

有線と無線、さまざまな技術が使われる



短距離通信ネットワーク技術の現状と将来

永井 正武

短距離通信ネットワーク技術が注目されている。CPUバス直結で済む数cmの距離より遠く、長距離の通信というほどではない「数m」という距離は、人の生活圏に近い場所に存在する距離である。ユビキタス・コンピューティングを実現するためには、この距離間での通信技術が重要になる。

そこで本章では、有線、無線をはじめとした、さまざまなキーワードを元に短距離通信ネットワーク技術を読み解くことにする。
(編集部)

1 ラスト1mをつなげる！ 短距離通信ネットワーク技術

● ユビキタス時代の到来

1988年にゼロックス・パロアルト研究所の故マーク・ワイザー(Mark Weiser)氏によって、「ユビキタス・コンピューティ

ング(ubiquitous computing)——どこにでもあまねく存在(偏在)するコンピュータ」の概念が提唱されて以来、この傾向の研究が活発に進められています。ユビキタス・コンピューティングでは、必要な情報が必要なときに必要な場所で提供される必要があることから、このような環境を実現するには、短距離通信ネットワーク技術が必須であるといえます。

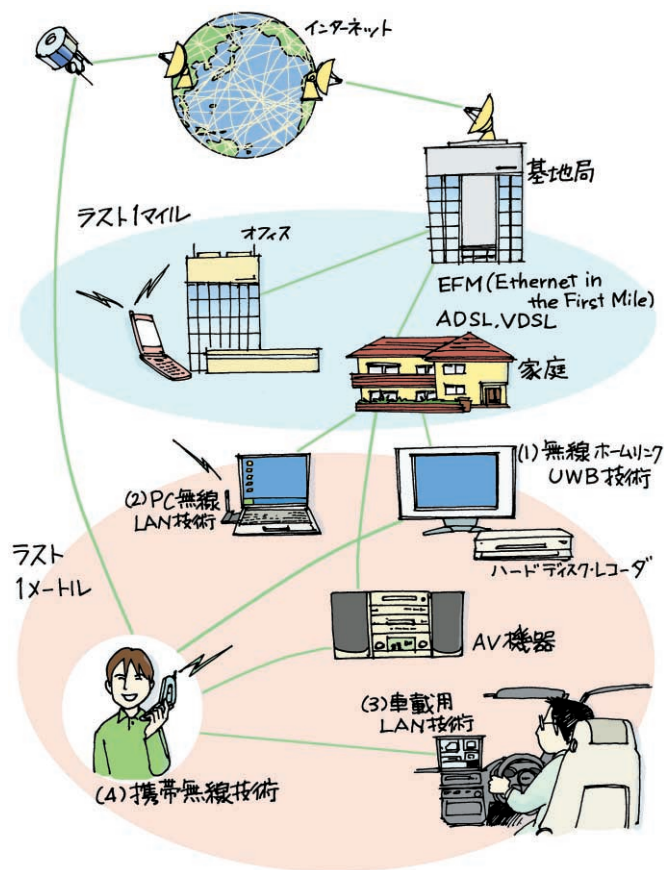
かつては電気通信の目標は、「いつでも、どこでも、だれでも通話できること」と言われていました。今ではそれだけに留まらず、情報通信の目的(目標)は、「いつでも、どこでも、だれとでもだれに何とでも通信でき、あらゆる情報を授受・共有できる」と言われ、サービスの普及・拡大の速度には目を見張るものがあります。

たとえば、IT基本戦略でブロードバンド化が推進されているラスト1マイル(基地局と家庭やオフィスをつなぐ末端アクセス回線)技術があります。IEEE802.3委員会において、EFM(Ethernet in the First Mile)では光ファイバ・ネットワーク導入上の課題といわれているLast One MileをEFMとして、利用者側の視点で取り上げ、1Gbpsを前提としたアクセス系の高速化を目的としています。

● 短距離通信ネットワーク技術の概略

上記の技術とは多少類似しますが、ラスト1mをつなげる技術課題があります。すなわち短距離通信ネットワーク技術です。この技術の解決方法には、有線方式と光無線を含む無線方式がありますが、いわゆる短距離(または近距離ともいう)通信ネットワーク技術、通信システムの無線化が近年急速に進められています。

近距離通信に関して、近距離通信規格NFCIP(Near Field Communication and Protocol)-1の標準化を目的とした第1回TG19会議が、2002年9月25日にZurich(チューリッヒ)で開催されました。NFCIP-1規格は、基本的には非接触ICとの通信互換性を備えた無線通信手段として、13.56MHzの電磁誘導結合方式によるアクティブ通信とパッシブ通信モードの二つの





通信モードを規定しています。NFCIP-2 規格は、13.56MHz の ISM バンド(産業科学医療帯：家電機器や医療機器などの広い分野で使われる)における三つの ISO/IEC 規格 18092, 14443, 15693 を共存させる規格となっています。図 1 に、NFCIP-1 と NFCIP-2 の位置づけ関係と概念図を示します。

一方、携帯電話、自動車業界指向ニーズをはじめ、環境などのデータ収集などの要求を満たすため、近距離通信ネットワーク技術に対する需要が高まっています。無線化の代表的なものとしては WWAN(携帯電話システム)があります。WWAN より短距離通信の WLAN (IEEE802.11a/b/g), WPAN (Wide Personal Area Network) の無線化技術も着々と進められており、さらに PAN の決定版として登場した UWB(Ultra Wide Band), ZigBee(無線), ワイヤレス 1394, Bluetooth, 非接触 IC カード・システム, RFID など登場しています。

車載用 LAN 規格として、CAN (Controller Area Network) と LIN (Local Interconnect Network) などが知られています。また、その通信プロトコルとして、TTP/C (Time Triggered Protocol/Class-C), TT-CAN (Time Triggered-CAN), TTP/A, Byteflight, FlexRay, TT-Ethernet などあるのが現状です。

本章では、最近注目されているこれらの短距離通信ネットワーク技術について取り上げ、その技術や標準化動向について概説します。

現在までの情報通信サービス革新の中核をなしてきた代表的な技術の一つは無線通信です。無線通信は、今後とも情報通信発展の牽引車として重要な役割を果たすでしょう。しかもその適用範囲の拡大とその技術開発による出現速度、さらには新しいサービスの多様化は驚異的です。そこで、図 2 に示すように、短距離通信ネットワーク技術について、本章では以下の四つのカテゴリに分類して概説します。

- (1) 無線ホームリンク, UWB 技術
- (2) 車載用 LAN 技術
- (3) PC 無線 LAN 技術
- (4) 携帯無線, インターネット技術



通信技術とインターフェース技術の基礎

● 従来の代表的な通信技術とインターフェース技術

まずは、ここ数十年使われている代表的な各種通信技術とインターフェース技術を表 1(p.47) に示します。

「インターフェース」は、互いに隣接する異なるシステムどうしの相互動作を規定するものです。通信ネットワークのシステム化技術として、通信技術と各種機器などを接続するインターフェース技術が使われています。

初期のころは通信技術とインターフェース技術が各社で異なり、接続の互換性が非常に悪いものでした。表 1 には今でも使われている技術が多く残っていますが、現在ではその旧来の手

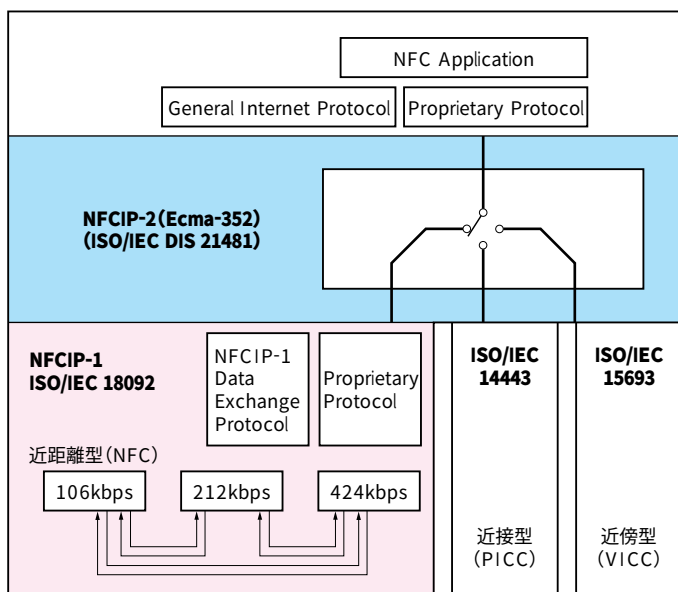


図 1 NFCIP-1 と NFCIP-2

(<http://www.itscj.ipsj.or.jp/topics/sc6wg1.html> より引用)

法がいつまでもそのまま使われているだけではなく、徐々にですがより新しい技術が導入されています。たとえば、IrDA などのように一時期ほどの勢いをなくしているものもあれば、入出力インターフェースである IEEE1394 や Bluetooth のように、新たに(別の分野である)LAN 技術の世界に参入したものもあります。大雑把ですが、以下に重要なインターフェース技術^{ちようかん}を鳥瞰して概説します。

● ハードウェアとソフトウェアのインターフェース

たとえば、ハードウェアのインターフェースは RS-232-C だけではありません。SCSI, GPIB, USB, 各種システム・バス系インターフェースなどもあります。特に組み込みハードウェア間で、数 cm ～数 m 程度の距離をつなぐためには、これまで、独自のバス規格が使われることが多くありました。そのため、非互換性の問題が大きな障害となりました。

同様に、使われるソフトウェアのインターフェースにも、ABI (Application Binary Interface: 同一アーキテクチャで動作するコンピュータ間で、アプリケーションのバイナリ互換を可能にする方法やインターフェース仕様)や TAPI (Windows でアプリケーションが電話機, モデム, FAX などを利用するための電話用 API 仕様), MAPI (Windows でアプリケーションから電子メールの機能を利用するための API 仕様), TSAPI (電話とコンピュータを結合した CTI 用 API 仕様)などの各種 API (Application Program Interface)が挙げられます。ハードウェア・インターフェース技術と同様に、互換性の重要性が認知されるようになってきました。

● 通信の基本はポイント・ツー・ポイント技術である

通信ネットワークとしては、比較的近距離のコンピュータどうしを結ぶ LAN (Local Area Network) の場合と、遠距離にあ

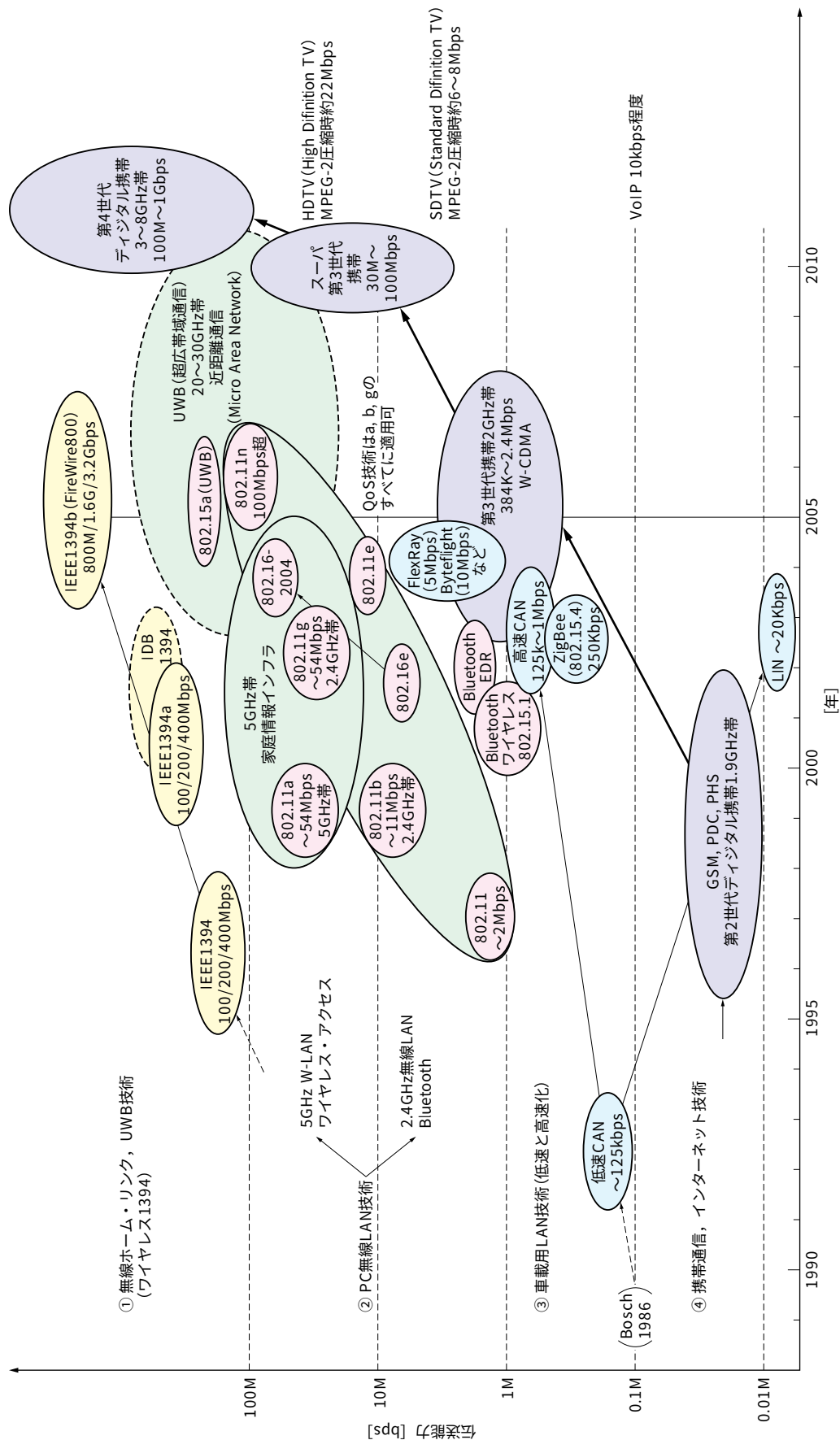


図2 近距離通信ネットワーク技術の動き



表1 通信速度順で見た代表的な通信技術とインターフェース技術

大分類	種 類	通信速度(bps)	媒 体
WAN	携帯電話(PDC/回線交換)	9600	無線
	携帯電話(cdmaOne)	下り: 6k, 上り: 14.4k	無線
	携帯電話(PDC/パケット)	28.8k	無線
	電話回線(アナログ)	下り: 56k, 上り: 33.6k	銅線
	PHS	64k	無線
	電話回線(ISDN)	128k	銅線
	電話回線(ADSL)	下り: 1.5M, 上り: 512k	銅線
	専用線(T1)	1.5M	光ファイバ
	携帯電話(W-CDMA)	2M	無線
	FWA (P-MP)	10M	無線
LAN	FWA (P-P)	156M	無線
	IrDA1.0	115.2k	銅線
	Local Talk (Apple Talk)	230.4k	銅線
	IrDA1.1	1 ~ 4M	銅線
	Ethernet (10Base-T)	10M	銅線
	無線 LAN (IEEE803.2b)	11M	無線
	無線 LAN (IEEE802.11b)	11M	無線
	TokenRing	16M	銅線
	Ethernet (100Base-T)	100M	銅線
	FDDI	100M	光ファイバ
入出力 インター フェース	Ethernet (1000Base-T)	1G	光ファイバ
	シリアル・ポート (RS-232-C)	20k ~ 115.2k	銅線
	パラレル・ポート (ECP)	2M	銅線
	パラレル・ポート (EPP)	8M	銅線
	シリアル・ポート (RS-422)	10M	銅線
	Bluetooth	~ 10M	無線
	USB1.0	12M	銅線
	IDE (ATA)	26.7M	銅線
	SCSI	40M	銅線
	Fast SCSI (SCSI-2)	80M	銅線
内部 インター フェース	EIDE (ATA-2)	133M	銅線
	Fast Wide SCSI (SCSI-2)	160M	銅線
	Ultra SCSI (SCSI-3)	160M	銅線
	Ultra ATA/33	266M	銅線
	Ultra Wide SCSI	320M	銅線
	Ultra2 SCSI	320M	銅線
	IEEE1394	400M	銅線
	USB2.0	480M	銅線
	Ultra ATA/66	533M	銅線
	Ultra2 Wide SCSI	640M	銅線
内部 インター フェース	Fiber Channel	800M	光ファイバ
	ISA バス	64M	システム・バス
	C バス	80M	システム・バス
	EISA バス	266M	システム・バス
内部 インター フェース	PCI バス	1066M	システム・バス

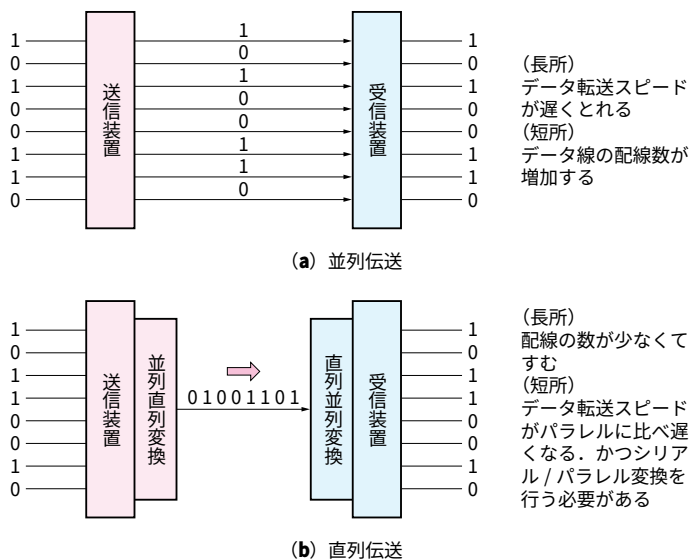


図3 データ伝送方式の比較

るコンピュータどうしや LAN どうしを通信回線を利用して接続する場合とに分けることができます。歴史的には直結方式から始まっています。次に電話回線などの既存の通信回線を用いた通信技術が進歩し、1980 年代に入ってから高速通信の LAN が普及したので、ポイント・ツー・ポイント技術とピア・ツー・ピア技術が採用されました。

データ伝送の基本はポイント・ツー・ポイントです。図3のように、並列(パラレル)転送方式と直列(シリアル)転送方式があります。並列転送の場合は8255A などのパラレル・インターフェース周辺 LSI で実現し、直列転送の場合では8250 や8251A などの UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) などのシリアル・インターフェース周辺 LSI で実現します。シリアル・インターフェースの場合は、RS-232-C による標準化の流れの中で生き残り、WAN 通信の主流を演じることができました。いまでもその基本概念は固守され、通信の基本技術として現在も大筋のまま大きく変わっていません。

たとえば、RS-232-C による DTE-DTE インターフェース技術は、図4(a)のように PC-PC 間データ転送となる(1)ストレート・ケーブル+ヌル・モデム接続の方法と(2)クロス・ケーブル接続の方法があります。そのときは、ポイント・ツー・ポイントによるテキスト・ファイル転送が基本です。同様に図4(b)に示すように、3 線式接続と5 線式接続の場合では、それぞれ異なる通信上の約束であるプロトコルが使用されます。

上記のように、2 点間を1 対1 で結ぶ方式をポイント・ツー・ポイント(P-P)方式といいます。このほかに、1 対複数で結ぶポイント・ツー・マルチポイント(P-MP: Point-to-MultiPoint)方式もあります。これらの方式はこれまでの主流でした。しかし、昨今はさらに広帯域であるとともに、基地局、交換局通信サービス業者などを介せずに、端末どうしは(自律的に)ネット

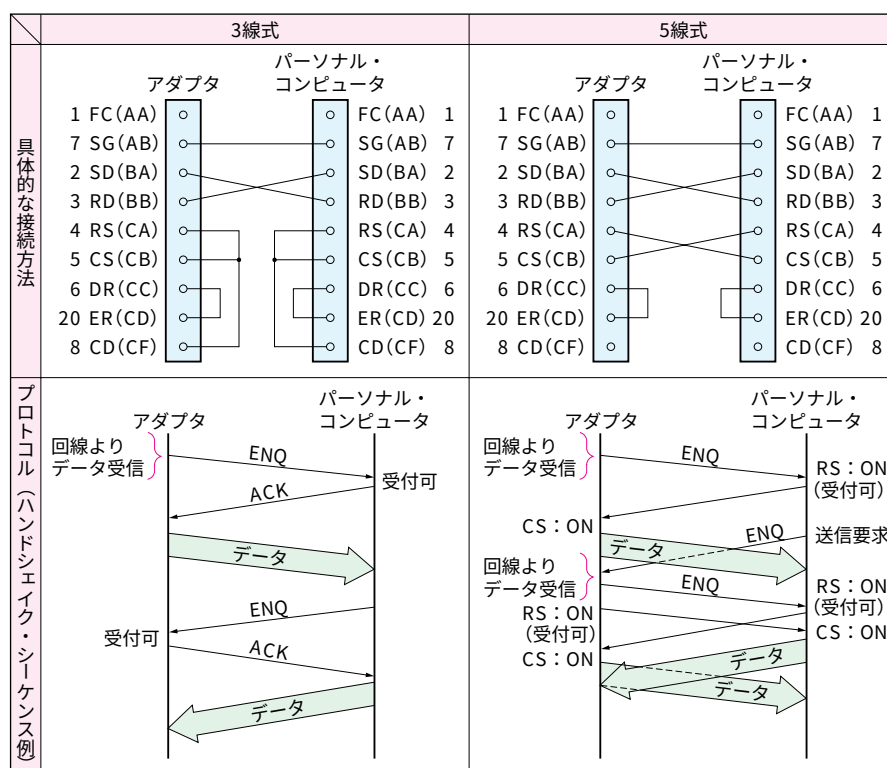
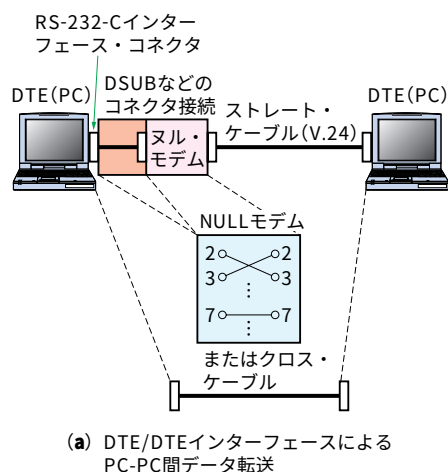
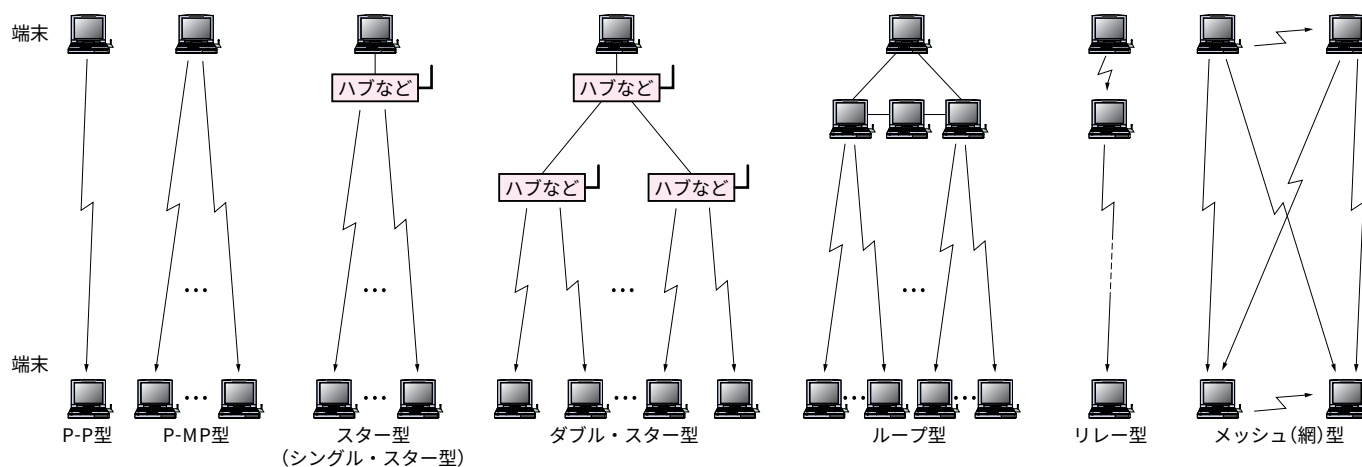


図4 RS-232-C による DTE-DTE インターフェース (非同期モード P-P 接続)



ワークを構築，通信を中継するため，P-MP方式のスター型に加え，ダブル・スター型，リレー型，メッシュ型など，トポロジ的に多様で柔軟なネットワークが望まれるようになってきています(図5)。企業内の無線LANや公衆無線LANアクセス・サービス，緊急時の代替ネットワーク，ITS(高度道路交通システム)などへの適用が検討されています。そのため，技術の標準化も待望されています。

●たとえばI²C や ARCNET とその拡張 CircLink がある

I²C (Inter-Integrated Circuit) は、フィリップス社が提唱する

周辺デバイスとのシリアル通信方式、おもにEEPROMメモリICなどによる高速通信を実現する独自の方式です。

また、ARCNETは1977年にDatapoint社が開発した独自のLANシステムです。この場合は、基本的には改良型トークン・パッシングLANプロトコルであって、FA (Factory Automation)をはじめ多くの産業分野には使用されています。特にインピーダンス93Ω、銅線直径0.25インチの単芯同軸ケーブルであるRG-62を使用するものです。

ARCNET 156.25kbps $\sim$ 10Mbps



表2 通信速度順に見た代表的な車載用 LAN 技術

車載用 LAN 名称	通信速度	概要, 規格策定, 推進団体	車載用 LAN 名称	通信速度	概要, 規格策定, 推進団体
IEEE1394b IEEE1394a	3.2Gbps 400Mbps	情報系通信プロトコル IDB-1394 として標準化, 1394 Trade Association	TTCAN (Time Triggered CAN)	1Mbps	安全性重視制御のための車載用 LAN プロトコル 時間同期型の CAN Robert Bosch 社, CiA (CAN in Automation)
MOST (Media Oriented System Transport)	45Mbps	情報系通信プロトコル 欧州中心に DaimlerChrysler 社と BMW 社が推進 MOST Cooperation	CAN (Controller Area Network)	1Mbps	ボディ系/パワー・トレイン系制御 のための車載用 LAN プロトコル 車載用 LAN 世界標準プロトコルの 最有力候補 Robert Bosch 社 (開発), ISO
TTP/C (Time Triggered Protocol by Can)	25Mbps 2Mbps	安全性重視制御のための車載用 LAN プロトコル TDMA (time division multiple access) TTTech Computertechnik 社	VAN (Vehicle Area Network)	1Mbps	ボディ系制御のための車載用 LAN プロトコル おもにフランス ISO
Byteflight	10Mbps	安全性重視制御のための車載用 LAN プロトコル FTDMA (flexible time division multiple access) BMW 社	IDB-C (ITS Data Bus on CAN)	1Mbps ~ 50kbps	CAN ベース制御のための車載用 LAN プロトコル 通常 250kbps IDB Forum
D2B/Optical (Domestic Digital Bus/Optical)	5.6Mbps	オーディオ系通信プロトコル D2B をファイバ化したオーディオ 系バス C&C 社	J1850	10.4kbps 41.6kbps	ボディ系制御のための車載用 LAN プロトコル おもに米国 Ford Motor 社
FlexRay	5Mbps	安全性重視制御のための車載用 LAN プロトコル Byteflight ベースの時間トリガ・ プロトコル BMW 社, DaimlerChrysler 社	LIN (Local Interconnect Network)	20kbps	ボディ系制御のための車載用 LAN プロトコル スレーブ・ユニット専用 LIN コンソーシアム

ARCNET Plus 25Mbps ~ 100Mbps

(ただし, 100Mbps は光ファイバ使用)

このほかにも, 多くの独自の方式のものが存在します。しかし, ユーザ側の観点からすると標準化の道に沿うものこそが長年生き残り, 産業の興亡にまで影響を及ぼすものと考えられています。



短距離通信ネットワーク技術の現状

短距離通信ネットワーク技術の現状について, 以下に前出の四つのカテゴリの分類に従って説明します。

3.1 車載用 LAN 技術

表2に示すように, おもに CAN/LIN を代表とする低速車載用 LAN と高速車載用 LAN があります。後に述べる 1394 (IDB-1394) などのほかに, MOST (Media Oriented System Transport : マルチメディア系), J1850, Byteflight, FlexRay などもあります。いままでは, メーカー・オリジナルの規格が多くありました。

● 車載用 LAN のためにクラス分けの規定がある

多くの規格が存在する車載用 LAN をわかりやすくクラス分けするため, 米国の SAE (Society of Automotive Engineers : 自動車技術者協会) では次の四つのカテゴリに分類しています。

(1) クラス A : 車体制御系

ダッシュ・ボード, 計器パネル, メータ, ミラー, シートベルト, ドア・ロック, エア・バック, パワー・シート, パワー・

ウィンドウなど

(2) クラス B : ステータス情報系

電子メータ, ドライブ情報, オート・エアコン, 故障診断など

(3) クラス C : リアルタイム制御系

エンジン制御, ABS (アンチロック・ブレーキ・システム), トランスミッション制御, ブレーキ制御, サスペンション制御, そのほかのパワー・トレイン・システムなど

(4) クラス D : マルチメディア系

カーナビ, オーディオ, ラジオ, Web ブラウザ, CD/DVD プレーヤーなど

前出の表2をよりわかりやすくするため, 表3に整理し直しました。表に示すように, LIN はクラス A に, 低速 CAN はク

表3 クラス別に見た車載用 LAN 技術

クラス	車載用 LAN 技術	用途
クラス A (~ 10kbps)	BEAN など各メーカー・オリジナル LIN CAN/A (低速 CAN)	車体制御系
クラス B (10k ~ 125kbps)	CAN/B : ISO11519 (~ 125kbps) LIN (~ 20kbps) J1850	ステータス 情報系
クラス C (125k ~ 1Mbps)	flexRay Byteflight Bluetooth CAN/C : ISO11898 (125k ~ 1Mbps 高速 CAN)	リアルタイム 制御系
クラス D (5Mbps ~)	IDB1394 MOST (45Mbps) D2B オプティカル	マルチ メディア系

表4 CAN規格のISOでの標準化

規 格	内 容
ISO11898-1 (2003 年)	Data link layer & physical signaling
ISO11898-2 (2003 年)	High-speed medium access unit
ISO11898-3 (ISO11519-2 : 1994 年版の改訂)	Data link layer & physical signaling
ISO11898-4 (2004 年)	Time-triggered communication
ISO16845 (2004 年)	CAN conformance test plan

表5 車載系 SAE の標準プロトコル J1850 の仕様

項 目	仕 様
最大通信速度	10.4kbps, 41.6kbps
通信媒体	AV 単線, ツイスト・ペア線
電気信号の種類	単線電圧駆動, 差動電圧駆動
アクセス方式	CSMA/CD
データ長	1 ~ 8 バイト可変長
レスポンス	ACK
エラー検出	CRC

表6 通信速度順に見た, おもな無線ホーム・リンクと無線 PAN 技術

大分類	種 類	最大通信速度(通信距離)	概要(変調方式, アクセス方式, 周波数帯, 標準化時期など)
無線ホーム・リンク	IEEE1394-1995 IEEE1394a-2000	100Mbps 200Mbps 400Mbps	S100 S200 S400
	IEEE1394b-2002	800Mbps 1600Mbps 3200Mbps	S800 S1600 S3200
無線 PAN	IEEE802.15.4 (ZigBee)	250kbps まで (10 ~ 75m)	HomeRF から派生, CSMA/CA, Master/slave, 2.4GHz, 2003, 256 デバイス以上のネットワーク構成, 家庭用リモコン, 低消費電力
	IEEE802.15.1 (Bluetooth)	1Mbps (10m : class3) 1Mbps (100m : class1)	FH-SS, TDD, 2.4GHz, 2001.2 (v1.1), 8 デバイス・ネットワーク構成, USB の無線版
	IEEE802.15.3 High Rate	22, 33, 44, 55Mbps (10m)	256 デバイス・ネットワーク構成
	IEEE802.15.3a (UWB)	100Mbps 以上 (10m)	TH-SS, PPM など, 3.1 ~ 10.6GHz, 2005 年頃, 256 デバイス・ネットワーク構成, USB2.0 の無線版
	IEEE802.15.5 Mesh NW	WPAN によるメッシュ・ネットワーク	
	IEEE802.15.2 Coexistence	WLAN (802.11) との共存モデル・メカニズムの規定	

ラス B に, そして最大 1Mbps の CAN はクラス C に相当します。

● 国際規格となった CAN 規格

CAN は車載用 LAN としての歴史がもっとも古く, ドイツの Robert Bosch 社が提唱しデファクト・スタンダードとして普及してきました。そして 1992 年には CAN2.0 を発表しました。今ではこの CAN2.0 を基軸に, 表 4 のように ISO で規格標準化されています。

● CAN のサブネットとしての LIN

LIN は欧州の有名自動車メーカー 5 社によって 1999 年になって登場したものです。最新バージョンである LIN2.0 は 2003 年 9 月に正式公開されました。

LIN2.0 の策定に当たり, LIN コンソーシアムと SAE の努力の結果, LIN2 と J2602 を統合することができました。この作業によって, 米国においても SAE が制定した車載用 LAN 規格の Class A に適合することになり, CAN のサブネットとしての利用を意識して, CAN を補完する CAN/A の存在になったといえます。つまり, LIN2.0 は CAN よりも低速, 低コストの用途をターゲットとしています, CAN からの置き換えをねらったものではありません。

また, トヨタ自動車も LIN コンソーシアムのメンバーとなり, 日本市場においても LIN の導入が加速されるでしょう。

なお, LIN の最大通信速度は 20kbps, 最大バス長は 40m, ケーブルはシングル・ワイヤを使用します。アクセス方式はポーリング方式です。

● J1850 は米国自動車技術者協会の標準規格である

同じく車載系の J1850 は SAE の標準プロトコルです。仕様概要は表 5 のとおりです。

● メーカー独自の規格

これまで世界中の自動車メーカーがそれぞれオリジナルの規格を作ってきたといっても過言ではありません。それぞれ異なるソリューションを採用しているのが現状です。

たとえば, トヨタ自動車ではオリジナル・プロトコルとして, BEAN (ボディ系, 最大通信速度 10kbps, CSMA/CD アクセス方式), AVC-LAN (オーディオ系, 最大通信速度 17.8kbps, CSMA/CD アクセス方式) などがあります。他社も同様です。

3.2 無線ホーム・リンク, UWB 技術

おもに, 表 6 に示す無線ホーム・リンクといわれる IEEE1394 および 20 ~ 30GHz 帯域の近距離通信 (Micro Area Network) である UWB などを含む無線 PAN 技術を指します。

● IEEE1394 の愛称は FireWire

次世代の高速な SCSI 規格といわれ, 最大で 63 台の機器をディジ・チェーン接続またはツリー接続することができます。転送速度は 100Mbps, 200Mbps, 400Mbps が規格化されています。それぞれ S100, S200, S400 と表記されます。機器を動作中に抜き差しする (ホット・プラグ, 活線挿抜またはプラグ&プレイともいう) ことができ, 接続ケーブルによる電源の供給もできるようになっています。



IEEE1394は、すでにデジタル・ビデオ・カメラの外部出力端子(業界では「DV端子」と呼称、ソニーではi.Linkと呼んでいる)に採用されています。コンピュータと周辺機器を接続する規格として期待されており、家電を相互接続する家庭内LAN用ホーム・リンクに利用する動きもあります。映像情報のデジタル伝送手段の標準になりつつあります。

IEEE 1394の愛称である「FireWire」は、もともとApple社主導で開発が進んでいた際に使われていた名称です。IEEE1394のデータ転送速度は、当初最大400Mbpsでしたが、これを800Mbps、1.6Gbpsや3.2Gbpsに引き上げられ、IEEE1394の次世代規格として、最大データ転送速度3.2Gbpsの「1394b」の規格があります。物理的な媒体も、現在のシールド付きのより対線(4ピンもしくは6ピン・コネクタ)に加えて、シールドなしのより対線や、光ファイバを用いたものなどがあります。

● 対抗馬としてUSBがある

IEEE1394のライバルとしては、USB(Universal Serial Bus) 2.0があります。USB 1.1は最大伝送速度12Mbpsであり、キーボードやモデム、プリンタといった比較的低速なデバイスを接続する規格とされていました。しかし、USB 2.0から最大伝送速度が480Mbpsにまで引き上げられました。ホストにPCを必要とするPC中心型のものですが、かつてはIEEE1394を推進していたインテルがUSB 2.0の推進を行っていることもあり、PC用インターフェースとしては強力な対抗規格となっています。

● UWBの定義と特徴

UWB(Ultra Wide Band)はその名のとおりに、マイクロ波帯(3GHz～30GHz)からミリ波帯(30GHz～)にいたる幅広い帯域を利用するワイヤレスのブロードバンドであって、超広帯域を使う無線通信方式です。米国のFCC(Federal Communication Commission:連邦通信委員会)では、比帯域幅(=帯域幅/中心周波数)が0.20以上の帯域幅または500MHz以上の無線信号と定義しています。

たとえば、IEEE802.11b無線LANの帯域幅は26MHzですが、UWBでは最低500MHz、通常数GHzという広い帯域を使用します。IEEE802.15.3aでは、3.1GHzから10.6GHzの周波数で、距離が10mのときに110Mbps、4mのときに200Mbpsの伝送速度を満足し、消費電力がそれぞれ100mW以下と250mW以下を要件としています。これは、もともとUWBが搬送波を使用せずに、1ns以下の非常に時間幅の短いインパルスを用いて通信を行うことを前提にしていたためです。

このため、回路が簡素化されて低消費電力・低コスト化が図れ、干渉が強く、Bluetoothに比べ100倍以上の100Mbps規模の高速伝送が実現できるとともに、レーダのように距離の測定も可能となっています。また、ネットワーク・トポロジとしては、ピア・ツー・ピア型を対象としている点が特徴です。家電+PC+グローバル・ネットワーク技術として考えられます。UWBによるモバイル情報通信システムにおける大容量化、高信頼化、高品質化による要求は専門家のみならず、一般にも広

表7 ZigBeeの仕様

周波数帯	2.4GHz, 868/915MHz
アクセス方式	CSMA/CA
通信速度	250kbps (2.4GHz) 40kbps (915GHz) 20kbps (868MHz)
チャンネル数	16 (2.4GHz), 10 (915GHz), 1 (868MHz)
アドレッシング	動的(16ビットshort & 64ビットIEEE address)
トポロジ	マスタ・スレーブ/ピア・ツー・ピア・コーディネータによるネットワーク自動構成

く浸透し、そのインフラストラクチャを基にした多様なサービスがビジネス化しています。

● IEEE802.15規格とZigBee(無線)

IEEE802.15規格は、WPAN:無線パーソナル・エリア・ネットワークに関するものです。WPANとはパソコンとその周辺装置間やパソコンと携帯電話機間を無線接続する小規模LANです。最初に制定されたIEEE802.15規格は物理層と媒体アクセス制御(MAC)層にBluetooth規格を採用したものです。

Bluetooth規格で接続できる機器数は最大7台、データ伝送速度は最大1Mbps、通信距離は10m程度です。無線周波数は2.4GHz帯のISMバンドで、データの変調方式はFH-SSです。接続トポロジとして、複数のBluetooth端末をネットワーク接続できるインターフェースであるため、電子会議や複数の情報家電を接続する家庭用ネットワークなどの用途に適しています。そのため、Bluetooth規格適合製品はすでに市販されています。

IEEE802.15.1規格よりも高速のWPANを実現する規格がIEEE802.15.3規格です。目標は伝送速度が10Mbps(10m以上)、200Mbps(4m以上)および480Mbps(5m以下)で、最大端末数は1ネットワーク当たり256です。

一方、低速WPAN(LR-WPAN)がIEEE802.15.4規格として制定されています。これはZigBeeアライアンスという業界団体が仕様を策定した規格を採択したもので、アプリケーション例としてはワイヤレス・ホーム・セキュリティ、空調機器や照明機器用などの遠隔制御サーモスタット、TVなどの汎用コントローラ、産業オートメーションなどに適用されることが考えられています。

ZigBeeはセンサ・ネットワークなどを対象とした近距離・低速・低コスト・低消費電力の無線通信規格です。その代表的な仕様要約は表7のとおりです。

上記のように、最大伝送速度は250kbpsで、通信距離は10～20mです。アクセス方式はCSMA/CAおよびスロットテッドCSMA/CAを採用していることが特徴です。CSMA/CAについての説明は、次の節に譲ります。

● Bluetoothの無線通信規格要約

参考のため、Bluetoothの無線通信規格を表8に要約します。

● 光無線通信LAN用IrDAの行方

IrDA(Infrared Data Association)は、伝送媒体として赤外

表8 Bluetoothの仕様

周波数帯	2400～2483.5MHz
変調方式	一次変調：2値FSK, 1Mシンボル/s 拡散変調：FH-SS(周波数ホッピング方式), 1600ホッピング/s, 79チャンネル・ホッピング(1MHz)
復調方式	TDD(時分割復調方式)
送信電力	クラス1：1mW～100mW クラス2：0.25mW～2.5mW クラス3：1mW
接続方式	同期接続型：対称432.6kpbs(64kpbs音声用など) 非同期接続型：非対称最大721kpbs(逆方向：57.6kpbs)

線を使うデータ通信の光ワイヤレス通信技術の標準規格を作成している標準組織(1993年設立)です。ここで制定した規格もIrDAと呼びます。リモコンは決められた数種類のコマンドを一方に送るだけですが、IrDAはPCの通信線の代わりに赤外線で行うものです。

光を送媒体として利用し、離れた2地点間の空間を伝搬させることで、通信や信号伝送を行う光無線通信システムです。

しかし、前出のBluetoothの登場にともない帯域幅の適応性が不透明となり、IrDA(Advanced IR)の標準化は中止されました。

3.3 PC無線LAN技術

PC無線LAN技術とは、表9に示すように2.4GHz無線LAN(Bluetoothを含む)と5GHz W-LAN(ワイヤレス・アクセス)の2系列を指します。

●無線LANの誕生とその利用方法

PC無線LAN技術の今後はおもに、5GHz W-LANと2.4GHz無線LAN(Bluetooth)に分岐します。

当初、1997年に制定されたIEEE802.11規格の無線LANは、伝送速度が1Mbpsと2Mbpsで、ケーブルLANと比較して伝送速度が遅く、コストもかなり高かったために普及が進みませんでした。LANステーションを無線接続する無線LAN技術は1990年代初期から商品化されていましたが、本格的な普及が始まったのは2000年頃からです。そのきっかけは1999年9月に最大伝送速度が11MbpsのIEEE802.11b規格が制定され、この

表9 通信速度順に見たPC無線LAN技術

大分類	種類	最大通信速度 (通信距離)	概要(変調方式、アクセス方式、周波数帯、標準化時期など)
PC無線LAN	IEEE802.11	2Mbps(数10m)	DS-SS, FH-SS, CSMA/CA, 2.4GHz
	IEEE802.11b	11Mbps(数10m)	DS-SS, CCK, CSMA/CA, 2.4GHz, 1999.9
	IEEE802.11a	54Mbps(数10m)	OFDM, CSMA/CA, 5GHz, 1999.9
	IEEE802.11e		802.11のMACを拡張し、QoS技術a, b, gのすべてに適用可
	IEEE802.11g	54Mbps(数10m)	OFDM, DS-SS, CCK CSMA/CA, 2.4GHz, 2003.5
	IEEE802.11j		日本における4.9GHz帯および5.0GHz帯割り当てへの対応
	IEEE802.11n	100～200Mbps(数10m)	CSMA/CA, 2006

備考：IEEE802.11規格には赤外線を使うものもある。

規格に適合する製品が市販されるようになったことです。これで、10Base-Tと同程度の性能のものが実現できるようになりました。

IEEE802.11b規格に続き、最大伝送速度が54MbpsのIEEE802.11aとIEEE802.11g規格が制定されて、対応製品が市販されるようになったことから低価格の無線用HUBが出現し、個人ユーザが無線LANを構築するケースが急増し、無線LANの普及が一気に進みました。いまでは企業などの業務用だけでなく、個人の家庭内ネットワークとして広く使われるようになっています。

無線LANの基本的な利用方法には、図6に示すように次の3種類のモードがあります。

(1) インフラストラクチャ・モード

携帯電話の無線基地局に相当するアクセス・ポイントとステーションの間を無線接続する

(2) アドホック・モード

アクセス・ポイントを介せずに、複数のステーションを直接相互接続する無線ネットワークを構成する

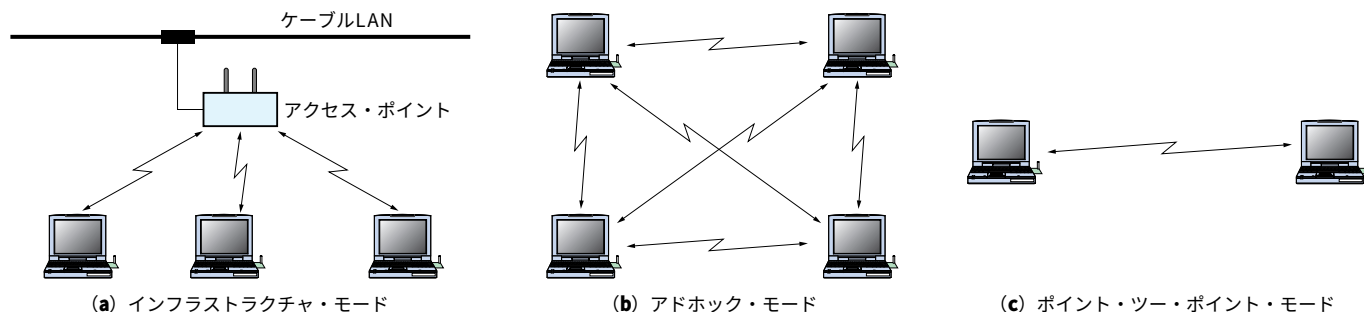


図6 無線LANの基本動作モード

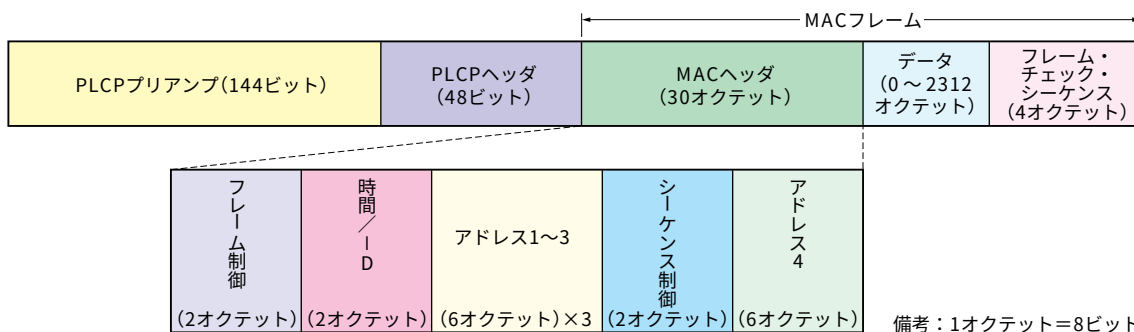


図7 無線 LAN のデータ・フレーム形式

(3) ポイント・ツー・ポイント・モード

二つのステーション間を無線接続するモードで、離れた場所にある HUB などを接続して使用する

● IEEE802.11 規格は無線 LAN を支える

現在使われている無線 LAN の規格を要約します。最初に制定された IEEE802.11 規格のそのものは性能上よくないため、いまではほとんど使用されていません。

表9にあるように、IEEE802.11 規格では DS-SS (直接シーケンス・スペクトラム拡散) と FS (周波数ホッピング・スペクトラム拡散) の2種類の変調方式があります。そのどちらかを使うようになっていますが、最大伝送速度 11Mbps の IEEE802.11b 規格に DS-SS と CCK (相補符号キーイング) の2種類の変調方式があります。DS-SS は伝送するデジタル信号を拡散符号と呼ぶ高速度の疑似雑音 (PN) を使って、広い周波数スペクトラムの信号に変換する方式で、無線 LAN 以外に携帯電話でも使われています。CCK は 11Mbps のシリアル入力データ信号を 8 ビットの平行信号に変換してから符号拡散処理を行う方式です。

最大データ伝送速度 54Mbps の IEEE802.11a 規格では、OFDM (直交周波数分割多重) 変調方式を使用します。OFDM は ADSL モデムの DMT (離散マルチトーン) 方式と同様に多数の副搬送波を用意して、それぞれの副搬送波を 64QAM (直交振幅変調) 方式で変調します。副搬送波の数は 48 で、変調速度は 250kbps です。搬送波周波数が高いので、大きな変調速度を使うことができます。64QAM では 1 回の変調動作で 6 ビットのデータを表現できます。

最大データ伝送速度 54Mbps の IEEE802.11g 規格では、802.11b と同様に DS-SS と CCK および 802.11a と同じ OFDM の3種類の変調方式を規定しています。

無線チャンネルは比較的ビット誤り率が大いので、順方向訂正 (FEC) 符号を使って、自動的にビット誤りを訂正します。このために、伝送するデータに誤り訂正用ビットを付加します。したがって、有効なデータ伝送速度を無線チャンネルの伝送速度よりも小さくなります。たとえば、IEEE802.11a 規格では、無線チャンネル全体の伝送速度は、

変調速度 250kbps × 副搬送波数 48 × 1 回の変調ビット数 6
= 72Mbps

になりますが、誤り訂正符号用ビット数の割合を 4 分の 1 にするので、有効なデータ伝送速度は 72Mbps の 4 分の 3 の 54Mbps になります。

媒体アクセス制御方式は CSMA/CA です。パケットの送信準備ができたステーションは、ほかのステーションがパケットの送信を行っていないことを確認するために、使用するチャンネルの無線信号の有無を調べます。これを搬送波検知 (CS) 機能といいます。無線 LAN の媒体アクセス制御方式は、ケーブル LAN の CDMA/CD (衝突検出機能付き搬送波検知多重アクセス) とは異なる CSMA/CA (衝突回避機能付き搬送波検知多重アクセス) 方式を採用します。これは、データ・パケットの送信に先立って、ランダムな時間間隔のパルス列を送出して、パケットの衝突の可能性を調べ、衝突の可能性が小さい時間にパケットを送信する方式です。

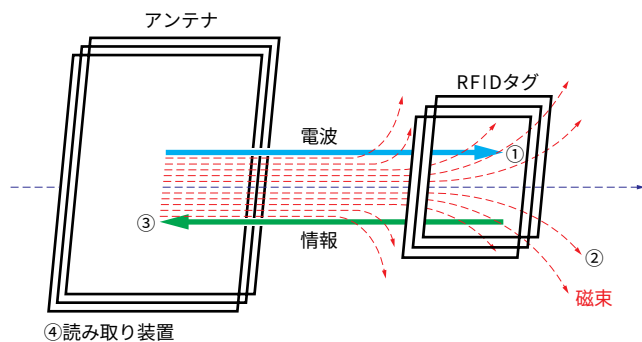
これに対して CDMA/CD とは、Ethernet や IEEE802.3 規格の LAN で使っている媒体アクセス制御技術です。これはデータ・パケットの送信に先立って、伝送媒体上の信号の有無を調べ、伝送媒体が空いていることを確認してパケットを送信しますが、その後、送信したパケットの発生を監視する方式です。つまり、無線チャンネルが空いていることを確認したステーションは、ただちにパケットを送信します。

無線チャンネルが使用中であることを検知したステーションは、しばらく時間をおいて改めて CS 動作を行います。無線チャンネルが空くのを複数のステーションが待っている状態において、無線チャンネルが空いた直後に各ステーションが一斉に CS 動作を行うと、衝突が発生する確率が高くなります。そこで、無線チャンネルが空いたことを検知したステーションは、それぞれがランダムな値の時間間隔を設けて、この時間が終わったところでパケットを送出します。こうしてパケットの衝突を回避します。

● 無線 LAN のデータ・フレームはどのようなになっているか

802.11 規格無線 LAN のデータ・フレーム形式は、図7に示すようにケーブル LAN の場合と異なります。

PLCP (physical layer convergence protocol) の意味は、物理



- ① 読み取り装置から電波を発射する
- ② RFIDタグに誘導電圧を発生し、電力を生ずる
- ③ RFIDタグはその電力を利用して、読み取り装置のアンテナにメモリに記している情報を送る
- ④ 読み取り装置が情報を処理する

図8 無線タグの基本構成

層コンバージェンス・プロトコルです。プリアンプルは144ビットのビット列で、ビット同期とフレーム同期の確立のためのものです。最初の128ビットでビット同期を確立し、最後の16ビットがフレーム開始デリミタとして機能します。PLCPヘッダはMACフレームの伝送速度を確定すると同時に、プリアンプルおよびPLCPヘッダの完全性を確認します。

MACフレームの部分では、MACヘッダの中身がケーブルLANの規格とは異なります。無線LANでは、ネットワークの一部分だけが無線区間なので、APのようにデータを運ぶ経路の途中に入る機器のアドレスが必要になることがあります。アドレス1～4のフィールドで指定するアドレスは、無線LANを使う区間によって異なります。

無線LANの規格では最大データ伝送速度が決まっていますが、実際に使うデータ伝送速度は電波の状態によって異なります。

表10 RFID関連のおもな国際規格

非接触型ICカード規格	
ISO/IEC10536, ISO/IEC14443	密着型非接触ICカード
ISO/IEC15693	近傍型非接触ICカード
物品管理用RFID規格	
ISO/IEC18000-1 ~ IEC18000-6	RFIDエア・インターフェース
ISO/IEC15691	アプリケーション・コマンドとデータ・フォーマットの規定
ISO/IEC15692	タグ・ドライバとリーダの論理メモリの規定
TR15963	RFIDで使用する64ビットの固有ID仕様
TR18001	RFIDシステム設計時の要考慮項目と典型的なAP仕様
TR18046	RFIDパフォーマンス/コンフォーマンス試験方法
ISO10374	915MHz, 2.45GHz帯を使ったRFIDを規定
動物用RFID規格	
ISO11784	RFIDタグのメモリへの書き込みコードの規定
ISO11785	RFID通信方式
ISO14223	拡張コード構造や暗号処理の規定

す。このために、PLCPヘッダのネゴシエーション機能を使って実際に使うデータ速度を決めます。同期の確立とネゴシエーションを確実に実行するために、PLCLプリアンプルとPLCLヘッダの伝送速度は小さな値に固定されます。この値は、802.11bと802.11gでは1Mbps、802.11aでは6Mbpsです。

● RFID (無線タグ)

RFID (Radio Frequency IDentification) と無線タグは基本的には同じものであり、従来とかなり異なった電波の利用法です。無線ICタグともいいますが、小型のICチップの場合は単にICチップと呼ばれることが多くあります。無線通信に使用される周波数は、13.56MHzと2.45GHzの2種類があります。860M～960MHzのUHF帯や125k～135kHzで通信する製品もあります。

図8に従来の電磁誘導方式の原理図を示します。外部給電によって動作するパッシブ・タグという無線タグも存在します。近年は電磁誘導ではなく、高周波をアンテナで電波を受信して、同様にこれを検波して電源として用いるタイプのものが登場しました。非接触性が特色ですが、高周波を用いるためアンテナを小さくできることが特徴です。通信というよりは認識 (identify) や位置管理が目的です。

表10に、代表的なRFID関連国際規格を要約します。

● 電力線通信方式もある

参考のために述べますが、電力線通信は家庭のコンセントに直接電力線を接続してデータ通信に使用します。家電製品の制御から始まり、家庭内LANからLast One Mileの通信回線へと応用が広がっています。

日本では利用できる周波数帯域が10kHz～450kHz程度に制限されていましたが、総務省の指示により、2MHz～30MHz帯の追加があって、高速回線としての適用が期待されています。米国でも家庭内LANを中心に研究開発が進んでおり、いよいよ、日本も本稼働の時期が間近になっています。

3.4 携帯無線、インターネット技術

携帯無線とインターネット技術は、前出の個別技術に近い車載用LAN技術をはじめ、無線ホーム・リンク、UWB技術およびPC無線技術をネットワーク形態に統合化しシステム化する上で必要不可欠の重要な技術です。

携帯無線は第2世代デジタル携帯電話 (1.9GHz帯) をはじ

表11 通信速度で見た携帯電話技術

分類	通信速度 (bps)	概要 (規格 (開始時期), 特徴)
第1世代	2.4k 程度	日本独自 (1979), 通話のみ
第2世代	9.6k ~ 28.8k	日本独自 (1993), インターネット接続, 電子メールなど
第3世代 (現行)	384k ~ 2.4M	日欧方式や米国方式などに分かれる (2001), テレビ電話など
スーパー第3世代	30M ~ 100M	日米欧アジアで共通化 (2009年にも), 高精細映像のやり取りなど
第4世代	100M ~ 1G	策定作業中 (2010年以降), 同上



め、第3世代デジタル携帯電話(2GHz帯)そして第4世代デジタル携帯電話(3~8GHz帯)を指します。世界規模で携帯によるインターネット時代の技術が急速に進化しているのです。

● デジタル携帯電話の誕生

表11に示すように、第1世代の携帯電話はアナログ方式でした。アナログ携帯電話の弱点を解決するため、第2世代からはデジタル方式携帯(1.9GHz帯)へと技術移行となりました。現在の日本の国内標準はPDC(Personal Digital Cellular)方式です。ヨーロッパの標準方式はGSM(Global System for Mobile communication)が使われています。

第2.5世代のCDMA方式はスペクトラム拡散方式と変わり、日本国内では1998年にcdmaOneの名前でサービスを始めました。データ通信にこれを使用するときの最大通信速度は64kbpsです。

続いて、日本国内の第3世代デジタル携帯(2GHz帯)は、ITU-T勧告に基づく国際標準のIMT-2000方式に準拠し、広帯域CDMA方式を採用しました。日本ではNTTドコモとJ-PHONEがW-CDMAと名づけたDS-SS-SSSを、KDDIがMC-CDMA方式を採用しました。MC-CDMAの実態は第2.5世代のcdmaOneの機能を拡張したcdma2000で、最高データ通信速度は384kbpsです。

第3世代のデジタル携帯電話方式IMT-2000は、第2世代と比較すると大幅に高速化されましたが、現在実際に利用できる通信速度はまだ十分とはいえません。そこで、広帯域FWA(Fixed Wireless Access: 固定無線アクセス)が開発され、1999年に商用サービスが開始しました。FWAの固定無線アクセス・ネットワークでは、22GHz/26GHz/38GHzの非常に高い無線周波数を使っています。

図9に、これらの各種無線アクセス・システムの性能の相互関係を示します。1.9G-FWAの規格では、伝送速度は384kbps、セルの半径は平均1~2km、最大5kmとなっています。

なお、第4世代のデジタル携帯(3~8GHz帯)は、2010年以降の計画として現在策定作業中です。

● 新しい時代のインターネット技術

人が電話のまわりにいる状態から、人の周りにさまざまな電話機が存在する状態に変化しているように、UWBや携帯電話などの比較的短距離の通信技術がその威力を発揮しています。

たとえば、電車の中でつり革につかまりながらPDAなどを操り、持ち歩いているPCまたはウェアラブルPCにあるデータベースへアクセスする、などといった光景が目に見えるようです。また、車の中にあるコンピュータによるルータ化により、次世代への新しいインターネット技術の躍進の一端が想像できます。



将来的にどういう技術が登場するか

最近の短距離通信ネットワーク技術ではなぜこのような特殊

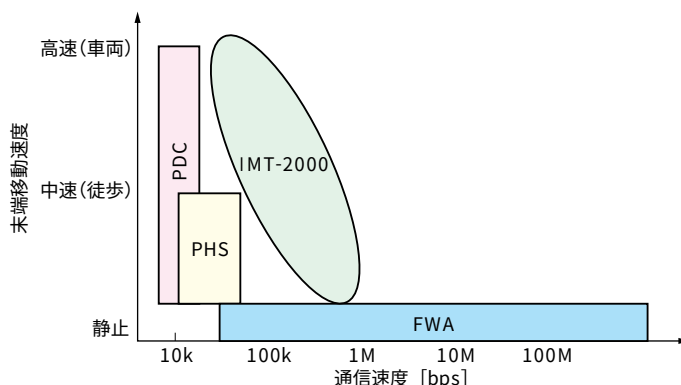


図9 代表的な無線アクセス・システムの性能の相互関係

性が必要なのか。それは、ユーザ・ニーズ指向、接続の互換性と経済性などの観点から、これらの用途向けに、特化した通信ネットワーク規格が各種登場し、共通技術となる標準化が叫ばれるようになってきているからです。そこで、短距離通信ネットワーク技術について将来展望し、登場しそうないくつかの技術について簡単に触れることにします。

● 車載LAN分野はFlexRay, TT-Ethernetなどがある

国際規格となったCANは当然その座を維持し続けていくでしょう。もともと車体制御系やリアルタイム制御系の車載用LANに対しては信頼性や耐環境性が強く求められ、伝送速度に対する要求はそれほど強くありません。高速CANでも、実際には500kbps程度での利用が多いのが実情です。

しかし、自動車のIT化が今後一層進めば、高速CANでは伝送容量が不足すると考えられます。それに対応する新しい技術として、FlexRay(フィリップス社がリーダーシップ)、Byteflight(BMW)、TT-Ethernet(策定作業中)などのように、さらに高速な制御LANとそのプロトコルも提唱されています。TT通信プロトコルが今後の技術動向となるでしょう。

● WAN分野にはIEEE802.16-2004とIEEE802.16eがある

WAN分野ではいずれもWiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)系のIEEE802.16-2004とIEEE802.16eが挙げられます。WiMAXと呼ばれる技術は、もともとFWA(固定無線アクセス)、つまりファイバなど有線のアクセスを引きこみにくい建物などへのアクセス回線用として開発された方式です。変調方式はOFDMを採用します。今後は高速化のため、さらにMIMO(マルチインプット・マルチアウトプットというアンテナ/信号処理技術)も採用する計画となっています。

IEEE802.16-2004の最大通信速度は75Mbps(到達距離10km程度)、周波数帯は2.5G/3.5G/5.8GGHzとなり、IEEE802.16eの最大通信速度は2M~3Mbps(到達距離数km)、周波数帯は3.1G~10.6GHzとなる見通しです(2005年中頃)。

● LAN分野はIEEE802.11nとIEEE802.11e

LAN分野では、IEEE802.11nとIEEE802.11eを挙げます。前

者のIEEE802.11nは実効速度で100Mbpsを実現できる無線LAN技術です。最大通信速度は数十M～数百Mbps(到達距離:数十～数百m),周波数帯は2.4GHz/5.2GHz(4.9GHz)となります。2006年～2007年に標準化される見通しとなっています。

後者のIEEE802.11eはMACレベルでのQoS(サービス品質)制御のための仕様です。複数のデータ・パケットを連続して送信できるフレーム・アグリゲーションなど通信効率を高めるしくみもあります。最大通信速度は10M～数百Mbps(到達距離:数十m～数百m),周波数帯は2.4GHz/5.2GHz(4.9GHz)となる見通しです。

● PAN分野はUWB(IEEE802.15.3a)

PAN分野では広い帯域を利用して,少ない消費電力で雑音に強く高速な通信を実現するUWB(IEEE802.15.3a)技術を挙げます。UWB技術なら,最大通信速度は480Mbps(到達距離10m程度),周波数帯は3.1G～10.6GHzとなります。ただし,ほかの無線との干渉が問題になりやすいため,ベースの技術として,干渉を避けたい周波数帯の利用を避けられるマルチバンドOFDM方式で規格化する必要があります。現在,そのような仕様を固めている最中です。

UWBの標準化はIEEEが推進していますが,日本では総務省の情報通信審議会情報通信技術分科会がUWBの実用化に向けて解決すべき課題を検討しています。

● 携帯電話はスーパー第3世代へ移行していく

現行の第3世代携帯技術を改良した「スーパー第3世代」と呼ばれる次世代規格が挙げられます。これの最大通信速度は30Mbps(到達距離数km程度),周波数帯は2GHz帯などを使用してい

ますが,2009年頃には世界の主要地域で標準規格に基づく高精細な動画を瞬時に送受信できるサービスが始まります。通信速度は第3世代携帯の10倍以上に当たる30G～100Gbpsで,家庭用光ファイバを使った最先端固定通信に匹敵することになるでしょう。

参考文献

- (1) Bluetooth, <http://www.bluetooth.com/>
- (2) CAN, <http://www.can.bosch.com/>
- (3) D2B, <http://www.candc.co.uk/>
- (4) FlexRay, <http://www.flexray.com/>
- (5) GMLAN, <http://www.gmtctcny.com/lan.htm>
- (6) IDB, <http://www.idbforum.org/>
- (7) Intelliga(LIN), <http://www.intelliga.co.uk/>
- (8) LIN, <http://www.lin-subbus.org/>
- (9) MOST, <http://www.mostnet.de/>
- (10) TTTech(TTP), <http://www.ttagroup.org/>
- (11) TTTech(TTP), <http://www.ttchip.com/>
- (12) ZigBee, <http://www.zigbee.org/>
- (13) Xilinx Automotive, <http://www.xilinx.com/automotive/>
- (14) 都丸 敬介, 永井 正武共著; 2005年版 テクニカルエンジニア試験[ネットワーク]完全教本, 2005年, 日本経済新聞社。
- (15) 宮崎 仁; 組み込み機器規格解説: 第1回 車載LAN規格CAN, LIN, Interface, 2005年1月号, pp.173-183, CQ出版社。

ながい・まさたけ 帝京大学理工学部 大学院教授 工学博士

IT TEXT シリーズ

好評発売中

デジタル通信回路教科書

RF/変復調/ベースバンド/Verilog記述

太田 博之 著 B5判 208ページ CD-ROM付き 定価2,940円(税込)
ISBN4-7898-1874-8

アナログ一色だった通信の世界にもデジタル化の波が押し寄せてきました。

通信がアナログからデジタルになると,どこが,どう変わり,どのような要素技術が必要になるのか。本書は,これらの疑問にズバッと回答します。

通信に欠かせない高周波技術をはじめ,デジタル化にともなう多くのテクニックが必要とされる変調/復調の技術や,フレーム処理/誤り訂正の技術などについて,原理を深く掘り下げ,かつ実際にどう実現するのかまで,Verilogによる回路記述例をまじえて,丁寧に解説しています。回路記述例は,CRC回路やQPSK変調器など,全部で18本。

教科書的な説明と現実の製品設計の狭間で悩んでいる方におすすめの1冊です。

- 第1章 デジタル通信入門
- 第2章 高周波技術
- 第3章 デジタル変復調技術
- 第4章 ベースバンド処理

- 第5章 システム設計
- 第6章 回路設計編(1)ベースバンド回路
- 第7章 回路設計編(2)デジタル変復調回路



CQ出版社

〒170-8461 東京都豊島区巣鴨1-14-2

販売部 TEL.03-5395-2141

振替 00100-7-10665