

ITプロ/ITエンジニアのための

# 徹底攻略

Cisco  
**CCENT / CCNA**

**ICND1**

編 [100-101J] [200-120J] 対応

**Routing & Switching**

教科書

株式会社ソキウス・ジャパン 編著

試験番号

100-101J

200-120J

インプレスジャパン

本書は、CCENT (Cisco Certified Entry Networking Technician)、CCNA (Cisco Certified Network Associate) Routing and Switching の受験用教材です。著者、株式会社インプレスジャパンは、本書の使用による対象試験への合格を一切保証しません。

本書の内容については正確な記述に努めましたが、著者、株式会社インプレスジャパンは本書の内容に基づくいかなる試験の結果にも一切責任を負いません。

CCENT、CCNA、Cisco、Cisco IOS、Catalyst は、米国 Cisco Systems, Inc. の米国およびその他の国における登録商標です。

その他、本文中の製品名およびサービス名は、一般に各開発メーカーおよびサービス提供元の商標または登録商標です。なお、本文中には TM および® は明記していません。

## インプレスジャパンの書籍ホームページ

書籍の新刊や正誤表など最新情報を随時更新しております。

<http://www.impressjapan.jp/>

Copyright © 2013 Socius Japan, Inc. All rights reserved.

本書の内容はすべて、著作権法によって保護されています。著者および発行者の許可を得ず、転載、複写、複製等の利用はできません。

## はじめに

CCENT (Cisco Certified Entry Networking Technician) および CCNA (Cisco Certified Network Associate) は、米国シスコシステムズ社が主催するシスコ技術者認定資格です。

CCENTは、ネットワークに関わるさまざまな職種を目指す方に挑戦していただきたい入門（エントリー）レベルの資格です。CCNA取得のための第一歩となります。CCNAは初級（アソシエイト）レベルの資格で、10の技術カテゴリに分類されています。本書が対象としている資格は、ルーティング&スイッチングカテゴリのCCNA Routing and Switchingです。2013年にCCNAからCCNA Routing and Switchingに名称が変更されるとともに試験の内容も刷新され、最新のネットワークソリューションに対応したものになりました。この資格を取得することで、ネットワーク技術者としての本格的なキャリアへの扉が開けます。

本書は、CCENTと、CCNAの試験範囲のうち基本的な事項を対象にしているICND1試験受験のための学習書です。ネットワークの初心者の方でも無理なく学習に取り組んでいただけるように、ネットワークの基礎知識から解説しています。日々シスコ製品に接していく中で、試験のために機器を自由に操作し検証しながら学習できる方は多くはないでしょう。そこで本書では、ネットワークの構成図や出力を豊富に掲載しました。図を確認し、出力を追っていくことによって、だんだんに実際の設定の感覚が身に付くはずです。

受験対策や学習に役立つ情報は「試験対策」、「学習のツボ」にまとめました。また、章末の演習問題は、その章で学習した内容が理解できているか確認すると同時に、実際の試験の雰囲気をつかむための模擬試験の役割も果たしています。

本書をご活用いただき、一人でも多くの方が価値ある資格を取得されることを願ってやみません。

最後になりましたが、本書の執筆にあたっては、株式会社Polestar-IDの五十嵐剛社長、石田充さん、阿部毅彦さんに多大なご協力をいただきました。この場を借りて感謝の気持ちをお伝えしたいと思います。

2013年11月

著者

## シスコ技術者認定の概要

シスコ技術者認定（Cisco Career Certification）は、インターネットワーキングや同社ルータ製品に関する技術の証明および、エンジニアの育成を目的とした認定資格です。認定基準は米国シスコシステムズにより厳格に定められ、最新のIPネットワークに対応した技術者資格として世界的に認知されています。

シスコ技術者認定資格は、技術分野別の10のトラックに分類されており、エントリー、アソシエイト、プロフェッショナル、エキスパート、アーキテクトの5つの認定レベルがあります。本書が対象としているルーティング＆スイッチングトラックは、5つの認定レベルのうちエントリーからエキスパートまでの4つの資格で構成されています。

### 【ルーティング＆スイッチングトラックの認定資格】

| 認定レベル     | 資格                         |
|-----------|----------------------------|
| エントリー     | CCENT                      |
| アソシエイト    | CCNA Routing and Switching |
| プロフェッショナル | CCNP                       |
| エキスパート    | CCIE                       |

## CCENTおよびCCNA Routing and Switchingの取得方法

### ●CCNETの取得方法

CCENTはICND1試験（試験番号100-101J）に合格することで取得できます。

- ・ ICND1（試験番号100-101J）

試験時間：90分、出題数：40～50問、受験料：15,300円+税

### ●CCNA Routing and Switchingの取得方法

CCNAは、次の2つの方法で取得することができます。

#### ・1科目で取得

- ・ CCNA（試験番号200-120J）

試験時間：90分、出題数：50～60問、受験料：30,090円+税

#### ・以下の2科目に合格することで取得

- ・ ICND1（試験番号100-101J）

試験時間：90分、出題数：40～50問、受験料：15,300円+税

- ・ ICND2（試験番号200-101J）

試験時間：75分、出題数：50～60問、受験料：15,300円+税

◎試験時間、問題数、受験料は変更になる可能性があります。

## 受験申し込み方法

シスコ技術者認定試験を受験するには、ピアソンVUEもしくはピアソンVUEのテストセンターに受験を申し込みます。

### ● ID番号の取得

ピアソンVUEで初めて受験する場合は、ピアソンVUE IDを取得する必要があります。以下のURLの指示に従って、登録します。

URL : <http://www.vue.com/japan/Registration/register.html>

### ①ピアソンVUEのWebサイトで申し込み

以下のURLにログイン後、試験名、会場、日時を指定します。

URL : <http://www.vue.com/japan/index.html>

### ②ピアソンVUEのコールセンターで申し込み

以下の受付番号に電話をし、申し込みます。

Tel : 0120-355-173 または0120-355-583

E-mail : [pjvpreg@pearson.com](mailto:pvjpreg@pearson.com)

営業時間：土日祝日を除く平日、午前9時～午後6時

### ③テストセンター

以下のサイトで受験を希望するテストセンターを選択し、電話で申し込みます。テストセンターによっては、受験当日の申し込みを受け付けているところもあります。

URL : <http://www.vue.com/japan/TestcentersList/>

## 試験日程

ピアソンVUEの各試験会場で隨時、受験することができます。

## シスコ技術者認定についての問い合わせ先

試験の概要、受験後の認定証の取得に関する詳細および問い合わせについては、シスコのWebサイトを参照してください。

- ・シスコシステムズ

URL : <http://www.cisco.com/web/JP/index.html>

※本書に掲載したURLは2013年12月現在のものです。URLとWebサイトの内容は変更になる可能性があります。

## 本書の活用方法

本書は解説ページ、演習問題、用語集の3部構成になっています。

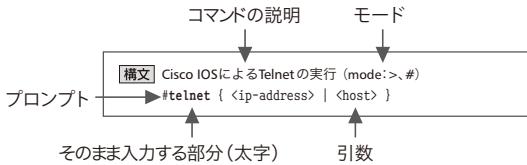
## 解説

### ● 用語

ネットワーク技術の習得に、用語の理解は不可欠です。すぐに参照したい用語には「※1」のように米印を付け、脚注で解説しました。また、アスタリスク(\*)を付けた用語は巻末の用語集で説明しています。

### ● 構文

ルータやスイッチの設定・管理操作に必要な構文を多数掲載しています。構文は次のルールで記述しています。

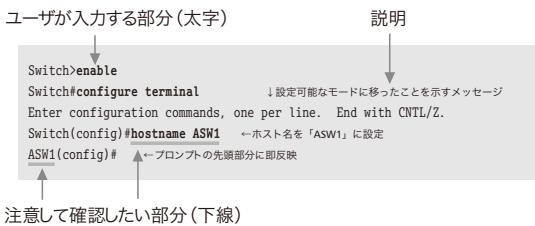


- ・太字……………表記されたとおり入力する。省略形で入力できるコマンドもある
- ・< >……………引数。該当する文字や値を入力する  
例) <username> → ユーザ名を入力する
- ・[ ]……………オプション。必要に応じて設定する要素
- ・{ | }……………選択。{ }で括られたものから、いずれか1つを選択して入力する  
例) { a | b } → 「a」か「b」のいずれかを入力する
- ・モード……………ユーザEXECモードと特権EXECモードのいずれに対応しているかを表示（コンフィギュレーションモードを除く）
- ・プロンプト………ユーザEXECモードと特権EXECモードのいずれも可能な場合は「#」で示した。コンフィギュレーションモードの具体的なモードはこのプロンプトで確認できる

本書のCisco IOSコマンドの説明は、主にCatalyst 2960 (IOS15) とCatalyst 3560 (IOS15) およびCisco ISR 1812 (IOS15) とCisco ISR 2811 (IOS15)に基づいています。機器の挙動や出力結果は、IOSのバージョンや機種によって異なることがあります。詳細はシスコシステムズのWebサイトを参照してください。

### ● 出力

実際の設定作業を理解しやすくするために、本書ではコマンドの出力結果を数多く掲載しています。出力の中で、ユーザが入力する部分は太字で示しました。また、必要な事項を的確に参照できるように、重要なポイントには適宜下線や説明を付加しております。



## ● 本書で使用したマーク

解説の中で重要な事項や補足情報は次のマークで示しています。

|  |                              |
|--|------------------------------|
|  | 効率的な受験のための情報、必ず理解しておきたい重要事項  |
|  | ネットワーク学習の基本として押さえておきたいポイント   |
|  | 解説の内容を理解したり知識を深めたりするために役立つ情報 |
|  | 暗記しておくと役立つ事項                 |
|  | 機器の操作やコマンド設定上の注意点            |

## 演習問題

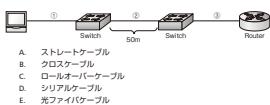
シスコ技術者認定試験には、さまざまな出題形式があります。各章の演習問題は、次の出題形式に対応した問題を掲載しています。いずれも必要に応じてネットワーク図や出力を参照します。

### ● 問題

#### 多肢選択形式

選択肢の中から、1つまたは複数の正解を選択する

1. ある企業のフロア内で次のLANを構成するとき、ノード間を接続する①～③)のケーブルとして正しいものを選択しなさい。



- A. ストレートケーブル  
B. クロスケーブル  
C. ロードバッケーブル  
D. リバースケーブル  
E. 光ファイバーケーブル

#### ドラッグアンドドロップ形式

画面に表示された複数の項目に対する記述と選択肢を、ドラッグアンドドロップで適切に結びつける

2. IOSのモードに関する説明①～⑤に該当するプロンプトを、選択肢から選びなさい。

- ① ルーティングプロトコルの設定を行う  
② 設定したすべての情報を戻すことができる  
③ デバイス全体にかかる設定を行なう  
④ 一部の情報のみ表示ができ、pingやtelnetを実行できる  
⑤ コンソールやVTYの設定を行う

- A. #  
B. (config-line)#  
C. (config-router)#  
D. (config)#  
E. >

#### 入力形式

キーボードを使って正解を入力する

7. 10進数①～⑤をすべて2進数に変換しなさい。

- ① 41  
② 111  
③ 128  
④ 231  
⑤ 255

### ● 解答と解説

解答のポイントを説明しています。正解の選択肢は太字で表記しています。

#### 2. C. F

vlan <vlan-id>コマンドは、新規VLANの作成、および既存VLANのパラメータを変更するためにVLANコンフィギュレーションモードへ移行する際に使用します。デフォルトのVLANID以外は、名前を自由に変更することができます。VLANの名前を変更するには、VLANコンフィギュレーションモードでname <name>コマンドを実行します。

```
vlan<VLANID>
Switch(config)#vlan 2 ... (C)
Switch(config-vlan)name Sales... (F)
```

選択肢AはVLAN2の代理インターフェイスを作成し、VLAN2インターフェイスへ移行するためのコマンドです。BとEは構文が間違っています。Dはモードが異なります。

## 目次

|             |   |
|-------------|---|
| はじめに        | 3 |
| シスコ技術者認定の概要 | 4 |
| 本書の活用方法     | 5 |

### 第1章 ネットワーク

|                   |    |
|-------------------|----|
| 1-1 ネットワークの概要     | 14 |
| 1-2 ネットワークトポロジ    | 21 |
| 1-3 ケーブルの種類       | 25 |
| 1-4 OSI参照モデル      | 36 |
| 1-5 2進数／10進数／16進数 | 43 |
| 1-6 演習問題          | 48 |
| 1-7 解答            | 50 |

### 第2章 イーサネット

|                |    |
|----------------|----|
| 2-1 イーサネット     | 54 |
| 2-2 CSMA/CD    | 62 |
| 2-3 ネットワーク機器   | 69 |
| 2-4 レイヤ2スイッチング | 77 |
| 2-5 演習問題       | 83 |
| 2-6 解答         | 85 |

### 第3章 TCP/IP

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 3-1 TCP/IPプロトコルスタック | 90  |
| 3-2 インターネット層        | 93  |
| 3-3 トランスポート層        | 107 |
| 3-4 アプリケーション層プロトコル  | 119 |
| 3-5 DHCP            | 121 |
| 3-6 DNS             | 128 |
| 3-7 HTTP            | 134 |
| 3-8 FTPとTFTP        | 138 |
| 3-9 SMTPとPOP        | 143 |
| 3-10 TelnetとSSH     | 145 |
| 3-11 演習問題           | 147 |
| 3-12 解答             | 150 |

## 第4章 IPv4アドレスとサブネット

|     |              |     |
|-----|--------------|-----|
| 4-1 | IPv4アドレス     | 156 |
| 4-2 | サブネットワーク     | 162 |
| 4-3 | IPアドレッシングの計算 | 170 |
| 4-4 | VLSM         | 176 |
| 4-5 | 演習問題         | 180 |
| 4-6 | 解答           | 183 |

## 第5章 Cisco IOSソフトウェアの操作

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 5-1 | Ciscoデバイスへの接続     | 190 |
| 5-2 | Cisco IOSのモード     | 194 |
| 5-3 | IOS操作とヘルプ機能       | 198 |
| 5-4 | コンフィギュレーションの保存    | 208 |
| 5-5 | Cisco IOSの接続診断ツール | 213 |
| 5-6 | 演習問題              | 219 |
| 5-7 | 解答                | 223 |

## 第6章 Catalystスイッチの導入

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 6-1 | 企業内LANの設計         | 230 |
| 6-2 | Catalystスイッチの初期起動 | 233 |
| 6-3 | スイッチの基本設定         | 238 |
| 6-4 | スイッチの基本設定の確認      | 241 |
| 6-5 | MACアドレステーブル       | 248 |
| 6-6 | 二重モードと速度の設定       | 253 |
| 6-7 | 演習問題              | 256 |
| 6-8 | 解答                | 259 |

## 第7章 Ciscoルータの導入

|     |               |     |
|-----|---------------|-----|
| 7-1 | Ciscoルータの初期起動 | 264 |
| 7-2 | ルータの基本設定      | 272 |
| 7-3 | ルータの基本設定の確認   | 278 |
| 7-4 | 演習問題          | 291 |
| 7-5 | 解答            | 294 |

## 第8章 ルーティングの基礎

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 8-1 | ルーティング                  | 298 |
| 8-2 | スタティックルーティング            | 301 |
| 8-3 | ダイナミックルーティング            | 308 |
| 8-4 | 経路集約                    | 313 |
| 8-5 | メトリックとアドミニストレーティブディスタンス | 317 |
| 8-6 | 演習問題                    | 320 |
| 8-7 | 解答                      | 322 |

## 第9章 VLANとVLAN間ルーティング

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 9-1 | VLANの概要          | 326 |
| 9-2 | VLANの動作          | 330 |
| 9-3 | スタティックVLANの設定と検証 | 339 |
| 9-4 | トランクポートの設定と検証    | 349 |
| 9-5 | VLAN間ルーティング      | 361 |
| 9-6 | 演習問題             | 380 |
| 9-7 | 解答               | 383 |

## 第10章 ACL (Access Control List)

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 10-1  | ACLの概要          | 388 |
| 10-2  | ワイルドカードマスク      | 398 |
| 10-3  | 番号付き標準ACL       | 401 |
| 10-4  | 番号付き拡張ACL       | 406 |
| 10-5  | 名前付きACL         | 412 |
| 10-6  | ACLの検証          | 415 |
| 10-7  | ACLステートメントの編集   | 421 |
| 10-8  | ACLのトラブルシューティング | 425 |
| 10-9  | 演習問題            | 431 |
| 10-10 | 解答              | 435 |

## 第11章 インターネット接続

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 11-1 | DHCPによるインターネット接続      | 440 |
| 11-2 | NATおよびPATの概要          | 453 |
| 11-3 | NATの設定                | 460 |
| 11-4 | PATの設定                | 464 |
| 11-5 | NATおよびPATの検証          | 469 |
| 11-6 | NATおよびPATのトラブルシューティング | 479 |
| 11-7 | 演習問題                  | 485 |
| 11-8 | 解答                    | 488 |

## 第12章 シングルエリアOSPF

|      |                |     |
|------|----------------|-----|
| 12-1 | リンクステートルーティング  | 492 |
| 12-2 | OSPFの特徴        | 494 |
| 12-3 | OSPFの階層型ルーティング | 497 |
| 12-4 | OSPFの動作        | 500 |
| 12-5 | シングルエリアOSPFの設定 | 511 |
| 12-6 | OSPF設定の検証      | 516 |
| 12-7 | 演習問題           | 528 |
| 12-8 | 解答             | 531 |

## 第13章 ネットワークデバイスの管理とセキュリティ

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 13-1 | パスワードによる管理アクセスの保護   | 536 |
| 13-2 | 管理アクセスに対するセキュリティの強化 | 545 |
| 13-3 | Ciscoデバイスの管理機能      | 566 |
| 13-4 | スイッチのセキュリティ機能       | 599 |
| 13-5 | Ciscoデバイスの強化        | 610 |
| 13-6 | 演習問題                | 619 |
| 13-7 | 解答                  | 624 |

## 第14章 WAN接続

|      |                 |     |
|------|-----------------|-----|
| 14-1 | WANの概要          | 630 |
| 14-2 | WANデバイス         | 632 |
| 14-3 | WANサービスの種類      | 635 |
| 14-4 | シリアルインターフェイスの設定 | 649 |
| 14-5 | 演習問題            | 661 |
| 14-6 | 解答              | 663 |

## 第15章 IPv6の導入

|      |                |     |
|------|----------------|-----|
| 15-1 | IPv6の概要        | 666 |
| 15-2 | IPv6アドレス       | 675 |
| 15-3 | IPv6の主要プロトコル   | 688 |
| 15-4 | IPv6アドレスの設定と検証 | 696 |
| 15-5 | IPv6ルーティング     | 707 |
| 15-6 | OSPFv3         | 713 |
| 15-7 | 演習問題           | 727 |
| 15-8 | 解答             | 729 |

## 用語集

732

|    |     |
|----|-----|
| 索引 | 769 |
|----|-----|

# 第1章

## ネットワーク

- 1-1 ネットワークの概要
- 1-2 ネットワークトポロジ
- 1-3 ケーブルの種類
- 1-4 OSI参照モデル
- 1-5 2進数／10進数／16進数
- 1-6 演習問題
- 1-7 解答

## 1-1 ネットワークの概要

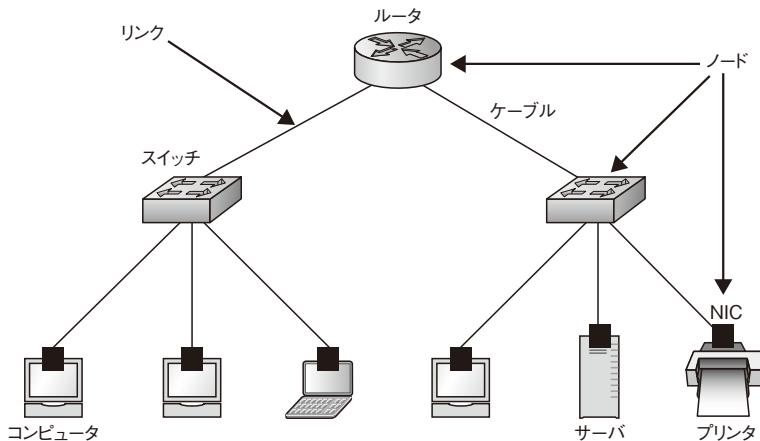
ネットワークとは、複数のコンピュータをケーブルや電波などで相互に接続し、情報をやり取りできるようにした仕組みをいいます。正式にはコンピュータネットワークと呼ばれ、企業や学校、家庭などで幅広く利用されており、欠かせないインフラ<sup>\*1</sup>になっています。

### ■ ネットワークの構成要素

コンピュータネットワークを構成する物理的な要素に、ノードとリンクがあります。

ノードとはネットワークを構成する1つ1つの要素のことを意味し、スイッチやルータなどのネットワーク機器、ネットワークに接続されたコンピュータやプリンタ、NIC<sup>\*2</sup>などを総称してノードと呼んでいます。ノード間はリンクで接続されます。

#### 【ネットワークの基本的な構成要素】



\*1 【インフラ】infrastructure：基盤や下部構造などの意味。何らかのサービスを提供するための土台（基盤）として必要となる設備や制度のこと。ITの世界では、システムやソフトウェアを機能させるための基盤となるハードウェアや設備のことを指す

\*2 【NIC】(ニック)Network Interface Card : LANカード、ネットワークカード。コンピュータやプリンタなどの機器をネットワークに接続するためのカード

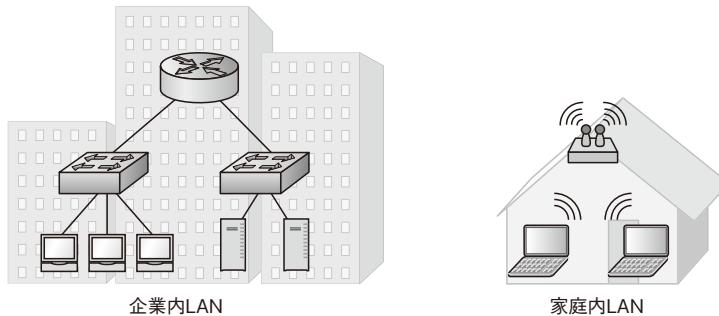
## ■ LANとWAN

ネットワークは接続範囲によって、LANとWANの2種類に分類することができます。

### ● LAN

LAN(Local Area Network)は、限定されたエリアにおけるネットワークです。ある建物または敷地内など限られた範囲にある機器を接続して構築されたネットワークを指します。

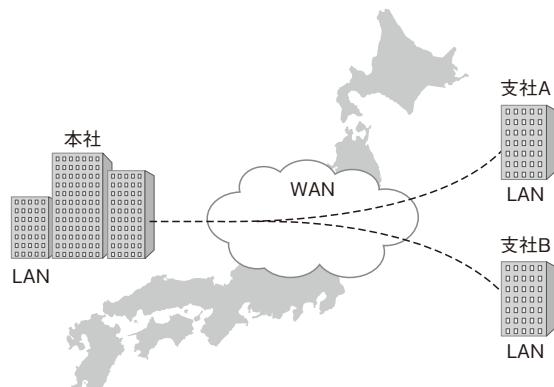
#### 【LAN】



### ● WAN

WAN(Wide Area Network)は、地理的に離れたLANとLANを相互に接続したネットワークです。企業であれば本社と支社との接続などがWANに相当します。WANでは、電気通信事業者<sup>\*</sup>が提供するWANサービスや、インターネットサービスプロバイダを利用して通信を行います。

#### 【WAN】



### ● LANとWANの比較

LANとWANにはいくつかの違いがあります。最大の違いは地理的な範囲と所有者です。LANは建物内や地理的に近い範囲に存在するコンピュータ、周辺機器およびデバイスを接続します。一方、WANでは遠距離にある端末間でのデータ通信が可能です。

LANは通常、企業または組織が自前でネットワークを構築し、運用・管理をします。WANは電気通信事業者(ネットワークプロバイダ)が構築・運用するネットワークを利用するため、サービスの利用者は利用料金を毎月支払う必要があります。

#### 【LANとWANの比較】

|     | LAN               | WAN        |
|-----|-------------------|------------|
| エリア | 単一の建物または地理的に近いエリア | 地理的に離れたエリア |
| 所有者 | 組織が所有             | 通信事業者      |
| コスト | 固定                | 継続         |

### ■ インターネット

インターネット(The Internet)は、世界中のさまざまなネットワークをTCP/IP\*によって相互接続した巨大な世界規模のネットワークです。インターネットはだれでも自由に利用することができ、パソコンだけでなく携帯電話やPDA(個人用の携帯情報端末)、ゲーム機などからも手軽に接続して情報をやり取りできます。

インターネットに接続する場合、ISP\*(Internet Service Provider)と呼ばれるサービス事業者と契約する必要があります。

インターネットの技術を使って構築された企業内ネットワークをイントラネットといいます。イントラ(intra)は「内部の」という意味を持ち、利用者は特定の企業内や地域内のユーザのみに限定されます。イントラネットを利用すると、ユーザはWebブラウザや電子メールなどの使い慣れたアプリケーションソフトをそのまま利用し、外出先からインターネット経由で社内情報システムや電子掲示板を利用することができます。なお、関連会社なども含めて構成されるネットワークをエクストラネットと呼びます。

### ■ ネットワークユーザアプリケーション

ネットワークを利用するユーザ向けのアプリケーションをネットワークユーザアプリケーションと言います。次のようなものが一般的です。

#### ● 電子メール

電子メールは、ユーザ同士がメッセージやファイルを気軽にやり取りできるアプリケーションです。ユーザはメールソフトを使用し、メールサーバを介して情報をやり取りします。代表的なメールソフトとしては、Outlook ExpressやThunderbirdなどがあります。

### ● Webブラウザ

Webブラウザは、Webページ<sup>\*</sup>を閲覧するためのアプリケーションです。Webブラウザを使用すると、インターネット上に公開されている豊富な情報を閲覧することができるほか、メーカーと顧客との連絡、注文や調達処理、情報検索などの作業を共通のインターフェイスで実行できるため、全体的な生産性を向上させることができます。代表的なWebブラウザには、Microsoft Internet ExplorerやMozilla Firefox、Google Chromeなどがあります。

### ● インスタントメッセージング

インスタントメッセージングとは、インターネットに接続中のユーザを確認し、その中の任意のユーザとリアルタイムにチャット(会話)することができるアプリケーションです。代表的なインスタントメッセージングソフトには、Windows Live Messenger(2013年にSkypeに統合)やYahoo!メッセンジャーなどがあります。

### ● コラボレーション(グループウェア)

コラボレーションとは、業務に関連する複数の担当者が互いに協調しながら進めていく共同作業を指します。コンピュータネットワークを利用することで、情報共有やコミュニケーションの円滑化を図り、グループでの協調作業を支援することが容易になります。コラボレーションソフトウェアは、グループ内の連携作業から大規模なプロジェクトまで幅広い範囲で利用することができます。なお、コラボレーションソフトウェアはグループウェアとも呼ばれます。

### ● データベース

データベースとは、大量のデータを一定の規則に従って蓄積し、データの検索と管理を効率的に行えるようにしたものです。データベースの操作や保守、管理をするためのソフトウェアをDBMS(DataBase Management System)といいます。ユーザはアプリケーションソフトからDBMSへアクセスしてデータを操作することで、情報を一括管理し効率的に活用することができます。代表的なデータベースソフトウェアには、Oracle DatabaseやMicrosoft SQL Serverがあります。

## ■ ユーザアプリケーションが及ぼすネットワークへの影響

アプリケーションはネットワークのパフォーマンスに影響を与えることがあります。逆に、ネットワークパフォーマンス<sup>\*3</sup>がアプリケーションに影響を与えることもあります。ネットワークで輻輳<sup>\*3</sup>が発生すると、ルータなどのネットワーク機器はパケットの処理を待ったり破棄したりします。

ユーザアプリケーションは次の3つに分類され、ネットワークへ与える影響も異なります。

※3 【輻輳】(フクソウ)congestion：ネットワーク上で処理能力を超えるほどトラフィックが発生し、ネットワークが混雑して通常の送受信が困難な状態になること

### ● バッチアプリケーション

バッチアプリケーションとは、ユーザが処理を開始(あるいは自動実行)することによって動くプログラムのことで、バッチ処理を開始したあとはユーザとの直接の対話なしにあらかじめ定められた処理を完了します。そのため、帯域幅<sup>※4</sup>は重要ですがバッチ処理の終了までにかかる時間はある程度許容されます。

### ● インタラクティブアプリケーション

ユーザからの要求とサーバからの応答による双方向的な対話が存在するアプリケーションのことです。ユーザは特定の情報をサーバに要求し、その後応答を待ちます。ネットワークで輻輳が発生すると、サーバから応答が返ってくるまでに時間がかかってしまい、ユーザはストレスを感じるようになります。

### ● リアルタイムアプリケーション

VoIP<sup>\*</sup>やビデオアプリケーションなどのリアルタイムアプリケーションでは、ユーザとの対話が必要になります。アプリケーション実行中は、音声や動画などのパケットが連続的に伝送されるため、帯域幅が重要になります。さらに、遅延<sup>\*</sup>やジッタ<sup>※5</sup>もリアルタイムアプリケーションに影響を及ぼします。いずれの問題も、ネットワークの正しい設計により克服することができます。

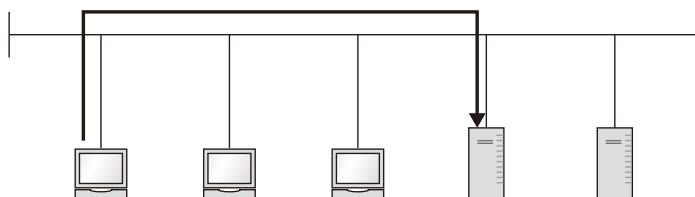
## ■ 通信の種類

ネットワークの通信方式は、情報を送信する通信相手(宛先)によって、次の3種類に大別することができます。

### ● ユニキャスト

「1対1」の通信方式をユニキャストといいます。データの宛先には「单一」のアドレスが使用されます。

#### 【ユニキャスト】



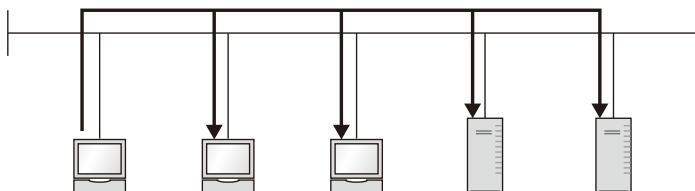
<sup>※4</sup> 【帯域幅】(タイイキハハ)bandwidth: 通信などに用いる周波数の範囲のこと。周波数の範囲が広ければ広いほど転送速度が向上するため、「通信速度」とほぼ同義に使用されている

<sup>※5</sup> 【ジッタ】jitter: 遅延のばらつき(ゆらぎ)のこと。たとえば、音声通信を行う際に、パケットを一定間隔で送信しても伝送遅延や処理遅延の影響で到達間隔にばらつきが生じる。そのまま再生すると品質が劣化するのでバッファに格納してジッタを補正してから再生する

## ● ブロードキャスト

「1対全員」の通信方式を**ブロードキャスト**といいます。ブロードキャストは、同一リンク上のすべてのノードにデータを送信します。データの宛先にはブロードキャスト用のアドレスが使用されます。

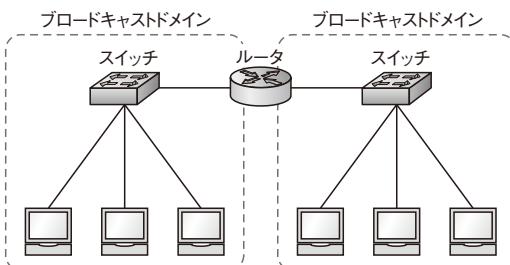
【ブロードキャスト】



### 学習の ツボ ブロードキャストドメイン

ルータは複数のネットワークを相互接続し、パケットを中継するネットワーク機器です。ただし、ルータはブロードキャストパケットを受信しても中継せずに破棄します。このため、ブロードキャストが届く範囲は、ネットワーク全体ではなくルータまでといえます。この範囲を**ブロードキャストドメイン**と呼びます。

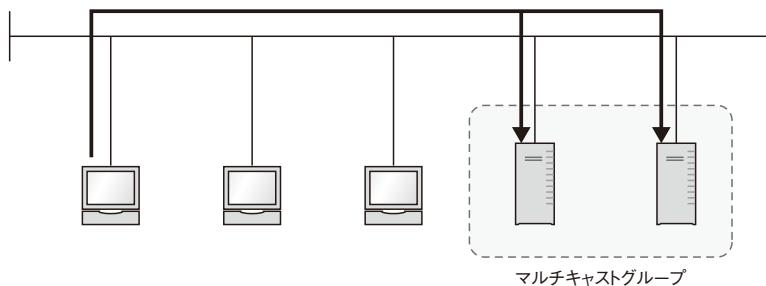
参照→「2-3 ネットワーク機器」(74ページ)



## ● マルチキャスト

「1対グループ宛」の通信方式を**マルチキャスト**といいます。マルチキャストは、特定のアプリケーションを使用するノードのグループ宛に同じデータを送信したい場合に利用されます。データの宛先にはマルチキャスト用のアドレスが使用されます。

【マルチキャスト】



試験対策

- ・ユニキャスト ..... 1対1(特定の相手と通信)
- ・ブロードキャスト ..... 1対全(全員宛ての通信)
- ・マルチキャスト ..... 1対N(グループ宛ての通信)

## 1-2 ネットワークトポロジ

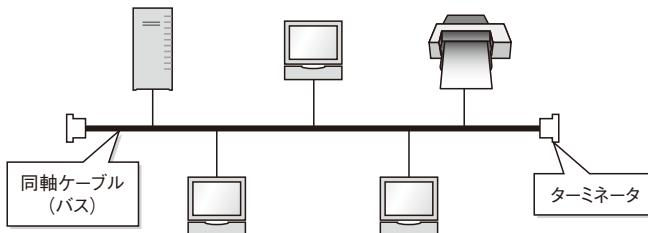
トポロジとは、コンピュータやネットワーク機器の「接続形態」のことです。トポロジにはいくつかの種類があり、どのトポロジにするかは利用するプロトコル<sup>\*</sup>によって決められている場合があります。ここでは、LANとWANで利用される代表的なトポロジについて説明します。

## ■ バス型

バス型トポロジでは、1本のバスと呼ばれるケーブルに各コンピュータを接続します。バスには同軸ケーブルが利用され、両端にターミネータ（終端抵抗）を取り付けて、ケーブルの端に到達した電気信号が反射してノイズになるのを防ぎます。

バス型はすべてのノードが1本のケーブル(バス)を共有するため、ケーブルが1カ所でも断線するとネットワーク全体が機能しなくなってしまいます。また、拡張性にも欠けるため、現在は利用されていないトポロジです。

### 【バス型トポロジ】

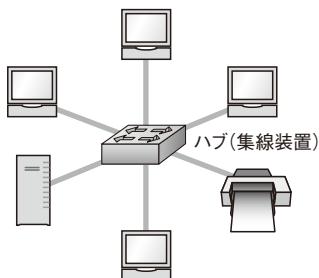


## ■ スター型

スター型トポジでは、1つの集線装置を中心に、その他のノードをケーブルで接続します。集線装置(ハブ)にスパーク(車輪の軸に放射状につけられる棒)状にリンクが接続されるため、ハブアンドスパークとも呼ばれます。

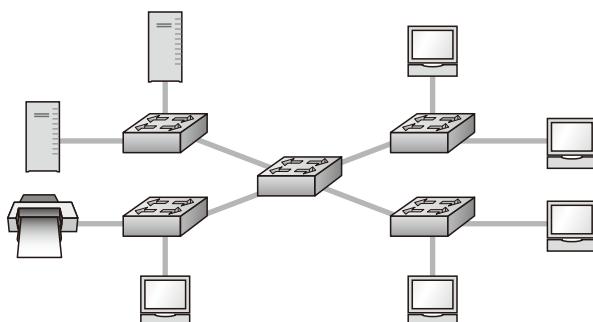
スター型では、1本のケーブルが断線しても影響を受けるのはそのケーブルを使用しているノードだけで、ほかのノードは影響を受けることなく通信し続けることができます。スター型は扱いやすく、拡張性にも優れているため、現在のLAN構築で一般的に使用されているトポロジです。

### 【スター型トポロジ】



ネットワークに接続するコンピュータの台数が多い場合、集線装置同士を接続してスター型を拡張することができます。このようなトポロジを**拡張スター型**と呼びます。

### 【拡張スター型トポロジ】

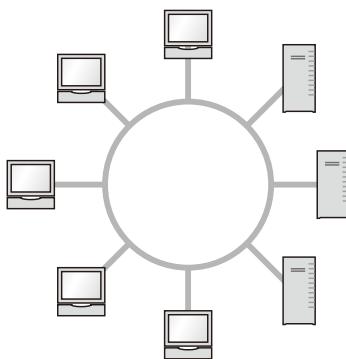


## ■ リング型

リング型トポロジは、隣り合うノード同士をリング状に接続します。トーカンリング\*やFDDI\*などがこのトポロジを用います。

リング内では、トーカンと呼ばれる信号が一方向で周回しています。データはトーカンに付加して送信され、各ノードを順番に巡回していきます。自分宛のデータを受け取ったノードは、トーカンからデータを取り出します。このトポロジでは、ノードが同時にデータを送信することによるデータの衝突は発生ないという利点があります。

### 【リング型トポロジ】

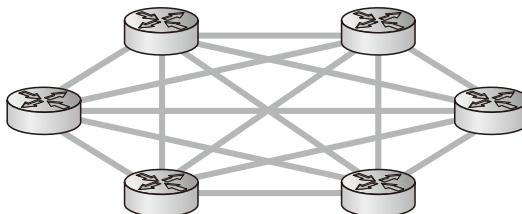


### ■ メッシュ型

メッシュ型トポロジは、複数のノードを網目状に接続する構成です。メッシュ型は主にWANで使用される接続形態であり、「フルメッシュ」と「パーシャルメッシュ」の2つに分類できます。

フルメッシュ型トポロジは、すべての拠点を相互に接続して直接通信することができます。特定のケーブルやノードに障害が発生しても、ほかのケーブルやノードを経由して通信を継続することが可能です。フルメッシュ型は高い冗長性<sup>\*6</sup>を持ち、最も信頼性が高いトポロジといえますが、コストも高くなってしまいます(VPN<sup>\*7</sup>など一部のWANサービスでは、コストを抑えながらフルメッシュ型の接続が可能です)。

### 【フルメッシュ型トポロジ】

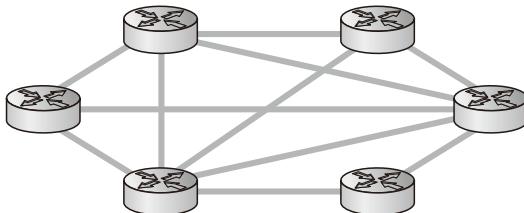


\*6 【冗長性】redundancy：設備的に余裕を持った構成のこと。故障が発生してもほかの設備でカバーできるような構成のこと

\*7 【VPN】(ブイピーエヌ)Virtual Private Network：インターネットなど信頼性の低いネットワークを介して、トラフィックを安全に転送するための技術(サービス)。VPNを利用すると公衆回線をあたかも専用回線であるかのように利用でき、コストを大幅に抑えることができる

パーシャルメッシュ型トポロジでは、重要な拠点だけを相互接続し、直接接続されない部分もあります。フルメッシュ型に比べてリンク数が少ないためコストを抑えることができ、ある程度の信頼性も確保することができます。

#### 【パーシャルメッシュ型トポロジ】



#### フルメッシュで必要なリンクの数

フルメッシュで必要になるリンク数を求めるには、次の計算式を使用します。

$$n(n-1) \div 2 \quad n = \text{ノード数}$$

たとえば、ノード数が6の場合、 $6(6-1) \div 2 = 15$ でリンク数は15となります。



#### 物理トポロジと論理トポロジ

トポロジには実際の配線でみる物理トポロジと、データの流れでみる論理トポロジがあります。物理トポロジと論理トポロジは次のように一致しない場合があります。

例) 10BASE-T\*の場合

- ・物理トポロジ …… スター型
- ・論理トポロジ …… バス型

## 1-3 ケーブルの種類

コンピュータネットワークを構成するケーブルにはいくつかの種類があります。この節では、一般的なケーブルおよびコネクタの種類と特徴について説明します。

### ■ ツイストペアケーブル

ツイストペアケーブルは、8本の心線を2本ずつより合わせて4対(4ペア)とし、その周りを塩化ビニルなどで覆っています。ケーブルの「より」によってノイズの発生と影響を抑える効果があり、通信可能な距離を延長することができます。「より対線」とも呼ばれ、現在のLANで最もよく使用されています。

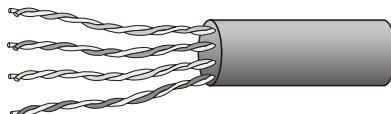
#### ● UTPとSTPケーブル

ツイストペアケーブルはシールドの有無によって、UTPとSTPに分類されます。

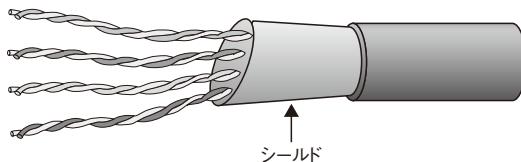
- ・UTP(Unshielded Twisted-Pair) …… シールド保護なしのツイストペアケーブル
- ・STP(Shielded Twisted-Pair) …… シールド保護されたツイストペアケーブル

シールドとは、より線の周りを囲んだ絶縁体です。これによってノイズの影響を抑える効果がありますが、その分コストは高くなります。一般的なオフィスや家庭ではUTPが利用され、STPはノイズの発生源が多い工場や研究所のような特殊な環境で利用されます。

#### 【UTPケーブル】



#### 【STPケーブル】



## ● カテゴリ

ツイストペアケーブルは次の表のように、いくつかの「カテゴリ(Category)」に分かれています。なお、LANで使用されるものはカテゴリ3(Cat3)以上になります。

### 【ツイストペアケーブルのカテゴリ】

| カテゴリ | 伝送速度    | 最大周波数  | 適用範囲                                  |
|------|---------|--------|---------------------------------------|
| 1    | 20kbps  | 規定なし   | 電話線(4線2対)。コネクタは電話用のRJ-11              |
| 2    | 4Mbps   | 1MHz   | ISDN、デジタルPBX。低速データ通信用                 |
| 3    | 16Mbps  | 16MHz  | 10BASE-T、トーケンリング                      |
| 4    | 20Mbps  | 20MHz  | トーケンリング(16Mbps)                       |
| 5    | 100Mbps | 100MHz | 100BASE-TX                            |
| 5e*  | 1Gbps   | 100MHz | 1000BASE-T。Cat5よりも性能が高い               |
| 6    | 1.2Gbps | 250MHz | 1000BASE-T、10GBASE-T(ただし、最大ケーブル長は55m) |
| 6a*  | 10Gbps  | 500MHz | 10GBASE-T。Cat6よりも安定した10Gbpsの通信が可能     |
| 7    | 10Gbps  | 600MHz | 10GBASE-T。シールドが施されたSTPケーブルを使用         |

\* 5eは、エンハンスドカテゴリ5(enhanched category 5)

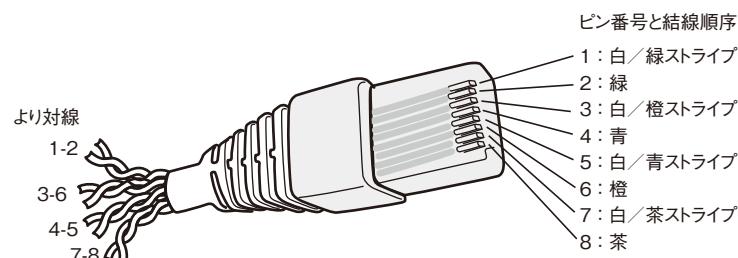
\* 6aは、オーグメンテッドカテゴリ6(augmented category 6)

カテゴリは、伝送速度を高速にするための手段によって分類されており、数字が大きいほど高品質で高速伝送を実現します。上位カテゴリのケーブルを下位カテゴリのケーブルの代替として用いることが可能です。たとえばCat6のケーブルを100BASE-TXで使用することができます。

## ● RJ-45コネクタ

ツイストペアケーブルの両端には、RJ-45(Registered Jack 45)という規格のコネクタが取り付けられています。ケーブルのRJ-45コネクタ部分を、NICやネットワーク機器のポートに差し込んで接続します。

### 【RJ-45コネクタ】



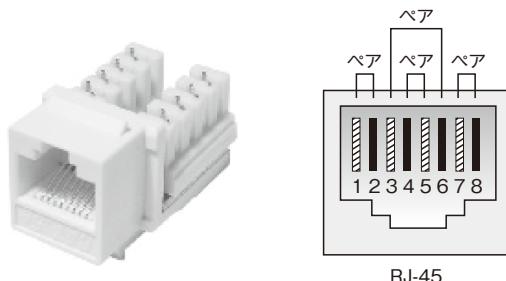
1本のツイストペアケーブルをバラバラにしてみると、8本の色分けされた芯線が入っていることがわかります。それらはEIA/TIA-568規格により、どの色とどの色の芯線がペアになり、RJ-45コネクタ内の何番目のスロットに結線するかが決められています。EIA/TIA-568には、568-Aと568-Bの2つの規格があります。

#### 【EIA/TIAピンの配列】

|        | 1   | 2 | 3   | 4 | 5   | 6 | 7   | 8 |
|--------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| T568-A | 白／緑 | 緑 | 白／橙 | 青 | 白／青 | 橙 | 白／茶 | 茶 |
| T568-B | 白／橙 | 橙 | 白／緑 | 青 | 白／青 | 緑 | 白／茶 | 茶 |

芯線の色の順番は規格によって一部異なりますが、1番と2番ピンの芯線がペアに、3番と6番、4番と5番、7番と8番がそれぞれペアになってより合わされます。機器のポート内部には8つのピン(端子)が結線されています。これによって、8本の芯線と接続し電気信号を流しています。

#### 【RJ-45モジュラージャック(ポート)】



ピン番号と結線順序  
 1：白／緑ストライプ  
 2：緑  
 3：白／橙ストライプ  
 4：青  
 5：白／青ストライプ  
 6：橙  
 7：白／茶ストライプ  
 8：茶

#### ●ストレートケーブルとクロスケーブル

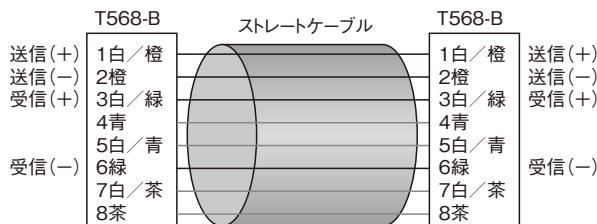
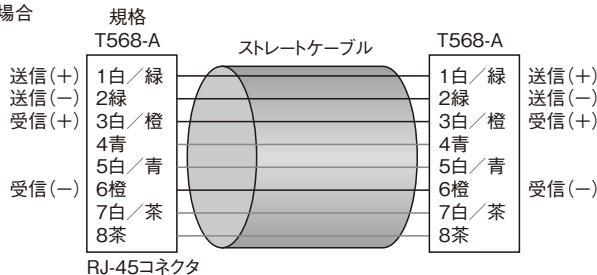
ツイストペアケーブルにはストレートケーブルとクロスケーブルの2種類があります。

- ・ストレートケーブル ……ケーブルの両端を同じピン配列(規格)で結線したケーブル。ストレートスルーケーブルとも呼ばれる
- ・クロスケーブル …………ケーブルの両端を異なるピン配列(規格)で結線したケーブル。クロスオーバーケーブルとも呼ばれる

ストレートケーブルは、一方の受信端子がもう一方の受信端子につながり、送信端子も同じになります。なお、100BASE-TX(および10BASE-T)の通信では、1、2、3、6番のピンを接続する線(2対)のみ使用します(次ページの図参照)。

### 【ストレートケーブル】

例) 100BASE-TXの場合

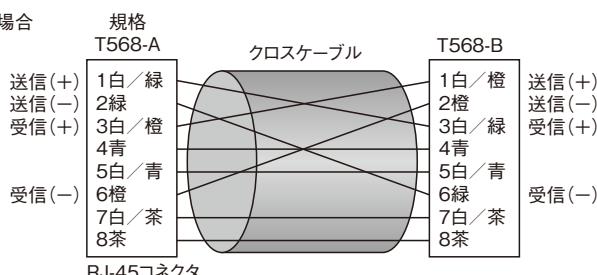


※実際には2本ずつペアによってより合されている

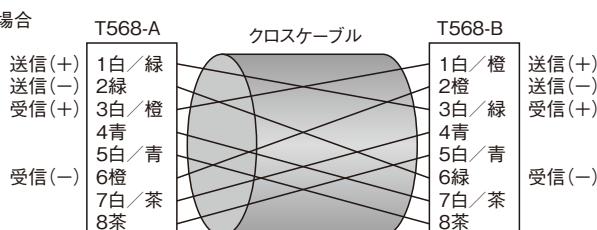
クロスケーブルは、一方の受信端子がもう一方の送信端子につながり、送信端子が受信端子につながります。1000BASE-Tの通信では、すべての線(4対)を使用します。

### 【クロスケーブル】

例) 100BASE-TXの場合



例) 1000BASE-Tの場合



※送信と受信はピンによって固定されていない



## ストレートケーブルとクロスケーブルの見分け方

ツイストペアケーブルの「ストレート」と「クロス」を見分けるには、1本のケーブルの両端にあるコネクタ部分を並べて、芯線の並び順を見比べます。

- ・ストレートケーブル …… 芯線の並び順が同じ
- ・クロスケーブル ………… 芯線の並び順が異なる

### ● MDIとMDI-X

実際にケーブル配線を行う場合にストレートケーブルとクロスケーブルのどちらを使用するかは、接続するデバイスの組み合わせによって決まります。モジュラージャック(ポート)には、各ピンへの信号の割り当てによってMDI(Medium Dependent Interface)とMDI-X(Medium Dependent Interface X)の2種類があります。

- ・MDI ……… <送信>1・2番の端子、<受信>3・6番の端子
- ・MDI-X …… <送信>3・6番の端子、<受信>1番・2番の端子

電気信号の衝突を回避するために、送信側の送信用端子から送出された電気信号を、受信側の受信端子で着信するように接続しなければなりません。したがって、MDIとMDI-Xを接続する場合はストレートケーブルを使用し、MDIとMDIまたはMDI-XとMDI-Xを接続する場合はクロスケーブルを使用します。

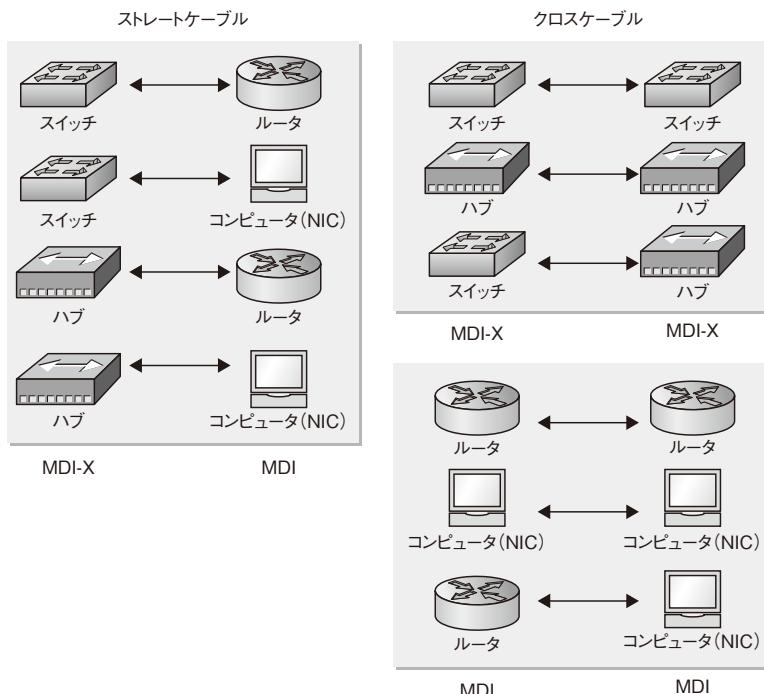
MDIとMDI-Xのどちらのコネクタタイプを持っているかは、ノードによって異なります。コンピュータのNICやルータのポートはMDI、リピータハブやスイッチのポートはMDI-Xです。

#### 【MDIとMDI-X】

| タイプ   | ノード             |
|-------|-----------------|
| MDI   | コンピュータ(NIC)、ルータ |
| MDI-X | リピータハブ、スイッチ     |

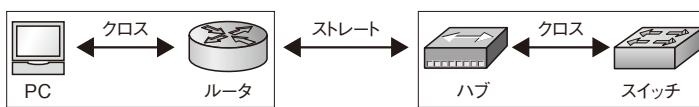
したがって、ツイストペアケーブルを使ってLANの配線を行う場合の組み合わせは、次のようにになります。

### 【ストレートケーブルとクロスケーブルの組み合わせ】



試験対策

ストレートケーブルとクロスケーブルのどちらで接続するかを見極めることは重要です。しっかり頭に入れておきましょう。



Auto MDI/MDI-X

Auto MDI/MDI-Xとは、接続相手のポートがMDIかMDI-Xかを判別し自動的にポート内部の接続を切り替える機能で、Auto-MDIXともいいます。Auto-MDIX機能によって、ストレートケーブルとクロスケーブルの種類や、接続するポートを考慮する必要がなくなるため、ケーブル配線ミスによる通信トラブルを回避できます。なお、シスコのネットワーク機器がAuto MDI/MDI-Xをサポートしているかどうかは、製品によって異なります。

## ■ 光ファイバケーブル

光ファイバは、コンピュータの電気信号を光信号に変換して伝送する通信ケーブルです。

光ファイバはコアと呼ばれる屈折率が高い素材を中心部とし、クラッドと呼ばれる屈折率の低い素材でコアの周囲を包んだ構造をしています。コアの素材には石英ガラスやプラスチックが用いられ、コアとクラッドの屈折率の違いからクラッドとコアとの境界面で光が全反射することを利用してコア内に光を閉じ込めるため、光の通路を自由に曲げることができます。

複数の光ファイバケーブルを1本に束ねても干渉しないためノイズの影響を受けることがなく、超遠距離通信を行うことができます。また、光信号は電気信号に比べてはるかに大量のデータを一度に伝送できるため、超高速データ通信を実現します。

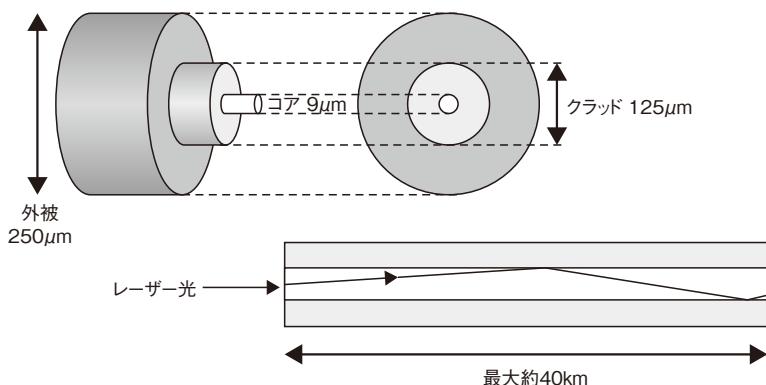
### ● シングルモードとマルチモード

光ファイバの伝送距離は、コア径(ファイバの直径)によって異なります。コア径が小さいほど長距離の伝送が可能になります。光ファイバケーブルは、**シングルモードファイバ(Single Mode Fiber : SMF)**と**マルチモードファイバ(Multi Mode Fiber : MMF)**の2種類に分類されます。

#### ・SMF(シングルモードファイバ)

コア径は約  $9\text{ }\mu\text{m}^{※8}$  と小さく、1つの光信号(モード)のみを使って伝送します。ケーブル内を進んでいくレーザ光には1つのモードしか存在しないため、分散を起こすことなく高速な長距離伝送を実現します。コア部分が細いため折り曲げに弱いためケーブルの取り扱いが難しく、コストがかかります。

#### 【シングルモードファイバ(SMF)】

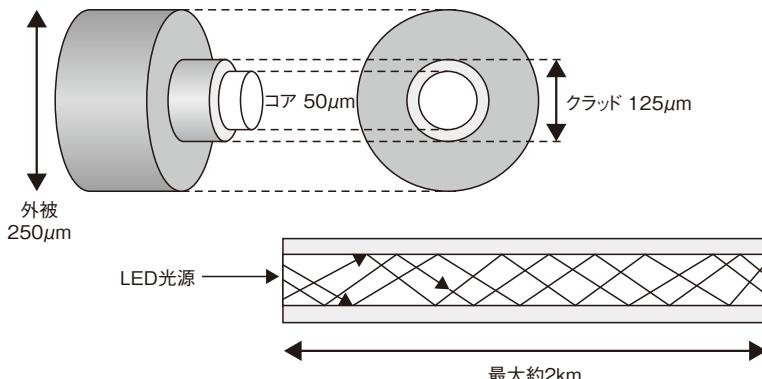


※8 【 $\mu\text{m}$ 】(マイクロメートル)micrometer：メートル法の長さの単位のひとつ。1マイクロメートルは1000分の1ミリのこと。記号は「 $\mu\text{m}$ 」

・MMF(マルチモードファイバ)

コア径は約 $50\mu\text{m}$ または $62.5\mu\text{m}$ と大きく、複数の光信号(モード)を使って伝送します。ケーブルに入射したLED光源は全反射を繰り返しながら進むため、光が多くのモードに分散して伝送されることから信号の到達時間にズレが生じ、低速で短距離伝送となります。ケーブルの取り扱いは比較的容易で安価です。

【マルチモードファイバ(MMF)】



【シングルモードとマルチモードの比較】

|         | シングルモード          | マルチモード                                  |
|---------|------------------|---|
| コア径     | 約 $9\mu\text{m}$ | 約 $50\mu\text{m}$ または $62.5\mu\text{m}$ |
| 発光源     | レーザダイオード(LD)     | 発光ダイオード(LED)<br>(LDの場合もあり)              |
| 伝搬モード   | 1つのみ             | 複数存在                                    |
| モード分散   | なし               | あり                                      |
| ケーブルの扱い | 細くて曲げに弱く、取り扱いにくい | 太くて曲げに強く、取り扱いやすい                        |
| 伝送距離    | 長距離(最大約40km)     | 短距離(最大約2km)                             |
| 帯域      | 広帯域              | 低帯域                                     |
| コスト     | 高価               | 安価                                      |



光ファイバケーブルの特徴を理解しておきましょう。

- ・ノイズの影響がない
- ・長距離の伝送が可能(UTPケーブルは最大100m)
- ・UTPに比べてコストが高い

試験対策

## ● 光ファイバコネクタ

光ファイバケーブルのコネクタにはさまざまな種類があり、接続する機器のインターフェイスの形状に合ったコネクタを利用します。結合方法にプッシュプル型およびバヨネット( Bayonet)締結型を使用したコネクタは、着脱が容易にできます。脱着が容易なSCコネクタが一般的に使用されています。

### 【主な光ファイバコネクタ】

【SC】プッシュプル型



【ST】バヨネット締結型



【FC】ねじ締結型



【LC】プッシュプル型



SFP

SFP(Small Form factor Pluggable)は、スイッチやルータのポート密度を上げるためのモジュール<sup>\*</sup>機器です。SFPは小型(57×14×10mm)で外部からコネクタを着脱可能なことから、従来のGBIC<sup>\*</sup>に代わり広く利用されています。

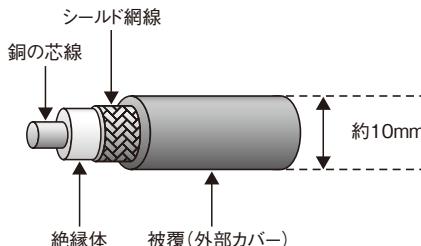
### 【ギガビットイーサネットSFP】



### ■ 同軸ケーブル

同軸ケーブルは、初期のイーサネット<sup>\*9</sup>である10BASE5、10BASE2で使用されていたケーブルです。外部からのノイズを遮断するため、高周波でも品質の高い信号を伝送することが可能であり、活躍の場こそ少なくなりましたが、いまでもテレビやCATV（ケーブルテレビ）などで利用されています。

#### 【同軸ケーブル】



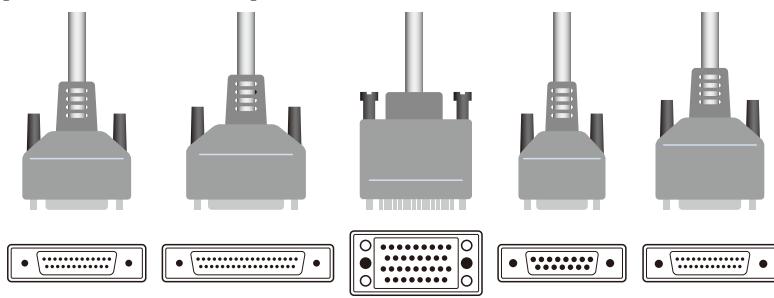
### ■ シリアルケーブル

シリアルケーブルは、1本の信号線を使って1ビットずつデータを転送する方式の通信ケーブルで、一般的にWAN接続で使用されます。

シリアルケーブルで使用する信号形式を定義する規格にはいくつか種類があり、Ciscoルータがサポートしているものは次のとおりです。

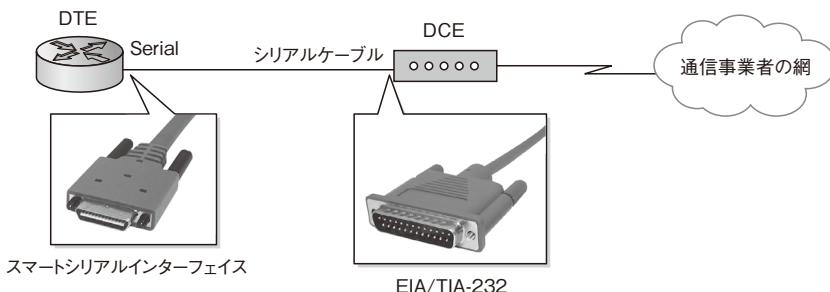
- ・EIA/TIA-232
- ・EIA/TIA-449
- ・V.35
- ・X.21
- ・EIA-530

#### 【シリアルケーブルの規格】



規格ごとにケーブル上の信号が定義されており、ケーブルの端のコネクタ形状も指定されています。どのシリアルケーブルを使用するかは、WAN接続するルータのシリアルポートのコネクタ形状とDCE\*デバイスのインターフェイスを確認して選択する必要があります。ルータ側のシリアルポートには、通常、DB-60\*コネクタやスマートシリアルインターフェイスを使用します。

### 【シリアルWAN接続の例】



シリアルインターフェイス上の通信に使用するデバイスは、DTEとDCEに分類されます。

#### ●DTE(Data Terminal Equipment : データ端末装置)

実際にデータを送受信するユーザ側の機器を表します。DTEはDCEを通してWAN回線に接続し、DCEから提供されるクロック信号を利用して通信が実行されます。

ルータ、コンピュータ、電話機およびファクシミリ機などが該当します。

#### ●DCE(Data Circuit-terminating Equipment : データ回線終端装置)

DTEから送られてきた信号と通信回線に適した信号を相互変換したり、DTEとの同期を取るためにクロック信号を送信したりする装置です。モdemやDSU、ターミナルアダプタなどがこれに該当します。

※9 【イーサネット】Ethernet: 現在最もよく使用されているLANの規格。米国の企業、ゼロックスとDECが考案し、のちにIEEE 802.3委員会によって標準化された。トポロジにはバス型とスター型の2種類があるが、現在はスター型が多く使用されている

## 1-4 OSI参照モデル

OSI参照モデルは、通信プロトコルの位置付けや関連性を把握するのに役立つ基本モデルです。OSI参照モデルの各階層の役割を理解することは、通信の仕組みなどを学ぶ上でとても重要です。

### ■ プロトコル

プロトコルとは、通信を行う上での約束事(ルール)のことです。通信時には、必ず相手と同じプロトコルを使用します。双方で使用しているプロトコルが異なる場合、正しくデータをやり取りすることはできません。

プロトコルにはさまざまな種類があり、通信はたくさんのプロトコルが連携することによって実現しています。連携するいくつかのプロトコルを体系的に組み合わせたものを、ネットワークアーキテクチャ(またはプロトコルスタック、プロトコルスイート)と呼びます。

### ■ OSI参照モデル

OSI参照モデルは、ネットワークで必要とされる機能を7つの階層(レイヤ)に分割したモデルで、それぞれの階層の役割を果たすためのプロトコルを定義しています。OSIとは、Open Systems Interconnection(開放型システム間相互接続)の略で、異なる機種間のデータ通信を実現するためにISO(International Organization for Standardization:国際標準化機構)によって策定されました。

#### 【OSI参照モデル】

| 階層  | 名前         | 役割                          |
|-----|------------|-----------------------------|
| 第7層 | アプリケーション層  | ネットワークアプリケーションの機能を提供する      |
| 第6層 | プレゼンテーション層 | データの表現形式を決定する               |
| 第5層 | セッション層     | セッションの管理を行う                 |
| 第4層 | トランスポート層   | 信頼性のある通信を提供する               |
| 第3層 | ネットワーク層    | 最適経路を決定し、エンドツーエンドの通信を行う     |
| 第2層 | データリンク層    | 隣接するノードと通信を行う               |
| 第1層 | 物理層        | ケーブルや電気信号などを定義し、ビットを正しく伝送する |



## 階層化のメリット

OSI参照モデルのように通信機能を階層化すると、次のような利点があります。

- ・標準インターフェイスを定義することにより、ベンダ\*に依存することなく相互接続ができる
- ・ネットワーク処理を役割ごとに分割することで、どの機能のプロトコルなのかがわかりやすくなる
- ・ある階層のプロトコルを変更しても、ほかの階層のプロトコルに与える影響を最小限に留めることができる
- ・新しいプロトコルの開発が容易

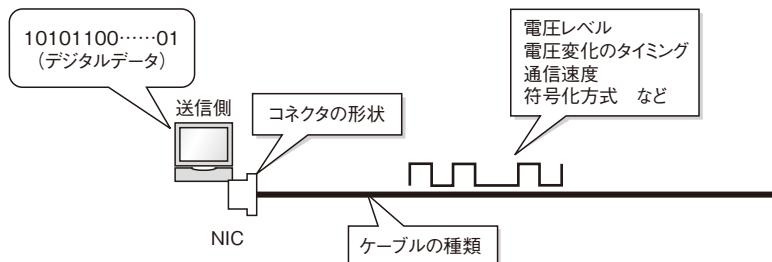
### ● 物理層(レイヤ1)

物理層の役割は、コンピュータをケーブルに接続し、0と1のデジタルデータを伝送メディア\*で扱う信号に相互に変換することです。

物理層では、次のような電気的・機械的なハードウェアの物理仕様が定義されています。

- ・コネクタの形状、ピンの数や配置
- ・ケーブルの種類や長さ
- ・電圧レベル、電圧変化のタイミング
- ・通信速度、符号化<sup>※10</sup>の方式

#### 【物理層】



※10 【符号化】encoding: データを一定の規則に基づいてビット化すること。たとえば、音声や映像などのアナログデータをデジタルのネットワークで伝送するには、アナログ信号をデジタル信号に変換する必要がある。この処理も符号化という。逆に符号化されたデータを符号化前のデータに戻す処理を復号(デコード)という

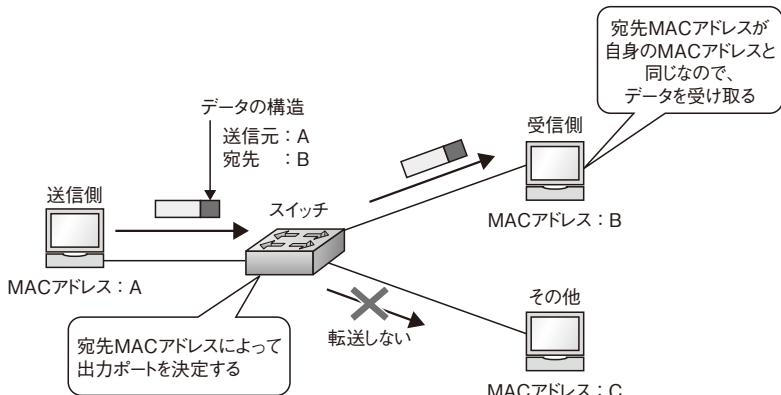
### ● データリンク層(レイヤ2)

データリンク層の役割は、同一リンク上に接続された隣接ノードと正しく通信することです。このとき、通信相手を特定するための情報としてMACアドレス<sup>\*</sup>などの物理アドレスが使用されます。

データリンク層では、次のようなことを定義しています。

- ・通信媒体にデータを送り出すときのタイミング
- ・伝送中に発生したエラーの検出と対処方法
- ・データ(フレーム)の構造
- ・データの送信元および宛先の識別方法

#### 【データリンク層】



### ● ネットワーク層(レイヤ3)

ネットワーク層の役割は、異なるネットワークを相互に接続し、エンドツーエンド<sup>\*11</sup>で通信するための経路選択(ルーティング)を行うことです。このとき、データの転送先を決定するための情報としてIPアドレス<sup>\*</sup>などの論理アドレスを使用します。

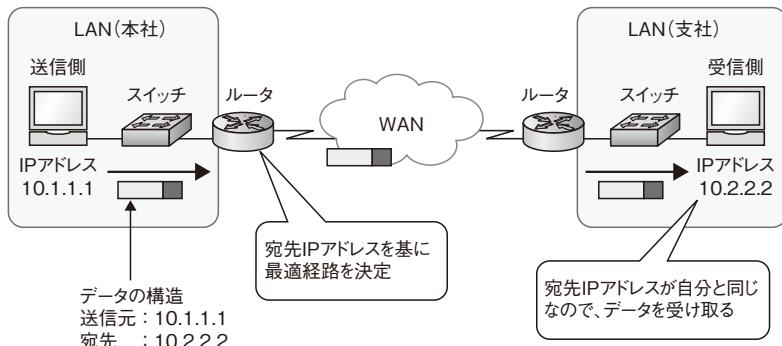
ネットワーク層では、次のようなことを定義しています。

- ・データの送信元および宛先を識別するアドレスの割り当て方法
- ・データ(パケット)の構造
- ・経路選択(ルーティング)の方法
- ・選択した経路上にデータを送出する方法

---

\*11 【エンドツーエンド】end to end:「両端で」「端から端まで」という意味を持ち、通信を行う二者(送信元と宛先)間を結ぶ通信区間全体を指す

### 【ネットワーク層】



### ● トランスポート層(レイヤ4)

トランスポート層の役割は、データを確実に届けるための信頼性を提供することです。

トランスポート層では、信頼性の高い通信を実現するために、主に次のことを定義しています。

- ・仮想回線(コネクション)の確立・維持・終了
- ・フロー制御(受信側の状態に合わせて送信量を調整する)
- ・順序制御(分割されたデータを受信側で元の順番に再構成する)
- ・確認応答(データが正しく相手に届いたかどうか確認する)
- ・再送制御(データが届かなかった場合に再送信する)

### ● セッション層(レイヤ5)

セッション層は、通信を行うプロセス(プログラム)同士の論理的な通信路(セッション)の確立・維持・終了などを定義しています。

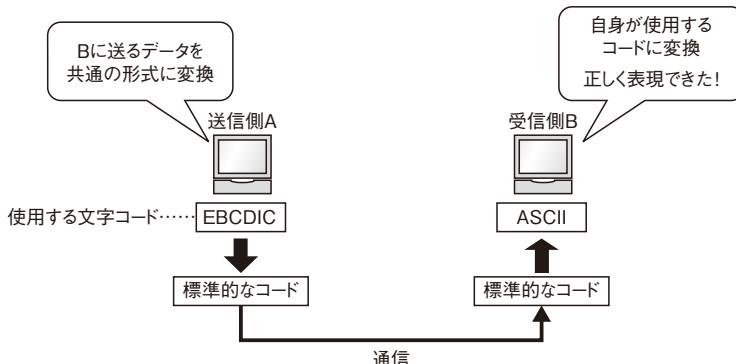
セッションとは、2つのシステム間で実行される通信の論理的な接続の開始から終了までを指しています。たとえば、ホームページを参照するととき、Webブラウザを起動しURLを入力して実行すると通信が開始され、ページがすべて表示されると通信が終了します。この一連の通信がセッションに相当します。1台のコンピュータでさまざまなアプリケーションが同時に通信できるのは、セッションが適切に管理されているからです。

### ● プレゼンテーション層(レイヤ6)

プレゼンテーション層の役割は、データを受信側でも正しく読み取れるようにするために表現形式を定義し、共通の形式にデータを変換することです。具体的には文字コード(ASCII、EBCDIC)、静止画像(GIF、JPEG)、動画(MPEG)などを規定しています。

たとえば、異なる文字コードを使用しているコンピュータ同士が通信すると、「文字化け」が発生してしまいます。このような問題を解決するのがプレゼンテーション層の役割です。

#### 【プレゼンテーション層】



なお、プレゼンテーション層では必要に応じてデータの圧縮や暗号化も行います。

### ● アプリケーション層(レイヤ7)

アプリケーション層はユーザーに最も近い層で、利用するアプリケーションに対してネットワークサービスを提供します。そのため、電子メールやWebページの閲覧、ファイル転送などネットワークサービスに応じたさまざまなアプリケーション層プロトコルが存在します。

たとえば電子メールを送る場合、相手のメールアドレス、件名、および本文はメールソフトの決められたフィールドに入力しなくてはなりません。これらは、アプリケーションプログラムで細かくルールを取り決めているからです。そのため、受信側で使用しているメールソフトが異なっていても、件名や本文を決められたフィールドに正しく表示することができます。



試験対策

OSI参照モデルの各階層の名前と役割をしっかり理解しておきましょう。

特に、データリンク層、ネットワーク層、トランスポート層は重要です。

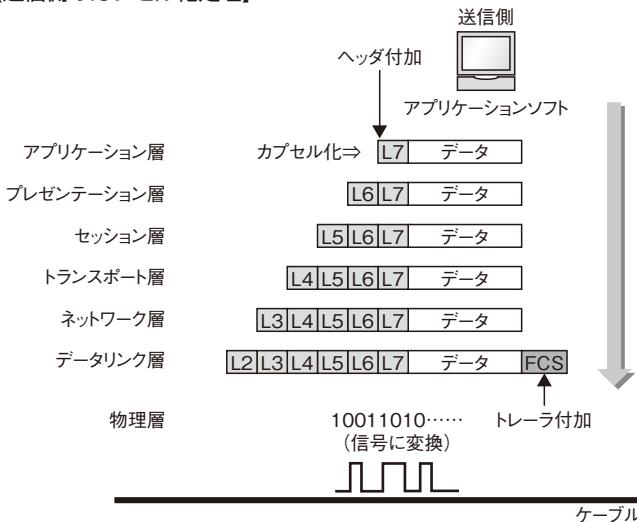
## ■ カプセル化と非カプセル化

ネットワークを介してデータをやり取りする場合、送信側ではデータのカプセル化と呼ばれる処理を行ってデータを送出し、受信側では受け取ったデータを非カプセル化することで通信を実現しています。

### ● カプセル化

送信側で作成されたデータは、上位層プロトコルでデータの先頭にヘッダと呼ばれる制御情報を付加します。この処理をカプセル化といいます。カプセル化されたデータは下位層のプロトコルに渡され、下位層でも同様にカプセル化を行い、さらに下位層のプロトコルに渡していきます。なお、データリンク層ではデータの後ろにもトレーラと呼ばれるエラーチェック用の情報を付加します。最終的に、データは信号としてケーブル上に送出されます。

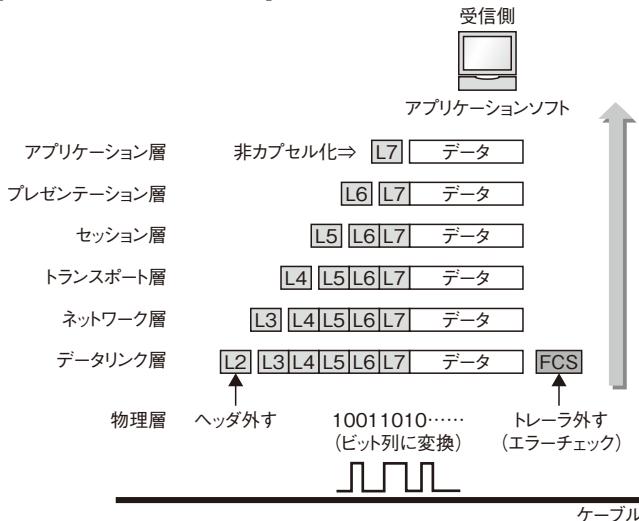
#### 【送信側のカプセル化処理】



### ● 非カプセル化

受信側では、受信した信号を下位層から上位層に向かって順番に処理します。受信側の各階層のプロトコルは送信側と同じ層で付加されたヘッダを参照して処理を行ったあと、ヘッダを外して上位層プロトコルにデータを渡します(データリンク層ではトレーラも外します)。この処理を非カプセル化といいます。

### 【受信側の非カプセル化処理】



### ■ PDU

データにヘッダが付加されて扱われるデータの単位を、PDU (Protocol Data Unit) といいます。PDUは、プロトコルや構成によって呼び方が異なります。

OSI参照モデルでは、どの階層のプロトコルヘッダが付加されたかによって次のように呼び方が決まっています。

**参照 →** TCP/IPのPDU(92ページ)

### 【OSI参照モデルのPDU名称】

↓ 暗記

- トランスポート層 ……セグメント
- ネットワーク層…………パケット
- データリンク層 ……フレーム



なお、データにヘッダが付加された情報を一般的には、単にパケットと呼んでいます。

## 1-5 2進数／10進数／16進数

私たちが日常的に使用している数値の表現形式は10進数ですが、コンピュータやネットワーク機器では2進数が使われています。しかし、2進数は桁数が多くて、人間には扱いにくいため、10進数や16進数を用いて表現しています。

### ■ 数値の表現形式

#### ●2進数

0と1の2種類の数字を使って数を表現します。2進数では、0、1の次の次で位が繰り上がりって10になります。

#### ●10進数

0～9の10種類の数字を使って数を表現し、9の次の次で位が繰り上がって10になります。

#### ●16進数

0～9の数字とA～Fのアルファベットの合計16種類で数を表現します。16進数では、0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、Fの次の次で位が繰り上がって10になります。なお、16進数であることを明確にするために、数値の先頭には「0x(ゼロエックス)」をつけて表記します。

例) 10進数 5 ⇒ 16進数 0x5      10進数 12 ⇒ 16進数 0xC

### 【10進数、2進数、16進数の対応表】

|      |   |   |    |    |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------|---|---|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 10進数 | 0 | 1 | 2  | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16    |
| 2進数  | 0 | 1 | 10 | 11 | 100 | 101 | 110 | 111 | 1000 | 1001 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 | 10000 |
| 16進数 | 0 | 1 | 2  | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9    | A    | B    | C    | D    | E    | F    | 10    |

<以下省略>

### ■ 2進数、10進数、16進数の相互変換

#### ● 2進数から10進数への変換

2進数を10進数へ変換するには、2進数の各桁の重みを掛けてそれを合計します。

| 桁の重み | $2^7$ | $2^6$ | $2^5$ | $2^4$ | $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10進数 | 128   | 64    | 32    | 16    | 8     | 4     | 2     | 1     |

たとえば、2進数「10110101」の場合、次のようにになります。

$$\begin{array}{r}
 (1 \times 2^7) + (0 \times 2^6) + (1 \times 2^5) + (1 \times 2^4) + (0 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0) = 181 \\
 \downarrow \\
 (1 \times 128) + (0 \times 64) + (1 \times 32) + (1 \times 16) + (0 \times 8) + (1 \times 4) + (0 \times 2) + (1 \times 1) = 181
 \end{array}$$

このように、「128、64、32、16、8、4、2、1」が2進数の各桁に掛ける基準の数値になります。

| 基準の数値 | 128 | 64 | 32      | 16 | 8 | 4 | 2 | 1     |
|-------|-----|----|---------|----|---|---|---|-------|
| 2進数   | 1   | 0  | 1       | 1  | 0 | 1 | 0 | 1     |
|       | ↑   |    | ↑       | ↑  |   | ↑ |   | ↑     |
|       | 128 | +  | 32 + 16 |    | + | 4 | + | 1     |
|       |     |    |         |    |   |   |   | = 181 |

例) 2進数 10100010の場合  $\Rightarrow 128+32+2=162$

01011100の場合  $\Rightarrow 64+16+8+4=92$

11111111の場合  $\Rightarrow 128+64+32+16+8+4+2+1=255$



試験対策

試験では、2進数 $\Leftrightarrow$ 10進数の変換をすばやく行う必要があります。

基準の数値を活用して効率的に計算しましょう。

|     |    |    |    |   |   |   |   |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|

### ● 10進数から2進数への変換

10進数から2進数へ変換するには、「128、64、32、16、8、4、2、1」の基準の数値を使⽤し、10進数から減算します。

たとえば、10進数「204」の場合、次のように「128、64、8、4」を用いて0になるまで減算します。

$$204 - \boxed{128} = 76 \cdots \text{「204」以下の最大の基準の数値「128」を引く}$$

$$76 - \boxed{64} = 12 \cdots \text{「76」以下の最大の基準の数値「64」を引く}$$

$$12 - \boxed{8} = 4 \cdots \text{「12」以下の最大の基準の数値「8」を引く}$$

$$4 - \boxed{4} = 0 \cdots \text{「4」以下の最大の基準の数値「4」を引く}$$

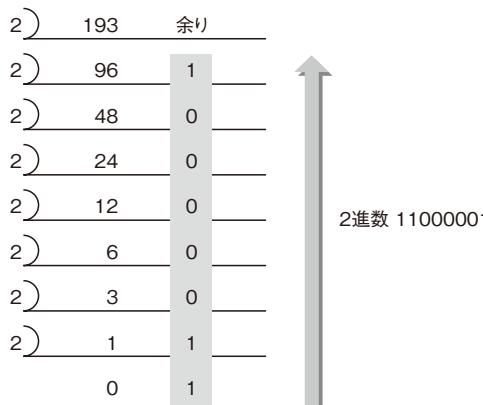
減算に用いた基準の数値の桁を1、それ以外を0にすることで、2進数「11001100」が得られます。

|         |     |    |    |    |   |   |   |   |
|---------|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 基準の数値   | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
| 減算に用いた桁 | 1   | 1  | 0  | 0  | 1 | 1 | 0 | 0 |

(2進数)

変換対象の10進数の数値が大きい場合には、引き算を繰り返すのは煩雑になります。その場合、10進数の数値を0になるまで2で割り続け、そのときの余りを下から順に並べる方法でも2進数を求めることができます。

たとえば、10進数「193」の場合、次の計算から2進数は「11000001」になります。



### ● 2進数から16進数への変換

2進数から16進数へ変換するには、2進数を4桁ずつ区切って個別に変換します。これは、2進数4桁で表現できる値の数と16進数1桁で表現できる値の数が同じだからです。

たとえば、2進数「01101010」を16進数へ変換する場合、「0110」と「1010」に分割して変換します。このとき、「8、4、2、1」を基準の数値として使用します。

|       |      |      |   |   |                         |   |   |   |   |                          |
|-------|------|------|---|---|-------------------------|---|---|---|---|--------------------------|
| 基準の数値 | 8    | 4    | 2 | 1 |                         | 8 | 4 | 2 | 1 |                          |
| 2進数   | 0    | 1    | 1 | 0 | $\Rightarrow 4 + 2 = 6$ | 1 | 0 | 1 | 0 | $\Rightarrow 8 + 2 = 10$ |
|       |      |      |   |   |                         |   |   |   |   | ※10進数の「10」は、16進数では「A」    |
| 2進数   | 0110 | 1010 |   |   |                         |   |   |   |   |                          |
| 16進数  | 0    | x    | 6 | A |                         |   |   |   |   |                          |

例) 2進数 00111100 の場合、0011⇒3、1100⇒12(10進数)→0xC ……「0x3C」

2進数 10011110 の場合、1001⇒9、1110⇒14(10進数)→0xE ……「0x9E」

### ● 16進数から2進数への変換

16進数から2進数へ変換する場合、「2進数⇒16進数」の手順とは逆の方法になります。

たとえば、16進数「0x7B」を2進数へ変換する場合、「7」と「B」に分割して変換します。



例) 0x42の場合、4⇒0100、2⇒0010 ……「01000010」

0xF8の場合、F⇒1111、8⇒1000 ……「11111000」



### 2進数をオクテットで表現する

オクテットとは、コンピュータで扱う情報の単位のことです。1オクテットは8ビットに相当します。2進数をオクテットで表現する場合、桁数が8ビットに満たないときは、足りない桁数だけ上位に「0」を足します。

たとえば、「101100」の場合は6桁しかないので、上位2桁に0を補って「00101100」と表記します。



### 2進数と16進数の換算表

| 2進数  | 16進数 |
|------|------|
| 0000 | 0    |
| 0001 | 1    |
| 0010 | 2    |
| 0011 | 3    |
| 0100 | 4    |
| 0101 | 5    |
| 0110 | 6    |
| 0111 | 7    |

| 2進数  | 16進数 |
|------|------|
| 1000 | 8    |
| 1001 | 9    |
| 1010 | A    |
| 1011 | B    |
| 1100 | C    |
| 1101 | D    |
| 1110 | E    |
| 1111 | F    |

10進数  
←10  
←11  
←12  
←13  
←14  
←15

### ● 10進数から16進数への変換

10進数から16進数へ変換する場合も、基本的な考え方はこれまでと同じです。ただし、10進数の数値が比較的大きい場合には、まずは2進数に変換してから16進数へ変

換することで容易に16進数を求めることができます。

たとえば、10進数「222」を16進数へ変換する場合は次のとおりです。

|    |     |    |
|----|-----|----|
| 2) | 222 | 余り |
| 2) | 111 | 0  |
| 2) | 55  | 1  |
| 2) | 27  | 1  |
| 2) | 13  | 1  |
| 2) | 6   | 1  |
| 2) | 3   | 0  |
| 2) | 1   | 1  |
|    | 0   | 1  |

2進数「11011110」をさらに16進数へ変換

2進数      1101    1110  
16進数      0 x DE

### ● 16進数から10進数への変換

16進数から10進数へ変換する場合も、まずは2進数に変換してから10進数へ変換します。

たとえば、16進数「0x91」を10進数に変換する場合は次のとおりです。

|       |   |                                |
|-------|---|--------------------------------|
| 16進数  | 0 x 9 1   |                                |
| 2進数   | 1001    0001  | さらに10進数へ変換                     |
| 基準の数値 | 128    64    32    16    8    4    2    1                             |                                |
| 2進数   | 1    0    0    1    0    0    0    1<br>↑    +        ↑    +        ↑ | 128    +    16    +    1 = 145 |



試験対策

2進数と10進数の変換は、IPアドレッシングの計算などで重要です。

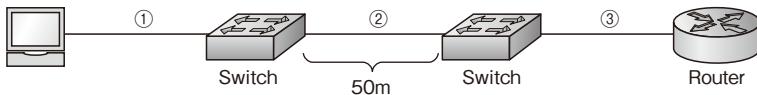
参照 ➔ 「4-3 IPアドレッシングの計算」(170ページ)

変換対象となる10進数の値が「基準の数値」にある数字よりも1つだけ小さい場合、その桁より下位をすべて1にすると変換できます。

たとえば10進数「63」の場合、64よりも1つ小さい値なので、2進数では「00111111」になります。また、1オクテットで表現できる最大の値は10進数で「255」、2進数では「11111111」になります。

## 1-6 演習問題

1. ある企業のフロア内で次のLANを構成するとき、ノード間を接続する①～③のケーブルとして正しいものを選択しなさい。



- A. ストレートケーブル
  - B. クロスケーブル
  - C. ロールオーバーケーブル
  - D. シリアルケーブル
  - E. 光ファイバケーブル
2. 電磁ノイズの影響を受けないケーブルを選択しなさい。
- A. 同軸ケーブル
  - B. ツイストペアケーブル
  - C. 光ファイバケーブル
  - D. 該当なし
3. OSI参照モデルによる階層化のメリットとして説明が正しいものを選択しなさい。(2つ選択)
- A. 標準インターフェイスを定義することにより、異なる機種間のデータ通信を実現する
  - B. 新しい機能やプロトコルの開発および変更が容易になる
  - C. 階層ごとの機能を定義することにより、高速なデータ通信を実現する
  - D. ある階層のプロトコルを変更し、即時にほかの階層に反映させることができる
4. 次のOSI参照モデルの階層①～③に該当する説明を、選択肢から選びなさい。

- ① データリンク層
- ② ネットワーク層
- ③ トランスポート層

- A. 信頼性の高い通信を保証する
- B. MACアドレスなどの物理アドレスを基に通信相手を特定する
- C. デジタルデータを伝送メディアで扱う信号へ変換する
- D. プロセス同士の論理的な通信路の確立・維持・終了を定義する
- E. データのフォーマットを共通の形式に変換する
- F. ある宛先ネットワークへの最適経路を決定する
- G. 直接接続されたノード間の通信を実現する
- H. アプリケーションごとにネットワークサービスを提供する
- I. 論理アドレスを基に異なるネットワーク間の通信を実現する
- J. フロー制御や順序制御を行う

5. 次の階層①～③に該当するPDU名称を答えなさい。

- ① トランsport層
- ② ネットワーク層
- ③ データリンク層

6. 2進数「11011001」を10進数と16進数に正しく変換しているものを選択しなさい。(2つ選択)

- A. 185
- B. 0xB9
- C. 201
- D. 0xC9
- E. 217
- F. 0xD9
- G. 249
- H. 0xF9

7. 10進数①～⑤をすべて2進数に変換しなさい。

- ① 41
- ② 111
- ③ 128
- ④ 231
- ⑤ 255

## 1-7 解答

### 1. ① A ② B ③ A

同一フロア内におけるLANのケーブル配線には、通常はツイストペアケーブルが使用されます。ツイストペアケーブルにはストレートケーブルとクロスケーブルの2種類があり、どちらを使用するかは接続するノードの組み合わせによって決まります。

| タイプ   | ノード             |
|-------|-----------------|
| MDI   | コンピュータ(NIC)、ルータ |
| MDI-X | リピータハブ、スイッチ     |

- ① コンピュータ(NIC)とスイッチ ……ストレートケーブル(A)
- ② スイッチとスイッチ ………………クロスケーブル(B)
- ③ スイッチとルータ ………………ストレートケーブル(A)

ツイストペアケーブルの最大ケーブル長は「100m」です。2台のスイッチ間の距離は50mなので、一般的にツイストペアケーブルで接続します。なお、100mを超える場合には光ファイバケーブル(E)で接続します(100m未満であっても、ビル間のLAN接続などは光ファイバケーブルで接続)。

ロールオーバーケーブル(C)は、ルータやスイッチに管理アクセスするためのコンソール接続で使用します。シリアルケーブル(D)はWAN接続で使用するケーブルであり、スイッチにはシリアルインターフェイスはありません。

参照 ➔ P25, 29

### 2. C

電磁ノイズは、機器から漏れた電磁波をほかの機器が拾うことなどが影響して発生します。光を伝送する光ファイバケーブルは、電磁ノイズの影響を受けません(C)。

参照 ➔ P31

### 3. A、B

OSI参照モデルは「異なる機種間の通信を容易にするため」に、ISO(国際標準化機構)によって定められたネットワークプロトコルの標準です。OSI参照モデルでは、通信機能を7つの階層に分離し各階層に役割を明確に定義することによって、次のようなメリットがあります。

- ・ベンダに依存することなく、異機種間の相互接続ができる(A)
- ・各階層の独立性を高めることで、新機能の開発に専念でき変更も容易になる(B)
- ・複雑なネットワークを階層化することでわかりやすくなり、管理も容易になる
- ・階層での変更や拡張が、ほかの階層に影響を与えることなく実現できる(D)

階層化が高速データ通信の直接的な理由ではないため、選択肢Cは不正解です。

参照 → P37

### 4. ① B、G ② F、I ③ A、J

データリンク層(第2層)は、直接接続されたノード間の通信を実現するための機能を定義しています(G)。通信相手を特定する宛先アドレスとして、MACアドレスなどの物理アドレスを使用します(B)。

ネットワーク層(第3層)は、異なるネットワーク上の相手と通信を実現するための機能を定義しています。宛先アドレスとして、IPアドレスなどの論理アドレスを使用します(I)。ネットワーク層デバイスのルータは、異なるネットワークを相互に接続し、受信したデータの最適経路を決定します(F)。

トランスポート層(第4層)の役割は、信頼性のある通信を保証することであり(A)、これを実現するために、フロー制御や順序制御などさまざまな制御機能を定義しています(J)。

なお、選択肢Cは物理層(第1層)、Dはセッション層(第5層)、Eはプレゼンテーション層(第6層)、Hはアプリケーション層(第7層)の役割です。

参照 → P36

## 5. ①セグメント ②パケット ③フレーム

PDUとは、OSI参照モデルにおいて各階層で扱われるデータの単位のことです。

- ① トランスポート層(第4層) …… セグメント
- ② ネットワーク層(第3層) …… パケット
- ③ データリンク層(第2層) …… フレーム

**参照 → P42**

## 6. E、F

2進数から10進数への変換は、次の「基準の数値」を使用します。

|     |    |    |    |   |   |   |   |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
| 1   | 1  | 0  | 1  | 1 | 0 | 0 | 1 |

「11011001」の場合、 $128 + 64 + 16 + 8 + 1 = 217(E)$ になります。

2進数から16進数への変換は、2進数を4桁ずつ区切って変換します。

「11011001」の場合、「1101」と「1001」に分割し、**[8 4 2 1]**の基準の数値を使って変換します。

「1101」 $\Rightarrow 8 + 4 + 1 = 13$  「1001」 $\Rightarrow 8 + 1 = 9$  10進数「13」は、16進数では「D」なので、**0xD9(F)**になります。

**参照 → P43**

## 7. 下記参照

- ①00101001(101001) ②01101111(1101111) ③10000000
- ④11100111 ⑤11111111

10進数から2進数への変換は、値が比較的小さい場合は「基準の数値」を使用し10進数から減算することで求めます。①はこの方法で変換するとよいでしょう。

値が大きい場合は「0になるまで2で割り、そのときの余りを並べる」ことで求めます。②と④はこの方法が適しています。

③の128は、「基準の数値」にある値と合致するので、同じ桁を1に、その他はすべて0にするだけですばやく2進数へ変換できます。

⑤の255は基準の値をすべて加算した「11111111」になります。「255(10進数) $\Leftrightarrow$ 11111111(2進数)」は覚えておきましょう。

**参照 → P44**

## 第2章

# イーサネット

2-1 イーサネット

2-2 CSMA/CD

2-3 ネットワーク機器

2-4 レイヤ2スイッチング

2-5 演習問題

2-6 解答

## 2-1 イーサネット

イーサネット(Ethernet)はコンピュータネットワーク規格の1つであり、現在のLANで最もよく使用されています。

### ■ イーサネットの概要

イーサネットの基本仕様は、OSI参照モデルの物理層とデータリンク層を規定しています。

イーサネットの原型は、1970年代に米XeroxのRobert Metcalfe(ロバート・メトカーフ)によって開発されました。その後、米DEC、米Intelも開発に加わり、イーサネットの仕様を取りまとめました。この仕様は、3社の頭文字を取ってDIXイーサネットと呼ばれています。1980年に標準規格として公開されました。その後もいくつかの仕様が改訂され、最終的には1982年にDIXイーサネットVer.2.0の仕様が公開されました。



### 通信速度の単位

コンピュータネットワークにおける通信速度の単位には、bps(bits per second)が用いられます。たとえば、1bpsは1秒間に1ビットのデータを転送できることを表します。

通信技術の進歩によって、bpsには次のような上位の単位が用いられるようになりました。

- 1,000bps ..... 1kbps(キロビット毎秒)
- 1,000kbps ..... 1Mbps(メガビット毎秒)
- 1,000Mbps ..... 1Gbps(ギガビット毎秒)

データ容量を表す単位には、一般的にバイト(byte)が使用されているので注意が必要です。

- 8bit ..... 1B(バイト)<sup>\*</sup>環境によっては、8bit=1Bでないことがある
- 1,024B ..... 1KB(キロバイト)
- 1,024KB ..... 1MB(メガバイト)
- 1,024MB ..... 1GB(ギガバイト)
- 1,024GB ..... 1TB(テラバイト)

なお、通信速度とほぼ同じ意味で帯域幅が使用されることがあります。「広帯域(帯域幅が広い)」は、通信速度が速いことを意味しています。

LANの標準化を推進する IEEE(米国電気電子技術者協会)では、プロジェクトを発足した1980年2月にちなんで規格の名称を802とし、イーサネットに関する仕様は IEEE 802.3で標準化しています。

イーサネットは当初、太い同軸ケーブルを使い、建物内などの比較的狭い範囲にある複数のコンピュータを相互接続するためのネットワークとして利用されました。10Mbpsというデータ伝送の最高速度も、当時としては十分でした。しかし、1990年代に入りパソコンコンピュータの高速化および小型化が進んで扱うデータ量が増加してくると、より高速な伝送が求められるようになりました。そこでIEEEは、1995年に100Mbpsの伝送速度に対応するイーサネットを標準化しました。さらに1998年に1Gbps、2002年に10Gbps、2010年には40Gbpsおよび100Gbpsを標準化するなど、イーサネット規格の高速化が進んでいます。

このようにイーサネットは進化し続けており、現在ではLANだけでなく広域イーサネットのようなWANにおいても利用されています。

## ■ MAC副層とLLC副層

先述したとおり、イーサネットの仕様には最初に公開されたDIXイーサネットと、IEEE 802.3の2種類があります。IEEEの仕様では、データリンク層をMAC副層とLLC副層の2つに分け、ほかのLAN規格と共通する部分については802.2で標準化しています。

### ● MAC副層

MAC(Media Access Control)は媒体アクセス制御の意味で、ケーブルなどの媒体に「どのようにフレームを転送するか」を定義しています。

### ● LLC副層

LLC(Logical Link Control)は論理リンク制御の意味で、イーサネットやトーカンリングなどLANの種類に依存することなく、ネットワーク層のプロトコルから同じ手順で利用できるように定義しています。

## 【DIXイーサネットとIEEE 802】

| OSI参照モデル   | DIX       | IEEE 802                             |
|------------|-----------|--------------------------------------|
| アプリケーション層  |           |                                      |
| プレゼンテーション層 |           |                                      |
| セッション層     |           |                                      |
| トランスポート層   |           |                                      |
| ネットワーク層    |           |                                      |
| データリンク層    | LLC副層     | IEEE 802.2                           |
|            | MAC副層     | IEEE 802.3 IEEE 802.5 IEEE 802.11 など |
| 物理層        | DIXイーサネット |                                      |

← MAC副層に  
依存しない  
共通の規格

← 主なLANの種類

※IEEE 802.3：イーサネット、IEEE 802.5：トーカンリング、IEEE 802.11：無線LAN

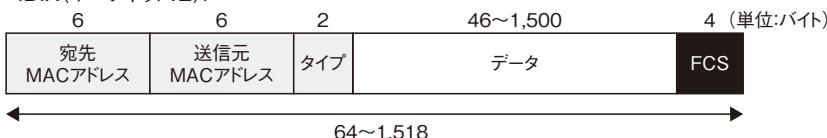
## ■ イーサネットフレーム

イーサネットのフレームフォーマットには、DIX仕様とIEEE 802.3仕様の2種類があります。イーサネット上に接続されるすべてのノードは両方のフレームフォーマットを扱うことができます。どちらの形式を使うかは実装したいですが、TCP/IPではDIX仕様を使用するため、LAN上ではイーサネットv2のフレームフォーマットが最もよく使われています。

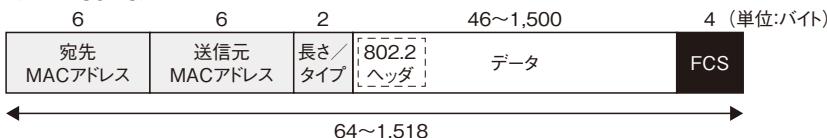
イーサネットの最小フレームサイズは64バイトで、1つのフレームはいくつかのフィールドと呼ばれるセクションで構成されています。

### 【イーサネットのフレームフォーマット】

<DIX(イーサネットv2)>



<IEEE 802.3>



- ・宛先MACアドレス ..... 宛先のMACアドレス
- ・送信元MACアドレス ..... 送信元のMACアドレス
- ・タイプ ..... 上位層のプロトコルを識別するための番号。たとえばIPv4は「0x0800」、ARPは「0x0806」、IPv6は「0x86DD」(0xは16進数を表す)
- ・長さ／タイプ ..... データフィールドの長さを表す。値は「0x0600」(10進数で1536)未満で、DIXイーサネットのタイプと重複しない
- ・データ ..... イーサネットフレームで運ばれるデータ部分。データのサイズは46~1,500バイトの可変長。データが短すぎて最小フレームサイズに満たない場合は、データの後ろに46バイトに達するまで0を補って調整する。イーサネットのMTU<sup>\*1</sup>は1,500バイトであり、これを超えることはできない
- ・802.2ヘッダ ..... IEEE 802.2規格でリンクするサービスの識別情報などを含む
- ・FCS ..... Frame Check Sequenceの略。フレームのエラーチェックを行うためのCRC<sup>\*2</sup>値。送信側でフレームヘッダとデータに含まれる情報で計算したCRC値を格納し、受信側でも同様の計算を行って両方の値が一致する場合、伝送中のエラーはないと判断される。不一致の場合は、エラーが発生したと判断してフレームを破棄する



試験対策

データリンク層では、ヘッダとトレーラを付加します。

データは最大1,500バイトで、FCS(CRC値)はエラーチェックで使用します。

イーサネットのフレームフォーマット(特にDIX仕様)を覚えておきましょう！

## ■ MACアドレス

MACアドレスは、イーサネットや無線LANにおいてフレームの送信元や宛先を識別するためのアドレスです。コンピュータのNICやネットワーク機器のポートなどにあらかじめ割り当てられているため、「ハードウェアアドレス」または「物理アドレス」とも呼ばれています。

MACアドレスの長さは48ビット(6バイト)であり、「-(ハイフン)」または「:(コロン)」で区切って16進数で表記します。

### 【MACアドレスの表記】

例)2進数で「00000000 00000000 00001100 00010010 00110100 01010110」の場合



「00-00-0C-12-34-56」、「00 : 00 : 0C : 12 : 34 : 56」、「0000 : 0C12 : 3456」と表記



### プリアンブル

イーサネットフレームには伝送時にフレームの先頭にプリアンブルと呼ばれる信号が付加されます。プリアンブルは、受信側にフレームの開始位置を知らせたり、同期を取るタイミングを与えるために使用されます。

プリアンブルは1と0の繰り返しであり、「10101010……」のパターンで1と0が交互に続くことにより、コンピュータはフレームが送信されてきたことを認識してデータを受信するタイミングを計ります。そして、プリアンブルの最後を示す「10101011」を検出すると、その次のビットから宛先MACアドレスが始まると解釈します。

### ● MACアドレスの構成

MACアドレスの前半24ビットはOUI(Organizationally Unique Identifier)といい、MACアドレスを持つ機器のベンダを示す識別子です。OUIは「ベンダコード」とも呼

※1 【MTU】(エムティーユー)Maximum Transmission Unit:最大伝送ユニット。一度に転送することができるデータの最大値を示す値。単位はバイトで、イーサネットでは1,500バイトが一般的

※2 【CRC】(シーアールシー)Cyclic Redundancy Checksum:巡回冗長検査。送信側でデータのビット列を生成多項式と呼ばれる計算式に当てはめてチェック用のビット列を算出し、それをデータの末尾に付けて送る。受信側でも同じ計算式を使い、その結果が同じであればエラーがないと判断する誤り検出方式のひとつ

ばれ、IEEEが各ベンダに異なる値を割り当てて管理をしています。

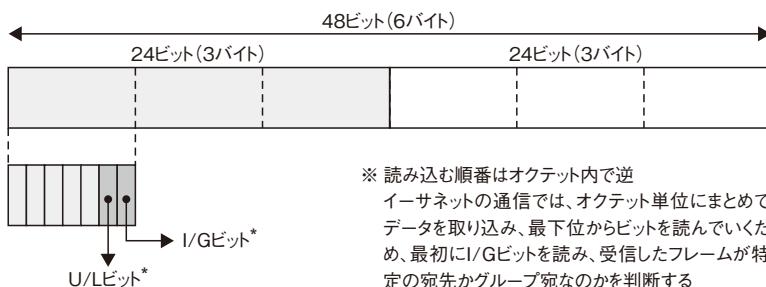
### 【主なOUI】

| OUI      | ベンダ名     |
|----------|----------|
| 00-00-0C | シスコシステムズ |
| 00-00-0E | 富士通      |
| 00-00-4C | NEC      |
| 00-A0-24 | 3COM     |
| 00-AA-00 | Intel    |

※ 1つのベンダに複数のOUIが割り当てられている場合もある

後半24ビットは、ベンダが自由に割り当てる製品番号です。各ベンダは製造した機器に製品番号を重複しないように割り当てます。これによって、MACアドレスは一意であり、LAN上のすべてのノードは異なるMACアドレスを持つことができます。  
なお、先頭1バイトの下位ビットは特別な用途に予約されているため、実際は22ビットでベンダに割り当てています。

### 【MACアドレス】



試験対策

#### MACアドレスの特徴

- ・レイヤ2(データリンク層)のアドレス
- ・前半24ビットは「OUI」
- ・重複しないように割り当てられている
- ・48ビット(16進数表記で12桁)
- ・アルファベットは「F」まで
- ・ブロードキャストの場合  
「FFFF.FFFF.FFFF」

### ● MACアドレスの種類

MACアドレスには次の3種類があります。

- ・ユニキャストMACアドレス ……特定ノードへの通信(1対1)に使用
- ・マルチキャストMACアドレス ……特定グループへの通信(1対n)に使用
- ・ブロードキャストMACアドレス ……全ノード宛の通信(1対全)に使用

NICやネットワーク機器などにあらかじめ割り当てられているMACアドレスは、ユニキャスト用のアドレスです。通信の種類がブロードキャストおよびマルチキャストの場合、それぞれで定義されている専用のMACアドレスを宛先アドレスとして使用します。

イーサネットの場合、ブロードキャストMACアドレスとしてFF-FF-FF-FF-FF-FF(48ビットすべて1)を定義しています。また、マルチキャストMACアドレスは、I/G(Individual/Group)ビットが1になっています。

### ■ イーサネット規格の命名規則

IEEE 802.3規格ではさまざまな伝送媒体が規格化されており、次の命名規則によって名前が付けられています。

#### 【イーサネット規格の命名規則】

例) 100 BASE - TX (読み方: ハイクベースティーエックス)  
① ② ③

①通信速度: 100の場合は100Mbpsを表す

②伝送方式: BASEはデジタル信号をそのまま送信する「ベースバンド方式」を表す。現在のLANのほとんどがベースバンド方式を採用している。なお、アナログ信号に変換して送信する場合はBROADと表記される

③ケーブルの種類: 5と2の場合は最大ケーブル長を表し、その他の数字やアルファベットの場合はケーブルの種類や符号化などを示している。Tはツイストペアケーブル、XはANSI<sup>\*</sup>の技術仕様を一部利用していることを示す

### ■ イーサネットの規格

IEEEは最初にIEEE 802.3の10BASE5を標準化しました。IEEE 802.3uやIEEE 803.2abのように、英小文字の付いた規格はIEEE 802.3の拡張規格になります。

#### ● イーサネット(10Mbps)

10BASE5は、直径の大きい1本の同軸ケーブル(Thickケーブル)に複数のコンピュータを接続するバス型トポロジの規格です。後に、直径の小さい同軸ケーブル(Thinケーブル)が登場し、ケーブルが以前に比べて少しだけ扱いやすくなりました。10BASE-Tでは、ハブと呼ばれる集線装置にスター型でコンピュータを接続します。安価で扱いやすいツイストペアケーブルを使うので敷設時の負担も軽く、ネットワークの導入が容易になりました。

### 【主な10Mbpsのイーサネット規格】

| 策定年   | 規格名      | IEEE標準      | ケーブル        | トポロジ | 最大ケーブル長 |
|-------|----------|-------------|-------------|------|---------|
| 1983年 | 10BASE5  | IEEE 802.3  | 太い同軸(Thick) | バス型  | 500m    |
| 1988年 | 10BASE2  | IEEE 802.3a | 細い同軸(Thin)  | バス型  | 185m    |
| 1990年 | 10BASE-T | IEEE 802.3i | UTPカテゴリ3以上  | スター型 | 100m    |
| 1993年 | 10BASE-F | IEEE 802.3j | 光ファイバ(MMF*) | スター型 | 2km     |

### ● ファストイーサネット(100Mbps)

ファストイーサネット(Fast Ethernet)は、伝送速度が100Mbpsのイーサネット規格です。代表的な規格は次のとおりです。

### 【主な100Mbpsのイーサネット規格】

| 策定年   | 規格名        | IEEE標準      | ケーブル         | 最大ケーブル長 |
|-------|------------|-------------|--------------|---------|
| 1995年 | 100BASE-TX | IEEE 802.3u | UTP(2対カテゴリ5) | 100m    |
|       | 100BASE-FX |             | 光ファイバ(MMF)   | 2km     |
|       |            |             | 光ファイバ(SMF*)  | 20km    |

### ● ギガビットイーサネット(1Gbps)

ギガビットイーサネット(Gigabit Ethernet)は、伝送速度が1,000Mbpsのイーサネット規格です。代表的な規格は次のとおりです。

### 【主な1,000Mbpsのイーサネット規格】

| 策定年   | 規格名         | IEEE標準       | ケーブル          | 符号化           | 最大ケーブル長 |
|-------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------|
| 1998年 | 1000BASE-SX | IEEE 802.3z  | 光ファイバ(MMF)    | 8B10B/NRZ     | 550m    |
|       | 1000BASE-LX |              | 光ファイバ(MMF)    |               | 550m    |
|       |             |              | 光ファイバ(SMF)    |               | 5km     |
| 1999年 | 1000BASE-T  | IEEE 802.3ab | UTP(4対カテゴリ5e) | 8B1Q4/4D-PAM5 | 100m    |
| 2004年 | 1000BASE-BX | IEEE 802.3ah | 光ファイバ(SMF)    | 8B10B/NRZ     | 10km    |

### ● 10ギガビットイーサネット(10Gbps)

10ギガビットイーサネット(10 Gigabit Ethernet)は、伝送速度が10Gbpsのイーサネット規格です。初期のイーサネットでアクセス制御に使用されていたCSMA/CDは、10ギガビットイーサネットでは完全に削除されました。

光ファイバケーブルを使用した10ギガビットイーサネットは、LANだけでなくWANのバックボーンにおいても利用できるように、用途別に規格が定義されています。

10ギガビットイーサネットの規格もこれまで同様にMAC副層と物理層の仕様を定義しています。たとえば、MAC副層ではフレームの生成や送出速度の調整などの取り決めを行い、物理層ではフレームを符号化して実際に送信する信号を作るためのPHY(ファイ)チップや、電気信号と光信号を相互変換するためのトランシーバなどの規格を定めています。

物理層は用途に合わせて、LAN向けのLAN PHYとWAN向けのWAN PHYの2つのグループに分けられています。LAN PHYは、従来のイーサネットとの互換性を重視しており、WAN PHYはSONET/SDH<sup>※3</sup>との接続性を重視しています。さらに、符号化方式や光信号(レーザー)の波長の組み合わせから、次のように7種類の規格が定義されています。ユーザはこの中から用途、距離、コストに合わせて使い分けることができます。

### 【10Gbpsのイーサネット規格】

| 策定年   | 規格名        | IEEE標準       | ケーブル           | 符号化     | 最大ケーブル長 |
|-------|------------|--------------|----------------|---------|---------|
| 2002年 | 10GBASE-SR | IEEE 802.3ae | MMF(LAN PHY)   | 64B/66B | 300m    |
|       | 10GBASE-LR |              | SMF(LAN PHY)   |         | 10km    |
|       | 10GBASE-ER |              | SMF(LAN PHY)   |         | 40km    |
|       | 10GBASE-SW |              | MMF(WAN PHY)   | 64B/66B | 300m    |
|       | 10GBASE-LW |              | SMF(WAN PHY)   |         | 10km    |
|       | 10GBASE-EW |              | SMF(WAN PHY)   |         | 40km    |
| 2006年 | 10GBASE-T  | IEEE 802.3an | UTP/STP(カテゴリ6) | LDPC*   | 100m    |

以上のように、イーサネットは10BASE5から大きな変化を遂げてきましたが、フレームフォーマットは昔から変更されていません。共通のフレームフォーマットを使用することで、従来のイーサネットとの互換性が保たれています。

※3 **[SONET/SDH]** (ソネットエスディーエイチ)Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy: 光ファイバによる高速デジタル通信方式の国際規格で、主にOSI参照モデルの物理層の仕様を規定している。インターネットサービスプロバイダ間を結ぶインターネットのバックボーン回線などに広く用いられる。米Bellcore社によって開発されたSONETを、国際電気通信連合・電気通信標準化セクタ(TU-TS)がSDHとして標準化した。SDHという名称は主にヨーロッパで用いられ、北アメリカではSONETと呼ばれることが多いため、混乱を避けるために一般的にSONET/SDHと表記する

## 2-2 CSMA/CD

IEEE 802.3標準の媒体アクセス制御方式であるCSMA/CDでは、送信前にケーブルの空きを確認してから送信を開始し、衝突を検出した場合はランダムな時間だけ待ってから再送信を行います。CSMA/CDはどのホストにも平等に送信権を与え、再送信による衝突が起こる可能性を抑えるよう、さまざまな工夫がなされています。

### ■ CSMA/CD

CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)は、「搬送波感知多重アクセス／衝突検出方式」の略で、イーサネットで採用されている媒体アクセス制御(Media Access Control: MAC)方式です。媒体アクセス制御とは、媒体へのフレーム送出(アクセス)をコントロールするための仕組みのことです。つまり、複数のホスト(ステーション)で共有しているケーブルなどの伝送媒体にどのようなタイミングでフレームを送信するかなどを決めています。

媒体アクセス制御方式は、LANの規格によって異なります。イーサネットはCSMA/CD、トーケンリングやFDDIではトーケンパッシング<sup>※4</sup>と呼ばれる方式を規定しています。

CSMA/CDの動作は、次の3つの要素で構成されています。

#### ● CS(キャリアセンス)

キャリア(Carrier)はネットワーク媒体上に流れている信号で、伝送媒体(ケーブル)上に信号が流れていかないか確認する処理をキャリアセンス(Carrier Sense: CS)といいます。

信号が流れていらない状態をアイドルといい、ホストはアイドル状態がIFG<sup>※5</sup>と呼ばれるフレーム間隔時間だけ継続するとデータ送信を開始できます。

#### ● MA(多重アクセス)

伝送路が空いていることを確認すると、ネットワーク上のどのホストも送信を開始することができます。すべてのホストに対して送信権利が平等に与えられていることを多重アクセス(Multiple Access: MA)といいます。

※4 【トーケンパッシング】token passing: トーケンと呼ばれる「送信権」を示すデータを利用した媒体アクセス制御方式。ネットワーク上にトーケンを循環させ、トーケンを保持するノードだけがデータを送信できる。これによって、複数のノードが同時にデータを送信しないように制御する

※5 【IFG】Interframe Gap: フレーム間隔時間。イーサネットでフレームを連続して伝送する場合に、最小限空けなければならない時間間隔のこと

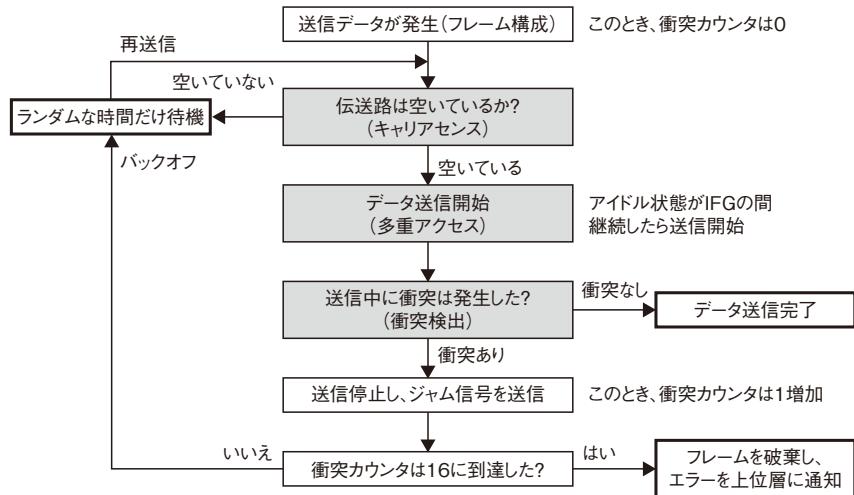
### ● CD(衝突検出)

2台以上のホストが同じタイミングでキャリアセンスを行ってデータを送信してしまうと、衝突(コリジョン)が発生します。衝突の発生を検出することを衝突検出(Collision Detection: CD)といいます。

ホストはデータ送信中に衝突を検出すると、送信するのを停止し、衝突が発生したことを見つけるために32ビット長のジャム信号を送信します。ジャム信号の送出が終わると、ホストはランダムな待ち時間を選択し、その待ち時間のあとで再送を試みます。

衝突によるこの処理をバックオフといいます。衝突を起こしたすべてのホストが待ち時間をランダムに選択することによって、再送信で再び衝突が起こる可能性は低くなります。再送信でも衝突が発生した場合は、バックオフを繰り返し、16回目のバックオフでフレームは破棄され、上位層にエラーが通知されます。

### 【CSMA/CD】



### ■ CSMA/CDの動作

初期のイーサネットである10BASE5や10BASE2は、一芯の同軸ケーブルに複数のホストを接続し、全ノードで帯域を共有する共有ネットワークです。

次の図のようなバス型トポロジにおけるCSMA/CDの通信手順を説明します。

#### ① キャリアセンスしてから、フレーム送信開始

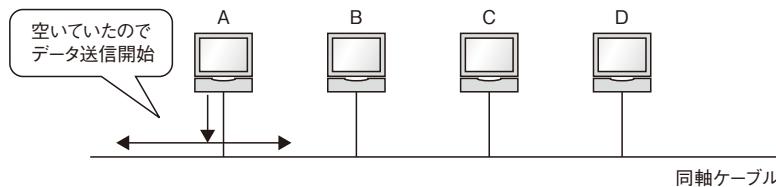
ホストAは、上位層からのデータをカプセル化してフレームを作成して送信データの準備を行うと、伝送路の空きを確認します(CS: キャリアセンス)。

伝送路が空いている(アイドル状態がIFGの間継続)と、フレームの送信を開始します。

### 【CSMA/CD(CS:キャリアセンス)】

Aはデータを送信したい！

- ①伝送路が空いているか確認(キャリアセンス)し、データを送信



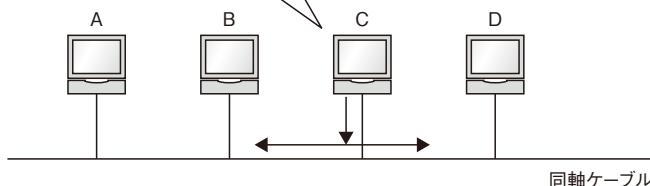
### ②多重アクセス

ホストCも、同じ瞬間にキャリアセンスを行ってアイドル状態が継続したために、データの送信を開始しました(MA:多重アクセス)。

### 【CSMA/CD(MA:多重アクセス)】

Cはデータを送信したい！

- ②伝送路が空いているか確認し、データを送信(多重アクセス)



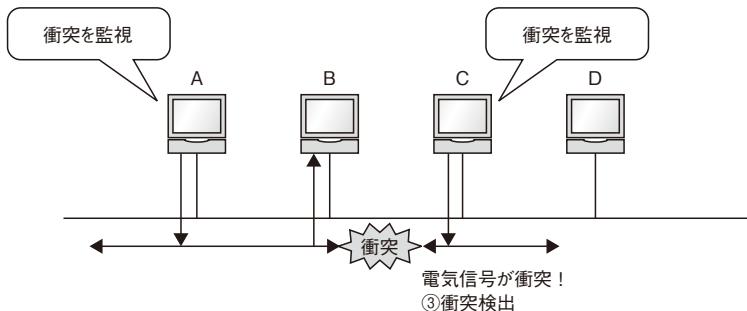
### ③衝突(コリジョン)の検出

ホストAとCは、データ送信中にケーブル上を監視しています。送信中に衝突を検出すると、送信するのを停止し、代わりにジャム信号を送信します(CD:衝突検出)。

なお、データが衝突するとケーブル上に異常な信号波形が発生します。各ホストは異常な信号波形を感知すると、ジャム信号を待つことなく衝突を検出することができますが、ジャム信号を送信することによって、衝突が発生したことすべてのホストに確実に伝えることができます。ジャム信号を受信した各ホストは、データの受信処理を中断してデータを破棄します。

ホストAとCは、ランダムな時間だけ待機してから再度データの送信を試みます(バックオフ)。待ち時間はランダムであるため、再送信で衝突が起こる確率は低くなります。なお、ネットワークに障害が発生しているような場合、バックオフを繰り返しても意味がないため、16回目にフレームは破棄されます。

### 【CSMA/CD(CD:衝突検出)】



試験対策

CSMA/CDの概要や動作をしっかり理解しておきましょう。

- ・媒体アクセス制御方式のひとつ
- ・半二重通信で使用(全二重の通信では不要)
- ・ケーブルが空いているか確認してから送信する
- ・コリジョンが発生したら、「ランダム時間」だけ待機(バックオフアルゴリズム)

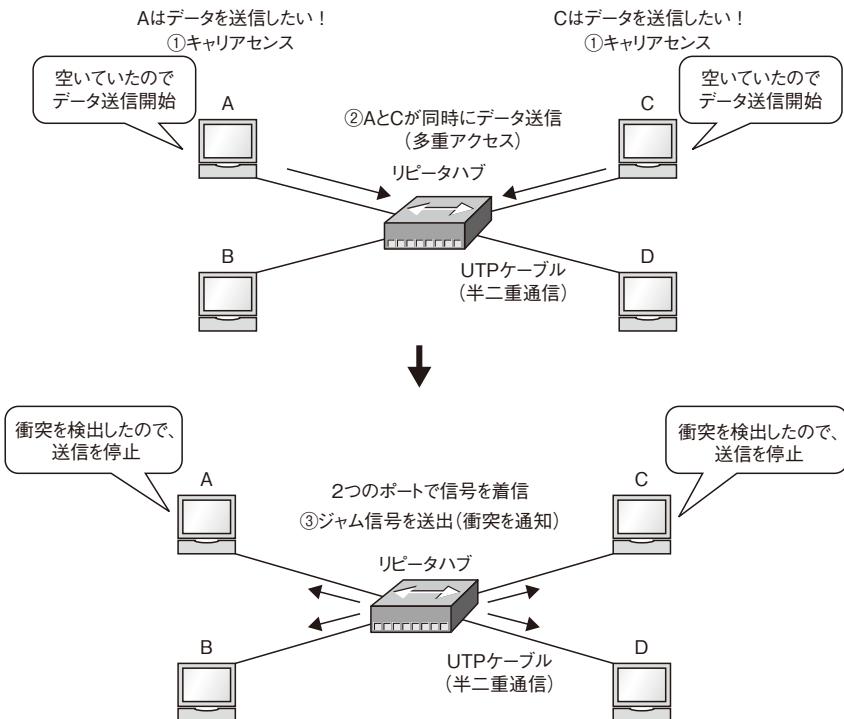
### ■ リピータハブを使用した10BASE-TにおけるCSMA/CD

10BASE5や10BASE2は、同軸ケーブルを共有して送信と受信を同時に行わない半二重\*の通信でした。後にUTPケーブルを用いてスター型の配線をする10BASE-Tが登場しました。

初期の10BASE-Tの実装では、リピータハブを用いて複数のホストをUTPケーブルで接続していました。UTPケーブル内では、送信用と受信用で物理的に異なるツイストペアケーブルを使用するため、信号同士が衝突することはありません。ただし、リピータハブは送信と受信が同時にできないため、複数のポートから同じタイミングで信号を受信してもそれを処理することができません。リピータによる10BASE-T(100BASE-TXも含む)のトポロジは、物理的にはスター型であり、論理的にはバス型になります。

リピータハブは信号の中継中に、別のホストから送信された信号が入ってきた場合、信号を破棄してジャム信号をすべてのポートから送出します。つまり、擬似的に衝突が発生したことにしてジャム信号を送信することで、リピータハブに接続されたホストも送信と受信を同時に行わないようにしています。

## 【リピータハブを使用したCSMA/CD】



ホストAとCは、リピータハブからのジャム信号を受信したことによって衝突を検出すると、データ送信を停止し、すべてのホストに確実に衝突を通知するためにジャム信号を送信します。その後、ランダムな時間だけ待機してデータの送信を再開します。



## スロット時間とキャリアエクステンション

CSMA/CDでは、すべてのホストが衝突を検出できなくてはなりません。したがって、ケーブルの端に接続されたホストがフレームを完全に送信し終わるまでに、最も離れたホストからの信号が到着する必要があります。

イーサネットフレームの最小サイズは64バイト(512ビット)です。この512ビット分のデータを送信するのにかかる時間をスロット時間と呼び、スロット時間がコリジョン検出の可能な限界時間といえます。なお、10Mbpsのスロット時間は51.2マイクロ秒、100Mbpsでは5.12マイクロ秒です。

ギガビットイーサネットでは、フレームにダミーのデータを付け足して512バイト(4,096ビット)まで大きくすることで、擬似的にCSMA/CDを実現しています。この機能をキャリアエクステンションといいます。

## ■全二重のイーサネット

CSMA/CDによって、コリジョン制御をしながら共有ネットワークで通信することができます。しかし、ホストの台数が増えてネットワークのトラフィック量が多くなると、衝突の発生率が増し、再送信を行っても衝突する可能性は高くなってしまいます。この問題を回避するのが全二重通信\*です。

参照→全二重通信→80ページ

全二重の通信では、UTPケーブルの複数のツイストペアを利用して、送信と受信を同時にいます。ただし、全二重で通信するには集線装置にスイッチングハブを用いて配線する必要があります。

今日のイーサネットLANはスイッチングハブの普及と全二重通信の採用によって、複数のホストで帯域を共有する共有ネットワークではないため、媒体アクセス制御(CSMA/CD)は必要ありません。10ギガビットイーサネットは全二重モードのみの仕様であるため、CSMA/CDは使用されませんが、イーサネットの仕組みを理解するために、CSMA/CDを知ることは重要です。

参照→スイッチングハブの詳細→72ページ



## 全二重通信の特徴

### 試験対策

- ・送信と受信を同時にできる→コリジョンは発生しない(CSMA/CD不要)
- ・ツイストペアケーブルで2つのノード間を1対1(ポイントツーポイント)接続する
- ・集線装置はスイッチを使用(ハブを使うと半二重になる)
- ・半二重よりもスループットが高い



## フレームの受信手順

各ホスト(NIC)は、伝送媒体上の信号を検知すると次の手順で受信処理を行います。

### ① フレームの構成

受信した信号からフレームに加工します。

### ② フレームサイズを確認

受信したフレームが最小サイズ(64バイト)以上かどうかを確認します。フレームサイズが63バイト以下の小さなフレームをラントフレーム(runt frame)といい、ホストはラントフレームをコリジョンフレームと判断して破棄します。

### ③ フレームの宛先を確認

受信したフレームが自分宛かどうかを確認し、自分に関係がないと判断したフレームを破棄します。ホストは、フレームの宛先アドレスが自身のMACアドレスと一致するとき、またはブロードキャストアドレス(自身を含むマルチキャストアドレス)の場合、自分宛と判断してフレームを受信します。

### ④ フレームの正当性を確認

受信したフレームの正当性を確認し、正常なフレームを上位層に渡します。ホストは、次のような場合にフレームが不正であると判断し、フレームを破棄してエラーを上位層に通知します。

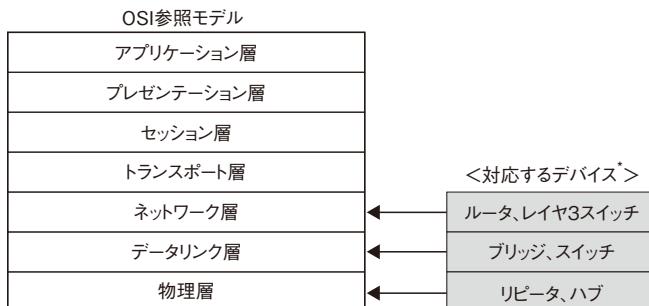
- ・最大フレームサイズ(1,518バイト)を超えている場合

- ・受信したFCS内のCRC値と、受信フレームを基に計算したCRC値が一致しない場合

## 2-3 ネットワーク機器

ネットワーク機器は OSI 参照モデルの階層に従って、エンドユーザ間のデータを中継します。各ネットワーク機器がどの階層に位置づけられるかを確認し、それぞれのネットワーク機器の機能を理解しましょう。

### 【ネットワーク機器の位置付け】

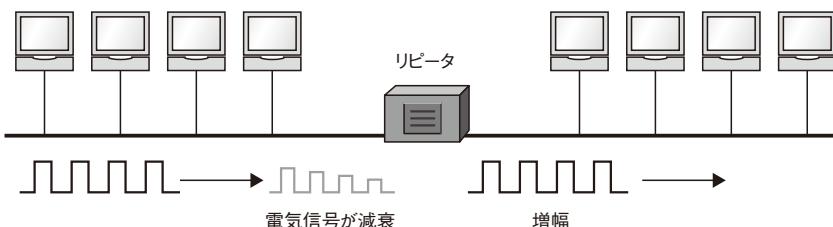


### ■ リピータ、ハブ

リピータおよびハブは、フレームを単なる電気信号として扱う物理層で動作するデバイスです。通信の距離が長くなると、伝送途中にノイズや減衰の影響で電気信号の波形が歪んでしまいます。歪みがひどくなると、受信側で解釈できずに正しいビット列に戻せないことがあります。リピータは、電気信号を増幅し波形を再生して中継を行います。

リピータは、初期のイーサネット(10BASE5/10BASE2)において、最大ケーブル長を延長してネットワークを拡張(あるいは分岐)する目的で使われていた信号増幅装置です。

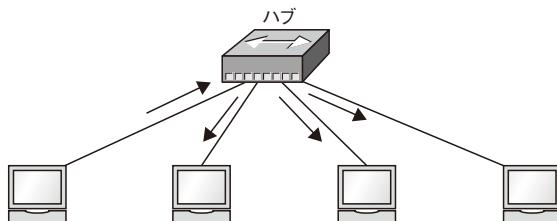
### 【リピータ】



ハブは、リピータの機能を持つ集線装置であり、他のタイプのハブと区別するためにリピータハブとも呼ばれています。ハブは複数のポートを持ち、あるポートで受信した電気信号を増幅して波形を再生し、受信ポートを除くすべてのポートに信号を中継します。

◎シスコではリピータハブをハブと呼んでいるため、本書でもこれ以降はハブという語を用います。

### 【ハブ】



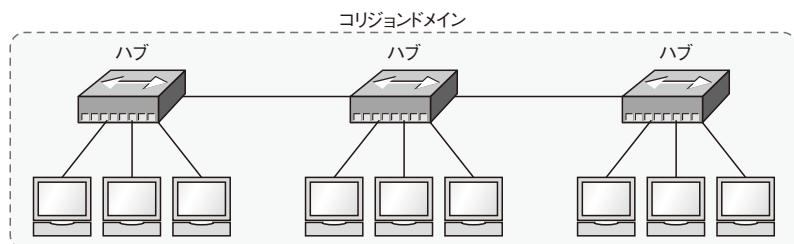
- ・L3デバイス(ネットワーク層) ……ルータ、レイヤ3スイッチ
- ・L2デバイス(データリンク層) ……スイッチ、ブリッジ
- ・L1デバイス(物理層) ……ハブ、リピータ

試験対策

### ● コリジョンドメイン

イーサネットのネットワークにおいて、電気信号の衝突が伝わる範囲のことをコリジョンドメイン(またはセグメント)と呼んでいます。リピータを用いてバス型ネットワークを拡張したり、ハブをカスケード接続したりすると、コリジョンドメインの範囲は拡大します。1つのコリジョンドメインに多数のホストが接続されると、衝突が頻繁に発生して再送信の可能性が高くなり、結果的にネットワークのパフォーマンスが低下します。

### 【コリジョンドメイン】





## カスケード接続

接続するポートの数が不足した場合、ハブを相互にカスケード接続(多段接続)することによってネットワークを拡張することができます。ただし、CSMA/CDのスロット時間の制約があるため、カスケード接続の段数は10BASE-Tでは4段まで、100BASE-TXでは2段までに制限されています。

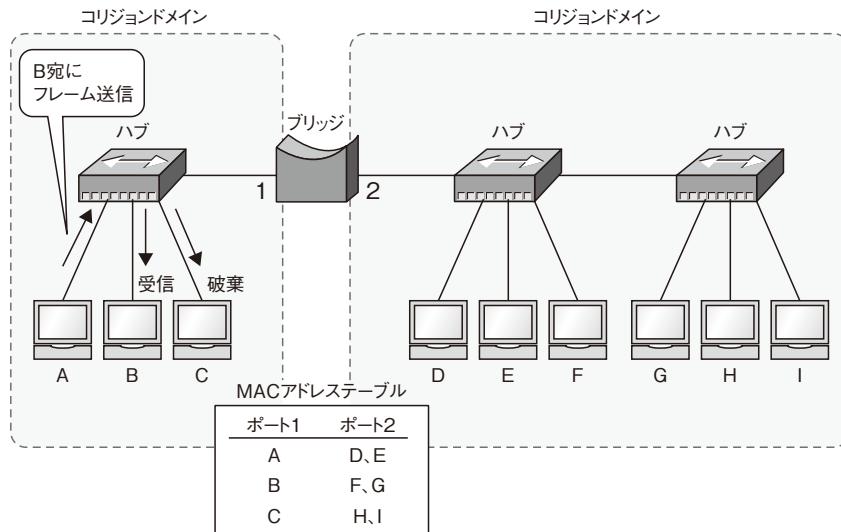
## ■ ブリッジ、スイッチ

ブリッジおよびスイッチは、MACアドレスを使用してフレームの中継を行うデータリンク層で動作するデバイスです。

ブリッジは、ネットワークを拡張してコリジョンドメインが拡大したとき、ネットワークのパフォーマンスが低下する問題を解決するために、スイッチよりも先に登場しました。

ブリッジはフレームヘッダに含まれるMACアドレスを基に、あるセグメントから別のセグメントへのフレームの中継や、別のセグメントにフレームが送信されるのをフィルタリング(選択遮断)することができます。フレームのフィルタリングはMACアドレステーブルを使って次のように行われます。

### 【ブリッジ】



この図が示すように、ブリッジはMACアドレステーブルにMACアドレスに対応するポート情報を保持しています。このとき、ホストAがB宛にフレームを送信したと考えます。

ブリッジは1番ポートでフレームを受信すると、宛先MACアドレスを基にMACアドレステーブルを検索し、宛先Bが受信ポートと同じポートであるためフレームを破棄します。つまり、送信元(A)と宛先(B)が同じコリジョンドメイン(セグメント)に接続されているため、フレームを中継する必要はないと判断したのです。

なお、1番ポートで受信したフレームの宛先MACアドレスが別のポートでMACアドレステーブルに学習されていた場合、ブリッジはフレームを中継します。

このようにして、ブリッジは不要なフレームの中継を抑制することができ、ホスト(ノード)数の増加に伴って増大するコリジョンを減少させます。

ブリッジは当初、2つのポートを持つ装置として登場しました。ブリッジ(橋)という名前が示すとおり、2つのセグメントを相互に接続して橋渡しを行います。

スイッチは複数のポートを持ち、たくさんのセグメントを相互に接続する集線装置であり、スイッチングハブまたはレイヤ2スイッチ(L2スイッチ)とも呼ばれています。

### ● ブリッジとスイッチの違い

スイッチもブリッジと同様にMACアドレステーブルを持ち、コリジョンドメインの分割とセグメント間のフレームの中継およびフィルタリングを行います。ブリッジとスイッチの基本原理は同じですが、スイッチとブリッジにはいくつかの違いがあります。元々の違いは「スイッチはマルチポート(3個以上のポートを持つ)であり、どのポートにフレームを中継するかまで判断する」ということです。

2ポートのブリッジは、フレームの宛先MACアドレスが送信元と同じセグメントかそうでないかを判断し、必要に応じてセグメント間の中継を行います。

スイッチは、MACアドレステーブルを基に各ポートに接続されているホストを識別し、適切なポートを選んでフレームを転送します。また、スイッチではフレームの中継を高速化するために、ASIC\*と呼ばれるスイッチング処理専用のICチップを搭載しています。

現在、LANの構築ではスイッチが利用されています。

**参照** → スイッチの詳細→「2-4 レイヤ2スイッチング」(77ページ)

### 【ブリッジとスイッチの比較】



|        | ブリッジ         | スイッチ            |
|--------|--------------|-----------------|
| フレーム処理 | 中継か抑制かを判断*   | マルチポート(転送先まで識別) |
| 転送速度   | 低速(ソフトウェア処理) | 高速(ハードウェア処理)    |
| ポート密度  | 低い(ポート数少ない)  | 高い(ポート数多い)      |

\*マルチポートのブリッジにはスイッチ同様の転送機能がある



プリッジとスイッチは、どちらもデータリンク層デバイスです。  
違いをしっかり理解しておきましょう。

## ■ ルータ、レイヤ3スイッチ

ルータは、IPアドレスなどの論理アドレスを使用して効率的にパケットを中継するネットワーク層で動作するデバイスです。

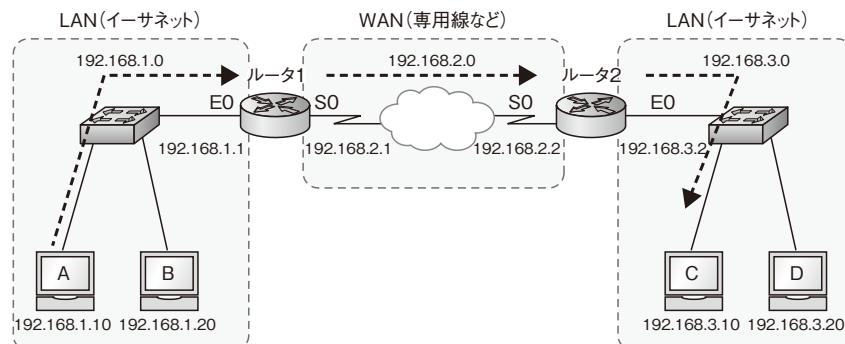
ルータはパケットを受信すると、パケットのヘッダに含まれる宛先アドレスを基に、ルーティングテーブルを参照し、最適経路を選択してパケットを転送します。この処理をルーティングといいます。

ルータの基本的な機能は、次のとおりです。

- ・複数の経路から最適経路を選択し、パケットを効率的に転送する(ルーティング)
- ・異なるネットワークを相互に接続する
- ・ブロードキャストドメインを分割する

ルータは、イーサネット、シリアル、ATM、ISDN BRI/PRIなど豊富なインターフェイスを利用して、さまざまな物理層とデータリンク層のプロトコルのネットワークを相互に接続することができます。

### 【ルータ】



ルータ1のルーティングテーブル

| ネットワーク      | インターフェイス |
|-------------|----------|
| 192.168.1.0 | E0       |
| 192.168.2.0 | S0       |
| 192.168.3.0 | S0       |

ルータ2のルーティングテーブル

| ネットワーク      | インターフェイス |
|-------------|----------|
| 192.168.1.0 | S0       |
| 192.168.2.0 | S0       |
| 192.168.3.0 | E0       |

前ページの図が示すように、ルータはルーティングテーブルに、ネットワークに対応する経路情報を保持しています。このとき、ホストAがC宛にパケットを送信したと考えます。

ルータ1はE0インターフェイスでパケットを受信すると、宛先IPアドレスを基にルーティングテーブルを参照し、次の転送先を192.168.2.2(ルータ2のS0)であると決定し、パケットをS0インターフェイスから送出します。

ルータ2も同様にS0インターフェイスでパケットを受信すると、ルーティングテーブルを参照して次の転送先を決定し、パケットをE0インターフェイスから送出します。これによって、パケットは宛先Cに到着します。

**参照** → ルータの詳細→「第8章 ルーティングの基礎」(297ページ)

**レイヤ3スイッチ(L3スイッチ)**は、レイヤ2スイッチの機能とレイヤ3のルーティング機能を1つの筐体で高速に実現するネットワーク機器です。多くのレイヤ3スイッチはOSI参照モデルの複数層で動作するため、マルチレイヤスイッチとも呼ばれています。

### ● ルータとレイヤ3スイッチの違い

ルータはソフトウェア的にルーティング処理を行うのに対して、レイヤ3スイッチはレイヤ2スイッチと同様にASICを使用したハードウェアによる高速なルーティング処理が可能です。

レイヤ3スイッチはイーサネットスイッチの拡張であり、イーサネットのポートのみを備えていますが、ルータはイーサネットのほかに、シリアルインターフェイスなどさまざまなWANサービスを接続できるインターフェイスと機能を備えています。また、ルータのインターフェイスに比べると、スイッチのイーサネットポートの単価は安くあります。

#### 【ルータとレイヤ3スイッチの比較】

|          | ルータ           | レイヤ3スイッチ     |
|----------|---------------|--------------|
| 転送速度     | 低速(ソフトウェア処理)  | 高速(ハードウェア処理) |
| インターフェイス | イーサネット、シリアルなど | イーサネット       |
| ポート単価    | 高い            | 安い           |

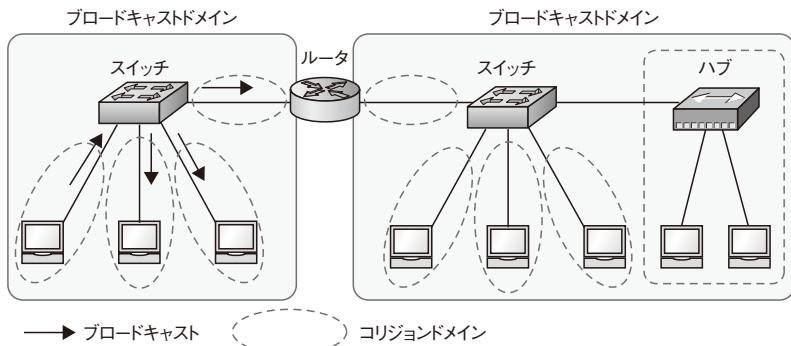
現在は、ルータにも高速転送技術を採用した製品が増えており、また、レイヤ3スイッチも多機能化されているため、両者の明確な違いは少なくなっています。一般的に企業内のLANの構築にはレイヤ3スイッチを使用し、WANやインターネットなど外部ネットワークとの接続にルータが使用されています。

### ● ブロードキャストドメイン

イーサネットなどのネットワークにおいて、ブロードキャストのフレームが届く範囲をブロードキャストドメインと呼びます。ハブやスイッチ(およびブリッジ)はブロード

キャストのフレームを中継しますが、ルータはブロードキャストをほかのインターフェイスへ転送しません。このため、ルータはポート単位でブロードキャストドメインを分割します。

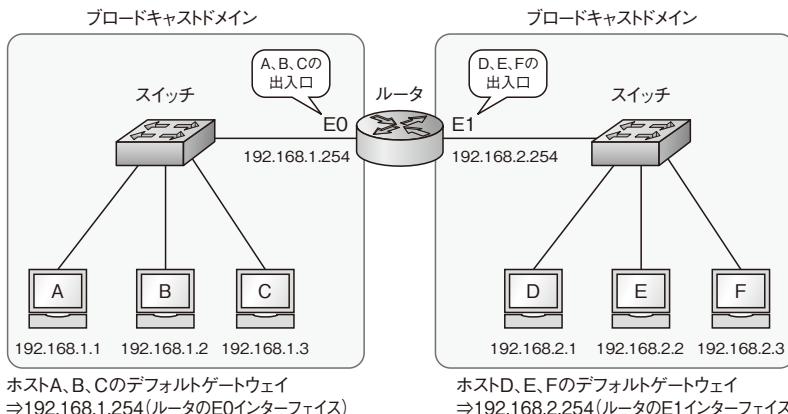
### 【ブロードキャストドメイン】



### ■ デフォルトゲートウェイ

通信相手が別のネットワークにいる場合、パケットはルータに転送してもらう必要があります。ルータは異なるネットワークへの「出入口」となり、これを**デフォルトゲートウェイ**といいます。各ホスト(ホスト)は、デフォルトゲートウェイのアドレスを設定しておかなければ、外部のネットワークと通信することはできません。デフォルトゲートウェイは、自身のブロードキャストドメインに接続されたルータのインターフェイスを指定します。

### 【デフォルトゲートウェイ】



## ■ ネットワーク機器のまとめ

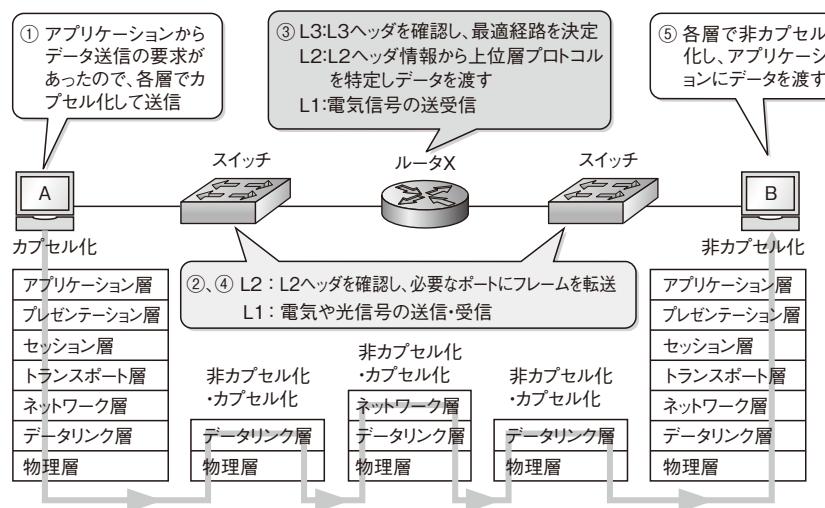
各ネットワーク機器の特徴と、ホスト間の通信におけるOSI参照モデルの関係を示します。

### 【ネットワーク機器のまとめ】

| 階層 | ネットワーク機器         | 特徴                          | コリジョン<br>ドメインの分割 | ブロードキャスト<br>ドメインの分割 |
|----|------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|
| L3 | ルータ／<br>レイヤ3スイッチ | IPアドレスを基に最適経路を選択してパケットを転送する | ○                | ○                   |
| L2 | スイッチ／<br>ブリッジ    | MACアドレスを基にフレームを転送する         | ○                | ×*                  |
| L1 | ハブ／<br>リピーター     | 電気信号を増幅して中継する               | ×                | ×                   |

\* スイッチのVLAN機能によって分割可能

### 【ホスト間通信におけるOSI参照モデルの関係】



## 2-4 レイヤ2スイッチング

レイヤ2スイッチングとは、データリンク層でフレームを効率的に転送するためのスイッチングテクノロジーです。この節では、レイヤ2スイッチの基本機能とその動作について説明します。

### ■ スイッチの基本機能

レイヤ2スイッチには、次のような機能があります。

- ・MACアドレスの学習
- ・フィルタリング
- ・全二重通信
- ・マイクロセグメンテーション

### ■ MACアドレスの学習

スイッチは、内部にMACアドレスとポートの対応表であるMACアドレステーブルを管理しています。このテーブルには、各ポートとその配下に接続されているホスト(ステーション)のMACアドレスが記録されています。MACアドレステーブルに記録されているホスト宛のフレームは、対応するポートにだけ転送するので、ほかのポートに接続されたホストに影響を与えません。なお、シスコではMACアドレステーブルのことをCAMテーブル\*(Content-Addressable Memory table)とも呼んでいます。

MACアドレステーブルの作成手段として、次の2種類の方法があります。

- ・動的(ダイナミック) ……スイッチが自動でMACアドレスを学習
- ・静的(スタティック) ……管理者が手動でMACアドレスを登録

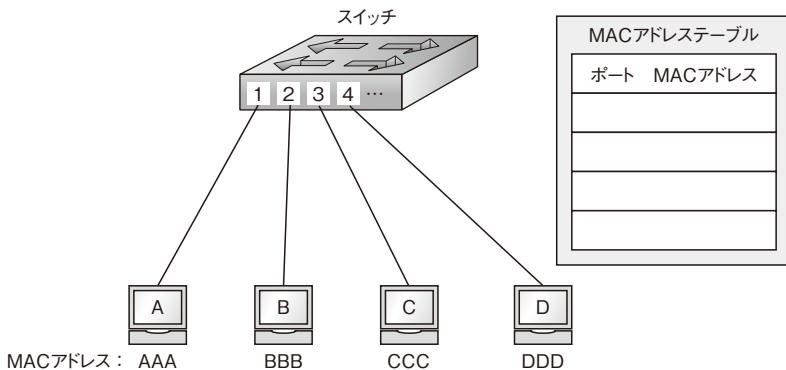
動的なMACアドレスの学習は、スイッチがフレームを受信するごとに送信元MACアドレスと受信ポート番号をMACアドレステーブルに登録していきます。

#### ● 動的なMACアドレス学習

##### ① スイッチ起動直後(MACアドレステーブルは未学習)

スイッチの電源を投入した時点では、MACアドレステーブルにはどのホストのMACアドレスも学習されていません。

## 【MACアドレスの学習①】

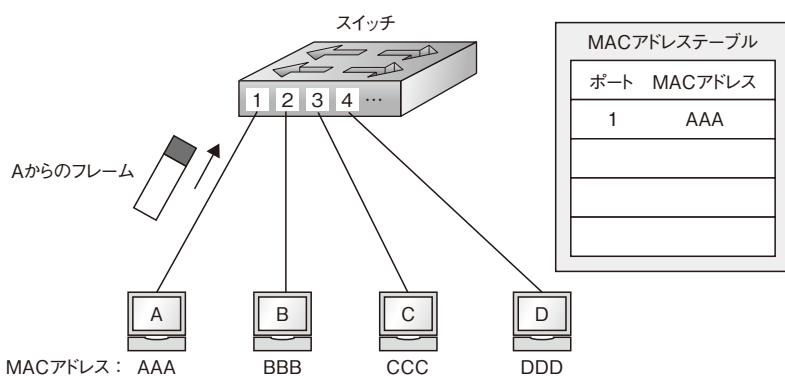


## ② MACアドレス学習

スイッチはフレームを受信すると、イーサネットヘッダ内にある送信元MACアドレスと受信したポートを関連付けてMACアドレステーブルに登録します。

次の図は、ホストAがフレームを送信したときのMACアドレステーブルを示しています。

## 【MACアドレスの学習②】



MACアドレステーブルに登録可能なアドレス数には限りがあり、その数はスイッチ製品によって異なります。動的に学習されたMACアドレスは、エージングタイムと呼ばれる時間だけ保持され、その間に通信がなければ、MACアドレステーブルから自動的に消去されます。なお、Catalystスイッチのエージングタイムはデフォルトで300秒(5分)です。