

コンピュータネットワーク

OSI, Ethernet 編
2011/10/12

前回の復習

- ▶ 情報通信の基礎
 - ▶ 回線交換網
 - ▶ パケット交換網
 - ▶ 符号化
 - ▶ 情報量
- ▶ インターネットの歴史

▶ 2

11/10/12

プロトコル

本日の流れ

- ▶ プロトコル
 - ▶ プロトコルとは
 - ▶ OSI 参照モデル
- ▶ Ethernet
 - ▶ イーサネットとは
 - ▶ イーサネットフレーム
 - ▶ MAC アドレス
 - ▶ CSMA/CD
 - ▶ 物理層とデータリンク層
 - ▶ Ethernet による通信
 - ▶ 全二重と半二重
 - ▶ リピータとスイッチ
- ▶ 近隣探索プロトコル
 - ▶ ARP
 - ▶ NDP

▶ 4

11/10/12

プロトコル

- ▶ 通信の約束事 = プロトコル
- ▶ インターネットの通信
 - ▶ ノート PC ⇔ 携帯
 - ▶ デスクトップ PC ⇔ スマートフォン
 - ▶ スーパーコンピュータ ⇔ ノート PC
- ▶ 異なった機種間でも通信が可能
 - ▶ TCP/IP というプロトコルに準拠している

▶ 5

11/10/12

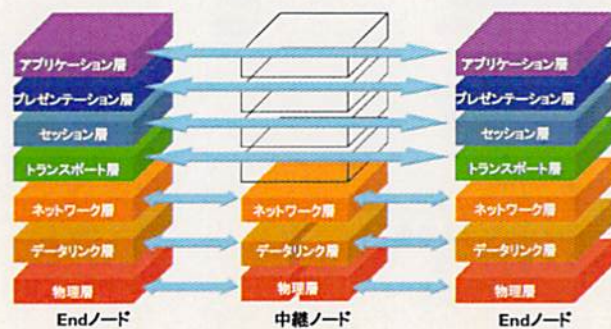
OSI 参照モデル

- ▶ OSI : Open Systems Interconnection
- ▶ ISO (国際標準化機構) によって策定された、コンピュータの通信を階層的に表したモデル
- ▶ その昔 (1970年代) まだインターネットも TCP/IP も無かった時代
 - ▶ いろいろな通信プロトコルが考え始められた
 - ▶ プロトコル = 手順 / ルール
 - ▶ SNA (IBM)、FNA (富士通)、HNA (日立)、DCNA (NTT)
 - ▶ これらをまとめるために標準化機構が策定したのが OSI
- ▶ 結果として TCP/IP が生き残った
 - ▶ OSI は利害関係のため策定が遅れた

▶ 6

11/10/12

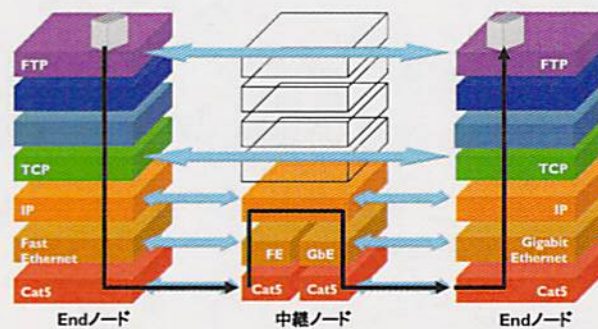
OSI参照7層モデル



▶ 7

11/10/12

TCP/IPによるデータ伝送の流れ (5階層)



▶ 8

11/10/12

階層構造アーキテクチャ

▶ 階層構造の利点

- ▶ それぞれの層にて役割を分割することが可能
- ▶ 分割した役割毎に、部品を入れ替えることが可能

▶ 物理層

- ▶ 有線 LAN / 無線 LAN / ADSL / 光ファイバー

▶ ネットワーク層

- ▶ IPv4 / IPv6 / AppleTalk



▶ 9

11/10/12

Ethernet

▶ 10

11/10/12

Ethernet (イーサネット)

▶ XeroxのPARC (Palo Alto Research Center)に よって発明

- ▶ 1980年にリリース
- ▶ Xerox, Intel, DECによってEthernet 2.0を制定 (1982年)
 - ▶ それぞれの頭文字をとって **DIX Ethernet** と呼ばれる
- ▶ **IEEE802.3 CSMA/CD** として標準化 (1983年)

▶ フレーム交換による通信

- ▶ Ethernetフレームによる通信

▶ 伝送帯域: 10Mbps ~ 10Gbps

▶ もっとも一般的な LAN (Local Area Network) 構築メディア

▶ 11

11/10/12

IEEEとは何か

▶ LANなどでコンピュータを接続する際の規格にしばしば見ら れる

- ▶ IEEE 1394 (Firewire)
- ▶ IEEE 802.3 (CSMA/CD: Ethernet)
- ▶ IEEE 802.11 (Wireless LAN)
- ▶ etc...

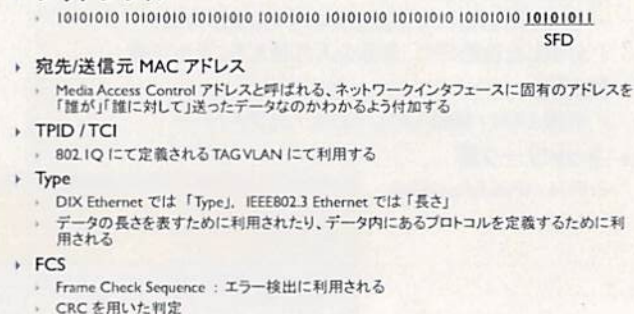
▶ IEEE・・・Institute of Electrical and Electronic Engineers

- ▶ エレクトロニクスに関する学会を開いたり、論文誌を発行したり、専門委
員会を開いて技術標準を定めたりしている

▶ 12

11/10/12

▶ プリアンブル



- ▶ フレーム内には、宛先アドレスと発信元アドレス (MACアドレス)が含まれる
 - ▶ SFD (Start Frame Delimiter)
 - ▶ FCS (Frame Check Sequence)
- ▶ プロトコルタイプフィールドで上位層を識別

11/10/12

11/10/12

データフレーム生成

The diagram illustrates the 10G Ethernet PHY layer structure, divided into Layer 2 and Layer 1 (PHY). The left side shows the MAC and PCS blocks, while the right side shows the PMA and PMD blocks. The bottom section details the signal processing steps for both transmission and reception paths.

Layer 2

- MAC**: MAC フレーム生成 (MAC Frame Generation)
- PCS**: フレーム符号化 (Frame Encoding)

Layer 1 (PHY)

- PMA**: シリアル変換 (Serial Conversion)
- PMD**: 信号波形変換 (Signal Waveform Conversion)

Transmission Path (送信):

- FCS計算して書き込み (Calculate FCS and write)
- 特殊な符号ブロックでフレーム区切りを自印 (Mark frame boundaries with special code blocks)
- IFGを埋める連続符号化 (Continuous coding to fill IFG)
- シリアル化 (Serialization)
- 変圧変換・光変換 (Voltage conversion and optical conversion)

Reception Path (受信):

- 微細信号をAC増幅 (Amplify AC micro-signal)
- タイミング抽出してデジタル識別 (Extract timing and digital identification)
- ブロック区切りを見つけてブロックごとにパラレル化 (Find block boundaries and parallelize by block)
- 目印を見つけフレームを取り出して復号 (Find markers and decode frame)
- FCS計算で誤りチェック (Check for errors with FCS calculation)

Legend:

- PMA: Physical Medium Attachment (物理媒体接続部)
- PMD: Physical Medium Dependent (物理媒体依存部)

PMA : Physical Medium Attachment (物理媒体接続部)
PMD : Physical Medium Dependent (物理媒体依存部)

1171012

11/10/12

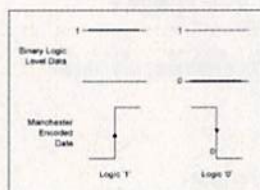
出典 : <http://www.atmarkit.co.jp/fnetwork/rensai/eth02/01.html>

符号化 (10base-T)

- ▶ 10Mbps のイーサネット
 - ▶ 10base-5 : 同軸ケーブル
 - ▶ 10base-T : RJ45



▶ マンチェスタ符号化



出典: <http://www.atmarkit.co.jp/fnetwork/rensal/eth02/01.html>

▶ 17

11/10/12

符号化 (100base-TX)

- ▶ 10base-T ~ 100base-TX
 - ▶ 4B/5B 符号化の後 MLT-3 として送出

▶ 4B/5B

- ▶ 4bit を 5bit で表す
- ▶ 少なくとも 5bit にひとつは 1 が入る

▶ スクロンブル

- ▶ 電磁妨害対策

▶ MLT-3

- ▶ +1, 0, -1



出典: <http://www.atmarkit.co.jp/fnetwork/rensal/eth02/01.html>

▶ 18

11/10/12

符号化 (1000base-T)

- ▶ 8B/1Q4 (8 binary to 1 Quinary 4)
 - ▶ 8bit -> 5値4組の符号に変換
 - ▶ 2進数8桁の符号を5進数4桁に変換
 - ▶ -2, -1, 0, 1, 2 の5値
- ▶ 4D-PAM5 にて送出 (4 dimensional-phase amplitude modulation 5)
 - ▶ -2, -1, 0, 1, 2 の5値を使用
 - ▶ 2本の銅線を1対として、4対の信号線を使用

▶ 19

11/10/12

NIC

- ▶ Network Interface Card
 - ▶ ネットワークへの接続性を提供する機器
- ▶ 各NICは、固有のMACアドレスを持つ
 - ▶ 各伝送媒体上での識別子
- ▶ NICにはIPアドレスもついている



何故、MACアドレスとIPアドレス両方が必要か？



複数の3層プロトコルを、同一リンク上で利用するため

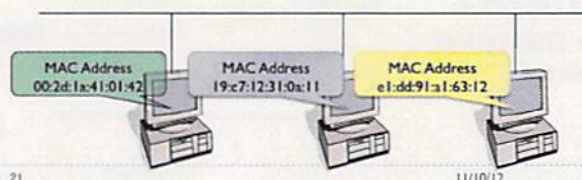


▶ 20

11/10/12

MAC address

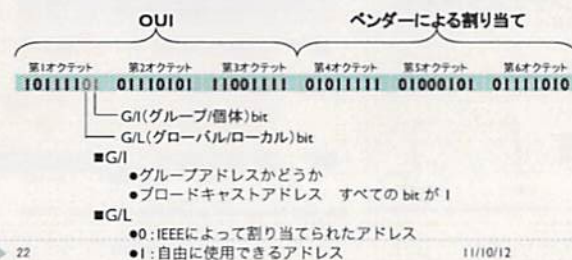
- ▶ Media Access Control Address
- ▶ レイヤ2上での識別子
- ▶ ネットワークに接続された機器ごとに付与されたアドレス(物理アドレス)
- ▶ グローバルにユニークな識別子



MACアドレス : EUI-48の構造

▶ OUI (Organizationally Unique Identifier)

- ▶ ベンダーコード
- ▶ IEEEがベンダーに割り当て
- ▶ 1つのベンダーは複数のOUIを取得できる



IEEE OUI 検索

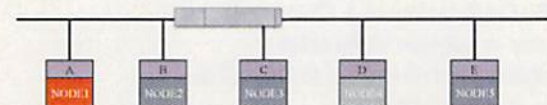
- ▶ <http://standards.ieee.org/regauth/oui/index.shtml>

```
en0: flags=8863<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
inet6 fe80::217:f2ff:fe0e:d6d0%en0 prefixlen 64 scopeid 0x5
inet 130.69.251.130 netmask 0xfffff00 broadcast 130.69.251.255
inet6 2001:200:180:299:217:f2ff:fe0e:d6d0 prefixlen 64 autoconf
ether 00:17:f2:0e:d6:d0
media: autoselect (1000baseT <full-duplex,flow-control>) status: active
```

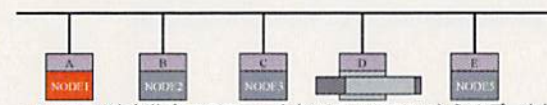
Here are the results of your search through the public section of the IEEE Standards OUI database report for 00-17-f2:

```
00-17-F2 (hex) Apple Computer
0017F2 (base 16) Apple Computer
1 Infinite Loop MS35GPO
Cupertino CA 95014
UNITED STATES
```

Ethernetの通信



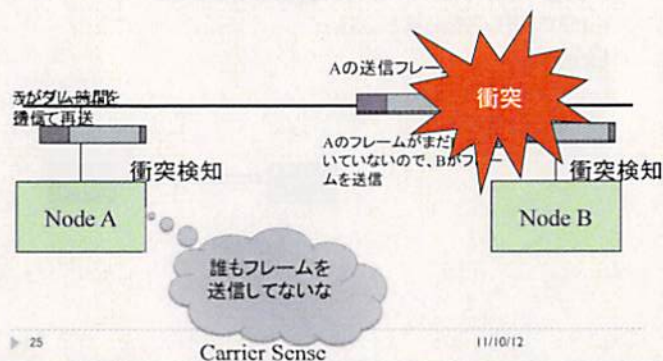
- ▶ NODE 1がNODE 4に宛てて送信したデータは同じネットワーク内の全てのノードに届く
- ▶ NODE 4以外のノードは宛先アドレスが自分のMACアドレスではないのでフレームを無視する



- ▶ NODE 4は自分宛てのフレームなので、NODE 1からのデータとして受信、処理を行う

CSMA/CD

carrier sense multiple access with collision detection



CSMA/CD

▶ Carrier Sense

- ▶ 通信路上の信号を監視し、どの端末もデータを送信していないことが確認できた場合にデータを送出する方式
- ▶ データを送出するにあたっては、一定時間待ってから送出手 (フレーム間ギャップ = 96bit タイム)

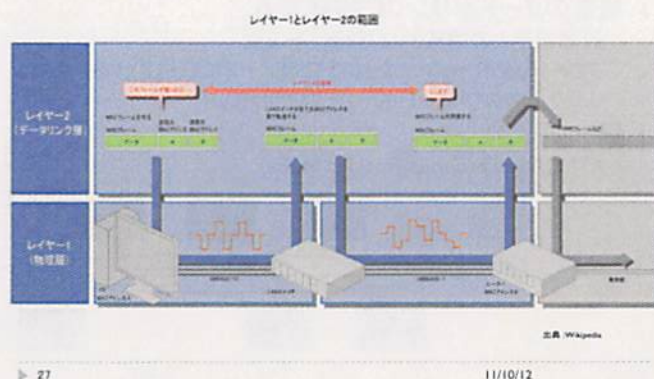
▶ Multiple Access

- ▶ 複数の端末が一つの伝送路を共有すること

▶ Collision Detection

- ▶ 複数の端末がほぼ同時にデータを送出した場合には信号の乱れが発生する。この乱れを検出した場合には、送出を中断し、擬似乱数で生成された時間を待ってから再送する。

物理層とデータリンク層



ノード同士を接続するとは?

▶ 2台を直接接続する



シリアル接続



UTPクロス接続

▶ ネットワーク機器を介して接続する



SW-HUB経由の接続

ノードを接続するには、
通信媒体(メディア)が必要!!

ノードの基本的な接続形態

- ノードを他のノードやネットワークに接続する際は接続形態は3つに大別される
 - Point-to-Point
 - Broadcast Multiple Access
 - Non-Broadcast Multiple Access

▶ 29

11/10/12

Point-to-Point

- リンク上には2つのノードしか接続しない
 - 直接つながったノード以外に通信相手はいない
 - MACアドレスを必要としない
- Examples
 - シリアル接続
 - デジタル専用回線
 - ダイヤルアップ

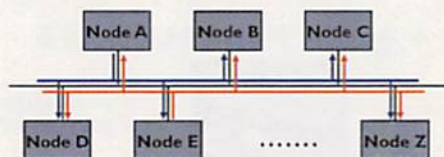


▶ 30

11/10/12

Broadcast Multiple Access (バス型メディア・シェアードメディア)

- 複数のノードが同一リンクに接続する
- Ethernet
 - フレームはリンク上の全ノードにブロードキャストされる
 - ノードは自分宛の packets のみ受信
 - リンク上のノードに識別にMACアドレスを必要とする

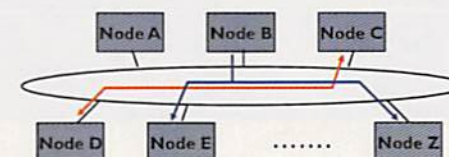


▶ 31

11/10/12

Non-Broadcast Multiple Access (コネクション型)

- 複数のノードがリンクに接続する
 - 通信相手との論理的な接続性を確立
 - フレームは単一の・または複数のノードに伝送される
 - リンク上でのブロードキャストは行わない
- 例
 - ATM (Asynchronous Transfer Mode)



▶ 32

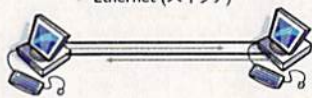
11/10/12

全二重通信と半二重通信

一つの周波数では送信方向が限定される

全二重通信(Full Duplex)

- 送信用と受信用に別の通信チャネルを用意
- 同時に双方からデータの送信(TX)と受信(RX)が可能
- 100Mbpsの回線容量なら、送受信ともに100Mbps
- 利用環境:
 - Ethernet (スイッチ)



▶ 33

半二重通信(Half Duplex)

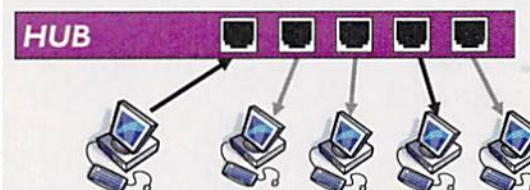
- 送信と受信は同一チャネル
- タイミングを切り替えて送信と受信を行う
- 100Mbpsの回線容量なら、送信と受信を合計して100Mbps
- 利用環境:
 - Ethernet (リピータ)
 - 無線LAN



11/10/12

リピータ (リピータ・ハブ)

- 受け取った信号を、増幅して全ポートに再生
- 物理層
- コリジョンドメイン(衝突ドメイン)の拡大
 - リピータで延長されたセグメント全体でCSMA/CDが行われる
 - 全てのステーションで帯域を共有
- 半二重通信
 - 送受信を同時に行うことはできない



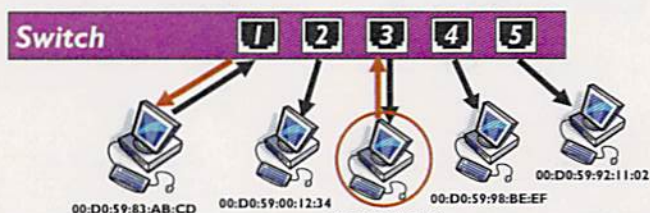
▶ 34

11/10/12

ブリッジ(スイッチ)の動作

- フレームの発信元MACアドレスと、受信ポートを記憶
- フレーム転送時の処理
 - キャッシュになければ、受信ポート外の全ポートに転送
 - 宛先アドレスが存在するポートがキャッシュされていれば、そこにフレームを転送
- 一定時間マッチするトラフィックがなければ、キャッシュエントリを削除

Port	MACアドレス
1	00:D0:59:83:AB:CD
3	00:D0:59:98:76:54



▶ 35

11/10/12

コリジョンドメイン

- Ethernetでは、コリジョンドメイン内にフレームがブロードキャストされる



- リピータハブ
 - 同一コリジョンドメイン内では...
 - フレームが全ノードに送信される
 - 帯域幅を共有する
 - セキュリティ・プライバシー上の懸念(後述)

▶ 36

11/10/12

近隣探索プロトコル

37

11/10/12

近隣探索プロトコル

- ▶ 誰がどの MAC address / IP address を持っているか、を確認するためのプロトコル
 - ▶ 130.69.251.130 という IP address を持っているのは誰ですか？
- ▶ ARP : Address Resolution Protocol
 - ▶ IPv4 で利用される
- ▶ NDP : Neighbor Discovery Protocol
 - ▶ IPv6 で利用される

▶ 38

11/10/12

ARP

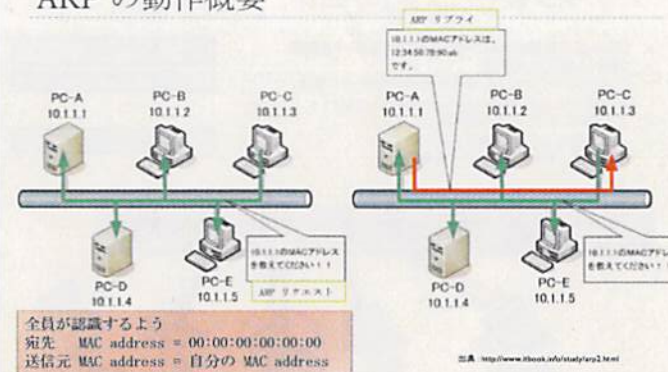
- ▶ Address Resolution Protocol
 - ▶ 下位層アドレスと上位層アドレスを関連づける
 - ▶ MAC address と IP address の対応付け

```
en0: flags=8863<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
inet6 fe80::217:f2ff:fe0e:d6:d0%en0 prefixlen 64 scopeid 0x5
inet 130.69.251.130 netmask 0xfffff00 broadcast 130.69.251.255
inet6 2001:200:180:299:217:f2ff:fe0e:d6:d0 prefixlen 64 autoconf
ether 00:17:f2:0e:d6:d0
media: autoselect (1000baseT <full-duplex,flow-control>) status: active
```

▶ 39

11/10/12

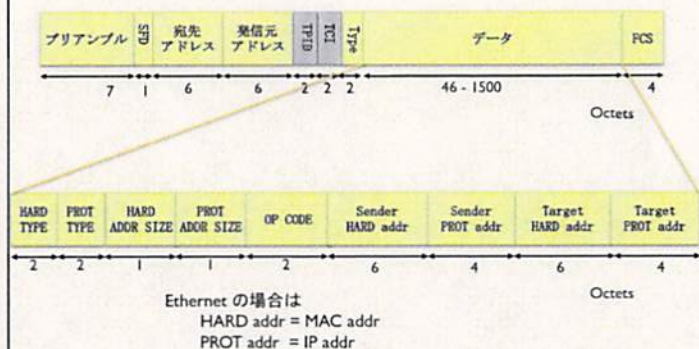
ARP の動作概要



▶ 40

11/10/12

ARP フォーマット



▶ 41

11/10/12

ARP テーブル

sekiya[~]% arp -an

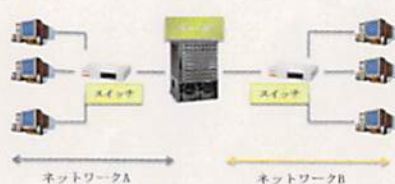
? (130.69.251.79) at 0:e:c:9:43:58 on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.95) at 0:d:b:60:8c:47 on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.114) at 0:11:43:10:de:59 on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.116) at 0:c:29:fd:58:24 on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.118) at 0:a:95:a6:ae:c6 on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.120) at 0:10:18:14:8e:cc on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.231) at 0:7:eb:2f:75:3e on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.235) at 0:3:e3:62:fc:45 on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.237) at 0:1e:4f:58:6d:3b on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.251) at 0:1e:7a:82:de:0 on en0 [ethernet]
 ? (130.69.251.255) at ff:ff:ff:ff:ff:ff on en0 [ethernet]

▶ 42

11/10/12

トポロジー

- ▶ イーサネットによるネットワークは基本的に循環の無いグラフ構造にて構築される
- ▶ ルータ(中継機)にてネットワークが区切られる



▶ 43

11/10/12

MAC address / IP address

- ▶ 通信先は常に IP address によって指定される
- ▶ ARP/NDP によって IP address -> MAC address 変換が行われる



▶ 44

11/10/12