

## 高速電力線通信の現状と課題\*

# Current Situation and Foremost Task of High-Speed Power-Line Communications

都築 伸二\*\*・山田 芳郎\*\*

Shinji TSUZUKI\*\* and Yoshio YAMADA\*\*

Power-line communications (PLC) are classified into three applications, i.e., Internet access, home-network, and inter-house communications, and those current situations in Japan are explained in this paper. The experiments of Internet access service by Japanese power utility companies and the activity of HomePlug Powerline Alliance in U.S.A., i.e., high speed PLC using HF frequency band (2M to 30MHz) for home-networking, are introduced. To realize the latter technology in Japan, it is also explained that the deregulation and the solution for the interference to the existing radio stations are needed.

*Key words:* power-line communication (PLC), home network, Integrated Power and Information Delivery (IPID), High frequency (HF) band's PLC, HomePlug, deregulation of the radio utilization policy, electromagnetic compatibility (EMC)

### 1. はじめに

一般家庭で使われる電力線通信(以下 PLC, Power-Line Communication, と呼ぶ)は、100ボルトの電力線間に通信用信号を重畳し伝送する方式である。したがって PLC は、電気エネルギーを配送するだけでなく、情報も同じケーブルで配送する、つまりエネルギーと情報の統合配送(IPID, Integrated Power and Information Delivery)という意味で、合理的な方式である [1]。

しかし、従来の PLC では、電力ケーブルの配線形態や接続される家電機器の影響を受けやすい周波数帯(10k~450kHz)を使用しているため、伝送特性としては劣悪であり、照明等の家電機器の ON/OFF といった制御に使うことができる程度の低速(9,600bps 程度)にせざるを得ないというのが、一般的な認識であった [2]。

ところが、近年の ADSL や OFDM 技術の進展に伴い、これらの技術を電力線に適用し、さらに従来よりも高く広い周波数帯(2M~30MHz, 短波(HF と略す)帯)を使用することにより、高速通信(10M~40Mbps 程度)を可能にする技術が、欧米で実用化され始めている。一方、高い周波数帯を新たに PLC 用に使おうとすると、既存の無線通信に障害を与えることが懸念されている。本稿では、こうした高速 PLC の現状と課題を中心に述べる [3, 4, 5]。

### 2. PLC の分類

図1に、PLC の適用分野とおおよその速度および使用周波数の関係を示す。現行の電波法で許可されている周波数を使用する PLC を“電波法適合 PLC”としている。一方 2M~30MHz の HF 帯を使用する PLC を“HF 帯 PLC”と呼ぶことにする。図2に示すように、PLC システムは次の3つに分類できる。

\* 本稿は、“都築、映像情報メディア学会誌、【特集】本格化したブロードバンド社会~技術からサービスまで~、2-1-3 電力線通信、pp.535-536、2003年5月号(解説記事)”の内容を現状に合致するよう改訂したものである。

\*\* 愛媛大学工学部電気電子工学科、tsuzuki@ee.ehime-u.ac.jp

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成 15 年 11 月 6 日

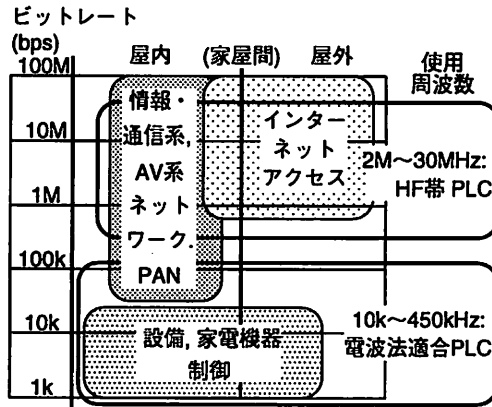


図 1: PLC の適用分野と速度および使用周波数の関係

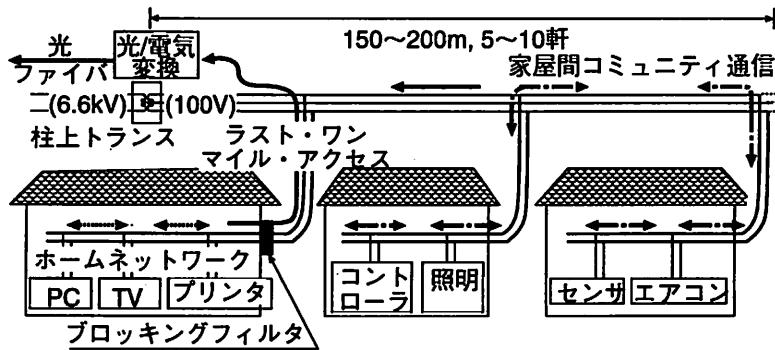


図 2: PLC システムイメージ図

### (1) ラスト・ワン・マイル・アクセス

柱上トランスの2次側、つまり低圧(100ボルト)側の配電線を用いて各家庭をむすび、それらの信号を集約して光ファイバでインターネットに接続する。100ボルトの引き込み線は、そのまま家庭内のすべての部屋につながっているため、原理的にはどの部屋からも直接インターネットにアクセスできる。ただし実際には図のように、ブロッキングフィルタを挿入し、屋内と屋外を電氣的(高周波)に絶縁し配電線路を終端した上で、ホームゲートウェイ経由でインターネット接続するようになると思われる。

各電力会社は、2000年から2001年にかけて、ラスト・ワン・マイル・アクセスサービスのフィールド試験を行った。しかし、(a)電波法に適合するPLCシステムを用いる場合は種々の技術的課題を克服したとしても、高々1Mbps程度の容量しか望めないこと、(b)時を同じくしてADSLによるラスト・ワン・マイル・アクセスサービスが急激に普及したこと、(c)HF帯PLCによる高速通信サービスを行うに必要な規制緩和がいつになるか目処が立たないこと(後述)、により現在は活発な検討はなされていない。

海外では、韓国、ブラジル、スペイン、シンガポール、ドイツ等でフィールドテストを行っている<sup>a</sup>。

### (2) ホームネットワーク

ホームネットワークは、従来ホームオートメーションシステム(家庭生活をより便利、快適、安全にする、あるいは節電等による経済効果を得ることを目的とし、家電機器の自動制御を行うシステム)として実用化されてきた。さらには、データ通信、音声、映像といったマルチメディア情報の通信を融合した形へ発展している<sup>[6]</sup>。図3に、現在策定中のものも含めた主なホームネットワーク規格を示す<sup>[7, 8, 9]</sup>。図中に示す伝送速度が100kbps以上のものと以下のものとで、以下の2つのカテゴリに大別される<sup>[10]</sup>。

1つのカテゴリは、家庭内のマルチメディア情報等のAV系の伝送、あるいはInternetアクセスや家庭内のPC間やその周辺機器間等のコンピュータ通信系的高速ネットワークである。通信路としては、同軸線<sup>b</sup>・より対線等の通信専用線の他、赤外線(Infrared; 以下IRと記す)や小電力電波(以下RFと記す)も用いられる。従来のイーサネットや無線LAN(local area network)規格(IEEE 802.3x, 802.11x)やBluetooth(Bluetooth Special Interest Group(SIG), 業界団体、によって策定)以外に、既設宅内電話線を使用するHomePNA(Home Phoneline Network Alliance)や、RFで伝送するSWAP(Shared Wireless Access Protocol; 業界団体であるHomeRFが策定)といったホームネットワークを対象とした規格がある。IEEE 1394規格<sup>[11]</sup>は、コンピュータ、AV(audio-visual)機器、及びそれらの周辺機器等を、シリアルバス(シールド型より対線、POF(Plastic Optical Fiber), あるいはRFにより容易かつ高速に接続するための通信標準である)。

家電機器の制御ネットワークが、もうひとつのカテゴリである。必要とされるデータ速度は、さほど高くない反面、通信ケーブルの敷設が容易であることや低コストであることが望まれる。通信路としては、電力線、IR、あるいはRF等が有望である。IrDA(Infrared Data Association) control, CEBus(Consumer Electronic Bus), X-10, LONTalk, ECHONET(Energy Conservation and HOMecare NETwork)などがこのカテゴリに分類される。CEBusはEIA(the Electronic Industries Association)による標準、EIA-600 CEBusである<sup>[6]</sup>。CEBusの標準化作業は1984年から行われており、AV、ホームコントロール、および音声によるホームシステ

<sup>a</sup> 詳細は、<http://miyabi.ee.ehime-u.ac.jp/~tsuzuki/PLC/SST2002.9-panel/goto.pdf> 参照

<sup>b</sup> 標準化されていないが、テレビ共聴用同軸ケーブルを用いるものも実用化されている。<http://japan.langate.co.jp>

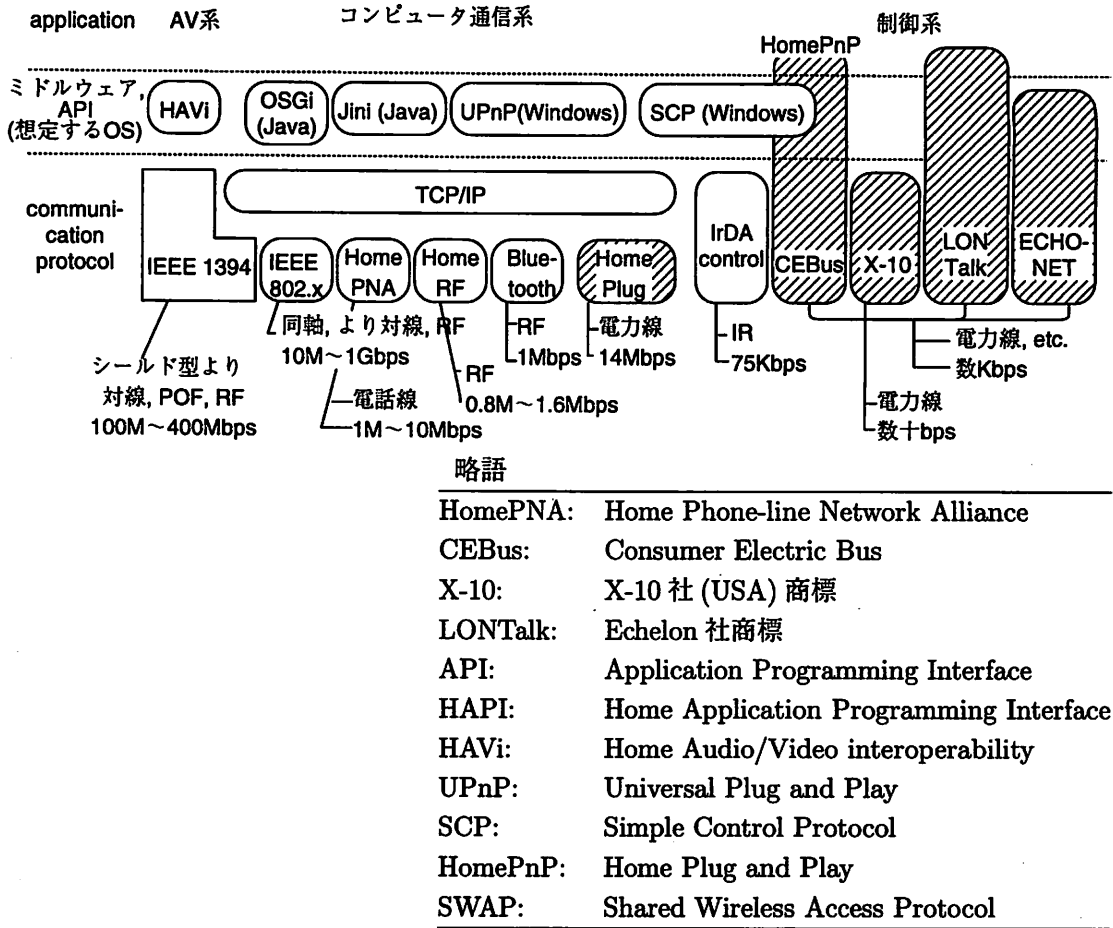


図 3: ホームネットワーク規格. (ハッチがある規格が、PLC 関係のもの)

表 1: ECHONET ver.1.01 電灯線 A 方式仕様. (文献 [15] から引用)

SS 方式	直接拡散 (拡散符号は規定しない)
1 次変調	差動符号化
伝送速度	9,600bps
キャリアセンス感度	入力電力 0.1mW 以下
送信電力	10mW@10kHz 以下、最大 120%
拡散範囲	10kHz~450kHz
出力端子における スプリアス強度	450kHz~5MHz: 56dB $\mu$ V 以下 5MHz~30MHz: 60dB $\mu$ V 以下
漏洩電界 (送信機から 30m の位置において)	(A) 拡散範囲の周波数: 100 $\mu$ V/m 以下 (B) 526.6k~1606.5kHz: 30 $\mu$ V/m 以下 (C) (A)(B) 以外: 100 $\mu$ V/m 以下
受信感度	入力電力 0.1mW 以下
復調方式	規定しない (例として、サブバンド遅延検波方式)

ムの標準規格を策定している。

わが国の取り組みとしては HBS があつた。1988 年に EIAJ (Electronic Industry Association of Japan) によって標準化された制御ネットワーク規格であり、電力線もサブバスとして検討された [12, 13, 14]。ただし、技術的な問題もさることながら、当時の一般家庭では制御ネットワークに対する需要が必ずしも高くなかつたこともあり、広く普及するまでには至らなかつた。最近の、国内における PLC を用いた制御ネットワークのための標準化および実証試験活動としては、ECHONET および OpenPLANET がある [8]。ECHONET は業界団体によるコンソーシアムにて標準化作業を行っている [15]。表 1 に、電灯線 A 方式の仕様を示す<sup>c</sup>。OpenPLANET では当初 LONTalk を採用していたが、ECHONET 対応製品が入手できるようになれば順次移行するようである [16]。

海外の動きとしては、マイクロソフト社が提唱する SCP (Simple Control Protocol) があり、国内でも松下電工<sup>d</sup> や三菱電機<sup>e</sup> が対応製品を開発している。

HF 帯 PLC は、新規配線が不要という点では、IEEE802.11 や wireless 1394 等の無線系のホームネットワーク [9] と競合する。これらに比べた PLC の特長は、図 1 に示したように電灯や家電機器の ON/OFF などの制御から、メガ bps 級のコンピュータ通信まで、同一の伝送路でつまりシームレスに実現できることといえる。モバイル機器は無線で、AC 給電が必要な機器は PLC で、と共存する形で住み分けていくものと思われる。

共通の問題点は、場合によっては通信出来ないことがあることである。無線の場合は、電波の遮蔽物や干渉がある場合にアンテナの設置場所を工夫する必要がある。PLC の場合は、通信専用線ではないので、ケーブル端点や分岐点におけるインピーダンスの不整合による反射波の影響を受ける [4]。したがって、配線状況や接続されている家電機器の種類や状態によっては、通信出来ないことが起こりえる。また、電力線はシールドされていないので PLC 信号がケーブルから空間に輻射したり、輻射しなくても屋外配電線を経由して隣の家に信号が伝搬する可能性がある。したがって無線と同様、セキュリティは万全の備えが必要となる。

<sup>c</sup> 2001 年 8 月に策定された version 2 規格以降は、A 方式に一本化されている。

<sup>d</sup> <http://www.mew.co.jp/press/0012/0012-1.htm>

<sup>e</sup> <http://www.infocom.maec.co.jp/general/mc306sj.htm>

### (3) 家屋間コミュニティ通信

(1) のような通信事業者に依存せず、コンシューマレベルで、離れや隣接する家屋と通信する形態。図に示したような遠隔操作やモニタリング、ご近所どおしのコミュニティ通信、集合住宅内のインターネットアクセス用などが相当する。ADSL やケーブルインターネットが直接引き込めない集合住宅での利用が特に注目されており、例えば 法律の規制が緩やかな中国では HF 帯 PLC を使った実験が行われている<sup>f</sup>。

## 3. HF 帯 PLC

表3に、HF帯PLC用チップの開発状況を示す。なお、伝送速度は開発予定値も含んでいる。DS2はアクセス用に、DS2以外は主にホームネットワーク用に開発されたものである。特に法規制(FCC part15)の寛容な米国では、業界団体が組織する HomePlug Powerline Alliance が、2001年6月に version 1.0 の仕様を策定した<sup>g</sup>。この標準には Intellon 社<sup>h</sup>の技術が採用されている。表2に、その仕様を示す。筆者は ISPLC2001<sup>i</sup> でその動画伝送デモを見たが、およそ 8Mbps のスループットを達成していた。将来は 100Mbps 以上(ただし使用周波数は 30MHz に留まらず、50MHz まで延びている)といった、ロードマップを提示しており、ホームネットワークへ適用しても十分な速度といえる。現在 17 社から version 1.0 準拠の製品が発売されており(予定も含む)<sup>j</sup>、HomePNA や無線 LAN と同等(USB I/F のもので 40 ドル~)の安い価格が設定されている。米国の一般家庭での評価結果を見ると、ほぼ 2 階建て家屋全域で使えており、3M~6Mbps のスループットを達成しているようである<sup>k</sup>。

HF 帯 PLC を用いる場合、短波放送やアマチュア無線のような既存の無線通信への妨害が懸念される。HomePlug 方式の場合、OFDM 変調の各サブキャリア信号を、図4に示すように適応的に配置することで、この問題を解決しようとしている。つまり、干渉することが想定される無線局に割り当てられた周波数には信号を出さない。また良好な通信品質を得るため、

- (1) 信号の減衰量大きい周波数(図中の伝達関数が谷になっているところ)には信号を出さない、
- (2) 干渉信号やノイズが観測される周波数には信号を出さない、

といった工夫がなされている。

HomePlug version 1.0 では、簡易な優先伝送の仕掛けを規格に含んでいるが、より高速・高品質(HDTVクラス)のストリーミングに適した規格(HomePlug AV)を、2005年を目処に別途策定していく予定である<sup>l</sup>。

## 4. 規制緩和と EMC

HomePlug 等の HF 帯 PLC の開発動向を受け、総務省では「電力線搬送通信設備に使用する周波数帯域の拡大(2MHz~30MHzを追加)について、放送その他の無線業務への影響について

<sup>f</sup> <http://www.preminet.co.jp/topic002.html>

<sup>g</sup> <http://www.homeplug.org/news/press062601.html>. この他に CEA (<http://www.ce.org/>) R-7.3 Committee でも策定中。

<sup>h</sup> <http://www.intellon.com/>

<sup>i</sup> <http://www.enersearch.se/isplc2001/>

<sup>j</sup> <http://www.homeplug.com/products/index.html>

<sup>k</sup> <http://www.smallnetbuilder.com/Reviews-5-ProdID-PLEBR10-3.php>

<sup>l</sup> <http://www.homeplug.org/news/press050503.html>. HomePlug version 1.0 とは同一ネットワーク内で共存できる。

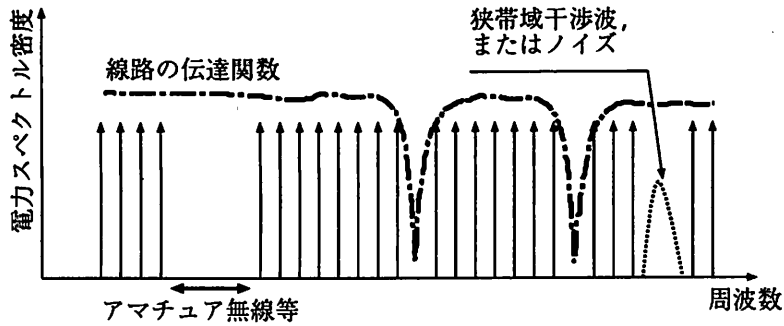


図 4: HomePlug 方式のサブキャリア配置

表 2: Intellon 社 Power Packet 仕様  
(インターニクス社<sup>[17]</sup> 提供資料より抜粋)

	第 1 世代	第 2 世代	第 3 世代
Raw data rate	20Mbps <sup>(1)</sup>	64Mbps	128Mbps
Data rate	13.75 Mbps <sup>(2)</sup>	50Mbps	100Mbps <sup>(3)</sup>
周波数帯域	4.3M~ 20.9MHz	2M ~ 21MHz	2M~ 50MHz
変調方式	DQPSK, DBPSK, ROBO	高能率 FEC および変調 (64QAM など)	
セキュリティ	56 bit DES		

(1) DQPSK, レート 3/4 FEC 符号化, 84carrier の場合. symbol 時間は 8.4 $\mu$ s. キャリア間隔は 156kHz.

(2) DQPSK, レート 3/4 FEC の場合:

(3) ISPLC2001 での説明では、第 4 世代までのロードマップがあり、最大 200Mbps になっていた。

表 3: HF 帯 PLC 用チップ例

開発	所在地	伝送速度 (bps)	変調方式	キャリア周波数	備考
Intellon	USA	14M†	OFDM	4.3M ~ 20.9MHz	HomePlug に採用
Itran*	イスラエル	2.5M†, 24M	SS	4M~20MHz	低速モデムについては、マイクロソフト社 SCP チップを供給†。日本企業との合弁会社**。
Easyplug (旧名 Inari*, Intelogis)	仏, USA	2M†, 12M	マルチキャリア (4 or 24 キャリア)	—	仏トムソン・マルチメディアとのジョイントベンチャ、三菱電機とも提携。ラストワンマイルアクセス系は DS2 を使用。
Adaptive Networks	USA	5Mbps	SS	5 - 35 MHz	Token-bus プロトコルによる QoS
nSine	英国	10Mbps† (キャリアあたり 2.5M bps)	アダプティブマルチトーン (同時に4 キャリア)	キャリア毎に、8M ~32MHz の範囲でプログラマブル	廉価 (システムコスト @3 ドル), ソフトバンクネットワークスと合弁会社設立
DS2	Spain	上り: ~18M 下り: ~27M†	OFDM	上り: 3.8M ~ 6.4MHz. 下り: 8M~12M	ラスト・ワン・マイル・アクセス用。住友電工、東京電力とも共同開発

†: サンプル入手可能なもの, ‡: [http://www.itrancomm.com/in\\_the\\_news3.html](http://www.itrancomm.com/in_the_news3.html), \*: CEA R-7.3 Committee メンバ, \*\*: ラインコム社 (<http://www.kepco.co.jp/pressre/2001/0829-1j.htm>), プレミネット社 (<http://www.preminet.co.jp>)

調査を行い、その帯域の利用の可能性について検討し、2002年度までに結論を得る。」(e-Japan 重点計画 (平成13年3月))として、電波産業会 (ARIB) において、平成13年4月18日に開発部会 (電力線搬送通信設備開発部会) が設置され、約1年活動を行った。メンバーは東京電力や松下電器産業、三菱電機、電力中央研究所など合計66社であった。さらに、この部会活動を受け平成14年4月から7月にかけて総務省では、「電力線搬送通信設備に関する研究会」を開催した。その結果、

- 現時点において電力線搬送通信設備に使用する周波数帯の拡大は困難であること、
- モデムの研究開発の促進等のために実証実験を実施できる環境整備を行うこと

等が提言された<sup>m</sup>。図5に、漏洩電界の限度値の各国の比較を示している [18]。各国それぞれ立場の違いがよくわかる。

現在 総務省では、PLC モデムによる電力線等からの漏洩電界強度を低減する技術の研究開発を目的とした実験制度の導入を検討しており、これにより、LCL 測定および漏洩電界強度との因果関係を明らかにするための研究が、実際の電力線環境で可能となる見込みである [19]。

これらの議論は、新規の周波数を HF 帯 PLC に割り当てるのではなく、既存の無線局・放送局が使用している周波数帯を利用するという、これまであまり経験していない課題である。同様な問題は UWB (Ultra Wide Band) でも議論されている。最終的にどのようにしてこれらを解決したか (あるいは、しようとしたか)、ということは今後こうした周波数資源の再開発、つまり EMC でいうところの両立技術の開発という意味でも重要な課題であり、筆者も注目している。

この EMC の問題は PLC だけの問題にとどまらず、xDSL<sup>n</sup> や Ethernet など、これまであまり議論されなかった通信専用のツイスト線からの放射電界強度をどのように管理するか、といっ

<sup>m</sup> [http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020809\\_4.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020809_4.html)

<sup>n</sup> <http://www.darc.de/referate/ausland/plc/DARC-PLC4xRPRT.pdf>



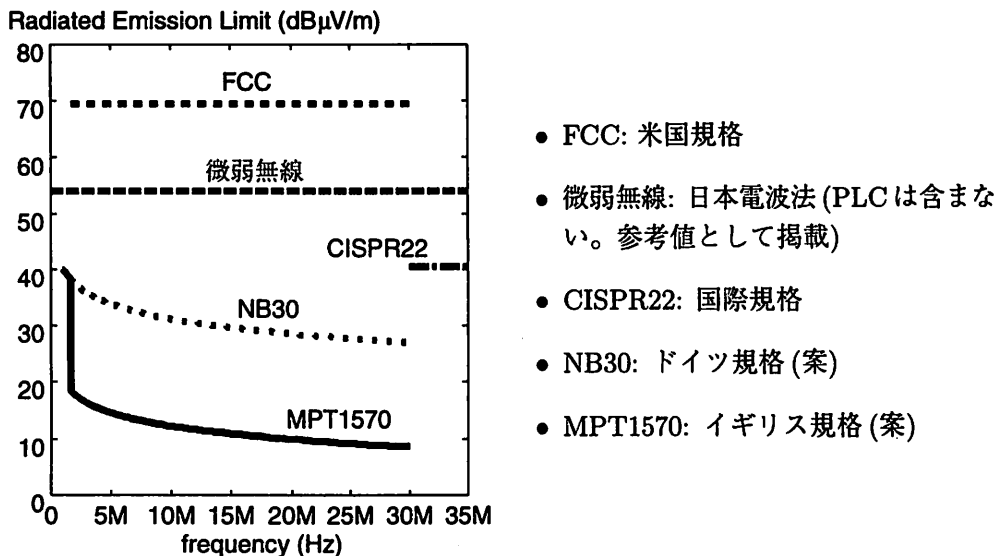


図 5: 漏洩電界の限度値比較

た問題と共通である [20]。PLC では既存の電力線がそのまま使えることが必須条件ではあるが、EMC 対策の観点からは、配線工法や配線材等がある程度管理することによってできるだけ放射電界を抑える方法についても、今後検討する必要があると思われる。

さらに言うと、EMC を確保しつつ、高速通信の可能性を探ると、スペクトル拡散変調等の電力スペクトル密度 (PSD と略す) を低くする技術に帰着する。ただし PSD を低くする代わりに、拡散利得を十分とれる、つまり使用周波数帯域幅は十分広くしておく必要がある。したがって、雑音端子電圧や放射電界強度は非常に低い値に抑える代わりに、必ずしも周波数帯域の割り当てを厳密にしない、といったオプションがあることが望ましい<sup>o</sup>。つまり、PLC は 30MHz 以下と当面規定されたとしても、次世代の PLC はさらに広い帯域を使える道筋をつけておくと、ますます PLC は面白くなると考えている。

## 5. おわりに

2002 年中に、インターネットアクセスサービスやホームネットワーク用に HF 帯 PLC が商用化される期待があったが、一旦立ち止まらなければならなくなった。しかし、考えてみれば米国等で開発された技術をそのまま日本の電力線環境に適用すれば、EMC (電磁両立性) 上の問題があることが明らかになったわけであり、ここは、じっくり構えて、EMC に配慮した国産 PLC 技術を蓄積してゆくことが肝要である。それに見合うポテンシャルを PLC は有していると筆者は考えている。

## 引用文献

- [1] 森広芳照, ユーザから見たエネルギーと情報の統合配送 (IPID) への期待, 2002 ソサイエティ大会パネル討論 (宮崎大学) PA3. 高速電力線通信の実現に向けて, 平成 14 年 9 月 12 日, <http://miyabi.ee.ehime-u.ac.jp/~tsuzuki/PLC/SST2002.9-panel/morihiro.pdf> から入手可能.

<sup>o</sup> 微弱無線局 (電波法第 4 条) や、誘導式無線通信局 (電波法第 100 条) と同じ扱いにできるオプション

- [2] 都築 伸二, 山田 芳郎, “低域電力線通信の動向とホームネットワークへの適用”, 愛媛大学工学ジャーナル、指定投稿論文, 第1巻、pp.121-130, March 2002.
- [3] 都築、電力線を用いたホームネットワーク、映情学誌、てれびさろん (42)、vol.55, No.12, pp.1619-1620、Dec., 2001.
- [4] 片山正昭監修、電力線通信システム、トリケップス社, July 2002.
- [5] 都築伸二, 屋内電力線通信の現状と課題, 信学技報, 通信方式研究会, CS2002-107, pp.31-36, 2002年11月7日。(招待講演)
- [6] Christos Douligeris: Intelligent Home Systems, IEEE Communication Magazine, 31, 10, pp.52-61, Oct., 1993.
- [7] 通信で家庭を制す-PC核にリード広げる米国メーカ, 日経エレクトロニクス, 730, pp.121-145, Nov. 16, 1998.
- [8] 蓬田 宏樹: 家電とPCをつなぐ, 日経エレクトロニクス, 743, pp.107-126, May 17, 1999.
- [9] 有田、中川、ホームネットワーク、映情学誌、55, 8/9, pp.1100-1103, 2001.
- [10] 浅見, 原田, 枝, 三宅: コネクテッド ホーム, 日経エレクトロニクス, 700, pp.101-170, Oct.6, 1997.
- [11] IEEE 1394-1995 High Performance Serial Bus, IEEE, ISBN 1-55937-583-3, 1995.
- [12] R.Hamabe, M.Murata, and T.Namekawa: System Design of Home Bus System for a Single House, IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-33, 4, pp.580-587, Nov., 1987.
- [13] Y.Honda, M.Inoue, R.Iwatsubo, and K.Sakanobe: Protocol Analyzer for Home Bus System (HBS), IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-36, 3, pp.586-592, Aug., 1990.
- [14] HBS 技術委員会: ET-2101 ホームバスシステム, 日本電子機械工業会規格, 1988年9月制定.
- [15] <http://www.echonet.gr.jp/index.htm>
- [16] [www.yonden.co.jp/o-planet/index.i.htm](http://www.yonden.co.jp/o-planet/index.i.htm)
- [17] <http://www.internix.co.jp/products/intellon/index.html>
- [18] 電力線搬送通信設備に関する研究会 報告書, 総務省,  
<http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020809/honbun.pdf>, 平成14年8月9日.
- [19] 総務省: 「電波法施行規則の一部改正案等に対する意見の募集-高速電力線搬送通信設備に関する実験制度の導入について-」, [http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030829\\_1.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030829_1.html), Aug., 2003.
- [20] 桑原伸夫, “通信システムのEMC技術動向”, 電子情報通信学会会誌, Vol.84, No.12, pp.869-872, Dec. 2001.