

# コンピュータネットワークの基礎と応用

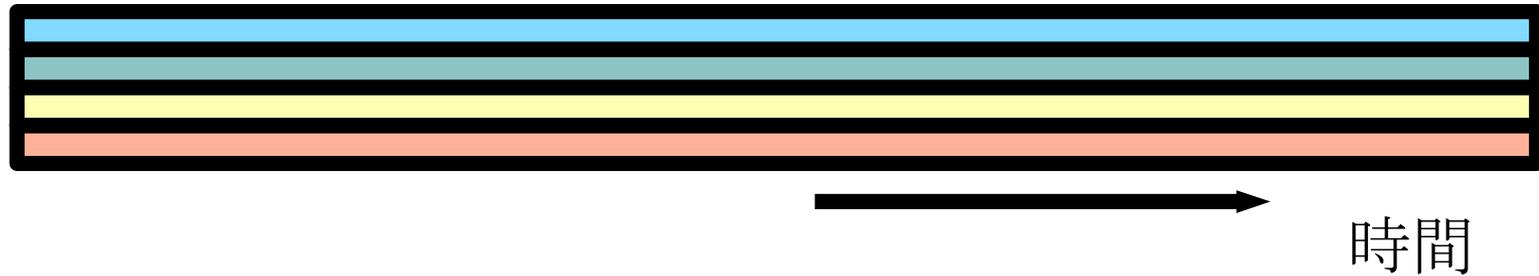
ルーティングを中心に

2008/4/5

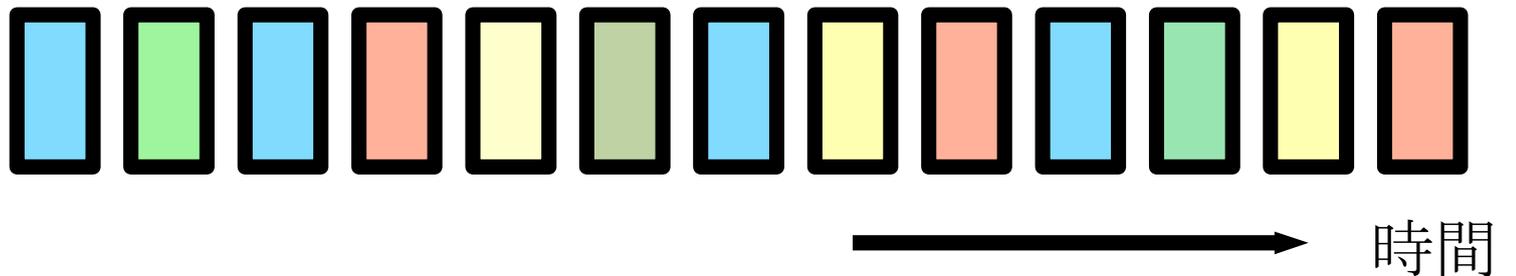
村上仁一

# 通信工学

ストリームデータ 昔の主流  
電話、テレビ 「電話交換器 (電々公社)」



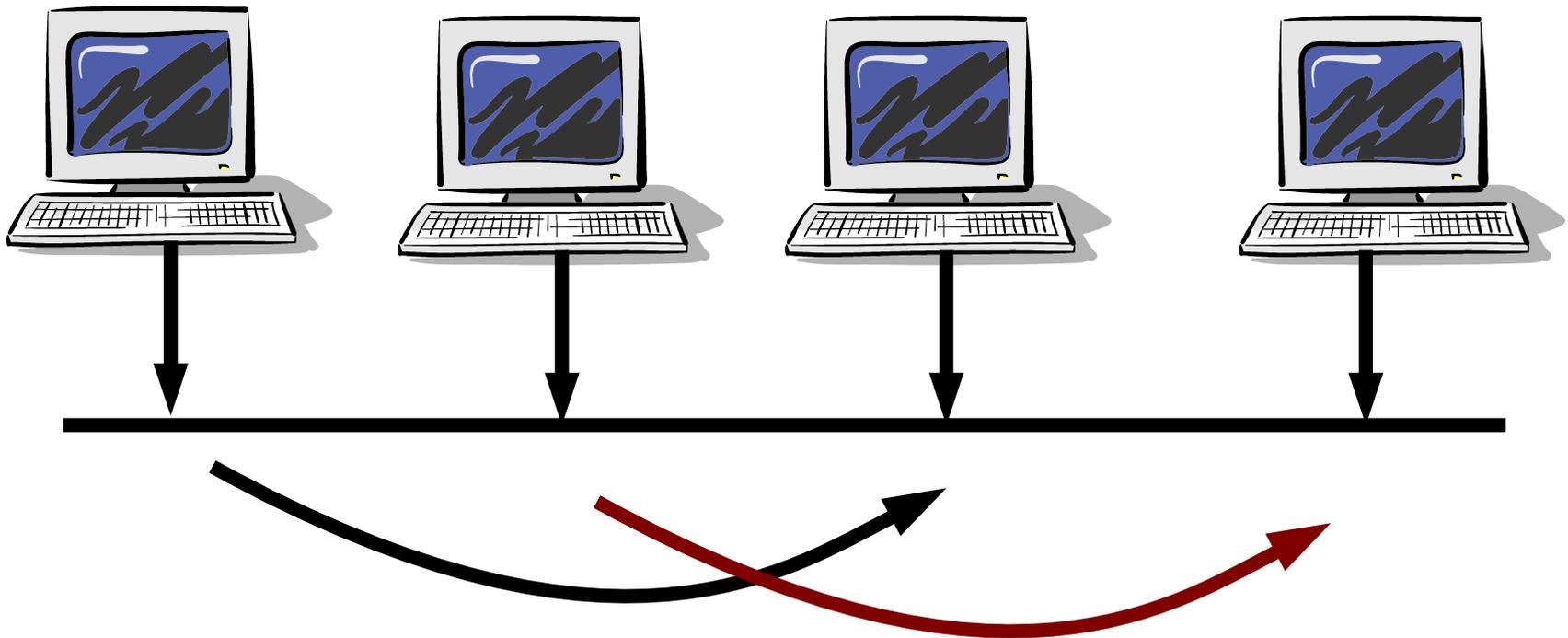
パケットデータ 今の主流  
コンピュータネットワーク, データ通信  
携帯電話 「ルータ」



# ネットワークの問題

1つのネットワーク（ケーブル）に複数のマシンが接続されたときに、信頼性のあるデータ通信方法の確立

問題点 データの干渉



# データ通信の歴史

## コンピュータの歴史

- 1) コンピュータ単体で集中処理  
バッチ処理
- 2) 集中型データベース (TSS)  
データベースは1つのコンピュータに集中  
アクセス端末は複数
- 3) 分散型データベース  
(リレーショナルデータベース)  
データベースが複数のコンピュータに分散

# コンピュータの通信

1970年代から1980年代

1) 国際標準    OSI    ISO

2) 実用研究    TCP / IP

3) 各社、独自のプロトコル

IBM            SNA    DEC            DecNet

XEROX        XNS

NEC            DINA    電々公社    DCNA

# OSI 7 階層

## 階層型プロトコルの概念を明確に定義

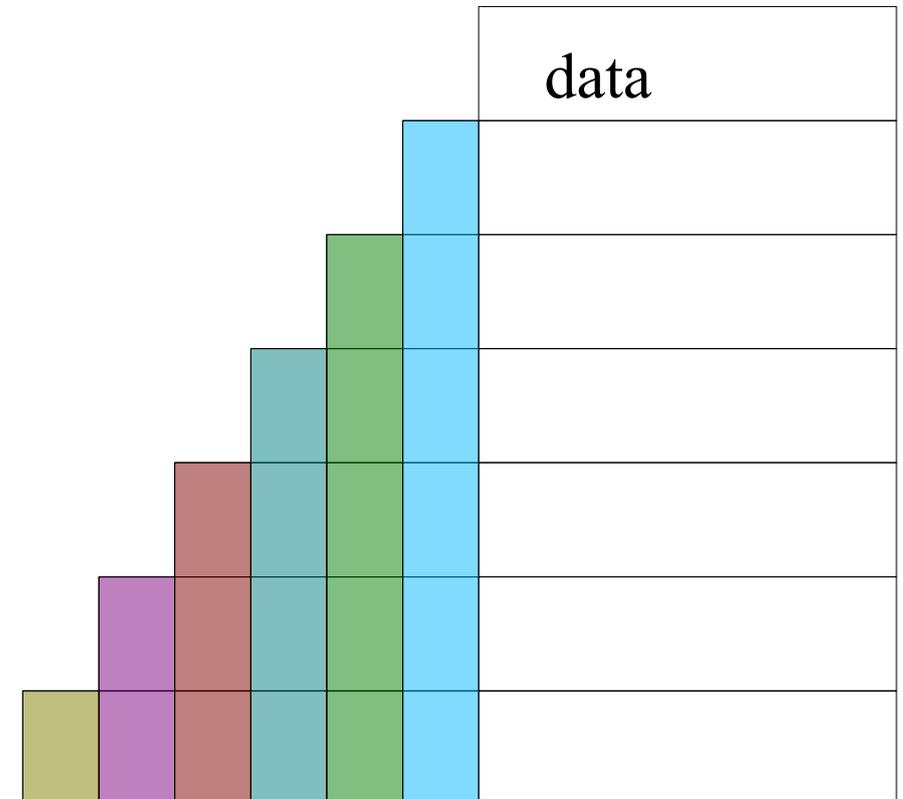
アプリケーション	ユーザが使用するアプリケーション
プレゼンテーション	コンピュータが理解できるバイナリデータ形式に変換
セッション	要求サービスの始まりから終わりまでを管理
トランスポート	信頼性, 順序性, 再送 segment 順序を保証する通信を提供
ネットワーク	複数のネットワークをつなぎ、データを中継
データリンク	ネットワーク上で直結されている機器同士での通信方式を定義
物理	電気信号や光信号を接続

# 階層化プロトコルの技術的特徴

カプセル化

下位プロトコルは上位プロトコルをカプセル化

アプリケーション
プレゼンテーション
セッション
トランスポート
ネットワーク
データリンク
物理



各階層の header

# 階層化の特徴

スケーラビリティに貢献  
各処理を分散可能

新しい技術への対応が簡単  
変化したところだけ交換可能

## メリット、デメリット

### メリット

単純、明解。 分割開発が可能。  
理解しやすい。独立したバージョンアップ  
異機種間の相互接続が可能

### デメリット

パフォーマンスがでない  
カプセル化によるメモリ管理とデータ管理は困難  
可変長データの取り扱いは困難

# TCP/IP の歴史

1969 年 DARPA 核戦争用の通信プロトコル  
ARPANET

IP プロトコル + UNIX + Ethernet (1983)

# OSI

アプリケーション
プレゼンテーション
セッション
トランスポート
ネットワーク
データリンク
物理

# TCP/IP

アプリケーション
トランスポート
ネットワーク
データリンク / 物理

# TCI/IP のアドレス値

TCP/IP

アドレス値

アプリケーション
トランスポート
ネットワーク
データリンク / 物理

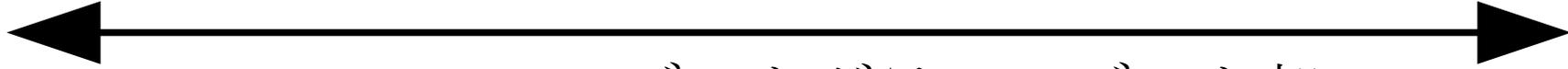
アプリケーション telnet ftp Web DNS	
TCP	UDP
IP	
Ethernet frame/ 物理層	

Port 番号

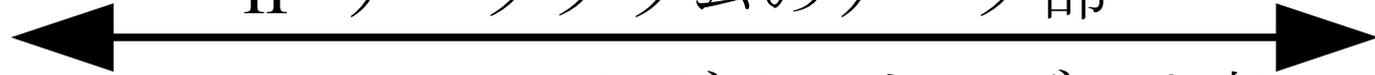
IP アドレス

Mac アドレス

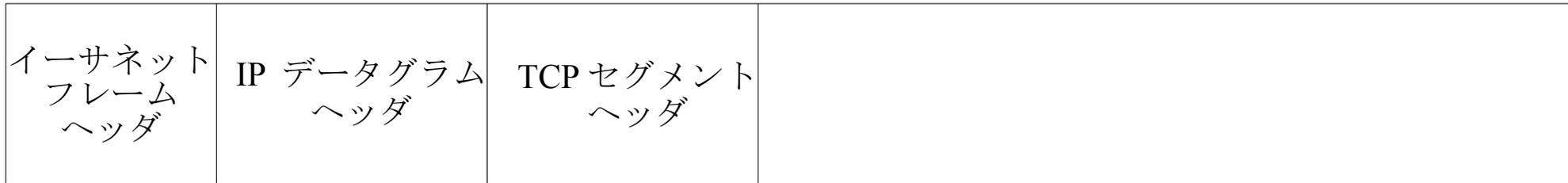
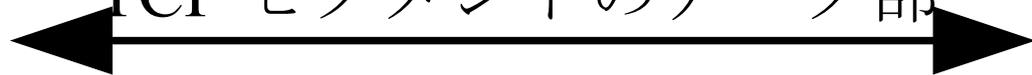
イーサネットフレームのデータ部



IP データグラムのデータ部



TCP セグメントのデータ部



## TCP/IP のパケット

層		処理単位	アドレス
アプリケーション	Telnet やFTP		
トランスポート	TCP UDP	セグメント	Port
ネットワーク	IP	IP datagram	IP address
データリンク	Ethernet frame	Frame	Mac address
物理	100base-TX,etc		

## TCP/IP の階層

# インターネットの成功

1990年代

勝者の決定

OSIの失敗

標準化の遅れ (ISO 標準化プロセスの敗北)

仕様が複雑

TCP/IPの勝利

標準化の速度 (IETF 標準化の勝利)

UNIXとの結合

DARPAの支援

仕様が単純、実装重視

# ベンダ独自プロトコルの衰退

標準化による優位性の欠如

DECNET → OSI protocol

Apple talk → TCP/IP 上のアプリケーション

Netware, NetBios → TCP/IP 上のアプリケーション

Xerox XNS → 滅亡

IBM SNA → サバイバル

大型汎用機  
業務用

# 物理層

Bit を提供

各伝送媒体に対してビット伝送手順を定義

例：電気信号レベル L:< 0.5 V H:> +3.7V

ビット列伝送手順 : 同期方法、エラー補正

Ethernet で使用される伝送メディア

有線

同軸ケーブル

UTP( unshilded twist pair) ケーブル

光ファイバー

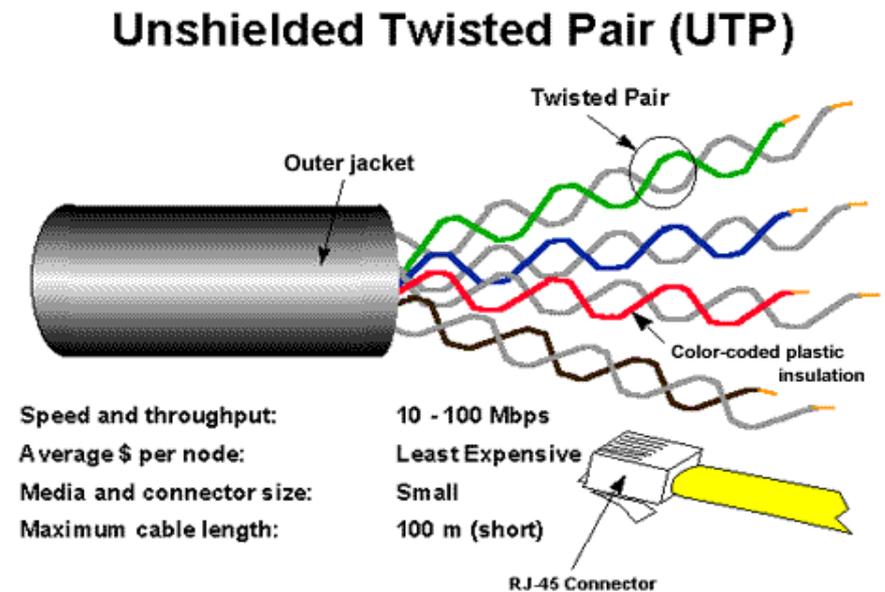
無線

電波

# ツイストペアケーブル

対を構成する2本の芯線を均等により分け  
雑音、漏話を軽減

UTP unshield twist pair  
最大伝送距離 100m  
STP shield twist pair



# Cable の作成方法

## ツイストペアケーブルのコネクタ

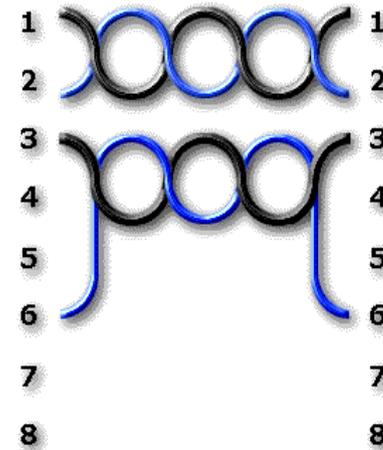
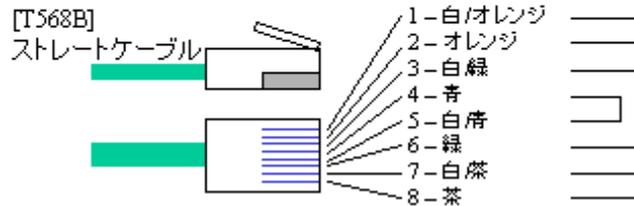
- 主なもの
  - RJ11 6極 電話用
  - RJ45 8極 LAN/ISDN用
  - RJ48 8極 ISDN新規格用

[RJ48]



【図例】 ISDN New Standard Service (NSSS) 用の ISDN 8極 RJ48 型コネクタに使用するツイストペアケーブルの配線

- ケーブル内の配線
  - ケーブルの色によって決まっている



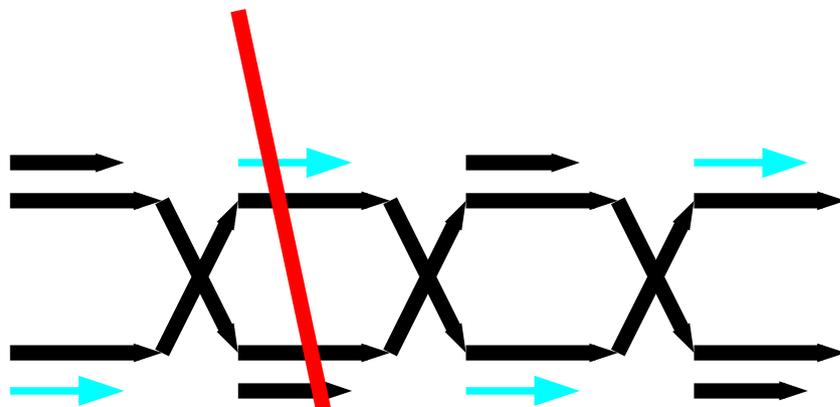
Correct Wiring



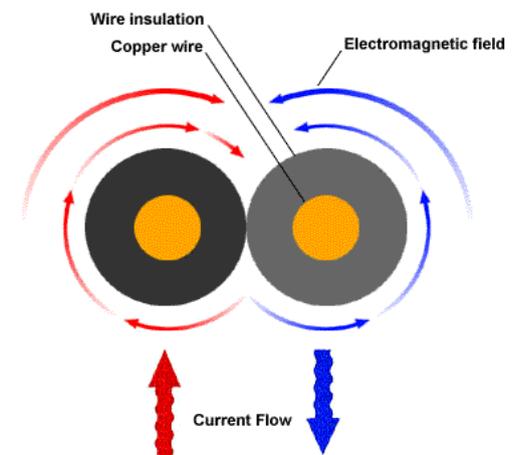
# UPS ケーブルのノイズ耐性

実用的、もっとも平衡度が高いケーブル

撚り線によって高い平衡性  
外部からのノイズを打ち消し  
ケーブル自体が発生するノイズを打ち消し  
他のケーブルにノイズの影響を受けない。



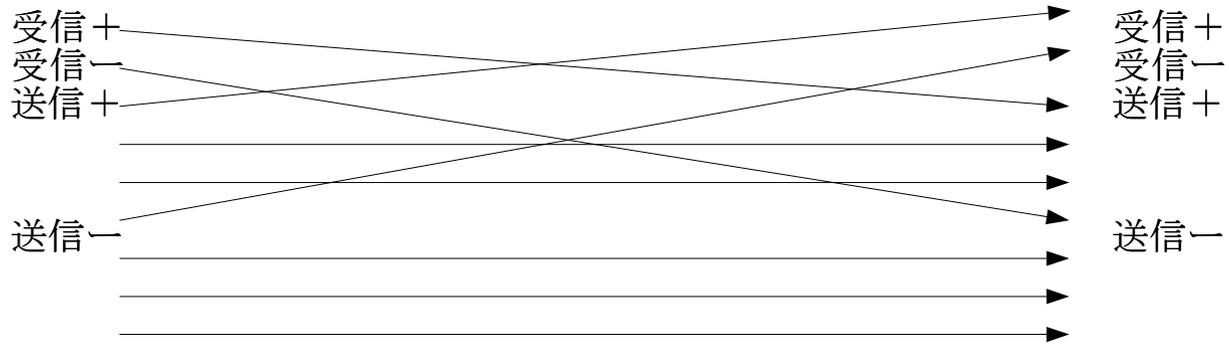
外部からの電磁誘導



# ストレートケーブル



# クロスケーブル



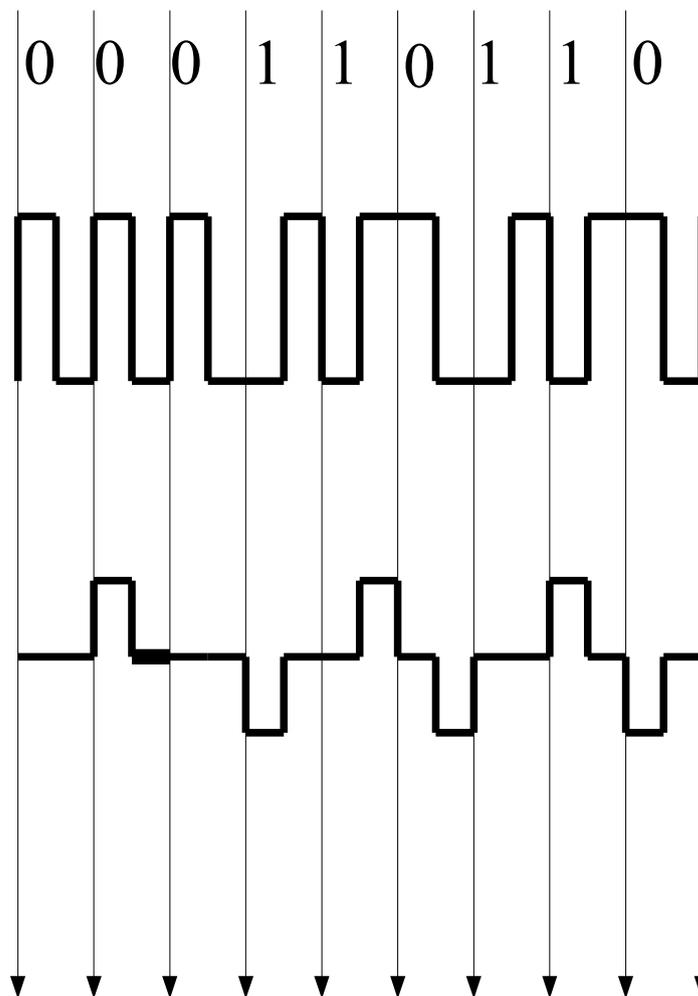
# Half-duplex/Full-duplex

Half-duplex (半2重通信)  
送信中は受信不可能  
CSMA/CD

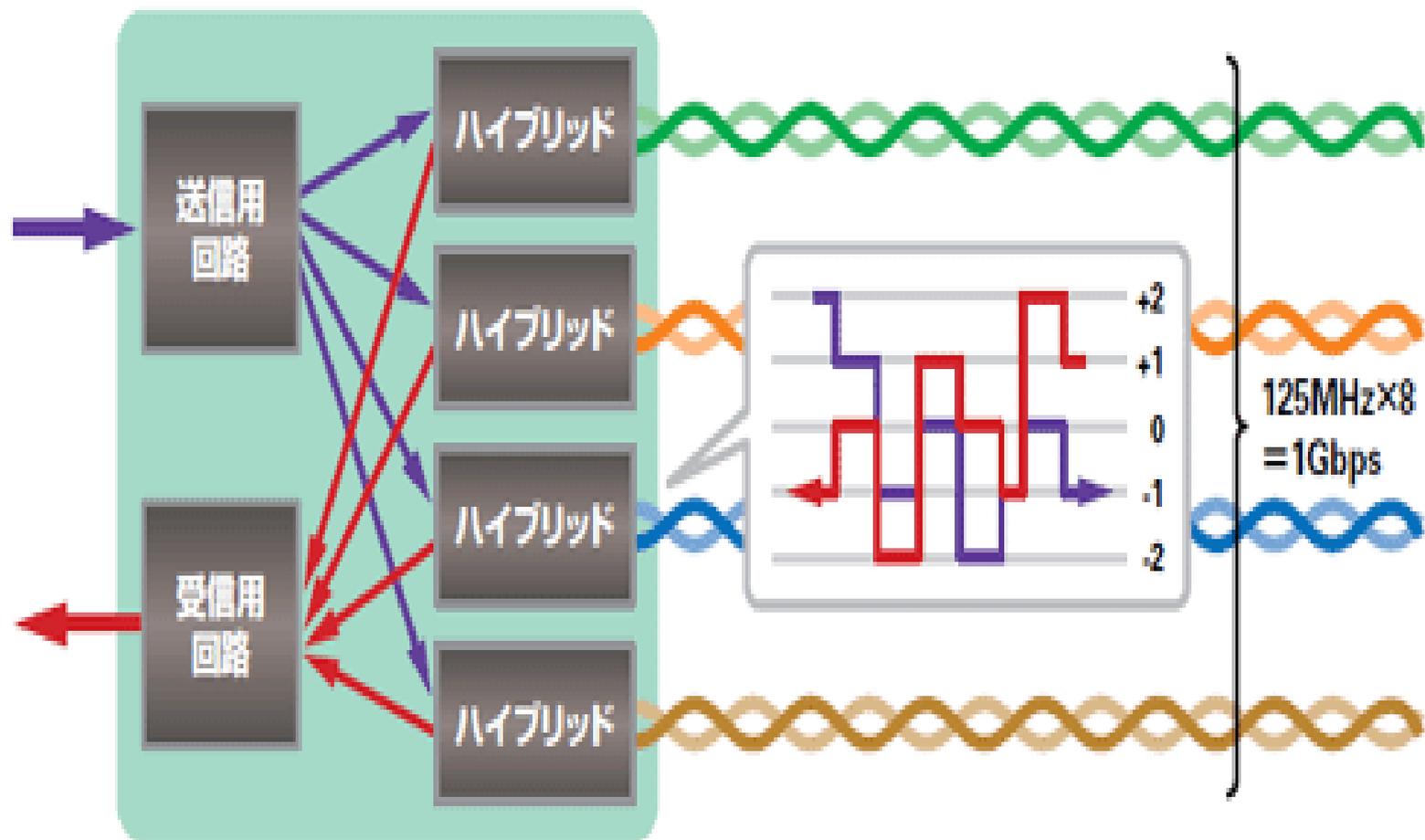
Full-Duplex (全2重通信)  
送信中に受信可能  
伝送メディアを専有  
例 switching HUB など

マンチェスタ  
(10base-T で使用)

3 値信号  
MLT-3+4B5B  
(100base-TX)



符号の方式



1000base-T

# データリンク層

隣接する装置(ホスト)間における通信手順

同一の伝送メディア

異なる伝送メディアとの通信にはゲートウェイが必要

送受信されるデータの format

データグラム型 ベストエフォート

データリンクフレーム

装置間におけるデータの誤り検出、訂正

物理層の特性を考慮して安定したデータ転送

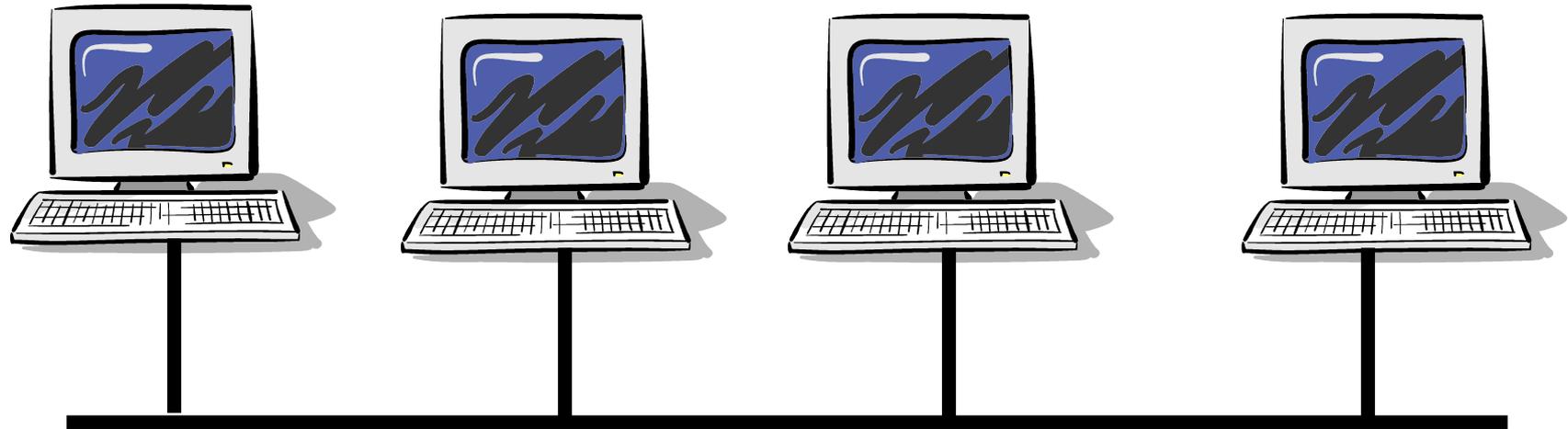
ネットワーク層に対するインターフェース

物理層のビットレベルの伝送機能を使用して、

フレーム単位の交換機能を実現

# データリンク層 (1つのネットワークを構成)

隣接する装置(ホスト)間における通信手順



ネットワーク

ハブ

# Ethernet

Xerox PARC (Palo Alto Research Center) によって発明  
Xerox,intel,Dec によって Ethernet 2.0 を設定  
IEEE 802.3

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 ~ 100Mbps

# データリンク層

LAN を中心とする IEEE802.x

Ethernet 802.3

Token Ring 802.5

FDDI 802.9

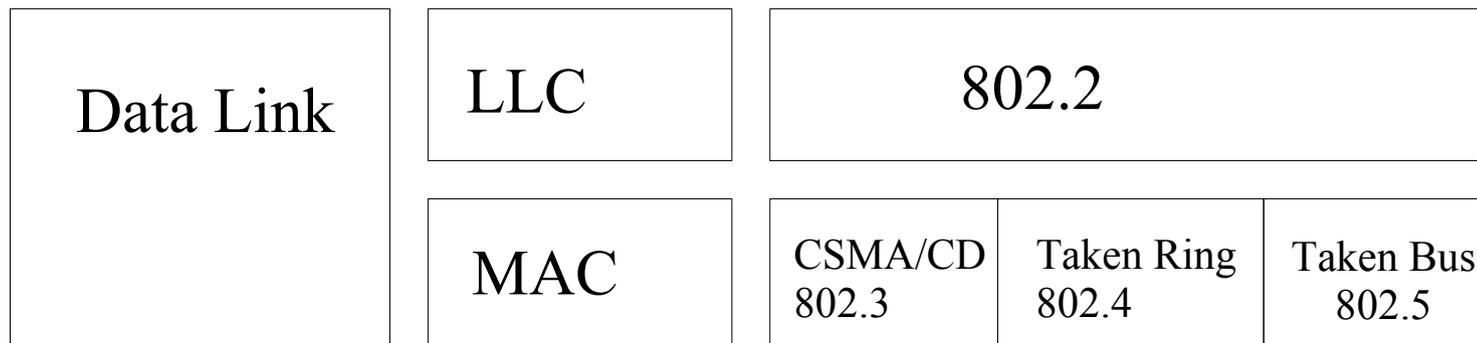
IEEE802 データリンク層を2つのサブレイヤに分離

MAC (Medium access control)

各 LAN に特有な問題

LLC (Logical link protocol)

複数の上位層プロトコルがデータリンクを共用するためのフィールドを定義



# データリンク層のアドレス

## MAC アドレス



Mac address: 00:D0:B7:60:A5:51

宛先の指定、発信元の指定に用いる

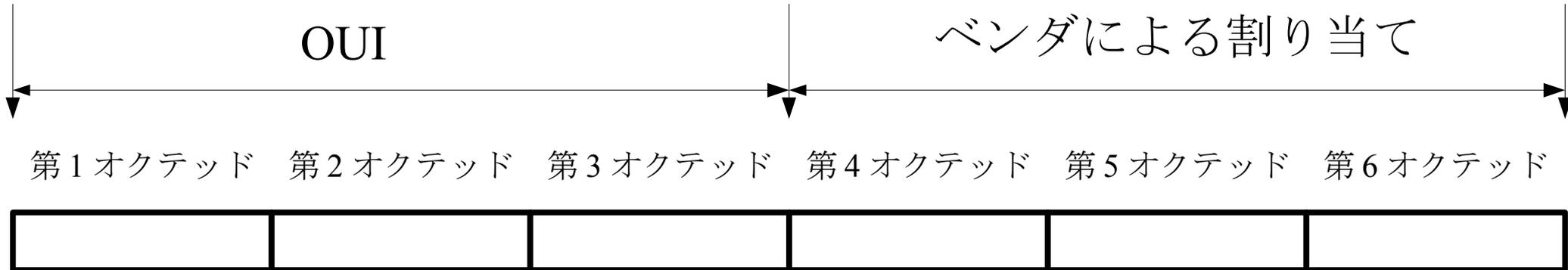
ノードを識別

通信機器毎にユニークなアドレス (48 bits)

固定で割り当て

NIC (Network Interface Card) が管理

# MAC アドレス



OUI (organization unique identification) ベンダーコード  
ベンダに割り当てられる固定値  
1つのベンダは複数のOUIを取得可能

G/I グループアドレス ブロードキャストアドレス

G/L 0:IEEEによって割り当てられたアドレス  
1:自由に使用できるアドレス

# CSMA/CD 方式

Ethernet で採用

## Carrier Sense

通信を行いたいステーションは聴取を行う。  
他のステーションが通信中の場合は待機

## Multiple Access

複数のステーションが同じメディアを共有

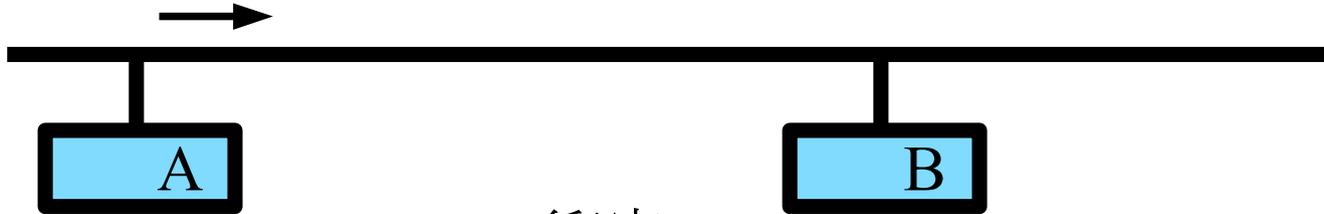
## Collision Detection

通信中をメディアを監視  
衝突を検出

衝突が検出されたら random に待って再送

# CSMA / CD

A がデータ送信



衝突  
B がデータ送信



B が衝突を検知



A が衝突を検知



Aはランダム時間(1)  
停止

Bはランダム時間(2)  
停止



A 送信



B 送信



# Ethernet Frame

データリンク層では Frame の単位でデータの通信

宛先、発信元の指定

誤りの検出

# Frame Format

## Ethernet format

プリアンブル 8(byte)	宛先 アドレス 6	送信元 アドレス 6	Type 2	データ 46~1500	FCS 4
-------------------	-----------------	------------------	-----------	----------------	----------

## IEEE 802.3 format

プリアンブル 7(byte)	S F P	宛先 アドレス 6	送信元 アドレス 6	長さ	SDC SST AAL PP	データ 43~1497	FCS 4
-------------------	-------------	-----------------	------------------	----	-------------------------	----------------	----------

プリアンブル  
 受信柄がビット同期をとるためのフィールド  
 101010101010101.....01011(64bit)  
 フレームデータの先頭を識別

# ネットワーク層

パケットを提供

ネットワーク内のノード間でのデータ交換機能

End System 間の通信の定義

ノードに対するアドレスの付与

パケットの定義

ES,IS のアドレスの構造

パケットの形式

パケットの経路制御

同報通信

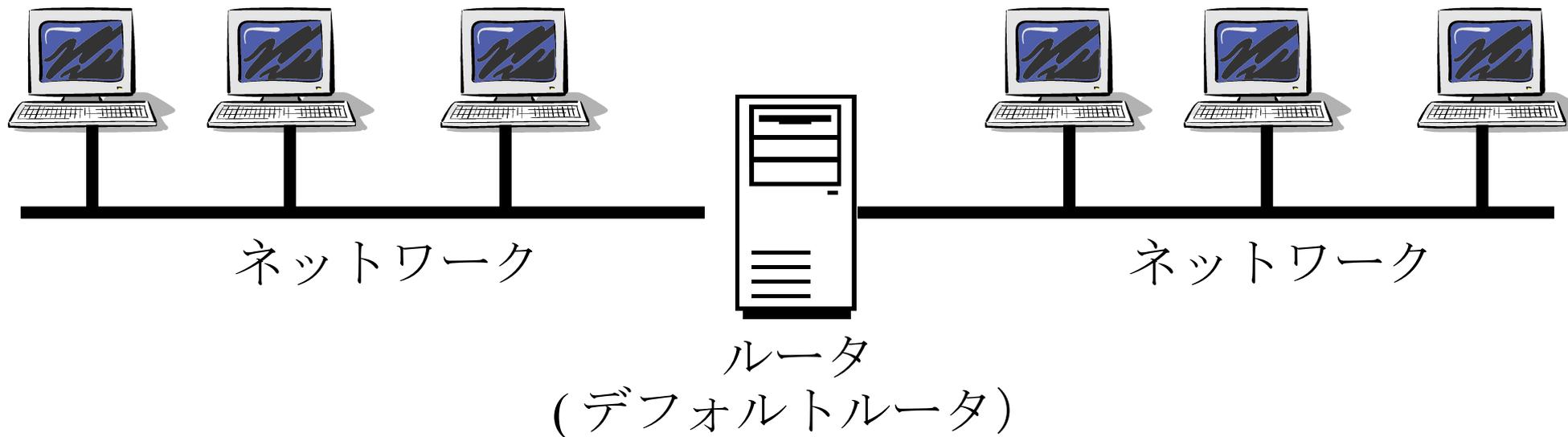
# ネットワーク層

ネットワークの接続

IP の基本

パケットリレー方式

中継ノードは自分宛のパケットでなければ次へ  
判断は、ネットワーク層  
転送はリンク層



## IP の基本

パケツリレー方式

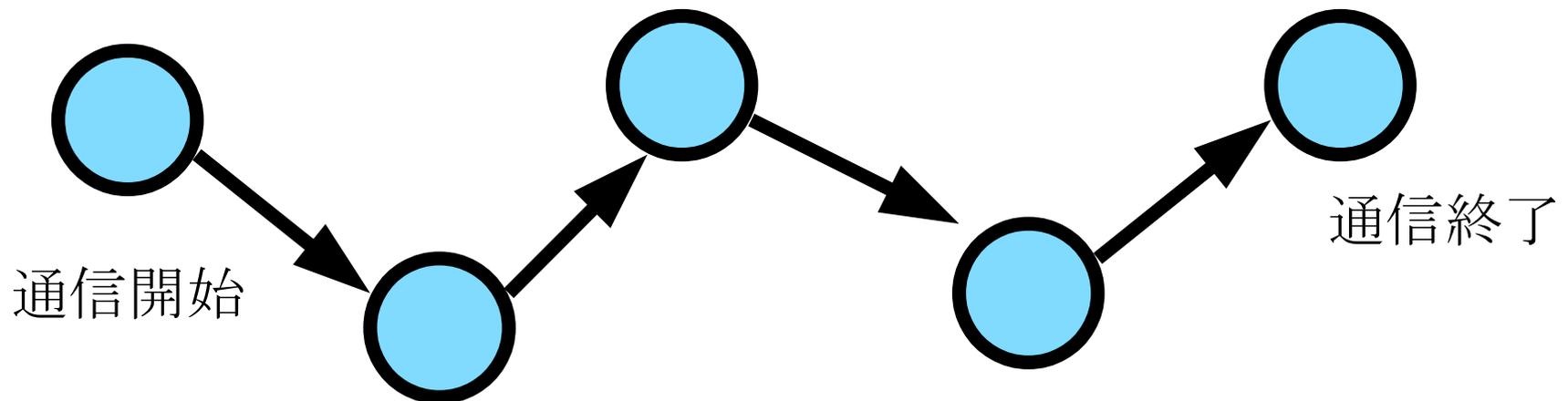
中継ノードは自分宛の packets でなければ次へ  
判断は、ネットワーク層

転送はリンク層

ベストエフォート方式

中継ノードは、パケットを捨てたら報告

ICMP echo message



# IP アドレス

インターネットプロトコルの識別子  
V4 32 bits 192.168.0.1  
相手と自分を認識

表記方法

通常、10進

# IP アドレスの構造

## アドレス構造

ネットワーク部とホスト部から構成

ネットマスクによる柔軟な構造

階層的にネットワークを管理

複数のネットワークを1つのアドレスで管理

Ver	IHL	TOS	Total Length
Identification	Flag	Fragment offset	
TTL	Protocol	Header CheckSum	
Source IP Address			
Destination IP Address			
Destination IP Address			



4 octets

# IP ヘッダ

Ver version 現在は 4

IHL ヘッダの長さ 4octet を 1 としてカウント

TOS Type of Service 配送のタイプ

Total Length Ip データグラム全体の大きさ

TTL time to live

データグラムの寿命

1つのホストを経由すると 1つ減る

初期値は 64

Protocol 上位層は何か？

Header CheckSun

Header 部分の検証 ( データが壊れていないか？ )

# IP アドレス ( ネットワークの接続 )

グローバルアドレス

(世界で1つだけのアドレス 日本 JPNIC が管理)

プライベートアドレス

(自由に使用しても良いアドレス 世界中に複数あり。  
グローバルアドレスとのルーティングは不可)

プライベートアドレス

Class A	1個	10.0.0.0 ~ 10.255.255.255.
Class B	16個	172.16.0.0 ~ 172.31.255.255
Class C	256個	192.168.0.0 ~ 192.168.255.255

# ネットワーク層のアドレス

## IP アドレス

Class A	0XXX	XXXX						
Class B	10XX	XXXX						
Class C	110X	XXXX						
Class D	1110	XXXX						
Class E	1111	XXXX						

IP V4 32 bits

### IP アドレスのクラス

- Class A 1つのネットワークに最大 1677261 台接続可能
- Class B 1つのネットワークに最大 65536 台接続可能
- Class C 1つのネットワークに最大 256 台接続可能

# IP アドレスと物理アドレスの対応

IP アドレスはネットワーク層での識別

実際にデータを送るときは、リンク層のアドレスが必要

ARP による解決

データグラムの転送前に行われるアドレス解決方法

# ARP

Address Resolution  
Protocol

## IP アドレスと MAC アドレスの対応

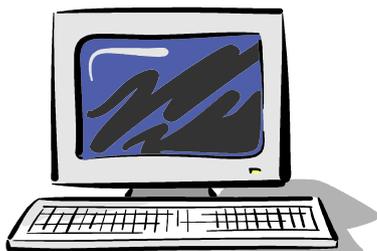
IP アドレス : ルーティングに必要な ネットワーク層での識別  
MAC アドレス : 実際の機械の固有アドレス

< 実際にデータを送るときは、MAC アドレスが必要 >

ARP: 機械を立ち上げたときや、一定時間ごとに行われる  
IP アドレスと MAC アドレスの対応表

IP address :192.162.0.11

Mac address: 00:01:80:0E:CD:5B



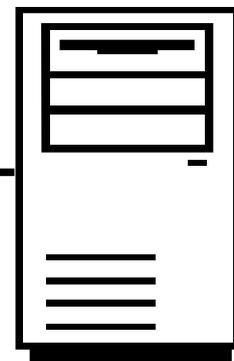
IP address :192.162.0.13

Mac address: 00:90:45:FE:D0:53



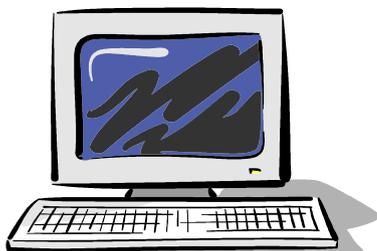
ネットワーク 192.162.0.0

ルーター



IP address :192.162.53.34

Mac address: 00:D0:B7:60:A5:51

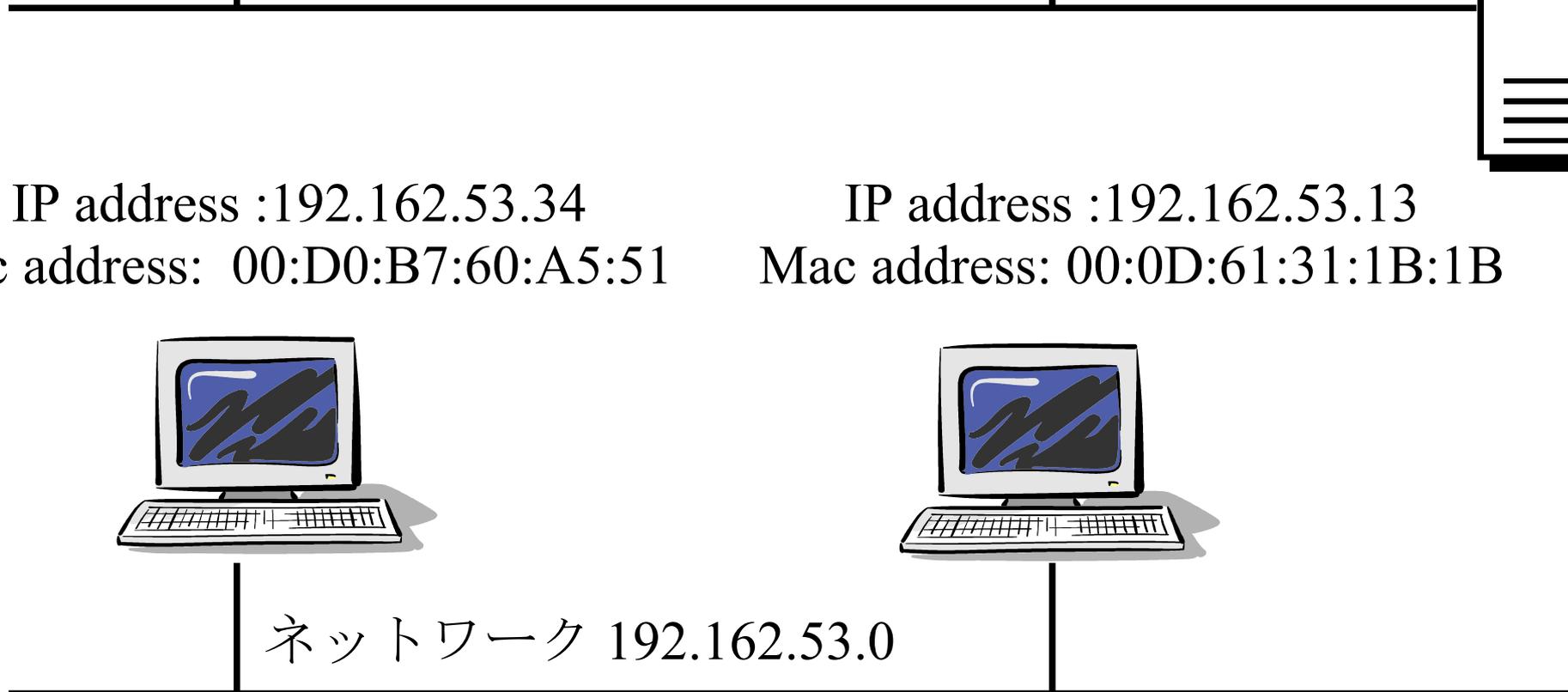


IP address :192.162.53.13

Mac address: 00:0D:61:31:1B:1B



ネットワーク 192.162.53.0

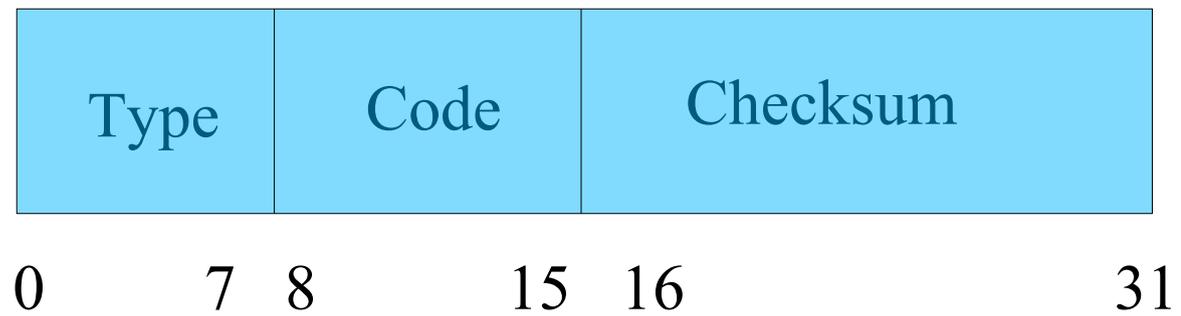


# ICMP

Internet control message protocol (RFC792)  
address-mask request  
ICMP time-stamp request  
ICMP information request  
ICMP echo request



## ICMP msg の形式



タイプ フィールドには 15 種類

コード フィールドには特定の状態を示す値

チェックサム フィールドには ICMP msg 全体をカバー

Ping ICMP

# IP ルーティング (TCP/IP の骨格)

シンプルな構造

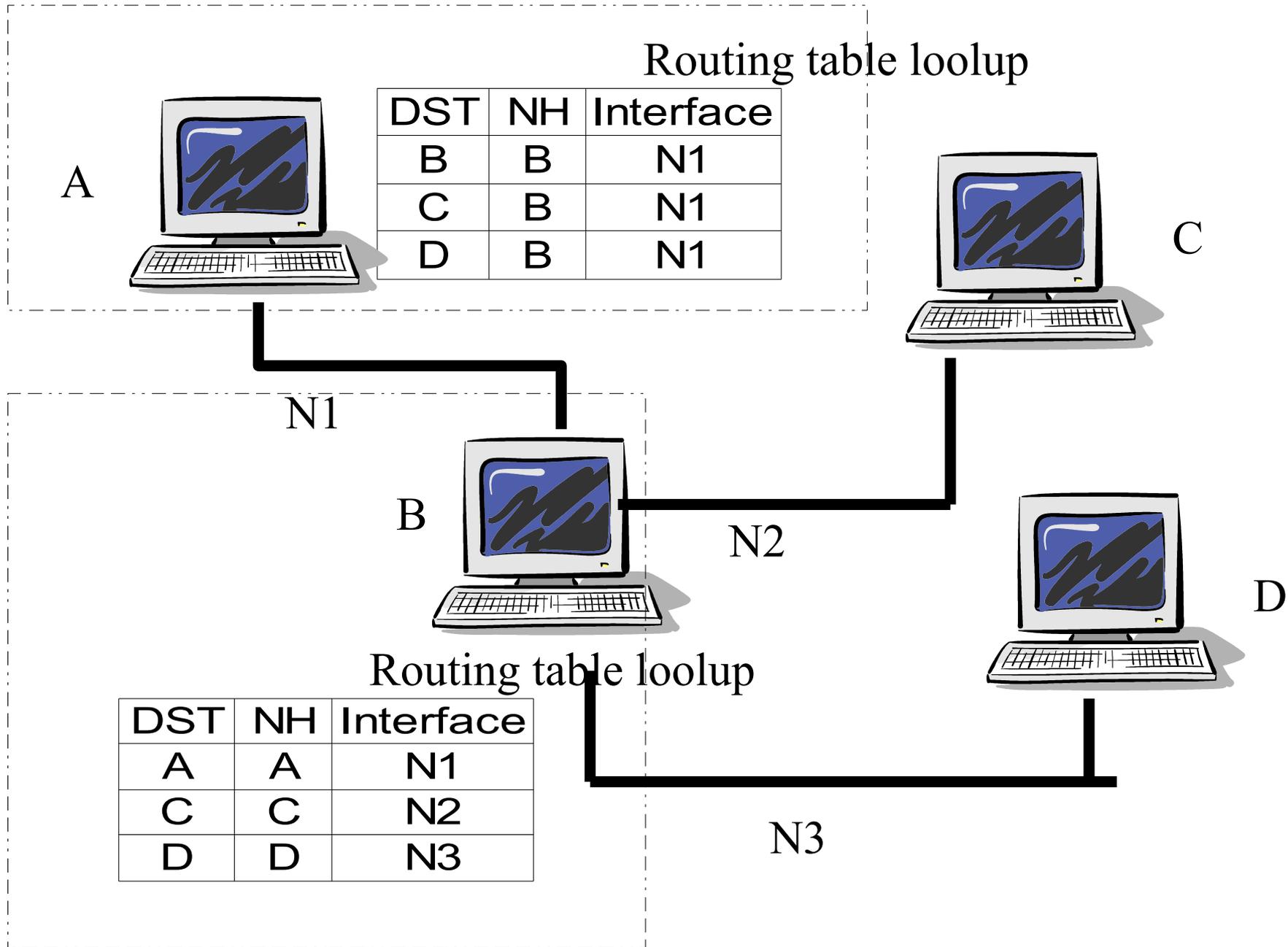
宛先が共有 (同一) ネットワーク → 直接転送

宛先が別のネットワーク → デフォルトルータへ転送

ルーティングテーブル

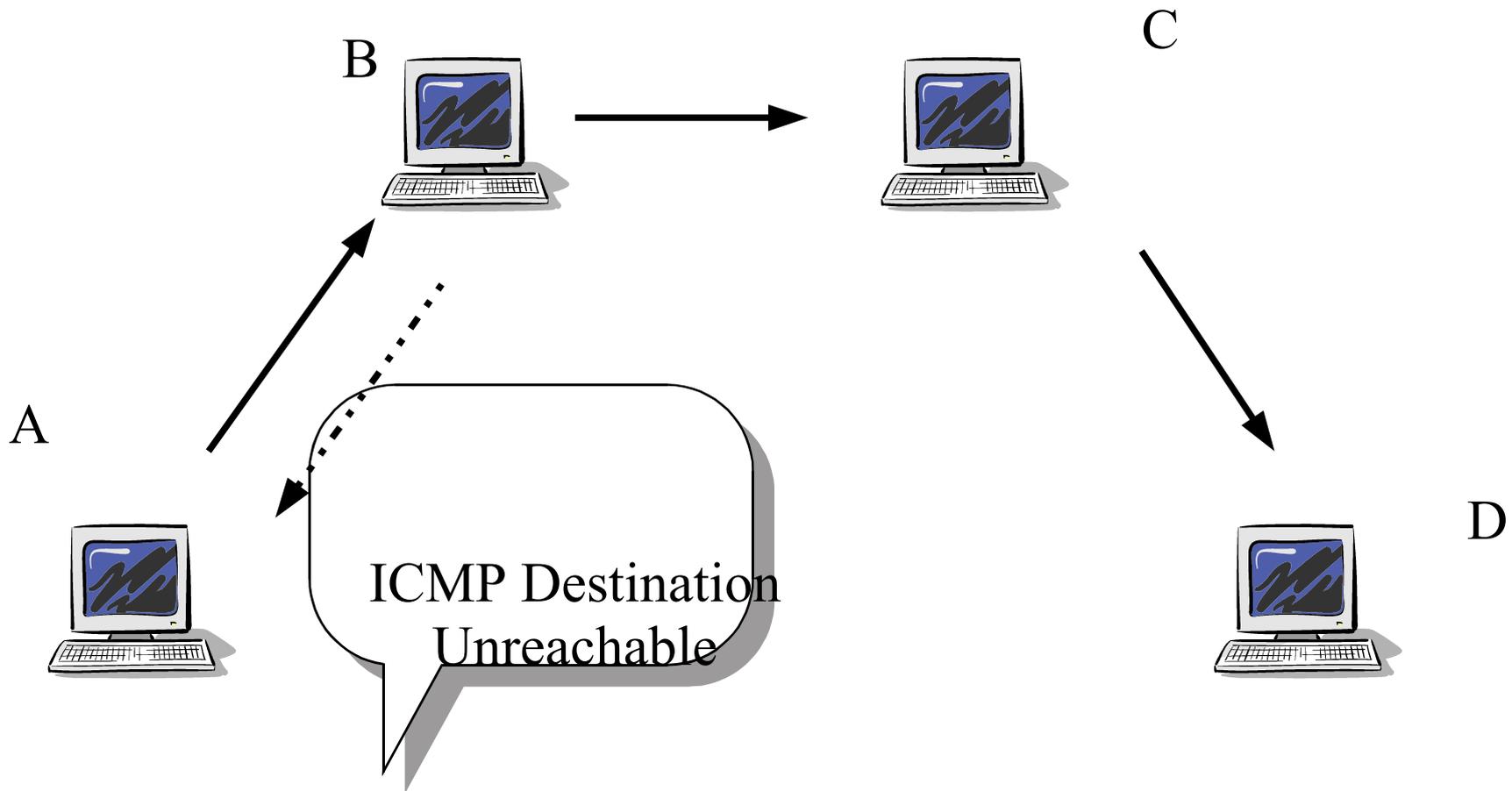
終点	次のホイップ	方向(interface)

# IP forwarding



# No Route to Host

BがDへの経路をもたない。



# 経路制御

静的経路制御 (static routing)

人間が手で経路を設定 route

コンピュータが複雑になると、大量の設定が必要

動的経路制御 (Dynamic routing)

RIP, IGRP,.....,

コンピュータが時動的に経路を計算

迂回回路があれば、自動的に経路を交換

A



宛先	ルータ	インターフェース
Default(0.0.0.0)	192.168.0.254	Eth0
192.168.0.0	Default(0.0.0.0)	Eth0

C



eth0  
192.168.0.1

eth0  
192.168.0.254

eth0  
192.168.0.2

B



宛先	ルータ	インターフェース
192.168.0.0	Default(0.0.0.0)	Eth0
192.168.1.0	Default(0.0.0.0)	Eth1

eth0  
192.168.1.1

Eth1  
192.168.1.254

eth0  
192.168.1.2

D



宛先	ルータ	インターフェース
Default(0.0.0.0)	192.168.1.254	Eth0
192.168.1.0	Default(0.0.0.0)	Eth0

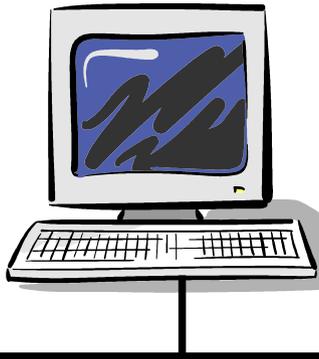
Static routing

Default gateway を利用した例

E

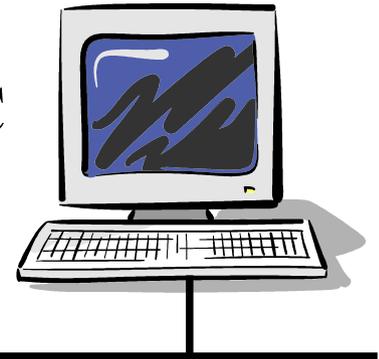


A



宛先	ルータ	インターフェース
192.168.0.0	192.168.0.1	Eth0
192.168.1.0	192.168.1.254	Eth0

C

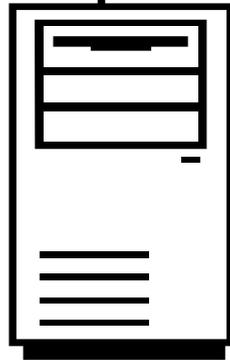


eth0  
192.168.0.1

eth0  
192.168.0.254

eth0  
192.168.0.2

B



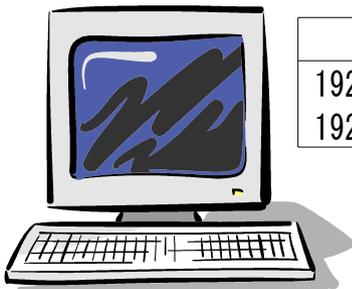
宛先	ルータ	インターフェース
192.168.0.0	192.168.0.254	Eth0
192.168.1.0	192.168.1.254	Eth1

eth0  
192.168.1.1

Eth1  
192.168.1.254

eth0  
192.168.1.2

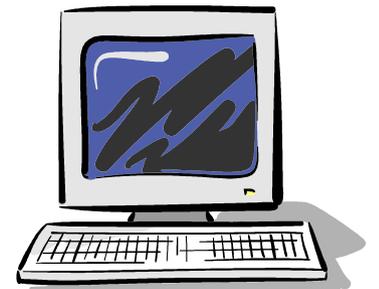
D



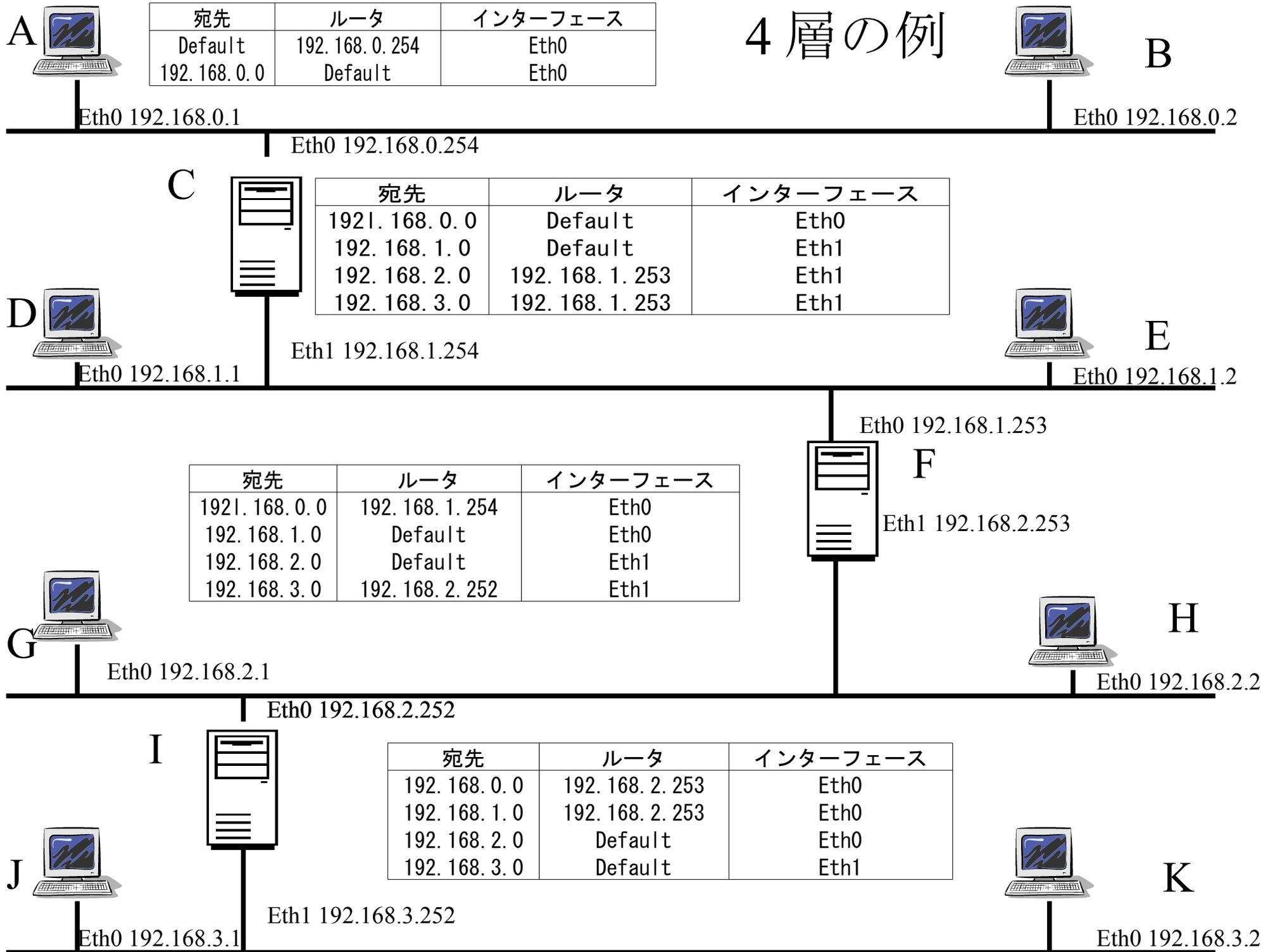
宛先	ルータ	インターフェース
192.168.1.0	192.168.1.1	Eth0
192.168.0.0	192.168.1.254	Eth0

Static routing

E



# 4層の例



# ルーティングアルゴリズム RIP

隣接ルータと経路表を交換  
経路表をブロードキャスト

コストはホップ数  
distance vector 型アルゴリズム  
通知されたコスト +1  
16 ホップを無限に接続

# 経路表の更新

必要に応じて経路表を更新

経路表にない経路が通知された場合

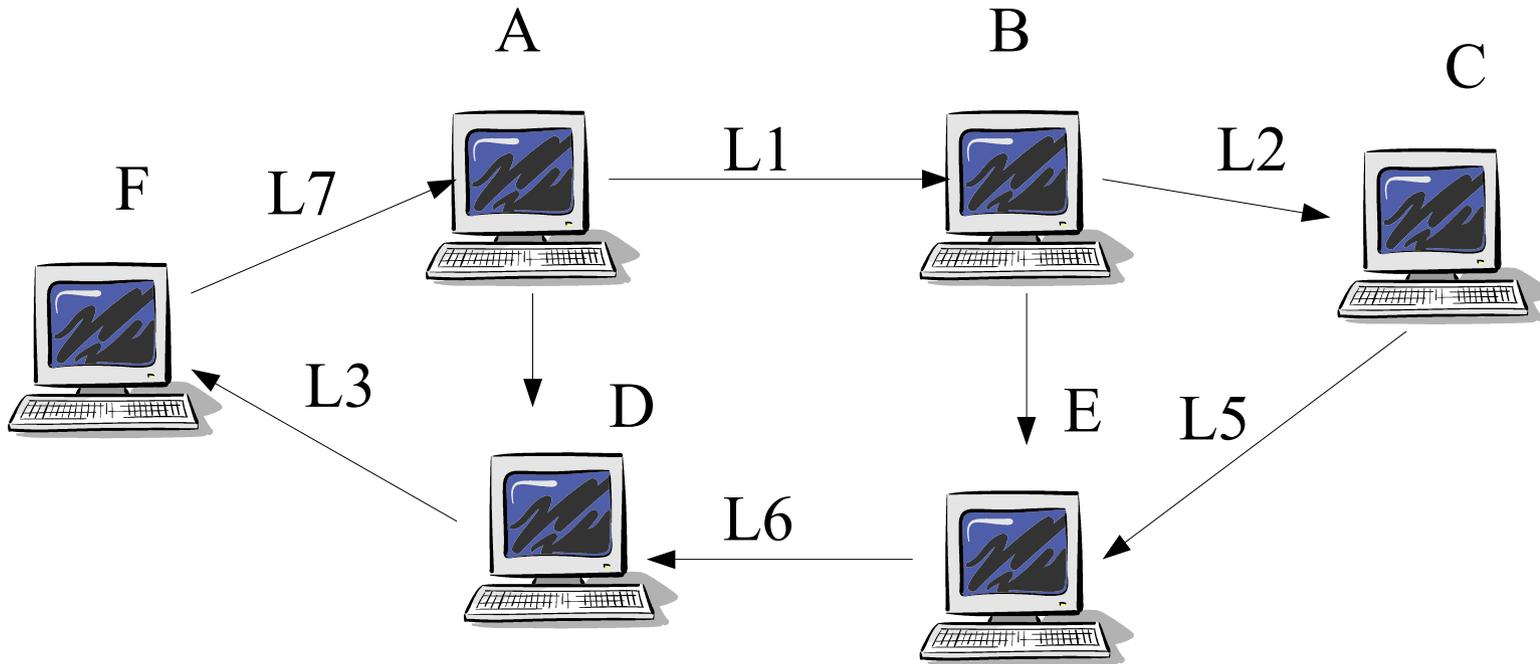
終点までコストが低い経路が通知された場合

経路表のネクストホップから通知された場合

各ルータは 30 秒毎に経路表を通知

トポロジの変化への対応

180 秒通知がない場合、経路は切断とする。



Form E to	Link	Cost
E	Local	0
B	L4	1
C	L5	1
D	L6	1
A	L6	3

# OSPF

## Open Shortest Path First

リンクステート型アルゴリズム

Loop Free

計算量 多い

信頼性あり

IP に最適化

IAB が推奨

Hello Sub-protocol

リンク、ネットワークの接続監視

LSA Flooding

ルータの接続情報

経路制御情報の伝搬

SPF 計算

トポロジの計算

Area functionality

経路制御ドメインの分割

# 他のルーティングプロトコル

IS-IS (Intermediate System-intermediate System)

IGRP (Interior gateway Routing Protocol)

EIGRP (Enhanced IGRP)

# IP V 4 の問題点

アドレス空間の枯渇  
IP アドレス 32 bit 43 億

経路制御情報の氾濫  
現在 41000 経路

ユーザ環境の変化  
通信の継続性  
モバイルコンピュータ  
通信の実時間性  
画像、音声通信  
セキュリティ

# IP V6

広がるインターネットへの対応  
利用者数 ホスト数の増加  
経路制御情報の増加

環境の変化への追従  
小型化、高性能化、廉価  
移動ホスト  
実時間通信  
セキュリティとプライバシー

# トランスポート層

データ転送の信頼性を確保するための方式を定めたもの。

## TCP

高い信頼性を実現するためのプロトコル  
信頼性の保証メッセージの順番の保証,  
受信確認, 誤り時の再送を提供

## UDP

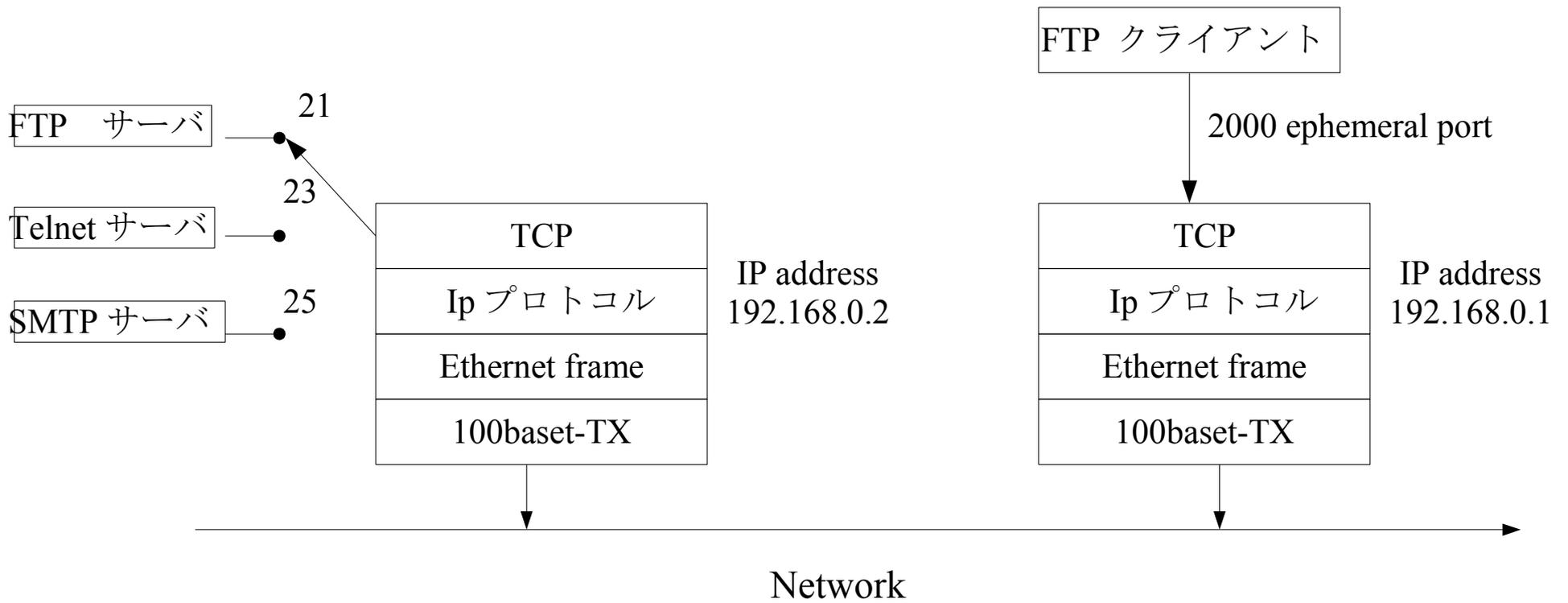
信頼性の保証なし  
データグラムの到達保証, 順番保証の機能なし  
アプリケーション依存

最大メッセージ長が規定  
IP プロトコルをそのままアプリケーションに提供

# トランスポート層の port

アプリケーション	ポート番号	種類
Ftp	21	TCP/UDP
Telnet	23	TCP/UDP
Sntp	25	TCP/UDP
Dns	53	TCP/UDP

Well known Port Number



# FTP のポート制御

## FTP のアソシエーション

プロトコル	FTP
送信元IP address	192.168.0.1
送信元ポート番号	2000
受信元IP address	192.168.0.2
受信元ポート番号	21

1

16

32

Bits

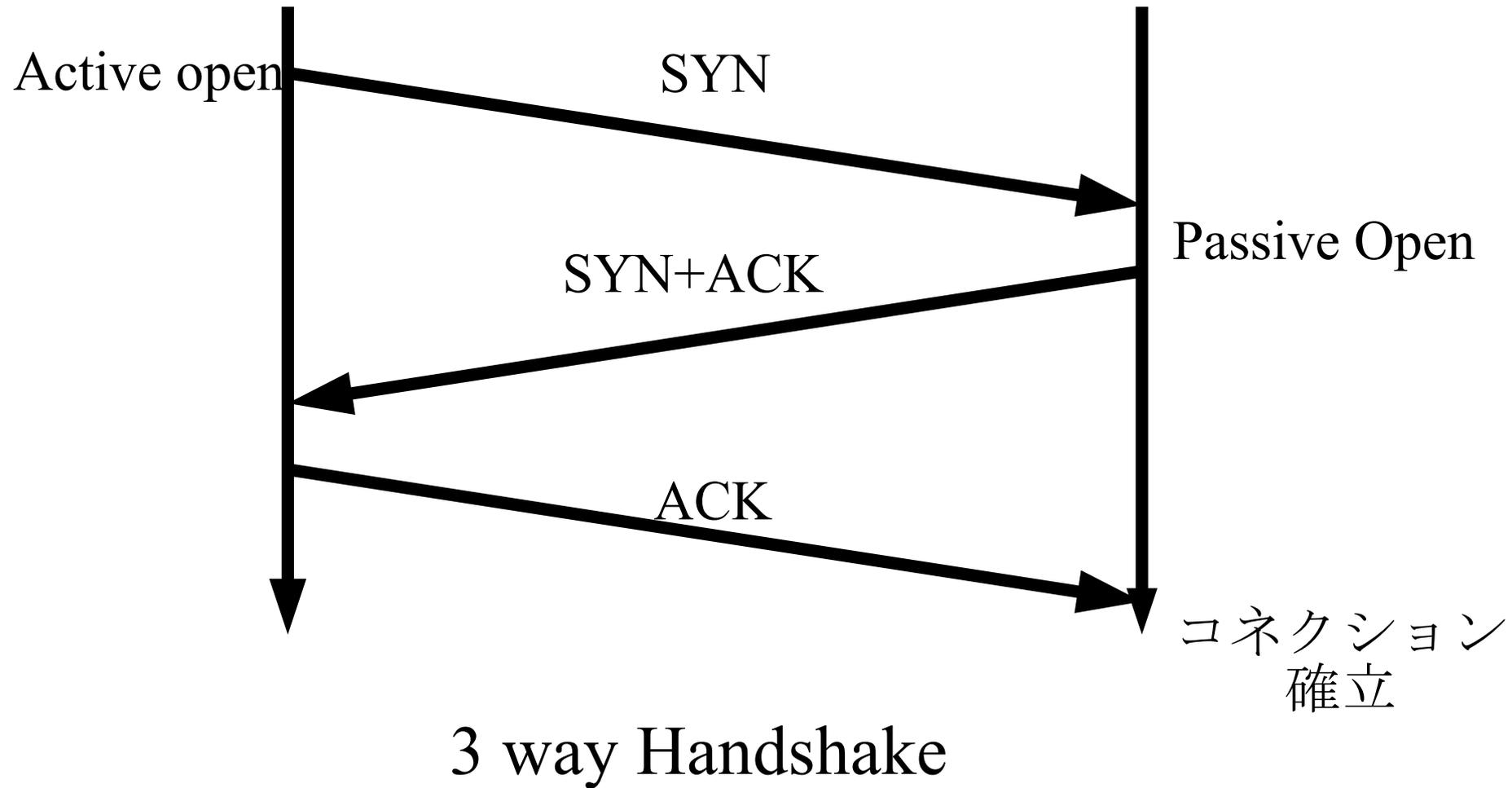
SRC PORT: 送信元ポート番号			DEST PORT: 宛先ポート番号		
SEQ: 送信用順序番号			ACK: 応答確認番号		
OFF	RES	Code Bit	Window		
Checksum			Uegent Pointer: 緊急ポインタ		
Option: オプション					
データ					

## TCP セグメント

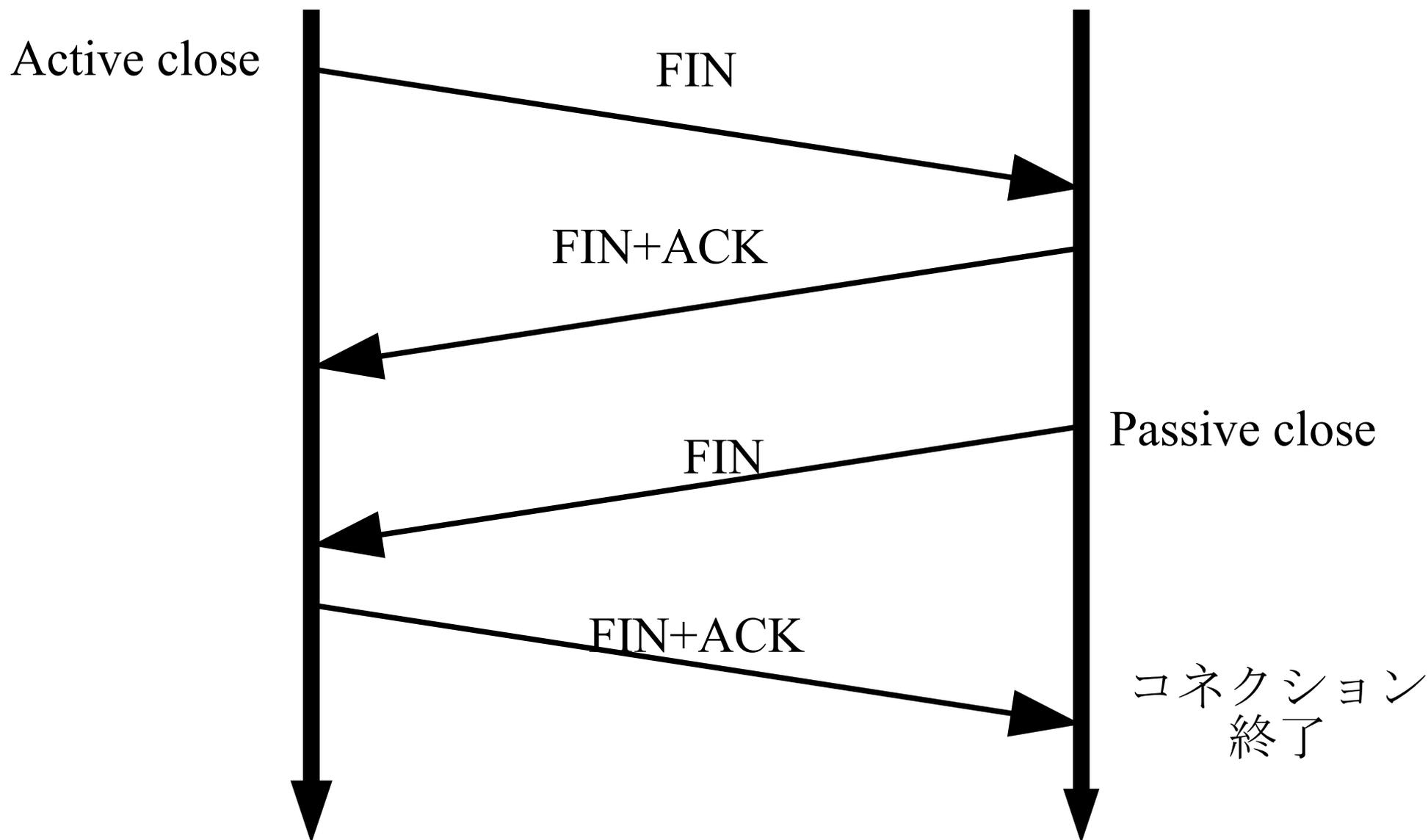
URG	Urgent Flag
	緊急に処理すべきデータ
ACK	Acknowledgement Flag
	確認応答番号フィールドが有効
PSH	Push Flag
	できるだけ早くデータをアプリケーションに渡す
SYN	Synchronize Flag
	コネクションの確立要求
FIN	Fin Flag
	通信の終了

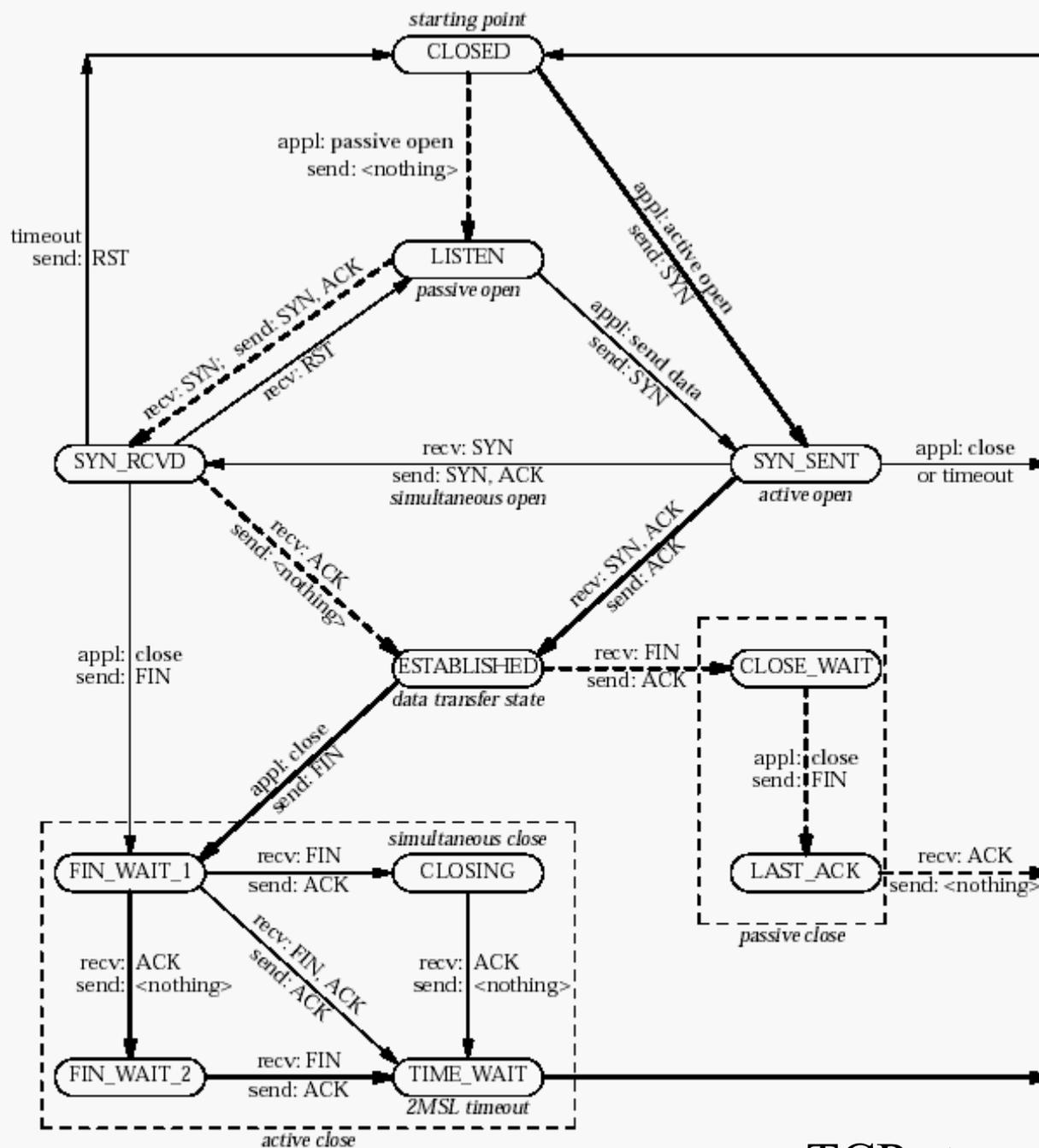
## TCP FLAG

# TCP におけるコネクションの確立



# TCP におけるコネクションの終了





TCP stage diagram



# パケットフィルタ

送信元 Mac address

データ転送量

宛先 Mac address

1日あたりのトラフィック量

送信元 IP address

宛先 IP address

送信元 port number

宛先 port number

フラグ

# 参考文献

小高知宏, ``TCP/IP で学ぶコンピュータネットワークの基礎'',  
森北出版, ISBN4-627-82410-6 (1996)

寺田, 菅島, ``TCP/IP セキュリティ実験'',  
オーム社, ISBN4-274-06382-8 (2000)

村井 純, ``ネットワークアーキテクチャ'',  
<http://www soi wide ad jp/class/20010012>, (2001).