

高速電力線通信の 現状と技術課題

三菱電機(株)

北山匡史* 田所通博**

*Kitayama.Masashi@ap.MitsubishiElectric.co.jp

**Tadokoro.Michihiro@dn.MitsubishiElectric.co.jp

はじめに

電力線を利用して通信を行う高速電力線通信 (Power Line Communication : PLC) は、近年のデジタル技術の進歩と、世界的なインターネットの爆発的普及を背景として、家庭内・屋外を含めたユビキタスネットワークのための有望な技術として注目されている。日本では、2005年に世界最先端のIT国家となる目標を掲げたe-Japan戦略IIを受けて、2010年までにユビキタスネットワーク社会の実現に向けて、ICT (Internet & Communication Technology) をベースとしてユビキタスネットワークを整備し、技術開発や標準化を推進することを目指したu-Japan戦略を政府が推進している。また、高速電力線通信推進協議会 (PLC-J) でも実用化に向けた検討が進められている。海外においても、欧州の共同開発プロジェクトであるOPERA (Open PLC European Research Alliance)、米国における家庭向けの電力線を利用した通信規格の1つであるHomePlug、IEEEでの標準化などの動きが活発化しており、インターネットアクセスを中心として北米、欧州、南米、アジアで市場が見込まれている。

高速PLCは、既存の配電線、電灯線やコンセントをそのまま通信線や通信コネクタとして利用するので、新たな通信線敷設のための工事などの投資が不要となる。ブロードバンドサービスのインフラとしては、現状では光ファイバ、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)、CATVが普及している。高速PLCは、送信情報量の面では物理速度200Mbpsレベルの通信速度を実現することができる技術であり、ブロードバンドサービスインフラとして期待できる。また、高速PLCではコンセントのあるところならどこでも情報通信が可能となり、メタルの電話線を用いるADSLと比較してユビキタスネットワークとして有望である¹⁾。

しかし、高速PLCは、電力を送電する設備を通信ネッ

トワークとして利用するため、もともと通信のために設計されたネットワークで用いられる通信技術だけでは不十分であり、新たな技術開発が必要不可欠である。本稿では、高速PLCを実現するための技術課題とともに、ブロードバンドサービスをはじめとするアプリケーションについて概観する。

高速PLCにおける技術課題

■ PLCの技術課題

電力線を通信線として用いる技術は比較的昔から考案されていたが、電力線や家電機器の通信特性の解明や、回路技術・信号処理技術・大規模LSI技術の高度化により、高速PLCが経済的に実現可能になってきた。

高速PLCの注入信号の周波数帯域におけるSN比 (Signal to Noise Ratio) の概略を図-1に示す。図に示したように、2MHz帯域以下では、帯域が非常に狭い上に、家電機器などの機器雑音が多く重畳しているため、高速化が困難である。一方、30MHz以上の帯域では、受信電力が小さくなって伝送損失が増大する傾向にあるため、やはり高速化が困難である。これに対し、2M～30MHz帯域では、伝送損失は存在するものの、家電機器などの機器雑音が少なく、高速PLCには適している。

国内では、現状では電波法などの規制によって10～450kHzの帯域のみ使用可能となっており、2M～30MHz帯域は、商用では使用できない。しかし、2004年1月に施行されたPLC実証実験制度により、実験目的では許可制で使用が認められ、電力会社・メーカーによって実環境における実証試験が盛んに実施されている。一方、欧州や米国では使用が認められている国もあり、実用化されている例も見られる。

高速PLCは、新規通信線の構築が不要という最大の利点はあるものの、配電ネットワークの設備形成では高速PLCで用いられる周波数帯域における信号伝送特性は考

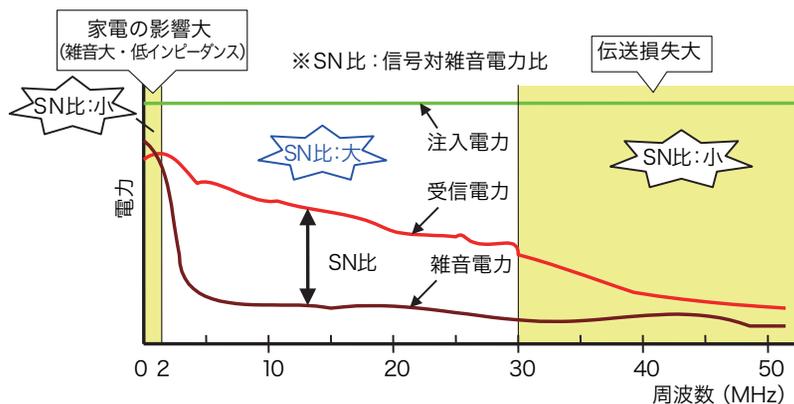


図-1 注入信号の周波数と SN 比

慮されていないため、他の通信ネットワークでは見られない固有の課題が存在する²⁾。

三相の電力線から構成される架空配電線に不平衡性が存在する場合には、線路に高速 PLC で用いられる周波数帯域の電流を流すと電力線から電磁波が放射されやすくなる。逆に、高速 PLC で使用する高周波帯域では家電機器から発生する負荷ノイズや空中を伝播する飛来ノイズなどが電力線に重畳し、PLC モデムに混入して伝送特性を悪化させることがある。外部の電磁界に対する機器の耐性はイミュニティと呼ばれ、伝送特性の確保に必要である。

また、電力線に接続された末端負荷や電線路長および電線路分岐のトポロジは 60/50Hz の商用周波での電気回路特性に基づいて設計されている。高周波信号は、波動方程式の解として与えられるある速度の進行波によって伝搬する。進行波の伝送特性は線路の特性インピーダンスによって影響を受け、特性インピーダンスの異なる線路の接続点では反射が生じる。配電システムでの機器間や機器とケーブル間などではインピーダンスが異なる個所が多数存在する。これをインピーダンス不整合と呼ぶ。インピーダンス不整合個所では高周波信号が反射し、伝送特性の悪化につながる。

伝送線路に分岐が存在する場合、送信された高周波信号は分岐を通らないで伝送する信号と、分岐を経由して分岐の末端で反射して戻ってくる信号とが合成された信号として受信される。このように、送信された信号がさまざまな経路を通過することによって減衰と時間遅れの変動を受けた多数の信号が合成されて変動することをマルチパスフェージングと呼ぶ。

高速 PLC では、これらの課題を克服するために、数 MHz から数十 MHz の帯域での電力線の通信線としての特性を把握し、通信線の伝送特性に適した通信方式の開発、および信号を注入するための信号結合装置、大規模ネットワークを構成・管理するためのネットワーク管理

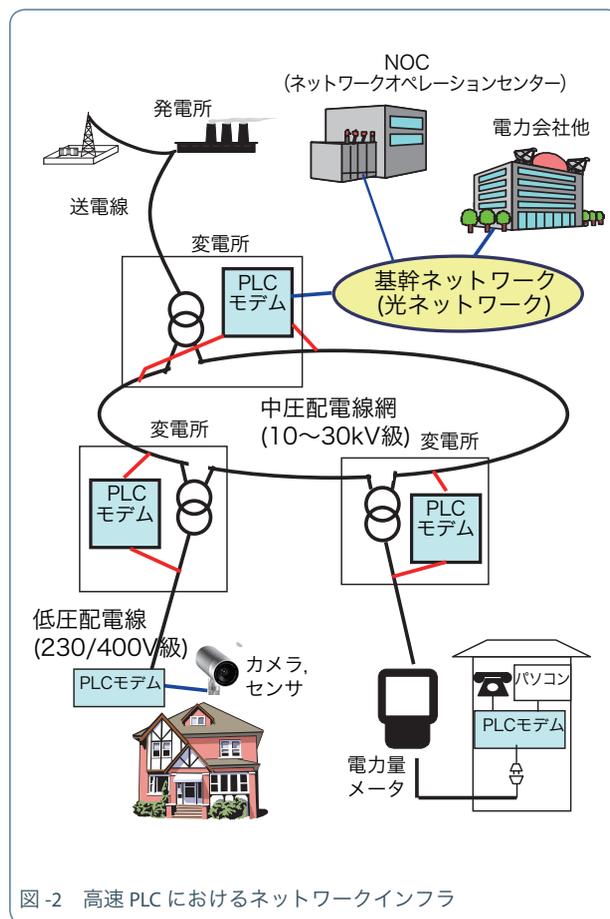


図-2 高速 PLC におけるネットワークインフラ

システムなどの技術開発が必要不可欠である³⁾。

■電力線ネットワークの特徴

高速 PLC で用いる電力線は、電力会社の配電線を用いる屋外ネットワークと、建物内の配電ケーブルを用いる屋内ネットワークに大別される。

図-2 に示したように、電力システムでは、発電所で電気を発生し、送電システムから配電システムを介して需要家に電気が届けられる。海外では、変電所から変圧器を介して需要家まで送電するためのネットワークである中圧・低圧配電線を通信ネットワークとして利用するのが一般的で



あり、これをアクセス系ネットワークと呼んでいる。電力系統では、送電する電力の大きさによって経済的な電圧が変わり、電力が大きいと高い電圧が有利であるため、系統運用の上で送電系統から配電系統まで複数の電圧を使い分けている。その電圧段階を電圧階級と呼ぶ。変電所から変圧器までの中圧系統 (MV: Medium Voltage) は、海外では 10 ~ 30kV 級の電圧階級の系統である。日本では電圧階級が 6.6kV の高圧系統、22kV の特別高圧系統に相当している。一方、変圧器から需要家までの低圧系統 (LV: Low Voltage) は海外では電圧階級として 200V もしくは 400V 級が採用されているのに対し、日本では 100V、200V が採用されている。

中圧系統は放射状を基本として構成されており、常時は単一の経路で電力を供給し、必要に応じて開閉器の操作によって切り替えられるような形状をとっている。欧州では、系統構成としては図-2 で示したようにループ構成となっているが、常時はループの 1 カ所の開閉器を開放したオープンループ系統が採用されている。

また、配電線の線種として架空配電線と地中配電線があり、欧州都市部でよく見られる中圧/低圧系統ともに地中配電系統のケース、日本でよく見られる中圧/低圧系統ともに架空配電線のケース、中圧系統が架空・地中混在型配電系統で低圧系統は地中配電系統のケースなど、国や地域によって系統の形態が異なっている。このような配電系統の形態の差は、商用周波数での電気的特性としては大差がなくても、高速 PLC での周波数帯域では線種や設置形態によって信号の伝送特性が大きく異なるため、PLC ノード設置位置など、配電系統の形態に適した通信ネットワークインフラの設計が必要である。

■通信技術

高速 PLC で用いる伝送路である配電系統には、信号の減衰、インピーダンス不整合による反射に起因するマルチパスフェージング、インバータなどのパワーエレクトロニクス機器や家電機器から発生する高周波ノイズなどさまざまな信号の劣化要因があり、通信路として条件がよいとはいえない²⁾。

高速 PLC で用いられる変調方式は、大きくシングルキャリア方式、携帯電話などで用いられているスペクトラム拡散方式、ADSL や無線 LAN でも用いられている OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式の 3 つが代表的である。OFDM は、周波数帯域を数百~数千の帯域に分割し、多数の搬送波(キャリア)を用意して、それぞれの搬送波でデータを並列に送信する方式である。キャリアとして直交する (Orthogonal) 関数を用いることによって、キャリアのスペクトルが重なっても互いに干渉せずにデータシンボルを復調することができ

る。OFDM 方式の適用によって、周波数利用効率を向上することが可能となるとともに、伝送路の状態に応じて各サブキャリアに割り当てる転送ビット数を動的に変更することが可能となる。

また、マルチパスフェージングに対しては、ガードインターバルが有効である。ガードインターバルとは、シンボルの前に最大遅延時間に対応する信号を付加することによって、遅延したシンボルとの干渉を防止する仕組みであり、高速 PLC と同様にマルチパスフェージングが問題となる無線 LAN においても適用されている。

高速 PLC インフラを用いたアプリケーションサービス

■高速 PLC の利用形態

高速 PLC の利用形態として、アクセス系と宅内ネットワークとが考えられる。アクセス系とは電話線や光ファイバの代わりに電力線を使用して通信ネットワークを構成するサービス形態である。変電所や大規模住宅等までは光ネットワークで結び、需要家までの数百 m ~ 5km の距離を既存の配電線を用いた高速 PLC によって通信を行う。現状では、国内では電波法規制によって高速 PLC 使用周波数帯域が使用できないため、海外での利用形態に限定される。アクセス系は、一般家庭を対象としたインターネットプロバイダサービスとしての利用に加えて、電力会社による自社設備運用管理のためのネットワークインフラとしての活用が期待されている。また、海外では、光ファイバの敷設が日本ほど進んでおらず、配電用変電所から配電線・引込線に高速 PLC を適用することが期待されている。

宅内系は各家庭までは ADSL や光ネットワークを使用し、宅内において電灯線を利用して通信ネットワークを構築する利用形態である。高速 PLC による宅内ネットワークとして、宅内 LAN や AV (Audio Visual) 系ネットワークとして利用できる。屋内での利用については、現在国内においても実用化の議論がなされている段階である。

■宅内ネットワークアプリケーション

一般家庭屋内ネットワークを用いる宅内アプリケーションとしては、複数のパソコンやプリンタ等を共有する宅内 LAN や、AV 系を接続するためのネットワークとしての利用が検討されている。また、センサ類や家電品などに PLC チップを組み込むことにより、コンセントに差すだけで機器がネットワークに接続され、省エネルギーやホームセキュリティなどのインフラとして利用することも考えられる。

一方、マンションなどの集合住宅やオフィスにおい

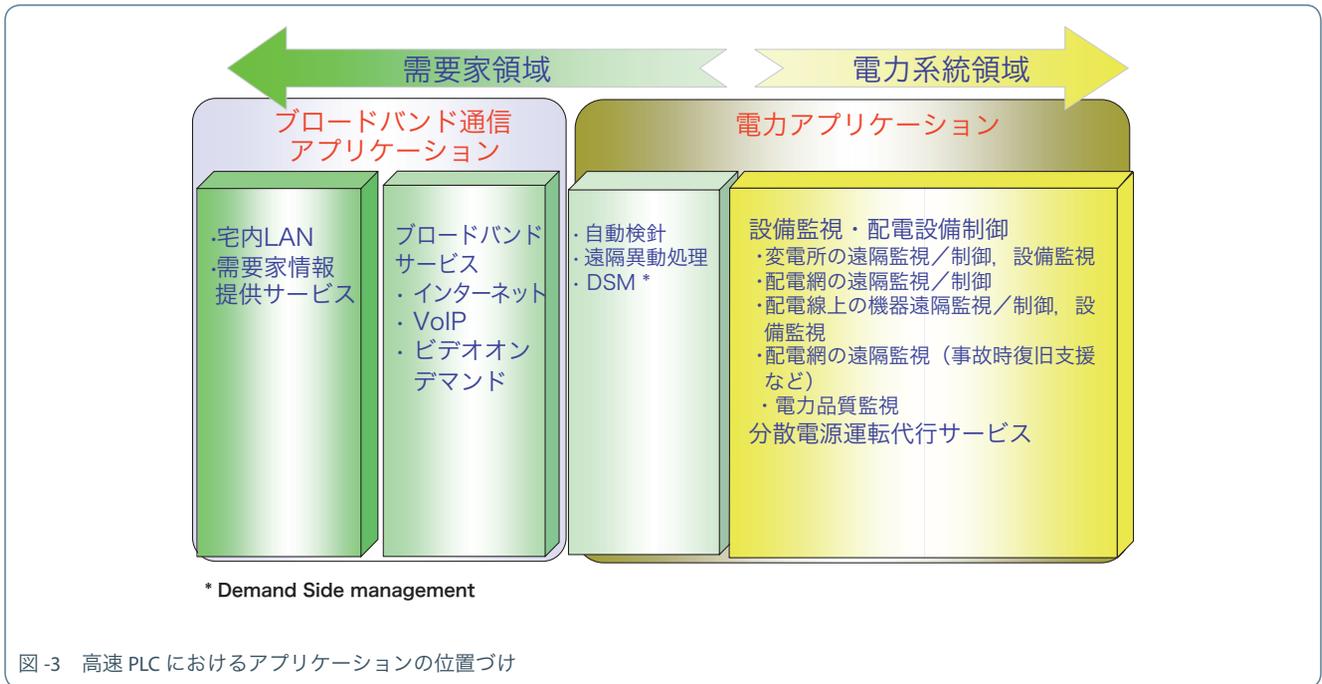


図-3 高速 PLC におけるアプリケーションの位置づけ

では、ADSL や VDSL (Very high-bit-rate Digital Subscriber Line) に代わって、各戸へのネットワークインフラを構築することが可能となる。

日本では、すでに ADSL や光ファイバによるインターネットサービスが広く普及しているが、電力会社各社は自前の光ネットワーク網を保有しており、家庭への引込線を PLC で接続することで、ADSL より高速なサービスを提供できる可能性がある。

■ユーティリティ・アプリケーション

近年の電気事業における規制緩和の進展により、図-3のように、電気事業者の観点からは需要家へのさまざまなサービスコンテンツの提供や、電気事業者の業務効率化を実現するためのユーティリティ・アプリケーションが検討・実施されてきている。北米ではこれらのアプリケーションへの高速 PLC 適用の期待が大きくなってきており、高速 PLC の特性を踏まえながら今後実用化に向けた検討が進むものと期待される。ユーティリティ・アプリケーションの全体イメージを図-4に示す。このコンテンツとして、以下のようなものが考えられる。

需要家情報提供サービス(電気料金・停電などの電力供給に関連する情報、地域情報代行サービス)

規制緩和によって自由化が進んでいる電気事業では、競争が大変激しい小売事業などと同様に、顧客に提供する商品の差別化や付加価値サービスの提供によって、顧客満足度を向上させるための努力が一層必要となる。電気事業における商品である電気エネルギーは、物理的な特性上、どの事業者から購入してもコンセントから供給される電気には品質の差はなく、商品自体での差別化は

困難である。そのため、電気料金や停電といった電力供給に関連する情報を付加価値として需要家に提供、さらにはエネルギーが日常生活における必要財であることから、地域サービスなどの情報を合わせて提供するというサービスが考えられる。

自動検針・異動処理サービス

日本では、電気料金課金のために検針を行うが、欧米では毎月の検針は必ずしも実施されておらず、自動検針システムに対するニーズが高い。自動検針システムで最も普及しているのは無線インフラを用いた方式であり、検針員が車で移動しながら巡回することによって検針を行うものである。高速 PLC を適用することによる遠隔での検針を実施することによって、検針員の人件費、データ転送コストの大幅な低減が期待できる。

また、引越に伴って電気事業者が電気の利用を中止・開始する処理を異動処理と呼んでいる。異動処理において、電気の利用中止を停止、利用開始を停止解除と呼ぶ。北米では、20～30歳代を中心に年間4,000万人程度が引越をするという報告もあり、引越に伴う遠隔での停止・停止解除の遠隔異動処理への高速 PLC の適用によって業務効率化が期待できる。

分散電源運転代行サービス

分散型電源を保有する需要家に対して、電力会社が運転を請け負うことによって、需要家はオペレーションフリーとなって運用・管理コストを低減することが可能となる。また、電力会社は需要家のピーク負荷を削減するような運用として電力会社保有電源と協調して全体の発電コストを削減することが可能となる。さらには、多数の需要家が保有する電源を監視制御ネットワークで接続

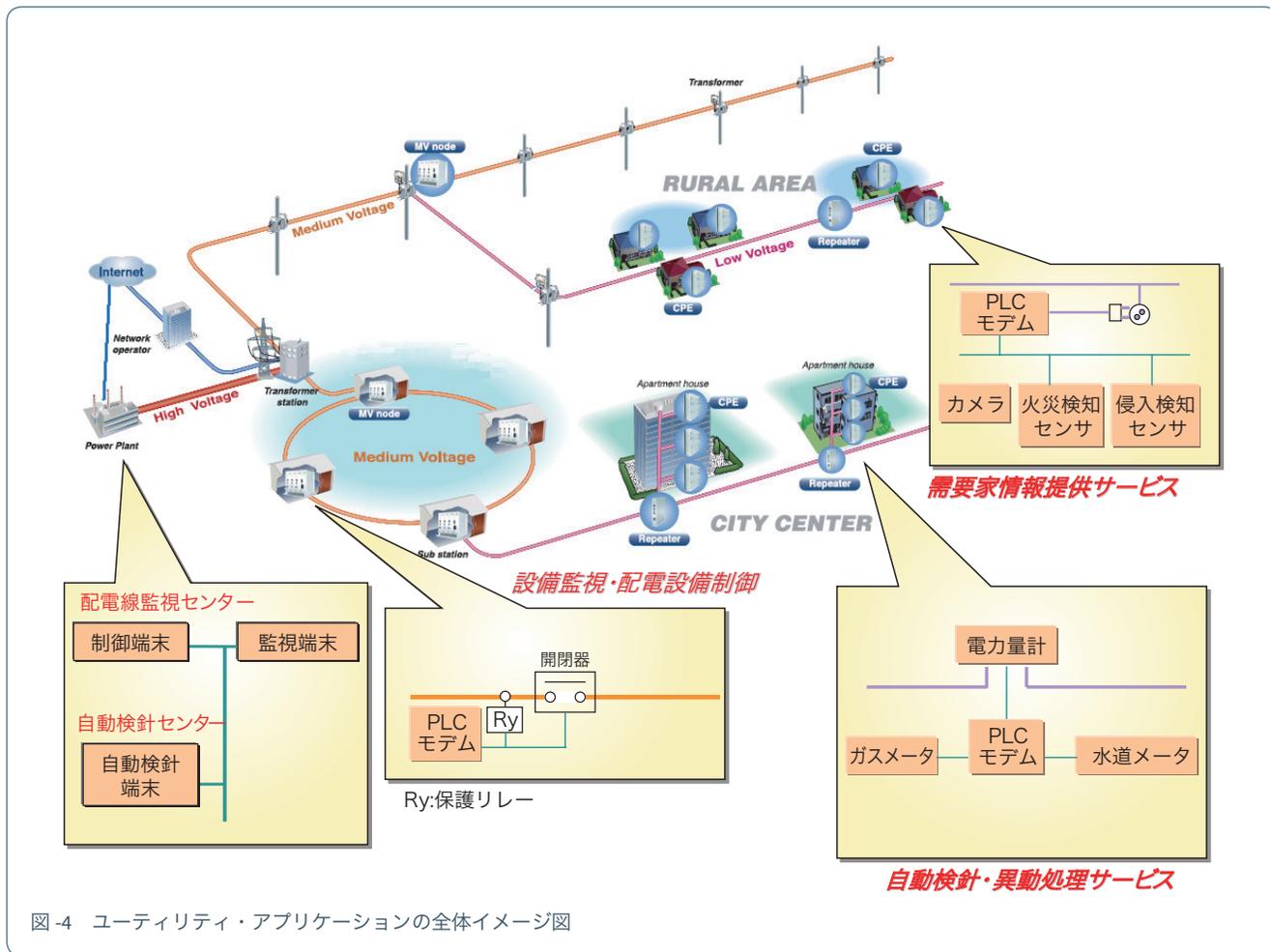


図-4 ユーティリティ・アプリケーションの全体イメージ図

することによって仮想的な発電所と見なし、協調して運用を行う統合運用制御システムのコンセプトも提案されている。高速 PLC は、このようなアプリケーションに対して通信ネットワークを構築する候補として挙げられる。設備監視(配電設備の異常・故障の検出)・配電設備制御

日本は海外と比較すると電力供給の信頼度が非常に高く、需要家 1 軒あたりの年間停電時間を表す SAIDI (System Average Interruption Duration Index; 系統平均停電時間指標) が日本では数分であるのに対し、欧米諸国では 40 ~ 80 分となっている。

国内では、配電線に設置されている配電線路用開閉器の自動化と変電所からの遠方制御を行う配電自動化システムにおいて、変電所から開閉器の線路機器を監視制御するための伝送路として、ペアケーブル・同軸ケーブル・光ファイバが用いられている。この監視制御ネットワークを高速 PLC によって実現することにより、システム構築コストの低減が期待できる。

一方、海外では、配電線路上に設置された開閉器やキャパシタバンクなどの設備の劣化状態の監視、配電線路上の柱上変圧器の過負荷監視など設備稼働状態の監視、事故発生時の停電個所の特定や復旧支援による停電時間の短縮などのアプリケーションにおける通信手段として、

高速 PLC の適用が期待されている。

今後の展望と課題

海外では PLC のフィールド実験により実環境での通信特性の把握が進んでおり、PLC による商用アクセスサービスも開始されている。また、国内においても総務省「高速電力線搬送通信に関する研究会」の最終報告書が作成されており、屋内利用に対する実用化が期待されている⁴⁾。このような動向のもとで、技術的には PLC による通信ネットワークの本格的展開に向け機が熟してきたといえる。今後も、引き続きモデム装置や周辺装置の性能向上・低価格化を実現するための技術開発のさらなる発展により、高速 PLC 技術の適用が拡大されることが期待される。

参考文献

- 1) 特集「高速電力線通信技術」、三菱電機技報、Vol.78, No.7 (2004)。
- 2) Dostert, K.: Powerline Communications, Prentice Hall (2001)。
- 3) 安部、北山、村田: 高速電力線通信における高周波信号の結合と解析技術、電気評論、Vol.90, No.3, pp.46-49 (2005)。
- 4) 総務省: 高速電力線搬送通信に関する研究会 報告書 (2005)
(平成 18 年 6 月 20 日受付)