
ネットワークモデリングと それを用いたネットワーク通信量 評価

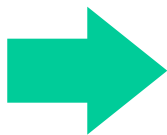
電子情報学専攻
内川・岡田研究室

石原 進

集中型情報処理教育施設

- 多数の登録利用者（数千人以上）
- 多数の同時利用者（数百人以上）
- 多数のワークステーション

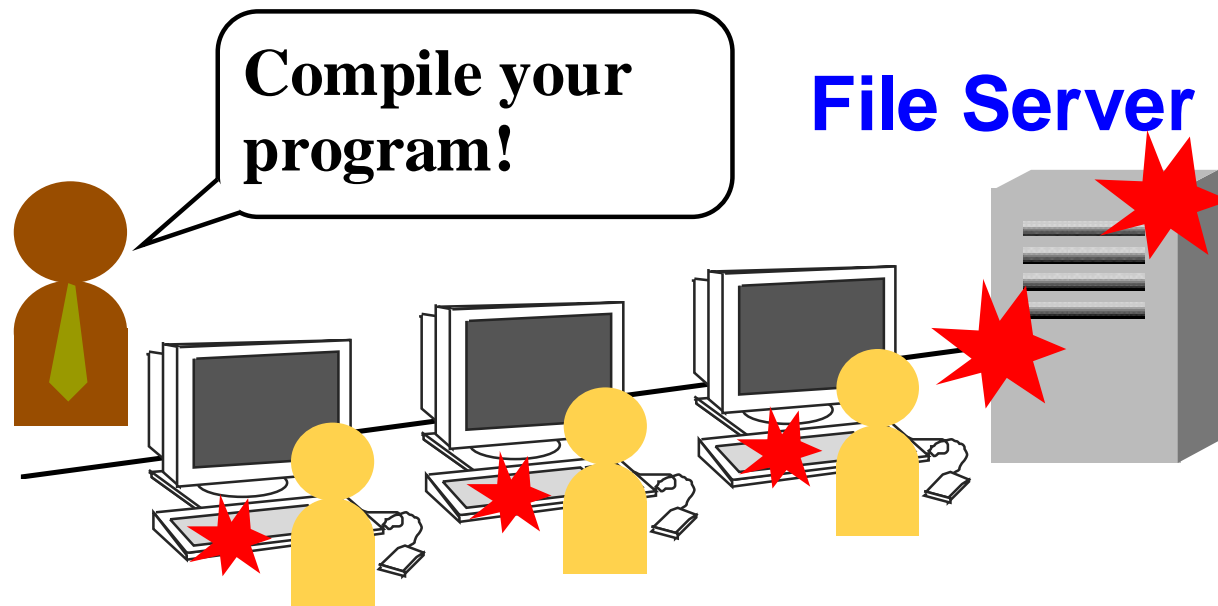
- 共通の利用環境の提供の必要性
- 管理の容易さ



分散ファイルシステムによる
ファイル管理

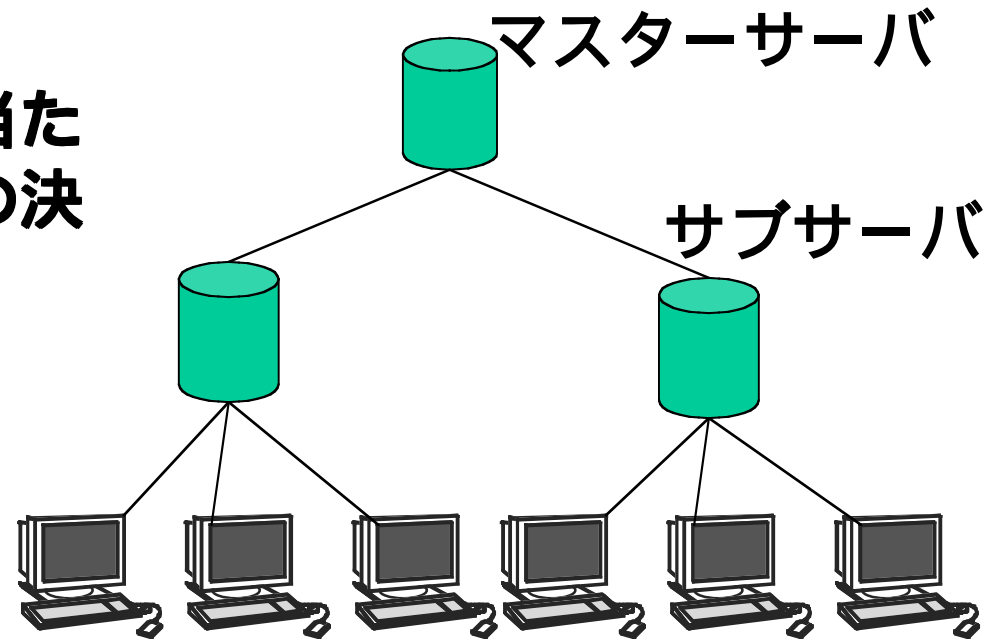
授業利用時のアクセス集中

- 「よーいどん！」でユーザ操作が集中
- 短時間に高い負荷集中
- 長いサーバ応答時間



階層化分散ファイルシステム

- サーバ負荷の分散
- ネットワーク負荷の分散
- サーバ, セグメント当たりのクライアント数の決定が重要



本研究の目的

- **教育用LANに適したLAN構成の検討**
- **ネットワークシミュレーションモデル**
- **可視化に適したネットワーク性能指標**

過渡的な負荷を持つ ネットワークのモデル化

ネットワークの性能評価

- **実システムの計測**

 - 正確

 - × 高コスト, 性能予測不可

- **解析的手法**

 - 低コスト, 高速

 - × 平均値のみ, モデル化の制限

- **シミュレーション**

 - 詳細なモデル化可能

 - × 高コスト, 低速

関連研究：ネットワーク性能評価

- **解析モデル**

- 待ち行列モデル [Murata]
- ペトリネットモデル [Ibe]

- **シミュレーション**

- ギガビット Ethernetの評価[Molle 97]
 - MAC (Ethernet)層以下のみ
- 現実のLANのパケット長分布測定値に基づくシミュレーション[Ishida 94]
- イベント予約による高速化[Marino]
- 端末のグループ化による高速化 [O'Reilly]
- Ns ネットワークシミュレータ[LBNL]

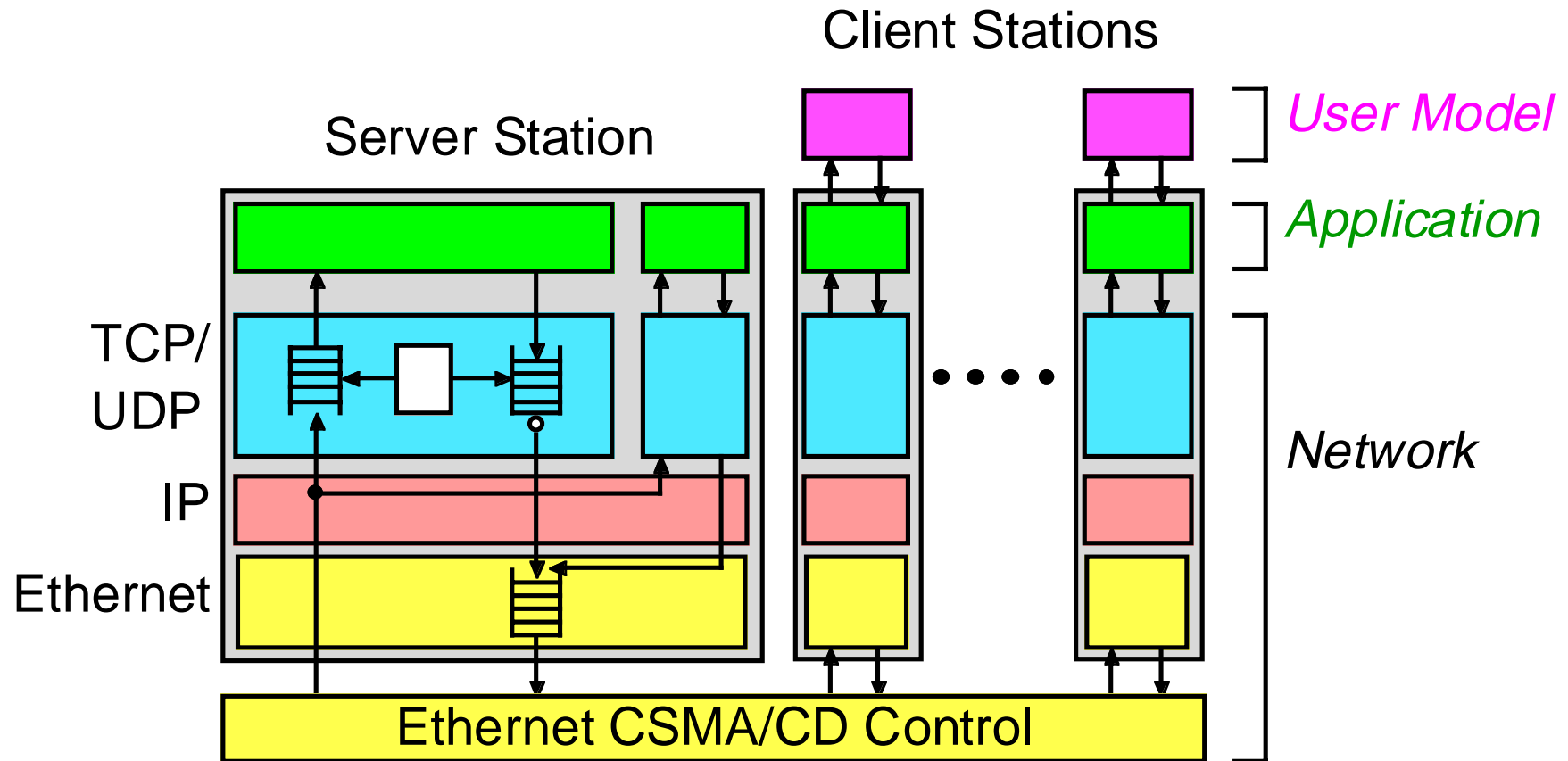
ネットワークシミュレータ *SimNET*

- イベント駆動シミュレーション
- 1層から7層までのプロトコルをカバー
 - Ethernetのケーブル, HUBの遅延
 - CSMA/CD の高速かつ正確な再現
 - すべてのパケット転送
 - NFS, TCPの再送制御
- ユーザ挙動モデル

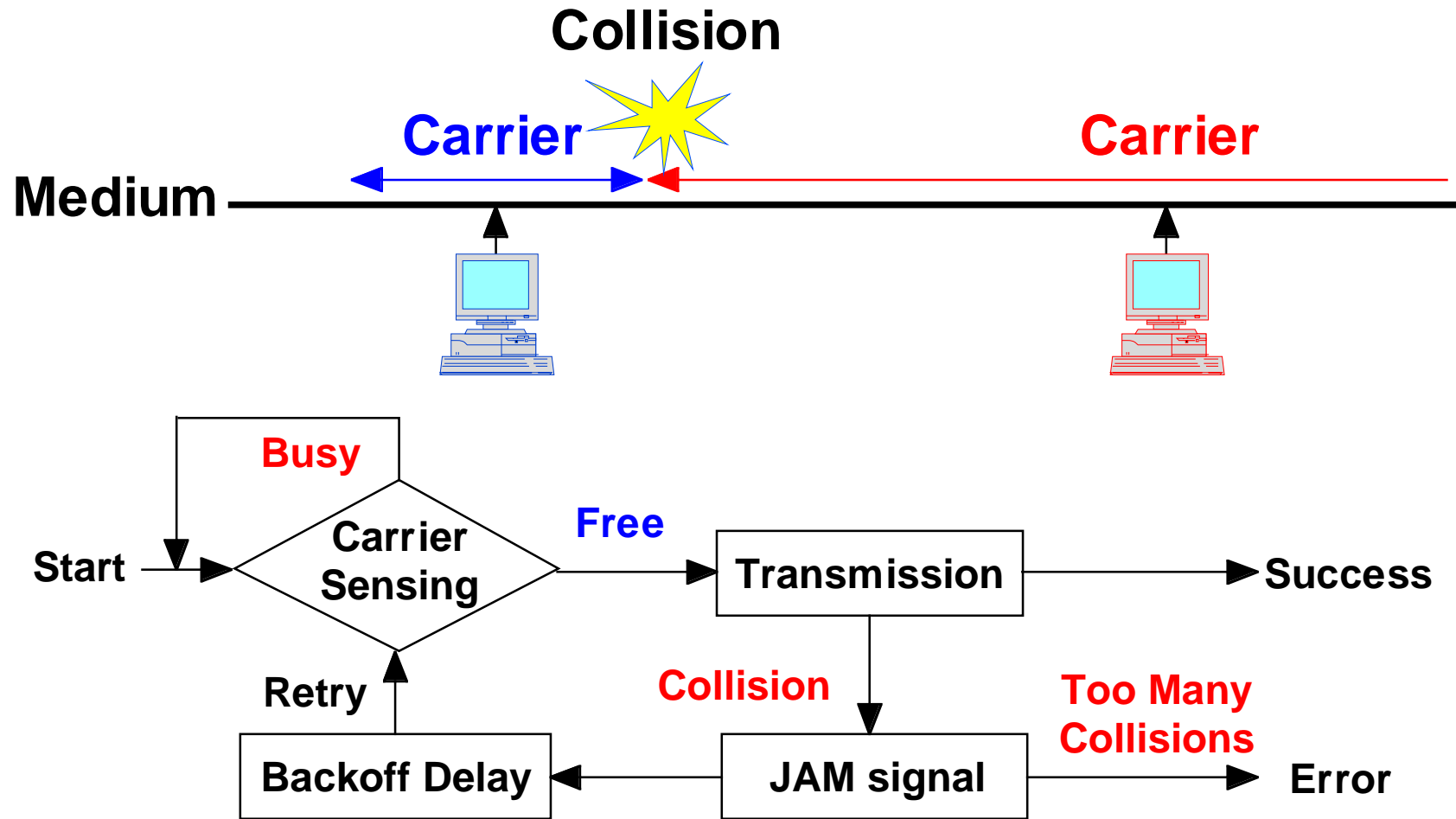
ネットワークプロトコル

7	アプリケーション層	FTP	NFS
6	プレゼンテーション層		XDR
5	セッション層		RPC
4	トランスポート層	TCP, UDP	
3	ネットワーク層	IP	
2	データリンク層	Ethernet	
1	物理層	UTP, 同軸ケーブル	

モデルの構成

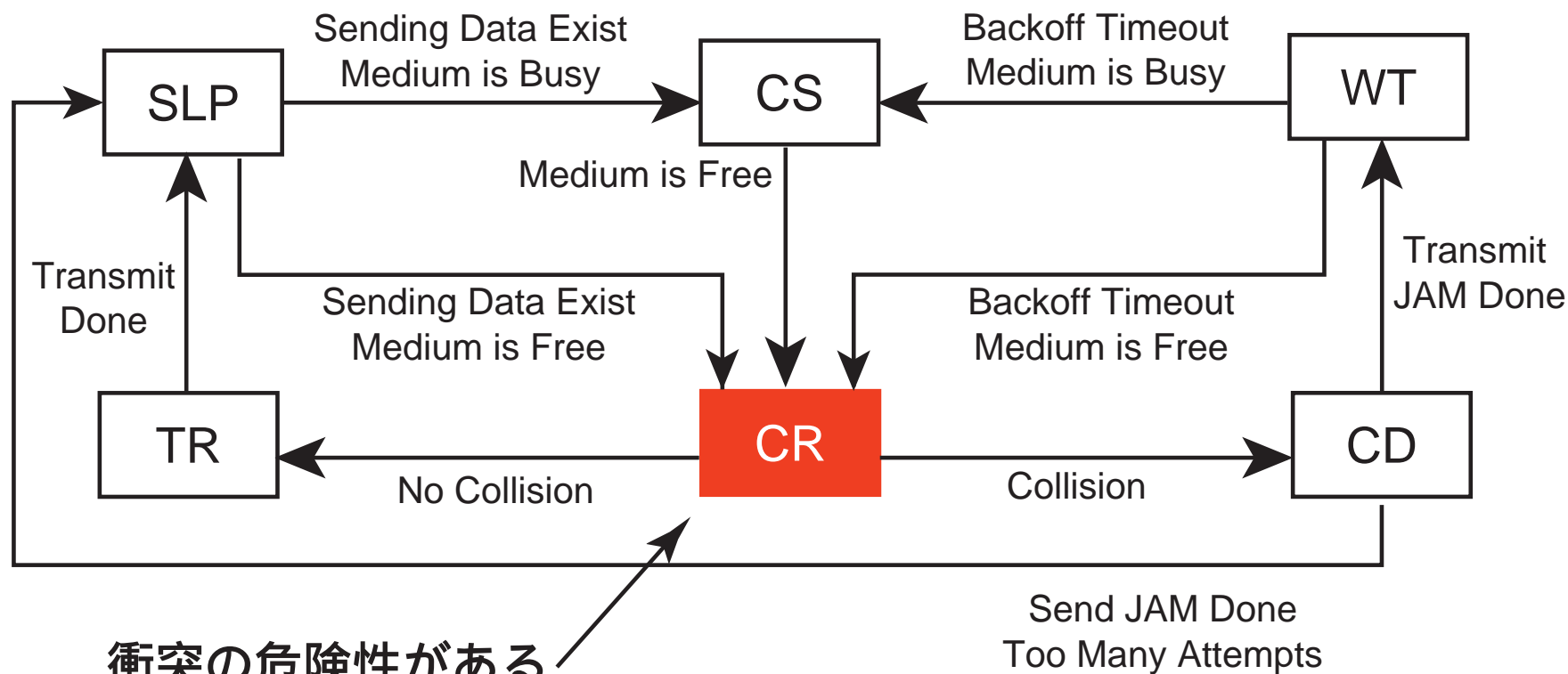


Ethernet CSMA/CD



Ethernetサブモデル

- 各端末：キャリアの送信・終了時刻を保持
- 状態遷移モデル



TCP・IPサブモデル

TCP

- 信頼性のある全二重通信を提供
 - 3-Way Hand Shake
 - パケット順番制御
 - ウィンドウフロー制御
 - 確認応答付き再送信

実装

実装

実装

IP

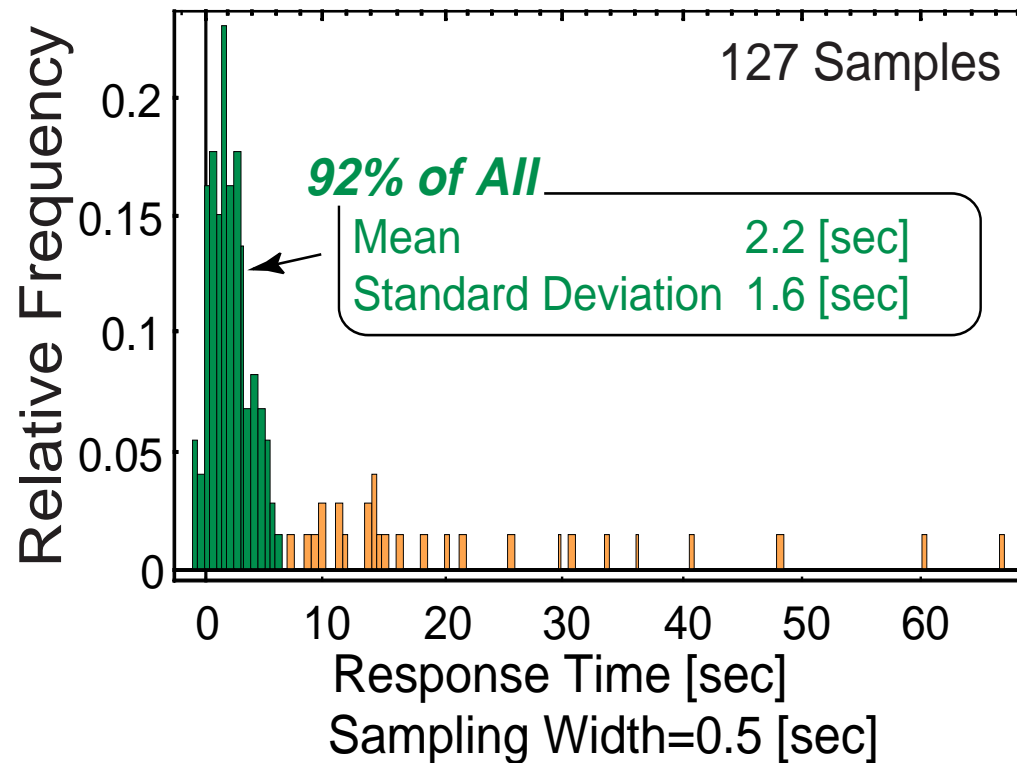
- データグラムのフラグメント化と再構成
- ルーティング

実装

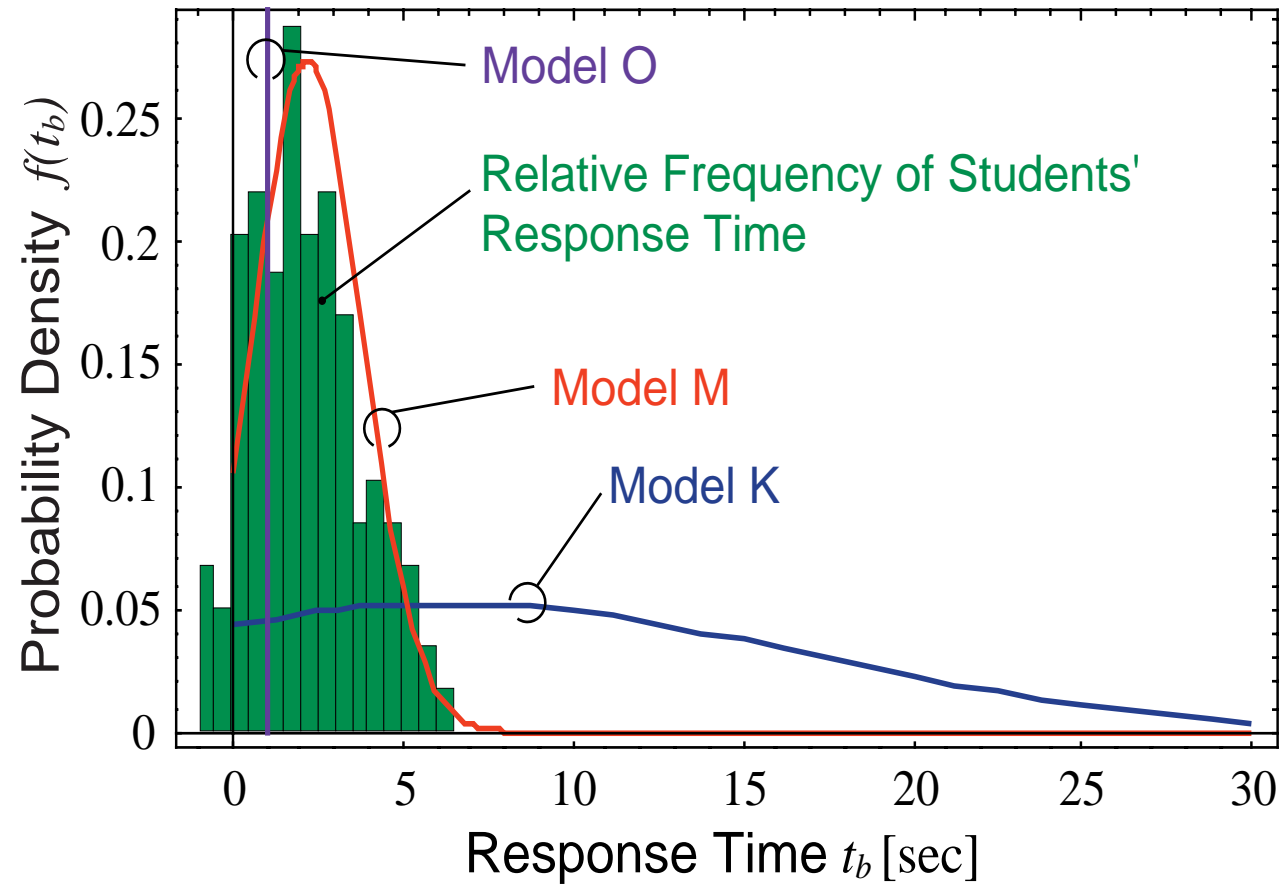
UNIX4.3BSD Tahoe に準拠

ユーザ挙動モデル

- ユーザのアプリケーション操作タイミングを定義
- 学生の反応時間のばらつきを実測
 - 合図に対するダブルクリックによる応答時間



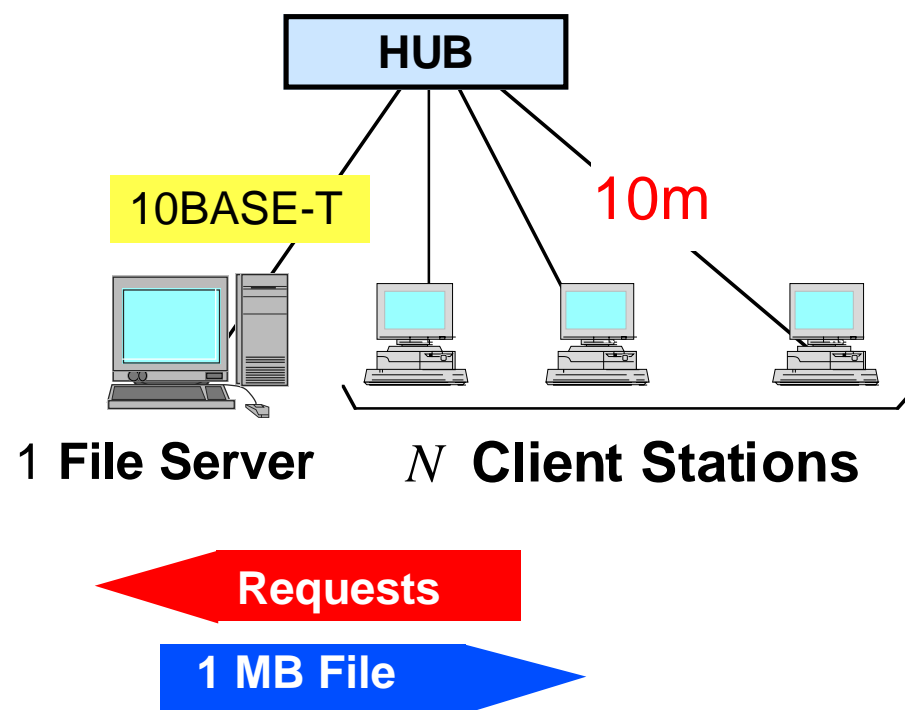
「よーいどん」の状況のモデル



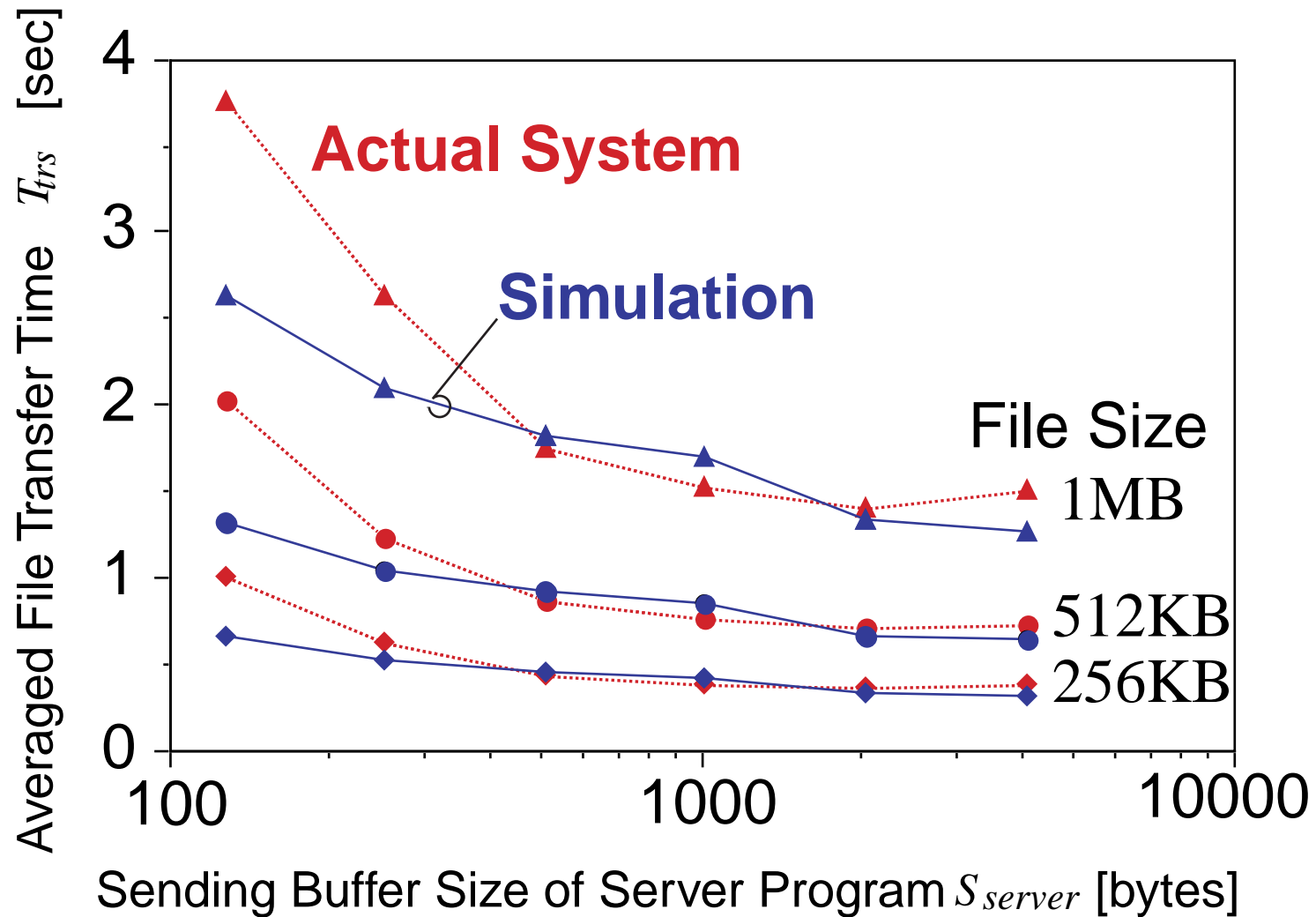
モデルの検証

- 実測値との比較実験

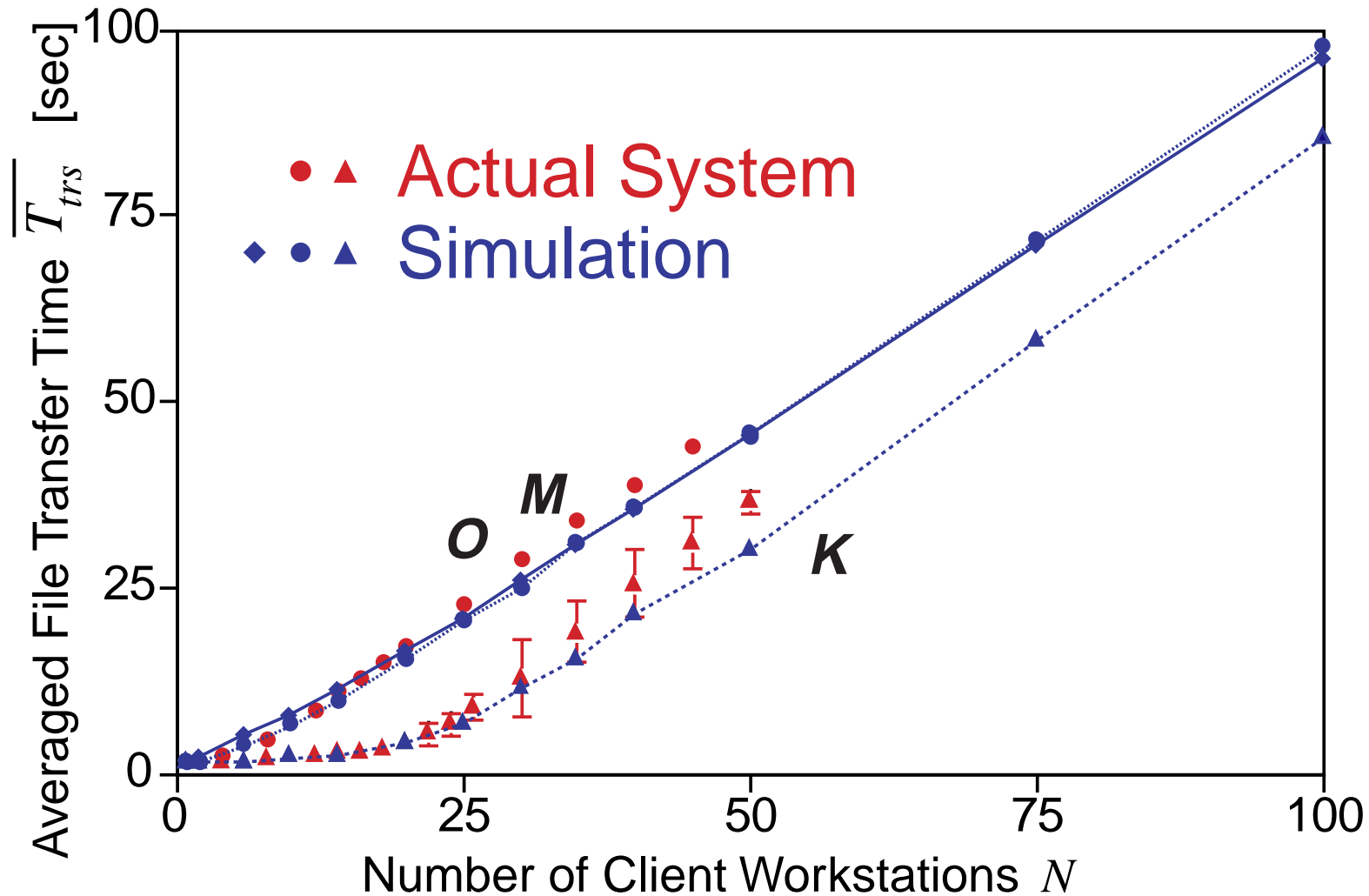
- FTP
- 1MBのファイル転送
- 1対1
 - 送受信バッファサイズを変更
- 1対N
 - 「よーいどん」の状況



実測値との比較: 1対1通信



実測値との比較: 1対N通信



まとめ：シミュレーションモデル

- プロトコルに忠実なモデル化
- イベント駆動方式
- Ethernet衝突判定の効率化
- ユーザ挙動モデルの導入
- 実用上十分な信頼性

課題

- 複雑なトポロジ

可視化に適したCSMA/CD LANのための性能指標

ネットワーク性能指標

- 資源利用率
 - スループット
 - エンドトゥエンド遅延
 - 平均, 最大 [Boggs]
 - 分布, 90パーセンタイル値 [Molle]
 - 衝突率
 - Packet StarvationRate [Whetten]
- 性能そのもの
 - 障害の原因, プロトコル上の問題の発見は困難
 - プロ向け

ストール率

- **対象**

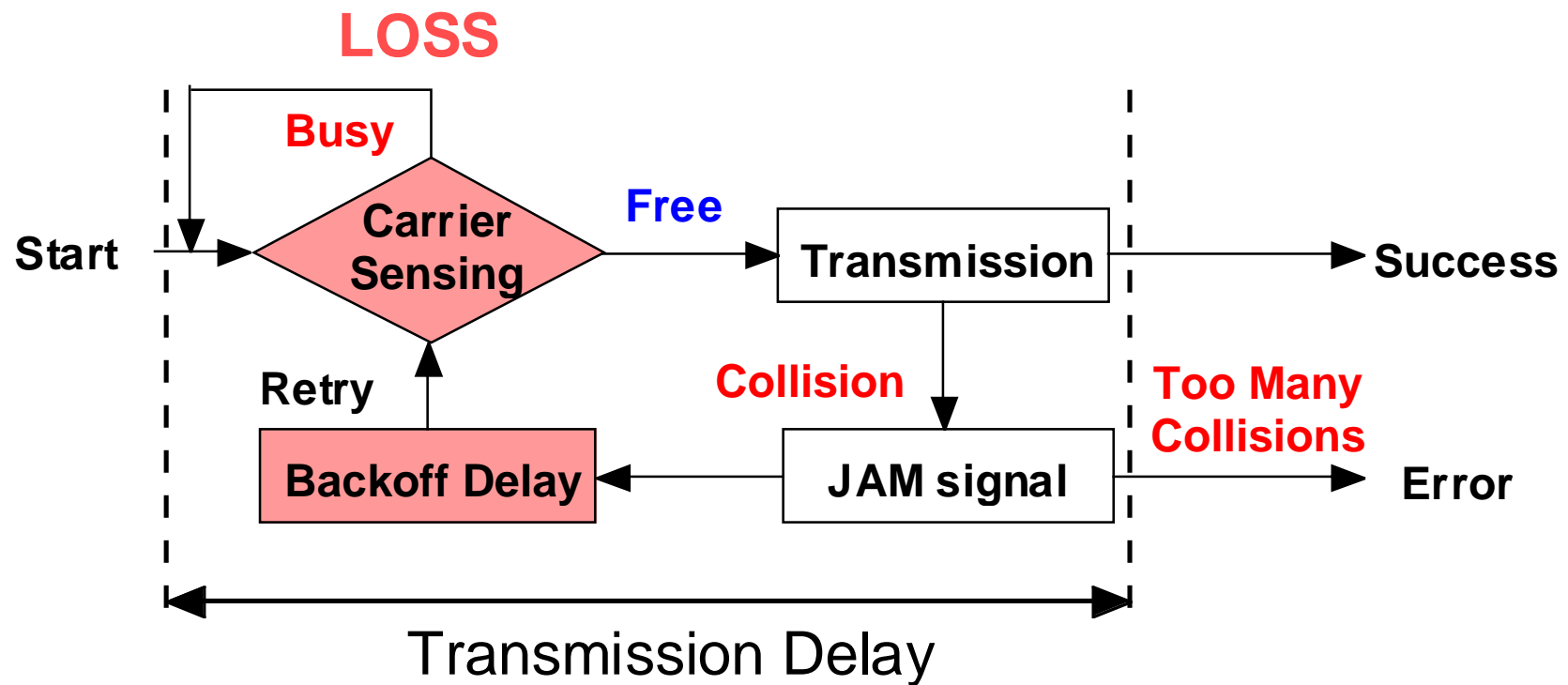
- CSMA/CD LAN
- 非専門家，一般の利用者

- **求められる特性**

- 直感的，可視化が容易
- 障害の原因の発見，理解が容易

ストール率の概念

LOSS / Transmission Delay



ストール率の定義

CSストール率 $R_{CS} = \frac{\sum (\text{Carrier Sensing Time})}{\sum (\text{Transmission Delay})}$

WTストール率 $R_{WT} = \frac{\sum (\text{Waiting Time caused by Collisions})}{\sum (\text{Transmission Delay})}$

トータルストール率 $R_T = R_{CS} + R_{WT}$

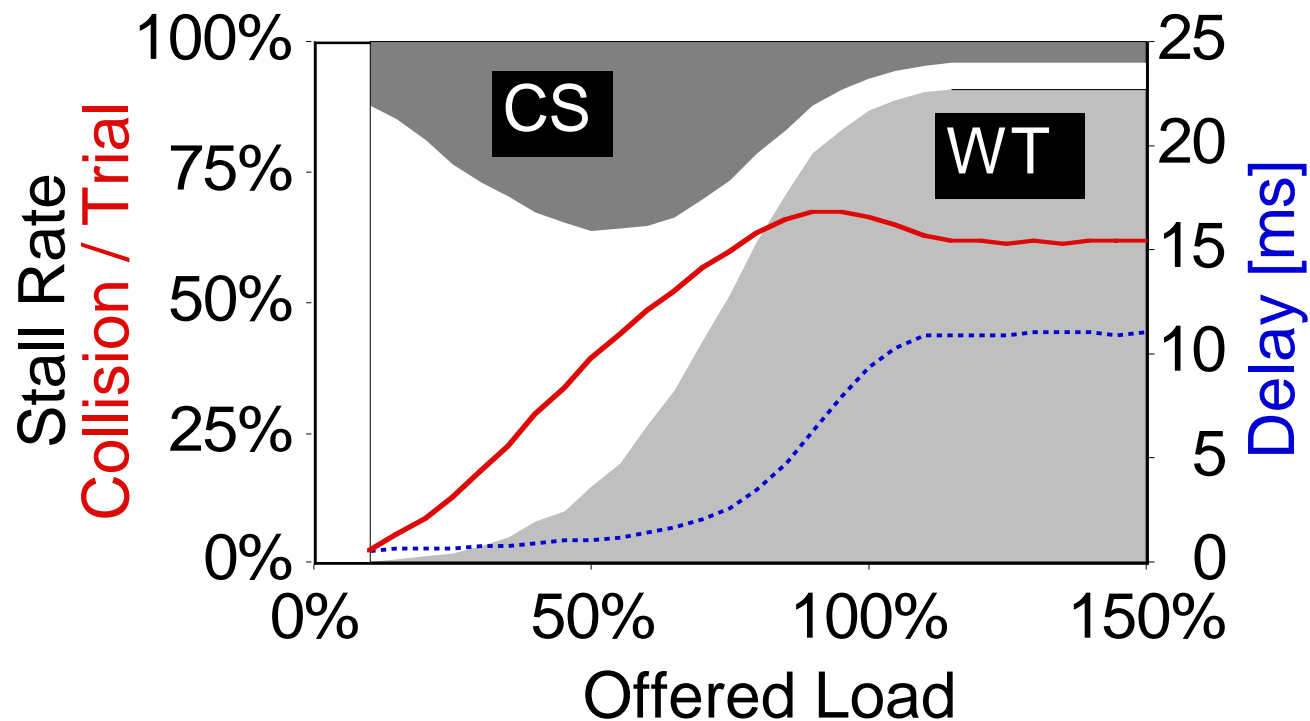
ストール率の意味

	意味	影響を与える要因
CSストール率 R_{CS}	伝送路Busyによる 送信待ちの割合	・ パケット長 ・ 負荷
WTストール率 R_{WT}	バックオフによる 送信待ちの割合	・ 衝突回数 (指数的) ・ パケット長
トータルストール率 R_T	送信が滞った割合	
$1 - R_T$	送信効率	

評価例: 一般的なトラヒック

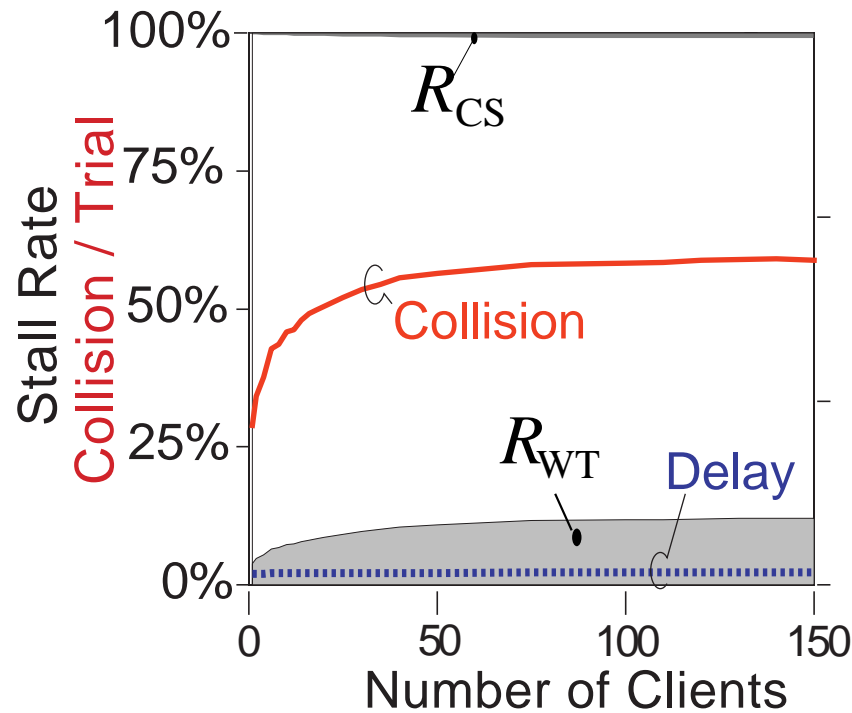
- Ethernet 10BASE-T
- 実測パケット分布に従ったランダム発生パケット

Number of Stations = 20

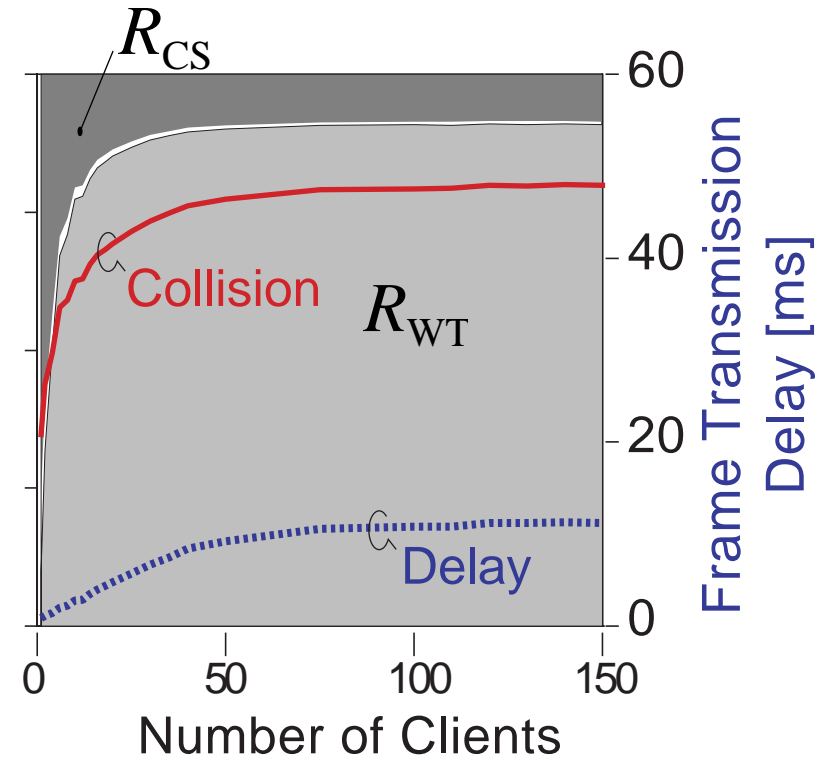


評価例: 教育用LANにおける負荷集中

FTP Server



FTP Clients



まとめ：ストール率

- **長所**

- 可視化により直感的理解が可能
- 以下の情報を含む
 - 衝突率，送信遅延
- 上位層設計者，一般ユーザに有用

- **短所**

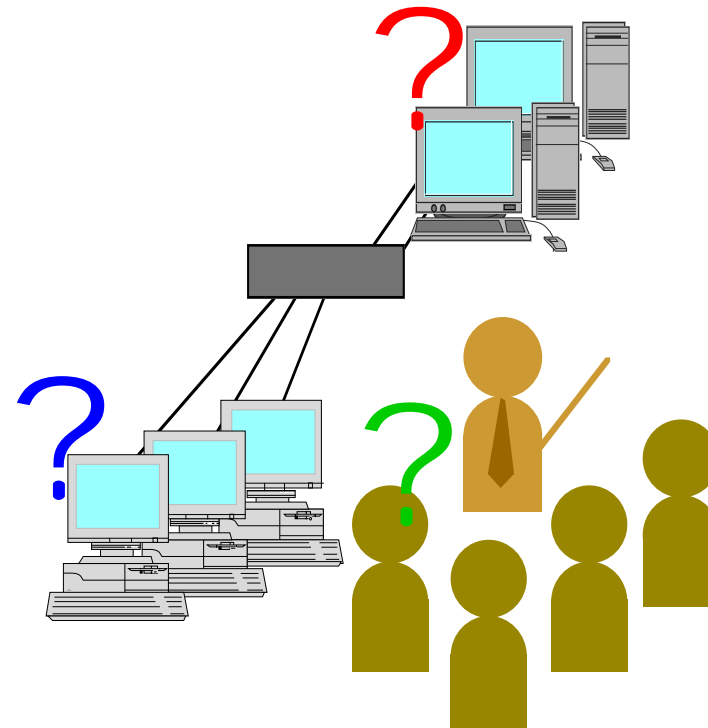
- 定量的評価には不向き
- 平均パケット長によって値が変化

教育用LANに適したLAN構成 の検討



ネットワーク設計における問題点

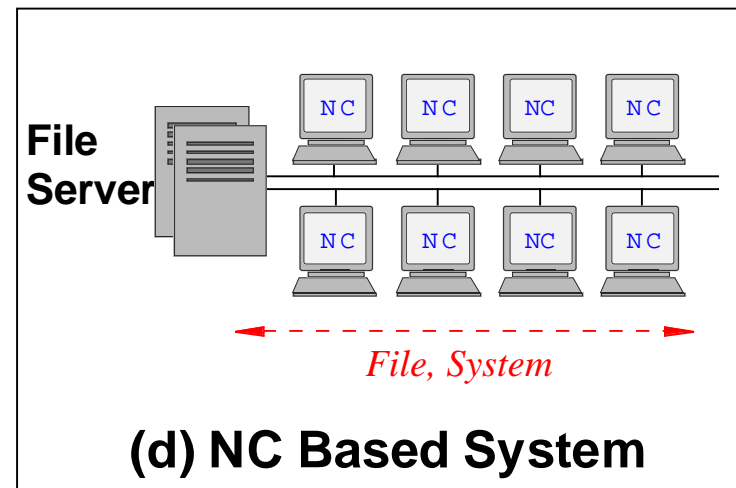
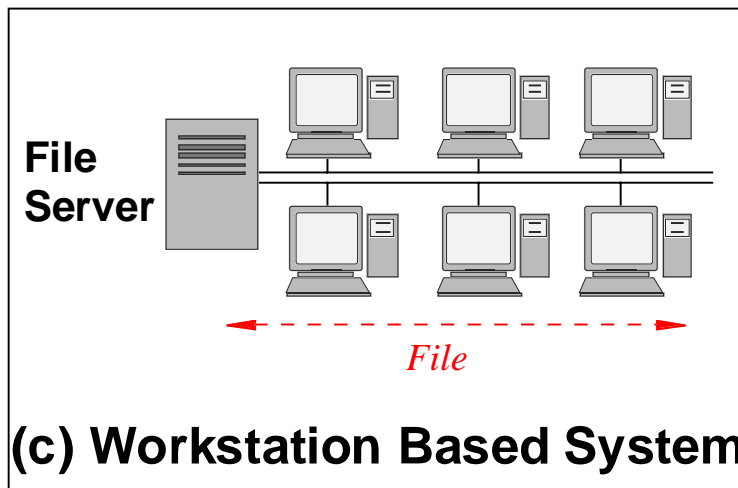
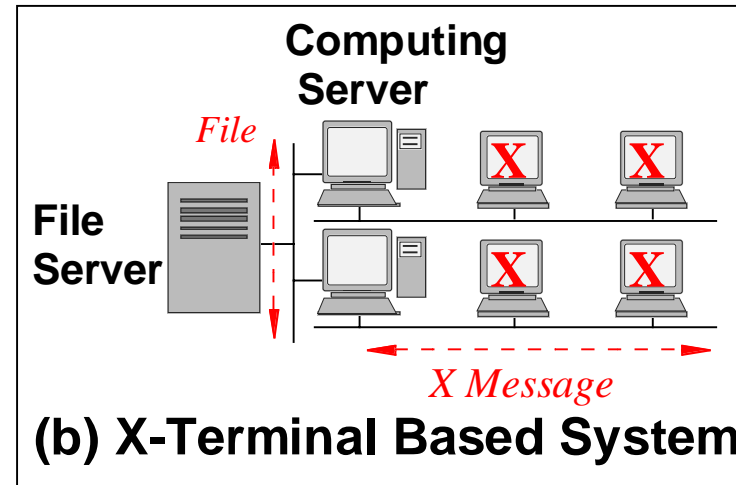
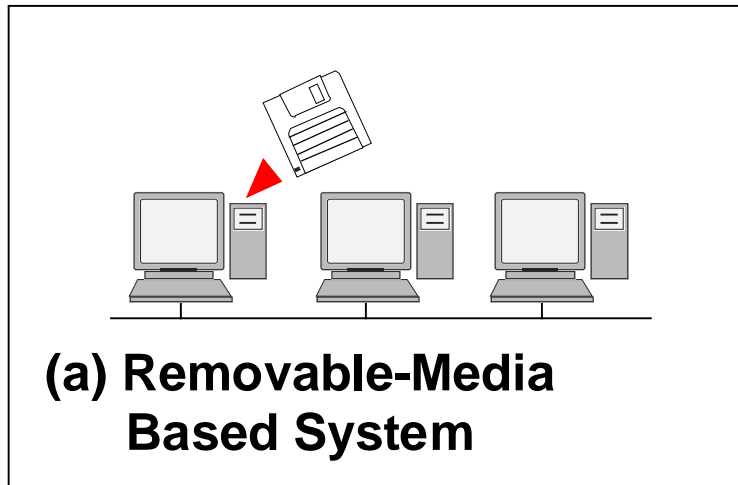
- Ethernetの1セグメントに接続する端末数？
- ファイルサーバに対する端末数？
- ユーザの振る舞い



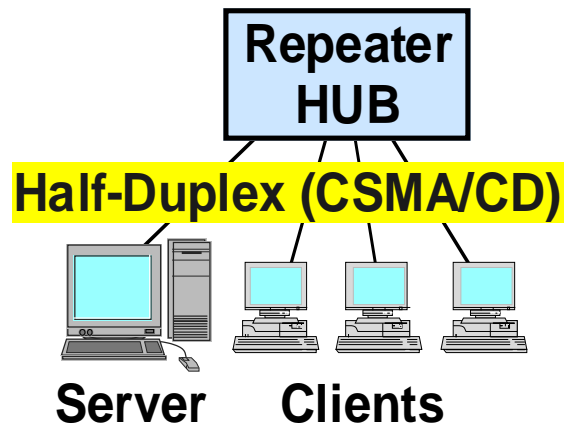
関連研究：教育用LANの設計・性能評価

- **LANの設計・実環境での測定**
 - WS中心の大規模分散システム [名大:岡田研]
 - X端末を中心とした構成 [九州工業大学:中山]
 - 研究環境のLAN [石田]
 - Andrew File System[CMU]
- **シミュレーション評価**
 - 研究環境のクライアントサーバシステム
[Gusella]

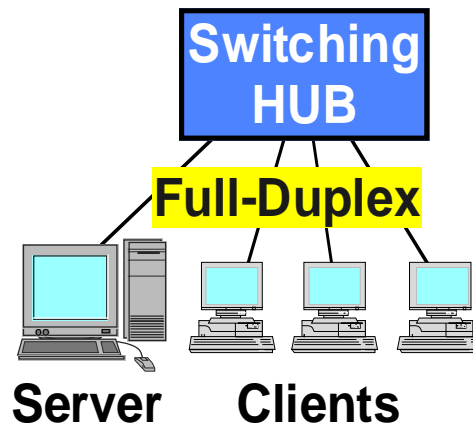
教育用LANの構成例



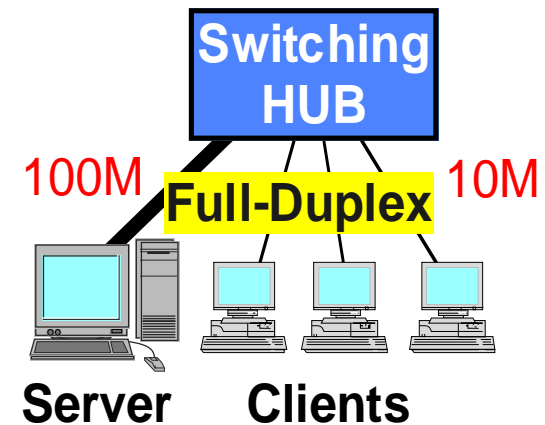
ネットワークトポロジ



(a) Shared-10M
Shared-100M
Shared-1G



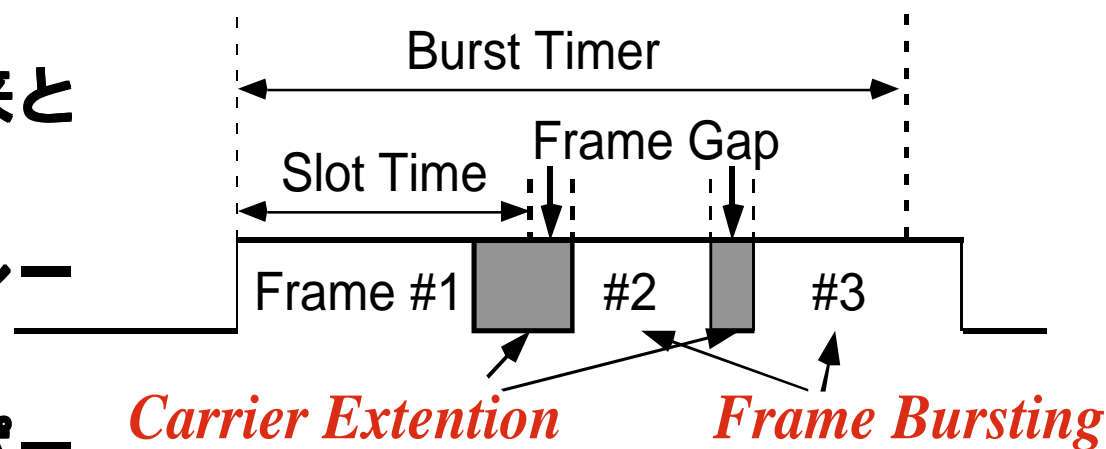
(b) Switching-10M
Switching-100M



(c) BigPipe-10M/100M

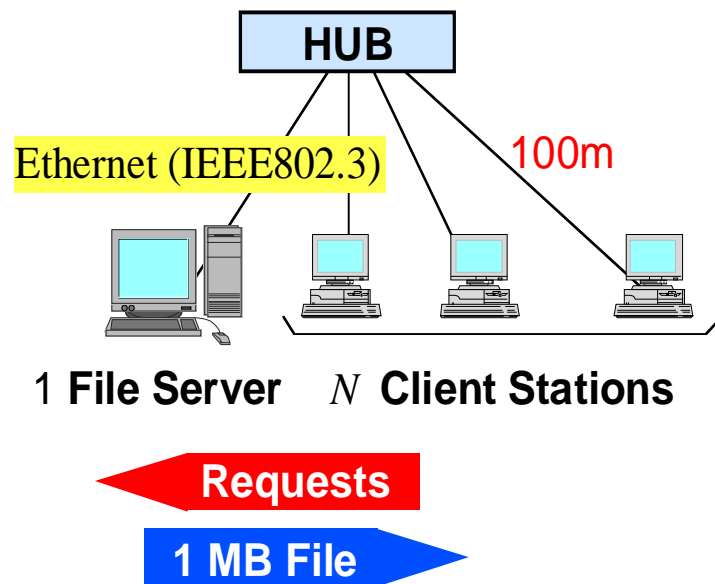
媒体共有型ギガビット Ethernet

- スイッチング型に対しコスト面で有利
- フレーム形式は従来と同じ
- 伝播遅延が最短フレーム長より長い
- 長い伝播遅延をサポートするための拡張



Burst Timer	65536 BT
Minimum Frame Length	512 BT
Slot Time	4096 BT
Inter Frame Gap	96 BT

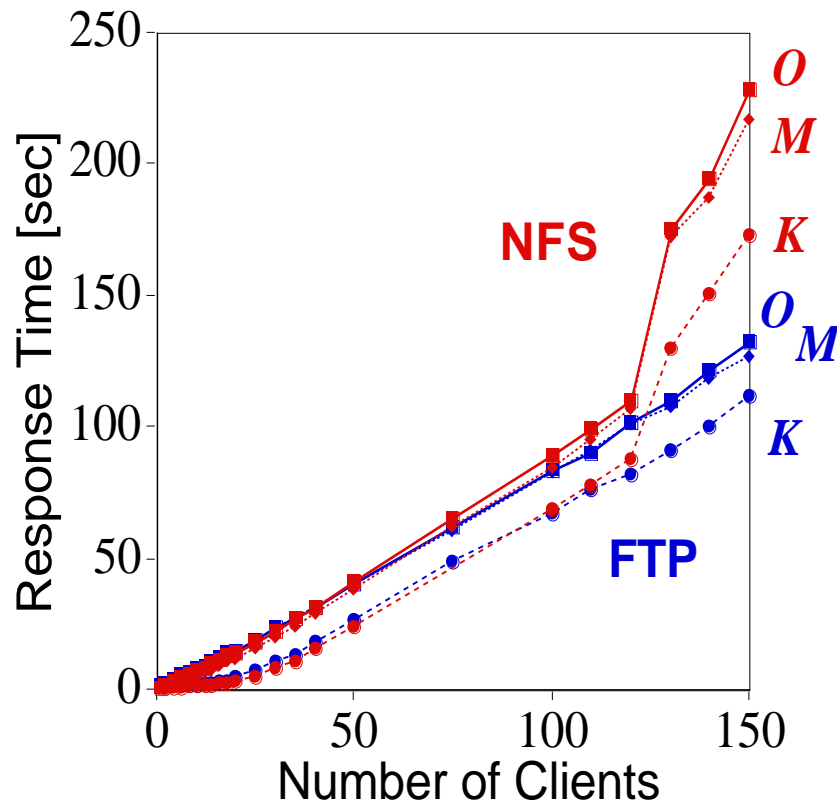
シミュレーション条件



- NFS version 2 (SunOS 4.1), FTP
- TCP(BSD 4.3Tahoe), UDP/IP
- Ethernet
 - 10BASE-T (10Mbps)
 - 100BASE-TX (100Mbps)
 - 1000BASE-X (1Gbps)
 - with Carrier Extension
 - with/without Frame Bursting

Shared-10M

10BASE-T



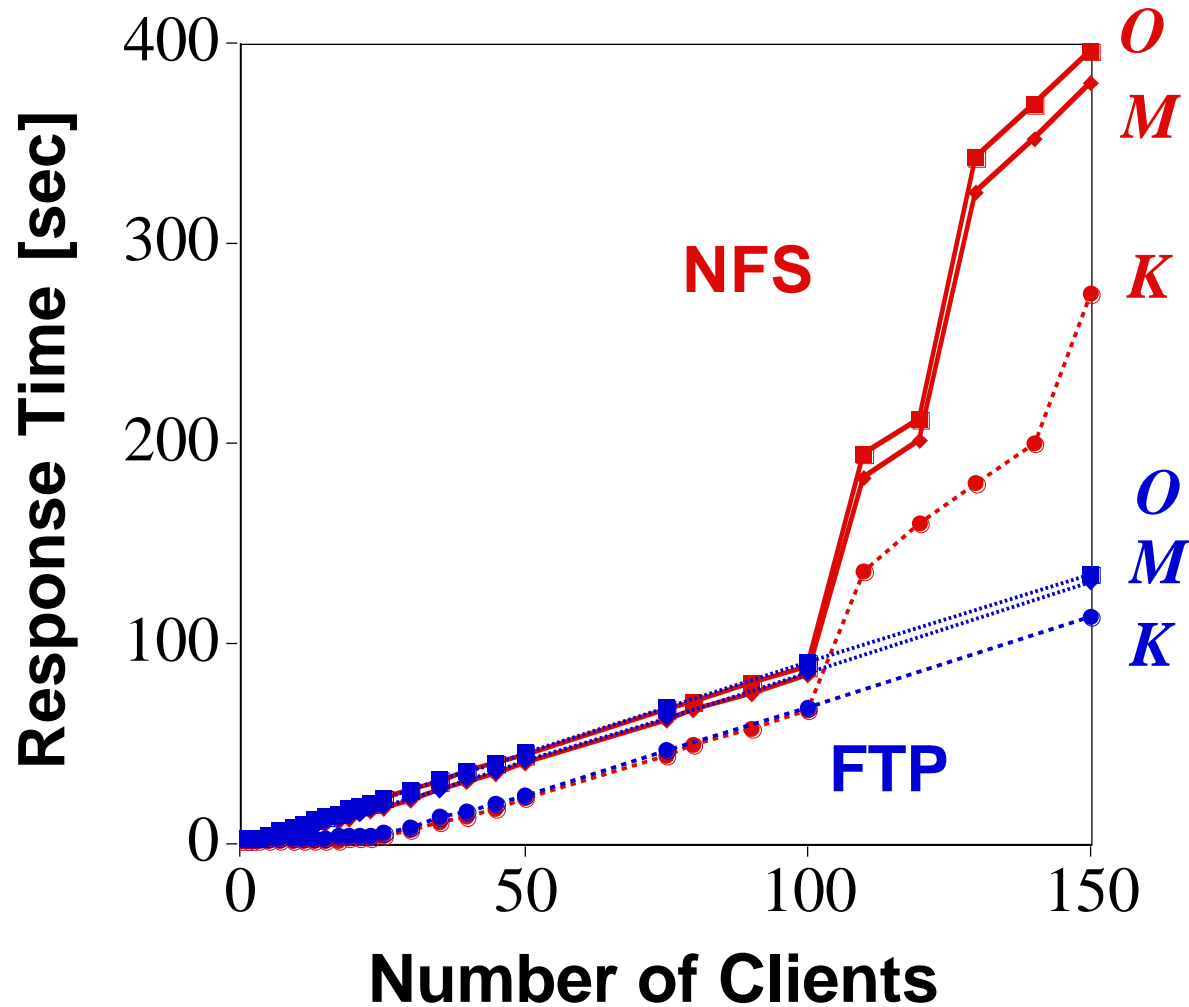
- 応答時間の増加

- N = 10 (Model M)
- N = 20 (Model K)

- 急激な応答時間の
上昇

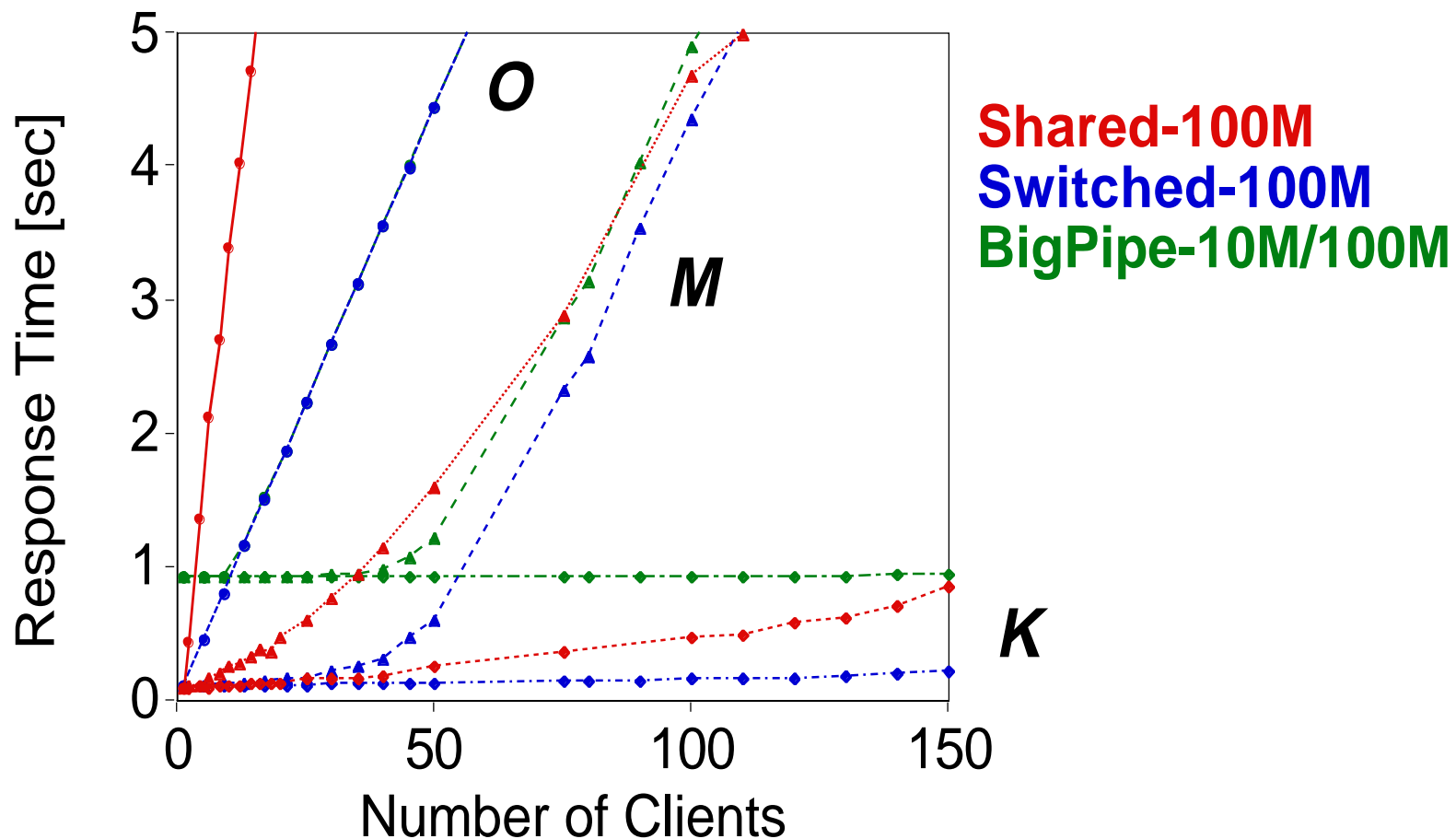
- N > 120 (NFS)
- NFS タイムアウトの発生

Switched-10M



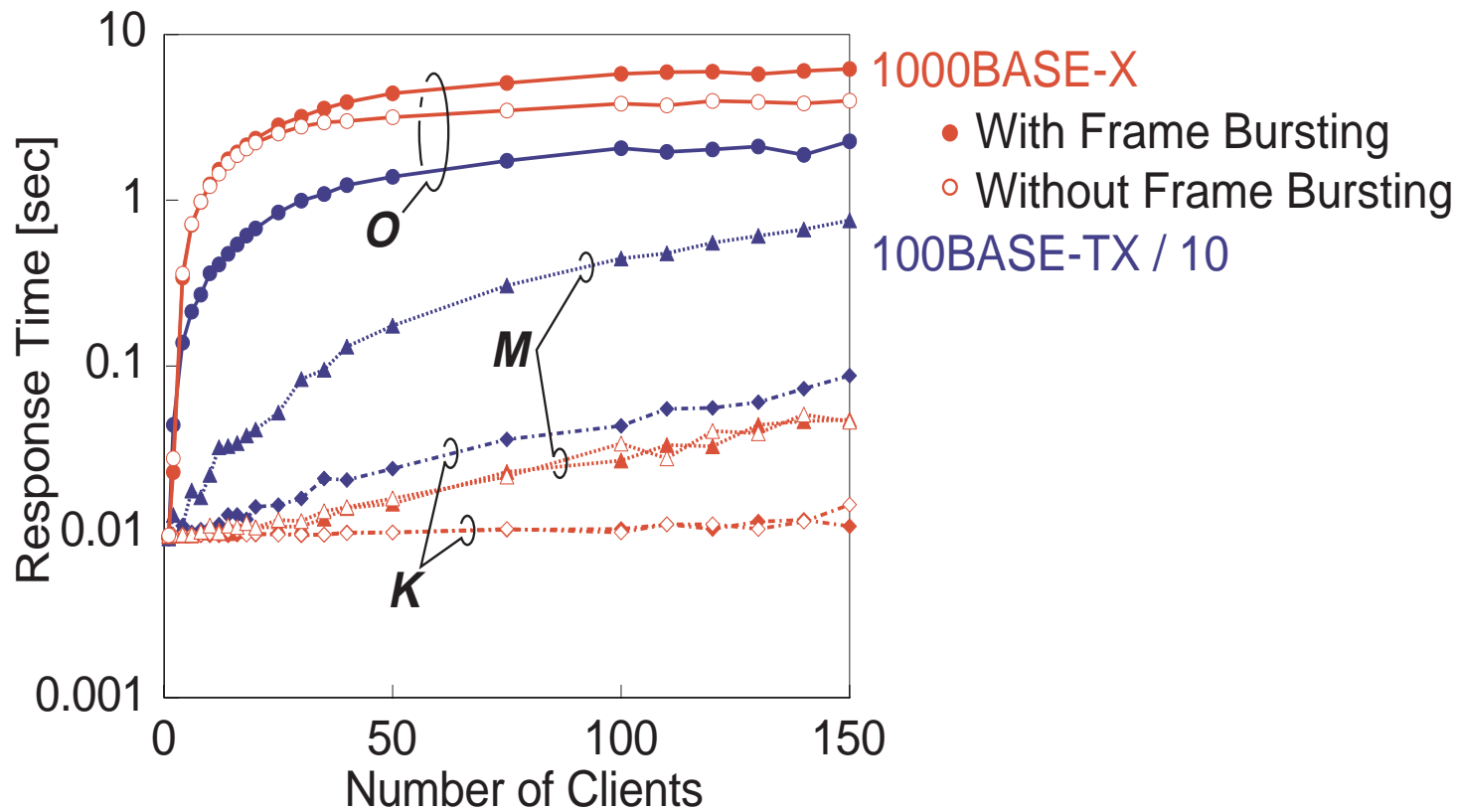
Shared-100M, Switched-100M

NFS



Shared-1G

NFS

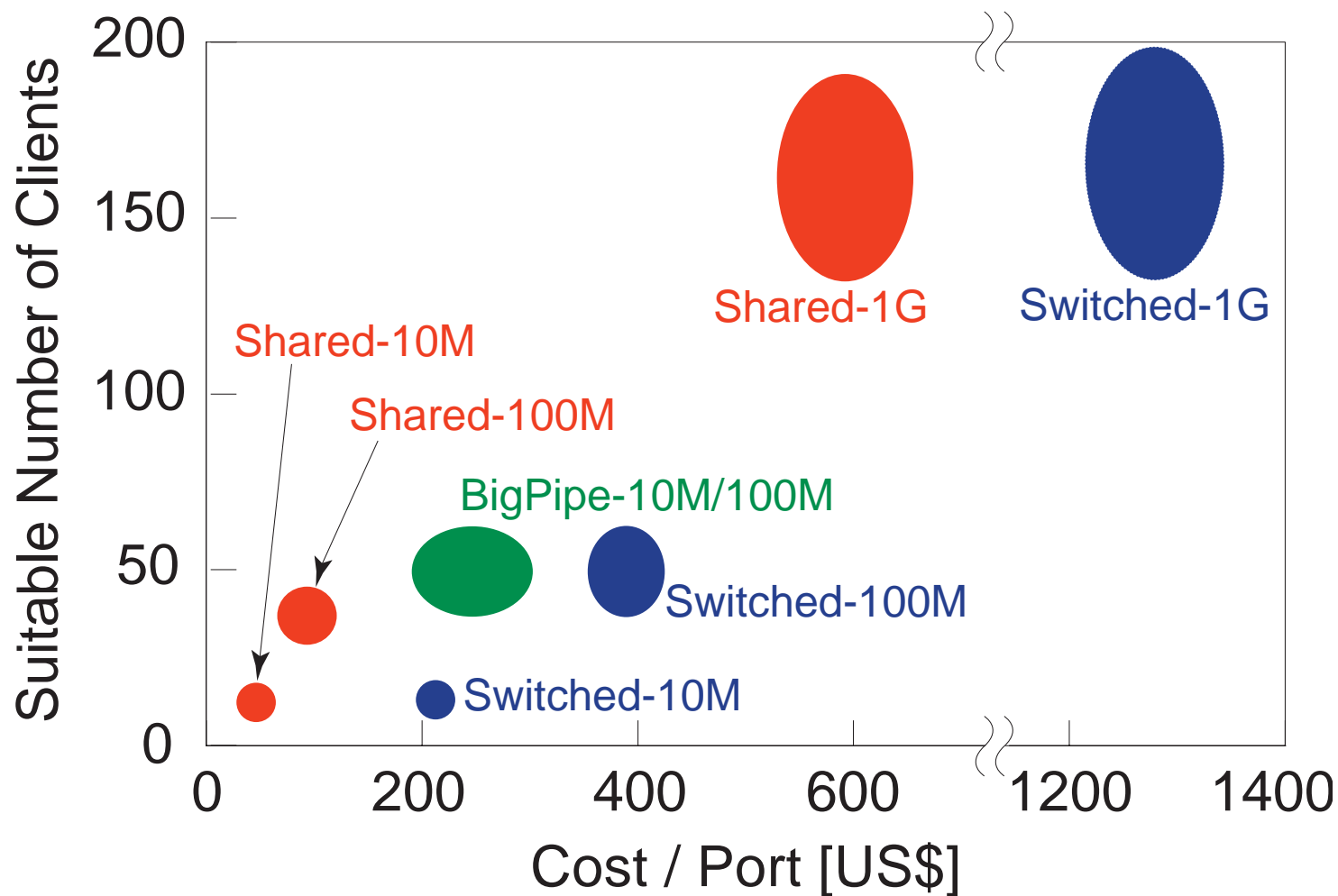


適切なクライアント台数

- サーバ応答時間 < 10 sec
- クライアント台数に対してサーバ応答時間の急激な上昇がないこと

	Mouse Operation	Keyboard Operation
Shared-10M	< 10	< 20
Switching-10M	< 10	< 20
Shared-100M	< 30	< 150
Switching-100M	< 50	> 150
BigPipe-10M/100M	< 50	> 150
Shared-1G	> 150	> 150

價格性能比



まとめ

- **教育用システムの適切なLAN構成の検討**
 - 1 7層までの詳細なシミュレーション
 - 実測に基づくユーザ挙動モデル
 - 価格性能比に基づく検討
- **可視化に適したネットワーク性能指標の提案**
- **今後の課題**
 - 複雑なトポロジ
 - サーバ性能の考慮
 - マルチメディアデータ・HTTP

他の手法との違い

- イベント予約による高速化[Marino]
 - 動的なイベント発生には対応不可
- 端末のグループ化による高速化 [O'Reilly]
 - 衝突を確率的に発生
- Ns ネットワークシミュレータ[LBNL]
 - 伝播遅延を単純化
- **本手法**
 - 衝突危険区間による判定
 - 予測不能な送信イベントにも対応
 - 衝突発生の完全な再現

発表実績

- 石原進, 岡田稔, 岩田晃, 櫻井桂一, “イベント駆動方式による LAN 通信量解析モデル,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J78-A, No. 8, pp. 961 - - 964, 1995.
- S. Ishihara and M. Okada, “A Modeling and Simulation Method for Transient Traffic LAN,” Trans. IEICE Comm, Vol. E-80-B, No.8 pp. 1239 - - 1247, 1997.
- 石原進, 岡田稔, “可視化に適した CSMA/CD LAN のための性能評価指標：ストール率,” 情報処理学会論文誌, Vol 40, No. 1, pp. 95 - - 101, 1999.
- 石原進, 小島英樹, 岡田稔, “ユーザ挙動モデルに基づく教育用システムに適したネットワーク構成の検討,” 情報処理学会論文誌 (投稿中)
- 上記の他, 国際会議 3 回

衝突判定

- **衝突危険期間**
 - 最小の送信開始時刻 $t_s^{(i)}$ ~ 伝送路全体が Busy になるまで
(i は端末を表す)
- **判定**
 - 衝突危険期間終了時：状態がPRの端末数

本手法の適用条件

- 衝突危険区間終了時にJAM信号の送信が完了していないこと ネットワーク規模に依存