

『情報ネットワーク』演習問題の解答

第1章

問1.1

1周期の時間に進む距離を計算する.

$$T = 1/f = 1 / (10 \times 10^9) = 0.1 \times 10^{-9}$$

$$30 \times 10^4 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-9} = 0.03 \text{ [m]}$$

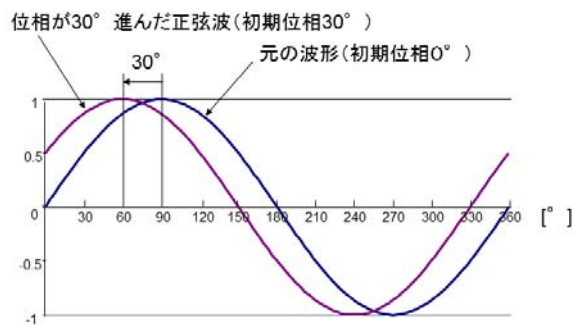
問1.2

1周期は 360° なので,

$$30^\circ \text{ ぶんの周期} = 30 / 360 \text{ 周期} = 1 / 12 \text{ 周期}$$

(位相が進んでいるぶんだけ, 左に平行移動したものになる)

問1.2 位相が 30° 進んだ正弦波



30° は, $1/12$ 周期に相当する
位相が進んだぶん, 元の波形よりも左にシフトした波形になる

問1.3

8ビット: 2進数で 00000000 から 11111111 まで.

11111111 を 10進数に変換

$$11111111 = 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

$$= 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 255$$

($11111111 = 100000000 - 1 = 2^8 - 1 = 256 - 1 = 255$ と考えても良い)

従って 10進数で表すと, 0 から 255 まで.

問 1.4

2 進数 : 11111111

10 進数 : $15 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 255$

問 1.5

16 進数の「45」を 7 ビットの 2 進数（上位 3 ビット，下位 4 ビット）で表すと，

1000101

このビット列の「1」の数は，3 個（奇数）である。「1」の数を偶数にするために，最上位のパリティビットを「1」にして付加する（「1」の数が 4 個になる）。

11000101.

通常は，低位ビットから送信されるので，受信ビット列が，

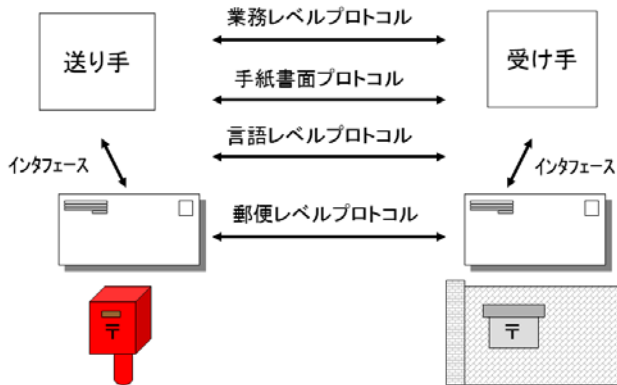
10100011

であれば，正しく受信されたことになる。

第2章

問2.1

問2.1 手紙による業務連絡プロトコルの例



- ① 相手に手紙を送るための郵便レベルプロトコルが必要である。宛名を書き，切手を貼ってポストに投函するという郵便で決められた規則に従う。
- ② 電話の場合と同様に，手紙を書く言語レベルのプロトコルが必要である。
- ③ 手紙書面のプロトコルとして，相手の名前や肩書き，手紙を書いた日付，差出人の名前，会社名や部署名など，必要な情報を記載する。必要に応じて，挨拶などを記述する。
- ④ 最後に，実際の業務で使用する専門用語や知識を背景としたプロトコルがある。

問2.2

データを届ける以外に，通信の開始要求とその応答，状態の問合せと応答が必要である。また，データの送信要求とデータ送信および誤り検出，送達確認，再送などが必要である。

問 2.3

データリンク層 (下記スライド参照)

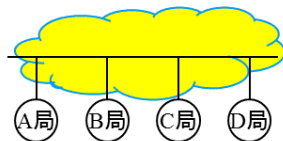
問2.3 データリンク層

ネットワークの例

point to point型



バス型



隣接ノード間^(注1)でフレームを伝送するためのプロトコルを規定

- ・フレーム同期: フレームの作成と境界の認識
- ・アクセス手順: 信号の衝突検出、データリンクの確立・解放等
- ・データリンクアドレス^(注2): データリンク内での装置識別番号 (アドレスが一致するフレームを取り込み、不一致なら廃棄)
- ・誤り検出: 伝送誤りを検出して廃棄
- ・誤り回復^(注3): 届かなかったフレームの再送
- ・フロー制御^(注3): 送信側と受信側のデータ転送量の調整

注1: 同じリンクに接続されたノードを隣接ノードという

注2: イーサネットではMACアドレスが用いられる

(装置製造時に付与されるので物理アドレスとも呼ばれる)

注3: 送達確認や制御フレームを使って実現。伝送品質と装置の性能が向上したため、イーサネットでは、誤り回復、フロー制御は行わない(必要なら上位のプロトコルで行う)。

重要プロトコル

イーサネット^(注)、HDLC手順、ベーシック手順

注: イーサネットのプロトコルは物理層を含む

問 2.4

ネットワーク層 (下記スライド参照)

問2.4 ネットワーク層

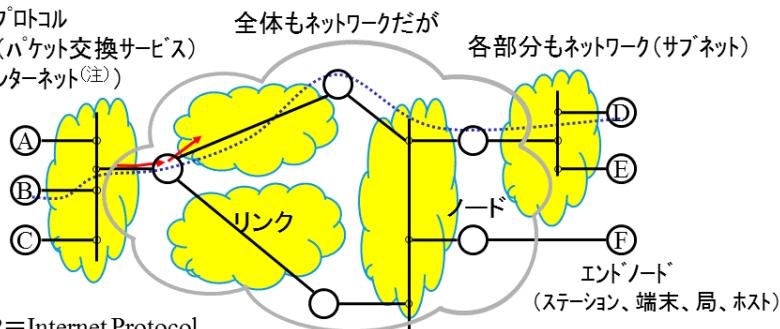
エンドノード間でパケットを転送するためのプロトコルを規定

- ・ネットワークアドレス: ネットワーク全体でのノードの識別(ネットワークの構成を反映して付与) 製造時に付与される物理アドレスと対比し、論理アドレスとも呼ばれる 例: 電話番号(局番+端末番号)、IPアドレス(ネットワーク部+ホスト部)
- ・ルーティング: 直接接続されていないノードに届けるための経路を選び、転送する
- ・中継(インターネットワーキング): 複数のデータリンク(サブネット)にまたがってデータの中継
- ・バーチャルチャネル方式(通信チャネルを設定する)とデータグラム方式(設定しない)

重要プロトコル

X.25(パケット交換サービス)

IP(インターネット^(注))



注: IP=Internet Protocol

問 2.5

トランスポート層 (下記スライド参照)

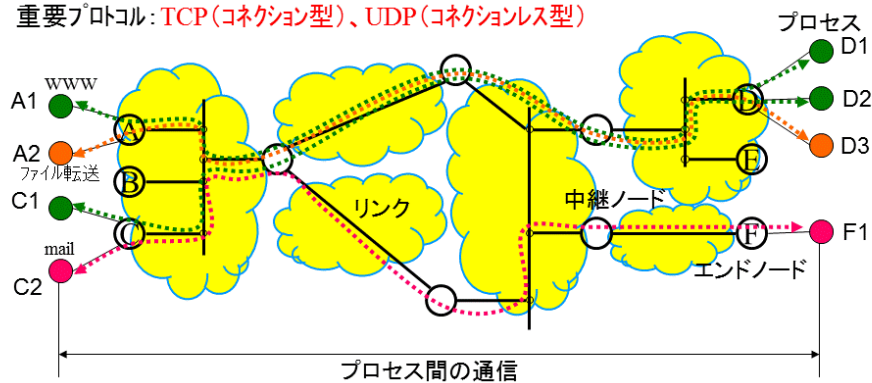
問2.5 トランスポート層

エンドプロセス間^(注1)でデータを交換するためのプロトコルを規定

- ・多重化: 複数のプロセス間通信を可能とする(相手プロセスを識別)
- ・コネクション型: プロセス間にコネクションを設定し、信頼性の高い通信路を提供
(再送による誤り回復、フロー制御、を行う)
- ・コネクションレス型: 上記を行わない(プロセスの識別のみ)

注1: エンドノード内のプロセス(アプリケーションプロセス)。プロセス=実行中のプログラム

重要プロトコル: TCP(コネクション型)、UDP(コネクションレス型)



第3章

問3.1

定義より, $10 \times 1 \text{ [ns]} = 10 \times 10^{-9} \text{ [s]} = 10^{-8} \text{ [s]}$

問3.2

定義より, $400 \text{ [Mbit/s]} = 4 \times 10^2 \times 10^6 = 4 \times 10^8 \text{ [bit/s]}$

問3.3

1秒間に進む距離は $30 \text{ 万 [km/s]} = 3.0 \times 10^8 \text{ [m/s]}$

1m進むのに要する時間は $1 \text{ [m]} / (3.0 \times 10^8 \text{ [m/s]}) = 3.3 \times 10^{-9} \text{ [s]} = 3.3 \text{ [ns]}$

問3.4

$1 \text{ [kbit]} / 1 \text{ [ms]} = 1 \times 10^3 / 10^{-3} \text{ [bit/s]} = 1 \text{ [Mbit/s]}$

問3.5

$8 \text{ [bit]} / 125 \text{ [}\mu\text{s]} = 8 \times 8 \times 10^3 \text{ [bit/s]} = 64 \text{ [kbit/s]}$

問3.6

(3.1) 式の定義により, $\text{BER} = 2 \div (2 \times 10^6) = 10^{-6}$

従って, この伝送路は, BER が 10^{-6} の伝送品質を持つ.

問3.7

アナログ回線の S/N 比は 30dB (デシベル) である. 従って, $S/N = 10^3$,

シャノンの法則に基づく情報伝送速度の上限値 C は, $C = W \log_2(1 + S/N)$ で求められるの

で, 当該の S/N 比を持つ電話回線で伝送できる情報伝送速度の上限値 C は,

$C \text{ [Mb/s]} = 2 \log_2(1 + 10^3) \text{ [Mb/s]} \doteq 20 \text{ [Mb/s]}$

第 4 章

問 4.1

利点は以下の通り。

- ① タイムスロットの概念がなくパケット単位で情報を転送するため、他のパケット通信と効率よく中継回線を共有できる。
- ② 統計多重効果により中継回線の利用効率を高められるため、ネットワーク内の回線数の削減が可能となり、回線コストを経済化できる。
- ③ パケット交換ノードでの蓄積機能により、速度変換やプロトコル変換等を容易に実行可能である。
- ④ 中継回線の帯域が空いている場合は、パケット端末の送信速度とは独立に、中継線上で高速パケット転送が可能である。

欠点は以下の通り。

- ⑤ コネクションレス通信の場合、ベストエフォート型通信しか実施できない。
- ⑥ 交換ノード内のバッファでは、確率的に、出側回線への出力待ちが発生するため、エンド・エンドでの遅延時間が保証できず、一般的には長い。
- ⑦ 他端末の送信トラフィック量に応じ、通信に影響を受ける場合（パケット紛失、順序逆転）が生じ、ネットワーク内またはエンド・エンド間で再送制御が必要となる。

問 4.2

IPv4 の場合の IP アドレスの構成は、ネットワーク番号とノード（ホスト）番号の境界は、上位 8 ビット・16 ビット・24 ビットで分けられ、それぞれをクラス A, B, C と呼ぶ。

原理的には、クラス A では 2^{24} = 約 1,600 万台、クラス B では 2^{16} = 約 65,000 台、クラス C では 2^8 = 約 250 台の端末ホストの接続が可能である。また IPv4 ではマルチキャスト用にはクラス D が割り当てられる。

一方、ネットワーク管理者は、任意に境界を移動するサブネットマスクの設定により、汎用性が高く柔軟な設計が可能である。インターネットでは、世界的な管理の元で重複のないアドレスとして“グローバルアドレス”があり、また、内部のみで独自運用できるアドレスとして“プライベートアドレス”がある。プライベートアドレスとしては、クラス A 用として、10.0.0.0~10.255.255.255 が、クラス B 用として 172.16.0.0~172.31.255.255, クラス C 用として、192.168.0.0~192.168.255.255 が IANA によって、規定されている。192.64.127.32 は 2 進表記では、11000000.01000000.01111111.00100000 となり、クラス C に属する。

問 4.3

B. 255.255.224.0 が正解

理由：192.168.1.0/24 は C クラスであり，サブネット分割の対象となるのは最下位の 8 ビットである．上位 24 ビットはもともとネットワークアドレスである．最下位の 8 ビットのうち，上位の 3 ビットをサブネット用に活用すればよい．

問 4.4

D. 255.255.252.0 が正解

理由：クラス B はもともと，上位 16 ビットはネットワークアドレスであるため，下位 16 ビットのサブネットマスク化を考える．ここで，55 以上のサブネットを作るためには 3 バイト目の中で，上位を 6 bit 確保する必要 ($2^6 > 55$) がある．

$2^{10} > 600$ に留意し，600 個のホスト用の ID を確保するためには，3 バイト目の下位 2 ビットをホスト用に割り当てれば十分である（4 バイト目の 8 ビットと合わせると合計で 10 ビット確保できる）ことが分る．

問 4.5

A. 255.255.255.252 が正解

理由：クラス A はもともと，上位 8 ビットはネットワークアドレスであるため，それより下位の 24 ビットのサブネットマスク化を考える．最下位バイトの構成を 11111100 (=252) とすれば，各サブネット（合計で 2^{22} 個 \approx 400 万個）あたりのホスト台数を 2 台に設定できる．

第 5 章

問 5.1

よりつい（撚り対）線，同軸ケーブル，光ファイバが該当する。

問 5.2

3R の機能要件は以下の 3 つである。

1 つめの R はリシェーピング（Reshaping）で，受信パルス波形を整形すると共に増幅する機能である。2 つめの R はリタイミング（retiming）で，受信パルス符号列からタイミングパルスを抽出し，識別再生回路に供給する機能である。3 つめの R は識別再生（リジェネレーティング：regenerating）で，等化増幅後の波形に対し，その値が閾値レベル以上の場合に，新しいパルスを発生させて送出する機能である。この 3 つの R の機能をまとめて 3R 機能と呼ぶ。

問 5.3

a : SS, b : PDS, c : 2, d : ダブルスター, e : PON

問 5.4

電気信号を光ファイバ上で伝送する場合，一旦，光信号に変換する必要があり，このために半導体で構成されるレーザダイオード(LD)や LED が用いられる。光ファイバの受信端には，アバランシェ・フォトダイオード(APD)または pin フォトダイオード(pin-PD)などの受光素子を用いて，光信号を電気信号に変換する必要がある。

問 5.5

携帯電話の公衆無線通信で最も良く使用される周波数帯は，UHF 帯（300MHz～3GHz）である。

第 6 章

問 6.1

- ① 安定したデジタル通信を実現する公衆ネットワーク技術の成熟.
- ② 異なるネットワーク間を相互接続するためのルータ技術の成熟.
- ③ インターネット常時接続を可能とする ISDN, ADSL, 無線アクセスや FTTH 等の光アクセス系技術の経済的実現.

問 6.2

- ① ネットワークの輻輳時に、最適なトラフィック負荷の分散が困難.
- ② 個人のプライバシーの保護やセキュリティ対策が不十分.
- ③ DOS 攻撃など、悪意のあるユーザの追跡機能の対策が不十分.
- ④ 様々なマルチメディアトラフィックに対して品質を保障することが困難.
- ⑤ リアルタイム性の保障を要求する通信トラフィックに対しする対応が困難.
- ⑥ ライフラインとしてのサービス品質を保証する取り組みが欠如.

問 6.3

NTT の公衆電話網は、長距離伝送路の有効活用を最大限に行うため、アナログ時代は 4 階層構成で構築された。その後、公衆網のデジタル化による伝送システムおよび交換ノードの経済化の実現性が明確になり、ネットワーク制御の効率性を重視し、現在は ZC と GC を基本とする 2 階層で構成されている。

問 6.4

通信網をデジタル化する目的は、

- ① ネットワークの通信品質の向上,
- ② デジタル信号で統一化を図ることにより、通信サービスの多様性への対応
- ③ ユーザからみたサービスの利用料金の低額化,
- ④ LSI の開発による製造コストの低減化およびネットワーク経済化（装置小型化）

第7章

問7.1

アナログ回線の S/N 比は 3dB (デシベル) である. これは $S/N \doteq 2$ と考えて良い. シャノンの法則に基づく情報伝送速度の上限値 C は, $C=W \log_2(1+S/N)$ で求められるため, 当該 S/N 比を持つ電話回線で伝送可能となる情報伝送速度の上限値 C は,
 $C [\text{Mb/s}] = 4 \log_2(1+2) [\text{Mb/s}] \doteq 6 [\text{Mb/s}]$

問7.2

S/N 比が 30dB である場合は, $10 \log_{10}(S/N) = 30$, よって, $S/N = 1000 \doteq 2^{10}$ であることに, 留意する. この電話回線で伝送可能となる情報伝送速度の上限値 C は,
 $C [\text{Mb/s}] = 4 \log_2(1+S/N) [\text{Mb/s}] \doteq 40 [\text{Mb/s}]$

問7.3

S/N 比が 20dB である場合は, $10 \log_{10}(S/N) = 20$, よって, $S/N = 100$ であることに留意する. 通信容量 C [b/s] は, シャノンの法則により次式で概算できる.
 $C [\text{b/s}] = 4\text{k} \times \log_2(1+100) [\text{b/s}] = 4\text{k} \times \log_2(101) [\text{b/s}] \doteq 26.6 \text{ k} [\text{b/s}]$

問7.4

$S [\text{b/s}] = 1600 \times 3 [\text{b/s}] = 4800 [\text{b/s}] = 4.8 \text{ k} [\text{b/s}]$

問7.5

変調速度 $B = 1 / ((5 / 12) \times 10^{-3}) = 2400$ [ボー:Baud],
データ伝送速度 $S [\text{b/s}] = B \log_2 16 [\text{b/s}] = 2400 \times 4 [\text{b/s}] = 9600 [\text{b/s}]$

問7.6

$125 \mu \text{ sec}$ の時間に 1 バイト情報が伝送されるので,
 $8 [\text{bit}] \times \{1 / (125 \times 10^{-6}) \text{ s}\} = 64 \text{ k} [\text{bit/s}]$ の情報伝送速度に対応する.
従って, ペイロード内の 1 バイトに当たる部分は $64 [\text{kb/s}]$ の伝送速度に該当する.

第 8 章

問 8.1

回線交換方式の特徴は以下の①, ②.

- ① 交換ノードは通話用チャンネルの中から 1 つの空きチャンネル(タイムスロット)を選択し, 通信中は時分割多重化伝送路上で, トランスペアレントな通信路を確保する方式 (コネクション型通信方式).
- ② 回線交換はノード内の遅延時間が短く, かつ一定, リアルタイム通信に対応可能.

回線交換方式の適用領域は以下の③~⑤.

- ③ 高品質音声や楽曲通信時に必要となるサービス品質の保証やビデオ等のストリームデータ転送に要求されるリアルタイム性を容易に実現可能.
- ④ 大容量データの一括的なデータ転送を容易に実現可能.
- ⑤ ライフラインとしての信頼性やセキュリティが要求される通信に適切.

回線交換方式の高速化に必要な技術は以下の⑥~⑧.

- ⑥ 伝送回線の高品質化および高速位相同期技術.
- ⑦ 高速周波数同期技術.
- ⑧ VLSI メモリを使用した高速メモリ回路技術.

問 8.2

パケット交換方式の特徴は以下の①~③.

- ① ユーザからのデータに宛先アドレスを付加し, 可変長のパケット形式で網内に一時蓄積した後, 相手先に配送する方式のため, タイムスロットの概念がない.
- ② 公衆パケット網 (X.25) やフレームリレー網では呼設定時に, コネクションを発着の交換機間で設定するコネクション型を採用し, 信頼性を確保しているが, インターネットにおいては, コネクションレス型の IP データグラムを用い, 送出パケット毎にルーティング処理を実施.
- ③ パケット多重化技術により, 中継伝送路の使用効率は, 回線交換方式と比べて大きく向上し, 伝送コストの低減化が可能.

パケット交換方式の適用領域は以下の④~⑥.

- ④ 通信誤りが発生し易い低品質の伝送路でも, 再送制御により品質の確保が可能.
- ⑤ 速度変換やプロトコル変換等の異速度端末間通信にも対応可能.
- ⑥ 網内の遅延時間の変動が発生するため, 非リアルタイム通信に適切.
(非同期データの送受信やバーストデータの発生時にリアルタイム性を必要としない通信サービスに有効)

パケット交換方式の高速化に必要な技術は以下の⑦～⑨.

- ⑦ 中継伝送回線の高速化.
- ⑧ 効率的な符号誤り制御技術.
- ⑨ 高速プロトコル処理技術およびプロセッサの高速化技術.

問 8.3

- ① PCM24 多重化方式は 1 フレームが $125 \mu\text{s}$ で構成されるため, 1 チャネル当たりのタイムスロット(8 ビット) の占める時間は $125[\mu\text{s}] / 24 = 5.2 [\mu\text{s}]$ である. 従って 200 本の多重化する場合には, 1 つのタイムスロットあたりに占める時間は $5.2 [\mu\text{s}] / 200 = 26 [\text{ns}]$ である.
- ② 時間スイッチ用バッファの動作サイクルタイムは, $26 [\text{nsec}] \div 2 = 13 [\text{nsec}]$.
- ③ t_1 と t_2 の交換, および t_3 と t_n の交換が実現できる.

問 8.4

パケット交換網がパケットデータを運ぶために必要となるリソースにはメモリ, プロセッサおよび伝送路がある. パケット長が増大すると伝送路への送出時間が増大し, メモリの保留時間や所要量も増加する.

一方, 送信データ量が一定と仮定すると, パケット交換処理に要するプロセッサコストはパケット数にほぼ比例して増えるため, パケット長を増大させて送出パケット数を減少させることによりプロセッサコストは削減できる.

一方, パケット長が長くなっても再送頻度が増えない条件が成立する範囲では, 同一の伝送制御手順のもとではパケットの転送効率は向上するため, パケット長の増大により一般的には伝送路コストの低減化が図れる. 以上からパケット交換における転送パケット長とコストとは最適な領域が存在することが裏付けられる.

問 8.5

コネクション型通信では通信の開始に先立って, エンド・エンドで必要となるネットワークリソースを確保することが前提である. 通信を終える際には, エンド・エンド間の全ての通信機器は, 確保していたリソースを解放する. このため, エンド・エンド間におけるギャランティー通信が可能となり, 品質保証型の通信が実現できる.

この方式は, デジタル電話, ISDN, NGN, FOMA 用の中継網 (ATM ネットワーク) サービスなどに活用されている. コネクション型通信は, 通信の安定性, 信頼性等を保証できる利点があるが, 一般的にネットワーク構築および運用コストは高くなる.

一方, コネクションレス型通信では, 通信の開始時に, ネットワークと相手端末のリソー

スを確認せずに情報の送受信を行うため、ネットワーク内で通信品質を保証することは困難となり、ベストエフォート的な通信のみを実現する。受信側の端末は、通信相手が信頼して良い相手かどうか分からないため、情報の中身に基づいて判断するしか手段がない。すなわち、ネットワーク側の処理負担は少なくなるが、その代わりに、ネットワークの構築コスト、運用コストは安くなり、サービス利用料金は安く設定することが可能となる。インターネットでコネクションレス型の通信が使用されるのはこのためである。

第9章

問9.1

スター型，バス型，リング型.

伝送路の形状，即ち，リンクの形によって，ノードがどのような形で接続されるか（トポロジー）が決まる.

問9.2

キャリアの検出によって，他のノードがフレームを送信しているかどうかを判定している. しかし，この判定を行っても完全には，衝突を回避できない.

他のノードから送信されたフレームの信号は，ノード間の距離に応じた伝播遅延を伴って到着する. この遅延時間の間は，キャリアが検出されないため，この間にフレームを送信してしまうと，衝突が発生する.

問9.3

グローバル IP アドレスは，全てのホストに重複なく割当てて必要があるため，インターネットに収容可能なホスト数には制限がある. 一方，プライベート IP アドレスは，ローカルネットワーク内（LAN 内）だけで使用するものであるため，他のローカルネットワークで用いられるアドレスと重複することが許される. そのため，ローカルネットワークに収容されるホスト数は，理想的には無制限となる.

但し，インターネットに収容されるホストや他のローカルネットワークに収容されるホストと通信するためには，NAT や NATP を用いてプライベート IP アドレスをグローバル IP アドレスに変換する必要がある. NAT では，インターネットで通信中のホスト数と同じ数だけのグローバル IP アドレスが必要である. また，NAPT では，ローカルネットワーク毎に最低 1 個のグローバル IP アドレスが必要である. そのため，アドレスの枯渇問題に対してはある程度の解決にしかない.

問9.4

IP アドレスの取得のために DHCPDISCOVER を送信する時点では，クライアントは，自身の IP アドレスと DHCP サーバの IP アドレスが分からない. この状態で IP パケットにカプセル化されたメッセージを DHCP サーバに届けるためには，ブロードキャストする以外に方法がない. このため，IP アドレスには，ブロードキャストアドレスを設定する必要がある. なお，IP のブロードキャストをイーサネットで送信する場合は，MAC アドレスもブロードキャストアドレスである FF:FF:FF:FF:FF:FF が用いられる.

サーバが DHCP OFFER を送信する時点では，それを受け取るクライアントは，自身の IP アドレスが分からない. この状態で IP パケットにカプセル化されたメッセージをクライアントに届けるためにも，同様にブロードキャストする以外に方法がない.

問 9.5

ホストの IP アドレスを DHCP で割当ててる場合、DHCP サーバは、空いているアドレスの一つを選んで割当てを行う。従って、ホストの電源を落とし、再起動した後は、MAC アドレスと IP アドレスの対応関係が変わる。また、IP アドレスを手動で設定する場合は、ホストの装置を取り替えると MAC アドレスが変更になる。これらのホストと同じサブネットに收容される他のホストの ARP キャッシュが固定だと、MAC アドレスと IP アドレスの関係に矛盾が生じる。これを防止するために、定期的なクリアを行う必要がある。

問 9.6

DHCP で IP アドレスを割当ててる場合を考える。通信をするためには、PC は、Web サーバ以外に、DHCP サーバ、ルータ（デフォルトゲートウェイ）、DNS サーバとパケットの送受信をする必要がある。

IP アドレスなどの取得のために、①DHCPDISCOVER の送信、②DHCPOFFER の受信、③DHCPREQUEST の送信、④DHCPACK の受信が必要である。この結果、自 IP アドレスとサブネットマスク、デフォルトゲートウェイと DNS サーバの IP アドレスを得る。

次に、Web サーバの IP アドレスを得るために DNS サーバに問い合わせる必要があるが、DNS サーバが他のサブネットに收容されている場合には、問い合わせパケットをデフォルトゲートウェイに中継してもらう必要がある。そのためには、デフォルトゲートウェイの MAC アドレスが必要である。

従って、デフォルトゲートウェイの IP アドレスを設定した⑤ARP 要求を送信（ブロードキャスト）し、⑥ARP 応答を受信する。この結果、デフォルトゲートウェイの MAC アドレスを得る。

以後の通信は、全てデフォルトゲートウェイがパケットを中継するが、その記述は省略する。次に、Web サーバの FQDN を設定した⑦DNS 問い合わせパケットを送信し、⑧DNS 問い合わせの応答を受信する。この結果、Web サーバの IP アドレスを得る。

Web サーバとの通信は、TCP で行う必要があるため、コネクションの設定が必要である。そのため、Web サーバに向けて、⑨SYN パケットを送信し、⑩SYN・ACK を受信し、⑪ACK を送信する。

続いて、URL を設定した⑫HTTP の GET メッセージを送信する。サーバから、GET メッセージが届いたことを示す⑬TCP の ACK を受信する。これに続き、サーバは、URL で指定されたファイルの内容を複数のパケットに分割して送信してくる。なお、ファイルを送り終わると、HTTP のセッションが終了したことを示す 200 OK を送信してくる。

第 10 章

問 10.1

	役割	機能	通信モード	プロトコル
ハブ	スター状にノードを接続(全ノードにデータを送信)	信号の増幅・整形を電氣的に行う	半二重	物理層
スイッチ	スター状にノードを接続(宛先ノードのみにデータを転送)	フレームをメモリに蓄積し、ヘッダを解釈。フレームのビット列を再生する。収容ノードの MAC アドレスを学習する。	全二重	物理層, データリンク層
ルータ	ネットワーク間を接続し, 宛先ネットワークに向けパケットを中継する(ゲートウェイ)	データリンク層のプロトコルを変換する。宛先 IP アドレスを参照し、転送するルートを決定する (ルーティング)	全二重	物理層, データリンク層, ネットワーク層

問 10.2

(接続方法)

ハブを経由する場合は、それぞれの PC とハブをストレートケーブルで接続する。PC 同士を接続する場合は、クロスケーブルを用いる。

(性能)

PC 同士は全 2 重通信が可能であるので、一方の PC がデータを送信していても、もう一方の PC もデータが送信できる。ハブを経由する場合は、ハブの中は半二重のバスなので、一方の PC がデータ送信中であれば、もう一方の PC はデータの送信ができない。このため、PC 同士を接続する場合よりも性能が悪くなる。

問 10.3

(性能)

ハブを経由する場合は、半二重通信であるため、一方のホストが送信中は、他方のホストは通信できない。スイッチは全二重通信なので、両方のホストが受信と送信を並行して行える。このため、高速な通信が可能である。

(処理方法)

ハブは、ビットの増幅と整形のみを行うため、受信フレームの蓄積は行わない。また受信フレームを全てのポートに送信する。そのため、他のポートに収容されるホストの送信フレームと衝突する可能性がある。一方、スイッチは、フレームを一旦メモリに蓄積し、へ

ッダの宛先 MAC アドレスを見て、転送先のポートを決定する。そのため、フレームを蓄積する時間の遅延が発生する。そのかわり、他のポートの送信フレームとの衝突は発生しない。（スイッチの下段にハブが接続されていれば、それに収容されるホストの送信フレームは衝突する）

なお、PC との接続は、どちらもストレートケーブルを用いる。

問 10.4

ホストは Web サーバへのパケットをデフォルトゲートウェイに中継してもらう必要がある。ホストの ARP キャッシュは、設定済みであるので、デフォルトゲートウェイの MAC アドレスが分かっている。このため、Web サーバ宛のパケットをカプセル化し、宛先にデフォルトゲートウェイの MAC アドレスを設定したフレームを送信（ユニキャスト）する。

スイッチは、MAC アドレスの対応表がクリアされている。受信したフレームの送信元アドレスより、ホストを収容するリンクの対応関係を学習する。しかし、デフォルトゲートウェイがどのリンクに接続されているか分からない。このため、受信したフレームは、ホストを収容するリンク以外にブロードキャストする。

デフォルトゲートウェイはこのフレームを受信し、Web サーバに転送する。他のホストは、フレームを廃棄する。

Web サーバからの応答パケットは、デフォルトゲートウェイによって中継され、宛先にホストの MAC アドレスが設定されたフレームがスイッチに送信（ユニキャスト）される。スイッチは、このフレームの送信元 MAC アドレスにより、デフォルトゲートウェイを収容するリンクの対応関係を学習する。また、宛先のホストの情報も既に学習済みなので、このフレームを宛先ホストにのみ送信（ユニキャスト）する。

以後、このホストと Web サーバとの通信では、ユニキャストのみが用いられる。

問 10.5

ホストやルータのように、ネットワーク層の処理を行う装置は、インタフェース毎にルーティングに用いる IP アドレスが付与されている。また、データリンク内でフレームの送受信をするために、インタフェース毎に MAC アドレスを持つ。ARP キャッシュは、ホストやルータの IP アドレスと MAC アドレスの対応関係を記憶するものである。この対応関係の情報は、IP パケットをカプセル化するためのデータリンク層のヘッダ作成（宛先 MAC アドレス）に用いられる。

一方、スイッチはデータリンク層の中継処理を行う装置であり、インタフェース毎に MAC アドレスや IP アドレスを持たない。MAC アドレス対応表は、収容するホストやルータの MAC アドレスと収容リンク（インタフェース）番号との対応関係を管理するものである。この表は、宛先 MAC アドレスを見て、受信したフレームをそのまま必要なリンクから送信するために用いる。すなわち、スイッチはホストやルータのように、ヘッダは作成しない。

第 11 章

問 11.1

電話網におけるルーティング制御は、市内局番と加入者番号の組み合わせで構成される閉鎖番号方式と加入区域外への発信を示すプレフィックスを用いる開放番号方式（コネクション型）が併用され、地理的な条件と効率的な階層構成の両者を考慮して番号計画が策定されている。電話網の経路制御方式には固定ルーティングとダイナミックルーティングがあり、昼夜でトラヒック交流パターンを変更できるよ。

一方、インターネットでは IP アドレスを元に、ネットワーク内のルーティング制御が実施されているが、IP アドレスは、地理的情報とは独立に割り付けがなされているため、発信者の地理的識別ができない。また、セキュリティ上、脆弱であるコネクションレス型通信を採用している。インターネットではルーティングの際に、ネットワーク制御を単純化するため、ホップカウント、帯域幅等のメトリックを用いるダイナミックルーティングを実施している。

問 11.2

インターネットのルーティング制御には、(1) ネットワーク管理者の手作業のもとに行うスタチックルーチング、(2) ルーチングプロトコルを用いて自動で行うダイナミックルーティングがある。スタチックルーチングは小規模なネットワークに向き、ダイナミックルーティングは、中規模から大規模なネットワークに向く。ルート決定するための情報は「メトリック」と呼ばれ「ホップカウント」、「帯域幅」、「通信費用」等が適用される。インターネット内のルーティングは自律システム AS を単位として行い、AS 内および AS 間のルーティングより構成される。AS 内ルーチングプロトコルは IGP と呼ばれ、RIP、OSPF がある。小規模ネットワークには RIP が使用され、中規模以上のネットワークでは OSPF が使用される。プロバイダ同士の通信に対応する AS 間すなわちドメイン間のルーチングプロトコルは EGP と呼ばれ、BGP4 が適用される。

問 11.3

OSI 参照モデルの第 7 層の中で IP アドレスによるルーティング機能は第 3 層であり、TCP は IP 層の上位である第 4 層に位置付けられる。IP 層は相手通信端末までパケットデータを配送することが目的であるのに対して、TCP 層は以下の特徴を持つ。

- ① ポイント・ツー・ポイントの全 2 重通信をサポートする。
- ② エンド・エンド間で信頼性のある通信を実現（フロー制御と再送機能）する。
- ③ コネクションの多重化を実現し、複数のアプリケーションを同時に実現する。
- ④ 送信側・受信側ポート番号をアプリケーション毎に定められる。
- ⑤ シーケンス番号、ACK 番号を順序制御、再送制御用に使用する。

問 11.4

TCP はコネクション型のエンド・エンド間の通信形態をとるため、信頼性は高いが、処理機能が豊富なため、通信速度に制限が生じる。UDP はコネクションレス型の通信のため信頼性は低い、通信速度の制限が少なく、誤り再送制御の必要の無いリアルタイム通信に適している。

問 11.5

トランスポート層におけるフロー制御では、通常は 1 ラウンドトリップごとにウィンドウサイズが 2 倍になるように送信制御が行うが、輻輳ウィンドウサイズの値まで送信ウィンドウサイズを増加した後は、送信側は輻輳回避のために、+1 ずつウィンドウサイズを増加する。仮に、輻輳ウィンドウサイズに到達する前に、一定の時間内に ACK が返送されない場合には、送信側は、ウィンドウサイズの値を最初のスロースタートの時と同じ 1 パケット分に戻すことにより、輻輳を回避する。この段階からは、輻輳ウィンドウサイズの値を前回、輻輳が生じたときの値の 2 分の 1 に減らして送信し、以後、このアルゴリズムを繰り返すことにより輻輳制御を実現する。

第 12 章

問 12.1

	HTTP	SMTP	FTP	telnet	SNMP	DHCP
トランスポート層	TCP	TCP	TCP	TCP	UDP	UDP
ポート番号	80	25	20, 21	23	161, 162	67, 68

複数ポート番号の使い方は、以下の通り.

FTP : 制御用 21, ファイル転送用 20

SNMP : ポーリング 161, トラップ 162

DHCP : サーバ用 67, クライアント用 68

問 12.2

ブラウザが送受信するアプリケーション層の packets としては、DNS による FQDN を IP アドレスに変換する DNS の問い合わせ、HTTP によるファイルの送信要求とファイル内容の転送および HTTP の送信完了応答である.

即ち,

DNS

問い合わせ (送信) : 1 個, 問い合わせ応答 (受信) : 1 個

HTTP

GET (送信) : 1 個, ファイル内容の転送 (受信) : N 個, 200 OK (受信) : 1 個

N は以下のように計算できる.

イーサネットに接続されているので MTU は 1500 オクテットであり、IP ヘッダと TCP ヘッダを除くと、アプリケーション層の最大データ (MSS) は、1 パケットあたり、

$$1500 - 20 - 20 = 1460.$$

$$\text{従って, } N = 73000 / 1460 = 50$$

以上により、送信 2 個、受信 52 個となる.

問 12.3

イーサネットに接続されたホストが TCP/IP のメール転送に必要なプロトコルの数を考える. アプリケーション層のプロトコルでは、以下が必須である.

メールの送信 : ①SMTP, メール受信 : ②POP3 (または IMAP)

メールサーバの IP アドレス問い合わせ : ③DNS

トランスポート層のプロトコルでは、

SMTP と POP (または IMAP) の送受信 : ④TCP

DNS の送受信 : ⑤UDP

ネットワーク層のプロトコルでは、

TCP, UDP の送受信 : ⑥IP

データリンク内のホストの MAC アドレス取得：⑦ARP

データリンク層，物理層のプロトコルでは，

IP，ARP の送受信：⑧イーサネット

以上，合計で最低限 8 種類のプロトコルが必要になる。

この他，ホストの IP アドレスを自動取得する場合は，DHCP も必要である。さらに，メールサーバにログインするための認証には SSL およびデータ転送用の TLS が用いられる。また，メールの形式を示すためにプレゼンテーション層に相当する MIME も使用される。

問 12.4

通常の方法では，ファイル転送用の TCP コネクション（サーバのポート番号 20 番）をファイルサーバ主導で設定する。このため，図 12.7 では，サーバが TCP のコネクション設定要求（SYN パケット）を送っているが，ここで問題が発生する。ファイアウォールは，外部からの攻撃を防御するために，クライアントに対するコネクション設定を拒否する。このため，ファイル転送用のコネクションが設定できず，転送が失敗する。

問 12.5

問 12.4 の問題の対策として，FTP にはパッシブモードという方法が準備されている。図 12.7 におけるファイル取得のための PORT コマンドで，パッシブモードを指定する。サーバは，ファイル転送に用いるポート番号を送ってくる。このポート番号はウェルノウンポート番号の 20 番ではなく，1024 番以降の空きポート番号である。このポート番号を着ポート番号として，クライアント側からファイル転送用のコネクションの設定要求を行う。ファイアウォールは，クライアント側からのコネクション設定要求は許可するので，ファイル転送用コネクションも設定でき，転送が成功する。

第 13 章

問 13.1

イ：TA, ロ：DSU, ハ：基本速度, ニ：一次群速度, ホ：2B+D, ヘ：一次群速度

問 13.2

ADSL は既存の電話加入者線を用いて高速なデジタル伝送を行う方式である。電話では使用されない高周波数帯（26kHz 以上）の信号を用いるため電話と同時に利用することが可能である。上り方向よりも下り方向の速度を大きくしており非対称となっている。ユーザ宅内において、パソコンを電話回線に接続し ADSL として利用する場合、「スプリッタ」と「ADSL モデム」の 2 種の装置が必要となる。前者は電話信号（低周波）とインターネット信号（高周波）との分離・重畳を行い、後者はインターネット情報についてデジタル信号－アナログ信号間の変復調を行う。

問 13.3

a：SS, b：PDS, c：2, d：ダブルスター, e：PON

問 13.4

光ファイバに置き換えることにより減衰対策としての広帯域増幅器の挿入が不要となり信号劣化も起こらないことから、回線の距離と伝送帯域を増やすことができた。

第 14 章

問 14.1

- ① 共通線信号方式は通話回線と信号回線が物理的に独立に運用される。
- ② 通話回線上のトラヒックの影響を受けず，信号回線の高速化が容易である。
- ③ 通話中の信号のやり取りや情報処理系ノードへのアクセスにより，接続サービスの高度化が可能となる。
- ④ 信号網全体を二重化した二面構成を採用して信頼性の高い通信網の運用ができる。

問 14.2

ATM 交換網におけるトラヒック制御機能は，

- ① カトラヒック監視用の UPC
- ② 呼の受付制御用の CAC

である。CAC の実施に当たっては，呼の受付時に交換ノードは，要求された呼びを受け付けた場合のセル損失率の推定を行う。予め規定されている信サービス品質を満足できる場合には，呼の受付を許可する。

問 14.3

ATM 網で OAM 機能を実現するためには，OAM 情報を搭載した OAM セルを VP 単位または VC 単位に挿入し，ATM ノード間でのセル損失，セル遅延，セル混入，セル誤り等を監視している。網内では ATM セルの情報ストリーム内に，ある一定の周期で挿入された OAM セルに品質監視用の情報を搭載し，エンド・エンド区間での品質の常時監視も可能である。インターネットにおいてもこのような技術を用いることにより，通信品質の向上を図る方法が検討されている。

問 14.4

IP-VPN の構成に当たっては，PE ルータ（ユーザアクセス回線を収容する ISP 側のエッジルータ），P ルータ（中継網用のコアルータ），CE ルータ（ユーザ側設置の汎用ルータ）の 3 種類のルータが配備される。P ルータでは，CE ルータから届いたパケットがどの VPN に所属するものかを識別し，該当する宛先に対応したラベルが付与された後，当該のドメインにパケットが転送処理される。P ルータは，当該の通信拠点同士が必要な帯域分だけ論理的に接続される。

問 14.5

MPLS は ATM におけるラベルスイッチング技術を応用し，更に IP 網とも整合できる形態

に発展させて実用化が進められた。MPLS は ATM と同様に、ノード間で終端されたコネクションを使用するコネクション型通信に適用できる。IP データの転送時に MPLS 技術を適用する場合は、IP パケットに付加された「ラベル」に基づき、ルータやスイッチが経路選択を行う。

第 15 章

問 15.1

小ゾーン方式ではゾーンが隣接しない限り同一周波数を同時に利用できるため大ゾーン方式よりも周波数効率が高い。携帯電話はサービスエリア内に多くの端末が存在し得るため小ゾーン方式が適している。

問 15.2

イ：多元接続方式， ロ， ハ， ニ：FDMA， TDMA， CDMA（順不同）， ホ：TDMA，
へ：広帯域性， ト：CDMA

問 15.3

ホームメモリ局（HLR）

問 15.4

まず 1 つは、位置登録処理は登録される位置が制御エリア（サービスエリア）単位となっているためサービスエリアが変わった時に実行され、一方、ハンドオーバは端末－基地局間のチャンネルの切り替えであるためセル（ゾーン）が変わった時に実行されるという点である。もうひとつは、位置登録は（通話接続のために必要な処理のため）端末に電源が入ってさえすれば定期的に実行され、一方ハンドオーバは（通話状態を維持するためのものなので）電源が入っていても通話していなければ実行されないという点である。

問 15.5

IMT2000 は、加入電話に迫る通話品質の確保、マルチメディアサービスが可能なデータ通信能力（最大 2Mbps）の確保、同一端末で世界中のどこでも使用可能なことを主要なコンセプトとして開発された。これを実現する方式として、無線アクセス系には広帯域・高品質で多様な伝送速度に対応可能な CDMA 方式（W-CDMA，cdma2000）を採用している点、コアネットワークには音声やデータなどの品質を柔軟に制御できる ATM を採用している点、さらにグローバルローミング機能を備えている点などが特徴となっている。

第 16 章

問 16.1

VoIP では、リアルタイム性を保証する必要があるため、IP パケットの遅延やその変動に関する条件が、電子メールや Web 検索よりも一層厳しい。

問 16.2

H.323 は、SIP よりも先に ITU-T で開発され、公衆電話網の技術をベースとしているが、仕組みが単純ではなく、拡張性にも欠けている。一方、SIP は、IETF にて H.323 の複雑な仕様を改善するために開発されたため、仕様の単純性、拡張性、インターネットとの親和性において、より優れている。SIP は、第 3 世代携帯電話や NGN で採用され、VoIP の今後の普及に必須のプロトコルである。

問 16.3

ア:呼, イ:音声通信, ウ:IP によるデジタル通信網, エ:ジッタ, オ:タイムスタンプ

第 17 章

問 17.1

- ① mcpoeurte tnrwko
- ② INTERNET

問 17.2

送信側で暗号化のために用いた鍵と同じものを、インターネットに接続された受信側へ安全にかつリアルタイムに届ける必要があるがこれが困難である点。

問 17.3

公開鍵方式では 5 人のそれぞれが他 4 人からの暗号通信のために 2 種の鍵（自分の秘密鍵と公開鍵）があればよいので、 $5 \text{人} \times 2 \text{種} = 10 \text{種}$ の鍵で済む。

問 17.4

公開鍵方式において CA が存在しなかった場合には偽物の鍵を本物の公開鍵と誤って使用し偽物の文書を本人作成の文書と誤解してしまうなどの危険がある。CA は公開鍵方式で用いられる公開鍵が本物であることを第三者機関として認証する役割を持つ。

問 17.5

ワンタイムパスワード（使い捨てパスワード）の利用，パスワードそのものを回線上に流さない手順（チャレンジレスポンス方式）の適用，などの方法が知られている。

問 17.6

- ① 公開鍵暗号方式
- ② 秘密鍵，秘密鍵で暗号化する行為が送信者のみが可能な行為であるため。

問 17.7

IPsec には IP パケットをカプセル化し、カプセル化した IP パケット部分を暗号化する機能（ESP のトンネルモード）がある。即ち、地理的に離れた 2 地点にあるローカルなネットワーク（LAN）間でトンネル方式での暗号通信が可能となり、仮想的な専用線網（VPN）としての運用が可能である。この場合、IPsec で運用される網と LAN とを接続するゲートウェイで暗号化処理が行われるため、LAN 内のノードには暗号化機能は必要ない。

第 18 章

問 18.1

a, b : プロキシ, パケットフィルタリング (順不同), c : DMZ, d, e : メール, Web (順不同), f : プロキシ

問 18.2

パケットフィルタリングは、通常、IP パケットのヘッダ部分 (IP アドレス, ポート番号など) の内容をチェックするもので OSI 参照モデルの第 3 層 (ネットワーク層) に対応する機能である。一方, プロキシ (注: アプリケーションゲートウェイとも呼ばれる) は LAN (内部接続) とインターネットとの間に設置され, FTP, HTTP などアプリケーションプロトコル毎に OSI 参照モデルの第 7 層 (アプリケーション層) までがチェック範囲に含まれる。

問 18.3

ポートスキャンは外部からの攻撃や侵入 (不正アクセス) の手掛かりを得るために実施される。通信に使用するポート (即ち, インターネットで規定された各アプリケーションに対応) の状態を調べ, 稼働状態にあるポートや提供されているサービス内容などを調べる (本書の図 18.4 を参照)。

問 18.4

技術の進歩とともにウイルスも多様化している。従来から知られている基本的なものとして, ワーム型, トロイの木馬型, ファイル感染型などがある。ワーム型, トロイの木馬型は単独のファイルとして存在し, 前者はネットワークを介して自己増殖していくもので, 後者は感染したコンピュータ内でのみ動作し利用者の知らない間に不正を行うものである。ファイル感染型は exe や sys などの拡張子のついたファイルに感染し元のファイルの制御を奪って感染を増殖させていくものである。

第 19 章

問 19.1

1 アーランは延べで、1 時間 (=3600 秒) 回線を保留する場合に等しいと考えてよいから、呼量は、 $300 \times 6 \times 180 \text{ [s]} / 3600 \text{ [s]} = 90 \text{ [アーラン]}$

問 19.2

1 秒の間隔で換算すると、1 秒当りに到着した 500 個のパケットは、それぞれ、4m 秒のサービスを受けると考えればよい。求める呼量は

$$500 \times 4 \times 10^{-3} \text{ [s]} / 1 \text{ [s]} = 2 \text{ [アーラン]}$$

問 19.3

平均 10 分間に 1 人の割合は 1 時間に平均 6 人が到着することに対応している。

このときの平均保留時間が 20 分であるので、求める呼量は、

$$(6 \times 20) / 6 = 2 \text{ [アーラン]}$$

問 19.4

応答時間は、通常、「待ち時間+サービス処理時間」で規定される。1 件のメッセージ処理当りに、システムの平均保留時間が 6 秒である。平均終了率 (サービス率 μ) は 10 回 / (60 秒) の割合と同等である。

一方、予約メッセージの到着率 (生起率 λ) が 6 回 / (60 秒) であるため、

$$\text{回線能率 } a \text{ は、回線能率 } a = \lambda / \mu = (6 / 60) / (10 / 60) = 3 / 5$$

サービスを受けるまでの待ち時間 W_q は、

$$W_q = ah / (1 - a) = (3 / 5) (6) / (1 - 3 / 5) = 9 \text{ [s]}$$

$$\text{応答時間 } W \text{ は、} W = ah / (1 - a) + h = h / (1 - a) = 6 / (1 - 3 / 5) = 15 \text{ [s]}$$

問 19.5

(1) [データ長] / [伝送速度] = [伝送時間] であるから、

$$200 \text{ [バイト]} \times 8 \text{ [ビット/バイト]} / 64000 \text{ [b/s]} = 0.025 \text{ [s]}$$

(2) [呼量] = 24 [呼/秒] \times 0.025 [秒/呼] = 0.6 [アーラン : er1]

(3) 待ち時間 W と呼量 a 、平均保留時間 h の関係は、

$$W = ah / (1 - a) = 0.6 \times 0.025 / (1 - 0.6) = 0.0375 \text{ [sec]}$$

第 20 章

問 20.1

$$\begin{aligned} & (\text{装置予備方式の信頼度}) - (\text{システム予備方式の信頼度}) = a^4 + 4a^2 - 4a^3 - \{2a^2 - a^4\} \\ & = 2a^2 - 4a^3 + 2a^4 = 2a^2(1-a)^2 > 0 \end{aligned}$$

問 20.2

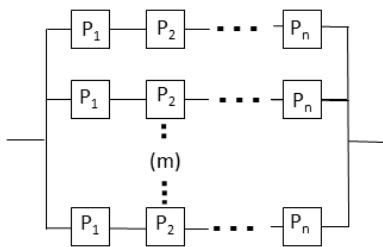
$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= 10^9 \text{ [時間]} / (150\text{K} + 100\text{K} + 50\text{K} + 200\text{K} + 500\text{K}) = 10^9 \text{ [時間]} / 1000 \text{ [K]} \\ &= 1000 \text{ 時間} \end{aligned}$$

問 20.3

問20.3

直並列系システム

(直列システムが並列的に接続)



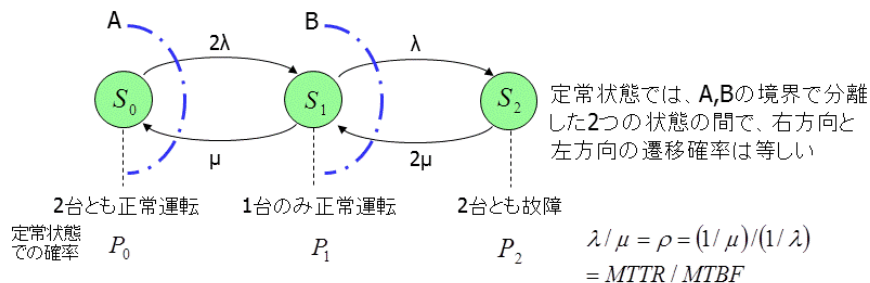
P_i : 個々の要素の信頼度

システム全体の信頼度: P

$$P = 1 - \{1 - \prod_{i=1}^n P_i\}^m$$

問 20.4

問20.4 (1つ目)



$$\begin{cases} 2\lambda P_0 = \mu P_1 \\ \lambda P_1 = 2\mu P_2 \\ P_0 + P_1 + P_2 = 1 \end{cases} \quad \text{これを解くと} \quad P_1 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{2\mu} + \frac{\mu}{2\lambda}} \cong 2\rho$$

$$P_2 = \frac{1}{1 + \frac{2\mu}{\lambda} + \frac{\mu^2}{\lambda^2}} = \rho^2 / (1 + 2\rho + 2\rho^2) \cong \rho^2$$

問20.4 (2つ目)

ここで、装置のFIT数は100KFITであるから

故障率 $\lambda = 100 \times 10^3 \times 10^{-9} = 1 \times 10^{-4}$ (1/時間)

また $\mu = 1/4$ (1/時間)

この値を前述の P_1, P_2 に代入

$$P_1 = \frac{1}{1 + 2 \times 10^{-4} + \frac{1}{2 \times 4 \times 10^{-4}}} \cong 8.0 \times 10^{-4}$$

$\frac{\mu}{2\lambda} = (1/2) \times (1/4 \times 10^{-4})$

$$P_2 = \frac{1}{1 + \frac{2}{4 \times 10^{-4}} + \frac{1}{(4 \times 10^{-4})^2}} \cong 1.6 \times 10^{-7}$$

$\lambda / 2\mu = 2 \times 10^{-4}$