

ネットワーク技術基礎(その2)

伝送技術

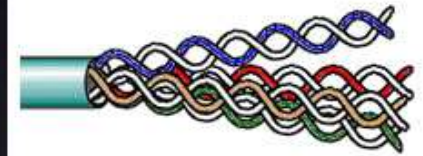
伝送技術

□ 伝送技術と交換技術

- 伝送技術：ある情報を固体（有線）や空間（無線）を媒体にして正確、安定にかつ遠くまで伝えること
- 交換技術：ネットワークを経済的に構成するために、伝送路の共用を図るとともに発信者が希望する相手だけと通信できるように、伝送路の繋ぎ替えを行うこと

伝送路

- 伝送路
 - 情報や電力の伝送のために使用される媒体
- 伝送路（通信路）は様々な形態
- 有線
 - 光ファイバケーブル（次ページ）
 - ツイストペアケーブル
 - 二本の銅線を寄り合わせたもの。
 - 構造が簡単で安価
 - イーサLANで標準
 - 10Base-T/100Base-TXとか
 - 同軸ケーブル
 - 中心に太めの銅線。銅パイプや編んだ銅でくるんだもの
 - 高い周波数まで伝送可能



ケーブルの内部



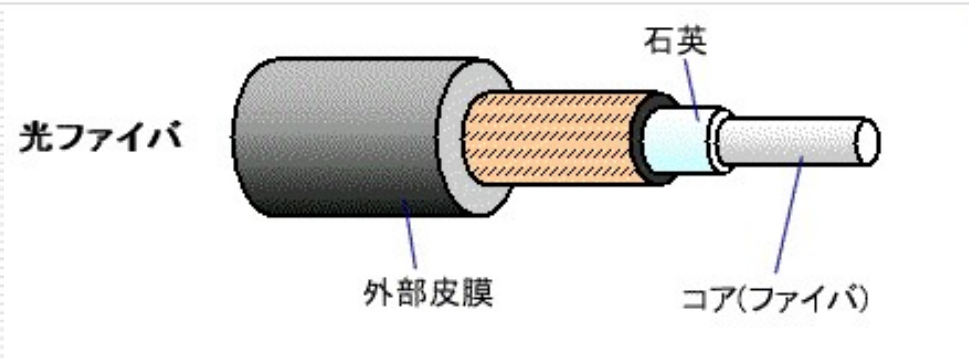
伝送路

□ 光ファイバケーブル

- 直径125ミクロンの**ガラス繊維(ファイバー)**
- 背景：高出力、狭スペクトル線幅の連続光を常温で発振し、高速変調が可能な小型で使いやすい**半導体レーザが開発**
- 電気信号から光の点滅に変換された信号は、コアを通過して伝達

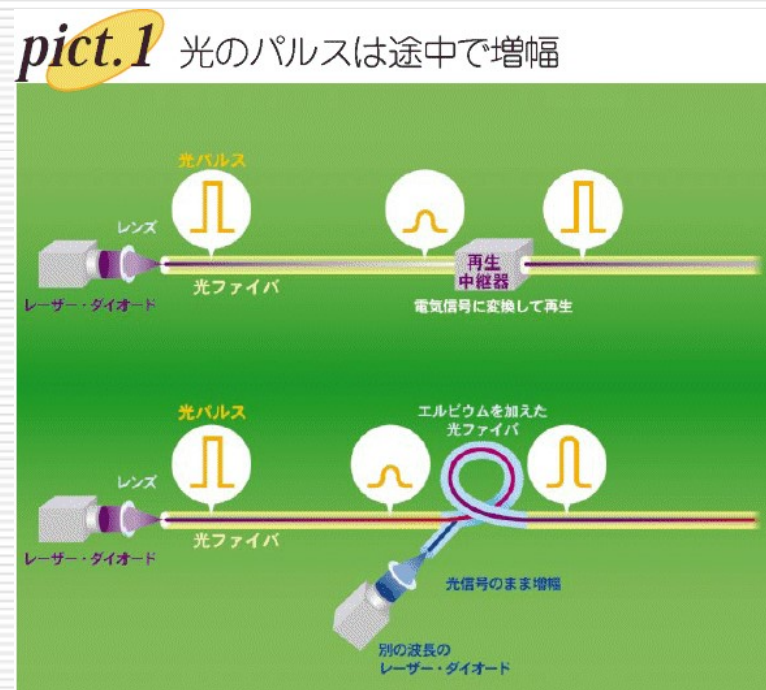
□ 特徴

- 高速大容量（1本の光ファイバーで10Tbps）
- 長距離伝送可能（100km以上可能。同軸だと最大10km）
- 多重化が容易
- 電気信号ではなく光を伝達するため電磁気の影響を受けない
- コストが高い



(補足) 伝送路

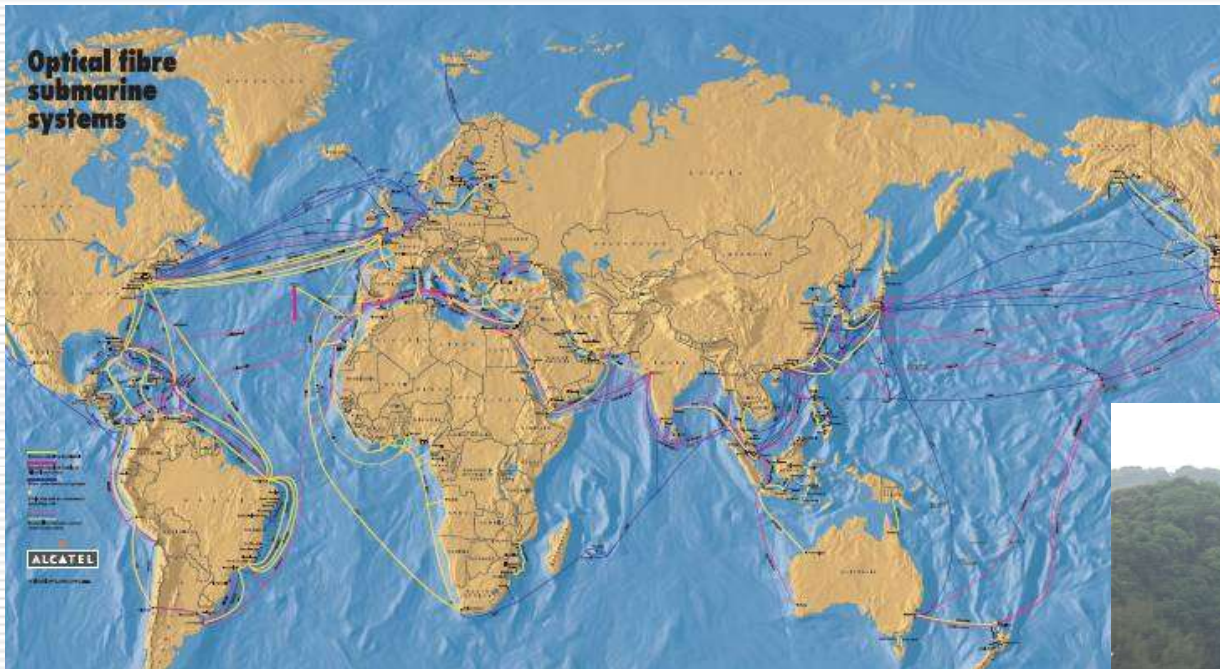
- 光を発生する素子は、「レーザー・ダイオード」という半導体
- 一定の電圧を加えると光のビーム。
- 1種類の波長だけの“純粹”な光でオンオフ
- 数十kmおきに増幅が必要
 - 従来は、再生中継器を使って、光パルスを一度電気信号に変えて、それから光パルスを作成 → 高コスト
 - エルビウムを加えた特殊な材料を用いた光ファイバだけで増幅を実現。⇒ 低コストで実現



<http://tech.nikkeibp.co.jp/it/pc/article/NPC/20070803/279074/>

(補足) 伝送路

- 海底ケーブル
 - 敷設船 を使う
 - 故障時には現場まで修理も行う



国内最大級の海底ケーブル敷設船 「すばる」

<http://www.alcatel.com/submarine/refs/index.htm>



海底ケーブル敷設船「すばる」

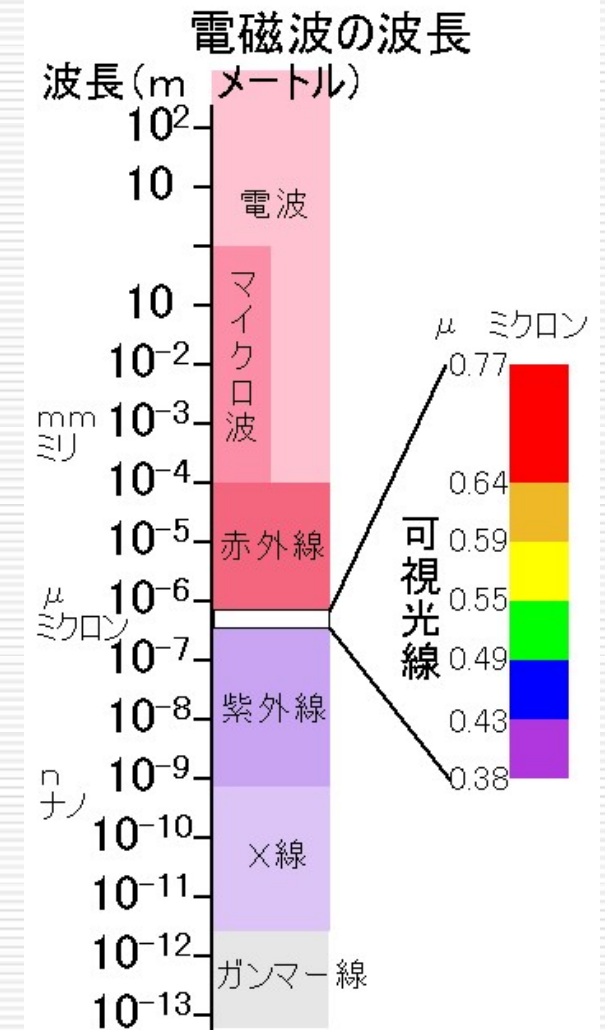
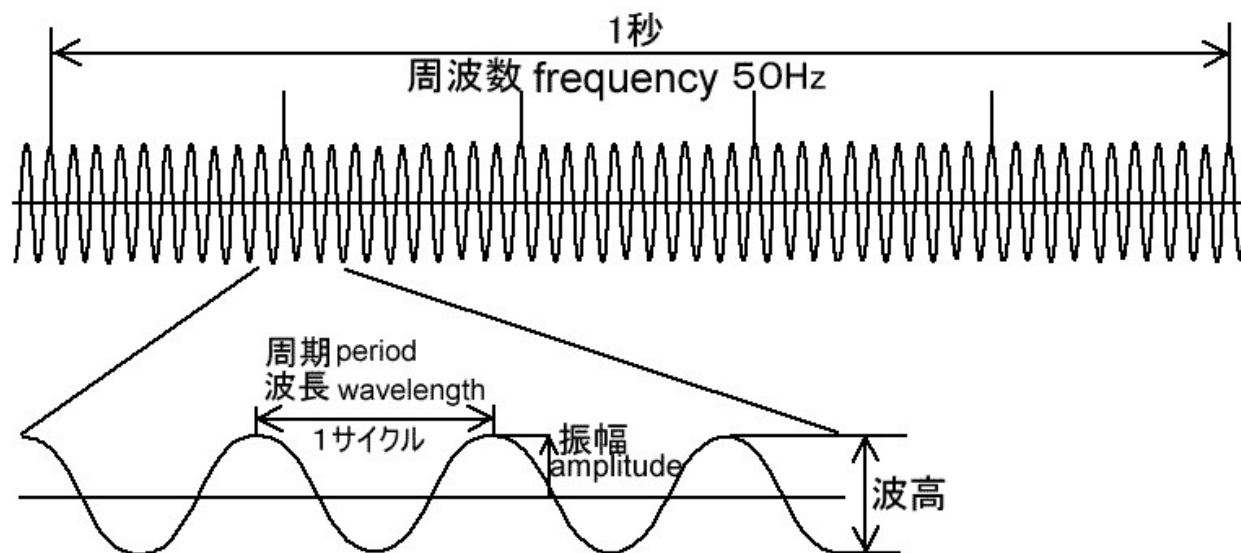
伝送路

- 無線
 - 電波を使ってデータを伝送
 - 用途：
 - 移動体（セルラー）、衛星、船舶、Bluetooth、Wi-Fi、Wi-MAX、LPWA、など
 - 近年、より高速伝送
 - 5G、Wifi6、。。。。。。
 - 無線通信の利点
 - ケーブルが不要
 - 非常に広い範囲にサービスを提供することができ、多数のノードとの通信が可能
 - 波長が短いほど雑音障害を受けない
 - 無線通信の利点
 - 電磁ノイズや盗聴の恐れ
 - 伝送路の状況の変化（天候の変化など）による影響
 - 衛星通信の場合、比較的大きな伝送遅延

電波

□ 電波

- 電磁波の1種
- 周波数が赤外線よりも低い電磁波で、電波法では3,000,000MHz以下の電磁波のこと
- 周波数：1秒間に繰り返す変化(波)の回数
- 振幅：波形の最大値
- 位相：周期的な波形のうち、同じ地点に相当する個所を測った位置や状態



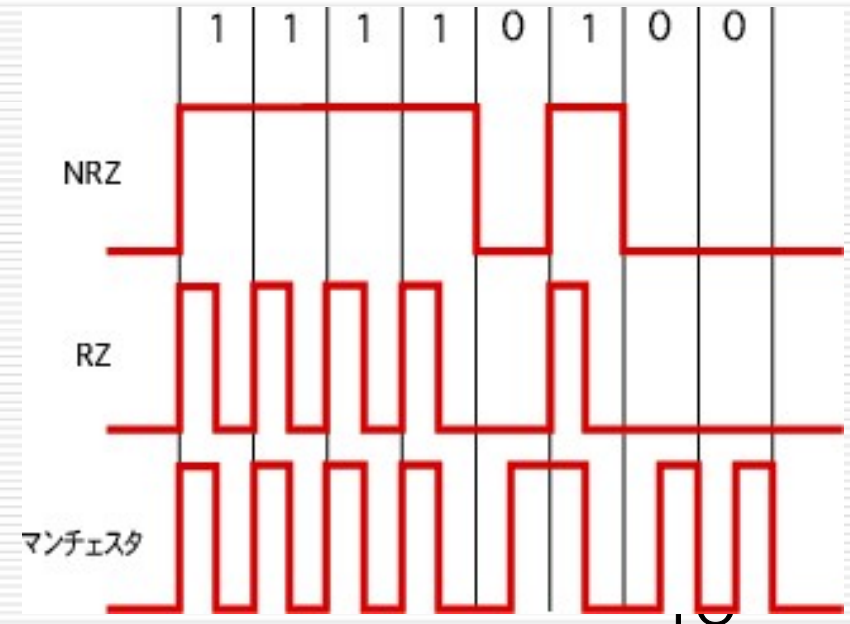
ベースバンド

- ベースバンド信号
 - 音声，映像，デジタルデータ等の生の信号
 - もともとは，変調を経た後、復調されて再び元の物理現象に変換される前の最後の電気信号

- ベースバンド伝送（基底帯域伝送）
 - データ信号を変復調せずに，パルス状の波形符号のまま送り出すこと
 - 一本の伝送路に1つの信号しか送ることができない
⇒ （変調行う）ブロードバンド伝送
 - 雑音に弱く長距離伝送には適さない
 - ただし、中継器は簡単な装置ですむ
 - 用途：LAN（イーサネット），コンピュータ内部のバス

ベースバンド伝送の例

- 0と1を異なる電圧に対応させて伝送
 - 例: 0=0V, 1=5V
- 同期が必要（データの切れ目を知るため）
- [データなし]と[0の連続]が区別不能
- 符号の例
 - NRZ符号：non-return-to-zero
 - NR符号：non-return
 - マンチェスタ符号



変調 (Modulation)

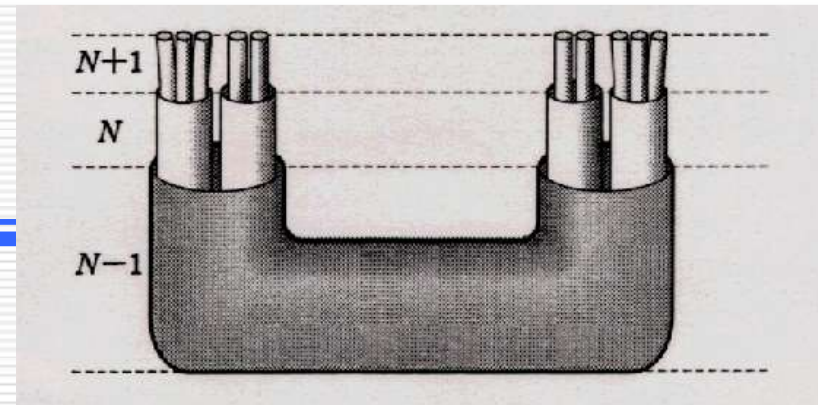
- 情報を記録・伝送するにあたり、情報および記録・伝送媒体の性質に応じて最適な電気信号に変換する操作の方式
- アナログ・デジタルを問わず、**変調とは基準となる信号に送りたい情報を載せること**
 - 変調 ⇔ 復調 (demodulation)
 - 基準信号
 - **伝送に都合のよい高周波⇒ 搬送波** (carrier wave)
 - 実質的に情報量は0
 - 送りたい情報で基準信号に特徴をつける
- 利点
 - 異なる搬送波を複数用いれば多重化でき、伝送効率が上がる
 - アナログデータを高品質で伝送できる

(補足) いろいろな変調方式

- アナログ変調
 - アナログ情報信号に対応して連続的に適用
 - 振幅変調 (AM; Amplitude Modulation)
 - 周波数変調 (FM; Frequency Modulation)
 - 位相変調 (PM; Phase Modulation)
- デジタル変調
 - デジタル信号で搬送波を変調
 - 位相偏移変調 (PSK; Phase Shift Keying)
 - 周波数偏移変調 (FSK; Frequency Shift Keying)
 - 振幅偏移変調 (ASK; Amplitude Shift Keying)
 - 直交振幅変調 (QAM; quadrature amplitude modulation)
- パルス変調
 - パルスの振幅・幅・位相・符号などで変調
 - パルス符号変調 (PCM; Pulse-code modulation)
 - パルス幅変調 (PWM; Pulse-width modulation)
 - パルス振幅変調 (PAM; Pulse-amplitude modulation)

伝送システムによる多重化

多重化



- 多重化：
 - 複数のアナログ信号またはデジタルデータストリームをまとめ、一つの共有された伝送路で送ること
 - Multiplexing、マルチプレサ
 - その逆は、分離化、demultiplexing、デマルチプレクサ
- 利点1：高価・貴重な資源である伝送路を共有することで経済化
- 利点2：特に、通信距離が長い時に有効
- 多重化技術にはいくつかの種類があり
 - それぞれに様々な派生技術
 - 各方式を組み合わせて使用することが多い
- Nチャネル多重
 - ⇒ 1（音声）回線（チャネル）当たりのコストは $1/N$

多重化

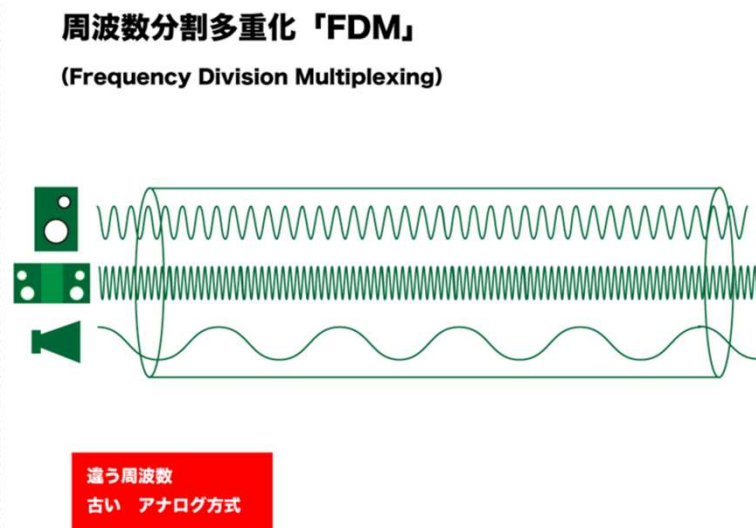
- 非同期時分割多重化（統計多重化、ラベル多重）
 - Asynchronous Time-Division Multiplexing : ATDM
 - パケットに変換し、パケットに対して可変時間割り当て
 - パケット通信：フレームリレー・ATM・イーサネットなど
- 時分割多重化
 - Time Division Multiplex : TDM
 - 時分割固定スロットを情報ごとに、固定時間割り当て
 - 同期デジタルハイアラキ：SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
- 周波数分割多重化
 - Frequency Division Multiplex : FDM
 - 情報ごとに周波数帯割り当て
 - 搬送電話・アナログ多重化無線・衛星通信
- 波長分割多重化
 - Wavelength Division Multiplex : WDM
 - 光ファイバーにおいて、情報ごとに異なる波長を割り当て
 - 光波長多重通信

(補足) 多重化

- 空間分割多重化
 - Space Division Multiplex : SDM
 - 複数アンテナの指向性差で空間的ダイバシティ分離・合成
 - MIMO (Multiple Input Multiple Output) ・マイクロ波固定無線
- 符号分割多重化
 - Code Division Multiplex : CDM
 - 拡散符号を各情報に割当てスペクトル拡散変調
 - 移動体向けデジタル衛星放送：モバHO!、光符号分割多重 (OCDM : Optical CDM)
- 偏波分割多重化
 - Polarization Division Multiplex : PDM
 - 直交する偏波面や旋円偏波を重ね
 - 光偏波分割多重 (OPDM : Optical PDM)

例 1：周波数分割多重(FDM)

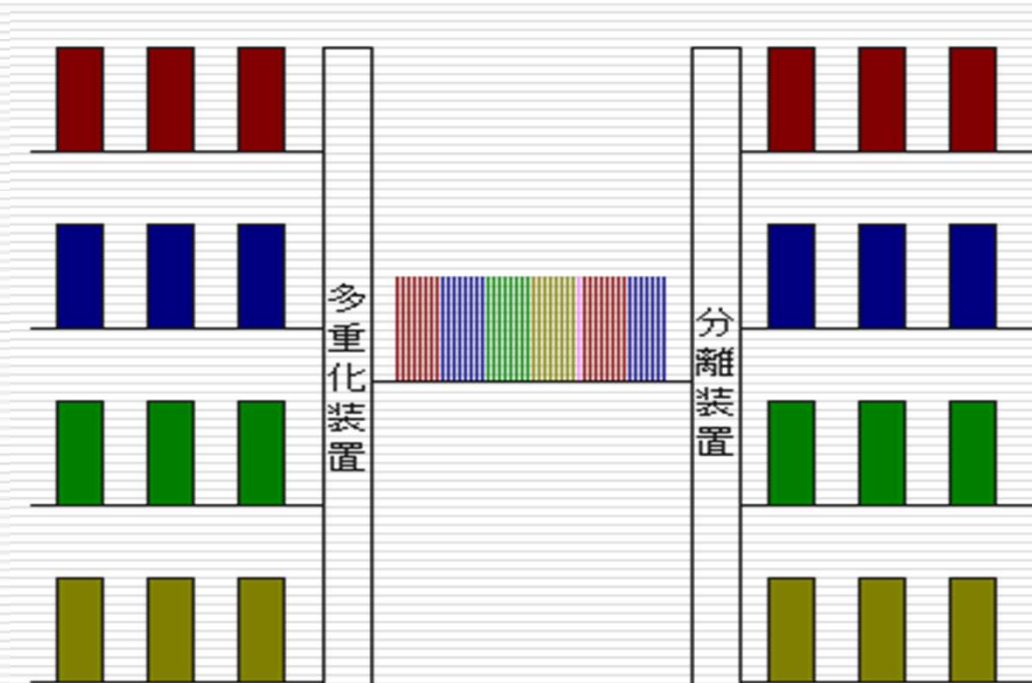
- 共有回線の周波数帯を等間隔に分割して送信
- 送信受信ペアごとに、それぞれ異なる搬送周波数が割り当て
- 例えば,
 - ラジオやテレビ放送を電波で送ると、同じアンテナで電波をうけても自由にチャンネルを選べる
- 技術的には比較的簡単に実装可能
- 相互干渉を避けるためのガードバンドが必要
- 実際にはTDMAもFDMAの中で行われる



<http://onesecondtechnical.hatenadiary.com/entry/2017/06/15/170940>

例 2：時分割多重(TDMA)

- 複数チャネルのデジタル信号や符号化された音声信号などを、複数ビットずつ時間をずらせて配置
- 各チャネルの信号が決められたビット数ごとに繰り返される
- 1巡りのパルス列をフレーム
- 繰り返しの周期を示すためにフレームの最初にはフレーム同期パルスが挿入



(付録) 多元接続

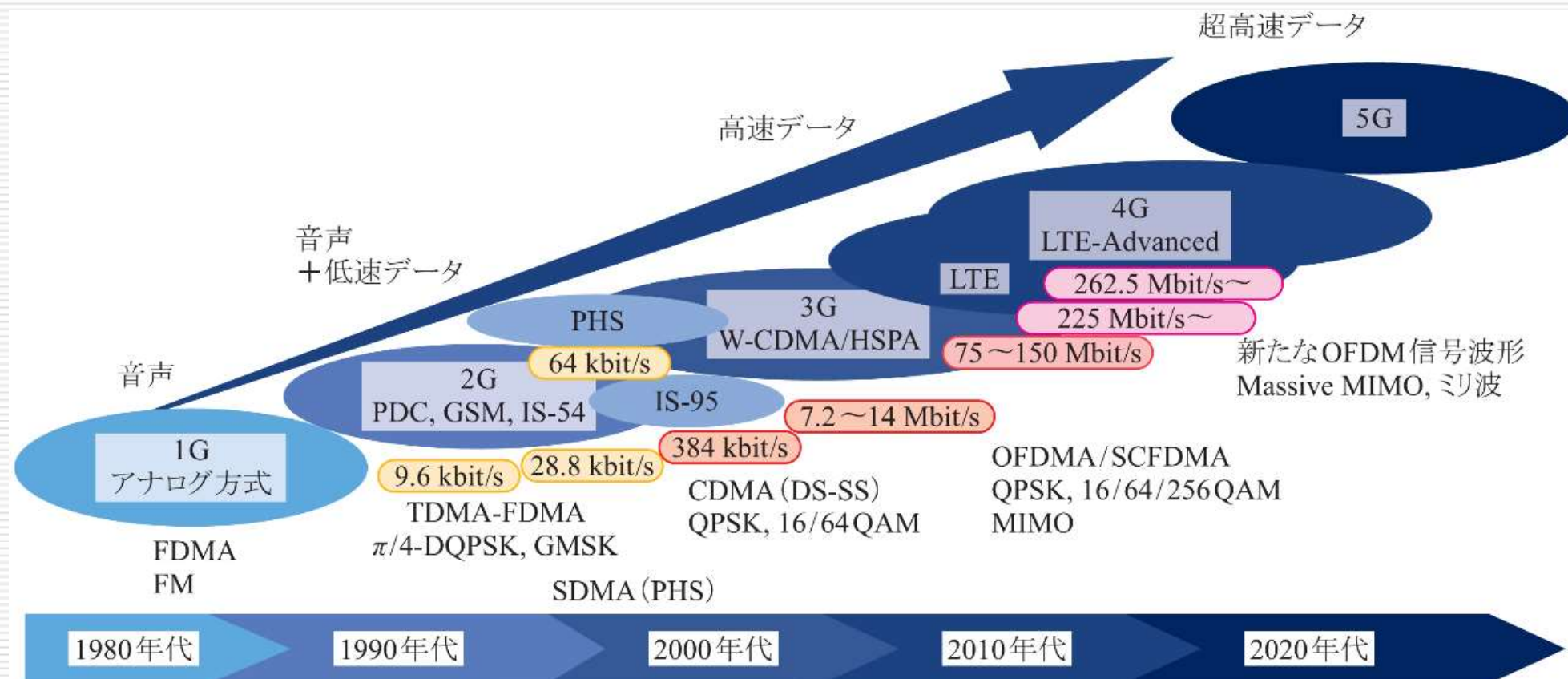


図2 セルラシステムの変遷

https://app.journal.ieice.org/trial/100_8/k100_8_807/index.html

ネットワーク技術の基礎

交換技術

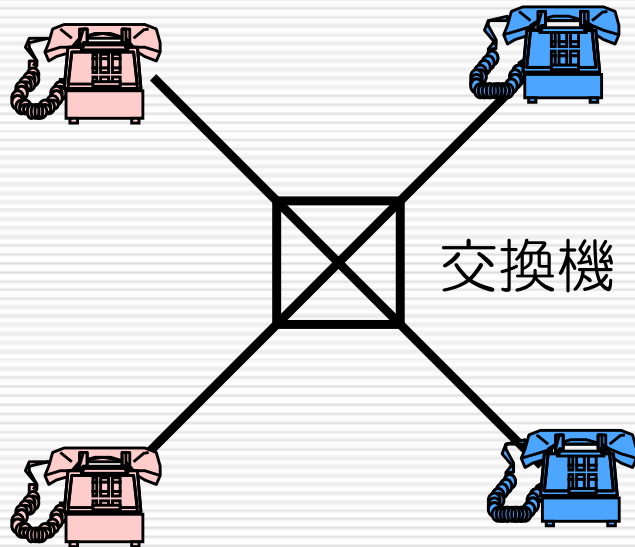


交換ネットワーク

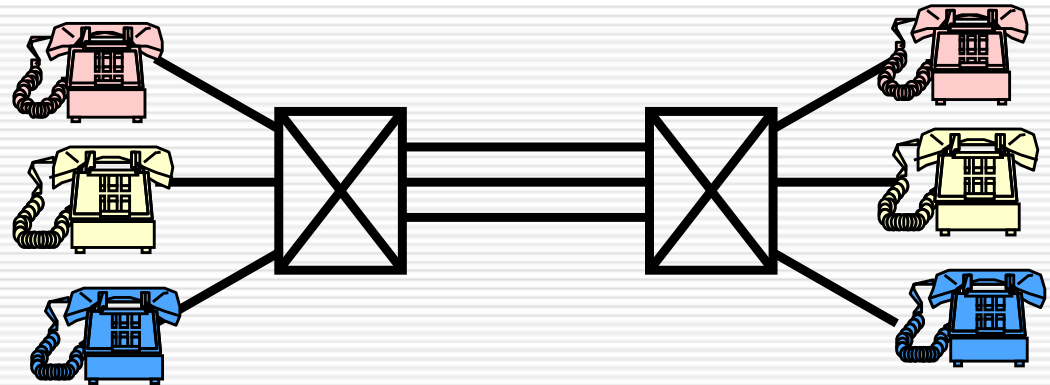
専用線接続



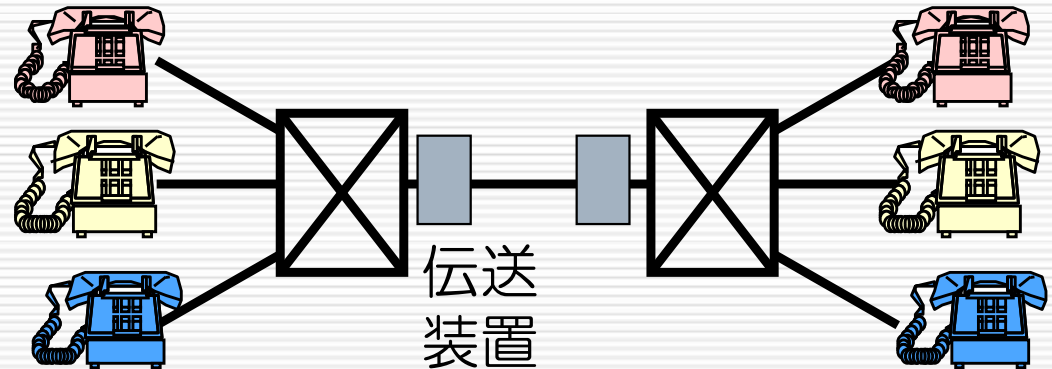
交換接続



個別伝送



多重伝送



(参考) 交換機

- 手動式：交換機ができまで。1890年くらい
- 各地域の電話局において待機している電話交換手を呼び出し、接続先を口頭で伝え、交換手が手作業で電話回線を繋ぎ変え



交換（機）の役割：スイッチの役割

- ネットワークを経済的に利用するために、伝送路の共有化
- 発信者が希望する相手と通信できるよう伝送路をつなぎ替え
- 多くの発信要求に対し、迅速かつ正確な伝送路のつなぎ替え



回線交換用の
デジタル交換機：D60



パケット交換用のスイッチ：
Cisco Systems社製 ルータ
Cisco 7600シリーズ

交換の機能

- 交換方式
 - 回線交換型とパケット交換型

- 多重化方式
 - 時分割多重とラベル多重

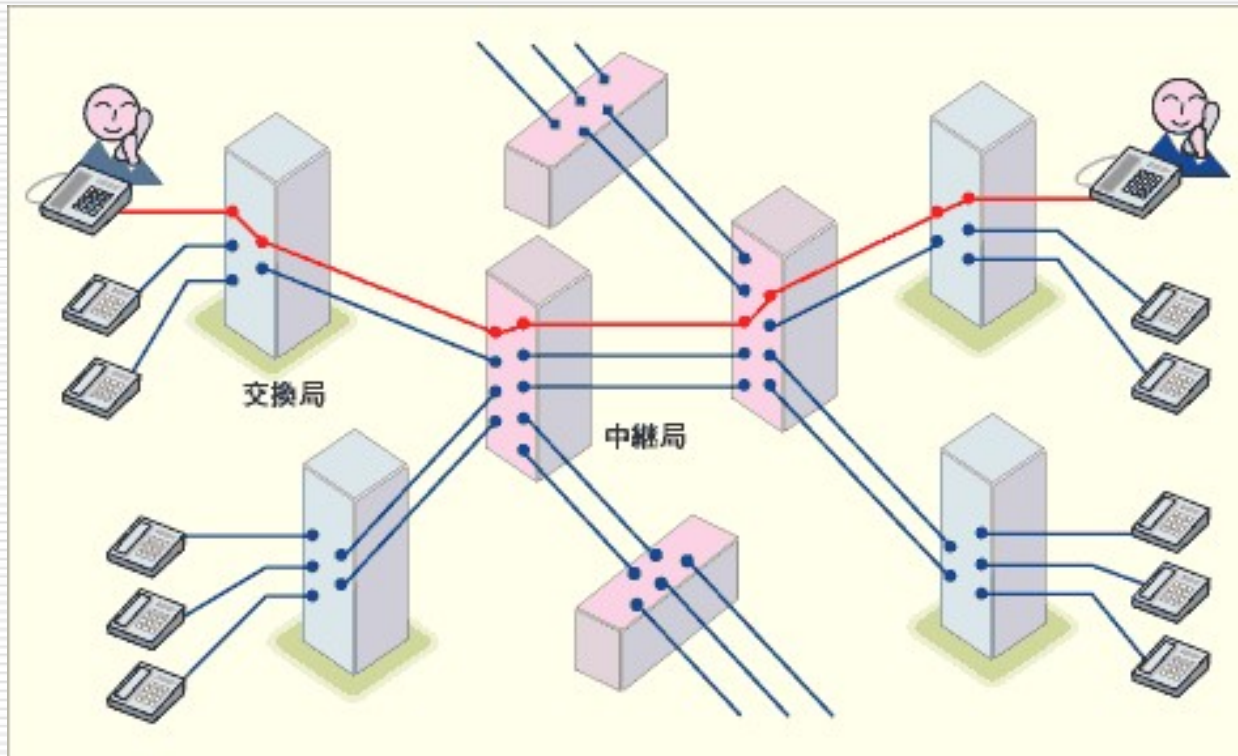
- コネクション設定
 - コネクション型とコネクションレス型

ネットワークの分類—交換方式

- 交換方式
 - 回線交換型
 - 一定速度のストリーム情報伝送に適した時分割多重
 - 例：固定電話
 - パケット交換型
 - 多元速度のバースト情報伝送に適したラベル多重
 - 例：インターネット（TCP/IP）
- 現在主流は、パケット交換
 - 光ファイバーによる伝送品質の向上と端末の高機能化が、網内の誤り制御を不要にし、回線の高速化（パケット転送遅延の短縮）が可能に
 - パケット技術でさまざまな通信品質を実現し統合
 - 例：NGN(Next Generation Network)
 - 例：LTE-Advanced (VoLTE)

回線交換型ネットワーク

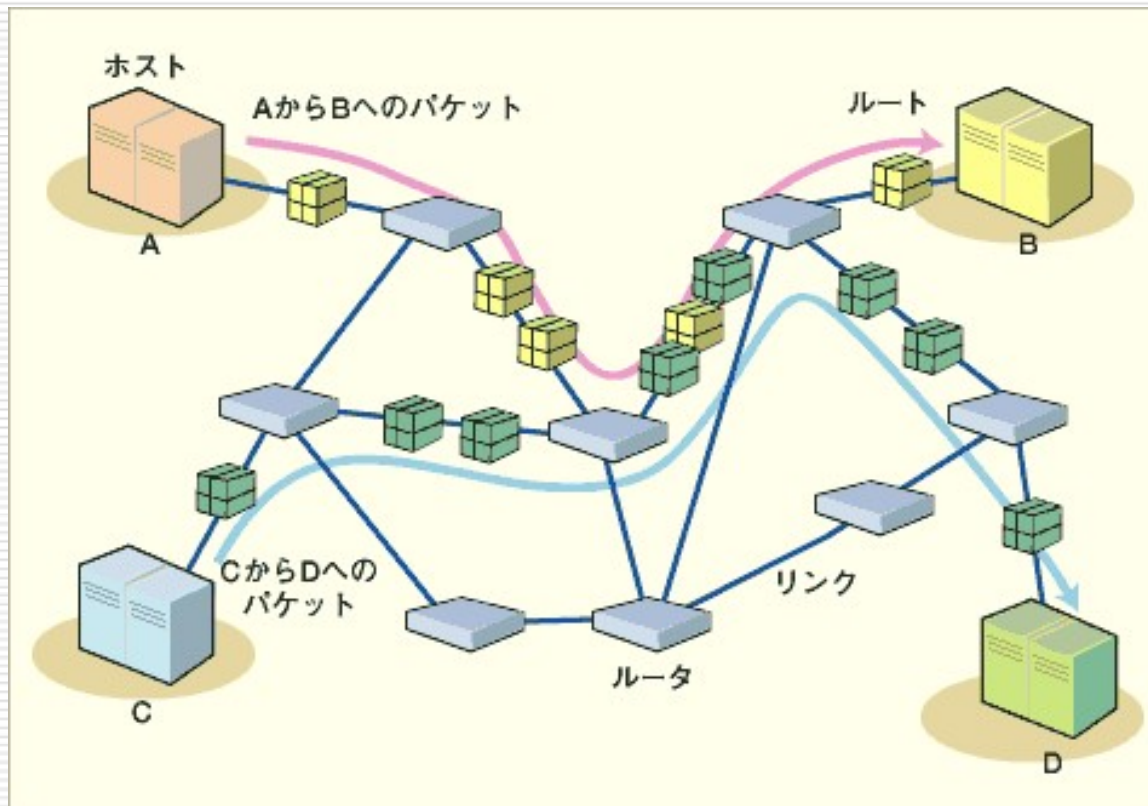
- 2ノード間に（論理的に）直接接続するための回線を用意して通信
- 例えば黒い電話のようなリアルタイム系アプリに有効
- 通信中は交換局や中継局間のケーブルを1つずつ占有
 - 遅延が少なくが、誤りはあるかも
 - 通信開始前に回線設定（コネクション設定（後述））が必要



http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/0005/22/news007_4.html

パケット交換型ネットワーク

- 小包（packet）を配送する仕組み。インターネット等で利用
- 例えばデータ通信のような非リアルタイム系アプリに有効
- それぞれのパケットに宛先を付けてネットワーク上に送り出す
 - 仕組みが簡単な場合が多い
 - 多重化されるので効率化



http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/0005/22/news007_4.html

回線交換サービスとパケット交換サービスの比較

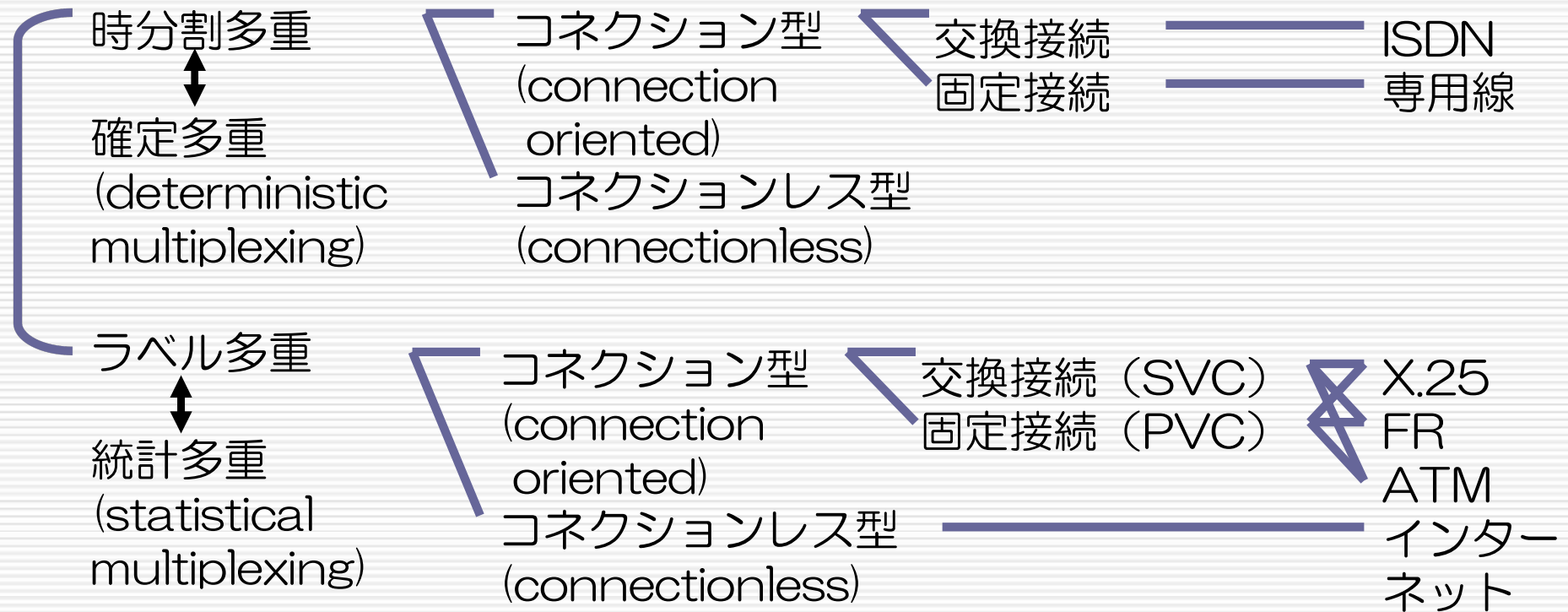
□ 回線交換の利点・パケット交換の欠点

- 回線交換：データ蓄積・流量・再送等のパケット制御が不必要
- 回線交換：回線を占有するためQoS（遅延時間の確保、帯域の確保）を容易に保証可能
- 回線交換：伝送遅延時間の変動は比較的少
- パケットは上記の逆

□ 回線交換の欠点・パケット交換の利点

- 回線交換：データ量にかかわらず、複数の端末による伝送路などの共有ができないため、利用効率が低い
- 回線交換：異なる速度の端末装置同士の通信は比較的困難
- 回線交換：通信中は回線を占有しつづけるため、通信中での動的な（伝送路や交換設備の）経路選択は比較的困難
- 回線交換：誤り検出時に再送信をする仕組みがない。
- パケットは上記の逆

(参考) ネットワークの分類：多重化での分類



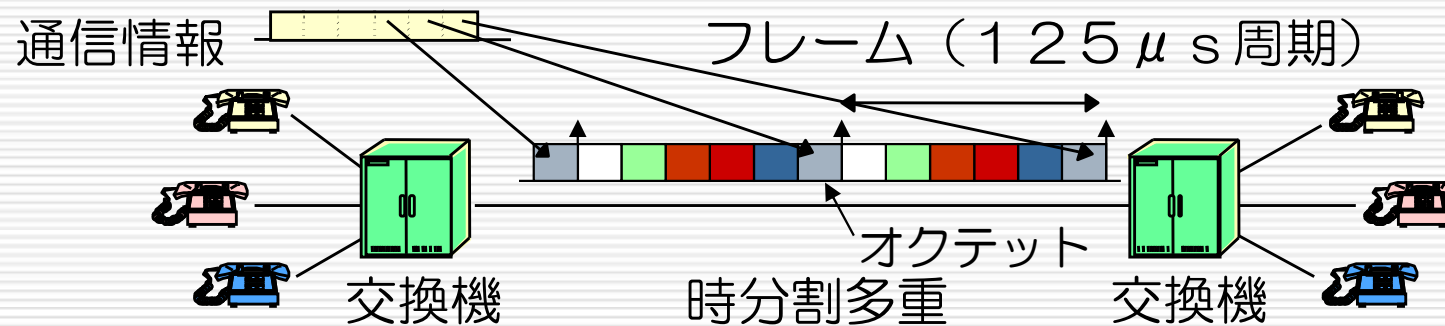
SVC:Switched Virtual Connection
PVC:Permanent Virtual Connection

X.25:パケット交換
FR:Frame Relay

時分割多重とラベル多重

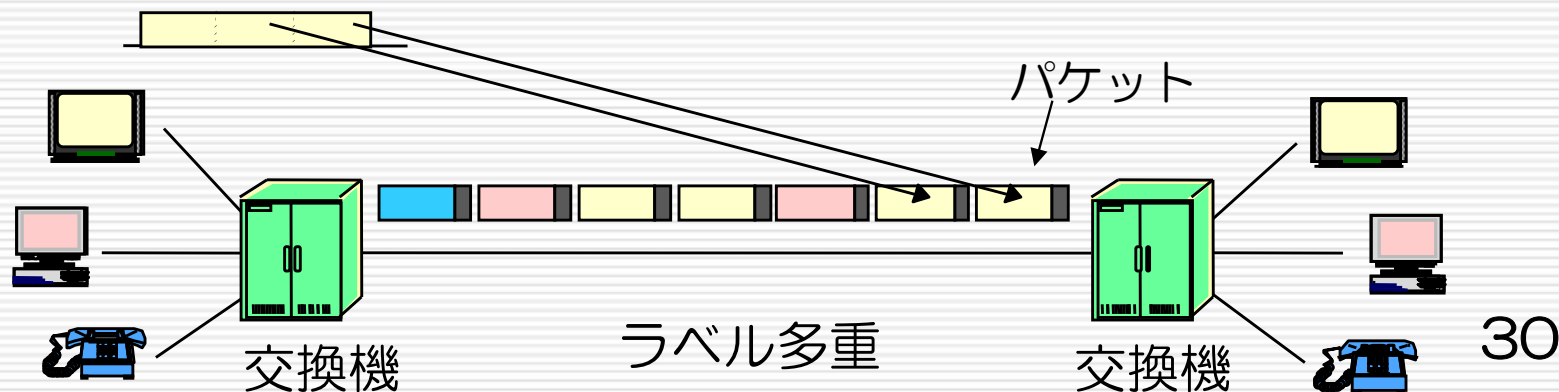
□ 時分割多重

- フレーム信号からの相対時間位置で通信を識別
- チャンネル速度は一定



□ ラベル多重

- 情報ブロックにラベルを付与して通信を識別
- チャンネル速度は任意 (パケット長、パケット数/秒)

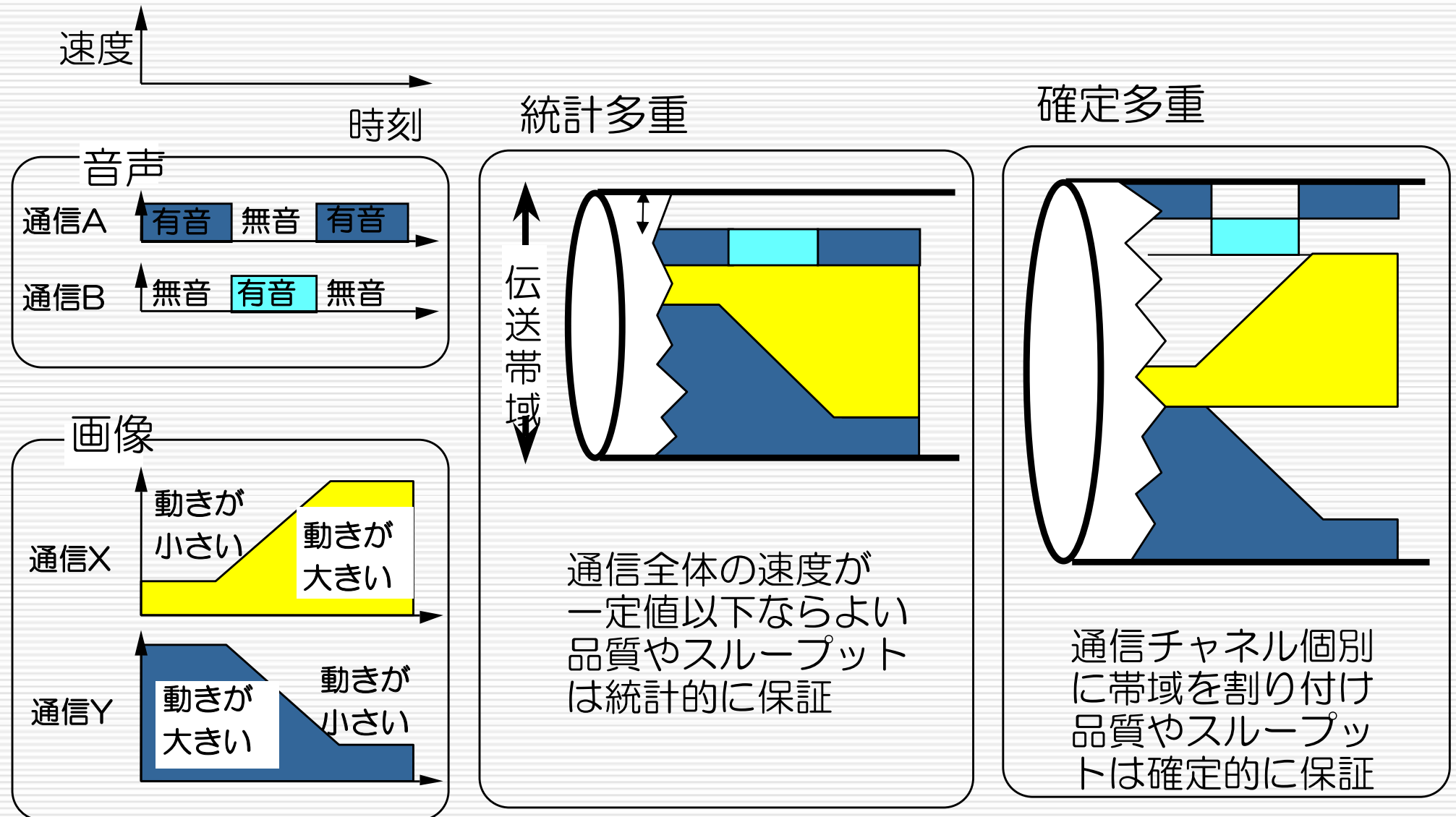


統計多重と確定多重の比較

- 確定多重
 - 個々の通信のピーク速度で帯域を割り付ける品質が保証される

- 統計多重
 - 多数の通信の合計速度が平均速度の和に近づくことを用いる方法。
 - 通信源の統計的な性質がわかる場合
 - 同時接続数、通信源の性質から品質を推定する
 - わからない場合
 - 品質を保証しない＝端末相互間のフロー制御
 - 観測データを用いる（短期／長期）
 - 網・端末間のフロー制御を用いる
 - 最低帯域保証を行う

(補足) 統計多重と確定多重の比較



(補足) 時分割多重とラベル多重の比較

	時分割多重	ラベル多重
通信速度 種別	基本速度のN倍 例：(N×64) kbps	原理的には、回線速度以下の任意の速度
遅延時間 (伝播遅延を除く)	$125 \mu s \times M_1$	$\frac{\text{パケット長}}{\text{回線速度}} \times M_2$
ヘッダオーバーヘッド	0	$\frac{\text{ヘッダ長}}{\text{パケット長} + \text{ヘッダ長}}$
QoS (品質)	保証	保証／ベストエフォート 双方可能

ネットワーク分類—コネクション型とコネクションレス型

□ コネクション型

- 個々の通信に対し、事前に接続処理を行う
 - 物理コネクションを設定する：回線交換
 - 論理コネクションを設定する：X.25、FR、ATM
 - （コネクションIDの名称）（LCN）（DLCI）（VPI/VCI）

□ コネクションレス型

- 接続処理を行わずに、データパケットのヘッダ情報でルーティングする方式
- ルートがわからなければルートを検索してパケットを届ける。

□ コネクション型の利点と欠点

- 利点
 - 品質（帯域）の保証
 - 保守の容易性（イメージが湧きやすい）
- 欠点
 - コネクション設定遅延
 - 処理コスト

SVCとPVC

- コネクション設定の契機により分類
 - SVC(Switched Virtual Connection)
 - PVC(Permanent Virtual Connection)

- 回線型ネットワーク
 - 交換接続：不特定多数との通信を行う場合
 - (SVC) 利用時間が短い場合
 - 専用線：特定相手と常時通信を行う場合
 - (PVC) ISP、企業ネットワーク（ルータ／PBX間の回線として）センター・エンド型システム

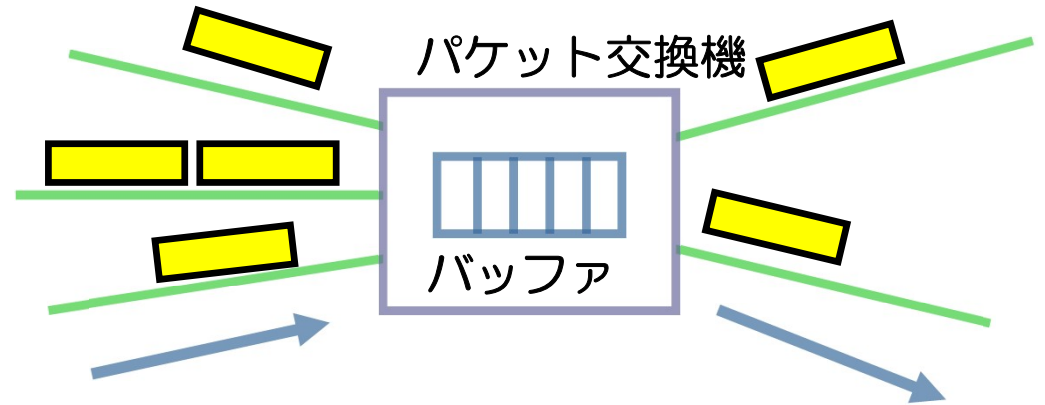
- パケット型ネットワーク
 - X.25パケット網でSVCが利用されているのを除き、PVCが中心。
 - ルータ／PBXと組み合わせて利用される。
 - 第3世代移動通信（W-CDMA）ではSVC。

ネットワーク技術の基礎

パケット交換システム

パケット交換の原理

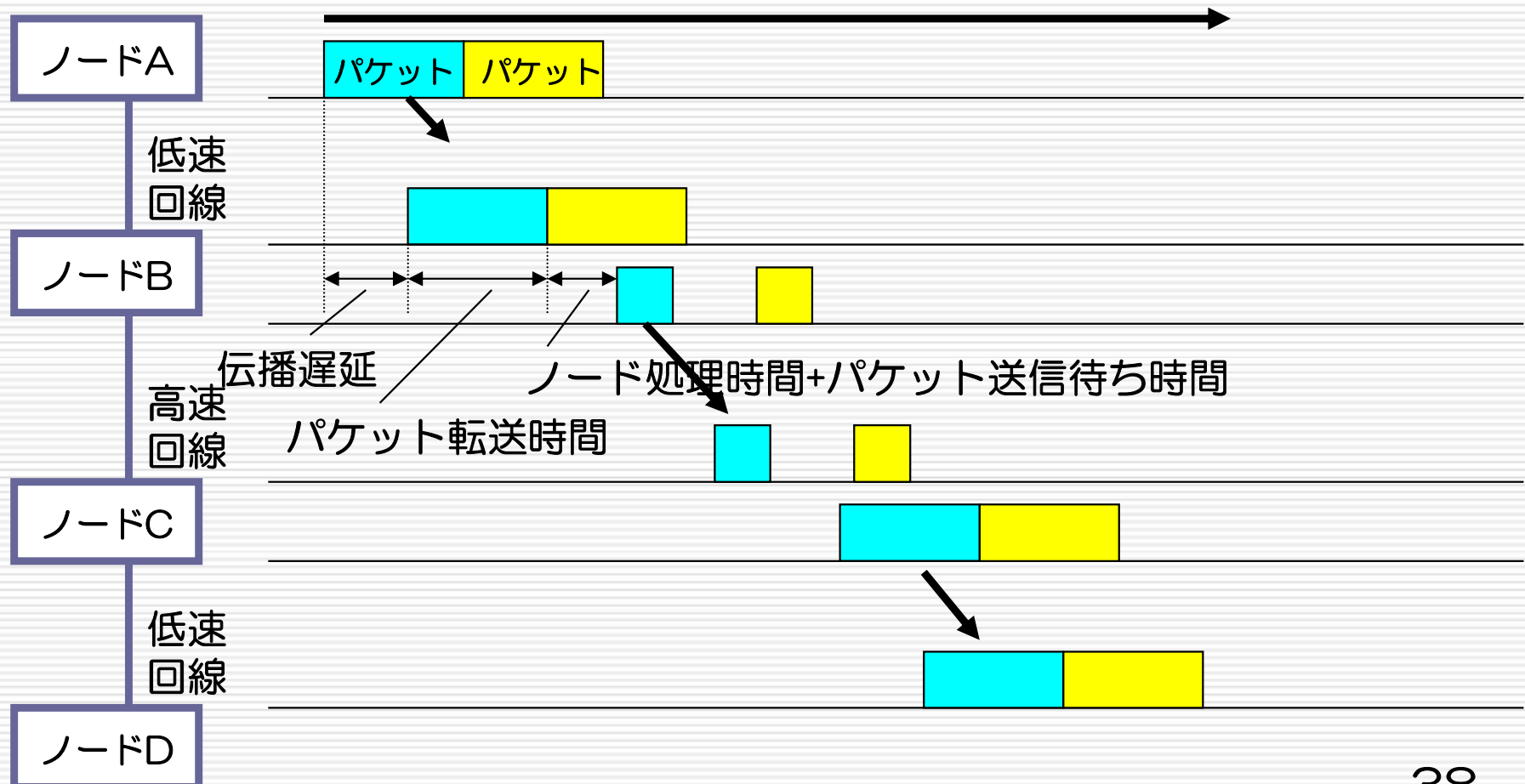
- パケット交換機
 - バッファ（メモリ）
 - CPU
 - 複数のインターフェース
- store and forward switching方式（蓄積交換方式）
 - パケットを受信したら一旦バッファ（メモリ）に蓄積、順番に呼び出して相手先の方路となるインターフェイスに送信
- 特徴
 - 多重化が容易で経済的
 - 通信速度が異なる回線の接続が容易
- 性能的特徴
 - パケットが集中するとバッファで待ちが発生し遅延時間が増大
 - パケットが集中するとバッファが溢れてパケットが廃棄される可能性



パケット網の遅延時間

□ パケット網の遅延時間要素

- 信号伝播遅延、パケット転送時間、ノード処理時間、パケット送信待ち時間



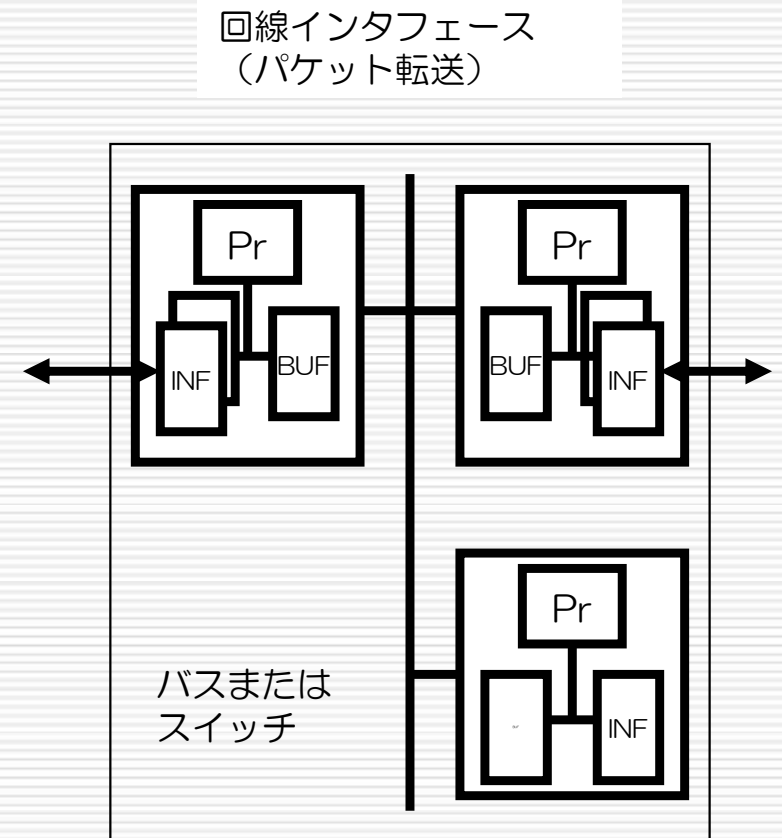
(補足) パケット網の遅延時間

- パケット網の遅延時間要素
 - 信号伝播遅延、パケット転送時間、ノード処理時間、パケット送信待ち時間
- 信号伝播遅延
 - 距離に依存。伝送媒体(誘電率)ごと異なる。回線速度に非依存
- パケット転送時間
 - $\text{パケット長 (ビット)} / \text{回線速度 (bps)}$
 - 入出力回線速度が異なったり、パケットを受信し終わらないと誤りが無いことが確認できないことが多いため、次リンクに送信できない。
- ノード処理時間 (処理待ち時間を含む)
 - 処理待ち時間は、処理負荷 (パケット数/秒) に依存
 - アーキテクチャにより異なる。
 - ハードウェアとソフトウェアの機能分担、ソフトウェアの実行形態 (割り込みによるシングルスレッド処理/周期起動プログラムによる多重処理) 等が主な要因。
- パケット送信待ち時間
 - $\text{パケット転送時間} \times \text{負荷 (パケット数} \times \text{パケット長/秒)}$ 、到着分布、送信規律 (優先制御/帯域制御) により決まる。

(補足)パケットノードの処理時間

- 単純・定型的なパケット転送処理と、機能の複雑なルーティング・コネクション設定処理に分けられることが多い。
- インタフェスハードウェアの処理時間は短い
- インタフェスプロセッサの処理時間：
 - 複雑なプロトコル処理を多重処理で行う場合は、プログラムのステップ数、プログラム間の処理待ち時間がかかる。
- バス・スイッチ転送時間
 - 個々の回線よりもスループットが大きく、支配項にならない

⇒ パケットノードの内部構造や処理方式により異なる



システム管理
(コネクション、
ルーティング)

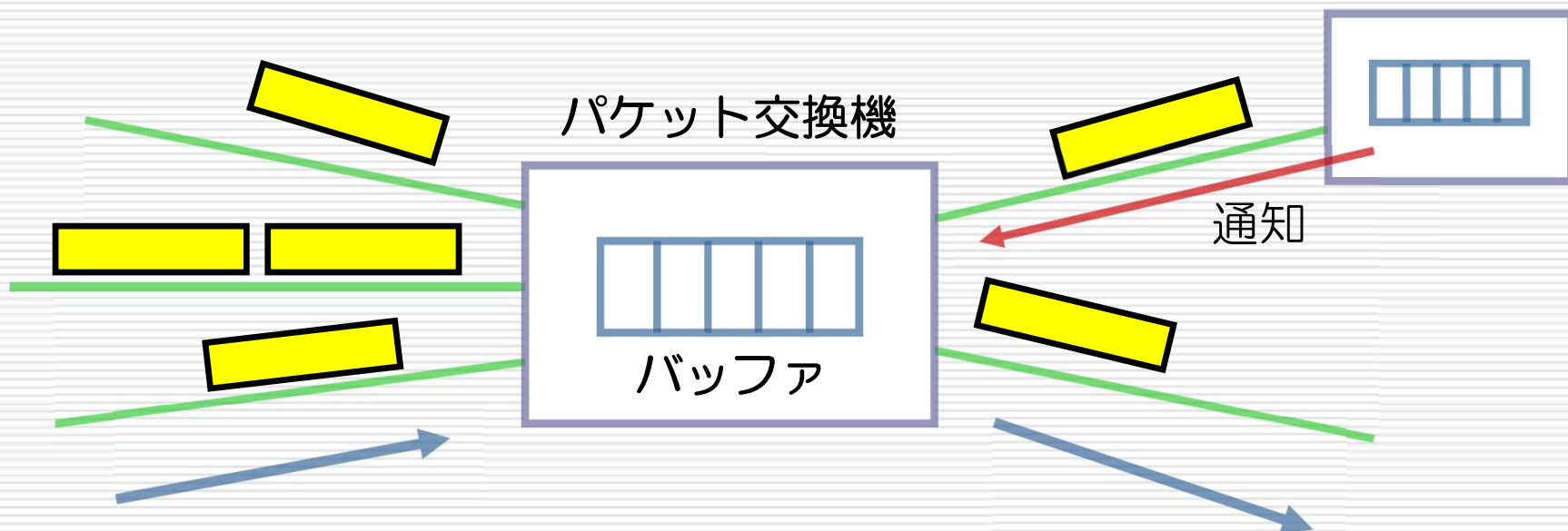
(補足)会話型ストリームに対するパケット網の遅延時間

- パケット組み立て時間＝パケット長／符号化速度
 - 64kbps符号化音声は48バイトで6m s
 - 8kbps符号化音声は10バイトで10m s

- 低速度の音声は短パケット化しないと、パケット組み立て遅延が増大
 - VoIP : 64kbps符号化
低速度符号化でヘッダ圧縮
 - W-CDMA : 複合パケット (ATMのAAL 2) 化

パケット交換のトラヒック制御

- トラヒックが集中すると遅延が増大、パケットが廃棄されることもあり
- フロー制御
 - 受信側ノードの通信状況に応じて、送信停止や速度制限などの調整
- ふくそう制御
 - ネットワークの混雑状況に応じて、送信停止や速度制限などの調整



パケット交換を用いるネットワーク例

- TCP/IPネットワーク（インターネット）
- イーサネット（LAN）
- IEEE802.11（無線LAN）
- X.25
- ATM（Asynchronous Transfer Mode）
- フレームリレー
- PON（Passive Optical Network）
-



具体例：TCP/IPネットワーク

- TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
- インターネットを利用
- コネクションレス
 - ホップバイホップの経路制御
- パケット交換
 - IPパケットごとに転送される
 - IPパケットは可変長
- IPネットワークそのものはベストエフォート
 - 途中でパケットがロスするかも

