

高速ネットワーク技術とネットワーク構築

山口 英

奈良先端科学技術大学院大学

このチュートリアルについて

- 目的
 - 高速ネットワーク環境を実現する新たな技術を概観し、ネットワークデザインや運用に対するインパクトについて、オペレータからの視点で解説する。
- 注意
 - 具体的な製品の取り扱い方法は解説しません

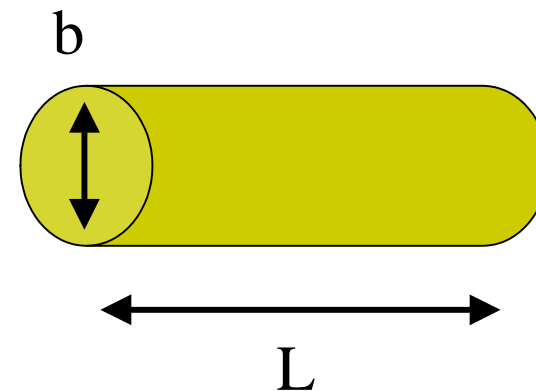
概要

- 現在利用可能な技術の概観
- ネットワーク構築に対するインパクト
- 将来的な展望

1.高速ネットワークとは

高速ネットワークと広帯域ネットワーク

- 遅延と帯域の関係
 - 仮定：負荷一定
 - 或る程度までは、帯域が大きくなれば遅延が減少
 - 通信媒体への送出待ち時間が大きい
 - 「高速ネットワーク」
 - それ以上の帯域では、遅延時間は改善しない
 - 通信媒体への送出待ち時間が減少
 - 伝送遅延は伝送媒体内の伝播速度と、通信距離によって決定

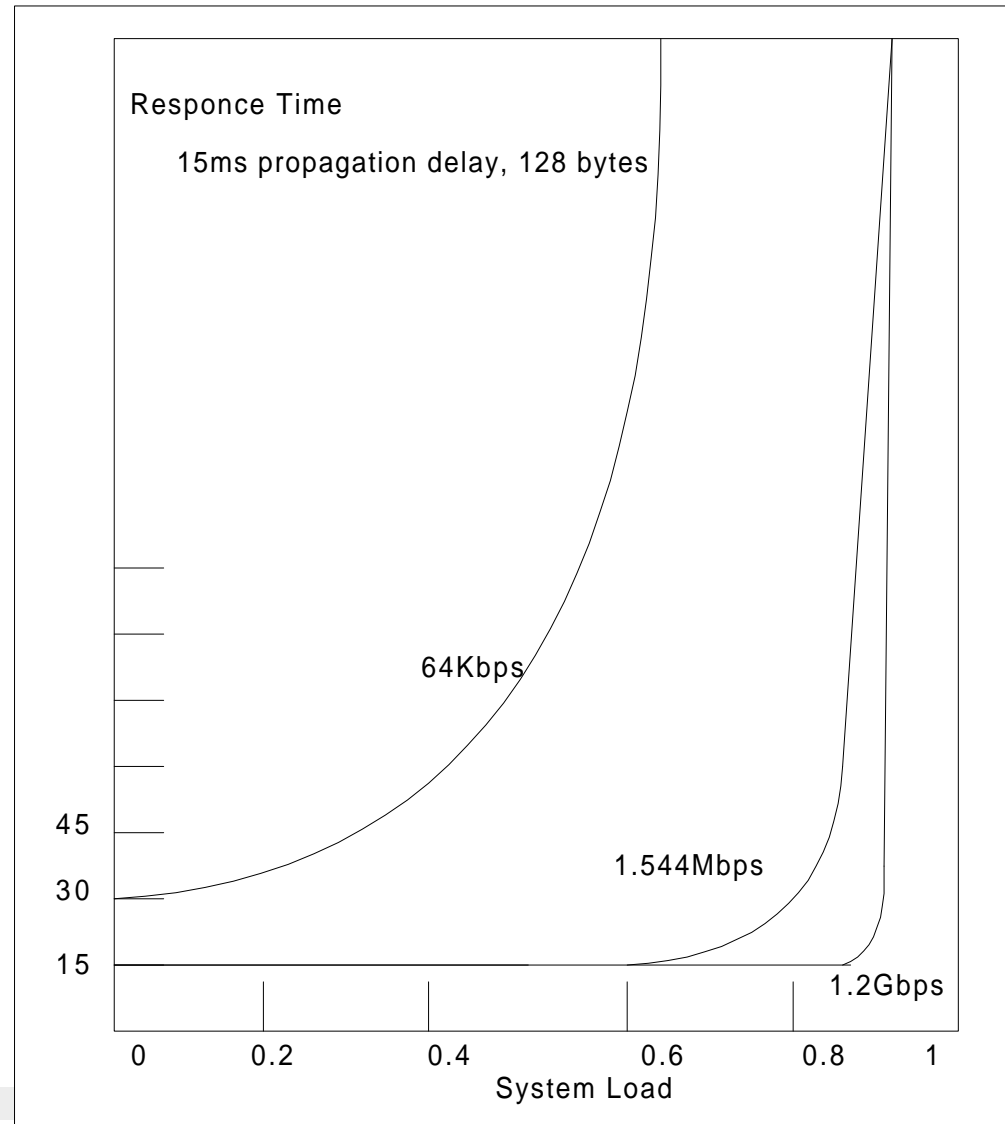


b: 帯域
L: 伝送距離

高速ネットワークと広帯域ネットワーク

- 負荷と遅延の関係
 - 帯域が広いと、負荷が高くなっても遅延時間の劣化が発生しにくい
 - 帯域が広いほど、遅延時間の変動が少ない
- 簡単に言えば...
 - 広帯域化は単純には高速化につながらない
 - 広帯域化によって性能的に安定性の高いネットワークを構成することが可能
 - 遅延変動の少ないネットワーク

高速ネットワークと広帯域ネットワーク



高速ネットワークの分類

- 多くの視点が存在
 - 伝送帯域
 - 1Mbps / 10Mbps / 100Mbps / 1Gbps
 - カバー範囲(ノード間距離)
 - 100m以下 / 2Km以下 / 10Km以下 / それ以上
 - 伝送媒体
 - UTP / 光ファイバ / 空間
 - 伝送形態
 - ベースバンド伝送 / 多重化伝送
 - 標準化動向

適用領域

- Local Area Network (LAN)
 - 従来のLAN環境
- Campus Network
 - 基本的に建屋間も含めたLANの集合体
- Home Network
 - 家庭でのネットワーク環境
- Wireless LAN
 - 独自構築が可能な無線網
- Metropolitan Area Network (MAN)
 - 地理的に限定された地域での高速ネットワーク技術
- Wide Area Network (WAN)
 - 電気通信事業者によって提供される広域網
- Wireless WAN
 - 電気通信事業者によって提供される無線通信網

伝送媒体

- UTP/CAT5
 - Unshielded Twisted-Pair cable
 - CAteGory 5
 - 一般的に使われているネットワークケーブル
 - Ethernet (10BaseT, 100BaseT)
 - ATM
- 光ファイバ
 - Optical Fiber Cable
 - 種類がたくさんある
 - マルチモードファイバ (MMF) / シングルモードファイバ (SMF)
 - ファイバ径
 - 光伝送特性
 - コネクタ形状
 - 先端加工形状

伝送媒体

- 特別なケーブルを利用
 - 規格で専用ケーブルを定義している場合ある
 - HIPPI, IEEE1394
- 無線通信
 - 電波を利用する場合
 - レーザー光を利用する場合

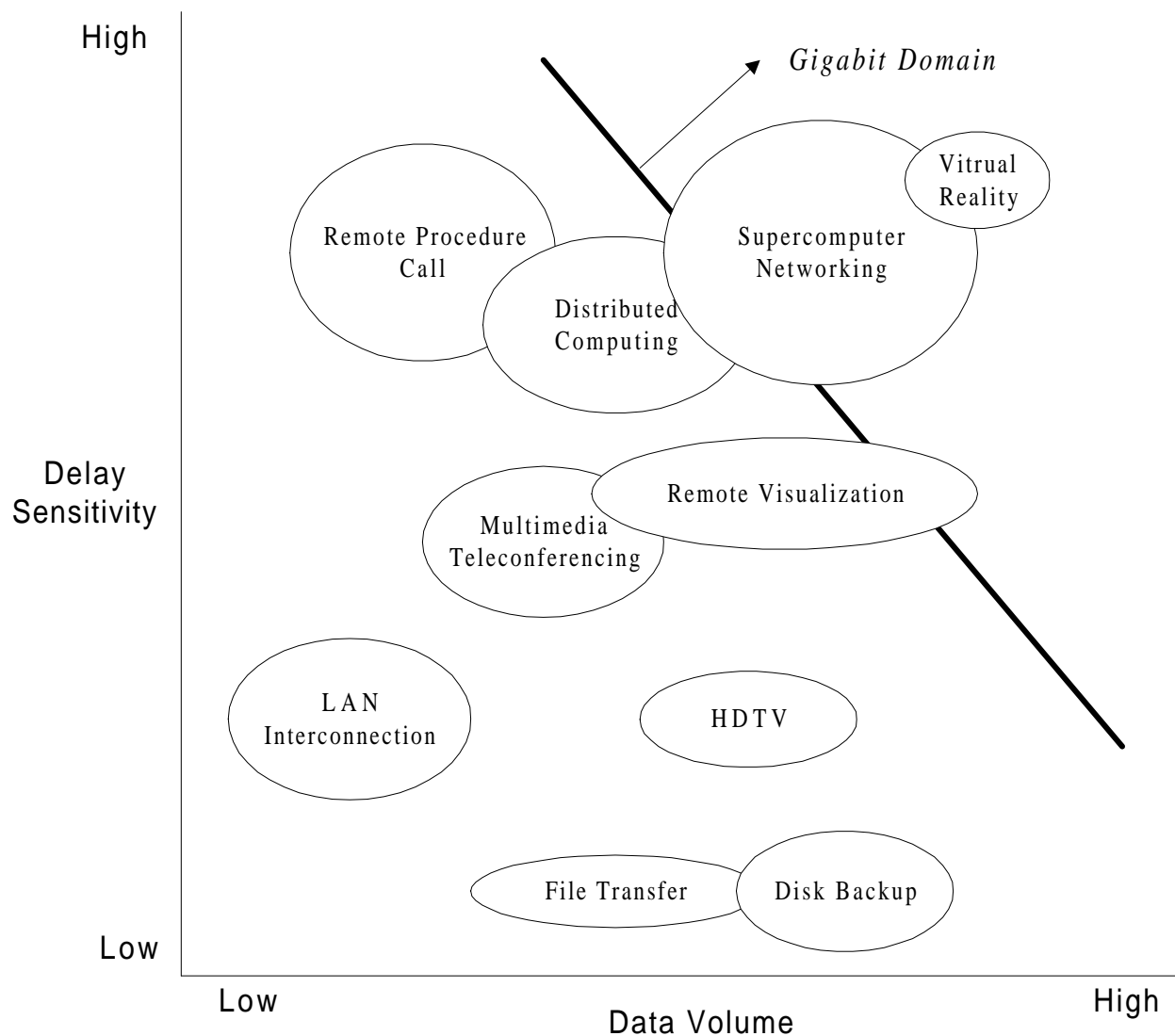
高速ネットワーク環境の目的

- ゆるやかな共有環境
 - 情報資源の共有 (WWW, 電子メール etc)
 - 環境の大規模化に対応するため
- 緊密な共有環境
 - ファイルやディスクの共有
 - プリンタなどの周辺機器の共有
 - コンピュータ内部機構の仮想的な拡張
 - ディスクアクセスの拡張
 - I/Oの拡張
 - バスと同程度の広帯域性を持ったネットワークを要求

高速ネットワークの目的

- 環境の大規模化
 - バックボーン技術としての広帯域ネットワーク
 - LANからWANまでの技術を対象
 - 緩やかな技術的要求
 - 状況や環境によって要求が異なる
 - 総合的な視野で技術を取捨選択
- システムの仮想的な拡張
 - 緊密なシステム構成で利用
 - 厳しい技術的要求
 - 特定の性能を引き出すために要求される性能が存在
 - 大規模化、広域化は考えられない

高速ネットワークの目的



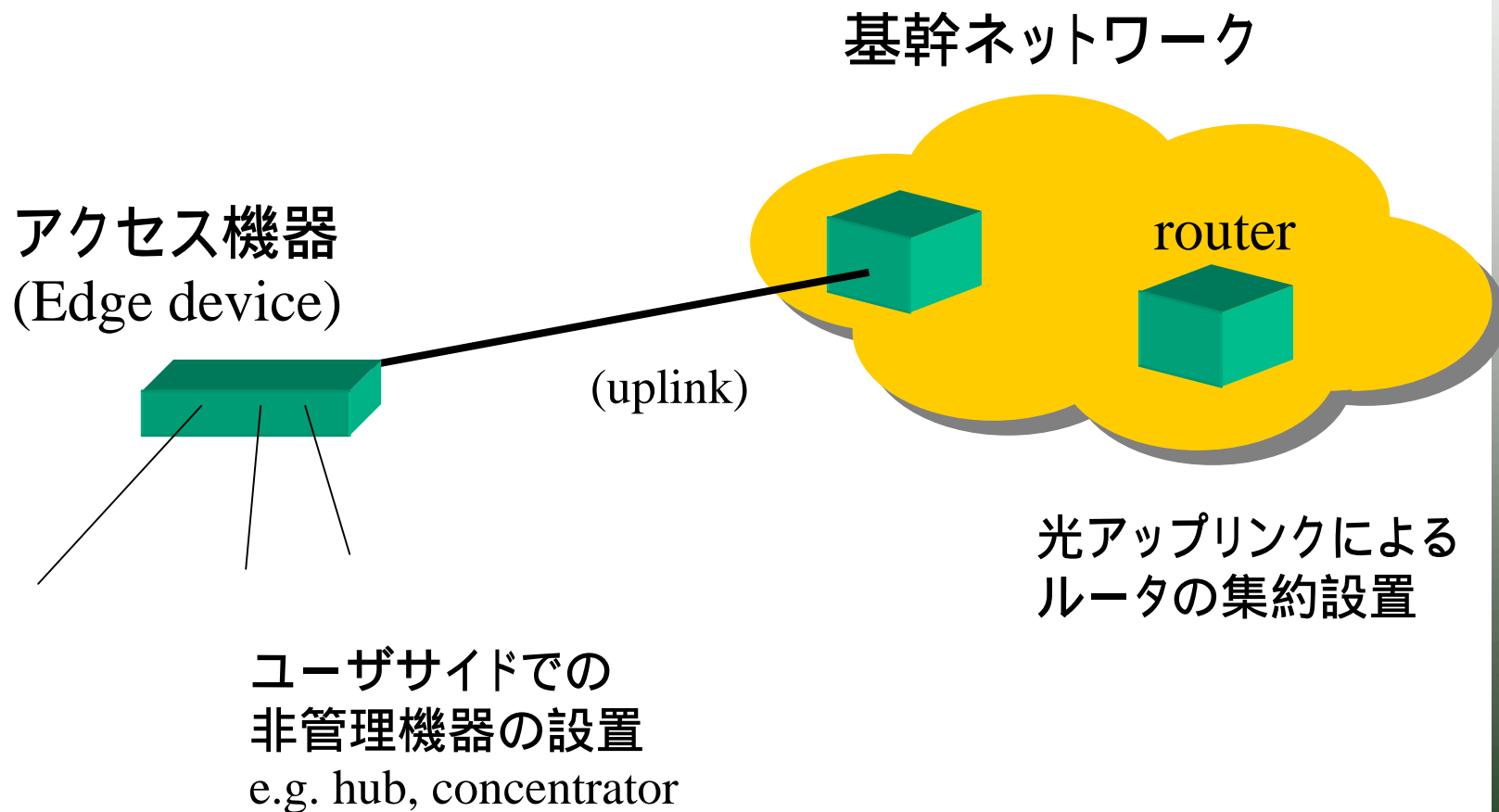
高速ネットワークを取り巻く状況の変化

- 1 . スター型ネットワーク構成の一般化
- 2 . IP (Internet Protocol) による統合
- 3 . サーバ集約が加速
- 4 . 各階層での高速化技術の広がり
- 5 . 高性能クライアントシステムの一般化

スター型配線の一般化

- 物理的な構築方法の急激な変化
 - スター型のケーブル敷設
 - 10BaseTの一般化が一番大きな原因
 - ハブ・スイッチといった集線型機器の一般化
 - ファイバの敷設もスター型
 - ネットワーク機器の集中管理
 - ルータは計算機室に
 - アクセス機器 (edge device) は利用個所に
 - 非管理機器と管理機器の明確なすみわけ
 - ATMによる物理網と仮想網の切り分け
 - 結果として階層化されたネットワークが出現

スター型ネットワーク構築



配線システムの利用拡大

- 統合配線システムの利用
 - パッチパネルを利用した結合の自由度アップ
 - 19inch ラックの利用
 - Wiring Closet
 - 非管理機器と同居
 - 簡単にファイバを収容
 - 光パッチパネル
 - ラック内終端処理
- 光ファイバケーブルとUTP/CAT5ケーブルの利用の急激な拡大
 - LANはUTP/CAT5で構成
 - 大抵のLAN技術はUTP/CAT5が利用可能
 - 建屋内・建屋間の接続での光ファイバ利用
 - 光ファイバの設置コストの低下
 - 特に端点処理やコネクタ

マルチプロトコル環境の絶滅

- バックボーンレベルでのプロトコル
 - IP (Internet Protocol) だけの運用で十分
 - トンネリング技術
 - 他のプロトコル (AppleTalk, MS-Net, Netware, SNA) のアプリケーションプロトコル化
 - IPのパケットがデータを運ぶ
 - IPだけを前提にした技術の投入
 - Label Switching Technology
 - Layer 3 switching
 - e.g. IP switch, CSR
 - 安価なシングルプロトコルルータ
 - “IP only” ルータの利用

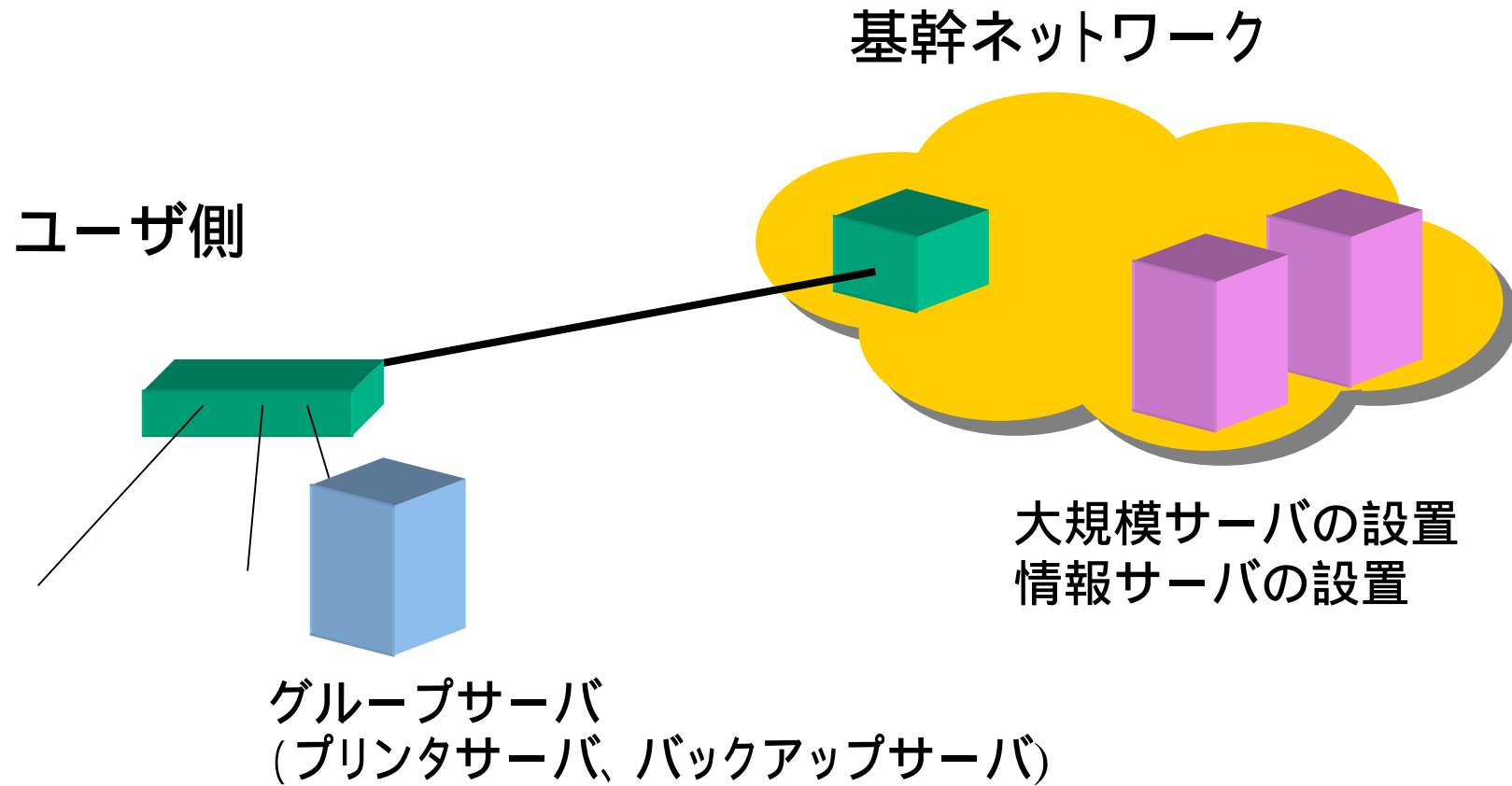
マルチプロトコル環境の絶滅

- システム構築が(ちょっとだけ)安価に可能
 - 特にマルチプロトコルブリッジを廃絶できる
 - AppleTalk / EtherTalk bridge (Cameroon など)
 - ルーティングソフトウェアの要求が少なくなるため、メモリなどが少なくて済む場合もある
 - IP スタック + IGPのみなのでメモリ要求量が減る
 - ルータのメモリはまだまだ高い
 - 安価なルータソフトウェア・パッケージ

サーバの集約

- サーバシステムの順調な導入
 - 大規模サーバの運用
 - 大規模なストレージの提供
 - バックボーン直結
 - 複数の部門にまたがるサービスの提供
 - メールサーバ
 - WWWサーバ、DBサーバ
 - ユーザ側でのサーバの運用
 - プリンタサーバ
 - バックアップサーバ
 - ファイルサーバになることも多い

サーバの集約



高速化技術の広がり

- Layer 2 スイッチ
 - Router はより少なく
 - Router がボトルネックになることが多い
 - Packet Forwarding Performance はやはり低い
 - 高速接続は Switch で
 - ATM, FDDI, Ethernet (10, 100, G)
 - 物理的な接続とネットワークの構成はスイッチで制御
 - ATM の場合には LAN Emulation の技法を使って物理網と実際の運用網を分離
 - よりフラットな接続

高速化技術の広がり

- Layer 3スイッチ
 - より高速なルータを目指して
 - ハードウェアスイッチ
 - 経路情報管理とパケット転送機能の完全な分離
 - パケット転送機能のハードウェア化
 - Layer 2 スイッチ技術の応用
 - 低遅延性の確保
 - 経路情報管理用カスタムLSIの登場
 - 高速検索ハードウェア

2. 高速ネットワーク技術

Ethernet

- CSMA/CDに基づくLAN技術
- IEEE802.3として標準化
 - 10Mbps, ベースバンド転送
 - 1500octet MTU
 - 最初はバス型LANとして設計・開発
 - 同軸ケーブルとトランシーバの利用
 - 10Base5, 10Base2
- UTPケーブルを利用した10BaseT技術の登場
 - スター型配線の始まり
 - ハブ、スイッチなどの技術の登場

Fast Ethernet

- 100MbpsのEthernet
- 伝送媒体は UTP/CAT5 および光ファイバ
- 10Mbps Ethernet環境から直接移行可能
- Bidirectional 100BaseT
 - 双方向データ伝送による広帯域化
- Auto-sense / Auto-negotiation
 - 接続端末との接続形態の自動設定
 - 10BaseT/100BaseT, Unidirectional / Bidirectional
 - 相互操作性の問題はほぼ解決

Gigabit Ethernet (IEEE802.3z)

- 1Gbps
- 双方向データチャネル技術を利用
 - 片チャンネル 1Gbps
 - 全二重
- 伝送媒体は光ファイバ
 - 1000Base-SX (短波長), 1000Base-LX (長波長)
- 現時点での製品は IEEE802.3zに準拠するものが大多数
 - 相互操作性の確保が着実に進む
 - NIC、スイッチ共に幅広く提供される

Gigabit Ethernet (IEEE802.3ab)

- 新たな Gigabit Ethernet の標準化規格
- 1000Base-Tの追加

Gigabit Ethernet

- 課題

- 相互操作性の問題は依然として存在
 - 基本的に同一ベンダのシステムで構成することで問題回避
 - 問題は急速に解決されると期待
- 光ファイバ問題
 - 長波長・短波長インタフェースが存在
 - 光ファイバを選ぶ
 - 既存のファイバを利用する場合には、必ずファイバの光特性を確認し、ベンダと相談をすること

Ethernet 技術比較

	Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet
Data Rate	10Mbps	100Mbps	1Gbps
CAT 5 UTP	100m	100m	100m
STP/Coax	500m	100m	25m
Multi-mode Fiber	2Km	412m (hd*) 2Km (fd*)	550m
Single-mode Fiber	25Km	20Km	5Km

*IEEE half duplex/full duplex

注) IEEE 802.3z

Ethernet Familyの強さ

- Fast Ethernet が急速に広がる
 - 10BaseTからの以降が簡単
 - 数多くのプロダクトが安価に提供
 - 10BaseTのためのケーブル基盤を大体利用可能
 - システムにも標準で搭載されはじめている
- 特別な網管理が必要無い
 - 「させば動く」技術は強い
 - ATMとの最大の違い

FDDI

- Fiber Distributed Data Interface
- 100Mbps
- 二重リング型ネットワーク
 - トークンパス方式
 - 対故障性を考慮した二重化リング
- FDDIスイッチの登場
 - Cabletron Systems: GigaSwitch
 - Full-duplex FDDI (200Mbpsチャンネル)

FDDI

- 長所
 - 安定した技術
 - FDDIスイッチのマルチリンク機能で広帯域バックボーンを構成可能
 - Full-duplex FDDI 4 channel: 800Mbps のバックボーン
- 短所
 - FDDIインタフェースが高価
 - サポートが減りつつある

ATM

- ATM: Asynchronous Transfer Mode
- 53octetの固定長セル (cell) を交換する高速伝送
 - ハードウェア実装に基づく cut-through 交換
 - 低遅延伝送
- パケット交換と回線交換の両方の特徴を併せ持つことが可能
 - VP (Virtual Path) と VC (Virtual Circuit)
 - ATM Adaptation Layer (AAL) によるサービス定義

ATMの基盤伝送路

- 光ファイバ網を基盤とする高速同期伝送路
 - SONET (Synchronous Optical Network)
 - 電話会社が用いるデジタル光伝送網での基盤技術
 - OC (Optical Carrier level)
 - OC-3 155.52Mbps
 - OC-12 622.08Mbps
 - OC-24 1244.16Mbps
 - OC-48 2488.32Mbps
- 近年の高速化が著しい
 - OC-3から OC-12, OC-48 へ

ATM Adaptation Layer (AAL)

- ATM網の利用目的に対して定義されるインタフェース層
 - AAL1
 - 固定ビットレート伝送 (例えば画像伝送)
 - AAL3/4
 - パケット伝送をモデル化
 - 現在では殆ど使われない
 - AAL5
 - ATM Forum によるパケット伝送モデル
 - 現在のATMコンピュータネットワークではAAL5を利用

ATMの回線サービスモデル

- PVC (Permanent Virtual Circuit)
 - 固定的なVC設定
 - 単純な運用での利用
- SVC (Switched Virtual Circuit)
 - 動的なVC設定
 - LAN Emulation などで利用

ATMの単純な利用形態

- PVCによる「針金」として利用
 - 物理的なネットワーク構成と独立した論理的な網設定
 - 光ファイバの敷設が制限されているときに、管理目的でVCを効果的に設定することが可能
- PVPの一般化
 - パスを固定的に設定
 - VCはユーザ側に解放して、利用目的に応じたVC設定を実施

ATM広域サービス

- NTT MegaLink サービスに代表される広域接続サービス
 - ATM専用線サービス
 - ATMの特性をかなり生かせる
 - 従来の専用回線費用よりビット単価が割安
 - 東京大阪 1.5Mbps SD の費用で 3Mbps ATMサービスが購入可能*
 - VCの利用によって、接続機器数を抑えることが可能
 - 1インタフェースで複数対地設定が可能
 - ただし、使用機材はちょっと割高
 - Single Mode Fiber インタフェースが必要
 - トラヒックシェーパ (traffic shaper) が必要

ATM LANE

- LAN Emulation
 - ATM網を用いてLANと同じ機能を持つ環境を構築
 - 基本的にSVCを利用
 - ネットワーク構成管理
 - ブロードキャストとマルチキャストのエミュレーション
 - ARPの解決
 - LANEサーバ
 - LECS (LAN Emulation Configuration Server)
 - LES (LAN Emulation Server)
 - BUS (Broadcast and Unknown Server)

ATM LANE

- LANEサーバ機能をATMスイッチで提供
 - 現在の多くの製品で実装
- 接続を簡単にするためにエッジデバイスの登場
 - LANE対応ハブ
 - uplink にATMを利用
 - client サイドには Ethernet ポートを複数提供
 - LANEの機能を実装し、簡単にLANEを利用可能

ATM LANE

- 問題点
 - 処理オーバーヘッドが大きい
 - 20%程度の帯域劣化は覚悟して設計することが必要
 - 仮想網の管理のオーバーヘッド
 - 物理的な網と完全に独立してLANE環境は定義
 - 仮想網を沢山作ると管理は大変
 - LANE環境の管理は慎重かつ徹底して必要

ATM MPOA

- Multi-Protocol Over ATM
- ATMによるネットワーク環境構築の新たな技術
 - ATM Forumによる標準化
 - LANE環境と同じような環境を構築
 - より高速なデータ転送を実現
 - VC mapping と cut-through packet forwarding
 - NHRP (Next Hop Resolution Protocol)による経路確定
- MPOAの実装は着実に増加

HIPPI

- High Performance Parallel Interface
(ANSI X3T9.3/88)
- 周辺機器の高速接続用チャンネル技術
 - 800Mbps (32bit) / 1.6Gbps (64bit)
 - HIPPI-FP (framing protocol)
- HIPPI switchを用いた相互接続環境の実現
 - 高速ネットワークとしてスーパーコンピュータ・マーケットで広く導入
 - non-blocking switchの利用
 - 例えば Essential ESN-10000
 - <http://www.ods.com/>

HIPPI

- 2システムの直接接続は安価に利用可能
 - SGIなどではHIPPI直結での高速ネットワーク接続を実現 (800Mbps)
- スーパーコンピュータ市場では根強い人気
- 注意点
 - 標準ケーブルでは接続距離が短い (25m)
 - 光ファイバ接続による長距離化は可能 (10Km)
 - NICなどが高価
 - だがスーパーコンピュータを購入する層にとっては、もちろん安価に違いない :-)

GSN

- Gigabyte System Network
 - HIPPI-6400
 - SuperHIPPI
- HIPPIの後継標準
 - 6.4Gbps
 - error-free, flow controlled data channel
 - HIPPI-800のバックボーンとしての利用可能
 - transparent bridging
 - 標準化作業中 (1998年中には作業完了か)
 - ANSI X3T11

Fibre Channel

- HIPPIと同様に高速周辺機器チャネルとして開発
 - SCSIに代る高速チャネルとして、ディスクアレイ・インタフェースとして一般的に利用
 - 266Mbps (将来は800Mbpsまで拡張), 最大10Km
 - SAN (Storage Area Networking)
- ネットワークとしての利用技術も開発
 - 標準化作業が未完了
 - 相互接続性が確保できていない
 - Gigabit EthernetやHIPPIなどと比較して魅力が少ない
- 結果としてネットワークプロダクトはほぼ絶滅

Packet Over SONET

- SONETの直接利用
 - ATMなどで使われているSONET伝送網を直接利用してパケット交換を実現
 - PPP (Point-to-Point Protocol)をSONETに適用
 - RFC1619 “PPP over SONET/SDH”
 - FRC1662 “PPP in HDLC-like Framing”
 - PPPパケットを SONETフレームに直接格納して転送
- 主要なルータでの実装が存在
- 広域データ通信サービスの基盤技術として検討

Packet Over SONET

- LANとして利用することは可能か?
 - SONET/SDH網をローカルに構築することができれば基本的に利用可能
 - これまではSONET網構築には大型交換機で実現
 - 小型のSONET switch が必要
- 広域接続技術として利用可能か?
 - SONET/SDH網を提供する通信事業者があれば可能
 - 基幹網をそのまま提供することになるので、一般に実現は難しいと考えられている
 - POSサービスを構築する通信事業者が出てくれば別

Packet Over SONET

- 通信事業者が提供するバックボーンサービス構築に向けた技術開発が進む
 - SONET自体は通信事業者が元々構築していたデジタル交換網の基盤技術
 - 基盤技術をそのまま使うことができればメリット大
 - 網管理・サービス構成・性能管理が課題
- 関連技術開発
 - NTT光ネットワーク研究所によるMAPOS (multiple access protocol over SONET/SDH)の開発
 - RFC2171 - 2176

WDM

- Wave-Division Multiplex (波長多重)
 - 一本の光ファイバで波長の異なる複数の光信号を用いることで、物理媒体の変更無しに利用可能帯域を増加させる技術
 - 大規模ネットワークの広帯域化技術として注目
 - 小型のWDM装置も登場
 - Canoga WA-4 (<http://www.canoga.com/>)
 - CIENA (<http://www.ciena.com>)

ADSL

- Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)
- 既存のより対線を使った高速伝送技術
 - 数Kmの接続
 - 一方向であれば 数Mbps
 - 双方向であれば16~640Kbps
- SOHO高速接続技術として期待
- 現状で数多くの実装が登場

IEEE1394

- TVやVCRといったAV機器の相互接続のために開発された高速バス技術
 - 100 - 400 Mbps
- IEEE1394 Serial Bus 上にIPネットワークを構築するための技術開発がスタート
 - IETF ip1394 WG
- 現時点で試作システムが開発され始めている
- ホームネットワークの基盤技術として期待

無線通信

- Point-to-Point型であれば、高速接続装置が登場
 - 例えば、CANOBEAM
 - 標準伝送距離 2Km
 - インタフェース ATM(OC-3), FDDI, Fast Ethernet
 - レーザー光を使った伝送
 - 昨年の Internet Week 1997 でも利用
 - <http://www.canon.co.jp/>

無線通信

- Wireless Ethernet
 - Wireless LANとしては一番広く利用
 - 数百kbpsから3Mbps程度までの製品が多数
 - Lucent WaveLAN
 - Netwave Credit Card Netwave adapter
 - Solectek AIRLAN

無線通信

- 公衆網ではまだまだ遅い
 - 携帯電話: 9.6Kbps
 - PHS: 32Kbps
 - cdmaOne: 64Kbps
- 近い将来広帯域無線通信サービスが計画
 - IMT2000
 - International Mobile Telecommunications 2000
 - 最大2Mbpsの帯域を提供する公衆無線網
 - CDMA技術の利用が計画

3. Lessons so far...

ネットワーク構築の基本

- ユーザ側ネットワークは 100BaseTで構築するのが当然の状態に
 - UTP/CAT5によるケーブリングで無駄は発生しない
 - 10BaseTから100BaseTへの移行プレッシャーは自然と発生
 - ハブ・スイッチ共に急激に低価格化
 - PCやWSの標準Ethernetが 100BaseT

バックボーン技術

- 現状では FDDI, ATM, Gigabit Ethernet, HIPPIが利用可能
 - FDDIの場合は Switched FDDI を利用して、複数チャンネルを並列利用することで帯域確保
 - ATMの場合は、OC-12からOC-48の技術を利用
 - データリンクモデルとして classical IP over ATM (PVC), LANE, MPOAのどれを利用するかは課題
 - HIPPIでは、HIPPI switch を用いてスター型接続
 - ただし、HIPPI対応のルータは少ない
 - 高性能ホストのスター接続には魅力的

バックボーン技術

- 最近では Gigabit Ethernet が旬
 - 数多くの製品が投入
 - 価格も急激に低下
- FDDI でのバックボーン構築は安定していて魅力的だが、利用帯域増加が難しい
 - 製品が少ない
 - FDDI NIC から 100BaseT NIC へ急激に移行
- ATM はかなり安価な技術として魅力的
 - ただし、LANE や VLAN の管理はそれなりの設計を

バックボーン技術の利用

- 結局光ファイバをうまく敷設することが重要
 - 再利用可能な形で敷設
 - マルチモードファイバは安価だが広帯域化に問題発生有り
 - シングルモードファイバはインタフェースが高価
 - ネットワーク技術を横目で見ながら光ファイバ敷設を設計すべき
 - ファイバ敷設は簡単にできない
 - 十分な余裕を持ったファイバ数を
 - 最低必要数の2倍程度の敷設はコスト的に余り変わらない
 - ケーブル敷設情報の管理を的確に
 - 余っているファイバの発見を簡単にするために

WDMやPOSについて

- しばらくは様子を見るべき
 - どちらにしろユーザ側で気楽にLAN環境を構築できる技術ではない
 - LANでの利用が始まるにしても、その利用ニーズがあるかどうかを慎重に判断すべき

無線技術の利用

- Point-to-Point型ネットワークは魅力が多い
 - 特に光ファイバ敷設などの工事が不要
 - 工事が難しい環境では十分考慮すべき技術
- Wireless LANは mobile 環境構築に魅力
 - 年々低価格化
 - 多くのベンダから製品の提供
- 無線公衆網は当分狭い帯域しか利用できない
 - 最大でも 64Kbps 程度
 - アプリケーション環境への影響大

「新しい物好き」は幸せか

- 新しい技術を果敢にも大規模導入する例が数多く見られる
 - 確かに先行投資の意味もあるが....
 - 結局、問題点が「枯れてから」導入するほうがコスト的にも見合うことが多い
- 本当に新しい技術が必要かどうかの判断は重要
 - SOHO環境に Gigabit Ethernet を導入しますか?

ネットワーク環境の設計

- サーバやクライアントの性能を考慮しなければ、ネットワークだけを広帯域化しても無意味
 - どの程度の帯域消費が見込まれるか
 - サーバがボトルネックになっていないか
 - クライアントの台数の増加予測
 - サーバへのアクセス集中パターンの検討
 - サービス構成の変更とトラフィック変動

Appendix

On-line Resources

- ATM Forum
 - <http://www.atmforum.com/>
- Gigabit Ethernet Alliance
 - <http://www.gigabit-ethernet.org/>
- Fibre Channel Association
 - <http://www.fibrechannel.com/>
- High Performance Networking Forum
 - <http://www.hnf.org/>
- IETF home page
 - <http://www.ietf.org/>

On-line Resources

- ADSL Forum
 - <http://www.adsl.com/>