

一般住宅内ブロードバンド通信技術の評価

渥美幸雄
専修大学 経営学部

1. はじめに

情報通信技術の進歩は目覚ましいものがあり、いつでも・何処でも・誰とでも通信して、情報の収集や発信を行なうことができるユビキタスネットワークの構築が始まっている。個人が利用する情報機器としては常に持ち歩く携帯電話の他に、無線 LAN 機能が搭載されたノート PC やゲーム機器（例：PSP、ニンテンドーDS）や情報端末（例：iPod タッチ）が多くなり、いろいろな場所で高速な情報アクセスが可能となっている。無線 LAN は 2000 年頃から一般住宅内でも使用され始め、現在ではブロードバンド通信手段として広く普及しつつある。一方、屋内の 100 ボルトの電力線を用いた新たな電力線通信（PLC）の利用が可能となり、パソコンのみならず住宅内の各種電気製品をネットワークへ接続するなどの応用（いわゆる情報家電）が期待されている。現在ではこれら 2 つのブロードバンド通信に向けて、各メーカーから 1~2 万円程度の手頃な価格の民生用機器が出ている。

本研究では、一般住宅における情報通信サービスの一層の高速化と利用場所の制約緩和に向け、新しい高速無線 LAN（IEEE 802.11n）や電力線通信（PLC）の民生用機器について実環境での評価実験を行い、実効性能と課題を明らかにする。光ファイバ（FTTH）を始めとするブロードバンド回線は自宅の入り口まで、容易に敷設し安価に利用することができるようになったが、住宅内の各所において各種情報機器をどのようにネットワーク接続するかの問題が生じている。従来より使用されているイーサネット（有線）を住宅内にくまなく敷設することは現実的でなく、高速無線 LAN 通信や電力線通信の利用がその候補となる。しかし、期待通りの性能が出て実用に耐えうるのか、また問題点は何かについて、実際の住宅環境で実測して両者を総合的に評価する必要がある。

以下、2 章では、自宅内で使用可能なブロードバンド技術である高速無線 LAN（IEEE802.11n）と電力線通信（PLC）の規格と製品化の現状について述べる。3 章では評価環境と予備実験について記す。そして 4 章では IEEE802.11n を、また 5 章では PLC の実測結果と考察を述べる。6 章では各技術の適用性と今後についてまとめる。

2. 自宅内で利用可能なブロードバンド技術の現状

2.1 新しい高速無線 LAN (IEEE802.11n) [1,2,3]

(1) 規格の位置付けと製品化状況

無線 LAN はイーサネットケーブル (有線) を用いずにネットワークを構築できる技術であり、企業で本格的に利用され始めて数年が経過している。自宅においての利用もブロードバンド回線の普及とノート PC やゲーム機器への無線 LAN 機能の搭載により増加しつつある。現在、主に使用されている無線 LAN 規格は最大速度 11Mbps の IEEE802.11b、最大速度 54Mbps の IEEE802.11g および IEEE802.11a の 3 つであるが、一層の高速化と長距離・安定化を狙った IEEE802.11n の規格制定作業が IEEE の委員会で進められている。

11n は 2009 年秋頃に正式に規格制定される予定であるが、2007 年秋から draft2.0 版に基づく無線 LAN 機器 (アクセスポイント、カード) や当該無線 LAN 機能を搭載したノート PC が市場に出荷され、利用が始まっている。11n は 11g や 11a の約 11 倍である最大 600Mbps の規格が盛り込まれているが、2008 年 12 月時点で出ている民生用製品は最大 300Mbps である。11n 対応の無線 LAN アクセスポイントと PC 用無線 LAN カードは、NEC、バッファロー、アイ・オー・データ、コレガなどが製品を販売しており、またノート PC は東芝 (Dynabook)、レノボ (ThinkPad)、パナソニック (Let's note) などを始めとして国内販売のほぼ各社から IEEE802.11n (draft2.0 版) の機能を搭載した製品が出荷されている。なお、11n サポートと謳ったノート PC でも搭載機能により、論理最大速度が 300Mbps の他に 150Mbps のものがあるので注意が必要である。

(2) IEEE802.11n の技術

IEEE802.11n は、11b、11g、11a と同じ周波数帯 (2.4GHz と 5GHz) を用いるが、高速化のために MIMO やチャネル・ボンディング (デュアルチャネルともいう) などの技術を適用している。

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) は、PC とアクセスポイント (AP) 間に複数の伝送路を設定して同時に複数のストリーム (データ) を送る。MIMO の仕組みを図 2.1 に示す。規格では最大 4 ストリームまで規定されているが、現状の製品では 2 ストリームが主である。ストリーム数に応じたアンテナ数があればよいが、通信の安定性を高めるためアンテナ数を +1 した製品もある。例えば、本評価試験で用いるアクセスポイントは 3 本、PC 側に挿入するカードは 2 本である。

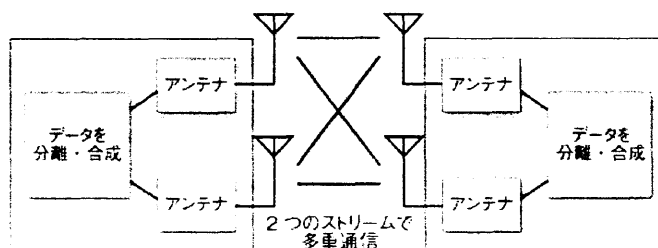


図 2.1 MIMO の仕組み (2 ストリームの場合) (文献[3]より引用)

チャンネル・ボンディングは、1つのチャンネル（ストリーム）で使用する周波数帯域を従来（20MHz）の2倍の40MHzとするものである。即ち、20MHz幅のチャンネルを2つ分使用することにより伝送速度が2倍となる。従来、無線LANは20MHz幅しか使用できなかったが、2007年6月の総務省の改正省令により可能となったものである。

この他に搬送波数の増加、フレーム集約、ガード・インターバル（個々のデータを区別する間隔）の短縮により伝送速度の増加を図っている（図2.2）。

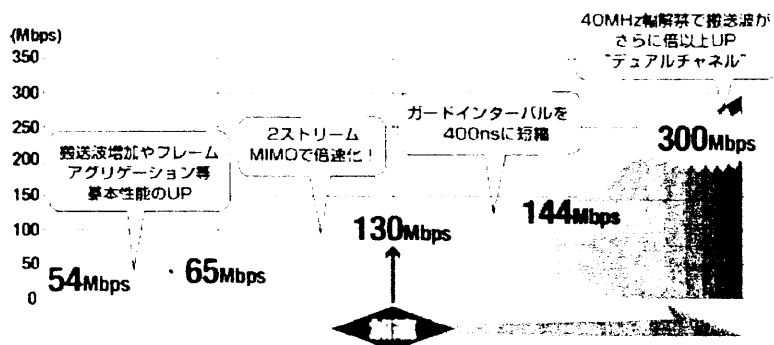


図 2.2 IEEE802.11n の適用技術と速度向上のイメージ（文献[8]より引用）

実際の製品では電波状況が悪くなると、伝送速度は自動フォールバックにより300Mbpsから144Mbpsや130Mbpsなどへダウンするようになっている。表2.1にIEEE802.11nで規定している通信速度（理論速度）を示す。

表 2.1 IEEE802.11n で規定の通信速度

規格	ストリーム数	20MHz (GI=800ns)	20MHz (GI=400ns)	40MHz (GI=400ns)
11n	1	65Mbps	72.2Mbps	150Mbps
	2	130Mbps	144.2Mbps	300Mbps
	3	195Mbps	216.7Mbps	450Mbps
	4	260Mbps	288.9Mbps	600Mbps
11a/g	1	54Mbps	—	—

(凡例) GI: ガード・インターバル

2.2 電力線通信 (PLC) [5, 6, 7]

(1) 規格の位置付けと製品化状況

電力線通信は屋内の電力線を用いて高速な情報通信を実現するものであり、電気配線やコンセントをそのまま情報経路として使用する (図 2.3)。家電製品はコンセントから電源を取るものが多いので、情報家電に向けて家電メーカーの期待は大きい。本技術は、アマチュア無線や短波放送と同じ 2M~30MHz の周波数帯を利用するため、漏洩電磁波の対策が必要であり、国内では 2006 年 10 月によくその利用が解禁となった。最大速度は 200Mbps 程度の規格であるが、実効速度は 20M~70Mbps になるとみられている。電力線通信を実現する装置を PLC モデムという。

また、PLC は 2 階建て住宅など、無線 LAN の電波が届きにくい環境において、組み合わせて使用する (図 2.4) ことが有効であること製品説明書などで記されている [15]。

国内では電力線通信の実用化を実現することをねらいとして、高速電力線通信推進協議会 (PLC-J) [6] が 2003 年 3 月に民間のアライアンスとして設立された。本協議会には家電メーカー、電力会社、通信機器メーカーなどが会員企業として参加している。日本では屋内利用に限定されているが、海外では屋外利用、即ちインターネットのアクセス回線としてスペイン、ドイツなどで既にサービス開始済みである。

現在、表 2.2 に示す 3 つの通信方式があるが互換性がなく、標準化に向けた検討が進められており、各方式を推すメーカーが独立に製品を出している状況である。各陣営とも普及に向けてアライアンスを組み、積極的に取り組んでいる [11]。現状では、異なる方式の製品が混在すると通信できなくなる恐れがあり、利用に際して注意が必要である。

なお、PLC は民生用 (一般住宅) の他に、産業用 (ビルや工場) の製品もあるが、本稿では民生用の製品を対象とする。

表 2.2 電力線通信の方式

方式名	開発社	家庭向け PLC モデムの主な販売社
HD-PLC 方式	パナソニック	パナソニック、アイ・オー・データ
UPA 方式	スペインの DS2 社	バッファロー
HomePlug 方式	米国のインテロン社	シャープ、住友電工

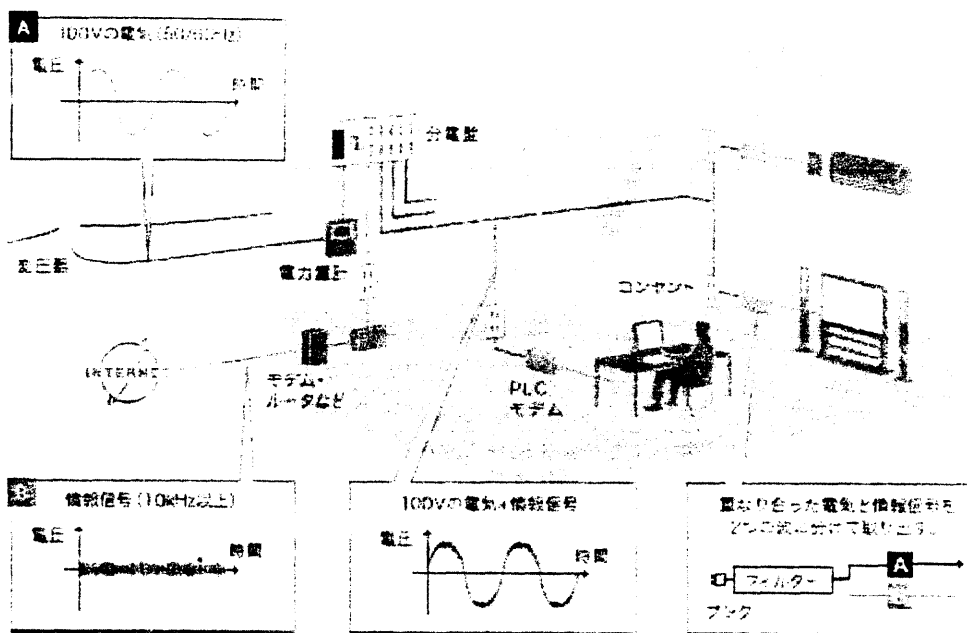


図 2.3 PLC のしくみ (文献[5]より引用)

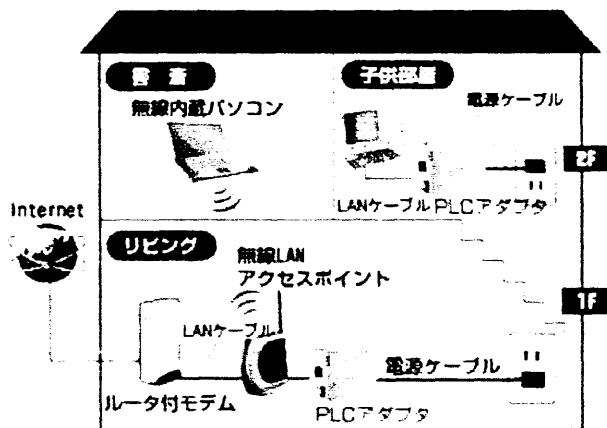


図 2.4 PLC と無線 LAN の併用 (文献[15]より引用)

(2) PLC の留意事項

i) データは暗号化

データはモデム間で暗号化されて伝送される。このとき暗号化の設定は装置が自動的に行うので、無線 LAN の場合と異なり、利用者は特に意識する必要はない。3方式の製品とも AES 暗号化または DES 暗号化を採用している。

ii) 家電製品のノイズに関して

PLC では電力線を使用する家電製品から発生するノイズの影響を受けて、通信速度が低

下したり、通信できなかつたりすることがある。ノイズ源となる具体的な家電製品は、充電器（携帯電話など）、ACアダプター（ノートPCなど）、ヘアードライヤー、掃除機などであり、PLC モデムはこれらの機器から離れた電源コンセントを使用する。あるいはノイズが発生しやすい家電製品には、ノイズフィルター付きテーブルタップを使用して、PLC モデムへの影響を少なくする必要がある。各メーカーの製品とも、これらの注意事項を取扱説明書に記している。

iii) 電力線の配線とコンセントについて

一般家庭の電力線は、単相三線式 100V 配線であり、L1 相と L2 相の 2 種類のコンセントが存在し、負荷を考慮して階や部屋に割振られる。分電盤には 3 本の線が外部から引き込まれ、2 本は電圧線（100V）、1 本は中性線（0V）となっている。100V を使用するにはどちらかの電圧線と中性線を用い、エアコンや IH クッキングヒーターなど 200V を使用するコンセントでは 2 本の電圧線を用いる。家庭内の分電盤で上下 2 段にブレーカが並んでいるものでは、一般に上段が L1 相、下段が L2 相となっている。異相間のコンセントでは、PLC 信号の減衰が同相内のコンセントに比べて大きくなる。

従って、PLC でのモデム間の通信を大別すると、①同相・同一ブレーカ（図 2.5 の C と D）、②同相・別ブレーカ（図 2.5 の A と B）、③異相・別ブレーカ（図 2.5 の A と E）の 3 種類があり、信号の減衰状況は異なる[13]。

〔備考〕 宅内の電力線配線の形態[19]

宅内電力線の形態は 2 つある。1 つは「従来配線」といい、在来工法の住宅に多い配線方式であり、分電盤からスター状に各部屋に配線した後、各部屋のジョイント部からコンセントへ配線し、さらに別のコンセントへ順送りに接続される配線方式。

もう 1 つは「ユニット配線」と呼ばれ、最近増えているユニット工法（壁など躯体を工場で製作）の住宅に多い配線方式で、分電盤からスター状に各部屋に配線した後、各部屋のジョイント部から各コンセントに個別にスター状に分配する配線方式である。

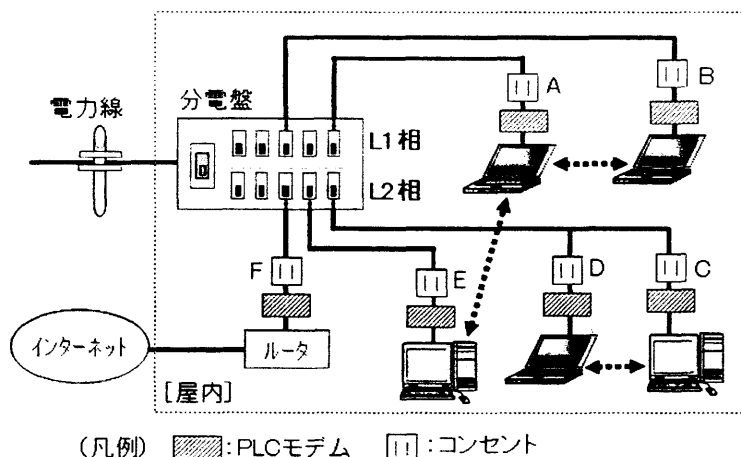


図 2.5 電力線の相と PLC モデム間の通信

3. 評価環境と予備実験

(1) 実験系について

・図 3.1 に示すようにノート PC の 1 台をサーバ、もう 1 台をクライアントとし、ルータを介して接続する。ルータとクライアント間に、高速無線 LAN (IEEE802.11n) または電力線通信を適用する。

- ・スループットの性能測定ツールとして、iperf (バージョン 1.7.0) [20] とよぶソフトをノート PC にインストールして使用する。また、PC の OS は WindowsXP (SP2) である。
- ・PC にはセキュリティ対策ソフトをインストールしているが、性能測定ツールの使用に際してファイアウォール機能をオフにする。(参考: セキュリティ対策ソフトを使用せず、Windows 添付のファイアウォール機能を用いている場合は、オフにする必要がある)。
- ・ノート PC の IP アドレスは、ルータの DHCP 機能により自動割付を行う。
- ・性能測定ツール iperf は、相手 PC の IP アドレスを指定する必要がある。そこで、コマンドプロンプトから ipconfig コマンドを用いて、割付けられた IP アドレスを確認する。
- ・サーバとクライアントのノート PC が論理的に接続できることを、コマンドプロンプトから ping コマンドを用いて確認する。
- ・TCP ウィンドウサイズを 256KB 指定する。

このため、iperf の w パラメータを 256K とする (サーバとクライアント側の双方)。

(2) 予備実験の結果

ノート PC の性能が、スループット制約とならないことを確認する必要がある。このため図 3.1 に示すようにルータとクライアント間を有線のギガイーサ (1000BASE-T) で接続して、どのくらいのスループットが出るかを測定した。

[機器構成]

サーバ側 PC : デル社・XPS1210+ブラネックス社ギガイーサカード・GEX-1000T

Intel Core2、T5500、1.66GHz、主記憶 500MB、

Windows XP(SP2) Home Edition

クライアント側 PC : レノボ社・ThinkPad X61 (Type 7675-3BJ)

Intel Core2 Duo、T7100、1.80GHz、主記憶 500MB、

Windows XP(SP2) Professional

ルータ : NEC・Aterm・WR8500N

[測定結果]

- ・スループット : 平均 400Mbps (5 回測定。450Mbps~360Mbps の範囲)
- ・CPU 使用率 (最大) : Windows のタスクマネージャで表示して測定した。
XPS1210=40%、 ThinkPad X61=55%

この結果からノート PC の能力は十分あり、測定に支障がないことが明らかとなった。

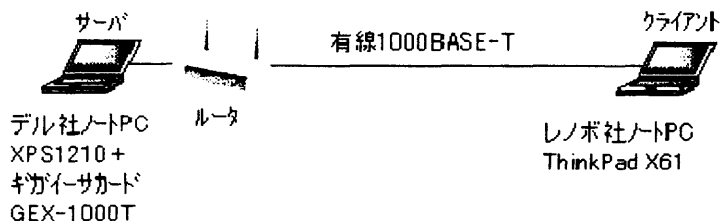


図 3.1 予備実験の構成

[補足] iperf の基本操作

(i) MS-DOS プロンプトを開く

iperf のファイルが存在するディレクトリへ移動 (cd コマンドによる)

受信側、送信側の各 PC で実施

(ii) 受信側 PC : 先にサーバモードで起動

`iperf -s -w` ウィンドウサイズ

(具体例) `iperf -s -w 256K`

(iii) 送信側 PC : クライアントモードで起動

`iperf -c` 受信側 IP アドレス `-w` ウィンドウサイズ

(具体例) `iperf -c 192.168.0.3 -w 256K`

(注) パラメータや数値の間は半角スペース

4. 高速無線 LAN (IEEE802.11n) の評価実験

本章では IEEE802.11n の実測結果について述べる。

(1) 実験環境

新しい高速無線 LAN 規格である IEEE802.11n (draft2.0) は、高速性は勿論であるが、障害物や通信距離拡大の考慮がなされている。このため住宅の 1 階と 2 階に跨る通信や、アクセスポイント (AP) から大きく離れた場所での通信の状況を評価する。

使用する無線 LAN ルータは、NEC 製の WR8500N [8] であり、送信 3 本、受信 3 本のアンテナを持ち、最大物理速度 300Mbps の性能を有する。対応する PC 用の無線 LAN カードは NEC 製の WL300NC であり、送信 2 本、受信 3 本のアンテナを持つ。

無線 LAN ルータの暗号化機能は有効とし、暗号方式は WPA-PSK (AES) とする。スループット性能を測定する測定系の構成を図 4.1 に、また図 4.2 に住宅内の測定ポイント 7 箇所 (①～⑦) を示す。

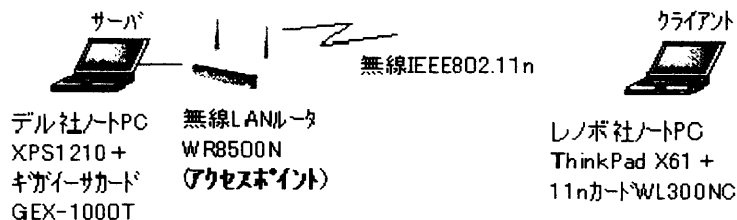


図 4.1 IEEE802.11n の実験構成

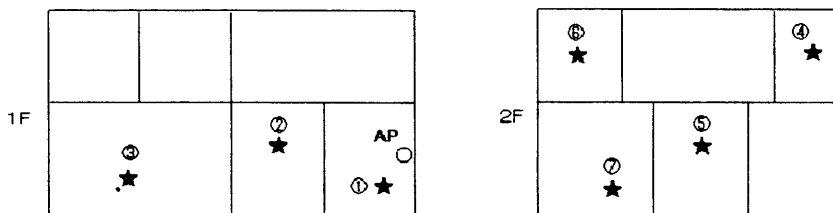


図 4.2 IEEE802.11n での測定ポイント

(2) 暗号化機能の影響確認

無線 LAN を実際に使用する際には、セキュリティを守るため暗号化機能を有効にすることが必須である。ところが IEEE802.11n の無線 LAN アクセスポイントを製造販売している会社の製品情報資料[8]や通信関係の技術雑誌[4]では、暗号機能を「無効」とした場合の実測例を示している。しかし、これでは現実的ではないので、本稿では「有効」として評価を行っている。そこで、まず有効と無効の場合の実効性能を比較した。

測定位置は、アクセスポイントの近傍 (図 4.1 の①) とした。

5 回測定の平均は

暗号化機能無効 150Mbps

暗号化機能有効 144Mbps

従って、暗号化機能により約 4% の性能低下の影響があることがわかった。これは実用上、大きな問題ではないと考えられる。

(3) 測定結果と考察

5 回測定の平均を表 3.1 に示す。スループットは 144Mbps~15Mbps の範囲となり、場所により約 10 倍の性能差となった。AP から遠く離れた 2 階の測定ポイント⑥と⑦でのスループット低下が著しい。しかし、現状のコンテンツ情報量や自宅へのブロードバンド回線の実効速度からすれば、自宅内では支障はないものと考えられる。

測定実験で使用した建物は、鉄骨ユニット系 2 階建て住宅 (約 160 平方 m) である。鉄骨系やコンクリート系の住宅は、木造住宅に比較して電波が通りにくいという特性がある。なお、実験に使用した IEEE802.11n 製品 (NEC の WR8500N) の最大物理速度は 300Mbps であるが、実効速度の最大は通常、物理速度の半分程度となる。なお、物理速度が 300Mbps

になっていることは、PCの無線LAN動作状態の情報で確認した。WR8500Nの製品情報資料[8]には、実測データとして最大182Mbps(暗号化無効時)が示されている。また、参考として他社のIEEE802.11n製品のデータを示すと、バッファローWZR-AMPG300NHは149Mbps[9]、コレガCG-WLBARGNHは122Mbps[10]である。

表 3.1 IEEE802.11n の測定結果 [スループットの単位: Mbps]

測定点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
スループット	144	140	40.0	32.2	43.4	15.0	18.1

[備考] ①はAPそば、⑥は2F・最も遠い。

5. 電力線通信 (PLC) の評価実験

本章では、PLCの3方式についての実測結果を述べる。

(1) 実験環境

電力線通信は、住宅内の各種電気製品のノイズや電力線の長さ・接続状況(工事品質や経年変化)に依存する。また、住居内の電気製品の使用状況は、時間帯や日によって異なるので、日を置いて2度測定することとした。

PLCの3方式について、住宅の1階と2階の各コンセントでの通信状況を評価する。スループット性能を測定する測定系の構成を図5.1に、また図5.2に住宅内の測定ポイント(コンセント)5箇所(②~⑥)の位置を示す。

使用するPLCモデムは以下のとおりであり、諸元を表5.1に示す。

- ・HD-PLC方式(1): アイ・オー・データ製 PLC-ET/M-S [12]
HD-PLC方式(2): パナソニック製 BL-PA300KT [(1)の改良仕様版] [14]
- ・UPA方式: バッファロー製 PL-UPA-L1/S [15]
- ・HomePlug方式: シャープ製 HN-VA10S [16]

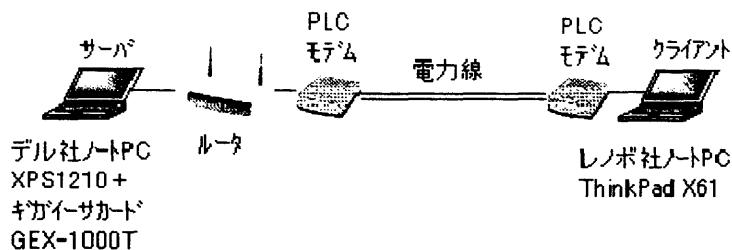


図 5.1 PLC の実験構成

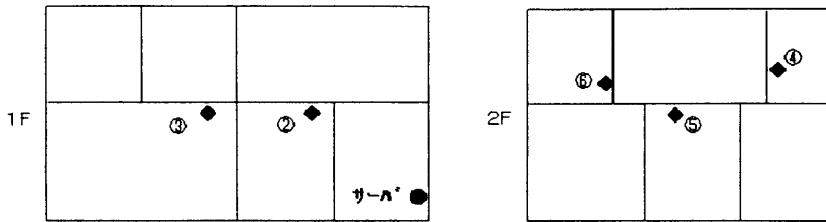


図 5.2 PLC での測定ポイント

表 5.1 評価で使用の PLC モデムの諸元

方式	HD-PLC(1)	HD-PLC(2)	UPA	HomePlug
製品	PLC-ET/M-S	BL-PA300KT	PL-UPA-L1/S	HN-VA10S
メーカー	アイ・オー・データ	松下電器	バッファロー	シャープ
周波数帯域	4M~28MHz	2M~28MHz	4M~28MHz	2M~30MHz
暗号方式	AES	AES	3DES [*1]	AES
最大通信速度	190Mbps	210Mbps	200Mbps	200Mbps
実効最大速度	(60Mbps)	65Mbps	60Mbps	55Mbps
最大通信距離	150m	200m	150m	150m
発売年月	2006年10月	2008年4月	2007年7月	2007年8月

[*1] 2009年1月発売の後継機 PL2-UPA-L1/S では、AES に対応

(2) 測定結果と考察

住居内の電気製品の使用状況は、時間帯や日によって異なるので、日を置いて2度測定することとした。各々5回測定し、その平均を求めた。

測定 A [夕刻] の結果を表 5.2 に、また測定 B [昼間] の結果を表 5.3 に示す。

i) 全般的な状況を見ると、PLC モデムの親機（サーバ側）の隣室（測定ポイント②）では、3方式ともスループットは 58~69Mbps の高い値である。これは PLC モデムの最大実効性能（TCP 通信時）として、各製品資料で示されている値を達成している。ところが他の部屋では大幅に性能低下し、3Mbps 程度となった測定ポイントもある。また、2階の測定ポイント⑥では、PLC 通信できないケースが生じている。

ii) 方式による相違については、HD-PLC 方式が測定 A と測定 B のいずれも全測定ポイントで通信が可能であった。一方、UPA 方式は通信できない測定ポイントが1箇所あり、実用上問題がある。また UPA 方式は、親機の隣室では他方式と同程度であるが、それ以外の測定ポイントでの性能低下は他の方式よりも著しい。HomePlug 方式は測定ポイント⑥で、測定 A のときには通信できず、ノイズ耐性がやや弱いものと思われる。

iii) HD-PLC 方式について、初期仕様の製品(1)と改良版仕様の製品(2)を比較すると、隣室②では約 10%の性能向上であるが、電力線が異相となる2階の測定ポイント(④~⑥)では約2倍のスループットとなった。

iv) 以上のことから、現状では家庭用 PLC モデムは、通信の安定性や接続性に問題があり、利用に際しては PLC モデムの設置場所の考慮が必要といえる。

表 5.2 PLC の測定結果 [測定 A] [スループットの単位 : Mbps]

方式 \ 測定点	②	③	④	⑤	⑥
HD-PLC 方式(1)	58.3	17.5	11.8	6.3	4.5
HD-PLC 方式(2)	64.1	26.1	22.0	12.9	9.8
UPA 方式	68.9	3.2	4.6	5.2	NG
HomePlug 方式	62.4	14.5	11.9	7.9	NG

[備考] NG は、PLC モデム間で通信できず、測定不可を示す。

表 5.3 PLC の測定結果 [測定 B] [スループットの単位 : Mbps]

方式 \ 測定点	②	③	④	⑤	⑥
HD-PLC 方式(1)	60.0	18.4	13.7	8.6	7.4
HD-PLC 方式(2)	64.8	26.8	22.4	14.5	14.1
UPA 方式	64.3	6.3	6.6	3.5	NG
HomePlug 方式	62.2	24.8	15.9	12.6	12.4

[備考] NG は、PLC モデム間で通信できず、測定不可を示す。

6. おわりに

一般住宅内のブロードバンド通信環境を実現する手段として期待されている、新しい高速無線 LAN (IEEE802.11n) と電力線通信 (PLC : 3 規格) について、実環境 (鉄骨系 2 階建て住宅) で性能測定し、適用性について検討した。IEEE802.11n は 140M~15Mbps のスループット性能を実現できるのに対して、PLC は 60M~3Mbps であり、また接続できない場合もあることが判明した。PLC の狙いの一つである、「一般住宅内で無線 LAN の電波が届きにくい階層間に跨る通信の実現」は達成しているとは言い難い。また、PLC 製品の説明書などには、PLC と無線 LAN を組み合わせればよいとあるが、実際の適用には制約が大きいと言える。PLC は独立な 3 方式の規格が並立しており、標準化と相互接続はこれからである。現実の住宅環境における電力線の敷設状況は様々であり、また PLC に悪影響を与える各種電気製品の存在から、通信の安定性や接続性確保を高める PLC 方式と製品化の一層の工夫が必要である。なお、これらの PLC モデムや無線 LAN アクセスポイントを製造販売している会社の中には、購入者の住宅環境で使用できなかった場合に、返品・返金を行う制度を設けているところもある[18,19]。

現状では、木造・鉄骨系の一般住宅では、IEEE802.11nの方が PLC より、ブロードバンド通信の実現手段として適しているといえる。PLC は無線 LAN の電波が大きく減衰する

コンクリート壁が使用されているマンションなどで、コンセント位置と家電製品との関係を考慮しながら利用するとよいと考えられる。コンクリート系の一般住宅やマンションでの IEEE802.11n の評価は今後の課題である。

本稿は、(株)エヌ・ティ・ティ・ドコモ殿から奨学寄付金を受けて実施した「モバイル情報通信サービスに関する研究」(平成19年度実施) および「ユビキタスな情報通信サービスに関する研究」(平成20年度実施) の成果の一部であり、深く感謝申し上げる次第である。

[参考文献]

- [1] 守倉正博、高速無線 LAN 802.11n 入門、インプレス R&D、2007 年 8 月
- [2] 守倉正博、改訂三版 802.11 高速無線 LAN 教科書、インプレス R&D、2008 年 3 月
- [3] ドラフト段階でも実用期-IEEE 802.11n の最新動向、TechTarget ジャパン、
<http://techtarget.itmedia.co.jp/tt/news/0807/17/news01.html>、2008 年 7 月 17 日
- [4] IEEE802.11n の実力、日経コミュニケーション 2007.8.1 号、pp.48~61
- [5] PLC のしくみ、http://www.plc-j.org/about_plcsys1.htm
- [6] 高速電力線通信推進協議会 (PLC-J)、<http://www.plc-j.org/index.htm>
- [7] PLC モデム、日経ネットワーク 2007 年 5 月号、pp.51~65
- [8] NEC の AtermWR8500N 製品情報
<http://121ware.com/product/atermstation/product/warpstar/wr8500n/index.html>
- [9] バッファロー WZR-AMPG300NH 製品情報
<http://buffalo.jp/products/catalog/network/wzr-ampg300nh/>
- [10] コレガの CG-WLBARGNH 製品情報
<http://corega.jp/prod/wlbargnh/>
- [11] HD-PLC アライアンス
<http://www.hd-plc.org/japanese/Home/tabid/36/Default.aspx>
- [12] I-O DATA の PLC-ET/M 製品情報
PLC-ET/M シリーズかんたんセットアップガイド、2006.11.10
<http://www.iodata.jp/product/network/plcadapter/plc-etm/spec.htm>
- [13] パナソニックの PLC 製品の技術情報サイト
<http://panasonic.co.jp/pcc/products/plc/support/technic/eikyou.html#p01>
- [14] BL-PA300KT 製品情報
BL-PA300KT 取扱説明書
<http://panasonic.jp/p3/plc/pa300.html>
- [15] バッファローの pl-upa-L1/S
PL-UPA-L1 シリーズユーザーズマニュアル、2007.7.26
<http://buffalo.jp/products/catalog/network/pl-upa-l1/>

- [16] シャープの HN-VA10S 製品情報
HN-VA10S 取扱説明書
http://www.sharp.co.jp/products/pc_mobile/plc/prod01/hnva10s/f_hnva10s.html
- [17] I-O DATA のペイバックシステム
http://www.iodata.jp/prod/network/plcadapter/2007/plc_aaa/index.htm
- [18] コレガ・無線 LAN・PLC 製品の返品・返金制度
<http://corega.jp/cp/006/>
- [19] 日経ビジネスオンライン、スペシャル、「HD-PLC」の普及が加速する
Vol.1 「HD-PLC」検証ハウスオープン
<http://business.nikkeibp.co.jp/as/hd-plc/index.html>
- [20] Iperf
<http://dast.nlanr.net/projects/Iperf/>