

# 次世代 Ethernet

川崎 考蔵, 平岩 健一郎  
Kozo KAWASAKI, Kenichiro HIRAIWA

## 1 はじめに

今日ではインターネットの普及に伴い, コンピュータネットワークがより浸透してきた. それにより現在最も普及しているコンピュータネットワークの規格である Ethernet の重要性は高まっている. また音楽配信サービスや動画配信サービスの普及によりコンピュータネットワークで通信するデータの容量が急激に増加した. そこで, より通信速度の速い次世代 Ethernet が求められるようになってきている.

本発表では, Ethernet の基本的な規格, 仕様を述べた後, 現在標準化が進んでいる 100GbitEthernet に注目し, その次世代 Ethernet に使用されると思われる技術を述べ, 今後の展望を述べる.

## 2 Ethernet の基礎

Ethernet は IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.: 電気電子学会)802.3 委員会によって標準化されている複数代の端末をネットワークに繋げるための LAN 規格である.

### 2.1 Ethernet の規格

IEEE で規定する仕様は主に, 通信速度, 信号タイプ, 接続距離, ケーブル, 接続形態である.

はじめに通信速度が決定され, その通信速度を達成するような通信システムを規格として決定する. 例として 100MbitEthernet(FastEthernet) の規格を Fig. 1 に示す. Fig. 1 の各規格名を見ると通信速度が 100Mbps であるので 100 と記され, その後ろに伝送方式が記される. BASE はベースバンド伝送(データの変調を行わない伝送)を意味し, Ethernet のほとんど規格がベースバンド伝送である. その後ろに使用するケーブルとその形式を表す.

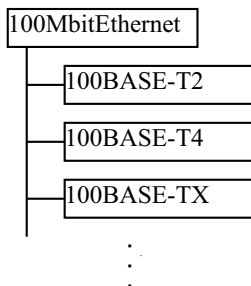


Fig.1 FastEthernet の規格 (1) より参照

現在最も普及している Ethernet 規格は伝送速度が 100Mbps の 100BASE-TX という規格である.

### 2.2 Ethernet フレーム

Ethernet ネットフレームとは, Ethernet 用に標準化されたデータ通信規格フォーマットであり, データ通信をするときに宛先や情報を認識するためのフォーマット

である.

Ethernet フレームは Fig. 2 に示すように, 先頭に宛先アドレス, 次に送信元アドレス, プロトコルタイプ及びデータと続き最後にパリティチェック (FCS) が格納される.

このフレームにデータが格納されているため, 通信は Ethernet フレームがひとつのデータ単位となる. 1518bytes という上限があるため, 1 つのフレームがネットワーク媒体を占有する時間は非常に短い.

宛先アドレス 6bytes	送信元アドレス 6bytes	type 2bytes	データ 46~1500bytes	FCS 4bytes
------------------	-------------------	----------------	---------------------	---------------

Fig.2 Ethernet フレーム (3) より参照

## 3 次世代の Ethernet

現在最も普及しているのは 100MbitEthernet であり, 最新の標準として 10GbitEthernet が標準化されている. そして次世代の標準として 100GbitEthernet が 2007 年 9 月に標準化予定である.

### 3.1 Ethernet の発展

Ethernet は常に先行するネットワーク技術の物理層技術を活用することで, 競合規格に遅れることなく高速化を図ってきた. 例えば SONET/SDH という光伝送ネットワーク規格が現れたが Ethernet の中には SONET の技術である STS-192 フレームという技術を利用している規格が存在する. その際に互換性を維持することで, 既存の膨大な端末やアプリケーションなどの資産を活用したいユーザー要求を背景に勝ち続け, 新しい領域に進出した.

### 3.2 光ファイバケーブルへの推移

従来 Ethernet に使用されていたケーブルは主にツイストペアケーブル (Unshielded Twist Pair cable:UTP) という絶縁被覆された細い銅線 1 対 (2 本) をより合わせたケーブルである. このケーブルは電話線などにも使用されており, 比較的安価で購入できるのが利点であった. しかし通信速度を上げるには電圧の周波数を高くする必要があり, 周波数を高くすると波が減衰しやすくなる. その上雑音の影響も大きく受ける. それにより長距離伝送が困難になる. よって UTP では, 距離と通信速度のトレードオフの関係となる.

そこで光ファイバを使用する規格が現れた. レーザー光はほとんど減衰せずに数十 km の距離を伝わる. しかも光は電磁波の影響を受けにくいいためノイズにも強い. よって光ファイバ通信は UTP に電気信号を流して使用する通信より, 高い周波数の信号を安定して長い距離を

送ることができるのである。現在最新の標準 Ethernet である 10GbitEthernet に使用されているケーブルの大部分は光ファイバケーブルである。

### 3.3 100GbitEthernet の速度目安

速度の目安として 640Mbytes の CD-ROM を一枚送信したときに必要な時間を 100GbitEthernet, FirstEthernet, ADSL, CATV, ISDN の場合で Table 1 に示す。現在最も普及している 100BASE-TX(FirstEthernet) では 1 分近くかかるのに対し、100GbitEthernet では 1 秒もかからない。

Table1 CD-ROM(640Mbytes) の送信に必要な時間<sup>(3)</sup>より参照)

伝送媒体	伝送速度 (Mbps)	所要時間 (秒)
100GbitEthernet	10000	0.0537
FastEthernet	100	53.7
ADSL	50	107
CATV	30	179
ISDN	0.128	41953

### 3.4 100GbitEthernet に使用される技術

100GbitEthernet の実現に向け開催された IEEE802.3WG においていくつかの方式が提案された。方式の提案は、1 本の信号として送信する「シリアル伝送」と、複数の信号に分割して送信する「パラレル伝送」の 2 種類の方式について行われた。

#### 3.4.1 DQPSK 変調方式

シリアル伝送方式における 100GbitEthernet を実現する方式として、DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying : DQPSK) 変調方式が提案されている。従来の光ファイバの変調方式としてはレーザー光の ON/OFF により bit を表す方式があるが、レーザー光を変調する技術の発展により、周波数や位相を変調に用いることができるようになってきた。DQPSK 変調方式はレーザー光の位相差を利用してデータを表す方式である。Table 2 に示すように、90 度ずつずれた 4 つの位相状態で bit 情報を表す。送信する光の位相はその直前に送信された光の位相との差をとり、相対位相として送信データとする。

Table2 送信データと位相差の対応<sup>(1)</sup>より参照)

送信データ	位相差 (°)
01	135
11	45
10	-45
00	-135

例として、Fig. 3 のように位相  $0^\circ$  の sin 波を基準波とする場合を考える。データ波が位相  $135^\circ$  の sin 波のとき、基準波とデータ波の位相差は「 $135^\circ - 0^\circ$ 」となるので Table 2 より送信データは「01」となる。

もうひとつの位相を利用した変調方式として QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 方式があるが、こちらは位相をあらかじめ送信データと対応させて絶対

位相として送信する方式である。QPSK 変調方式に対する DQPSK 変調方式の利点は、レーザー光の位相が通信路上の雑音により変化した場合、絶対位相ならばそのデータは基本的に判別不可能であるが、相対位相ならば位相差を正しく検出さえできればデータを判別することができるというところにある。

従来の光ファイバ通信では 1 単位時間で 1bit 送信するが、送信 DQPSK 変調方式は 1 単位時間で 2bits 分の情報を送ることができるため、100G の送信データであれば変調レートは 50G で済む。そのため ON/OFF による bit 表現よりも伝送効率が高い。その反面 100Gbps クラスのシリアル伝送では、伝送路上で光信号の分散による劣化を補正することが不可欠となるため、それによるコスト増を考慮する必要がある。

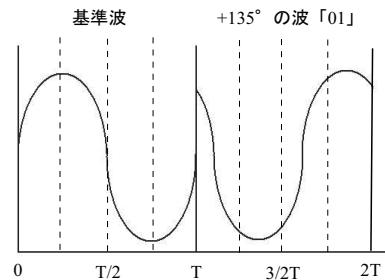


Fig.3 DQPSK(出展：自作)

#### 3.4.2 PME 集約方式

パラレル伝送方式における 100GbitEthernet を実現する 1 つの方式として、PME 集約方式 (Physical Media Entity Aggregation) が提案されている。PME 集約方式とは、既存の 10GbitEthernet を多重化する方式である。多重化を行わない Ethernet の通信では、通常 Ethernet フレームが順次送信される。一方 PME 集約方式では Fig. 4 で示すように 1 つの Ethernet フレームを 16bytes から 512bytes という短い固定長の「フラグメント」に分割し、2bytes のフラグメント番号などからなる「フラグメント・ヘッダ (Fragmentation Header)」と、2bytes または 4bytes の FCS を付加する。そして、それぞれのフラグメント単位で別々の伝送路に分割して送信を行う。100GbitEthernet を実現するためには、10GbitEthernet を多数用いる必要がある。

このような方式の利点としては、既存の標準である 10GbitEthernet を使用するため、その部品や技術を転用できることである。これにより、新規開発が少なくて済み、短期での市場投入が可能となる。

一方、欠点としては、100Gbps クラスの通信速度を実現するために多数の 10GbitEthernet が必要になることである。これによりシステム管理が複雑となってしまう、障害発生時における原因の切り分けなどが容易でなくなるなどの問題がある。

#### 3.4.3 波長多重技術 (WDM)

パラレル伝送方式における 100GbitEthernet を実現するもう 1 つの方式として、波長多重技術 (WDM) が提案されている。WDM は伝送信号が光であるというこ

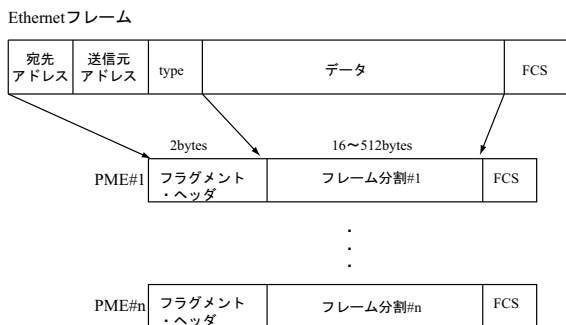


Fig.4 PME 集約方式でのフレーム分割 (6) より参照

とを利用した技術であり、光ファイバを使用することにより、周波数の異なる光信号を波長多重することによりデータを送信する技術である。Fig. 5 に示すように、送信側では送信電気信号をレーンごとに異なる波長の光信号に変換される。次にそれらの光信号を、合成器を通して、1本の光ファイバに多重して送信する。受信側では、到着した光信号を分波器によって、それぞれの波長に分離し、波長ごとに光信号を電気信号に変換し、データを受信する。

10GEthernet の規格のひとつである 10GBASE-LX4 には光信号の波長を粗く多重する波長多重技術 (WDM:Wide Wavelength Division Multiplexing) が使用されている。10GBASE-LX4 では周波数の異なる光信号 4 波を波長多重することにより最大 240m の距離を送受信することができる。

このように 4 波の多重化技術が 10GbitEthernet で実現されているため、100Gbps を実現するために 25Gbps の光伝送を 4 波多重するという方式が提案されている。これは数年後に 25Gbps クラスの光伝送技術が、現在より安価に実現可能となっていることを前提としている。

この方式の利点としては、既に 4 波多重の技術が実現されているために多重化の管理や部品構成の管理技術が流用できるということである。一方、欠点としては、25Gbps という新しい伝送速度を実現する電子部品や光学部品が新規に必要になり、新規開発の要素が多くなってしまい市場投入が遅くなるということが挙げられる。

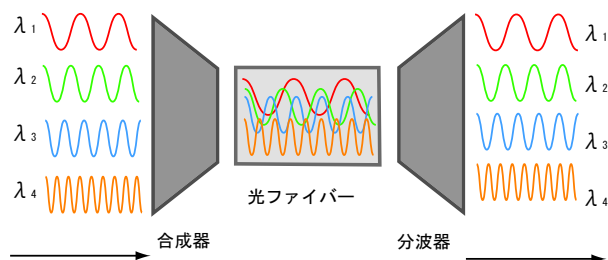


Fig.5 WDM(3) より参照

#### 4 Ethernet の今後の展望

100GbitEthernet 実現のために提案された技術として DQPSK 変調方式と PME 集約方式と WDM を挙げた

が、これらが規格化された場合、実現への容易さ、原理の単純さから最も早く普及するのは PME 集約方式と思われる。しかし省スペースやコストの面から、やがて DQPSK 変調方式と WDM の普及が追い上げ、いつかは PME 集約方式を上回る普及率となるであろう。その後は、シリアル伝送方式とパラレル伝送方式でそれぞれ普及が進み、シリアル伝送方式の技術を使用したパラレル伝送方式で速度の向上が図られるのではないだろうか。

これからの Ethernet は、標準化された通信速度のものが序々に普及していく一方、WAN や無線 LAN のような他の電気通信技術や光通信技術においても進出していくものと思われる。

#### 参考文献

- 1) フリー百科事典 ウィキペディア (Wikipedia)  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>
- 2) ネットワーク総合辞書  
<http://www.7key.jp/>
- 3) 10 ギガビット Ethernet 教科書, 石田修, 瀬戸 康一郎 著, impress 出版, 2005.
- 4) COMPUTERWORLD  
<http://www.computerworld.jp/>
- 5) ITpro  
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/index.html>
- 6) WBB FORMU  
<http://wbb.forum.impressrd.jp/>
- 7) NiCT 独立行政法人 情報通信研究機構  
<http://www.nict.go.jp/index-J.html>