンピュータ間に一つのEthernet接続を作る。多数の論文が短波帯でサービス中のシステムのS/N比にマイナスの影響があることを示している。この寄与は近隣でPLCが使われている現実の短波受信局の感度に対してははっきりとした影響を示している。

3. 「航空短波サービスにおける広帯域電力線搬送通信の影響」

(Effects of Broadband Over Power Line Communications Systems on Aeronautical HF-Services)

Frank Sabath: Federal Armed Forces Research Institute, Germany;

Lawrence Cohen, Edmond Tomas: US Naval Research Laboratory, USA.

この論文は1-30MHzの周波数帯における(電波標定、短波ラジオ、短波通信、短波レー

ダー)軍用短波サービスと広帯域電力線搬送通信(BPL・システム)との間の電磁環境(EMC)とそれによる電磁干渉(EMI)について述べる。最初は測定に基づいた実験的試験データの輪郭と、それから数値計算に対する大きな多様性に基づいた広帯域電力線搬送システム(BPL・System)の放射した電磁界の予想を行なう。予想される電磁界レベルは、受信特性が分かっている短波受信機の入力ポートにおける信号電圧から決定が出来る。これらの受信機の感度をもとに短波信号の解析を行なうと、望まない不要電圧の比較によって、BPL と短波利用者との間の相互作用関係を示すことができる。

付録: オーストリア地方監理局がリンツストロム社に送った命令書(ドイツ語)

※本資料「付録部分(ドイツ語)」は、
掲載省略(5ページ及び6ページ)。

第3回 高速電力線搬送通信研究会発表資料(参考)

日本アマチュア無線連盟
電磁環境委員会委員長
芳野 昶夫

下記論文はドイツの Ham による BPL の測定法の実際と、計算値との比較、BPL のヨーロッパにおける実態と将来展望を述べているので、参考として添付します。

題名: PLC 送信に関する短波受信機の感度
(Sensitivity of Short-Wave Receiving Station Regarding PLC Transmission)
Sven Batterman, Heyno Garbe, University of Hannover, Germany

I. INTRODUCTION

PLC 通信は高速データ送信を電力線に載せている。この方法では通信サービスプロバイダーと顧客の間の最後の 1 マイルの使用を可能にしている。[1-7]

高速広帯域 PLC システムの周波数帯域はアクセス周波数に 1.6-10MHz を屋内系を 12-30MHz に分けられるが、最近では 70MHz 以上まで周波数の拡大を試行している。短時間の PLC では PC 間の接続にイーサネットを用いて使用されている。その使用周波数は 4.3-20.8MHz である。

一方、この周波数帯は多くのサービスに使用されている。そこで重要な論争が持ち上がってきた。

- ・ 放送チャンネル(世界的)
- ・ 医療サービス
- ・ 軍用サービス、国家権力(大使館)
- ・ 航空管制
- ・ DRM・デジタル無線(協帯域、高質)-CDFDM 変調
- ・ 報道サービス(FAX, RTTY, ...)
- ・ アマチュア無線
- ・ 電波天文

本論文ではアマチュア無線と短波受信局の明らかな干渉に焦点を当てる。

II. 伝送媒体について

電力線は高周波伝送のために設計されていないことはよく知られている。メインケーブルの対象性は不十分で、充分吟味されていない。ケーブルは PLC 周波数帯には不適切な誘電材料を用いているために必然的に高い損失を免れない。次の問題は反射や線路に沿って定

在波が立つ結果としてメインケーブルの終端が不整合となる。高周波のために終端は必須であるが、しかしこれはライン周波数(50Hz)に対して不要な熱損失を生み出すであらう。

高いデータレートの伝送を行なうケーブルの伝導体は通常ツイストされる。最適条件では、これにより電流が相殺され、更に電磁放射が抑制される。

180° の位相差をもった二つのディファレンシャルモードの信号(DM)は、互いの電流を相殺する結果、放射は低くなる。しかし、もし線路中の DM 信号中に不平構成成分が生ずればコモンモード(CM)信号が部分的に生ずる。この場合の問題は電流が相殺することなく CM 信号が放射されることになる。この作用を図 1 に示す。

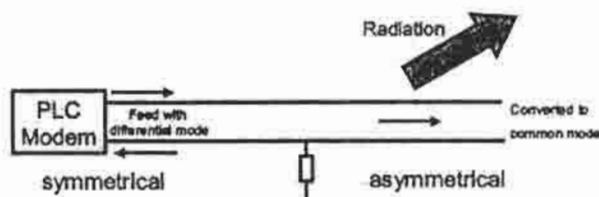


図 1 DM から CM への変換

長さ方向の変換損失(LCL)は近端におけるディファレンシャルモードからコモンモードへの変換で決まる。その変換はケーブルの引き方によってシステムの EMC 対策の出来具合で決まる。信号は同じ終端に注入され測定される。(図 2)

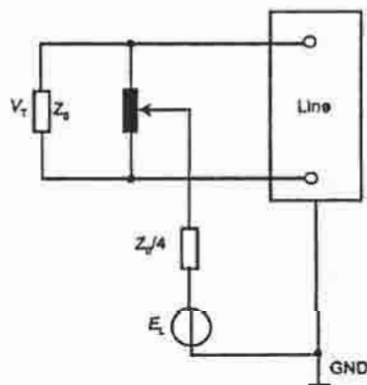


図 2 LCL の測定

LCL は 1 式で算出できる。

$$LCL = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{E_L}{V_T} \right)$$

1 式

標準ツイストペアケーブルは LCL を 80dB まで高めることが可能である。電力線の LCL を 0 付近から 80dB まで変化した時の変動は[7,9]に記されている。この量が PLC を使う

ときの EMC 問題を明らかにする。特別な給電機構[7]がこの問題を改善できる。しかし勝手に配線された屋内配線のインピーダンスは状態によって負荷が決まらない。

これらの影響を避けるために電力線の大規模な設計のやりなおしと分割が必要となるだろう。それは勿論実行不能である。一般的に電力線システムは形態と広がり物理的に考察できる範囲で、フィールドパスシステムとして取り扱はねばならない。例えばフィールドパス製造者は正しく機能を守るケーブル係数を厳密に決め、勝手なパラメーターで敷設したベル用配線では保障を得ることは出来ないだろう。

幾多の無線サービスは以上に述べた効果を負う PLC に依存する問題を宣伝している。だから、現存する受信局と 1 本の PLC 送信線で構成された一つの代表的モデルを再現した。

III、PLC 送信する電力線

A. 測定

測定は床上に設置した測定線で行なった。二つの PC 間を OFDM モードで周波数帯域が 4.3–20.9MHz、84 キャリヤの Home Plug Power Alliance 標準を使用する PLC-LAN システムで接続した。受信アンテナは 1 個の静電シールドを施したループを用い、受信機のカットオフ周波数は 30kHz で最大点検機能(最大ピーク値検波型)を持つ記録装置を接続した。ループと線路間の距離は 2m である。

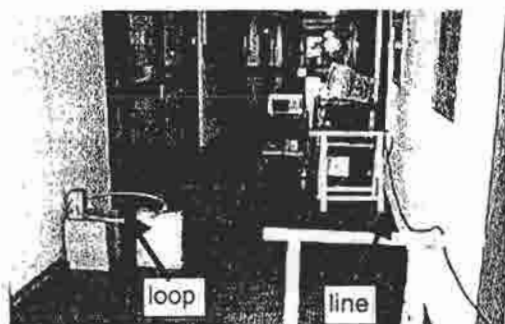


図3 測定系

モデムを線路に繋いだ時モデムは瞬間にショートパルスでデータ交換を始めた。これはきつつき雑音に似ていて、時定数を変化できるノイズブランカで殆ど消え去ることが出来る。図4は1分後の安定なリンクにおけるスペクトラムを示す。

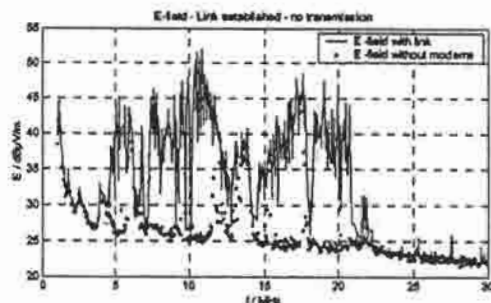


図4 リンクがあり送信無しの場合の電界強度

図5はデータ送信中のスペクトラムを示す。幾つかのノッチを入れアマチュア無線バンドに約30dB(モデム取説による)の低減を施してある。高い繰り返し周期のためにノイズブランカーは何も動作しない。放送波帯と他の一時業務用割り当て周波数帯には有効なノッチはつけていない。

考えられる妨害については後で議論する。

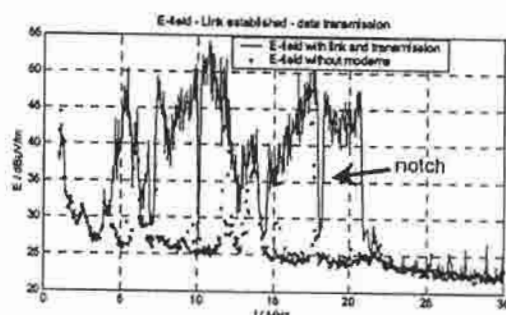


図5、データ送信中の電界強度

B. 放射の理由—CM/DM 電流

放射の原因は図6で明らかなようにコモンモード電流である。モデム無しでは少数の放送波がラインに乗っている。(点線) モデムを接続し、データ送信しているときのコモンモード電流(ダッシュ線)はシングル導線の電流(実線)の41dB μ Aに比べて、最大で約31dB μ Aである。

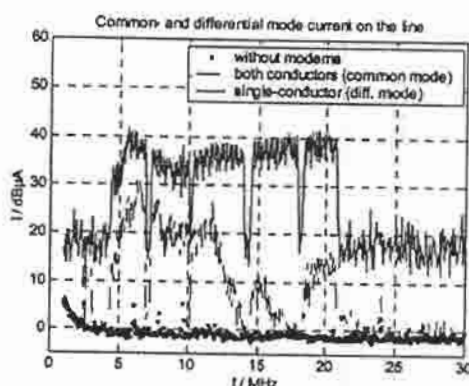


図6、線上の電流

問題は前述した線上の不十分なLCLにある。電流は空間電流分布に起因する定在波の形で回線の終端において測定されるが、計算には取り入れられていない。

C. バンド幅決定の影響

バンド幅決定の影響は図7で述べられている。電界測定ではノイズフロアが最大値を保っておりまた放送波の搬送波も一定(フェーディング)を保っている。

この図は幾つかの放送局がPLC送信より大きな信号強度を持っている場合を示している。図示した影響は、小さな伸縮アンテナのついた電池電源の受信機を屋内のPLC回線の近くで使用した場合に発生する典型的な干渉のシナリオである。この場合には放送受信は殆ど

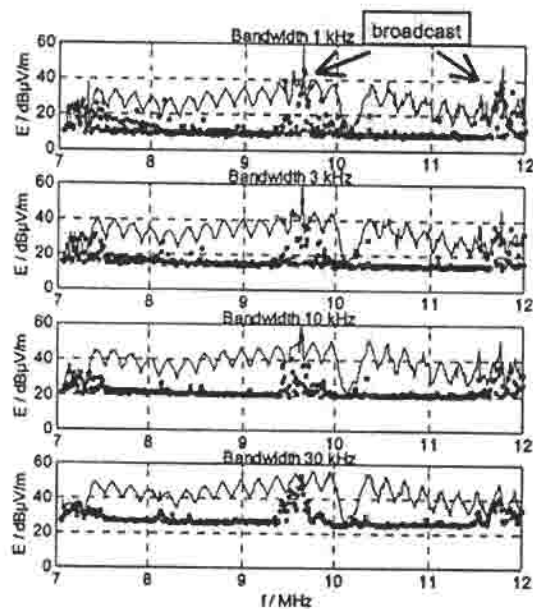


図 7、バンド幅決定の影響

不可能である。この影響を解決するためには屋外アンテナを使うか PLC の回線から遠く離すことが一般的である。だからこれは数値計算や測定で述べられている本質的解析ではない。

IV、一つの干渉シナリオのモデル

A. モデルの説明

モデルの詳しい構成は PLC 送信の影響から充分離して 3 バンド八木・宇多アンテナを設定した。アンテナは市販されている 14, 21, 28 MHz 用 9 素子である。それはログペリ給電でバランを通した同軸ケーブルで給電している。家の屋根はアルミニウムホイルをコーティングしたグラスウールで覆った。だから理想的な伝導面がモデル中に実現できた。他は全て金属の塀と小さな小屋の金属屋根である。(図 9、図 10) 計算はモーメント法を基にしたプログラム構想で行なわれた。

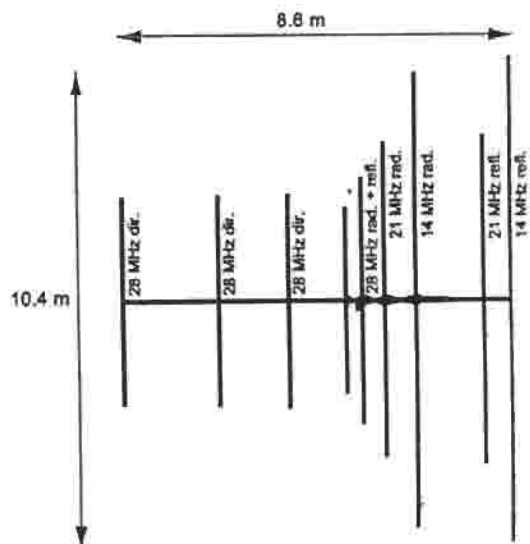


図 8、八木・宇多アンテナの詳細図

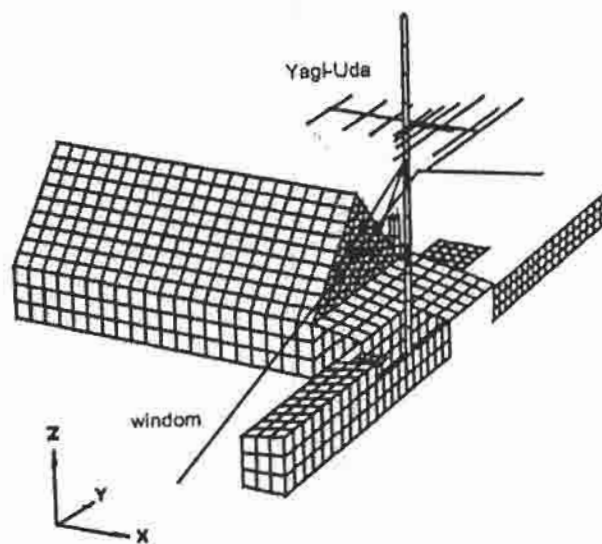


図 9、アンテナと周辺のモデル



図 10、実際の光景

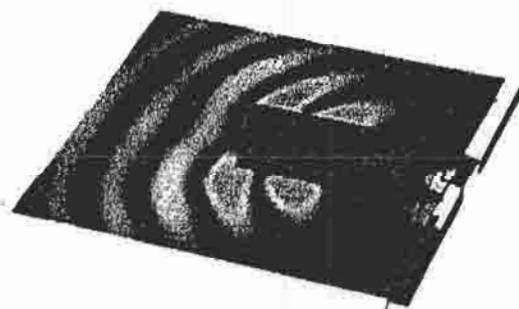


図 11、地上高 3 メートルの電界分布

色々なフィールドの測定は数値計算で確認をされている。図 11 は地上 3m に分布する計算による実際の電界分布を描いている。フィールド測定値とは良い一致を示す。建物の角と壁におけるフィールド強度の最大値はモデル中の理想的な導電面としての条件を満たすように考慮した。

3ディメンジョンの放射パターンを図 12 に示す。約 12.8m のアンテナ高に起因される 2 つのメインローブが現れる。これらは建物の上に向いている。一方パターンは周囲の対象

物と金属の据付ロープの影響を受けて対称とはならない。



図 12、3 バンドアンテナの放射パターン

B. PLC 放射線の影響

前述したモデルに基づき電力線の送信はモデル化されている。だから主放射方向で、隣家からの距離はアンテナの中心から 40m となり、簡単にするためにワイヤの長さを単純に 10m とし(図 1 3)、設置した高さはアンテナ高より約 2.8m 下の地上約 10m とした。一般の複雑な電力線の構成では、特殊な放射特性を持ち、著しく大きな結合係数(K)を持つことになるので計算は出来ない。[9]

測定値を参考にワイヤーは長さの方向に沿って $20\text{dB}\mu\text{A}$ の定コモンモード電流が流れているとする。八木・宇多アンテナの給電点における計算による周波数特性は図 1 4 に示すようになる。この PLC 線上には 28MHz で $42\text{dB}\mu\text{V}$ の電圧を発生している。この図でみると 14MHz 以上のバンドで感度が上がっている。広い指向性を持ち特に低い周波数帯に合わせた広帯域特性を持つ一本のワインダムアンテナ(300 オーム給電)をビームアンテナの下に張ってある。

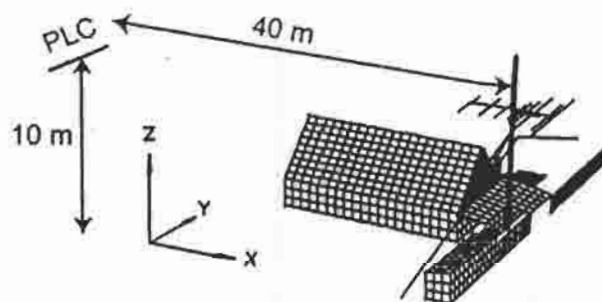


図 1 3、PLC 送信線を持つモデル 1

干渉の定量化のため、受信機の感度の比較を試みると、市販されているアマチュア受信機はプリアンプつきで SSB モードで 2.4kHz のバンド幅に対して約 $0.17\mu\text{V}(50\Omega)$ の感度を持っている。これは $-15\text{dB}\mu\text{V}(-122\text{dBm})$ の入力信号に対応し、または -156dBm/Hz の PSD に対応する。使用したトランシーバーは ICOM の IC-781 で軍用として使用するため "Signal-one MILSPEC 1030CT" 規格に改造されて使用されていた。これは勿論モニターとして使う受信機よりは感度が低い、適当な良いフロントエンドを持っている。

前述の計算値の $42\text{dB}\mu\text{V}$ と比較すると、PLC の信号と受信機の最大感度の間に約 57dB の差がある。信号雑音比は通信を提案するために大切な数値である。受信局における低

いノイズフロア値は検出信号が $0\text{dB}\mu\text{V}$ 以下でさえあれば問題はない。この悲観的な限度 ($0\text{dB}\mu\text{V}$) を得るため、さらにビームアンテナで約 42dB 、windom アンテナで約 33dB の信号雑音比を低下することが出来る。

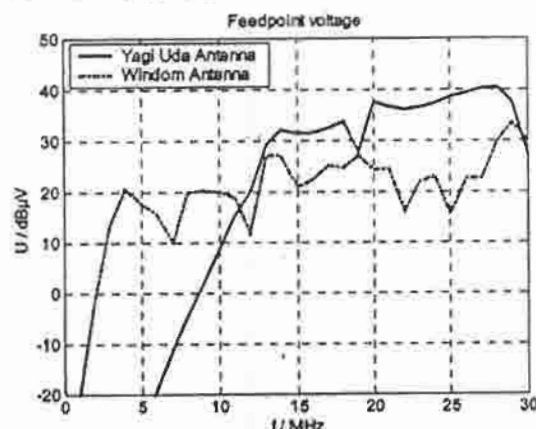


図 14、周波数に基づく給電点電圧(計算値)

C. PLC 放射ワイヤの影響(モデル 2)

シミュレーションを検討するために屋内の PLC 送信を作用した時の測定を行なった。一つの PC をウィンドムアンテナの下的小屋の中に置き、そして第 2 の PC を家の中央に置いた。こうすると最も近い PLC 放射線がアンテナと平行になる。(図 15) 電流は再び $20\text{dB}\mu\text{A}$ とした。

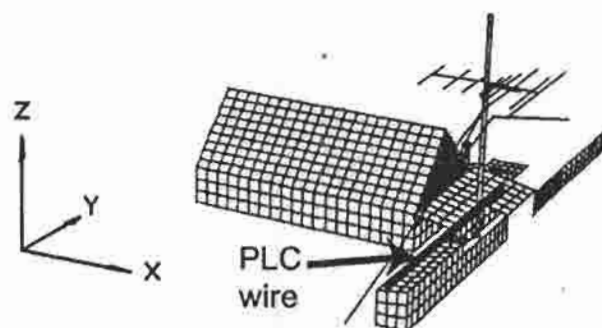


図 15、PLC 送信線を加えたモデル 2

ウィンドムアンテナの給電点における電圧を予測すると、距離が近くなるので結合が密になりビームアンテナに比較して高くなる。(図 16) 6525kHz の周波数でより詳細に検討する。ウィンドムアンテナの給電点の計算値は約 $36\text{dB}\mu\text{V}$ と成り、測定値と非常に良い一致を示した。

標準の電力線ではなく良くシールドされツイストされた通信線を用いれば効果的な(高い)LCL 値を得られ、トランシーバを最大感度で運用することは可能となるであらう。

D. 最大限の影響を伴う距離

アンテナと PLC 装置間のモデルでの距離は一例しかない。関心のある伝送係数はアンテナ放射パターンと距離によって決まる。相互互換理論に従へば、PLC 放射システムによって生ずるビームアンテナの給電点における最大可能電圧を測定し、その値を使用していた。

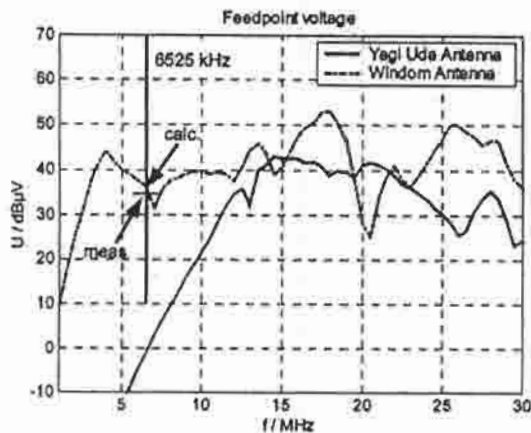


図 16、周波数に依存した給電点電圧

アンテナは 100 ワットの電力で給電された。そして 28.5MHz における電界強度の y 成分 (アンテナの水平偏波) は x 方向の線上に -100m 以上はなれた地点について計算した。その関係を図 17 に描写した。

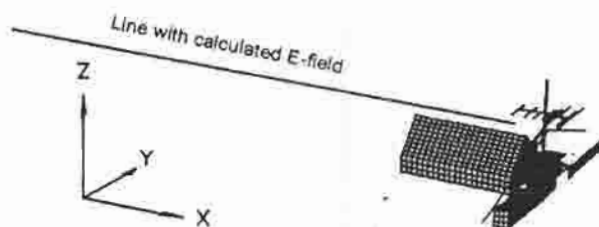


図 17、電界強度計算

図 18 に電界強度のダイアグラムを示す。-31m の部分的極小値の後には電界強度の y 成分は -47m の極大値まで再び上昇する。計算(B 参照)は -47m の距離で繰り返し行い、そしてアンテナの給電点電圧はむしろ増加して、祖結果 S/N がより小さくなっている。

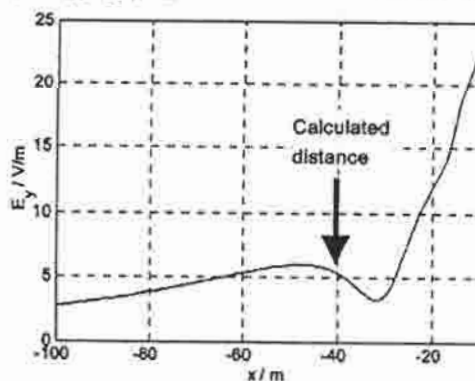


図 18、電界の y 成分

電界が単調でない減衰をする特性は典型的なもので、電界と磁界の商が自由空間インピーダンスに等しくなった時に遠電磁界状態に成る。

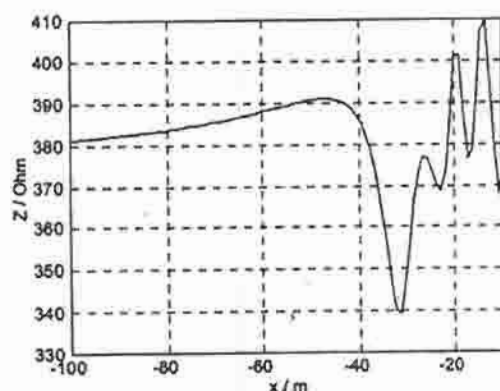


図 19、自由空間への値 E/H の商

高い指向性アンテナによる近・遠電磁界間の移行は数波長後に起こる。図 19 に示すように、アンテナから 100m の距離でさえも 120π オームの自由空間インピーダンスには到達していない。

E、PLC を仮設した時の測定に対する妥当性

PLC 装着時の測定は 3 m の距離において行なわれねば成らないかまたはこの測定距離に換算しなければならない。標準的には磁界ループが使用されこれを測定界地にするには電界に換算しなければならない。以上に供した例のように、既にこの変換にある問題があることを示しており、測定を近電磁界で行うと自由空間インピーダンスを使うことは出来ない。(図 19) よりよい方法はコモンモード電流で、ある距離を推論して測定する。電流プローブで壁中の電路に立つ定在波を測定することは問題があるが、しかし磁界ループをラインに沿ってスキャンしフィールド測定することは可能である。

V、ノイズフロアからすれすれの PLC?

今まで述べて来た議論は「ノイズフロアすれすれに立ち上がる PLC のデジタル変調という条件」の下で行なった。これは何故か干渉が無いとしている過去の議論には問題がある。第 1 に、放射した PLC 信号は不必要なエミッションで、EMC に直接関係する擾乱とされる。PLC キャリヤによって生ずる S/N の影響については IV 章で定量化されている。この干渉は受信機のモードが異なると異なった影響を表す。例えば 250Hz で CW (A1A) のような狭いバンド幅のモードは $19.5\text{dB}\mu\text{V}$ を、そして 2.4kHz の帯域幅の SSB (J3E 単側波帯) では $33\text{dB}\mu\text{V}$ がノイズフロアとなる。(PLC 送信時の測定—モデル 2) 更に受信機の感度を計算に取り入れることが必要で、鋭い切れ方のフィルターが無く貧弱な高周波フロントエンドしか持たない PLC の広帯域信号特性には大きな問題がある。重大な多くの問題はフィルターの入っていない電源と回路とが結合することで発生している。(この章の条件では)実際にノイズに重なって、なおその上に耳に聞こえる PLC 信号の存在は、PLC がノイズに対抗して聞き取れることをはっきりと示している。これらのサンプルは耳に聞こえる形で定量的にこの論文の発表の中で示す。【講演では色々な場面での PLC による実際のデ

ープ録音した音を流して説明した]。

既に述べたように近傍と遠方における PLC 放射システムの影響とは、指向性のあるアンテナを付けた短波受信局が、PLC 送信が決められた制限上にある間、顕著な PLC 擾乱が受信される分けである。

電離層反射による長距離通信に関しては、その影響は今までの計算結果と放送会社の試算のように国際的重要性をさえ持っている。[3,15] これは太陽周期の極大期間に特別な長距離伝播する特性を持つ 10m バンドを念頭に置くと、とりわけ明確に理解できる。

VI、経済的利益と EMC 問題

技術的視野に立ってみると、EMC が第一に求めている問題は何かを心にとどめねば成らない。“電磁界擾乱は無線や通信機器または他の機器が運用できなくなるようなレベルを越えることが無い保証の上に機器は設計し製造される”。この章は最適問題の結果を得ることにある。PLC は通信サービスのプロバイダーのための最後の 1 マイルのコストの低下に F 貢献するが、全体の経済的コストは、PLC 応用が存在できるために、一もし全ての擾乱を減らすことが可能であれば一無線機器に対してより高いコストが掛かるので増加してしまう。しばしば経済的理由が PLC 適応のとなる限界とされる。しかしそれは全てをカバーする経済的コストの増加のために合理的ではない。

VII、結論

選択的にノッチの入れられる OFDM または CMDA のデジタル変調技術は新しい試みではあるけれども、なお屋内実装の存在が不確定で LCL 対策が不十分となる問題が残っている。だから LAN の場合とはとは正反対に PLC の EMC 問題はなほ解決されていない。[11] 同時に線路上にコモンモード電流が存在する時には（放射される）PLC 干渉が測定できる。したがって測定による（典型的には $20\text{dB}\mu\text{A}$ ）定電流分布を持ったシンプルなワイヤによって電力線のモデル化が可能となる。与えられた最良の肯定できる計算と測定は、干渉が（屋内の PLC-LAN 回線のような）現実的な環境中にあるときのみ計算する方法がなお可能であることを示している。その上必要なことは LCL と使用中の測定技術のマイナス面についての配慮が要求される。

REFERENCE

- [1] M.Stecher “PLC の EMC 的見解”、EMC EUROP 2000
- [2] D.W.Welsh, “PLT,ADSL,VSDL 広帯域アクセス技術の展望による無線雑音フロアに確立した増加の展望”, EMC Zurich Sympo. 2001
- [3] D. Hansen, “50Hz 電力線の Mbps”, 15th Wroclaw Sympo. 2000
- [4] D.Hansen, 電力線に Mbps?, IEEE EMC News Letter Winter 2001
- [5] Kuwabara, “高速 EMC LAN に使用できるトウイストペアケーブルからの放射特性”

Wroclaw Sympo 96.

- [6] Dostert, "高速電力線通信の EMC 様相", Wroclaw 2000
- [7] Khrdour, "PLC のための...", Diss 2003, U. of Duisburg, Essen.
- [8] Macfarlane, "ネットワークと機器の電氣的不平衡の測定用プローブ", IEEE Transactions of EMC, Vol 41, 1999
- [9] Vick, Gonschorek, "EMV", 2000. (<http://www.regts.de/tech-reg-tele/start/fs-06.html>)
- [10] ECC Report 24, PLT, DSL ケーブル、TV と LAN ケーブル通信と無線サービス上の効果", Cavtat, May 2003.
- [11] Knobloch, Garbe, "EMV 解析、静電ポテンシャル...", Univ. of Hannover, 2004.
(internet address F[9]と同じ)