

住宅における通信環境の現状と変遷

Overview and history of the communication environment in the house

渥美幸雄[†]

Yukio ATSUMI[†]

[†] 専修大学 経営学部

[†] School of Business Administration, Senshu University

要旨:

住宅において利用できる通信サービスと技術の概要を発展経緯とともに述べる。住宅での通信回線利用に際しての基本的な接続形態、住宅タイプに基づく代表的な利用方法、回線速度から見た通信技術の発展と位置付けを示す。

Abstract:

Communication services and technologies in the house are outlined along with the brief history. The basic connection form of communication line in the house, typical usage based in the housing type, and the development and positioning of communication technologies as seen from the line speed are indicated.

1. はじめに

住宅での通信サービスは、古くは明治時代 1900 年代の電話の利用に始まり、現代では携帯電話やスマートフォンによる各種メディアの利用へと大きく発展している。特に、データ通信が始まった 1980 年代半ばからの約 30 年は、ハードウェア（半導体技術など）とソフトウェアの技術進歩の大きな成果であり、人々の日常活動に利便性・快適性をもたらしている。一般的な住宅では 1980 年代はマニアが低速度（1200bps）でパソコン通信を細々と行っていたが、2010 年代半ばの現在は、誰もがスマートフォンで Mbps オーダーの速度により、検索はもちろん画像通信など手軽に行えるようになったのである。

本稿では私的な場として過ごす住宅の通信環境を対象として、利用できる通信サービスや技術について利用者の観点から全体的に整理し位置付けを示すとともに、その概要・特徴を発展経緯とともにまとめる。従来、個々の通信サービスや技術の専門的な論文や解説は多数あるが、本稿では利用者の側面から住宅という観点から捉える。以下、2 章では一般住宅での通信利用に際しての基本的な接続形態、住宅タイプによる通信の代表的な利用方法、回線速度から見た通信技術の発展と位置付けなどを示す。3 章では住宅と外部との接続のための通信回線（本稿では外線と呼ぶが、WAN と MAN が対応）について、また 4 章では住宅内での通信回線（本稿では屋内線と呼ぶが、LAN と PAN が対応）について、有線と無線に分けて概要と現在までの発展状況を述べる。

2. 住宅で利用可能な通信の全体像

2.1. 通信ネットワークの規模による分類

通信ネットワークの技術的分類の代表として、以下のような通信距離からの視点があり、1970 年代より使われている。WAN と LAN はよく出てくる表現であるが、ここ数年は LAN が Wi-Fi（4.2.1 項）の普及に伴って一般人にも知られるようになってきた。

- WAN (Wide Area Network)

広域に広がり郊外、県外、国際に及ぶ

- MAN (Metropolitan Area Network)

都市圏レベルをカバーする数 Km 程度

- LAN (Local Area Network)

建物（住宅）や敷地内など狭い範囲をカバーする数 100m 程度まで

- PAN (Personal Area Network)

個人の周辺をカバーする数 m から 20m 程度

2.2. 外線/屋内線と接続形態について

一般住宅と外部を接続する通信回線（本稿では外線と呼ぶが、WAN と MAN が対応）と屋内で使用される通信回線（本稿では屋内線と呼ぶが、LAN と PAN が対応）は、通信距離や目的が異なる。外線は通信事業者（キャリアともいう）が設置し、利用者に通信サービスを提供する。屋内線は利用者が自らの責任で設置する回線である（工事業者に設置を依頼したとしても）。また、有線と無線がある。従って、一般住宅内で端末が外部と通信するためには、外線と屋内線を使用するがその組み合わせの基本形態を整理すると表 1 のようになる。なお、本表では住宅内で端末から外線に直接接続して通信する形態（例：スマートフォンから外部のサーバーに接続）は「直接接続」として示してある。

表 1 において、端末には電話機、パソコン、スマートフォン、家電、センサーなど種々の機器がある。各端末機器が扱うメディア種別には、音声、文字、静止画、動画がある。

中継機は次の 3 つに分類できる。

- ①外線と屋内線の中継（中継専用機）：無線 LAN ルーター、WiMAX ルーターなど
 - ②本来機能の付加的役割として中継：スマートフォンによるデザリング [*1]
 - ③通信範囲を拡大するため電波の中継：無線 LAN 中継機など [*1] テザリング (tethering)
- スマートフォンなど通信機能付き端末をモバイルルーターのように中継機として、パソコンなどの機器をインターネットに接続することである（図 1）。

テザリングの種類（外部機器の接続方法）として、Wi-Fi、Bluetooth、USB の3つがある。Wi-Fi 接続は高速通信や複数機器の接続が可能、Bluetooth 接続は消費電流が少ないので電池の持ちが良い、USB 接続はパソコンからスマートフォンを給電しながら通信可能という特徴がある。なお、NTT ドコモと KDDI (au) はテザリングの種類として3つを示しているが、ソフトバンクではWi-Fi のみとしている[1, 2, 3]。

表1 外線と屋内線の基本接続形態

外線 \ 屋内線	有線	無線
有線		
無線		
直接接続		

【凡例】 — : 有線 - - - : 無線 ○ : 端末 □ : 屋内
 ■ : 回線終端装置 ■ : 中継器(ルーターなど)

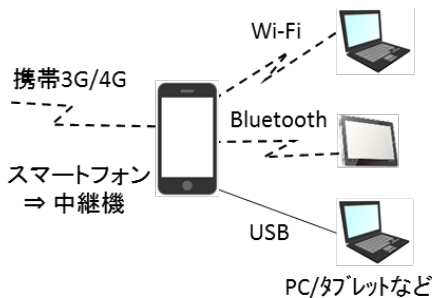


図1 テザリング概要

2.3. 住宅タイプによる通信の代表的な利用方法

ひと口に住宅と言っても物理的・構造的には様々なタイプがあり、住宅内における通信を検討する場合には電波の届きやすさや配線の考慮が必要である。そこで住宅タイプを3つに分け、各タイプにおける代表的な通信サービスの利用方法をまとめると次のようになる。

(1) 2~3階の戸建（複数フロア）

外線として有線ブロードバンド回線を設置し、住宅内では主にWi-Fiを利用する。

鉄骨構造や鉄筋コンクリート構造の場合には、他フロアへ電波が届きにくいという問題がある。これに対して次の2つの方法がある。

①Wi-Fi の中継機を設置して、他フロアへWi-Fi の電波を確実に届ける。

②電力線通信（PLC）でフロア間を有線で結び、各フロアにWi-Fi ルーターを設置する。

(2) 平屋建てやマンション（1フロア）

外線として有線ブロードバンド回線を設置する場合、住宅内では主にWi-Fiを利用する。

(3) ワンルームマンション／アパート

①スマートフォンを中継機として利用する（テザリング）。有線ブロードバンド回線を費用面で使用することが得策でない場合であり、主に一人住まいの学生や社会人が利用する。

②Mobile WiMAX サービスを利用する。Mobile WiMAX ルーターのインタフェースはWi-Fiであるので、ノートパソコンなど各種の機器を接続できる。主に単身の社会人が利用すると考えられる。

2.4. 携帯電話/Wi-Fi の選択とコグニティブ無線

住宅内でスマートフォンからインターネットアクセスする場合、Wi-Fi 環境があるならば携帯電話網からWi-Fi に切替えて利用したい。

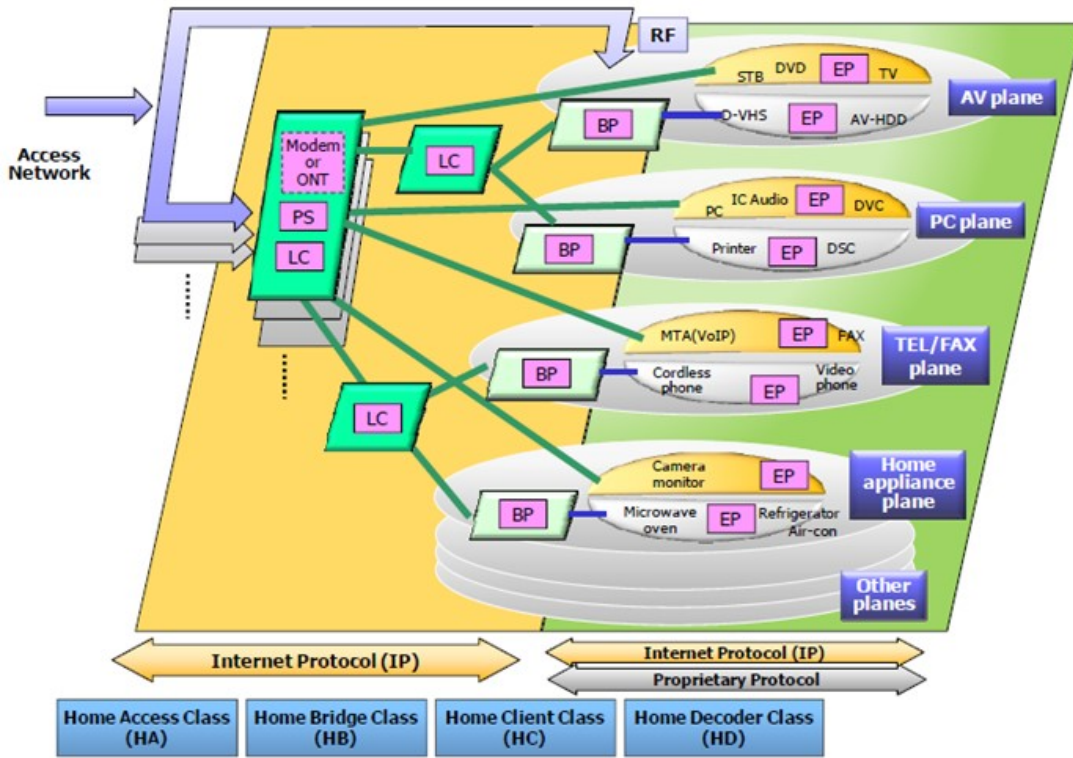
複数の電波が利用できる環境において、適切な無線通信方式を選択する技術をコグニティブ無線という。コグニティブ無線は「環境認知無線」とも訳されているが、現在の場所における電波の利用状況を認知して最適な無線を選択する技術のことである。本技術は大きく2つに分類されており、一つは複数の無線通信方式（携帯電話 LTE、Wi-Fi など）を選択するヘテロジニアス型、もう一つは使用されていない周波数帯を発見して利用するホワイトスペース型がある。コグニティブ無線の考え方は2000年頃に電波の有効利用のために提案され、IEEE や ITU-R においてアーキテクチャや規格の策定が進められている[4]。

ヘテロジニアス型の考え方に基づく無線通信方式の選択利用は、スマートフォンで既に利用可能となっている。携帯電話（LTE など）とWi-Fi の両方を利用できる自宅などにおいて、スマートフォンからインターネットアクセスする場合に、自動的にWi-Fi に接続するアプリがある[5]。

2.5. 「ホームネットワーク」との関係

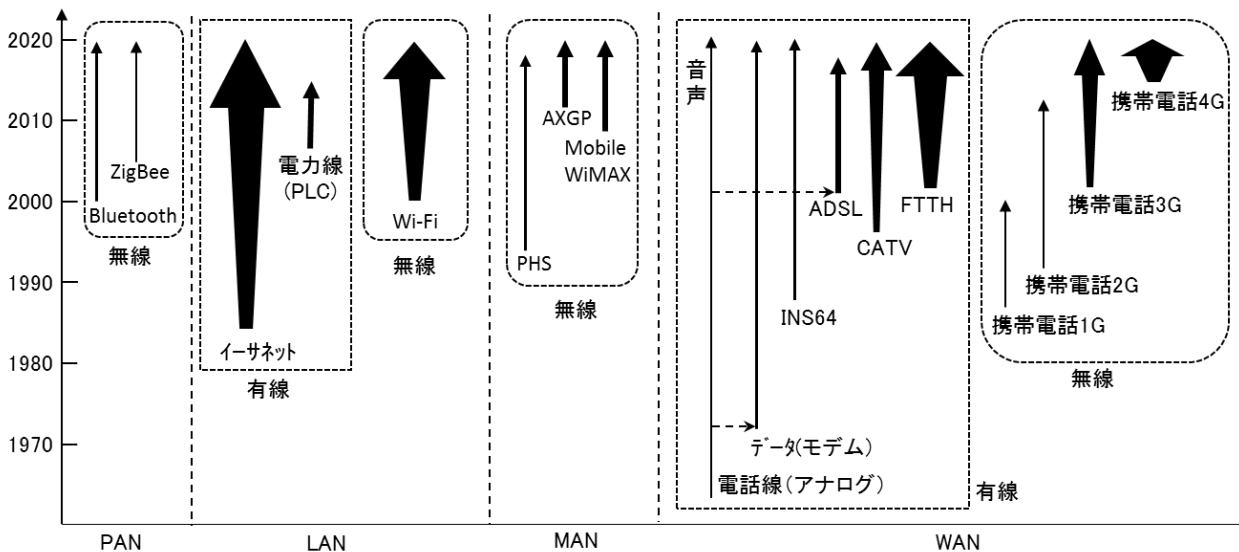
家庭内のパソコン、AV 機器、白物家電、スマホなど各種機器などをインターネットに接続したり、相互に通信することをねらいとした家庭内のネットワークをホームネットワークと呼んでおり、2000年前後から検討が進められている。その一つとして国際電気通信連合・電気通信標準化部門 ITU-T が策定したホームネットワークアーキテクチャ（ITU-T.J.190 勧告）がある（図2）[6,7]。しかしながら対象とする機器とサービス範囲が広く、各々の業界が取り組んでおり、複数の目的を持った複合型のネットワークである。具体例として、AV 機器によるコンテンツ系サービスを対象とした DLNA（Digital Living Network Alliance）[8]や、家庭内のエネルギー関係の制御・監視を対象とした ECHONET[9]がある。これらのネットワークはいずれも、下位レイヤは既存規格（イーサネット、無線 LAN など）を利用する形となっている。

本稿は下位レイヤの通信機能を検討対象とするため、従ってこれ以降は「ホームネットワーク」そのもののサービスやアプリケーションについて触れることはしない。



PS: Portal Services LC: Layer-1/2 Converter BP: Boundary Point EP: Endpoint

図2 ITU-T J.190 勧告のホームネットワークアーキテクチャ



[備考] 矢印の線の太さは最大回線速度の相対的な傾向を示すものである。また、電話回線(アナログ)の1970年代以前は省略している。

図3 通信技術の発展経緯の傾向

2.6. 通信技術の発展経緯の傾向

通信技術の今日までの発展に関して、有線と無線、ネットワーク規模(対象とする通信距離)の観点から、利用可能となった年代と回線速度の傾向をまとめた全体マップを図3に示す。図中の線の太さと変化などは回線速度の相対的な傾向を示すものである。また、アナログ電話回線は歴史が古いのので1970年代以前は省略して示している。

2.7. ネットワーク規模と回線速度からみた各種通信技術の位置付け

現在利用できる通信回線についてネットワーク規模と回線速度からその位置付けを示すと図4のようになる。高速度の回線サービスは、かつては有線でなければ提供できなかったが、現在では無線でも提供できる状況となっている。但し、無線の本質的な特性として、同じ場所に通信中の複数機器があるとそれらの機器間で電波を分け合うこととなる。一方、有線の場合には、必要に応じて新たに回線を設定すればよい。

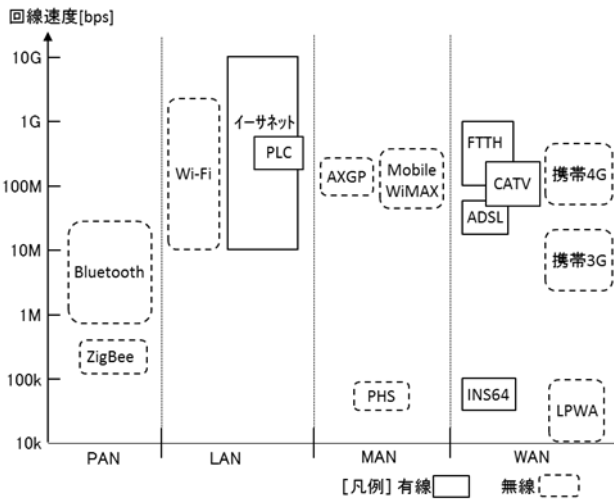


図4 通信回線の位置付け（ネットワーク規模と回線速度）

3. 外線の状況

3.1. 有線

古くからある音声通信のためのアナログ電話回線、1980年代に標準化されたナローバンド回線のISDN回線、2000年代から始まるブロードバンド回線（大容量の情報伝送）としてのADSL、CATV、FTTHが有線回線として利用できる。ブロードバンド回線とISDN回線の加入数の推移を図5に示す[文献10のデータに基づく]。ADSLは2000年代前半にインターネットの利用拡大に大きな役割を果たしたが、2000年代後半からはFTTHがメインとなる。以下、各回線の概要と発展経緯などを述べる。

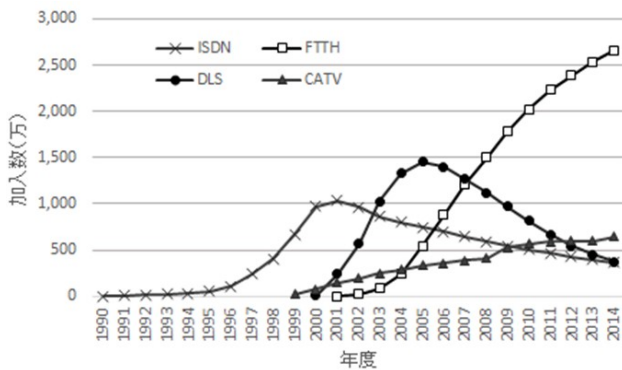


図5 有線ブロードバンド回線とISDN回線の加入数推移

3.1.1. 電話回線 [11, 12]

最も古くからある電気通信サービスの一つは1876年グラハム・ベルによって発明された電話であり、早くもその翌年の1877年(明治10年)には日本に渡来している。そして1890年(明治23年)に、一般電話サービスが東京-横浜間で開始された。以来今日まで電話サービス実現の技術は飛躍的な進歩を遂げてきていることはもちろんであるが、有線の音声通信サービスとしての品質・ユーザーインターフェースは継続している。

アナログ電話回線は音声情報をアナログ信号として伝える方式であり、回線はメタルケーブルを使用する。電話局から利用者の住宅までそれぞれ回線が敷設されるが、切れ目のない1本ではなく途中の中継ボックスで線を繋いでいる。

人間の声は男女・年齢などにより高低差はあるが、通常の会話の周波数は数10Hzから数kHzの範囲である。このため当時の技術レベルなどから電話では0.3kHzから3.4kHzまでの周波数を伝えるようなシステム設計となっている。電話はあくまで人間の音声を伝える品質設計となっており、音楽伝送には不向きであるし、後ほど述べるブロードバンド回線のADSLサービスでは利用における制約条件が厳しいのである。

電話料金であるが、明治時代のサービス開始当初は定額である。その後、市内通話料金は時間に関係なく相手に接続してから切るまでが課金単位であった。このためファクシミリ(FAX)やコンピュータなど機械を電話回線に接続して長時間占有することは問題があるとされ、3分などの課金単位が導入され今日まで続くことになる。アナログ電話回線を電話機による音声通信以外に使用することは、長らく公衆電気通信法で禁止されていたが、1972年に開放された。これによりFAX通信やパソコン通信が一般家庭において行われるようになった。

アナログ電話回線を用いてデジタル信号を伝送するためには、デジタル信号をアナログ信号に変換(受信側では逆変換)する装置であるモデムを使用する。アナログ電話回線用のG3ファクシミリモデムの通信速度は2,400から9,600bpsであり、またパソコン通信のモデムでは300bpsから56Kbpsまで数規格がある。電話回線は人間の音声伝送を対象として設計されているので、デジタル信号の高速伝送を行うには問題や制約がある。

現代のアナログ電話回線サービスは、加入者線の部分のみアナログ回線であり、それ以外の網内はデジタル化されている。膨大な数の電話機を相互接続するために、交換機同士は伝送路をデジタルで多重化しているのである。従って電話局の加入者線の収容部でアナログ-デジタル変換が行われている。一旦、広く普及したインターフェースを変更することは困難であることを示す極めて顕著な例と言える。

なお、NTTはPSTN(Public Switched Telephone Networks: 公衆交換電話網)をIP網に統合してPSTNのサービスを廃止することを2010年11月に発表している[13]。これによればIP系サービスへの需要のシフトおよびPSTN交換機の寿命等を勘案して、2020年頃からはIP網へのマイグレーションを開始し、2025年頃に完了することを想定している。この発表ではINSネット(次項)のサービスも合わせて廃止することが示されている。

3.1.2. ISDN [14]

ISDN(Integrated Services Digital Network)は、日本語ではサービス統合デジタル通信網という。電話、FAX、データなどの通信サービスをデジタル信号として一つのデジタル通信網で統合的に提供して、コストやシステム運用性や発展性を図るため国際標準化機関であるCCITT(国際電気通信諮問委員会)において1980年代(1984年に基本、1986年に詳細)に標準化された規格である。日本ではNTTがINSネット64というサービス名称で1988年に提供を開始した。INSネット64では1本の電話回線で、64KbpsのBチャンネル2本と16KbpsのDチャンネル1本の合計3チャンネルを提供し同時に使用できる。すなわち1回線で3回線分の通信を提供するものであり、本サービスを2B+Dと略称することが多い。2本のBチャンネルは例えば、1本は電話、もう1本はパソコンまたはFAXを接続する。またDチャンネルはISDNの制御用お

よびパケット通信に使用する。

INS ネット 64 では、利用者宅までの既設のアナログ電話回線を取り換えることなく、利用者宅に DSU (Digital Service Unit) というデジタル回線終端装置を設置するだけでよい。これにより膨大な既存の通信回線設備を有効利用できるようになることは重要である。

なお、ISDN 規格の 1.5Mbps のデジタル回線サービスを NTT では INS ネット 1500 というサービス名称で、1 本の光回線を用いて 23 本の B チャンネルと 1 本の D チャンネルを提供するが、事業者向けであり一般家庭を対象としていない。

INS ネットの加入数は 2001 年度にピークを迎えるが、ブロードバンド回線の普及とともに減少の一途をたどり、2014 年度にはピーク時の半数以下の加入数となっている (図 5)。

3.1.3. ADSL [15, 16]

Asymmetric Digital Subscriber Line (非対称デジタル加入者線) の略称である。既存のアナログ電話回線を使って高速データ通信サービスを実現する技術であり、下り (電話局→家) と上り (家→電話局) の通信速度が異なる。前記 3.1.1 のモデムを使用したデジタル通信でも、既存のアナログ回線を使用するわけであるが、その違いは利用する周波数が異なることである。電話回線用モデムは音声対応の 0.3KHz～3.4KHz の周波数帯域を使用するのに対して、ADSL ではこれよりもかなり広い周波数帯域である 26KHz～1MHz を使用する。ADSL で使用する変換装置は ADSL モデムと呼ばれる。サービス開始は 2000 年 12 月である。仕様上の最大回線速度は ADSL サービスが開始当初の 2001 年頃は、例えば上り 512Kbps、下り 1.5Mbps であり、その後技術改良が進み、現在では下り 47Mbps、上り 5Mbps のサービスもある。

上りと下りで回線速度が非対称で大きく異なる理由は、既存のアナログ回線を使用して高速通信を実現するのは技術的に厳しいため、利用者のブロードバンド回線の使用ケースを考慮して設定したのである。一般住宅において利用者はセンターへ検索要求やコンテンツ要求といった利用が多いと想定され、上りのデータ量は少ないが下りは大容量データが送られるからである。

ADSL で実際に利用できる回線速度は主に次の事項に依存する。

- ・利用者宅から電話局までの距離
- ・ISDN 回線の近接 (電話回線は束になっているが、当該回線に近接していると悪影響を受けることがある)

このため電話回線を提供する NTT では、線路情報と参考性能データを提供する Web サイトを公開しており、ADSL の利用を検討する際の参考情報となる。線路情報は線路情報開示システムで提供され、既設の電話回線の「線路距離長」と「伝送損失」である。電話番号を入力すると表示される (図 6)。

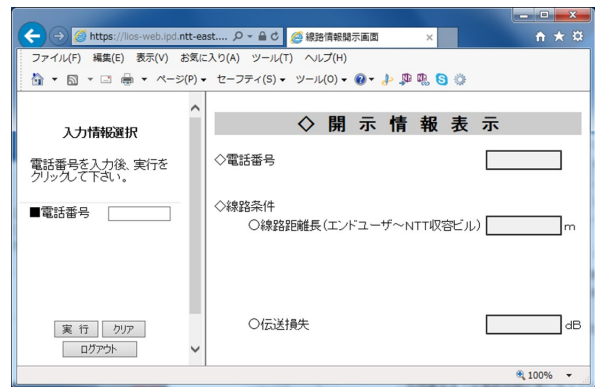
- ・線路距離長：利用者宅から NTT 収容ビルまでの電話回線の長さ
- ・伝送損失：利用者宅から NTT 収容ビルまでの信号の劣化度合いを示す値

また、ADSL の回線速度についての実測データを表示するサイト (フレッツ ADSL 速度チェックコーナー：図 7) では、伝送損失と回線速度の関係図が参考となる。

ADSL で実際に実現できる回線速度は、例えば回線条件が良い、即ち伝送損失が小さい (電話局までの距離が 1Km 程度と短い) 場合に規格値の 6 割程度を実現できるものである。ち

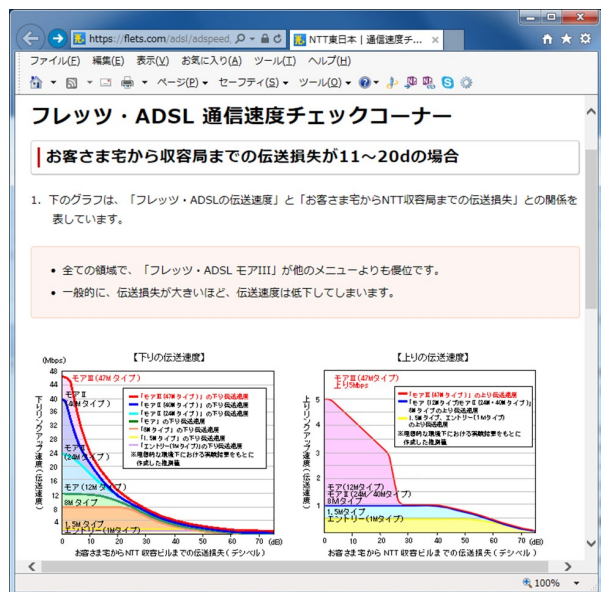
なみに 2001 年当時、最大回線速度 256Kbps の契約で筆者が実験したところ (電話局までの距離が約 3Km)、実測値は 80Kbps 程度である上、接続が不安定でたびたび切断してしまい再接続が必要という状況であった。

ADSL は 2000 年から各社でサービスが開始され、加入者数は 2005 年度に最盛期となり、一般住宅への高速回線の普及を牽引したが、FTTH の普及とともに減少し、2014 年度には最盛期の 1/4 へと大きく減少している。ソフトバンクは 2000 年代当初、ADSL によるインターネットサービス普及に非常に積極的であり、駅前や繁華街で ADSL モデムを無料配布して契約増を図る取組みをした。利用者宅までの有線回線を保有しないソフトバンクは、まず既存回線の活用をめたのである。一方 NTT は光回線サービス (FTTH) を本命としていたため、ADSL には消極的であった。NTT は 2016 年 6 月 30 日でフレッツ ADSL の新規申込みを終了する旨を 2015 年 7 月 31 日に発表している [17]。ADSL は既存の電話回線を有効利用した有用な技術ではあるが、過渡的な技術である。



<https://lios-web.ipd.ntt-east.co.jp/LiosApp1/home/index.jsp> より

図 6 線路情報開示システム



https://flets.com/adsl/adspeed/check_02.html より

図 7 フレッツ ADSL 速度チェックコーナー

3.1.4. CATV [15]

CATV は cable television または community antenna television の略である。同軸ケーブルを使用してテレビ番組

や映画などを各家庭に配信するサービスとして始まり、現在ではインターネットアクセスや電話といった双方向型のサービスも提供している。

同軸ケーブルによる高速回線サービスは、ADSLやFTTHよりも早く1996年に始まる。同軸ケーブルは周波数帯域が広いTV信号などを確実に通すことができるため、データ通信を行う周波数をADSLに比較して広く取れるので、高速で安定した高速回線サービスを実現できる。利用者宅に設置するモデムをケーブルモデムという。

最大回線速度は、2000年代は例えば下り30Mbps、上り1Mbpsであり、現在は下り160Mbps、上り10Mbpsのサービスメニューも提供されている。CATVは映像配信がメインであるため、緩やかではあるが加入数は現在でも増加している。

CATVは幹線部には光ファイバを使用し、利用者宅の近くに設置された中継装置から利用者宅までを同軸ケーブルとする方式(FTTN: fiber to the nodeと呼んでいる)が採られている。

3.1.5 FTTH [15, 16]

FTTHはFiber To The Homeの略である。光ファイバは石英ガラスを原料としたケーブルであり、レーザー光を使用する。光は電波に比較して周波数が高く広帯域を利用して効率的に大容量データを高速に伝送することができる。光ファイバによる通信は2000年代以前には通信事業者や企業内の幹線として利用されてきたが、NTTにより2001年にFTTHという名称のもと、一般住宅への高速回線サービスの提供が開始された。既存の電話回線とは別に、新たに光ケーブルを利用者宅まで引き込む必要があるため、敷設費用と敷設時間を要するという課題があり、普及には10数年の時間を要した。回線速度は、当初は100Mbpsであったが、現在では1Gbpsのメニューも提供されており、有線におけるブロードバンド回線の本命である。現在ではNTTグループのみならず、KDDIグループ、ソフトバンクグループなど各社からサービス提供されている。

3.2. 無線

無線通信のサービスとして、携帯電話、PHS、AXGP、Mobile WiMAXがある。携帯電話サービスはスマートフォンを中心として現在では4G(LTE, LTE-Advanced)でブロードバンドが提供されている。また、MANの位置付けであるAXGPとMobile WiMAXはBWA(Broadband Wireless Access: 広帯域移動無線アクセスシステム)と分類されている[18]。

3.2.1. 携帯電話(1G~4G) [19, 20]

移動通信は概ね10年毎に方式が発展してきており、各方式をX世代と表現している。日本における移動通信は、1979年のアナログ方式の自動車電話サービスに始まり、1985年には肩掛け式のショルダーホンサービス(重量3Kg)が提供されるが、サービスエリアも限られて(主要道路沿いのみ)おり公的機関や企業などの利用を想定したものであった。第1世代(1G)の携帯電話サービスは1987年に登場(電話機の例:1989年で640g, 400cc)するが、サービスエリアの制約と費用面から一般の人が利用するようなものではなかった。2000年9月にサービスは終了した。

1993年にデジタル方式の第2世代携帯電話サービス(2G)が始まる。このとき提供会社のNTTは携帯電話サービスの今

後の普及・発展に向けて2つの対策を取った。一つ目はアンテナ設備(基地局)を線状から面状に配置を拡大した。自動車電話の利用場所は道路であるため、アンテナ設備は道路沿いに設置しており、1Gでもこの自動車電話時代のアンテナ設備の配置を基本的には引き継いでいたのである。従って主要道路から遠く離れると電波が届かなくなり、サービスの利用に支障をきたす。二つ目は契約時の保証金(10万円)を廃止した。1Gまで電話機はレンタル制であったためである。また、翌年の1994年には端末のレンタル制を廃止するとともに、新規加入料を45,800円から36,000円へ値下げし、数次の値下げの後に1996年には無料となる。これらにより携帯電話は一般の人が容易に利用できる通信サービスとなっていく。2Gのサービス終了は、ソフトバンクは2010年3月、NTTドコモは2012年3月、KDDIは2012年7月である。データ通信の回線速度は初期には9.6Kbps(PDC方式)、その後には28.8Kbps(サービス名:DoPa)となる。

2001年には携帯電話の高速・高品質な第3世代携帯電話サービス(3G)[21]が始まる。国際電気通信連合(ITU)においてIMT-2000という名称で標準化されたが、2グループ5方式の複数の規格からなり規格が異なる端末やネットワークでは通信できない。2Gが日本、米国、欧州などで別々に規格化されたため、互換性がないという問題があったにも関わらず、3Gでも実質的に複数規格が併存することとなった。日本ではNTTドコモとソフトバンクがW-CDMA方式を、またKDDI(au)がcdma2000方式を採用して今日に至っている。これらの方式間で通信会社を変更する場合には携帯端末を新たに用意する必要がある。3Gの規格の回線速度は2Mbps(室内)、384Kbps(歩行時)であり、2001年10月にまずNTTドコモがサービスを開始し、モバイルにおけるブロードバンドの幕開けとなる。

2006年には、より一層の高速化が図られた第3.5世代(3.5G)のサービス開始となる。W-CDMA方式では改良版であるHSDPA方式が導入されて、まず下り3.6Mbpsが提供され(その後規格上の最大値である14.4Mbpsに)、またcdma2000方式でも高速化が行われる(規格上の最大値9.3Mbps)。

2010年には第4世代携帯電話サービス(4G)[22]が始まる。3Gとは異なる技術(OFDMとMIMO)が用いられ、2010年にLTE(Long Term Evolution)(規格値:下り300Mbps)、2015年には更に高速化したLTE-Advanced(規格値:下り3Gbps)という一般人にはわかりにくい名称で提供されている。LTEは当初、第3.9世代(3.9G)と呼ばれていたが、大幅に高速化されていたため、4Gとして呼称してよいこととなった。4Gのサービス開始当初の2010年12月の最大下り速度は75Mbpsであったが、2015年12月時点では300Mbpsとなっている。

3.2.2. PHS [19]

Personal Handyphone Systemの略であり、簡易型携帯電話とも呼ばれ、コードレス電話を屋外に持ち出すという発想から日本で誕生した通信方式である。小電力であり基地局は半径500m以下をカバーする方式であるが、利用費用が安くまた音質も良かったことから加入者数を伸ばす。通信距離から見るとMANの位置付けである。1994年にサービス開始し、当初は3社(DDIポケット[その後ウィルコム、そして現在のワイモバイルへ]、NTTパーソナル、アステル)が競争して、最盛期の1998年には673万加入となるが、2G携帯電話の普及とともに加入者数は減少する。PHSではPIAFSという規格

でデータ通信を1997年に32Kbps,その後64Kbpsへ高速化した。

現在ではワイモバイル(ソフトバンクグループ)の1社のみがサービスを提供しているが,2015年春以来,新端末機種の記事がないことや4Gへの機種変更キャンペーンを行うなど先細り傾向ではある。ワイモバイルでは非常に特徴的な端末を提供(例:ハート型のHeart 401AB,世界最小軽量[なんと33g]のストラップフォンWX03A)〔図8〕して携帯電話との差別化を図っている。



世界最軽量 33g
サイズ 32x70x10.5mm

(a) ストラップフォンWX03A



待受時にはハート型、使用時には
ストレート型に変形させて使用

(b) Heart 401AB

<http://www.ymobile.jp/lineup/>より

図8 特徴的なPHS端末

3.2.3. AXGP

次世代PHSの位置付けであるXGP(eXtended Global Platform:2007年,20Mbps)規格を改良したAXGP(Advanced eXtended Global Platform:2010年,110Mbps)に基づく高速通信サービスである。サービスは2011年に開始され,回線速度は当初110Mbpsであったが2014年には最大165Mbpsも可能となった。本方式によるサービスは現在,Wireless City Planning社(ソフトバンクグループ)が運用し〔23〕,ソフトバンクはMVNO〔*1〕としてSoftBank 4Gという名称でサービスを提供している。

〔*1〕Mobile Virtual Network Operator(仮想移動体通信事業者)の略称で,他社から無線通信ネットワークを借用してサービスを提供する通信事業者のこと。種々の料金プランや特別なサービスを工夫することで利用者にアピールしている。

3.2.4. MobileWiMAX〔24〕

都市圏レベルの範囲を対象とするMANの高速無線通信技術としてIEEE(米国電気電子技術者協会)の802.16委員会が2005年12月に規格化(名称IEEE 802.16e:規格値は下り75Mbps)された。日本ではUQコミュニケーションズ(KDDIグループの会社)が,UQ WiMAXというサービス名称で,2009年7月にサービスを開始し,最大下り速度は40Mbpsである。IEEEではその後,より高速化を図ったIEEE 802.16m(規格値は下り300Mbps)が2011年3月に制定され,UQコミュニケーションズは2013年10月から,UQ WiMAX2+という名称で最大下り110Mbpsのサービスを開始した(現在の最大下りは220Mbps)。国内ではMobileWiMAXのネットワークを構築しているのはUQコミュニケーションズのみであるが,MVNOとしてサービス提供している事業者は,家電量販店,ISP,システムインテグレータなど18社ある〔25〕。

MobileWiMAXを利用する場合は,本機能を搭載したパソコンか,WiMAXルーターを使用することになる。搭載パソコン

は主にビジネス向け機種(例:Let's note SX3)である。WiMAXルーター(例:図9a)はWi-Fi機能を有しており,スマートフォン,タブレット,ノートパソコンを無線で接続する。ブロードバンド回線をADSLなどの有線ではなく無線で一般住宅に導入できる。UQコミュニケーションズではWiMAX2+とLTE(au)の両方に対応したモバイル・ルーターも提供しており(例:製品名Speed Wi-Fi NEXT W02),通信環境に応じて選択でき,KDDIグループという企業の特長を活かした製品である。また,USBスティックタイプのアダプターがあり(例:図9b),デスクトップパソコンやノートパソコンに接続することで容易にMobileWiMAXを利用できる。

MobileWiMAXの規格はその後のITUにおいて,IEEE 802.16eは3Gとして,またIEEE 802.16mは4Gの一方式として位置付けられた。ITUは携帯電話網のためのいわゆるWANの標準化を行う機関であるが,MANの位置付けであるMobileWiMAXの規格も取り込んだのである。通信分野は相互接続性が特に重要であるが,標準規格は一つというものではなく,ITUはその立場や適用地域やサービス主体などを考慮した判断をしていると言える。



(a) WiMAXルーター



(b) USBスティックタイプ

<http://www.uqwimax.jp/service/product/>より

図9 モバイルWiMAX用の機器

3.2.5. LPWA〔26〕

IoTの分野で,バッテリー消費量が少なく,無線基地局が広範囲(WAN)の機器をカバーできる通信技術領域のことをLPWA(Low Power Wide Area)またはLPWAN(Low Power Wide Area Network)と呼んでいる。省電力広域ネットワークともいう。センサーや機器制御など,1回の通信量とその頻度が少ない領域では,通信に関わるバッテリー消費が少なく済み長期間にわたってメンテを要しない。道路・橋などのインフラ,電気・水道・ガス,自販機,ドア開閉など,遠隔監視・遠隔機器制御を対象とする。既に3つの会社が新技術を開発し欧米でサービスを展開しており,また携帯電話の標準化機関3GPPにおいても標準化中である(表2)。対象とする通信速度は100bpsから100kbpsであり,従来の画像情報などブロードバンド化が必要であったサービス領域とは異なり今後が大きく期待される新たな領域である。

表2 LPWAの各種方式

名称など	SIGFOX	LoRa	Ingenu	NB-IoT
推進団体など	仏 SIGFOX	LoRa Alliance	米 Ingenu	3GPP
最大伝送速度	100bps	250~50kbps	41kbps	100kbps
利用周波数	免許不要帯 868MHz, 915MHz など		免許不要帯 2.4GHz	免許帯域 検討中

4. 屋内線の状況

4.1. 有線

4.1.1. イーサネット [27]

LANの代表的技術であるイーサネット (Ethernet) は1970年代に米国 Xerox 社で開発が進められ、同軸ケーブルを用いた10BASE5と呼ばれる仕様 (回線速度10Mbps) はIEEE802.3として1983年に規格化された。この規格はケーブル直径が10mmで扱いにくく、直径5mmの同軸ケーブルを使用した10BASE2が登場する。そして1990年には取り扱いが容易なツイストペアケーブル (UTPケーブル) を用い、集線装置であるハブを中心にスター型に接続する10BASE-Tの規格が作られて急速に普及が進む。その後、回線速度の高速化を高速化した100BASE-T (100Mbps: ファーストイーサネット、1995年)、1000BASE-T (1Gbps: ギガビットイーサネット、1998年)の規格が開発され、パソコンにはイーサネットが有線LANの標準機能として搭載され、今日に至っている。また、幹線用のLANとしては、光ファイバを用いた10Gbpsや100Gbpsの規格もある。イーサネットはIEEE802.3の規格として登場して以来、高速化を遂げながら40年以上にわたってICT分野で大きな役割を果たしてきている。

企業などビジネス用途ではデスクトップパソコンなどのIT機器をネットワーク化するために、UTPケーブルや光ファイバケーブルを張り巡らせて使用してきた。一方、一般住宅ではUTPケーブルを各部屋に配線することは現実的ではなく、例えばADSLモデムとパソコンや無線LANルーターといったIT機器間の短距離 (1-2m) 接続に使用することがメインである。また、オフィスにおいてもノート型パソコンと無線LANの普及に伴い、イーサネットをパソコンに直接つないで使用することが急速に減少している。

4.1.2. 電力線通信 (PLC) [28]

電力線を通信回線として用いて高速な情報通信を実現する方式でありPower Line Communicationの略である。100Vの電力供給はもちろんそのまま利用できる。電気の周波数は50Hzあるいは60Hzであるが、電力線通信で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月に利用が解禁となった。最大速度は200Mbps程度の規格であり、電力線通信を実現する装置をPLCモデム (またはPLCアダプター) という。情報家電への適用に向けて家電メーカーの期待は大きかったが、普及に至らなかった。当初、3方式 (HD-PLC, HomePlug, UPA) が存在したが、これらの方式間で相互接続性がないことや漏洩電磁波への影響を考慮した条件が厳しく接続安定性に問題があった。2008年当時の評価実験 [29] によれば、実効回線速度は約15Mbps~140Mbpsとなり、使用コンセント位置によるバラつきが大きい。

その後方式改良が行われ (最大回線速度240Mbps, 耐ノイズ性の向上)、2010年10月にはIEEE1901という名称の国際的な規格 (HD-PLC, HomePlugの2方式) となる。国内ではこの規格に基づくPLCモデムが、2012年にHD-PLC方式はI-O DATA社から、HomePlug方式はバッファロー社から発売されたが、これ以降は新たな製品は出ていない。なお、HD-PLC方式の推進主体であったパナソニックは、2006年当時はPLCモデムを製品化して積極的な普及活動を行っていたが、今回のIEEE1901については製品化しなかった。現在のところPLCは、一般住宅内ではほとんど使用されていないと思われる。

PLCモデムとパソコンなどとの機器の接続は、イーサネットが基本であるが、無線LAN機能を搭載しているPLCモデム機種もある。(例: バッファロー社, WPL-05300/2, HomePlug方式, 2012年) 鉄骨構造の2・3階建て住宅などで無線LANの電波が届きにくいフロア間をPLCで繋ぎ、各フロア内では無線LANで情報機器を接続することを狙っている製品である。

[補足]

(1) パナソニックは、PLCの半導体技術を一括で他社にライセンス供与することとなった。これまでは一部技術だけだったが、PLCで使う通信機器の心臓部の半導体回路すべてを対象にする。工場ならば生産ラインの計測機器からデータ収集が可能になる。半導体のライセンス収入などで事業拡大を狙う [30]。

(2) ブルーモウステクノロジー社 (青森県のベンチャー企業) は、機器組み込み用の低速PLC (最大通信速度7.5Kbps. 技術規格の詳細は不明) を活用したアプリケーション (例: メータの監視・制御など) の開発を行っている。使用する周波数が低いいため回線速度は非常に低いが、屋内や屋外でも使えて信号到達距離も長い [31]。

4.2. 無線

4.2.1. 無線LAN (Wi-Fi) [32]

無線LANは有線であるイーサネットを用いずにLANを構築できる技術であり、IEEEの802.11ワーキンググループで1990年代後半から今日に至るまで検討が進められている。この規格による無線LANの呼び方であるが、現在では一般にWi-Fi (Wireless Fidelityの略) という名称が広く普及している。もともとは本規格に基づく製品の相互接続性を保証するロゴの表示であったが、それが一般利用者には無線LANのことを示すものとして扱われるようになったのである。

住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パソコンやゲーム機器への無線LAN機能の搭載により増加した。無線LAN規格は1999年に制定された最大速度11MbpsのIEEE802.11bに始まり、現在までに表3に示す規格がある。最初のIEEE802.11bから最新のIEEE802.11acまで約15年、最大回線速度は約600倍に拡大している。各規格に対応した無線アクセスポイントである無線LANルーターや通信デバイスは、正式規格になる概ね1年程度前のドラフト段階で製品化されている。

無線LANに割り当てられている周波数帯域は2.4GHzと5GHzの2つの帯域である。電波は周波数が高いほど空気中での伝搬損失が大きく、また障害物に対する減衰も大きい。このため2.4GHzの方が5GHzよりも電波が届きやすい。一方、周波数5GHz帯の方は通信帯域が広いので、2.4GHz帯よりも高速 (大容量) にすることができる。

2.4GHz帯はISM (Industry-Science-Medical) 帯と呼ばれ、産業・科学・医療の領域で用いられる。一般家庭内でISM帯を使用する電気機器の代表として、電子レンジ、デジタルコードレス電話がある。電子レンジは電波を高出力するので漏洩対策は取られているが若干の漏れがあるため、動作中にそばでノートパソコンやスマートフォンから無線LAN経由でインターネットアクセスを行うと表示が遅れる、接続が切れるといった影響を受けることがある。また、BluetoothとZigBeeもこの帯域を使用するので混雑する可能性が高い周波数帯域ではある。

無線 LAN の 5 つの規格はいずれも現役として使用されており、ノートパソコン、スマートフォン、タブレット、ゲーム機に搭載され、当初は IEEE802.11b と IEEE802.11g のみが多かったが、現在では最新の IEEE802.11ac を除けば概ね搭載されている。スマートフォンにおいても、例えば iPhone6s では IEEE802.11ac (866Mbps) をサポートしている。

ここで無線 LAN の高速化技術について簡単に触れる。11a や 11g は 54Mbps だが、11n では 72.2Mbps (アンテナ 1 本時) に伝送速度を高めており、このためにサブキャリア数の増加、高い符号化率の導入、ショートガードインターバルの技術を適用している。11n では更なる高速化のために、チャンネルボンディング (周波数のチャンネルを 2 つ束ねて帯域幅拡大) と MIMO (複数アンテナを使用して同時伝送。最大で 4 本により 4 ストリーム同時) の 2 つの技術を使用する。無線 LAN ルーターがアンテナを 4 本実装して 600Mbps をサポートしている。端末側のアンテナが 2 本だとその端末の最大速度は 300Mbps となるので注意が必要である。11ac では、帯域幅 (40MHz→160MHz)、変調記号 (64QAM→128QAM)、MIMO (4→8) のように拡張して、一層の高速化を図っている。

住宅での Wi-Fi の電波の到達範囲を広げるために無線 LAN ルーターに相互接続機能 (WDS) を有する機種や電波を中継する専用中継機 (例: バッファロー、WEX-733DHP、コンセントタイプ) がある。これにより 2 階建て住宅での他フロアや無線 LAN 親機から遠い場所など Wi-Fi が繋がりにくい場所で、Wi-Fi が使用できるようになる。

また、デスクトップパソコンに、USB コネクタ接続タイプの無線 LAN 子機を接続して Wi-Fi を利用することができる。デスクトップパソコンは有線であるイーサネットが標準であり、パソコンの設置位置の制約やケーブル敷設が難しいことがあるので有用である。

表 3 無線 LAN の規格

IEEE	制定年	周波数	最大速度	製品速度
802.11b	1999	2.4GHz	11Mbps	同左
802.11a	1999	5GHz	54Mbps	同左
802.11g	2001	2.4GHz	54Mbps	同左
802.11n	2009	2.4GHz	600Mbps	同左
		5GHz		同左
802.11ac	2014	5GHz	6.93Gbps	1.7Gbps

4.2.2. Bluetooth [33]

無線による PAN の代表的な技術として Bluetooth があり、例えば、マウスやキーボードとパソコン、携帯電話 (スマホ) とヘッドセット、オーディオ機器とヘッドホンを無線でつないで、対象機器の取り扱いの容易化やハンズフリーを実現できる。

IEEE802.15.1 タスクグループで 1999 年 (Ver. 1: 回線速度 721Kbps) に規格化され、使用周波数は ISM 帯の 2.4GHz である。その後、現在主に使用されている Bluetooth 2.0+EDR (Enhanced Data Rate: 回線速度 3Mbps) が 2004 年に制定された。また、身の回りの小型機器での長期間のバッテリー駆動のため、省電力化を狙いとした Bluetooth 4.0 (BLE: Bluetooth Low Energy) が 2009 年に発表された。Bluetooth

マウスでは約 1 年、電池交換不要となっている。Bluetooth Low Energy 対応の製品は「Bluetooth Smart」というブランド名で呼ばれている。表 4 に Bluetooth の規格を示す。

Bluetooth は多様なデバイス機器の接続への適用を想定しており、情報機器固有の特性に最適化するため、プロファイルと呼ぶ仕様を設けている。従って、接続する Bluetooth 機器同士が、同じプロファイルに対応していることが必要となる。基本プロファイルの他、HID (キーボードやマウス)、HSP (ヘッドセット)、VDP (ビデオデータ)、DUN (ケータイからインターネット接続) など 20 個以上ある。

当初は Bluetooth 機能を有した機器は少なく、一部のノートパソコンや携帯電話などに搭載されたが、2000 年代は Bluetooth の利用は限定的であった。2010 年代に入ってからノートパソコンはもちろんのこと、スマートフォン、タブレットなどに搭載されるようになり、特にスマートフォン (例: iPhone6/5, Xperia Z3) に搭載されてから、各種の利用法が花開きつつある。

表 4 Bluetooth の主な規格

Ver.	特 徴	最大速度
1.1	初期の普及版	721kbps
2.0	転送速度向上 EDR (Enhanced Data Rate)	3Mbps
3.0	転送速度向上、省電力化	24Mbps
4.0	大幅な低消費電力 (Bluetooth Low Energy=BLE)	1Mbps

4.2.3. ZigBee [33]

無線による省電力なセンサーネットワークのための技術であり、IEEE802.15.4 タスクグループで 2003 年 (回線速度 250Kbps) に規格化された。使用周波数は Wi-Fi や Bluetooth と同じく、国内では ISM 帯の 2.4GHz である。

一般家庭におけるセンサーネットワークは、防犯 (窓などに設置の人感センサーによる通知)、防災 (温度、煙の通知)、ヘルスケア (脈拍、血圧などの測定、異常時の通知)、省エネ (空調、照明器具、電力メーター)、家電機器の遠隔生業や保守、などでの利用がある。IoT (Internet of Things) や M2M (Machine to Machine) といったモノや機械同士を繋げて情報交換し、新たな価値を提供するサービスへの期待は大きい。その中心技術を構成する一つがセンサーネットワークである。センサーネットワークでは各センサー機器が生成するデータ量は少ないが、多くの機器を扱うことになる。また、電池を用いて数か月から数年動作させることが必要となることが多い。

現段階では、ZigBee を用いた製品は未だ限定的であり、発展・開発途上にあるといえる。センサーネットワーク関係のアプリケーションは非常に多くの可能性を秘めており、ZigBee を活用するための通信モジュールも 2012 年頃から発売されている。具体例として、XBee、超小型無線モジュール TWE-Lite がある。

5. おわりに

住宅の通信環境を対象として、外線と屋内線という観点から通信サービスや技術の利用形態と概要を述べた。1970 年代に始まった文字通信から、ファイルや画像といった大容量通

信のために回線のブロードバンド化が有線・無線ともに進展してきた。一方、現代のIoTというキーワードで示されるアプリケーションでは、低速でよいが低消費電力としたいものがある。単純に回線速度だけでみれば、要求条件は100bpsから1Gbpsまで、1,000万倍のスペクトラムがあるということである。

外線は、有線または無線が住宅タイプにより選択される。屋内線は、ユーザーと一緒に移動して使用する機器（スマートフォン、タブレット、ノートパソコン、ウェアラブル機器）では無線となる。また、家電機器（AV機器、冷蔵庫、電子レンジ）、省エネ機器（空調、照明器具、電力メーター）、防災機器（温度、煙）、防犯機器（窓などの人感センサー）といった住宅内の固定機器では、無線である必要はないが、有線の場合には設置場所と配線を考慮した選択となる。

住宅内においては今後、IoTを対象としてPAN（パーソナルエリアネットワーク）やLPWA（省電力広域ネットワーク）関係のサービスや技術の進展が期待される。

〔付記〕

本稿は平成26年度専修大学国内研究員の研究成果の一部である。貴重な機会を提供していただいた大学当局に深く感謝申し上げます次第である。

参考文献

[1] <https://www.nttdocomo.co.jp/service/tethering/about/index.html>, 2016年6月12日参照

[2] <http://www.au.kddi.com/mobile/service/smartphone/tethering/type/>, 2016年6月12日参照

[3] <http://www.softbank.jp/mobile/network/tethering/>, 2016年6月12日参照

[4] 村上蒼, “コグニティブ無線技術の概要と標準化動向”, ITU ジャーナル, Vol. 44 No. 12, pp.11-13, 2014年12月

[5] Wi-Fi Matic - Auto WiFi On Off, <http://weekly.ascii.jp/elem/000/000/310/3101115/>, 2016年6月12日参照

[6] “TR-J190 ホームネットワークのアーキテクチャ概要 第1.0版”, TTC 技術レポート, 2008年5月, 社団法人 情報通信技術委員会, http://www.ttc.or.jp/jp/document_list/pdf/j/TR/TR-J190v1.pdf, 2016年6月12日参照

[7] 丹 康雄, “ホームネットワークの現状と標準化動向”, 電子情報通信学会, 通信ソサエティマガジン B-plus, 2012 秋号, No.22, pp.90-98, 2012年9月

[8] “DLNA”, <http://www.dlna.org/>, 2016年6月12日参照

[9] “ECHONET”, <https://echonet.jp/>, 2016年6月12日参照

[10] 総務省, “電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表”, http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000104.html など, 2016年6月12日参照

[11] 井上伸雄, “通信・ネットワーク講座入門”, 電波新聞社, 2003.Senshu, S., Book Title, Publisher, 2012.

[12] 米田正明, “電話はなぜつながるのか”, 日経 BP 社, 2006.

[13] NTT, “PSTN のマイグレーションについて～概括的展望について～” (2010年11月2日), https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/pdf/20101102_01_01.pdf, 2016年6月12日参照

[14] 沖見, 加納, 井上, “ISDN I シリーズ国際標準とその技術”, 電気通信協会, 1987.

[15] 諏訪, 渥美, 山田, “情報通信概論”, 9章, 丸善, 2004.

[16] 刀根勉, “ネットワークはなぜつながるのか 第2版”, 日経 BP 社, 2007.

[17] NTT, “「フレッツ・ADSL」の新規申込受付終了について”(2015年7月31日), https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20150731_02.html, 2016年6月12日参照

[18] 総務省, “広帯域移動無線アクセスシステム”, http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/system/ml/area_bwa/, 2016年6月12日参照

[19] “NTT ドコモ 10年史 モバイル・フロンティアへの挑戦”, NTT ドコモ, 2002年10月1日

[20] 中嶋, 有田, 樋口, “携帯電話はなぜつながるのか 第2版”, 日経 BP 社, 2012.

[21] “IMT-2000 サービス特集”, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol.9, No.2, 2001.

[22] “LTE/LTE-Advanced を支える移動通信技術小特集”, 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.3, 2013.

[23] <http://www.wirelesscity.jp/service/index.html>, 2016年6月12日参照

[24] 庄納 崇, “WiMAX 教科書”, インプレス R&D, 2008.

[25] UQ コミュニケーションズ, “主な WiMAX 提供会社”, <http://www.uqwimax.jp/mvno.html>, 2016年6月12日参照

[26] “特集 5G を待っていたら遅い! IoT 通信を巡り新旧対決”, 日経コミュニケーション, 2016年4月, pp.12-27

[27] “イーサネット 40年の技術”, 日経ネットワーク, no.157, pp.48-59, 2013年5月

[28] 高速電力線通信推進協議会(PLC-J), “PLC システム概要”, http://www.plc-j.org/about_plcsys1.htm, 2016年6月12日参照

[29] 渥美幸雄, “一般住宅内ブロードバンド通信技術の評価”, 専修大学情報科学研究所 所報 No.71, 2009.

[30] “パナソニックが一括供与 電力線通信向け半導体技術”, 日本経済新聞・朝刊, 2014年10月30日付

[31] <http://www.ozupad.com/>, ブルーマウステクノロジー社, 2016年6月12日参照

[32] 西山高浩, “無線 LAN/Wi-Fi の通信技術とモジュール活用”, CQ 出版, 2014.

[33] 阪田史郎, “M2M 無線ネットワーク技術と設計法”, 科学情報出版, 2013.