

光バーストスイッチングに 未来はあるか？



大阪大学サイバーメディアセンター
先端ネットワーク環境研究部門
村田正幸

*e-mail: murata@cmc.osaka-u.ac.jp
<http://www.anarg.jp/>*



*Advanced
Network
Architecture
Research*



Burst Switching Revisited

過去の例

- 電話網 : TASI
 - 音声対象→落ちててもよい
- パケット交換ネットワーク : Virtual Cut Through
 - できなければ、パケットを電気メモリに格納
- ATM : FRP (Fast Reservation Protocol)
 - 大容量データ対象
 - ATMの利用により、帯域設定が自由に行える
空いている時は150Mbps、混んでくると75Mbps→37.5Mbps...

WDM: OBS (Optical Burst Switching)

- チャンネル容量10Gbps～→帯域の粒度が大きい
 - 大容量転送への期待 : DVD 1枚4.7GB
 - 対象はリアルタイムメディアではない
- バッファ不要
 - FDLバッファリングによるペナルティを避ける→バッファがあればOBSとは呼ばない

そもそもバーストとは？

- 大容量データ
- IPに適用するためには、パケットを貯めることが必須だが、TCPはこのような利用形態を想定していない

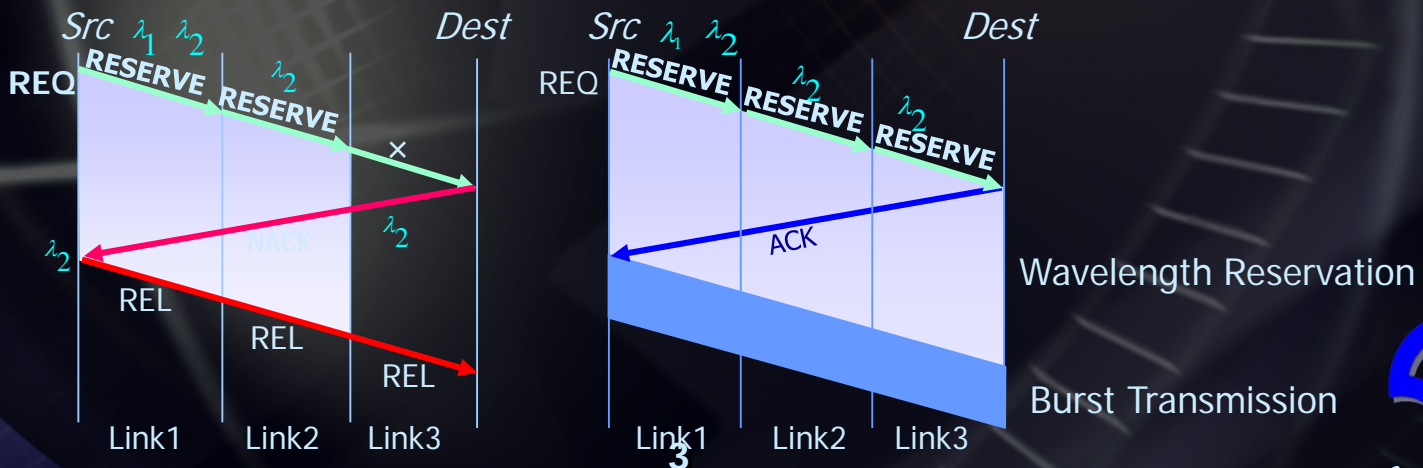




OBSプロトコル (1): Tell-and-Wait

- ☑ ACK/NACK信号による、Forward型（往路で波長を決定）／Backward型（復路で波長を決定）波長予約プロトコル
- ☑ 予め経路を定めておき、バーストの到着時に波長を定めて送出
 - オプション：経路も定める
- バーストのネットワーク内バッファリング不要
 - パケットスイッチングとの本質的な違い
- × 伝播遅延時間がボトルネックになる

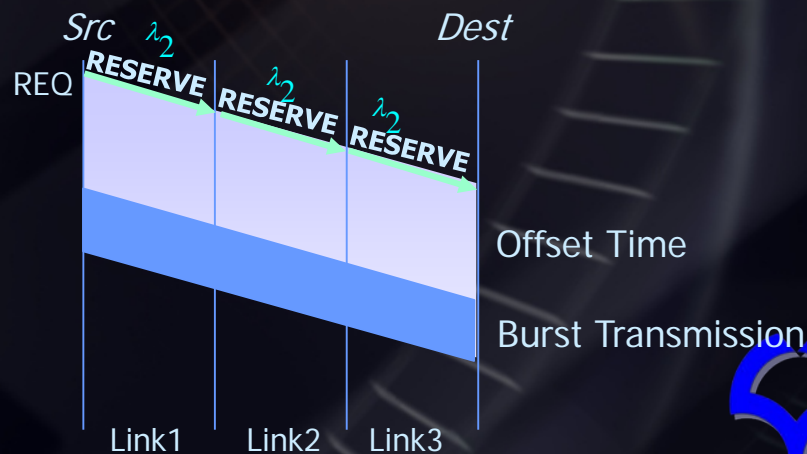
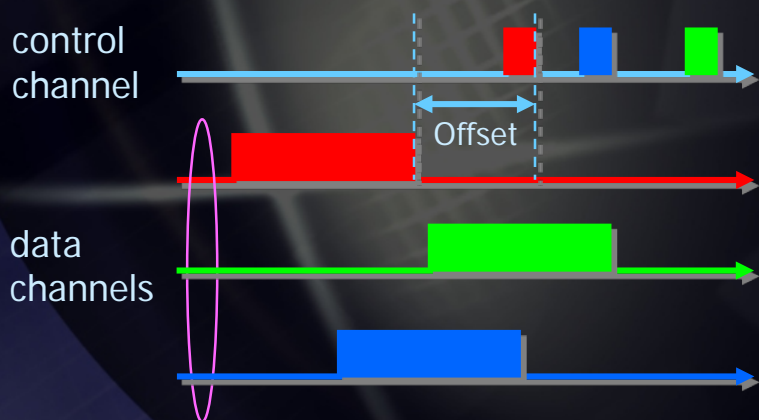
Forward型





OBSプロトコル (2): Tell-and-Go

- ☐ 伝播遅延時間によるオーバーヘッドの解消
- ☐ ヘッダの電気処理のために、ヘッダとペイロードの間を空ける
- ☐ パス設定（波長予約）処理の高速化が鍵
- × バーストはネットワーク内で落ちるかも知れない
 - 波長変換がない場合、M/G/1/1待ち行列網モデル！





OBSのバーストブロッキング率

■ b : バースト長 (コネクション保留時間)

s : コネクション処理時間

p : 伝播遅延時間

W : 波長数

λ : バースト到着率

■ 全負荷

■ TAW型の場合: $r = (b + s + p)l$

■ TAG型の場合: $r = (b + s)l$

■ 波長あたりの負荷: $r_0 = r / W$

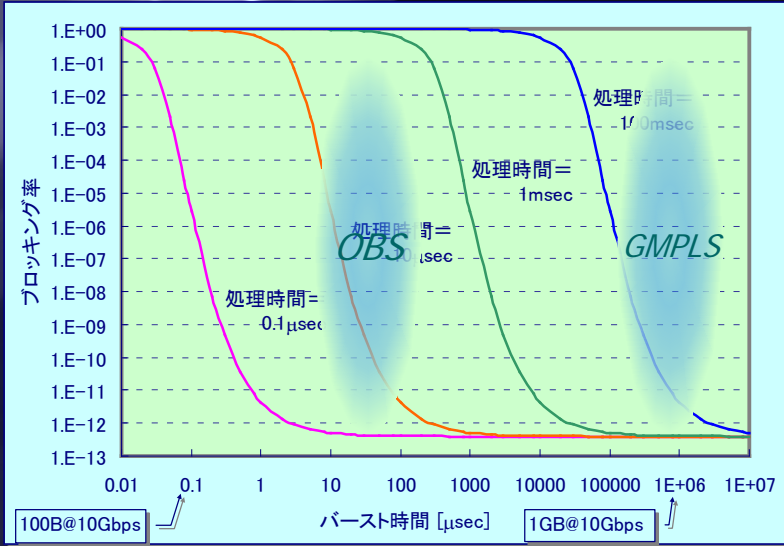
■ ブロッキング率(M/G/W/W)

$$B = \frac{r^W / W!}{\sum_{n=0}^{\infty} r^n / n!}$$





ノード処理時間の影響 TAW vs. 回線交換

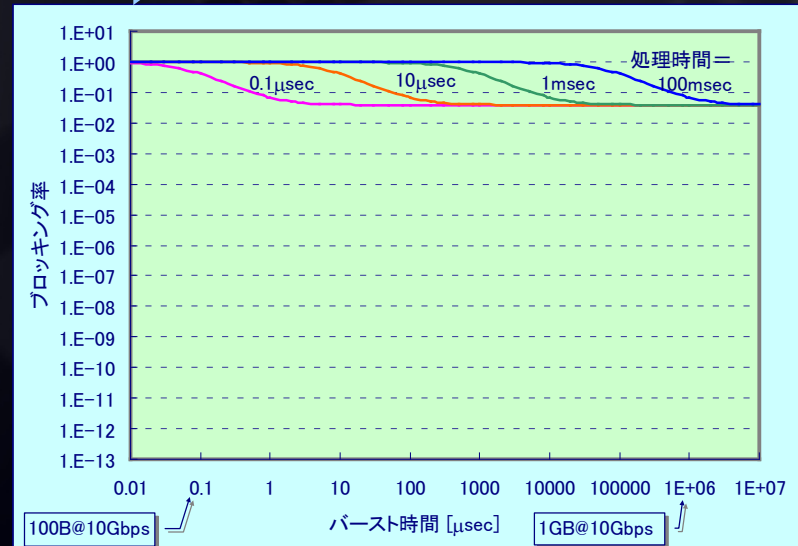
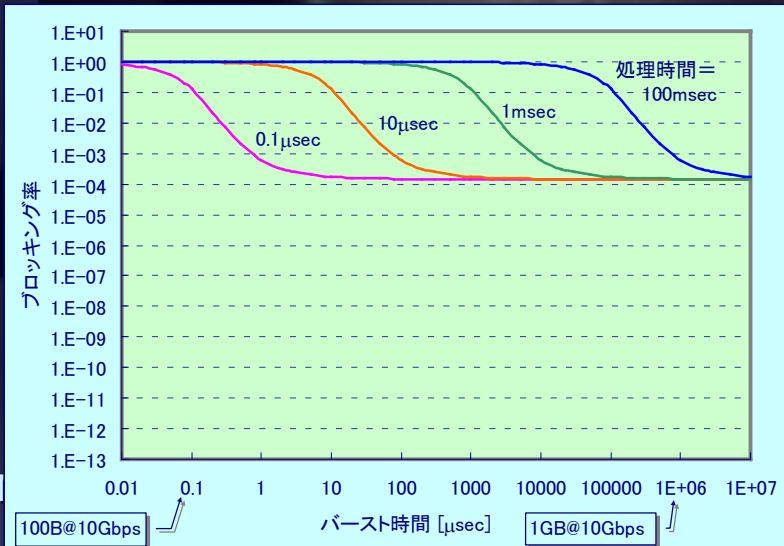


- ❑ TAW方式
 - 波長数32、伝播遅延時間0
- ❑ バースト時間よりも少なくとも一桁小さい処理時間が要求される

波長あたり負荷0.2

波長あたり負荷0.5

波長あたり負荷0.8





ブロッキング率低下の要因

- ホップ数の増加
 - ホップ数に対して線形に影響
- 波長変換なし
 - Wavelength Continuity Problem
- 経路は予め決めておく
 - WA (Wavelength Assignment) vs. RWA (Routing and Wavelength Assignment)
 - WA : 経路は予め決めておいて「最適な」波長を選択
 - Random, First-Fit : 分散化が可能
 - RWA : Multi-path Routing
 - 波長とともに、複数の経路から「最適な」経路を定める
 - Most-Used (同じ波長から埋めていく) : 集中化前提
 - 処理時間の高速化→WA (経路は予め決めておく)
 - パースト交換ではWAゆえに高速化が可能
 - ただし、オプションとしてMulti-path Routingも可能

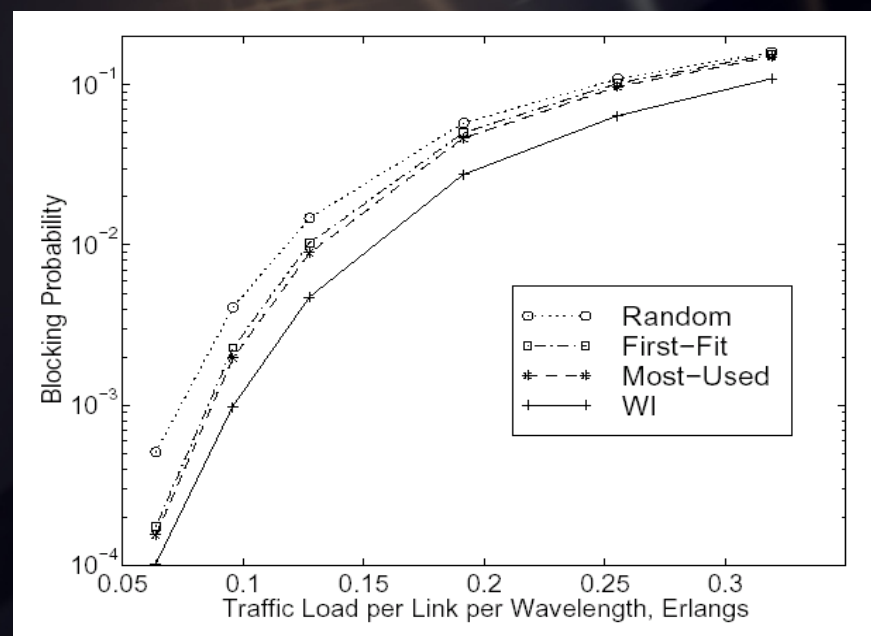


Figure 4 in E. Karasan, E. Ayanoglu. *Effects of Wavelength Routing and Selection Algorithms on Wavelength Conversion Gain in WM Optical Network*, ACM/IEEE Transactions on Networking, April 1998.



Tell-and-Wait vs. Tell-and-Go

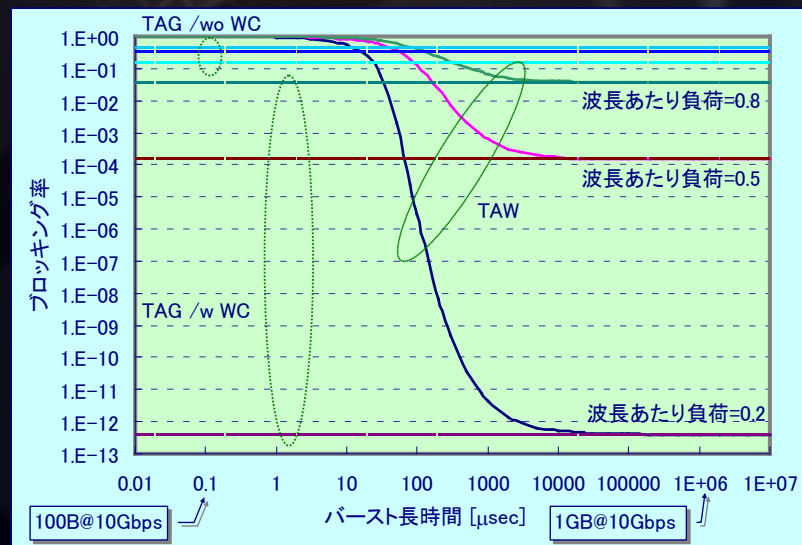
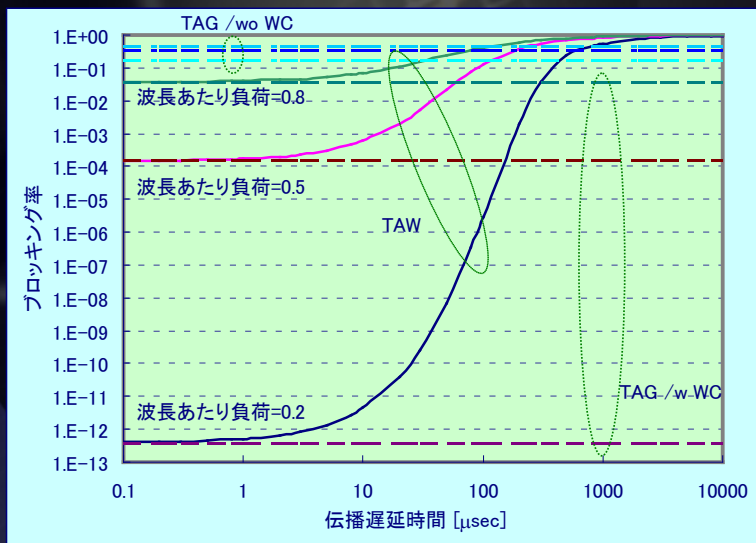
TAG (JET, JIT, ...)

- 波長予約時間（処理時間＋伝播遅延時間）のうち、伝播遅延時間をカット
- 波長変換なしの場合、M/G/1/1！

波長数32

バースト長100μsec

- 処理時間10μsecに対しては大きい





パケットバッファリングの効果 TAG vs. パケット交換

パケットスイッチングはバッファリング前提

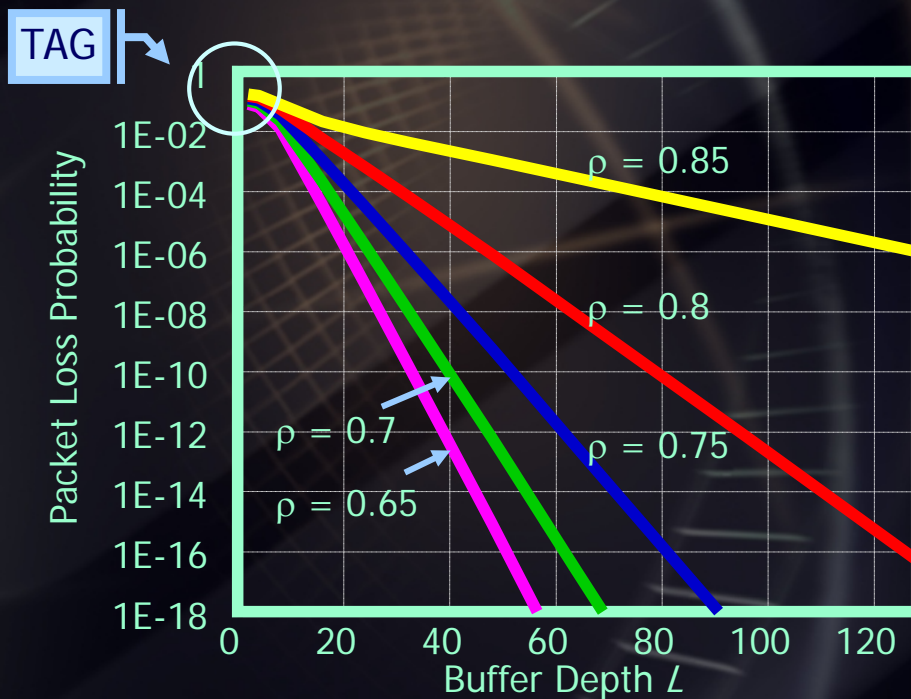
- 波長変換のない場合 → $M/G/1/1+L$
- 波長変換のある場合 → $M/G/W/W+L$
- ただし、FDLの場合、固定長を単位とした遅延線なので、可変長を扱う場合にはオーバーヘッドがある

条件

- 波長数 $W=8$
- 波長変換あり

OBSでもバッファを持たせることは原理的に可能、ただし、FDLは長くなる

- 1Mbitバースト
= 100 μ secバースト (@10Gbps)
→ 20Km x L



Masayuki Murata and Ken-ichi Kitayama,
"Ultrafast photonic label switch for
asynchronous packets of variable length,"
IEEE INFOCOM 2002, June 2002.



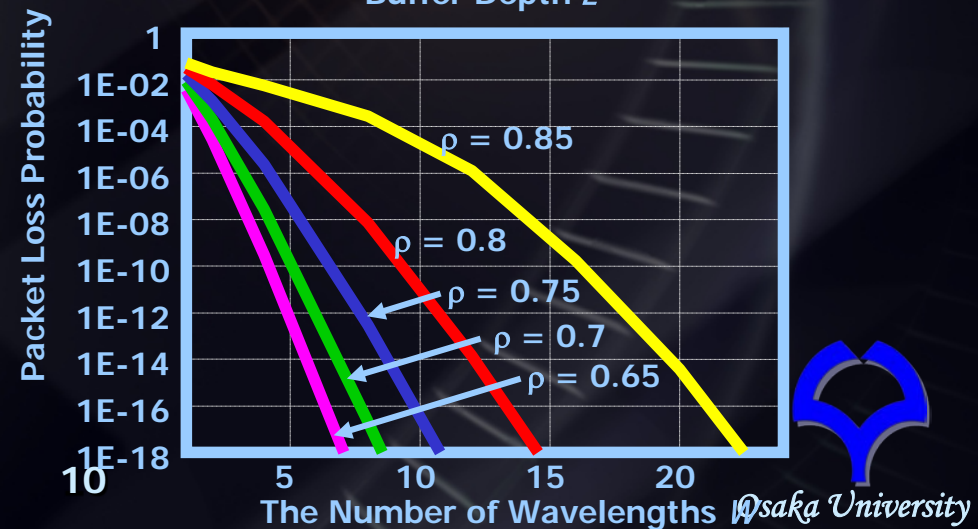
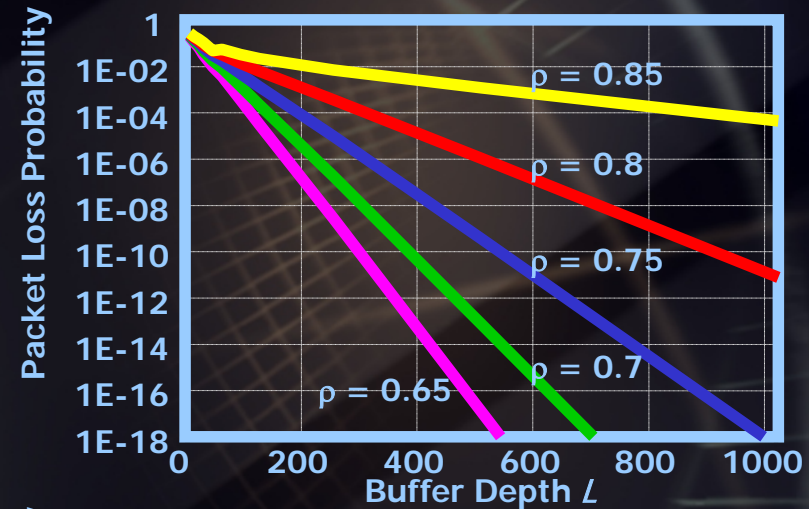
パケット交換のメリット

波長変換のない場合

- 波長変換をしなくとも一定の効果は得られる、ただし、バッファ容量はかなり必要
- 1Kbitパケット = 0.1 μ secパケット (@10Gbps) $\rightarrow 20m \times L$

波長数増大の効果は大きい

- 波長変換あり
- バッファ長64





パケット交換 vs. 回線交換

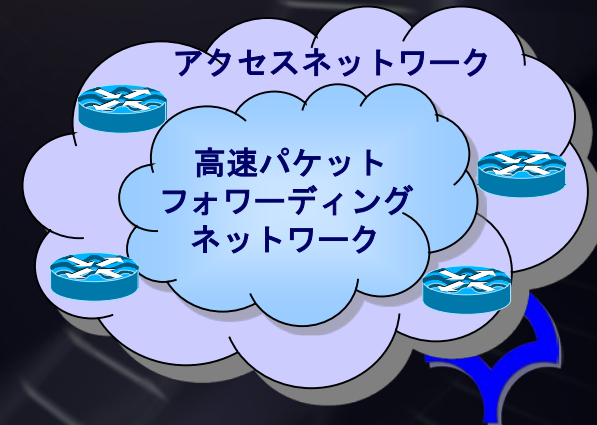
機能	回線交換 (光クロスコネクトノード)	パケット交換 (電気ルータ)
回線効率	決して悪くない (回線それぞれの利用効率ではなく、回線数の利用効率) →波長数の増大が重要	一般に良いとされているが、遅延を小さくするためにはoverprovisioningが必要
エンド間パス可用性	コストをかけることにより維持	経路制御により維持
ノード可用性	機能が低い分高い	低い
ノードコスト	機能が低い分安い (半分から1/10)	高速化すればするほど多機能実現のためにコスト高
サービス機能の多様性	低い	高い

☐ パケット・回線交換の融合？

- アクセス系：パケット交換
- バックボーン：WDM回線交換(+GMPLS)：光パスネットワーク
- スケーラビリティ確保のために、波長あたりの容量を増やすより、波長数を増やすことが重要

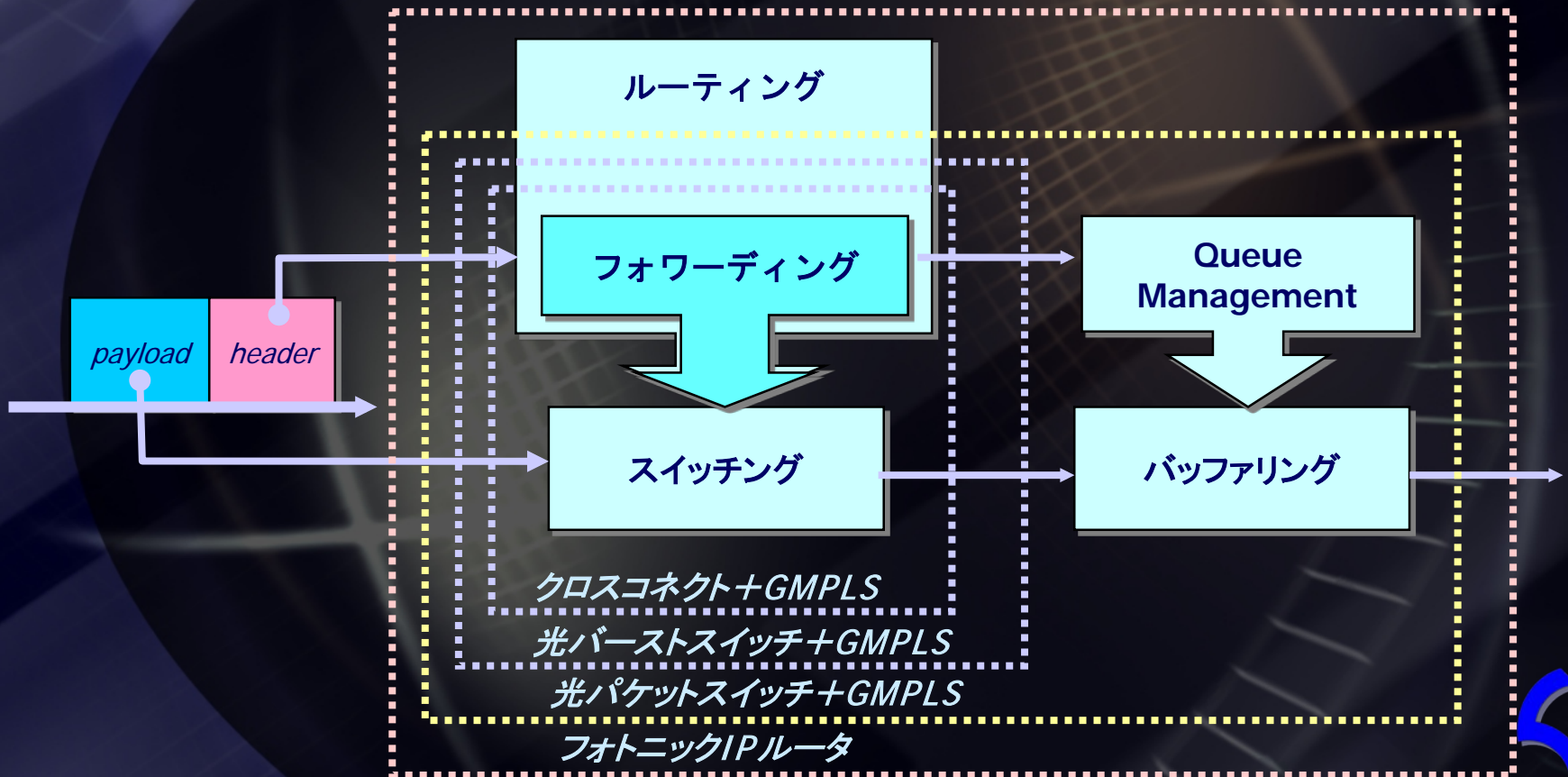
☐ その後は、光パケットスイッチ+GMPLS？

- Deployment?



フォトニックインターネットへの ロードマップ

Cross-Connect, Switch or Router?





ユーザに対する波長の開放

- ❑ IPを乗せることがWDMネットワークの役割か？
- ❑ TCPは本質的に
 - パケットロスが発生する
 - 帯域をfair-shareする役割を担う
- ❑ ユーザへの波長の開放（エッジノード間ではない）：オンデマンド波長パス設定
 - 前提：波長が豊富にある（1,000波長～）
 - 適用
 - ユーザ志向VPN
 - データグリッド（Tbyte級データ転送）
 - SANの広域ネットワークへの展開
 - Proprietaryなプロトコル展開も可能
 - PhotonicGrid
- ❑ 参考：インターネットが目の前にあったからこそ、それに適したWebというアプリケーションが生まれた
 - 背景：画像圧縮技術、GUI、画像表示能力
 - にわとりと卵（？）
 - napster, gnutella

