



# MPLSとGMPLS

～ サービス提供と、その伝達をささえる技術 ～  
第二部 GMPLS

Internet Week 2006  
2006/12/07

慶應義塾大学 工学部情報工学科  
特別研究助教授 岡本 聡

okamoto@ieee.org



## Agenda

- ◆ 自己紹介
- ◆ GMPLS技術
- ◆ ASONとGMPLS
- ◆ MPLSとGMPLSの関係とT-MPLS
- ◆ ASON/GMPLSの相互接続実験
- ◆ ASON/GMPLSの適用例



## 研究略歴

- ◆ 1988年 NTT入社
  - ・ ATM スイッチ方式の研究
- ◆ 1991年くらい
  - ・ 光ATM スイッチ方式の研究
- ◆ 1992年くらいから
  - ・ **フォトニックネットワークの研究**
    - ・ 1995年くらいからITU-TでOTNの標準化作成
    - ・ 1999年くらいからMPLS方式の研究
      - ・ 2000年1月OIFにPhotonic MPLS方式を提案
      - ・ 2000年2月IETFにドラフト提出(draft-kompella-mpls-optical-00.txt)
    - ・ 2000年くらいからHIKARI routerの開発を開始
      - ・ 2001年6月 SuperComm2001 Live Demonstration
    - ・ 2002年PILを設立し、GMPLSの相互接続を開始
    - ・ 2003年けいはんなオープンラボで GMPLSの相互接続を開始
      - ・ OFC2005 PDP40
      - ・ OFC2006 PDP47
    - ・ 2004年OIF SuperComm2004 相互接続デモ日本責任者
    - ・ 2005年OIF SuperComm2005 相互接続デモ日本責任者
- ◆ 2006年 慶應義塾大学理工学部情報工学科特別研究助教授



## GMPLS技術

- ◆ Generalized Multi-Protocol Label Switching
  - ・ 一般化MPLS
- ◆ MPLS
  - ・ パケット(IP)やフレーム(Ethernet, FR, ATM, ...)に、ラベル(shim header)を付与したものを、各Label Switch Router (LSR) に設定されたForwarding Table に従って、switchingして転送していく転送方式。
    - ・ End-to-end に Label Switched Path (LSP) を設定。
  - ・ 各LSRのForwarding Table の設定には、LDPやRSVP-TE といったシグナリングプロトコルを利用。



# GMPLSで一般化されたものは？

- ◆ **LSRの一般化**
  - **SDH/SONET cross-connect (XC) system**
    - Time Division Multiplex (TDM) switching
  - **Optical cross-connect (OXC) system**
    - Lambda switching
    - Fiber switching
  - **Photonic cross-connect (PXC) system**
    - Lambda switching
    - Fiber switching
  - **Ethernet switch**
    - Port switching
    - VLAN switching
- ◆ **これらの機器は、IP routing の機能は持っていないことが普通**
  - **全ての機器の switching table (Forwarding Table) を、RSVP-TE で設定可能にする。**
  - **ネットワークポロジ(とリソース)を IGP (OSPF, IS-IS)で収集する。**
  - **制御機能(IPを利用)と転送機能(非IPパケット)の分離。**



# MPLSとGMPLSの違い

## MPLS

- **シグナリング(RFC3209)**
  - **一方向** → 物理リンクに対応
  - **インバンド** → 回線交換に対応
  - **スイッチング** → 一般化(Generalized)
    - **パケット**
  - **設定パラメータ** → 一般化(Generalized)
    - **帯域**
  - **Fast reroute** → 物理リンクに対応
- **ルーティング(RFC3630)**
  - **アドレス** → 一般化(Generalized)
  - **帯域**

## GMPLS

- **シグナリング(RFC3471/3473)**
  - **双方向**
  - **アウトオブバンド**
  - **スイッチング**
    - Packet/TDM/Lambda/fiber
  - **設定パラメータ**
    - **スイッチ能力**
    - **帯域**
    - **エンコーディング**
- **GMPLS e2e**
- **ルーティング(RFC4202/4203)**
  - **アドレス**
  - **帯域**
  - **スイッチング能力**
  - **エンコーディング**

似て非なるもの...

KDDI研究所 大谷朋広氏のまとめより



## GMPLSの考え方

- ◆ IP/MPLSルータの間を接続するための物理リンクの設定を、IP/MPLSルータ主導で実施するためのツール。
  - **物理リンク**
    - Ethernet、SDH/SONET
  - **間の伝送装置**
    - Ethernet Switch
    - SDH/SONET Switch (XC)
    - OXC/PXC



## 伝達網提供側の考え方

- ◆ IP/MPLSルータを含む、伝達網利用機器(Layer 3, Layer 2, Layer 1の各種機器) に対して、所望の帯域や品質を持った回線/パスを、on demand に提供するためのツール。
  - **On demand Private Line (専用線) service**
  - **On demand Virtual Private Line service**
  - **On demand Virtual Private Network service**
    - Layer 1 (L1) VPN
    - Layer 2 (L2) VPN



- ◆ 自己紹介
- ◆ GMPLS技術
- ◆ **ASONとGMPLS**
- ◆ **MPLSとGMPLSの関係とT-MPLS**
- ◆ **ASON/GMPLSの相互接続実験**
- ◆ **ASON/GMPLSの適用例**



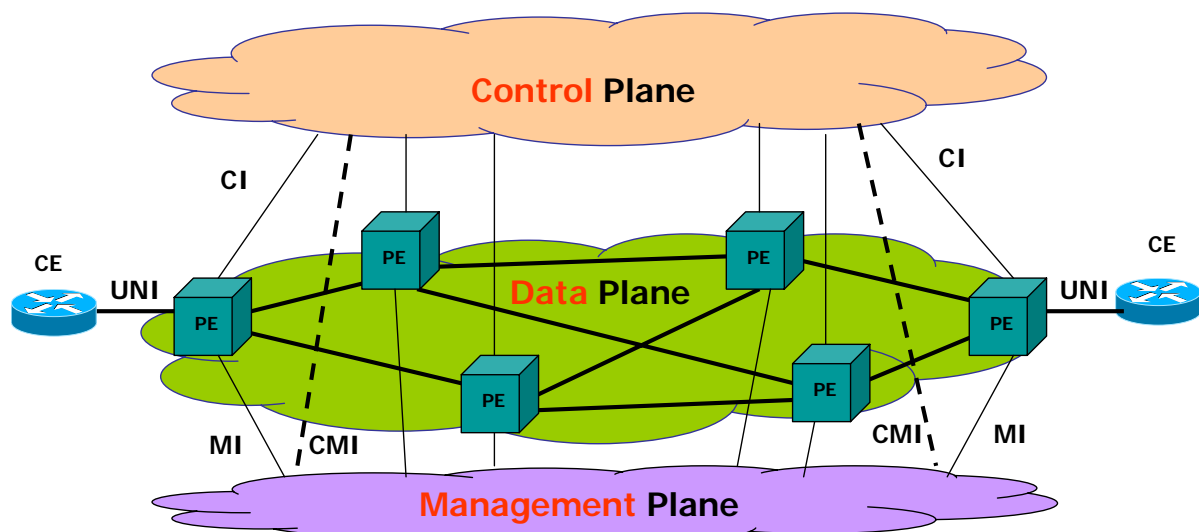
- ◆ **ASON**
  - **Automatically Switched Optical Network**
  - **ITU-T が標準化を推進**
    - サービス要求条件→ネットワークアーキテクチャ→プロトコル要求条件→プロトコルスペック→相互接続
    - **トップダウンアプローチ**
    - **Heterogeneous なネットワーク環境を想定**
      - プロトコル要求条件を満たせば、どのようなプロトコルを利用しても良い
      - IETF が制定する GMPLS のプロトコル群もASONへ適用可能
  - **OIF (Optical Internetworking Forum)で、標準実装 (Implementation Agreement)と相互接続を実施**
  - **伝達網のIntelligent化が目標**

## ◆ GMPLS

- 狭義には、IETFが標準化している GMPLSプロトコル群のこと
- GMPLSアーキテクチャといった場合には、
  - IP/MPLSルータが主体で、IP/MPLSルータ群と、IP/MPLSルータから GMPLSプロトコルで制御されるGMPLS対応伝送機器群とで構成される IP/MPLS網を指す
- IETFが標準化を推進
  - 要求条件→ソリューション(プロトコル仕様)→実装確認→標準
    - 実際には、各社のソリューションが先に存在して、各社のor をラフコンセンサスとして標準仕様とすることが多い
    - ボトムアップアプローチ
    - Homogeneousなネットワーク環境を想定
- ISOCORE/PIL 等で相互接続性を検証
- IP/MPLS網への可制御リンク提供が目標

## 伝達網のアーキテクチャ

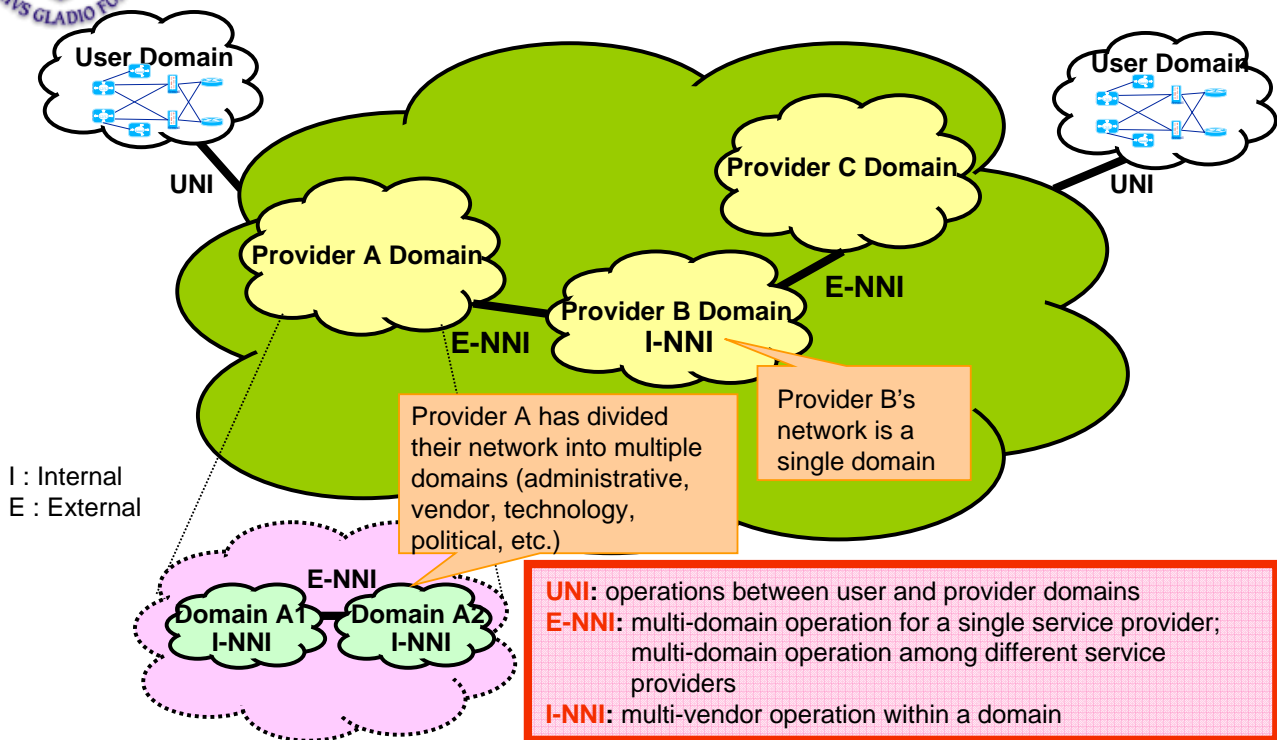
- ◆ 最近流行のネットワークモデル
  - C-Plane/D-Plane/M-Planeの三面構成



※ D-Plane は T-Plane (Transport Plane)とも呼ばれます。

CE: Customer's Equipment, PE: service Provider's Equipment

# Control Plane Interfaces



# UNI/NNIとは (ITU-T Recommendation G.805)

- ◆ 従来はD(T)-Planeの物理条件/信号フォーマットを重点的に標準化。現在は、C-PlaneのInterfaceを重点的に標準化。
- ◆ Interface: 制御対象間の論理的な関係を決めたもの
  - ・ 制御対象の機能仕様を定義
  - ・ 交換される情報の種別や情報量を規定
- ◆ Common control interfaces
  - ・ User-Network Interface for the C-Plane [UNI]
  - ・ Network-Network Interface [NNI (I-NNI/E-NNI)]
- ◆ キャリア内部(intra-carrier) とキャリア間 (inter-carrier) とで必要とされる機能が異なることに着目して分類
  - ・ 同一キャリア内でも、ベンダアイランドや管理区分の関係で、内部にE-NNIが存在する。



## UNI/NNIとは(続き)

- ◆ UNI: 最低限度の情報交換のみ行う
  - ・ 接続先の名称とアドレスの引渡し
  - ・ 接続要求に対する認証制御
  - ・ 接続要求メッセージの交換
- ◆ E-NNI: 最低限度の情報交換のみ行う
  - ・ Routing **Reachability** : summarized network address information
  - ・ 接続要求に対する認証制御
  - ・ 接続要求メッセージの交換
- ◆ I-NNI
  - ・ **トポロジー/ルーティング情報の交換**
  - ・ 接続要求メッセージの交換
  - ・ 網のリソース制御を行うための情報



## ASONとGMPLSにおける C-Plane IFの違い

- ◆ **ASON : Heterogeneous**
  - ・ **UNI/I-NNI/E-NNI を定義**
    - ・ UNIとI-NNI は異なったプロトコルが良い
    - ・ I-NNIとE-NNIは異なったプロトコルが良い
    - ・ UNIとE-NNIは、標準化するが複数のプロトコルを容認する
- ◆ **GMPLS: Homogeneous**
  - ・ I-NNIはGMPLSプロトコル群
  - ・ UNIは、I-NNIのサブセット
  - ・ 特別なE-NNIは定義しない
    - ・ I-NNIにおけるmulti-area, multi-AS の拡張が自然とE-NNIになる

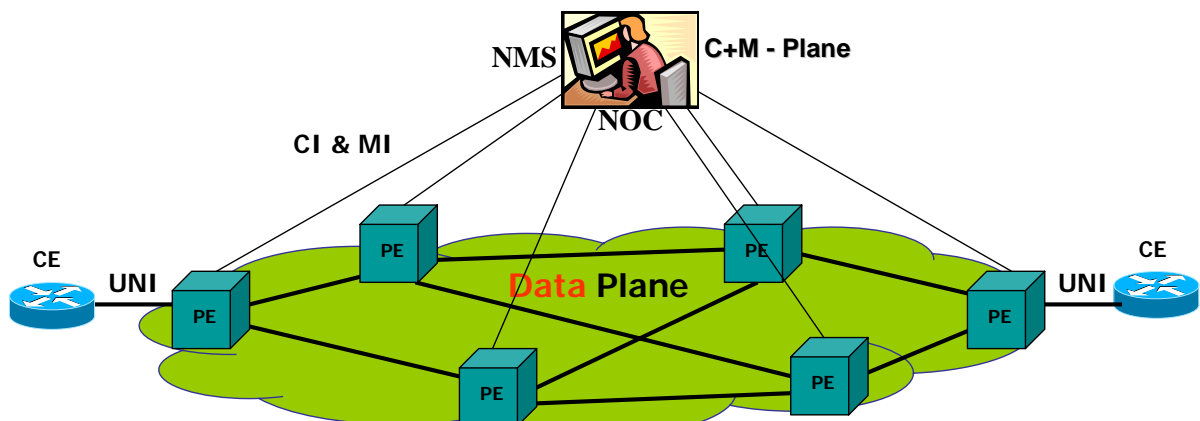


# ASON/GMPLSがターゲットとする 光伝達網の世界

- ◆ 従来型の光伝達網  
(for Telephone Network Backbone)
  - ・ **プロビジョニングによる静的なネットワーク**
    - ・ 集中制御の NMS による管理・制御
      - ・ Centralized Control Plane (C-Plane)
      - ・ Centralized Management (M-Plane)
- ◆ 新世代の光伝達網  
(for Data Network Backbone)
  - ・ **動的/適応的なネットワーク**
    - ・ Distributed C-Plane
    - ・ Centralized M-Plane

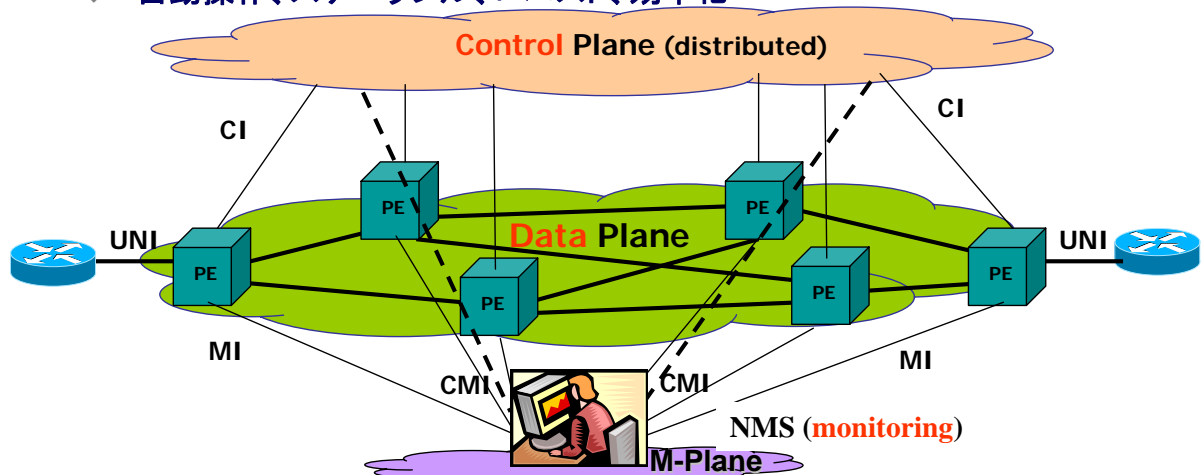
# 従来型のネットワーク (Telephone Network)

- ◆ Network Operation Center (NOC) に設置された、Network Management System (NMS) からの集中的な運用と管理
  - ・ 運用者が手順を踏んで操作
    - ・ エラーしがち、遅い、高運用コスト
    - ・ 迅速なプロビジョニングや、網リソースの最適化のための網再構成は困難
  - ・ C-PlaneとM-Plane の明確な区分は存在しない
    - 全ての動作は、中央のNMSから開始
    - ・ スケーラビリティに制限
      - ・ イベント発生時の状態把握や、制御動作が制限要因となる



# 新世代ネットワーク (for Data Network)

- ◆ Intelligent 光伝達網 (ASON/GMPLS)
  - ・ M-Plane (NMS) と C-Plane を分離
  - ・ 装置の自動登録(Self Inventory)と、隣接装置の自動認識(Neighbor Discovery)
  - ・ ルーティング情報やトポロジー情報の分散配布
  - ・ シグナリングによるコネクション設定
- ◆ 自動操作、スケーラブル、ロバスト、効率化

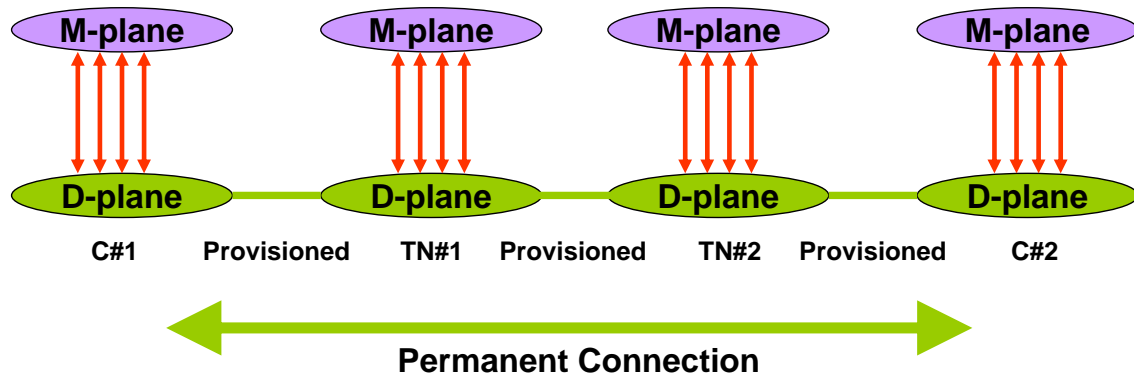


# 新たなサービスクラスの導入

- ◆ Permanent Connection (PC)
  - ・ 経路上の装置設定をプロビジョニングで行うことでパスを提供。
  - ・ プロビジョニングは、NMS又は手動設定で行われる。
  - ・ Hard Permanent Connection と呼ばれることもある。
- ◆ Switched Connection (SC)
  - ・ C-Planeの端点間の通信によってon demand にパスを提供。
  - ・ シグナリングプロトコルによって、装置が設定される。
- ◆ Soft Permanent Connection (SPC)
  - ・ CEとPE間にPCを設定しておき、PE間のパスセグメント設定をシグナリングプロトコルによって行うことでパスを提供。
  - ・ ユーザからのリクエストに応じて、パスの接続先を on demand に変更することも可能。
- ◆ サービスクラス間の重要な差異は、コネクション設定時期
  - ・ PC: オペレータ主導
  - ・ SC: ユーザ主導
  - ・ SPC: ユーザ主導+オペレータ(ネットワーク)反応
    - ・ 例: 予約した時間に、ネットワークが接続先を変更してくれる

# Permanent Connection

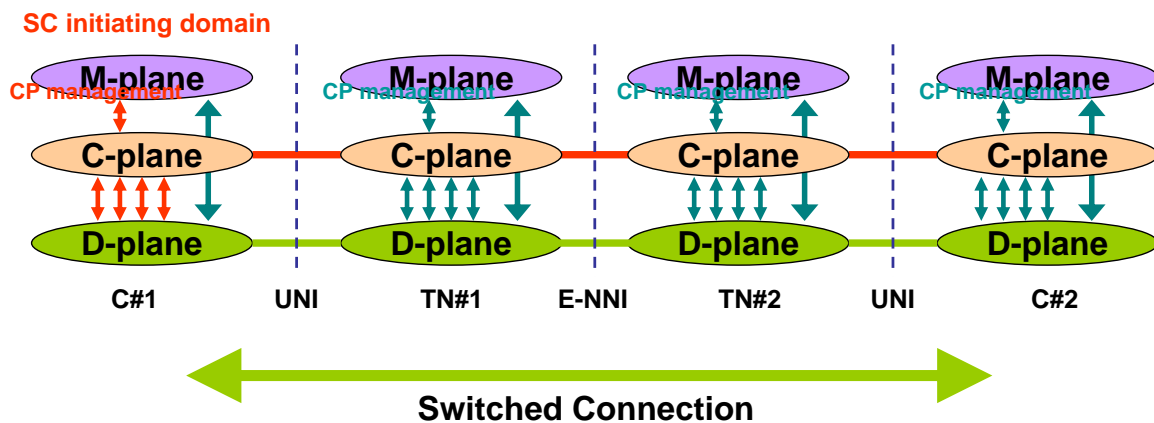
- ◆ NMSから設定されたPermanent Connection の例



C: Client Network Domain  
TN: Transport Network Domain

# Switched Connection

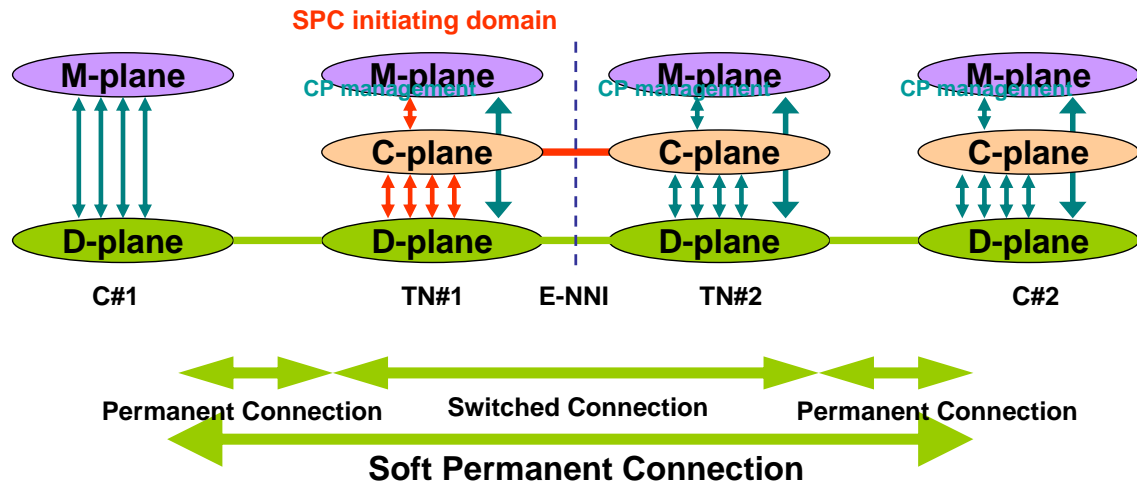
- ◆ Client domain の signaling から設定されたSwitched Connection の例



C: Client Network Domain  
TN: Transport Network Domain

# Soft Permanent Connection

- Management Planeから設定されたSoft Permanent Connection の例
  - C#2 はC-plane を保有しつつ PC をTN#2との間で設定



C: Client Network Domain  
TN: Transport Network Domain

# ASON Press Release from ITU-T (4 December 2001)

## The 40Gigabit per Second Phone Call:

### Global Standards for Automatically Switched Optical Networks Enable New Market Services



## Drive to Automatically Switched (Optical) Network

- ◆ Make the network intelligent
- ◆ On-demand bandwidth to the edge of the network
- ◆ New applications
  - Disaster Recovery
  - Distributed SAN (Storage Area Network)
  - Data warehousing
    - Backup Bunkers (no more tapes)
  - Big Pipes on Demand
    - Download movies to movie theaters
    - Site replication
  - Optical VPN
  - Grid Computing

GMPLSも目指す  
ところは同じ



## Optical Control Planeを導入すること の目に見えるメリット

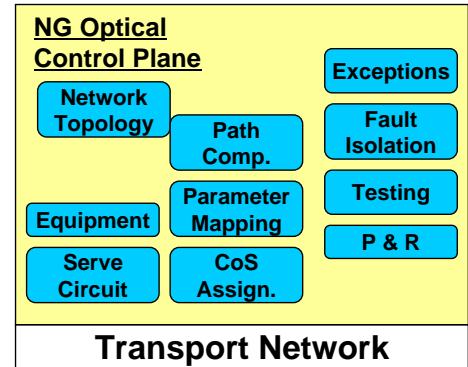
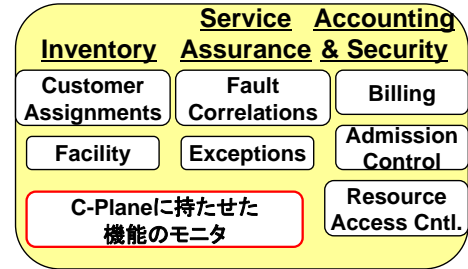
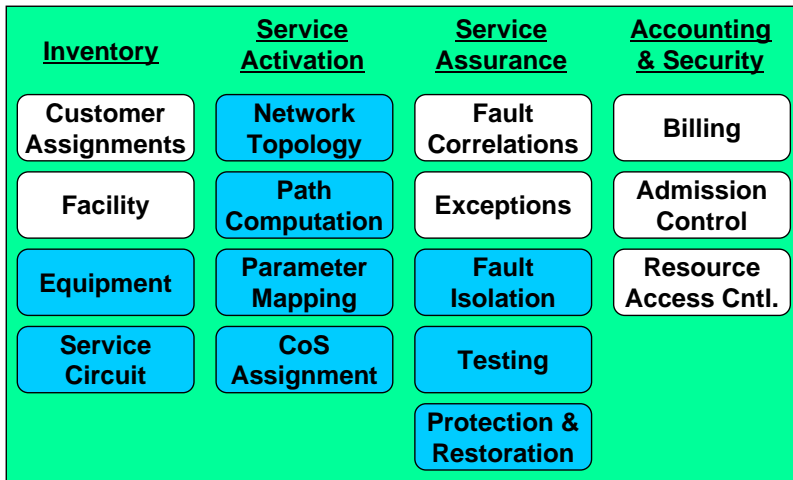
- ◆ Auto-Discovery & Self-Inventory
  - 網全体に渡った高品質な ノード/リンク/ポート情報、トポロジー情報、サービス情報の DB が提供される
- ◆ Dynamic Provisioning and Service Activation
  - リアルタイムのリソース情報に基づいた、高速な回線設計
  - User-Network Signaling や Customer Service Portal からの回線設定とサービス始動
- ◆ Traffic Engineering
  - 経路の効率化とリソース使用効率の向上
  - 迅速なサービス対応の網構成調整
- ◆ Protection & Restoration (P&R) for Mesh
  - 網の信頼性の向上と、CoS (class of service) のサポート
  - UPSR (Unidirectional Path Switched Ring)、BLSR (Bidirectional Line Switched Ring) に加えて新たな P&R のオプションが追加される



# Management Planeの簡易化

Traditional OSS

NG OSS

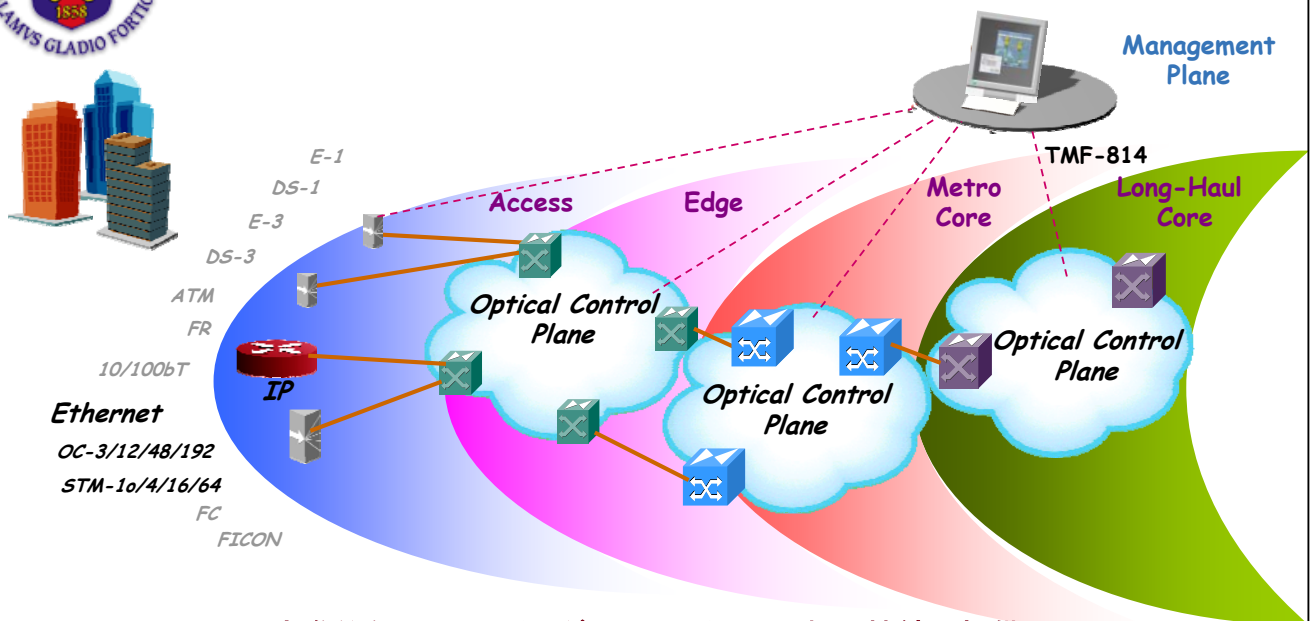


Transport Network

Transport Network

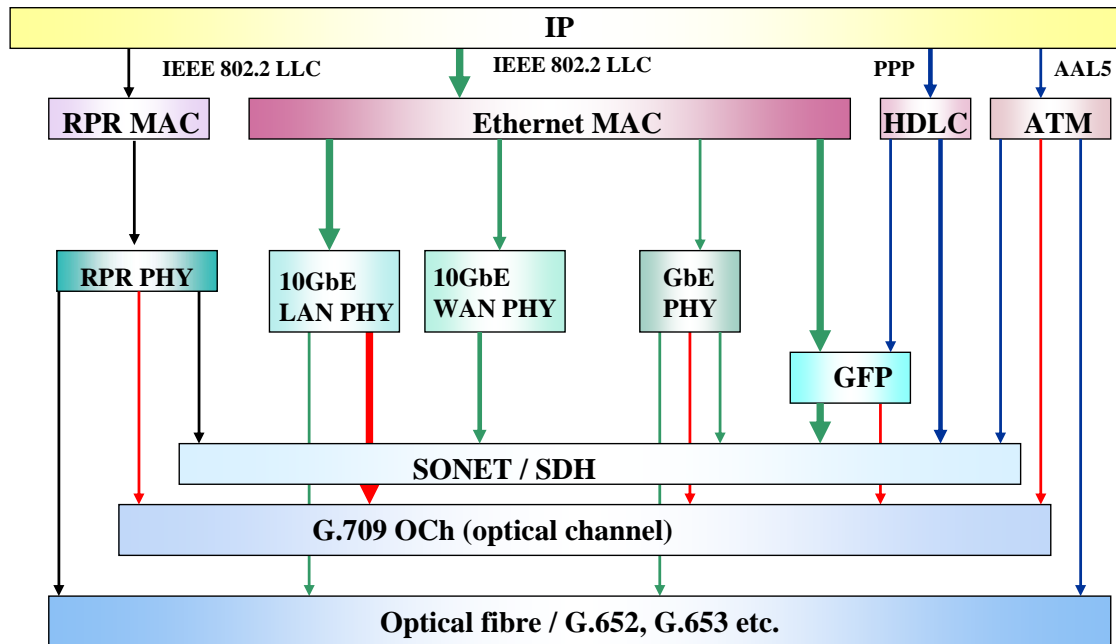


# Optical Control Plane Goals



- 実地的な、マルチベンダ、マルチキャリア相互接続の提供
- EthernetとIP over Optical による新たなサービス提供
- 使いたいときにEnd-to-End のサービスを提供 (Just in Time)
- ドメイン間を跨った SCサービスの提供

# IP over Optical Structure



RPR Residential Protection Ring  
HDLC High level Data Link Control procedure

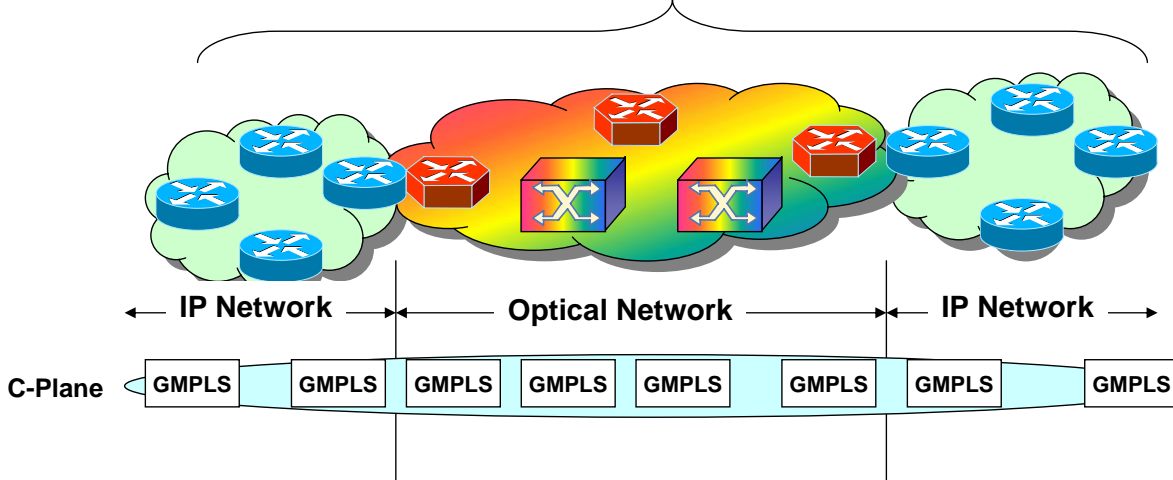
# IP over Optical Network のアーキテクチャ Peer Model vs. Overlay Model

- ◆ Peer Model
  - Control Plane が、フラットなネットワーク
    - IP ルータと、Optical Network機器は、対等 (client/ serverでない)
    - C-plane的に見ると、全てのNE (Network Equipment) をLSRとして取り扱うことが可能
- ◆ Overlay Model
  - Control Plane が階層的なネットワーク
    - IP ルータは、Optical Network の client
      - UNIを Client と Server の間に定義する
    - Optical Network の client は、IPルータとは限定されない。
      - SDH box, ATM box, Ethernet Switch ...



# Peer Model

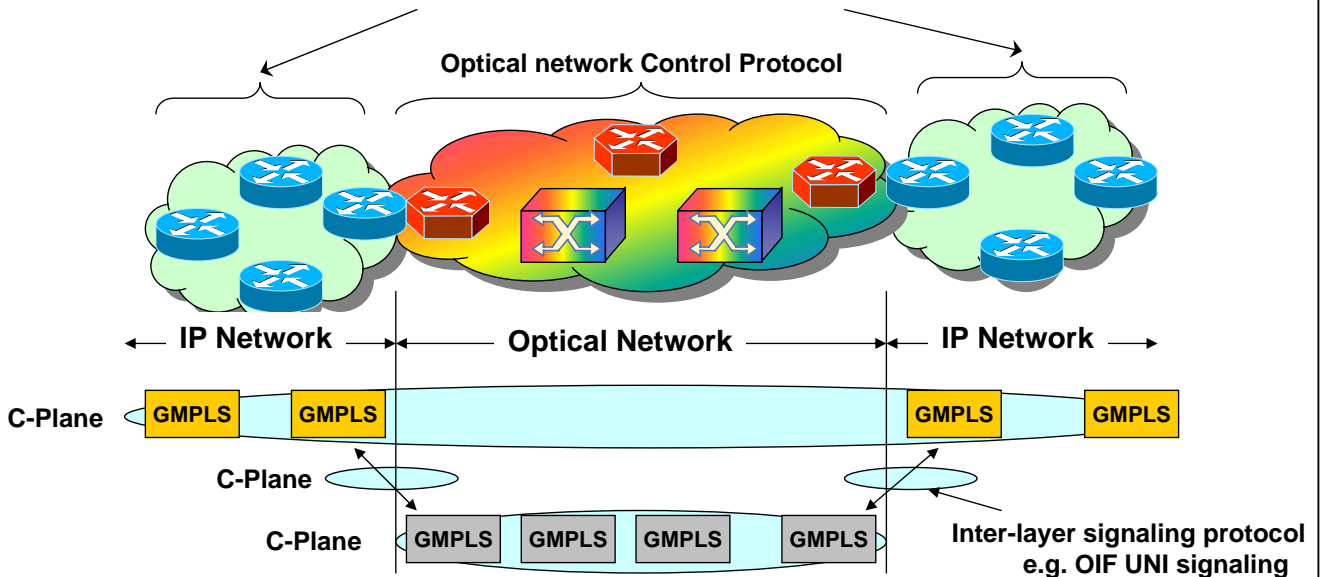
Same Control Protocol: i.e. GMPLS



- ◆ Only one C-plane
- ◆ In the C-plane network, IP network element controllers and Optical network controllers do not have a client-server relationship.

# Overlay Model

IP network Control Protocol



- ◆ Multi C-Planes.
- ◆ Optical network control protocol can alter from IP network control.
  - It is possible to adapt centralized management system.





## IP網と光網のインターワーキング

- ◆ Peer Model: IPルータとOXCがC-Planeにおいてpeer (対等) な関係をもつ。
  - ・ 光網内の情報とIP網内の情報を等価に扱えるようにする必要がある。
  - ・ 光網内の状態変化をIP網は知る。逆も同じ。
- ◆ Overlay Model: IP網は光網のクライアント。
  - ・ IP網内でのルーティング/シグナリングと光網内でのルーティング/シグナリングは別。
  - ・ IP網と光網の間のインタフェース(UNI)により各レイヤのC-Plane間でインターワーキング。
    - ・ 光網内の状態変化をIP網は知らない。逆も同じ。

どちらが適しているかは、網の使い方で異なる。



## ASON と GMPLS の考え方の違い

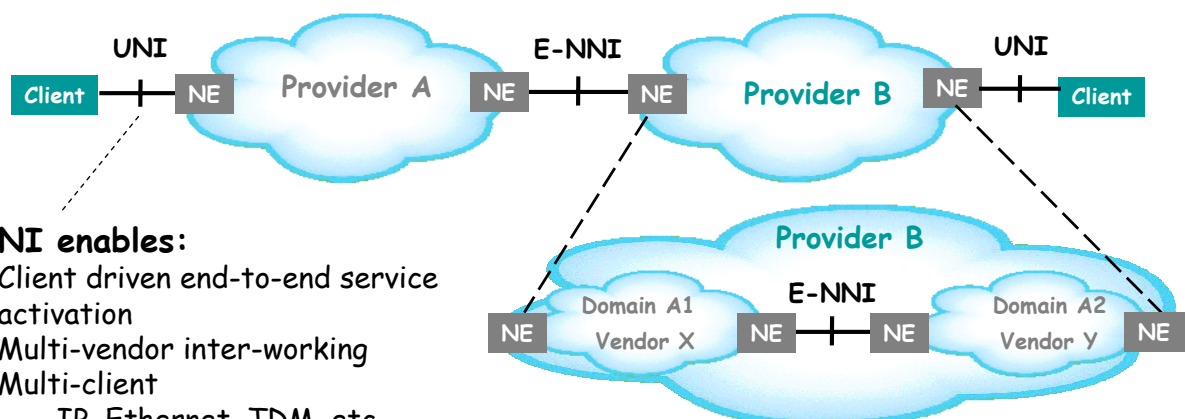
- ◆ ASON : 光サービスを提供するための手段
  - ・ Provider 網が光網
    - ・ Provider 網のエッジは、XC, OXC, PXC 等
  - ・ Client 網は IP網等
    - ・ Client 網のエッジは、IP ルータ、XC、Ethernet SW 等
- ◆ GMPLS : IPサービスを提供するための手段
  - ・ Provider 網がIP網
    - ・ Provider 網のエッジは、IP ルータ
  - ・ Client 網は IP網
    - ・ Client 網のエッジは、IP ルータ

**ASON vs. GMPLS はナンセンス!!!**

## ASON がHeterogeneous であることの特徴

- ◆ **ベンダ島を形成 → 考え方は、キャリア島へ拡大可能**
  - **ベンダ島内(I-NNI)は、ベンダ独自のプロトコルで特徴を出す**
    - GMPLSじゃなくても良い
      - OSI base のプロトコル
      - ATMの制御プロトコル (PNNI)
  - **ベンダ島間(E-NNI)は、標準プロトコルを利用する**
    - GMPLSを利用する

## ASON Architectural Principles Interfaces



### UNI enables:

- Client driven end-to-end service activation
- Multi-vendor inter-working
- Multi-client
  - IP, Ethernet, TDM, etc.
- Multi-service
  - SONET/SDH, Ethernet, etc.
- Service monitoring interface for SLA management

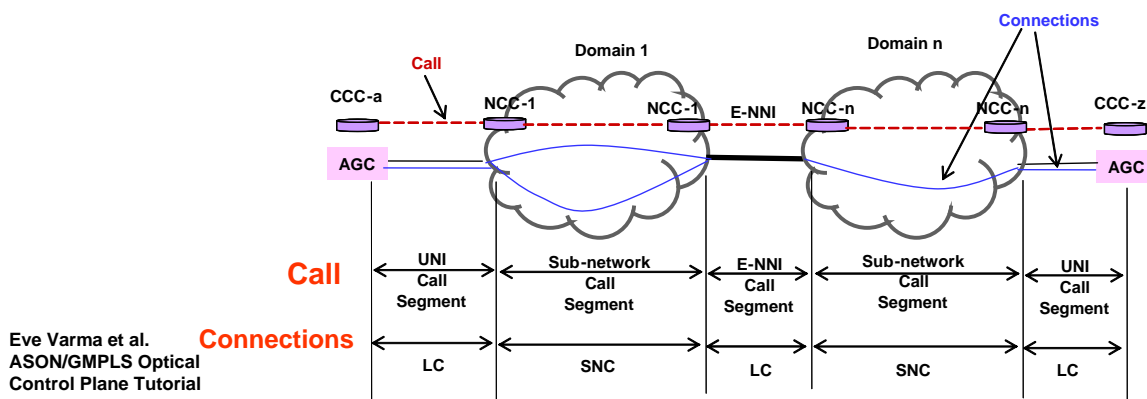
### E-NNI supports:

- End-to-end service activation
- Multi-vendor inter-working
- Multi-carrier inter-working
- Independence of survivability schemes for each domain



# ASON Protocol Neutral Signaling Call & Connection Separation

- ◆ End-to-end に設定されるのは call (GMPLSだと LSP)
- ◆ Call は Call Segment から構成される
- ◆ 各 Call Segment は、connection から構成される
- ◆ 各 connection の設定に、GMPLSプロトコルを適用する場合、各 connection は LSP より構成される

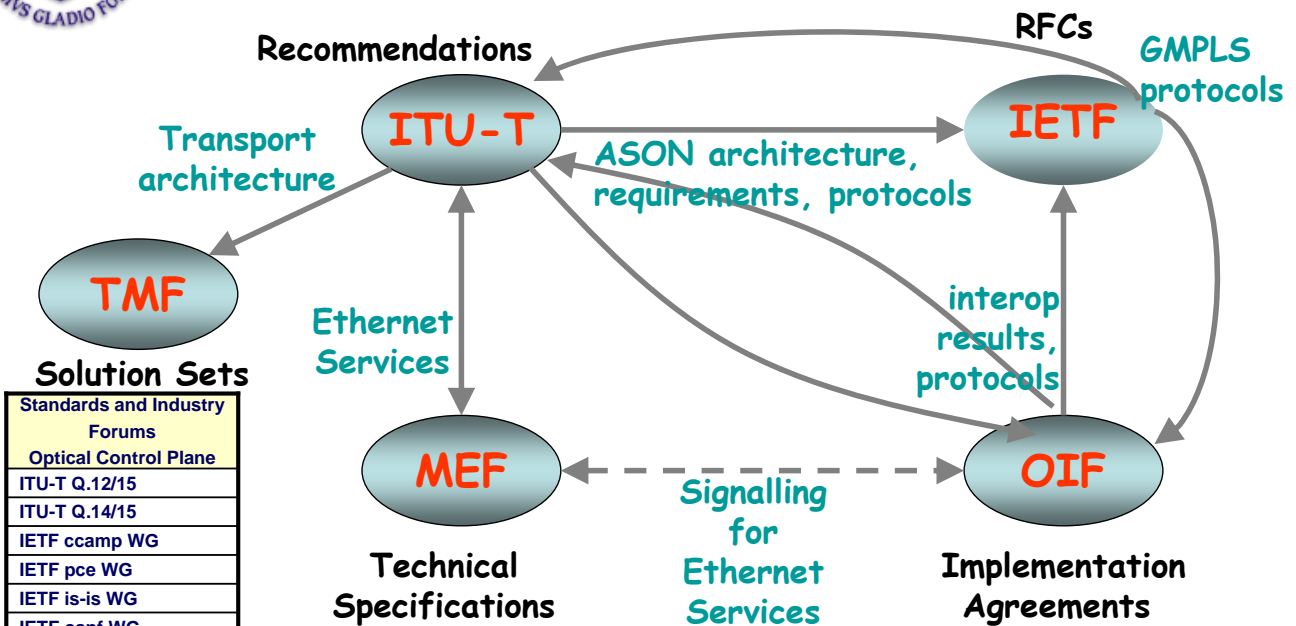


# ASON Protocol Specific Signaling

- ◆ ITU-T Recommendations for ASON signaling protocol extensions Approved March '03
  - Rec. G.7713.1, DCM Signaling Mechanism Using PNNI
  - Rec. G.7713.2, DCM Signaling Mechanism Using GMPLS RSVP-TE
  - Rec. G.7713.3, DCM Signaling Mechanism Using GMPLS CR-LDP
- ◆ IETF base GMPLS signaling protocol RFCs Approved by IESG, published Jan. '03
  - RFC 3471, GMPLS Signaling Functional Description
  - RFC 3472, GMPLS CR-LDP Extensions
  - RFC 3473, GMPLS RSVP-TE Extensions
- ◆ IETF Informational RFCs containing ASON GMPLS signaling protocol extensions (aligned with G.7713.2 & G.7713.3) and IANA Code Point Assignments Approved by IESG, published March '03
  - RFC 3474, IANA Assignments for GMPLS RSVP-TE Usage and Extensions for ASON
  - RFC 3475, IANA Assignments for GMPLS CR-LDP Usage and Extensions for ASON
  - RFC 3476, IANA Assignments for LDP, RSVP, and RSVP-TE Extensions for Optical UNI Signaling

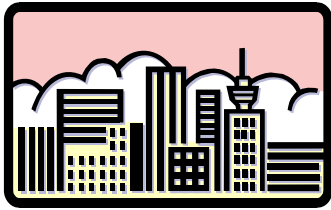
- ◆ **ベンダ島を形成** → 考え方は、キャリア島へ拡大可能
  - ・ **ベンダ島内(I-NNI)**は、ベンダ独自のプロトコルで特徴を出す
    - ・ GMPLSじゃなくても良い
  - ・ **ベンダ島間(E-NNI)**は、標準プロトコルを利用する
    - ・ GMPLSを利用する
  
- ◆ **ベンダの分業化**
  - ・ **ベンダ島を一社の機器だけで提供できなくなる**
    - ・ I-NNIがGMPLS化
  
- ◆ **全部GMPLSを利用するなら、最初からASONじゃなくGMPLSで網を作成すべきでは？**
  - ・ **歴史的には、**
    - ・ 標準GMPLS→拡張GMPLSになって、ベンダ島が再度形成
    - ・ 新プロトコルが登場。。。

## 標準を作成している組織の相関図



Standards and Industry Forums
Optical Control Plane
ITU-T Q.12/15
ITU-T Q.14/15
IETF ccamp WG
IETF pce WG
IETF is-is WG
IETF ospf WG
IETF rpsec WG
OIF Arch. & Sig. WG
OIF Interop WG
OIF OAM&P WG
TMF MTNM
(-> multitech. Mgmt)

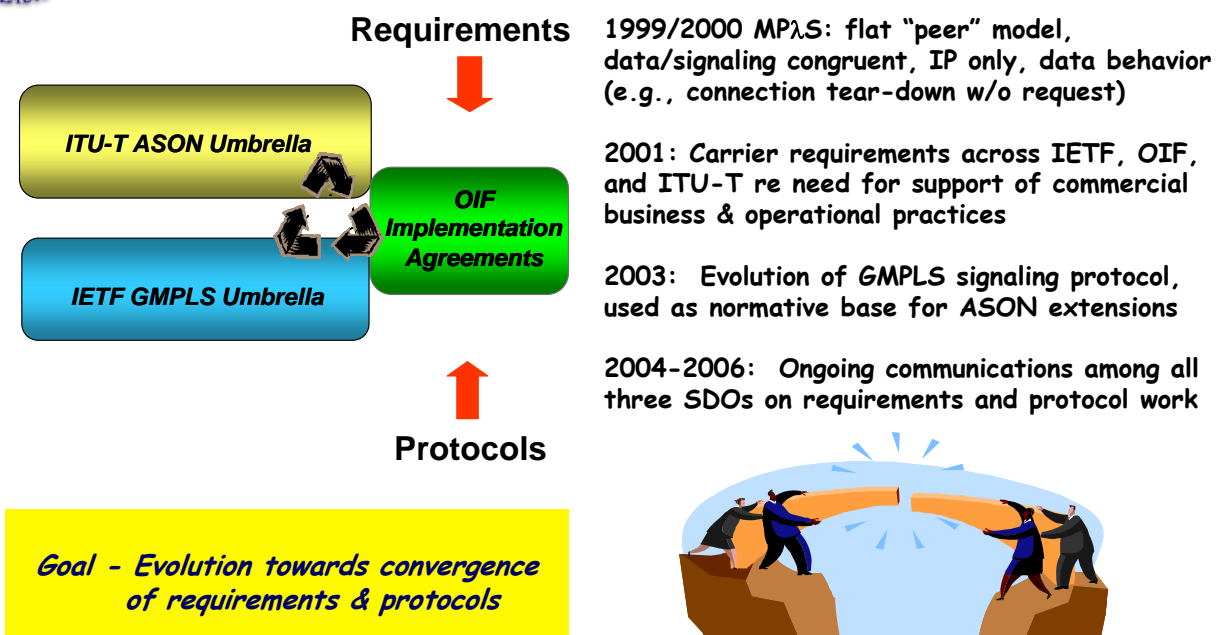
# ITU vs. IETF vs. OIF



- ◆ Different focus
  - ITU focuses on architecture
    - ASON architecture
  - IETF focuses on building blocks
    - GMPLS protocol specs.
  - OIF focuses on applications and interoperability
    - Implementation Agreements (IAs) and Interoperability Test Events
- ◆ Common goal: better optical networking
- ◆ Recognized need for coordination

L. Ong, "Optical Control Plane Activities in IETF and OIF", ITU-T Workshop on IP/Optical Chitose, Japan, 9-11 July 2002

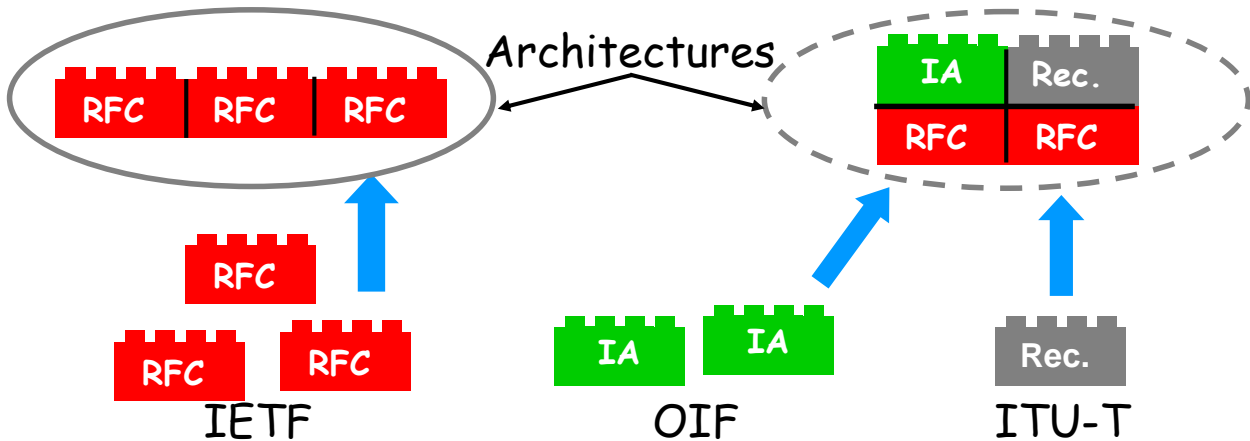
# 標準化機関の協調



# プロトコルとアーキテクチャ

Control Plane の機能はプロトコルによって実装される。

- 異なるアーキテクチャ (ASONとGMPLS) に対して、若干異なったプロトコルのパーツが組み合わされる。
- 各標準化機関から、パーツとアーキテクチャが提供される。



Eve Varma et al.  
ASON/GMPLS Optical  
Control Plane Tutorial

# 各標準化機関での取り組み状況例

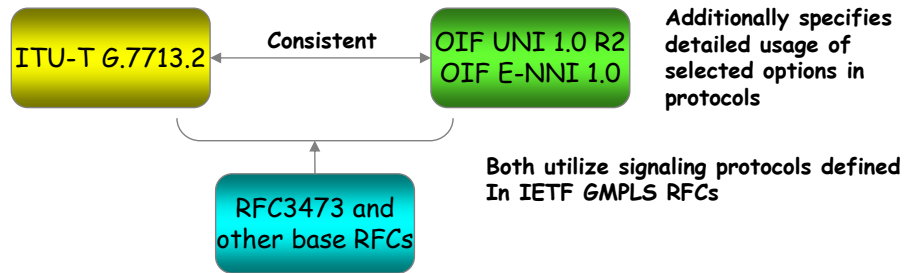
## Control Plane Specifications

	Architecture	Signalling	Routing	Management
<b>IETF</b>	RFC 3945	RFC 3472, RFC 3473 RFC 3946, RFC 4208	RFC 4202	GMPLS MIBs
<b>ITU-T</b>	G.8080	G.7713 G.7713.2	G.7715 G.7715.1	G.7718
<b>OIF</b>		UNI 1.0 ENNI 1.0	ENNI 1.0	
<b>TMF</b>	TMF509			TMF814

Eve Varma et al.  
ASON/GMPLS Optical  
Control Plane Tutorial



# ITU-T/OIF and IETF Signaling Protocol Differences



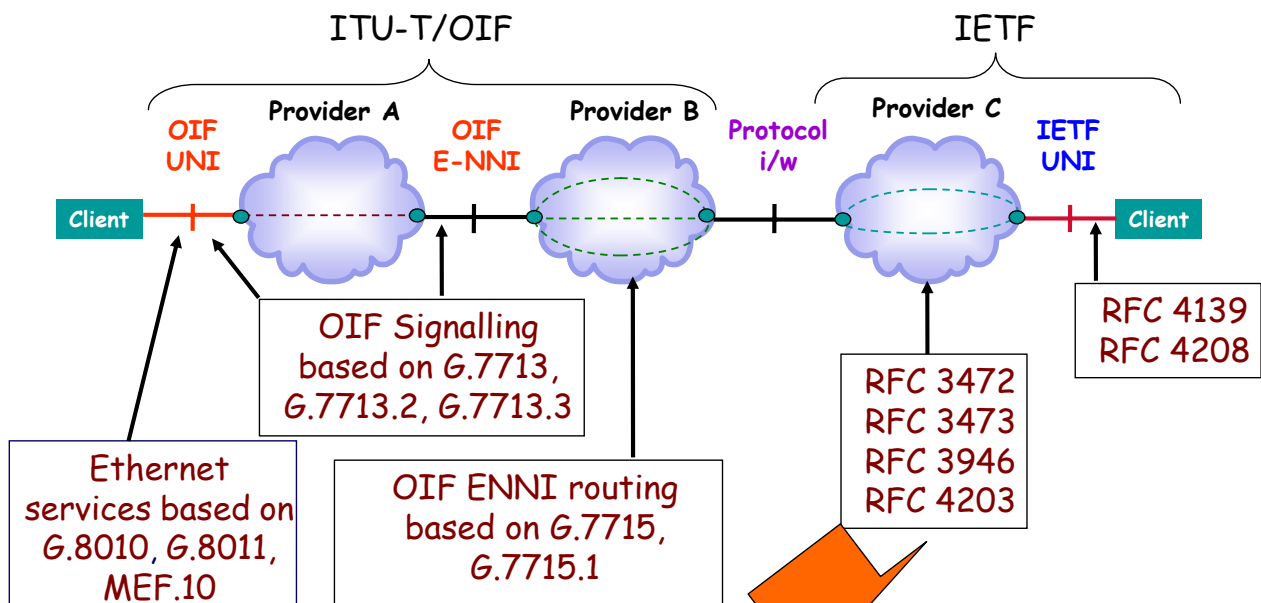
- ◆ シグナリングプロトコルに関しては、ほぼ同一
  - Same RSVP-TE PATH/RESV processing
  - Same RSVP-TE refresh mechanism
  - No change to defined RSVP objects
  - No new messages
- ◆ ITU-T/OIF と IETF ASON/GMPLS でどこが違うか
  - New "call"-related objects
  - New C-Types associated with UNI and E-NNI
  - Need for usage of ResvTear/RevErr

Eve Varma et al.  
ASON/GMPLS Optical  
Control Plane Tutorial

# Signaling Protocol Interworking Scenario

Dynamic signalling and routing control over OTN/SONET/SDH network

- ◆ Dynamic signalling for Ethernet services using ASON Interlayer architecture



**Example** Eve Varma et al.  
ASON/GMPLS Optical  
Control Plane Tutorial

「けいはんなオープンラボ」



## Agenda

- ◆ 自己紹介
- ◆ GMPLS技術
- ◆ ASONとGMPLS
- ◆ MPLSとT-MPLSとGMPLS
- ◆ ASON/GMPLSの相互接続実験
- ◆ ASON/GMPLSの適用例



## Transport-MPLS

- ◆ ITU-Tで標準化が進展
- ◆ ATMの代わり
  - L2 をアグリケーションして、L1に收容するためのツール
    - ADSL, Frame Relay において ATMは結構現役
      - ATM部分をMPLSへ置換していく
  - パケットベースのキャリアグレード伝達網提供技術
    - Pseudo Wire Emulation Edge to Edge (PWE3) の下位伝達網
    - ITU-T MPLS OAM
    - Bi-directional
    - GMPLSとの高い親和性
  - レイヤ1.5 としての MPLS技術





# What is Transport-MPLS (T-MPLS)

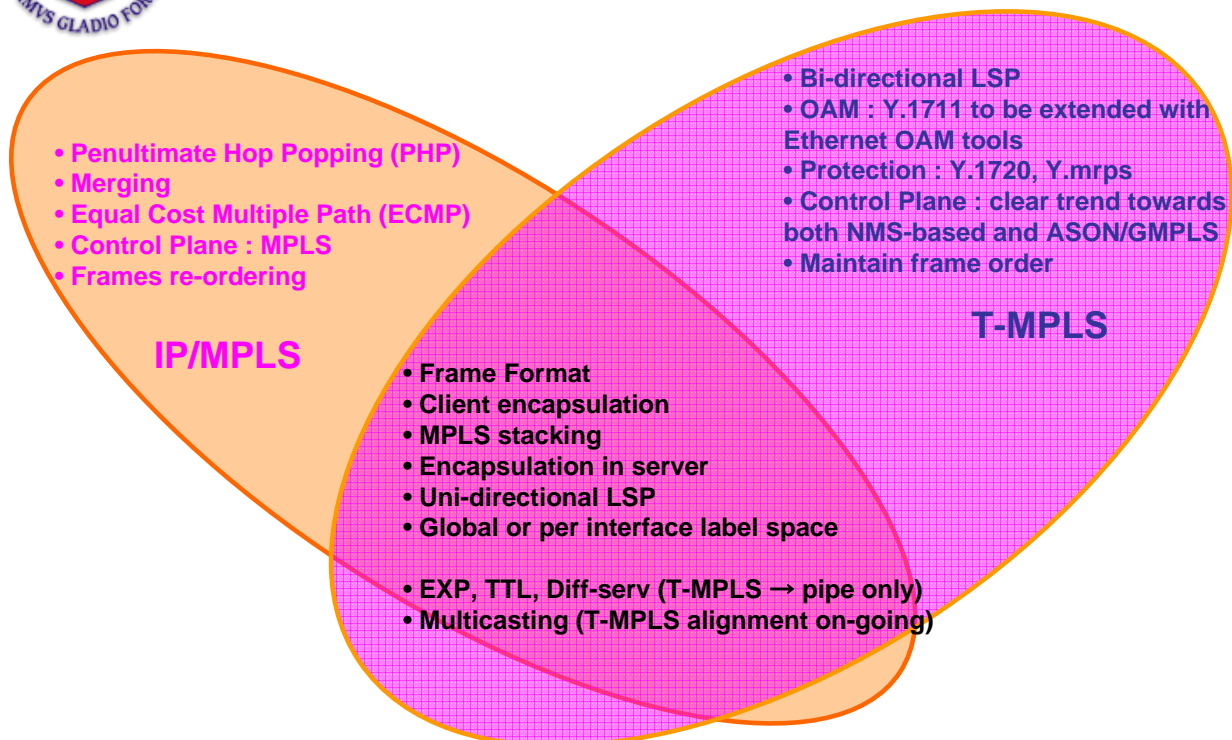
G8110.1 revised in ITU Ottawa meeting -19-23Jun06

- ◆ MPLSのD-Planeに基づいた、コネクションオリエンテッドなパケット伝達網技術
- ◆ ITU-Tの階層化ネットワークアーキテクチャ原則に忠実なパケット転送アプリケーションに注目した技術
- ◆ T-MPLSレイヤ網は、クライアントと、T-MPLSのC-Plane網と独立して運用することができる
  - この独立性は、ロバストなパケット伝達網を設計して、顧客のトラヒックを伝達するのに必要な自由度をネットワークオペレータに提供する
- ◆ T-MPLSトレイルは、各種のクライアントトラヒックタイプを伝送可能である
  - 中略
- ◆ 最後に、伝達のためのコネクションの保持時間は長時間となる可能性が高い、そのためT-MPLSは従来の伝達網が持っていた特徴、例えばプロテクションやOAM機能を取り込む

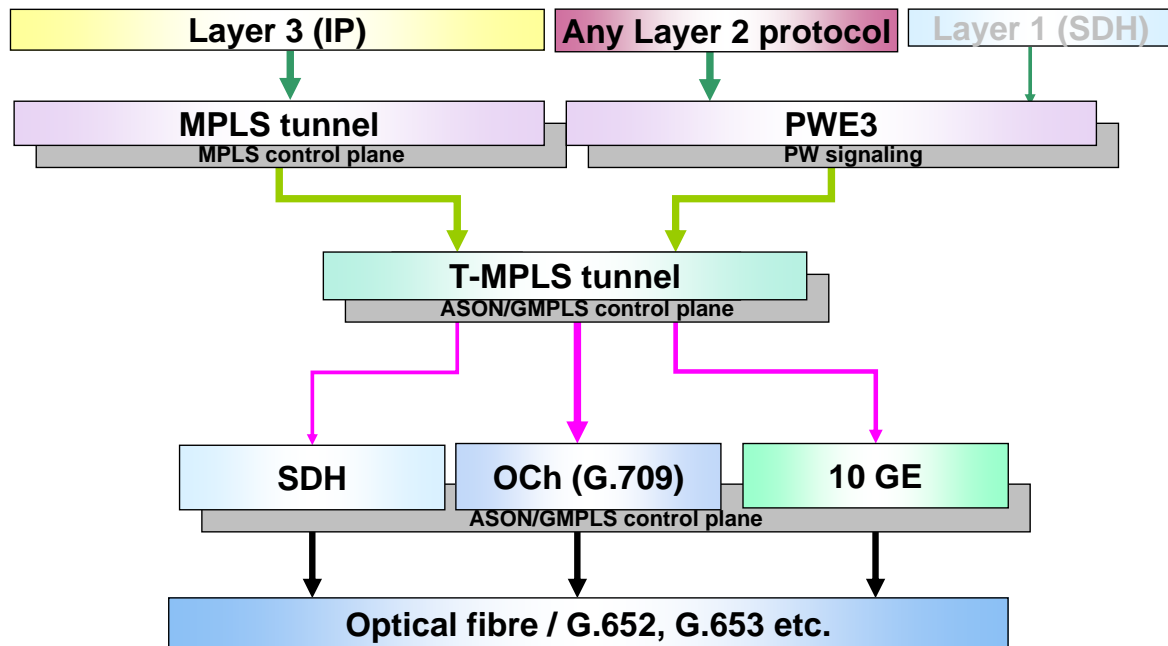
**T-MPLSは、2006年11月にITU-T Recommendationとして承認予定**



## IETF MPLS と ITU-T T-MPLS の関係



# T-MPLS Data Plane Mapping



# T-MPLSの標準化の状況

## 標準化済

- ◆ Data-plane mapping
  - for Ethernet point-to-point connections
- ◆ OAM
  - ITU-T Y.1711
    - MPLS OAM
- ◆ Linear protections
  - ITU-T Y.1720

## 標準化未了/未着手

- ◆ Data-plane mapping
  - for IP/MPLS and other L2 clients
  - For (M)P-to-MP connections
- ◆ OAM extensions
  - ITU-T Y.1731
    - Ethernet OAM
- ◆ Ring protections
- ◆ Distributed restoration mechanisms
- ◆ Control plane
  - clear trend towards centralized management and GMPLS
- ◆ Management plane



# Agenda

- ◆ 自己紹介
- ◆ GMPLS技術
- ◆ ASONとGMPLS
- ◆ MPLSとT-MPLSとGMPLS
- ◆ **ASON/GMPLSの相互接続実験**
- ◆ **ASON/GMPLSの適用例**



## 相互接続実験

- ◆ PIL (Photonic Internet Lab)
  - JGN シンポジウム 2004
  - iPOP2005
  - iPOP2006
- ◆ OIF (Optical Internetworking Forum)
  - SuperComm 2005
- ◆ けいはんなオープンラボ
  - **ASON/GMPLS network domain interworking**



# Photonic Internet Lab. (PIL)

## ◆ 2002年設立

- NTT、NEC、日立、富士通、三菱電機、沖電気、古河電工、IP infusion、慶應大学
- 次世代フォトニックネットワーク制御技術の開発
  - GMPLS と GMPLS 拡張
- プロトコル実装、相互接続、標準化



## 2004/1/26-27 ギガビットネットワークシンポジウムにお ける PIL GMPLS デモ

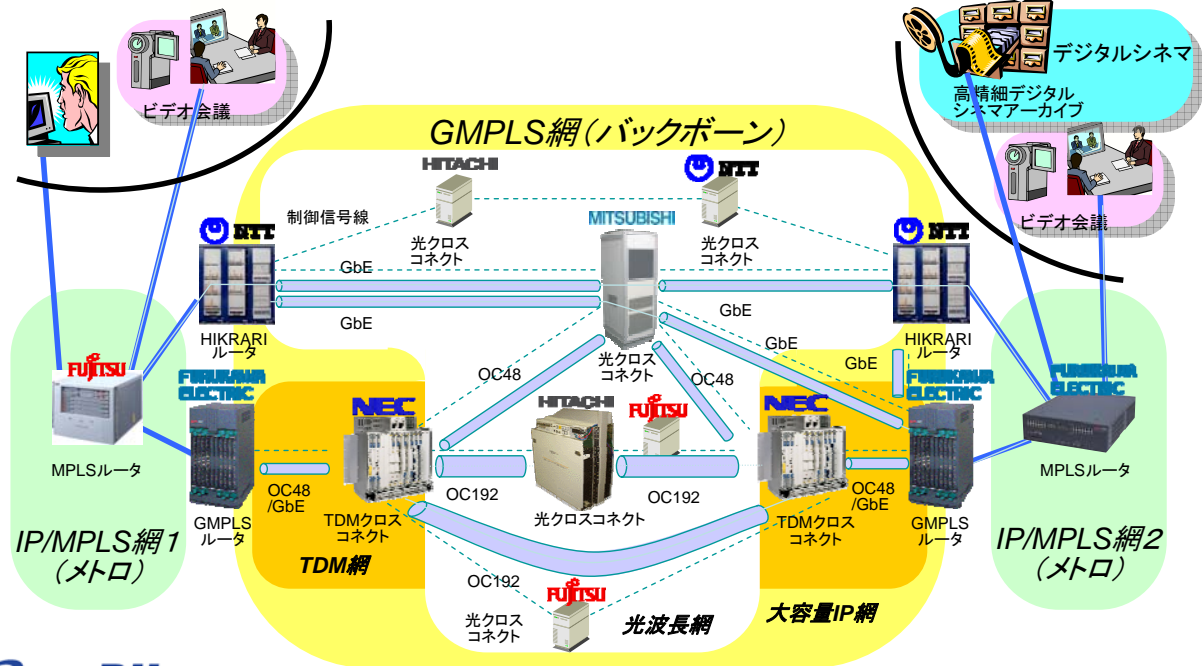




# デモ網構成

## 広帯域アプリケーション

## 広帯域アプリケーション



INTERNET WEEK 2006

Copyright 2006, Satoru Okamoto © Keio University

Page 57

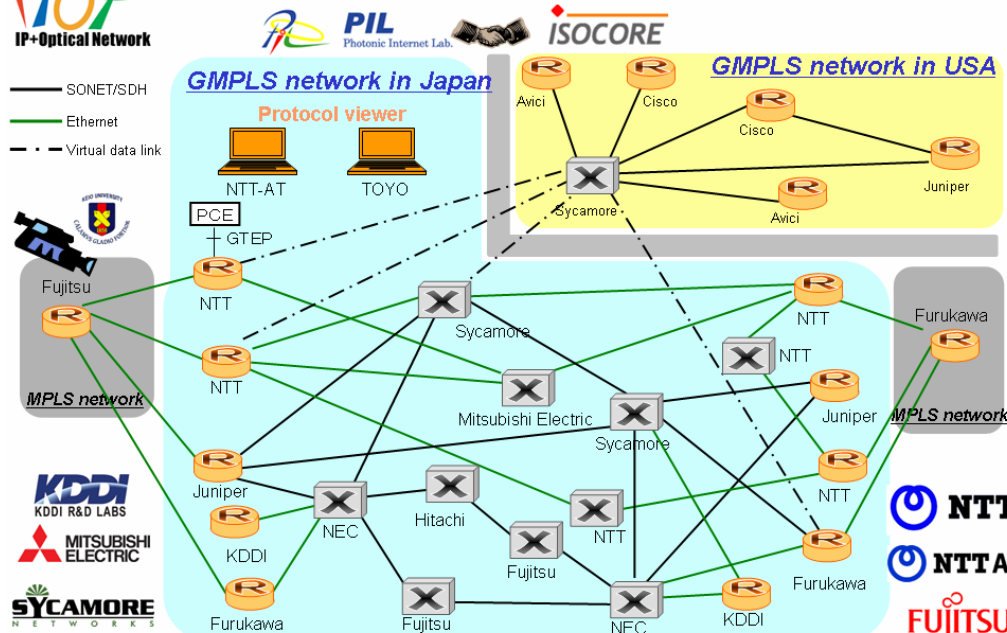


# iPOP2005

2005/2/21-22 TFT Tokyo, Japan



## iPOP 2005 Showcase Network

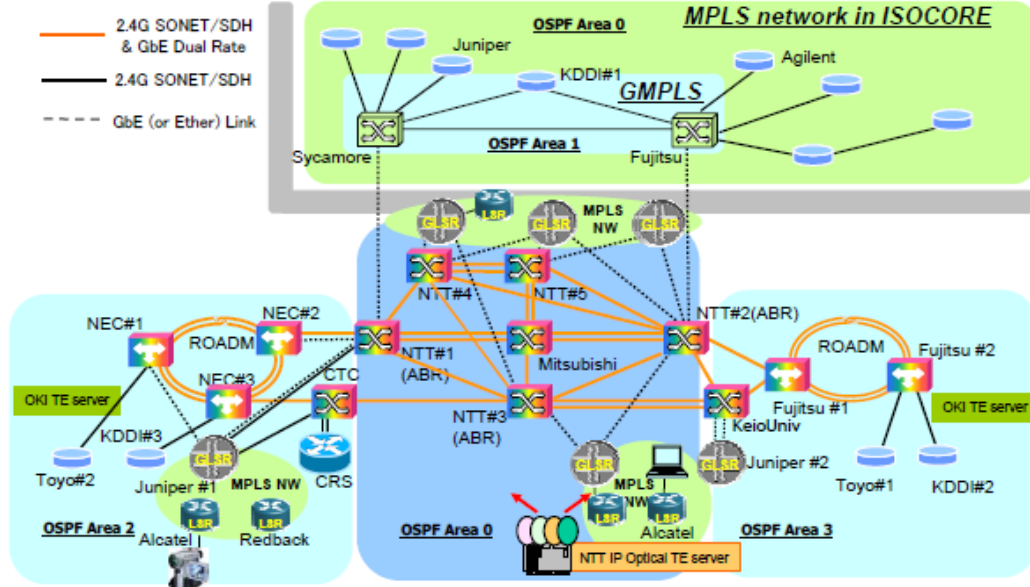


INTERNET WEEK 2006

Copyright 2006, Satoru Okamoto © Keio University

Page 58



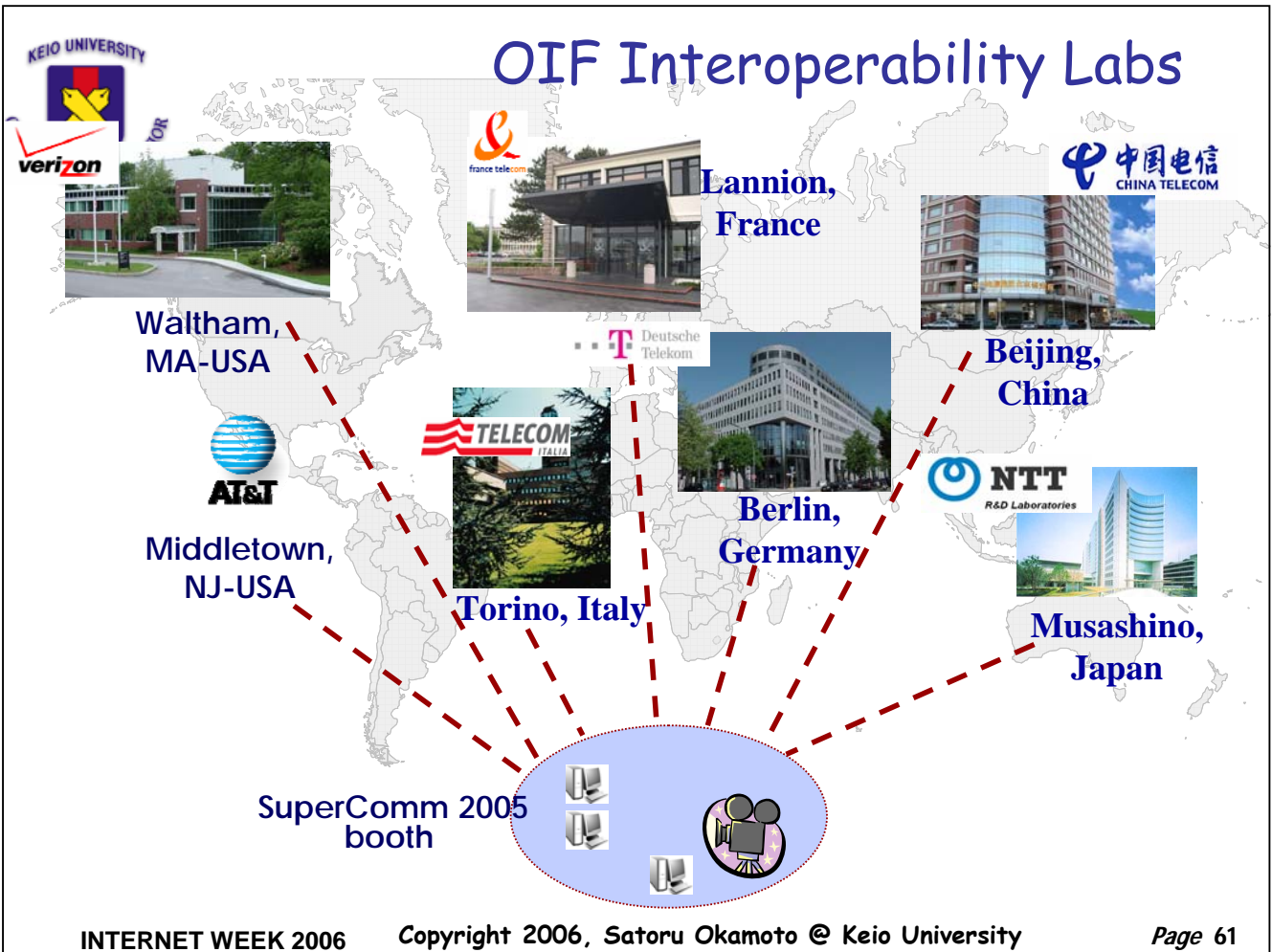


## SuperComm 2005でのOIF World-wide interoperability demo

### ◆ デモ概要

- 世界中の7キャリアサイトとSuperComm会場を接続して、リアルタイムに GbE回線の設定解除を実演
  - 北米 AT&T, Verizon
  - 欧州 Deutsche Telekom, France Telecom, Telecom Italia
  - アジア China Telecom, NTT
- **ASON** アーキテクチャ
  - Ethernet over SDH/SONET
    - GFP/VCAT/LCAS
  - UNI (Ethernet Layer) と E-NNI (SDH/SONET layer)

# OIF Interoperability Labs

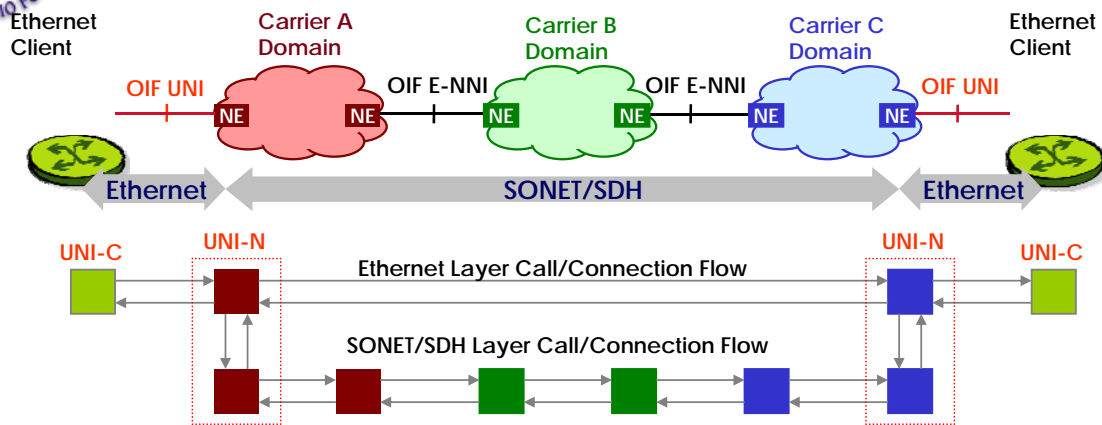


# Vendor Participants

Vendor logos include:

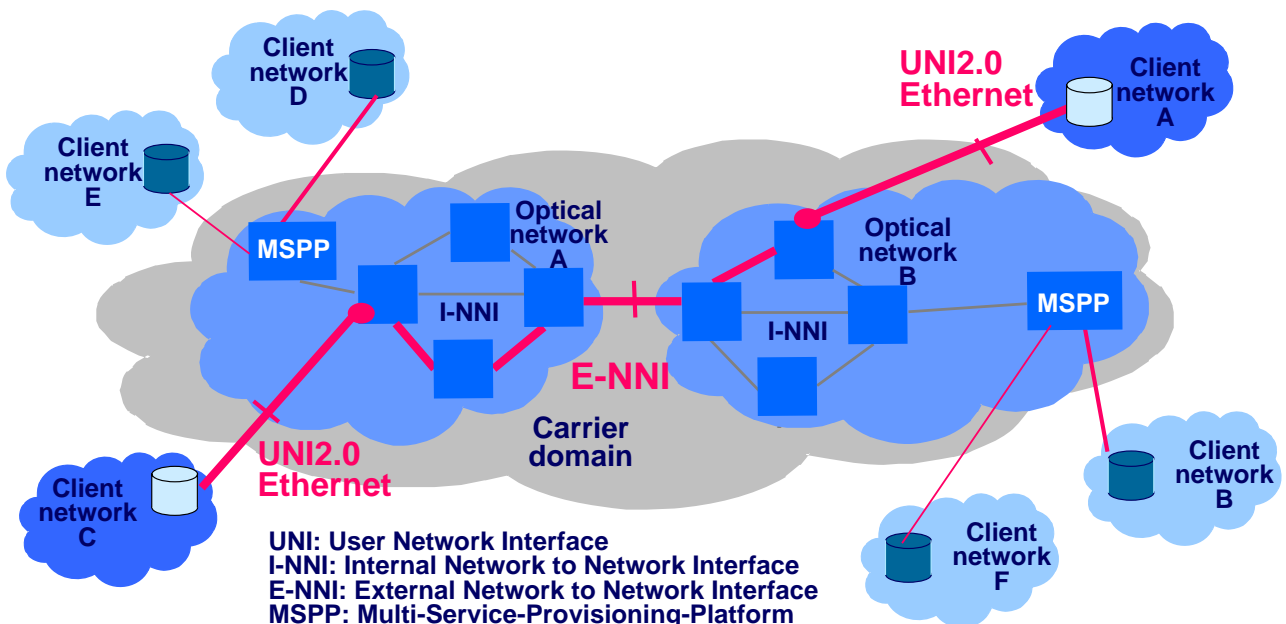
- ALCATEL
- AVICI SYSTEMS
- ciena
- CISCO SYSTEMS
- HUAWEI
- FUJITSU
- LAMBDA™ OpticalSystems
- Lucent Technologies Bell Labs Innovations
- MAHI networks.
- Marconi
- NORTEL
- SYCAMORE NETWORKS
- tellabs®

# Control Plane Features



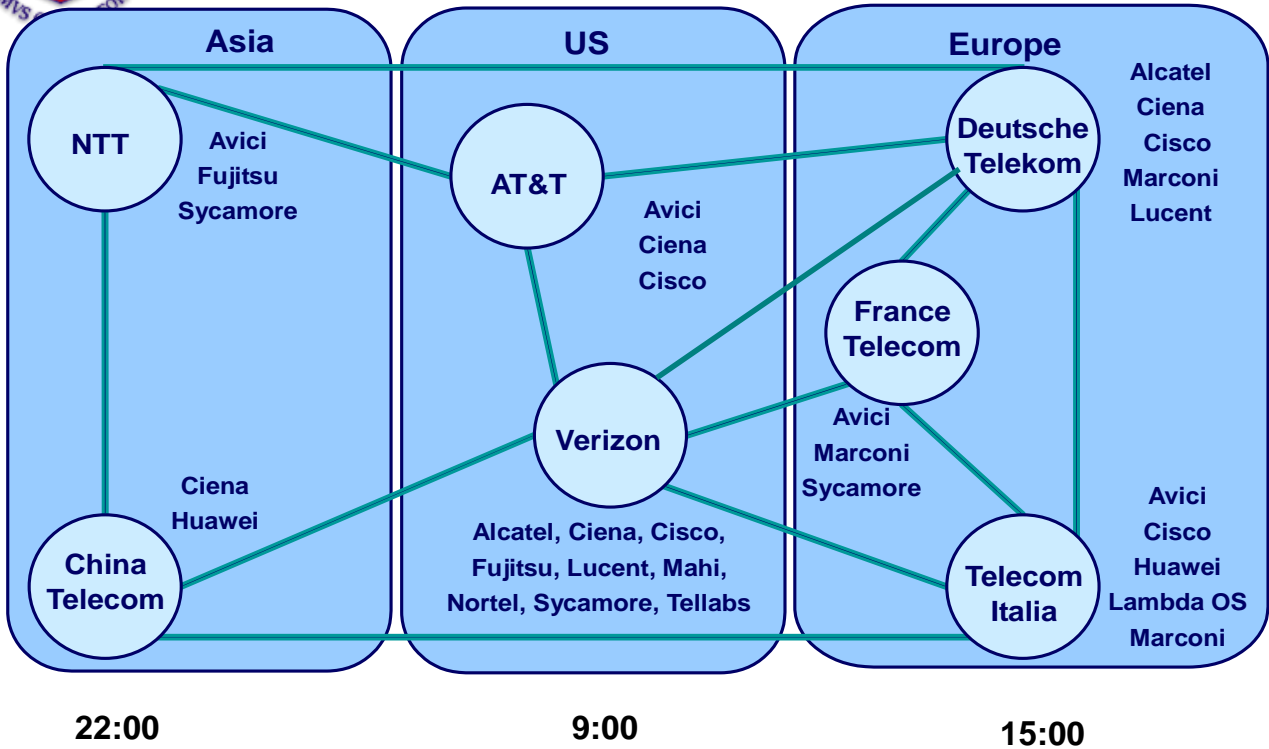
- ◆ Major innovations demonstrated:
  - OIF UNI 2.0 support for Ethernet clients
  - OIF UNI 2.0 call control based on ASON
- ◆ UNI-N devices integrate multi-layer functions of the control plane
  - The clients and the remainder of the carrier network are not impacted, since they are only concerned with one layer

# OIF Interoperability Demo Architecture

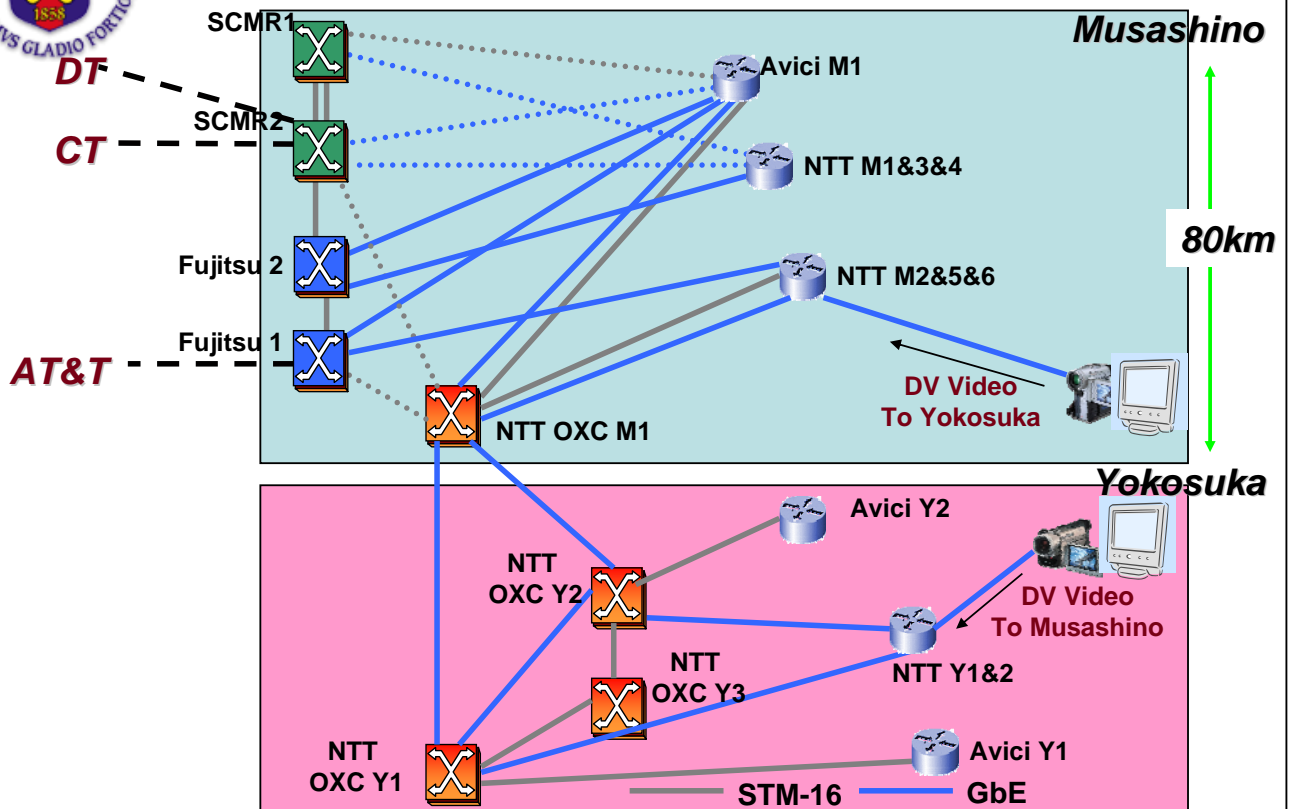




# Global Topology



# NTT Site Configuration Overview

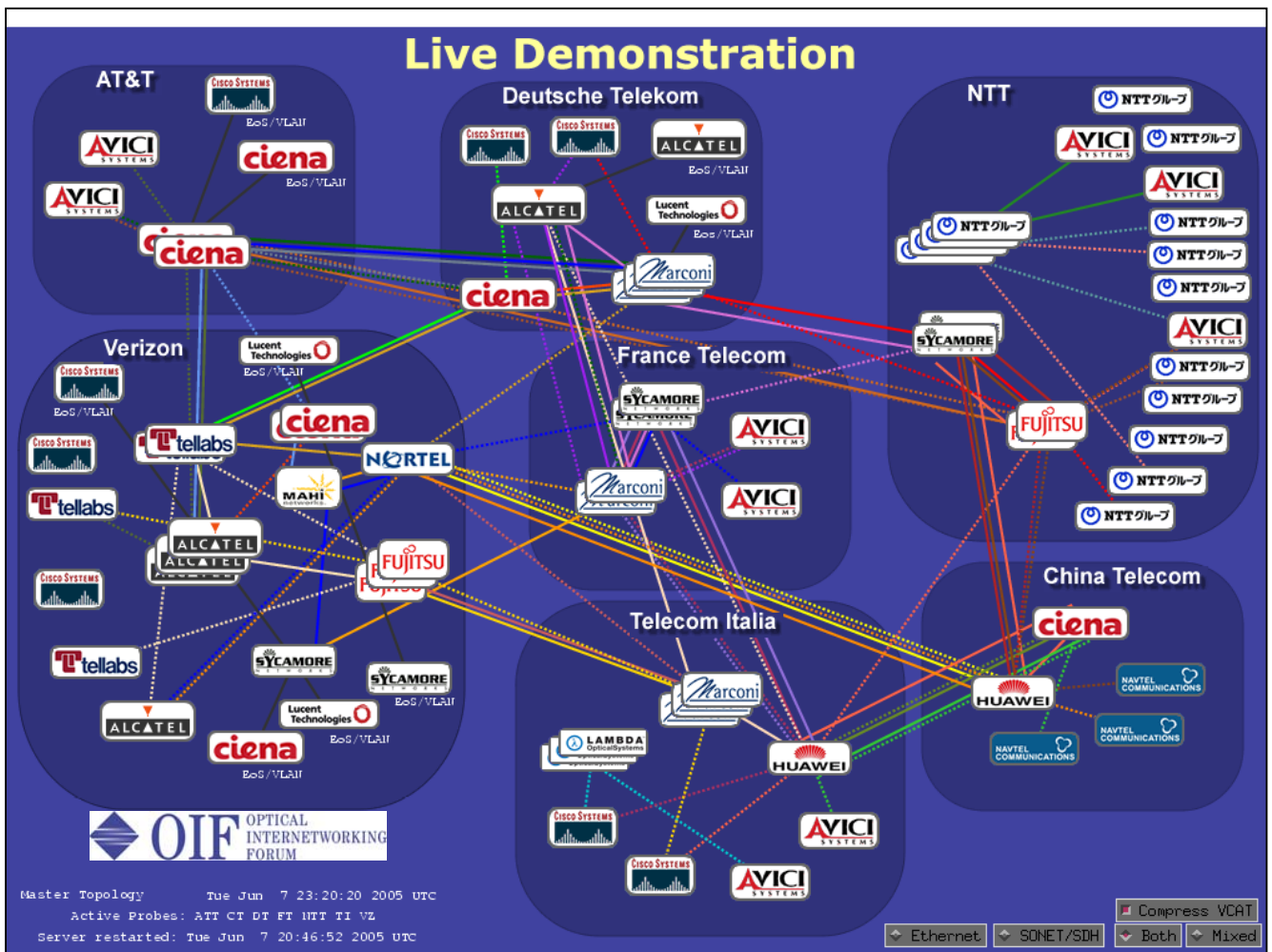




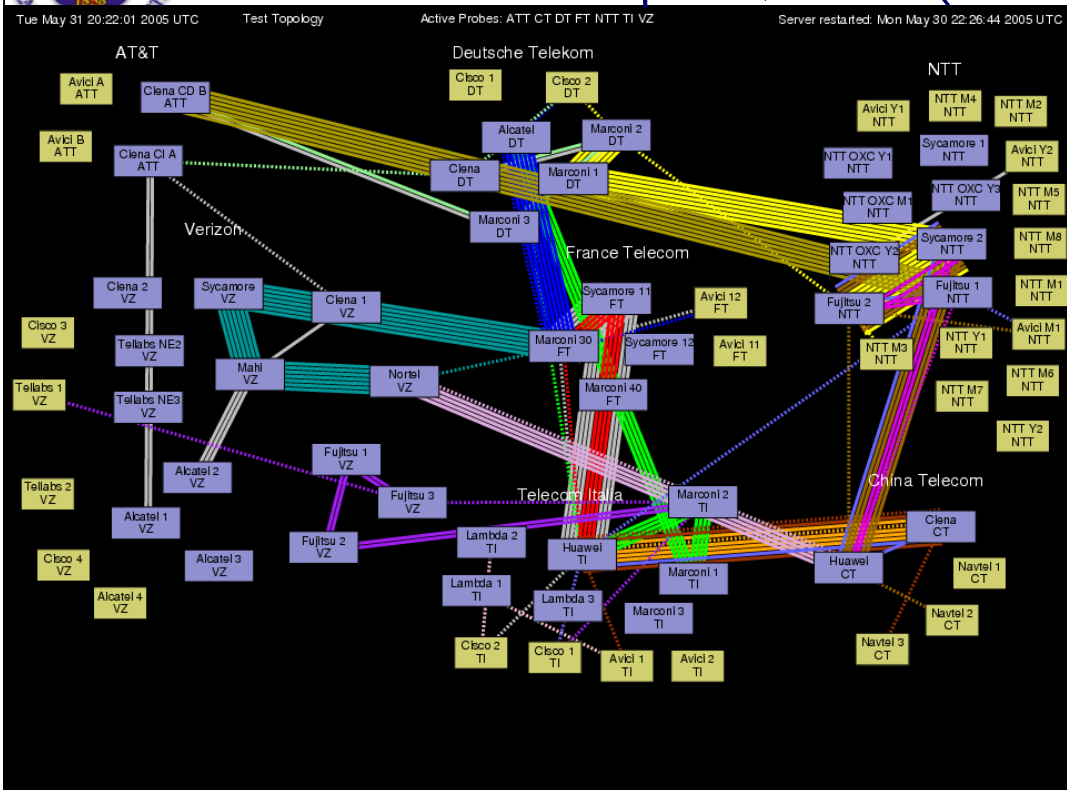
Webカメラの映像      トポロジーマップ

NTTサイトの映像の例

AT&Tからのビデオ      Verizonからのビデオ



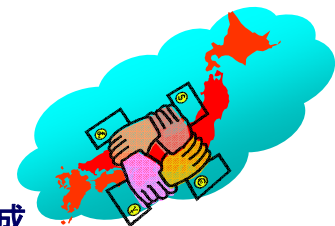
# Call Map の表示例(VCAT表示)



1GのEthernet Call に対して、7本のSDH VC call (150 x 7) が生成されている。

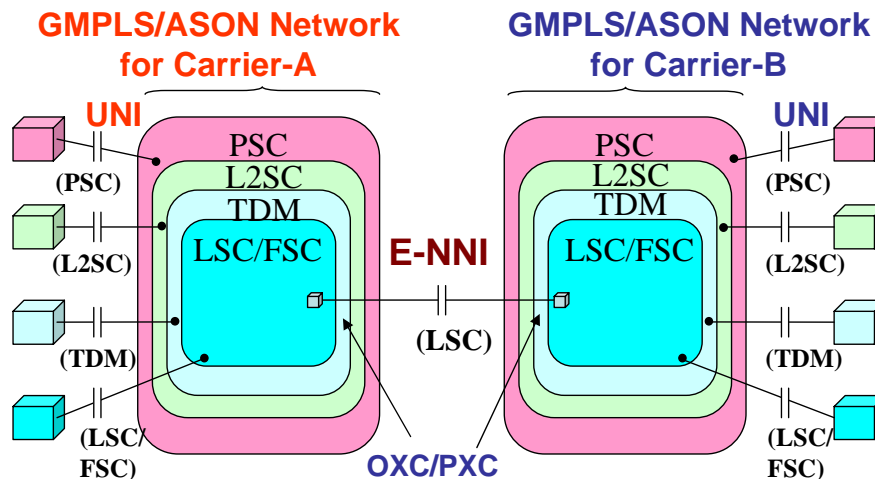
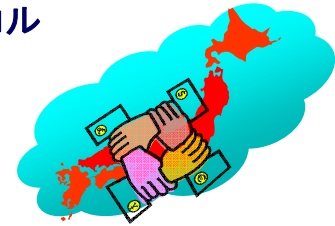
## けいはんなオープンラボ 相互接続性検証ワーキンググループ

- ◆ 光トランスポートのグローバルな相互接続性の鍵となるキャリア間/AS間インタフェース(E-NNI)に焦点を絞り、日本発の技術を共同開発し、国際標準へ提案
- ◆ 世界初のGMPLSの広域接続実験とオープンサイト(標準GMPLS検証/最先端GMPLS開発コード検証等)の形成
- ◆ 2003～ のプロジェクト
  - PJ1: 標準GMPLS相互接続性検証(C-Plane/D-Plane)プロジェクト
  - PJ2: キャリア間接続物理インタフェース開発検証プロジェクト
  - PJ3: キャリア間接続論理インタフェース開発検証プロジェクト
  - PJ4: Nation Wide GMPLS網構築プロジェクト
- ◆ より詳しい情報は、<http://www.khn-openlab.jp/bunkakai-gw/kokinonet/sousetsu/index-j.html>



## PJ3. キャリア間接続論理インタフェイス開発検証プロジェクト

- ◆ GMPLSをベースとした Inter-Carrier E-NNI プロトコル
  - ASON E-NNI Signaling
  - BGP 拡張 routing
- ◆ GMPLS – GMPLS, ASON – GMPLS
  - ASON UNI と GMPLS UNI の interworking



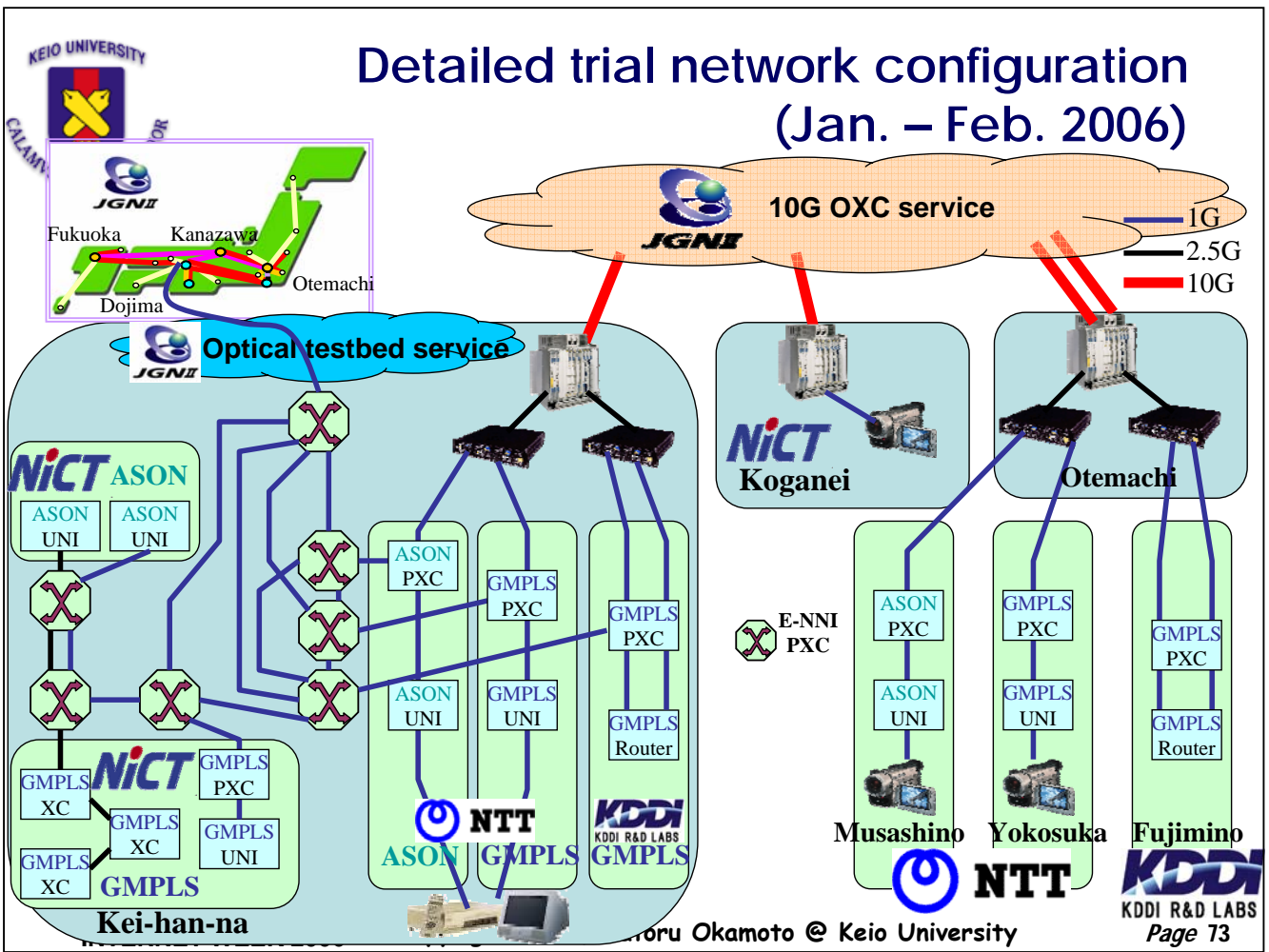
## Overview of the Field Trial Network (Jan. – Feb. 2006)

- ◆ 7 sites were connected by GbE Links

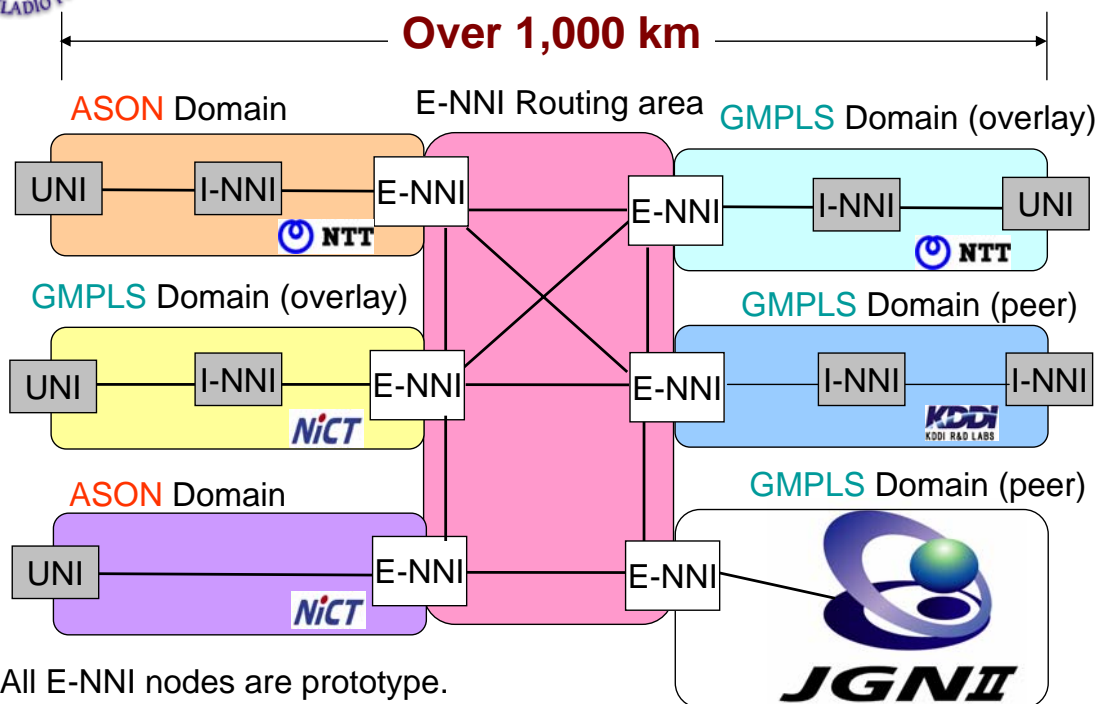




# Detailed trial network configuration (Jan. – Feb. 2006)



# Multi careers field demonstration



All E-NNI nodes are prototype.  
**Interworking among ASON, GMPLS overlay,  
 and GMPLS peer.**

- ◆ 自己紹介
- ◆ GMPLS技術
- ◆ ASONとGMPLS
- ◆ MPLSとT-MPLSとGMPLS
- ◆ ASON/GMPLSの相互接続実験
- ◆ **ASON/GMPLSの適用例**



- ◆ JGN II GMPLS core network
  - **IP + Optical**
    - GMPLS controlled (Lambda Switch Capable)
    - Peer Model ~ 北回り (大手町、金沢、大阪、福岡)
    - Overlay Model ~ 南回り(大手町、大阪、けいはんな)
  - **Multi-layer NMS (Network Management System)**
  - **OXC サービス (10G SDH, 1GbE)**
    - SPC を NMS から GMPLS で設定
  - **GMPLSルータ間接続トライアルサービス**
    - SC を NMS or GUI からの initiate で GMPLS を利用して設定



## 実用化に向けたトライアル利用の紹介 ECOC2006より

- ◆ G-lambda: Coordination of a Grid Scheduler and Lambda Path Service over GMPLS
  - Michiaki Hayashi (KDDI R&D Labs.)
- ◆ Handling Parallel Lambdas toward Terabit Networking
  - Akira Hirano (NTT Network Innovation Labs.)

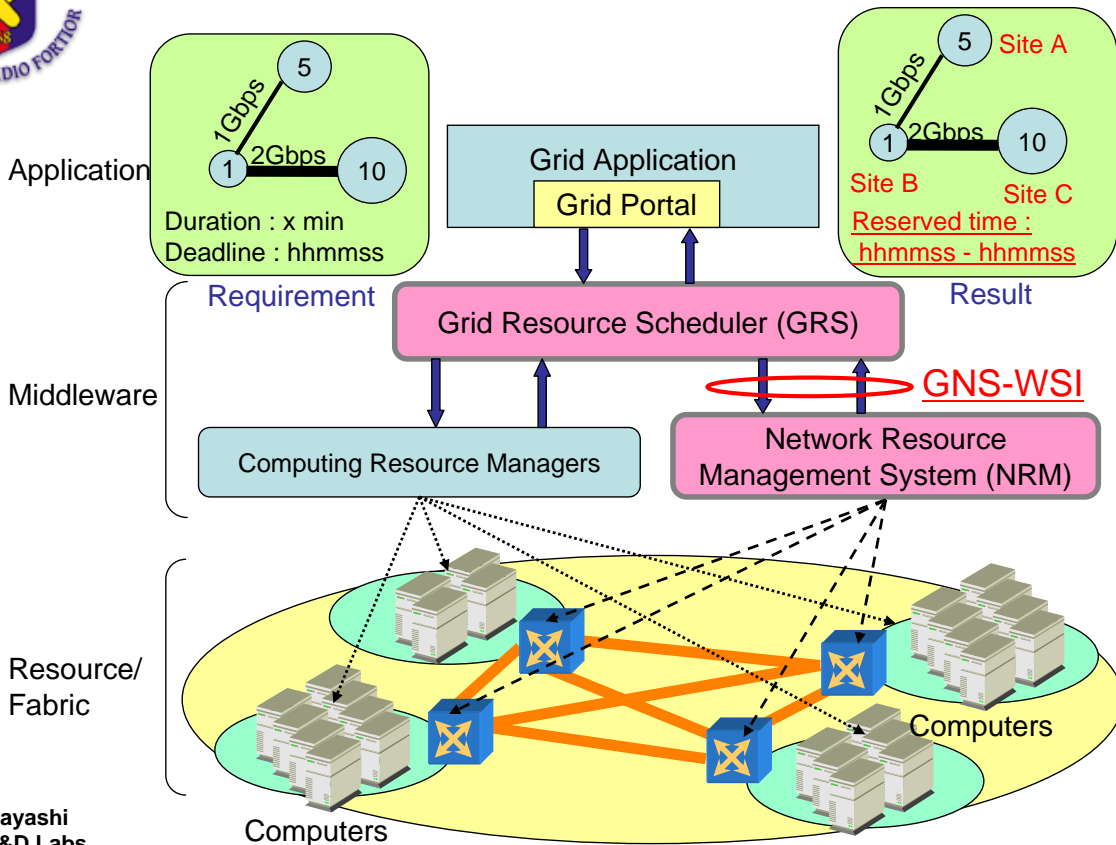


## G- lambda project overview

- ◆ Joint project of AIST, NICT, NTT and KDDI R&D labs.
- ◆ G-lambda project has been started in December 2004.
- ◆ The goal of this project is **to establish a standard web services interface (GNS-WSI)** between Grid resource manager and network resource manager provided by network operators.

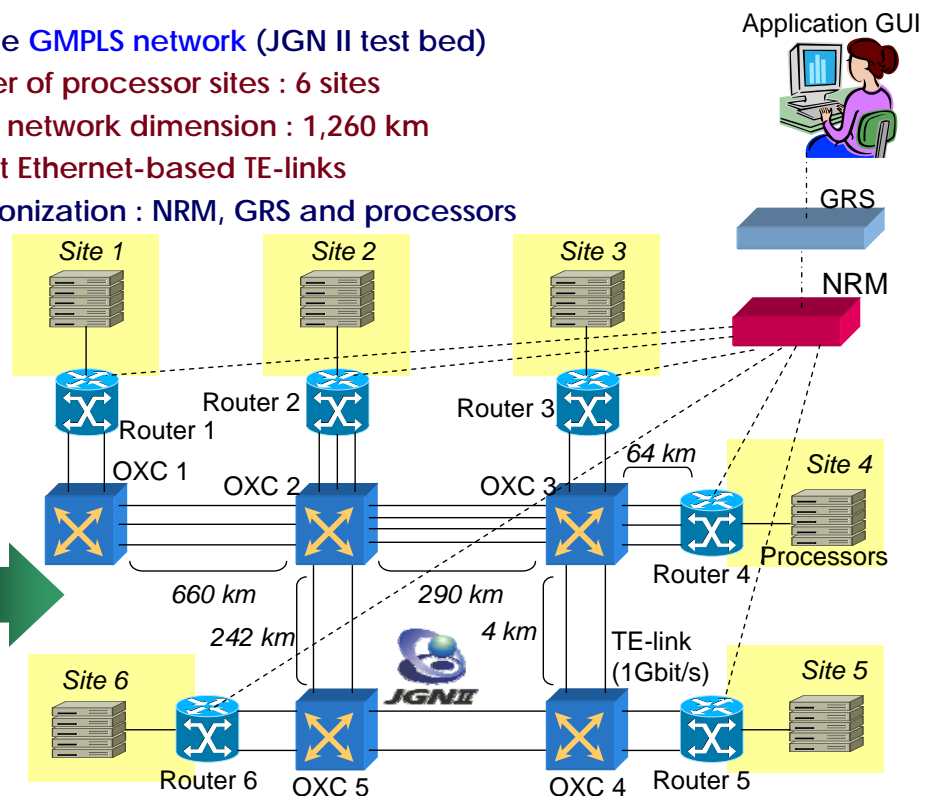
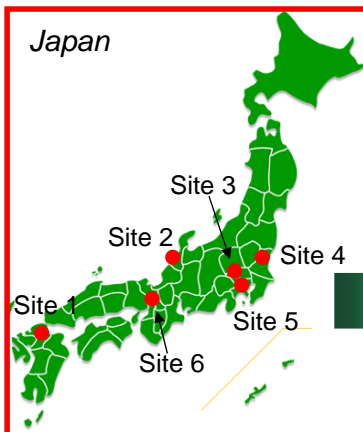


# G-lambda: Architecture

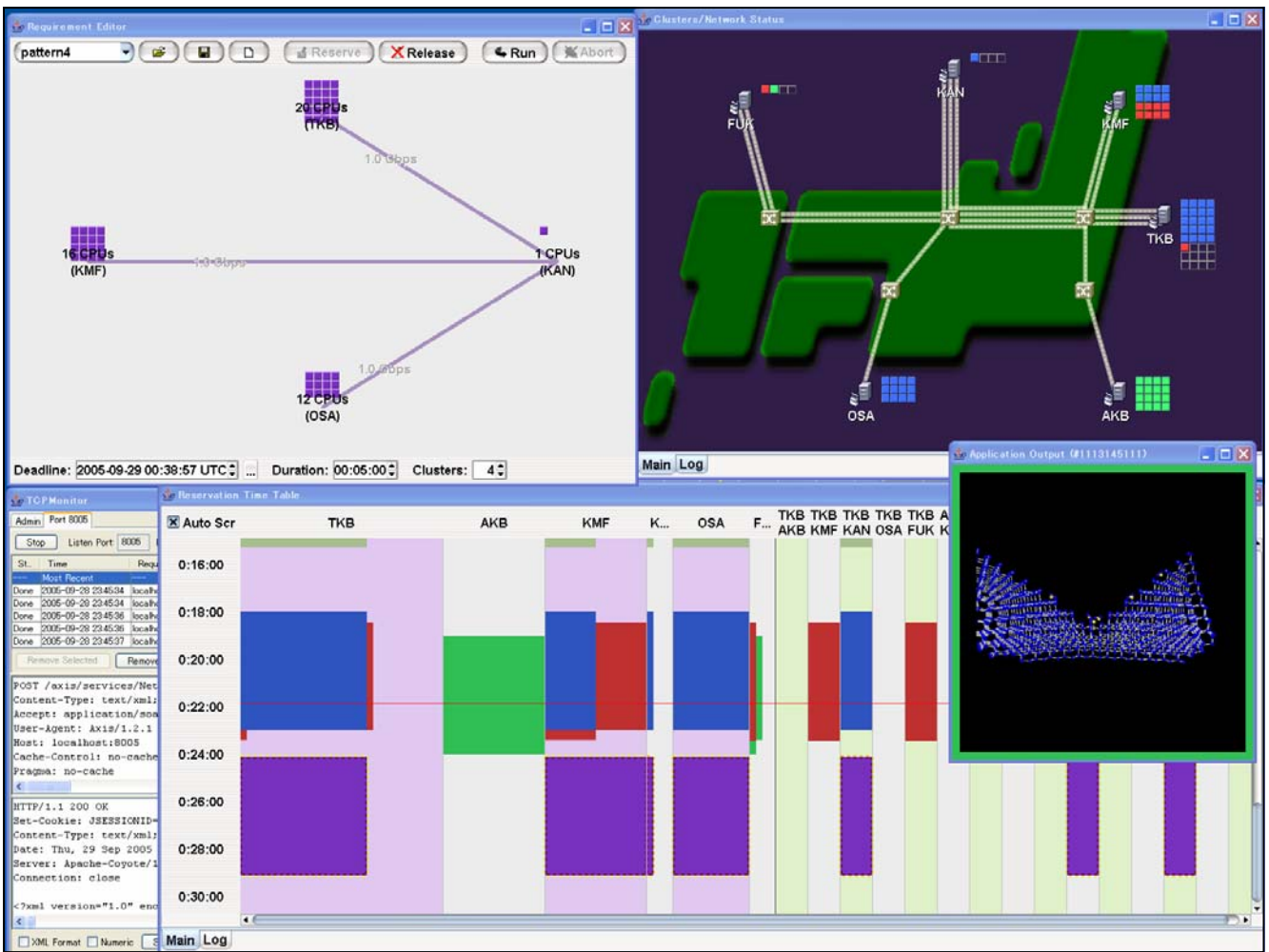



# Demonstration Network

- Nation-wide GMPLS network (JGN II test bed)
  - Number of processor sites : 6 sites
  - GMPLS network dimension : 1,260 km
  - Gigabit Ethernet-based TE-links
- NTP synchronization : NRM, GRS and processors









# G-lambda project

## http://www.g-lambda.net

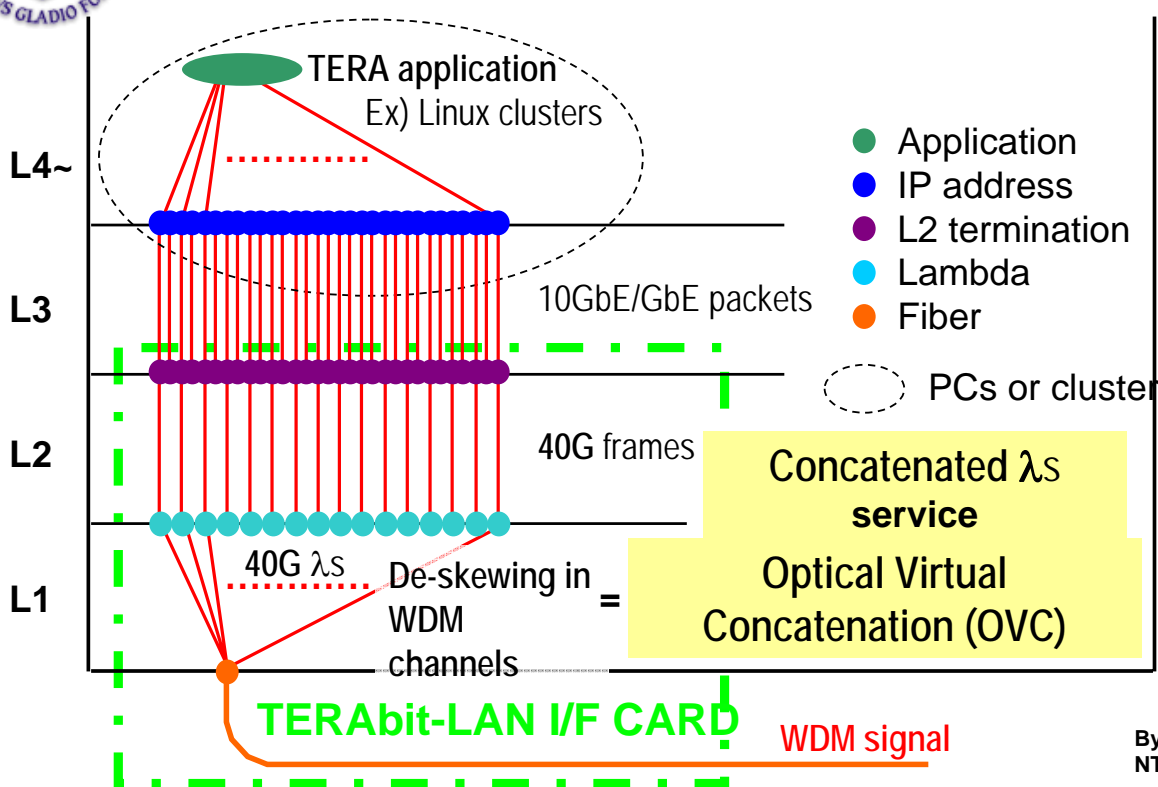
INTERNET WEEK 2006
Copyright 2006, Satoru Okamoto © Keio University
Page 82



By A. Hirano  
 NTT

## Many lambdas for single application

~ TERAbit applications emerge ~



By A. Hirano  
 NTT

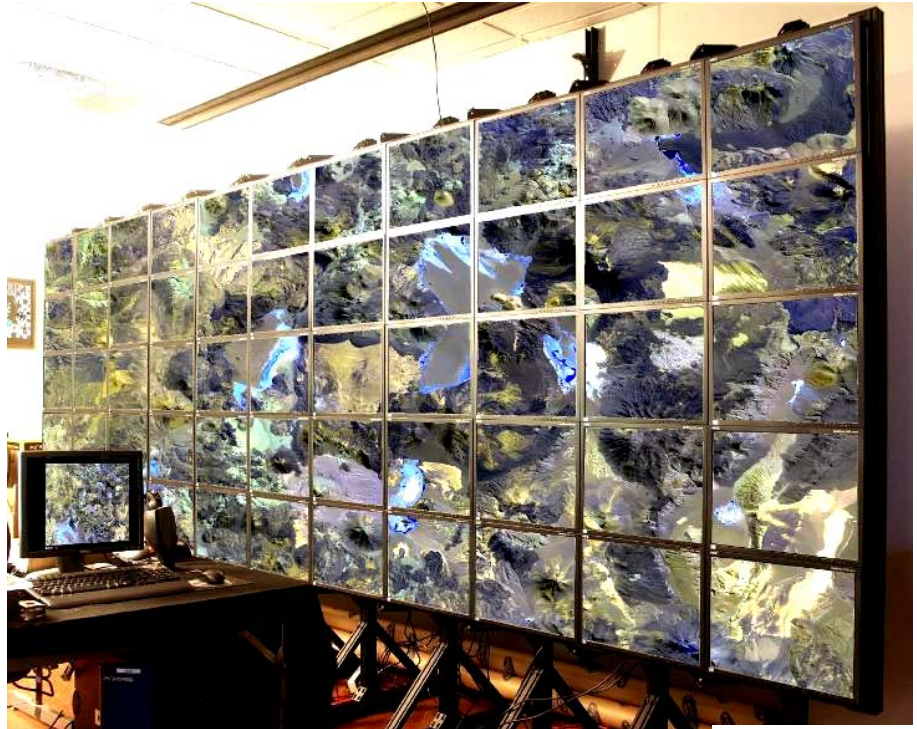


By A. Hirano  
NTT

# An example of applications

- SAGE in EVL driven by visualization cluster -

- ◆ TB to the desktop
- ◆ 100 Megapixels Display
  - 55-Panel
- ◆ 1/3 Terabit/sec I/O
  - 30 x 10GE interfaces
  - Linked to OptIPuter
- ◆ 1/4 TeraFLOP
  - Driven by 30 Node Cluster of 64 bit Dual Opteron
- ◆ 1/8 TB RAM
- ◆ 60 TB Disk



Source: Jason Leigh, Tom DeFanti, EVL@UIC  
OptIPuter Co-PIs

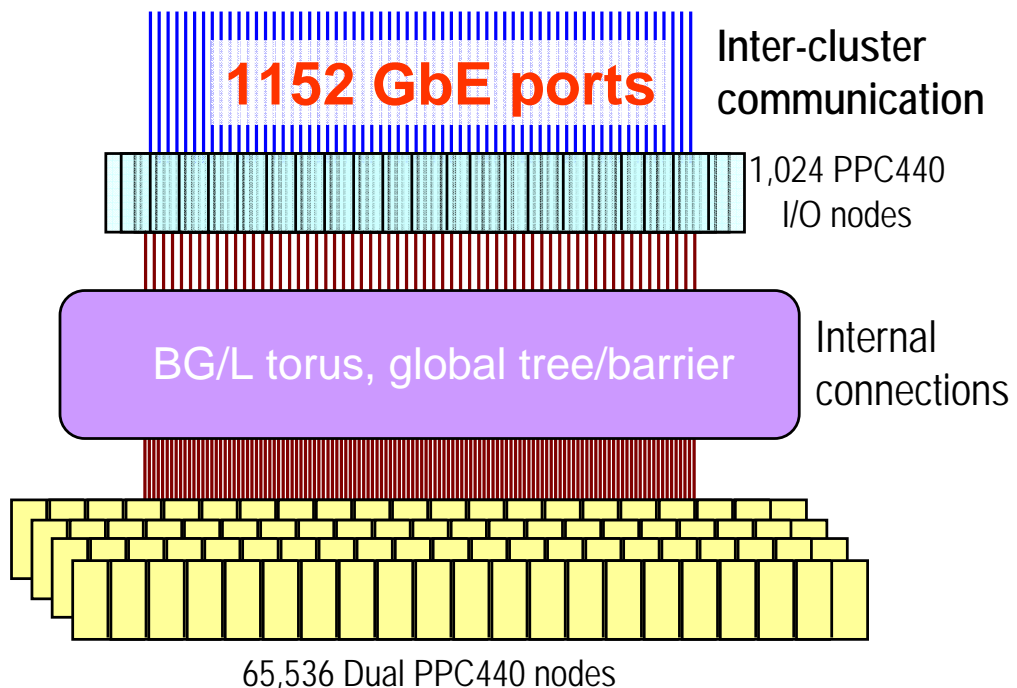


WEEK 2001



# Cutting edge cluster reaches Tb/s I/O

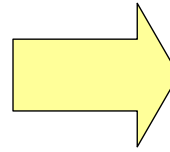
~ BlueGene in LLNL ~



By A. Hirano  
NTT

# Key Network Functions

- ◆ Capacity on demand
  - Lambda on demand
  - OTN channel on demand
  - L2 (10GbE, GbE) on demand

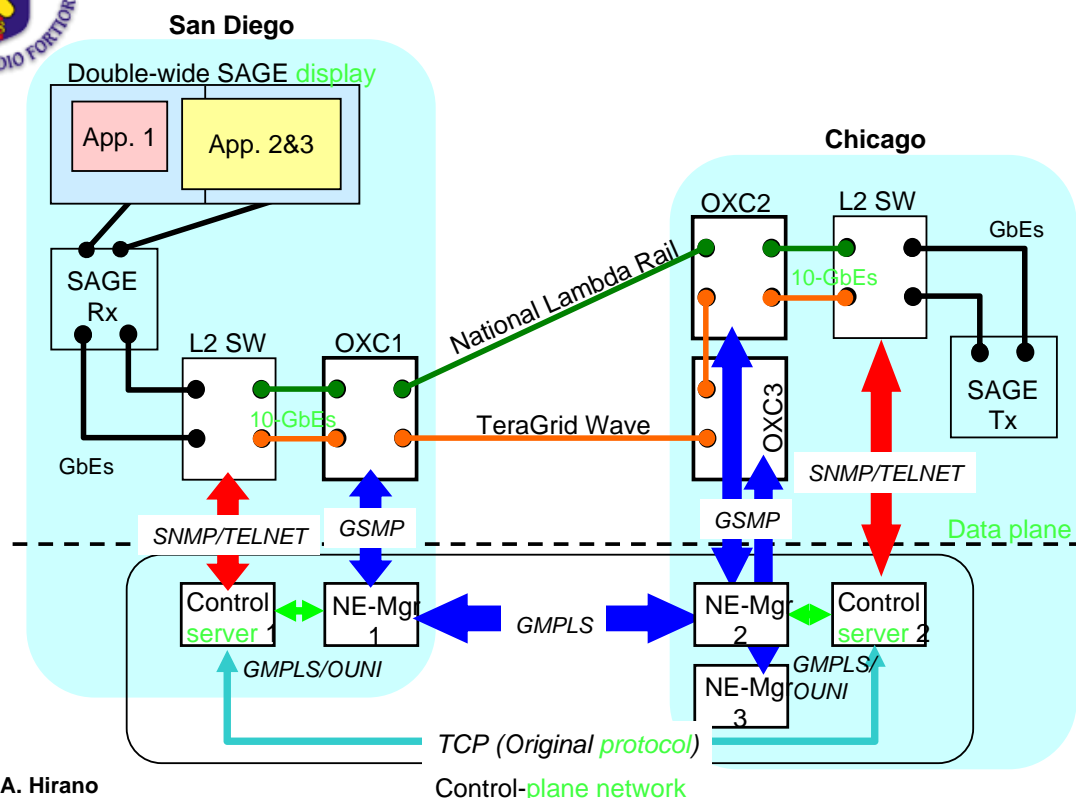


GMPLS を利用

実験では、10GE の  
ダイナミックランキング

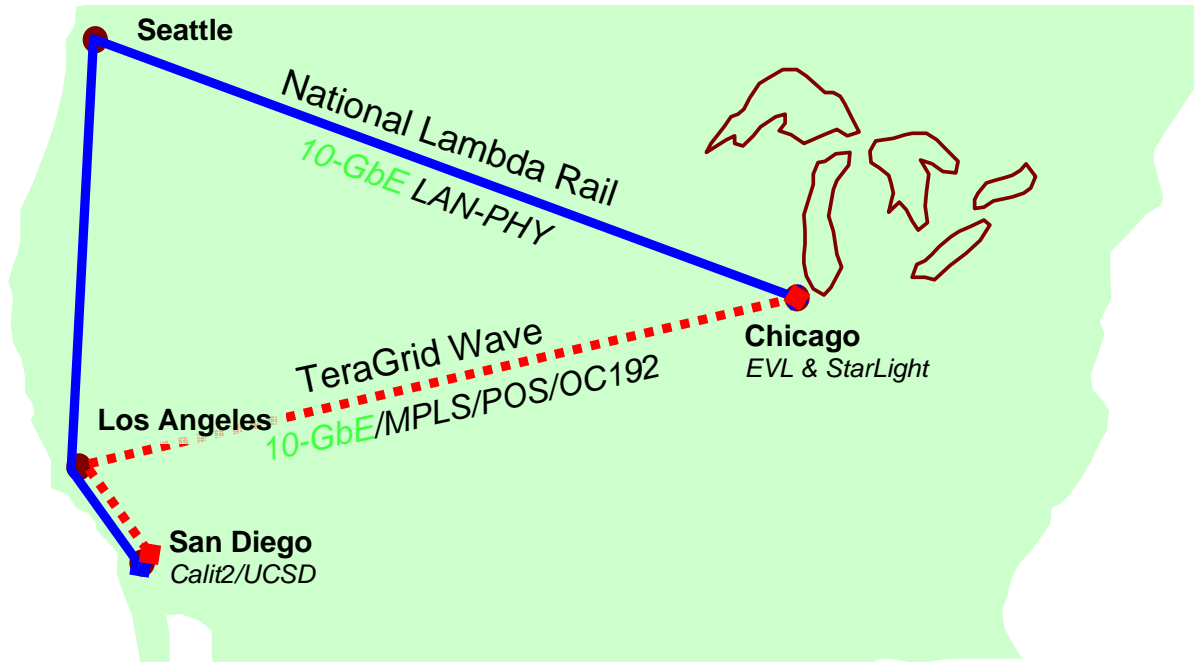
- ◆ OVC
  - De-skewing between multiple
    - Lambdas
    - OTN channel (Max 256 ODu Virtual Concatenation)
    - L2 (10GbE, GbE)

## Experimental setup for layer-interworked capacity on demand



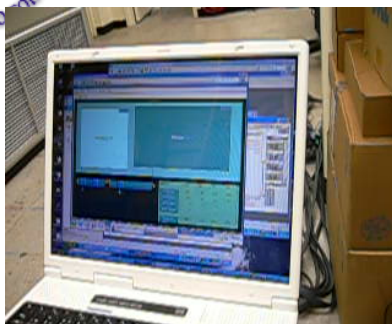


# Geographical network configuration



By A. Hirano  
NTT

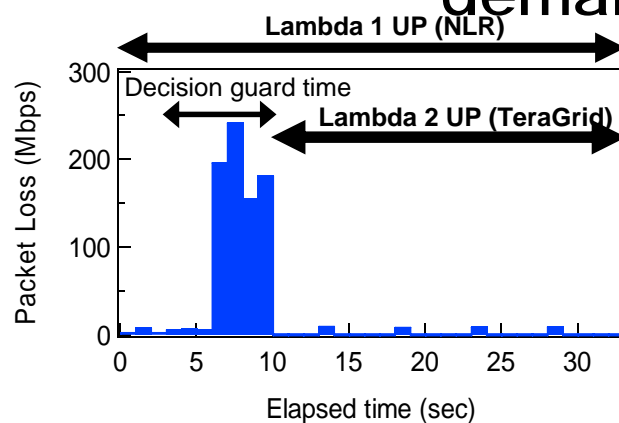
# SAGE Streaming with lambda-on-demand



**SAGE UI (Chicago)**



**SAGE Display (San Diego)**



Packet loss at SAGE Rx

The newly allocated path eliminated the packet loss successfully with no severe impairment to SAGE application.

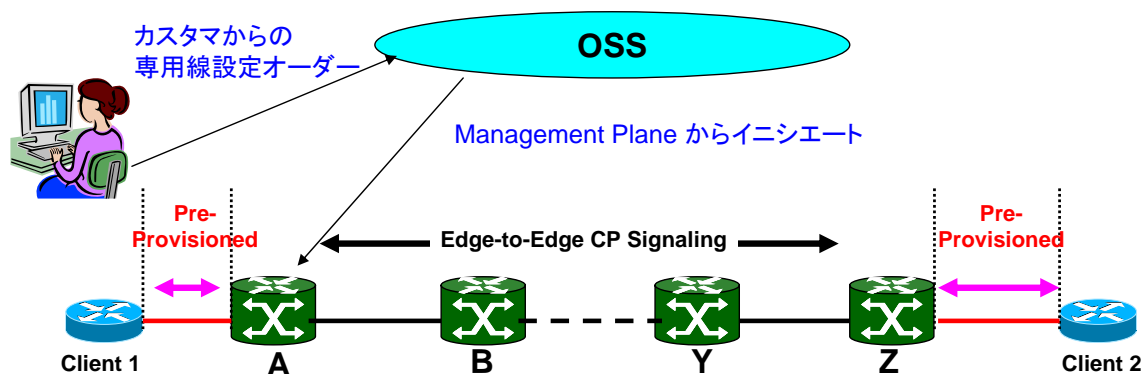
By A. Hirano  
NTT

# 海外キャリアの キャリア網へのASON/GMPLS適用例

- ◆ Verizon
  - ・ ASON/GMPLS のフィールドトライアル
- ◆ AT&T
  - ・ ASON を利用した Optical Mesh Service
- ◆ Telecom Italia
  - ・ ASON のSDHバックボーンへの適用

## Verizon N.Y. trial

- ◆ 2007年にニューヨークエリアで開始予定
  - ・ DS-3, OC-n, Ethernet 専用線を
  - ・ BoD 'Just in Time' (JiT) Provisioning で提供





# Vendor Roadmap for Verizon

Platforms	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Control Plane										
<b>I-NNI</b> (GA date)	2Q07	★	Unknown	Proxy	Unknown	★	Unknown	★	★	Proxy
<b>E-NNI</b> (GA date)	2Q07	Unknown	Unknown	Proxy	Unknown	Nov 06	Unknown	2007	Unknown	Proxy
<b>UNI</b> (GA date)	2Q07	Unknown	★	Proxy	Unknown	★	Unknown	2007	Unknown	Proxy

★ : GA Now

2006年9月の状況

北米、欧州、アジア から10ベンダを選定してフィールドトライアル



# AT&T Optical Mesh Service Configure your Network for your Business

## Service Description

- 帯域を指定して"zero-touch"でプロビジョニング、"near real-time" でコネクション設定
- アプリケーションを選ばない、Layer 1 伝達網を提供
- キャリアグレード網
  - 高い稼働率と障害回復
    - Re-routing 機能を提供するメッシュアーキテクチャ
  - 網と設備をキャリアがメンテナンス

## Customer Applications

ターゲット: 金融機関、メディア、エンターテイメント

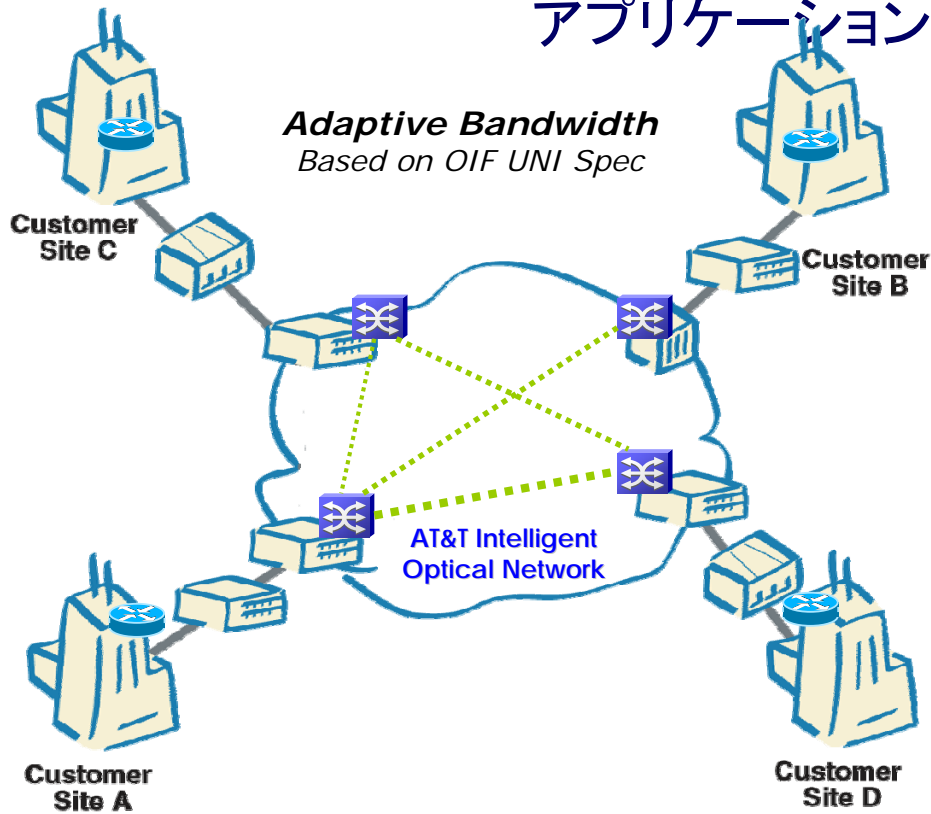
- バックボーン網の共有
- ビデオ等のコンテンツを制御して配信

## Customer Benefits

- フレキシビリティ: 帯域を必要な場所へ必要な時に利用
- 高速性: "zero touch" のプロビジョニング
- 制御: ビジネスに合わせて、構成変更

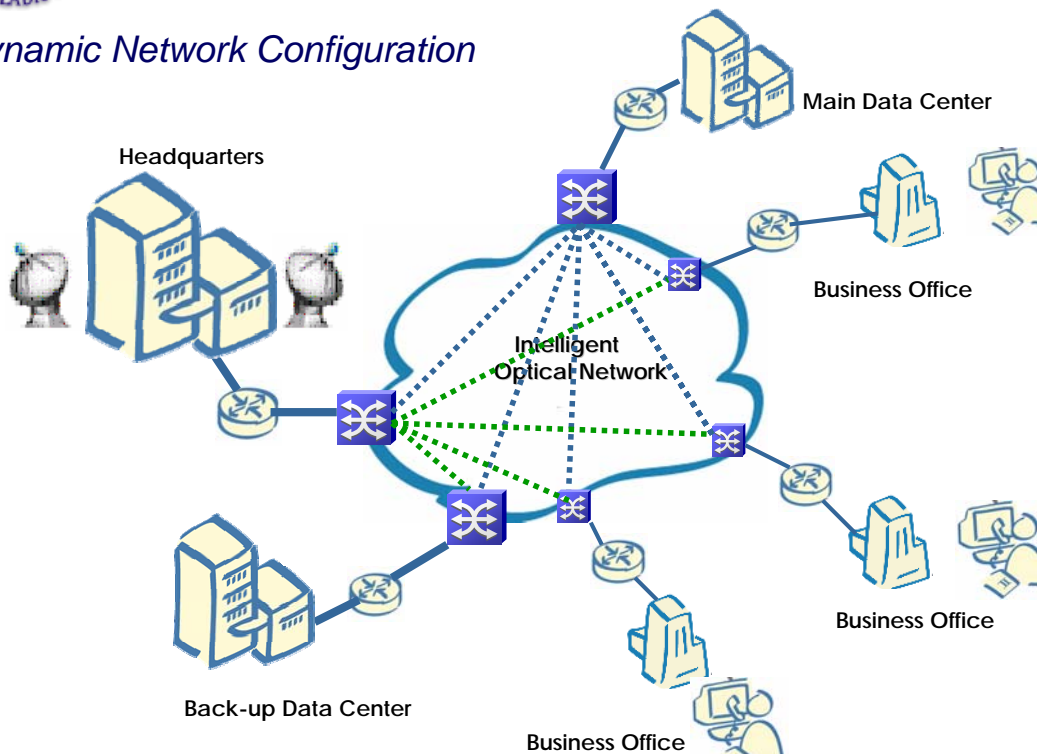


# AT&T Optical Mesh Network アプリケーション例(1)



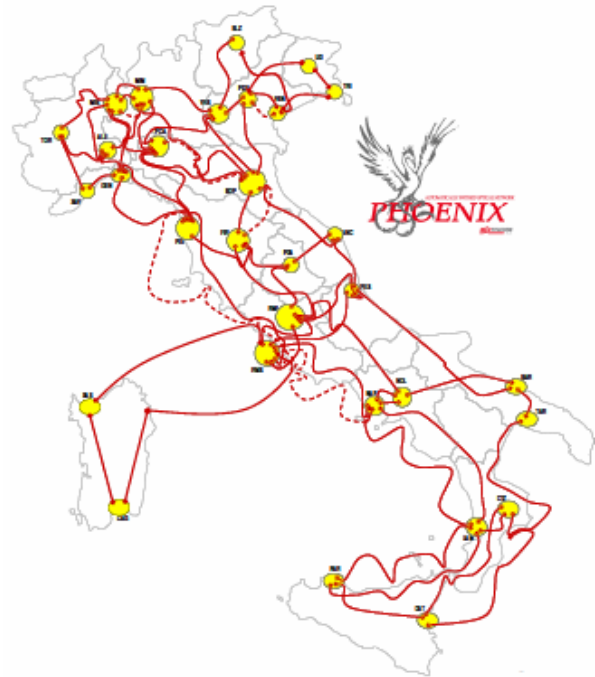
# AT&T Optical Mesh Network アプリケーション例(2)

## Dynamic Network Configuration



## Telecom Italia "Phoenix"

- ◆ 2004年にメッシュ化
- ◆ ASON based ODXC
  - 80 Gbit/s, 320 Gbit/s, 960 Gbit/s
- ◆ OSI based signaling
  - NMS initiated
- ◆ Centralized routing
- ◆ Fast restoration in C-plane
  - End-to-end pre planned (80-250 ms)
  - End-to-end on the fly (40-50 s)



2007年1Hに、IP based の分散 Control Plane (OSPF, RSVP) を採用するかどうかを決定する。

## Phoenix におけるプロテクション動作

- ◆ ほぼ毎日、なんらかのプロテクション動作が発生(全部成功)
  - 計画的な切替及び故障による切替
  - プロテクション用経路の最適化のための切替
- ◆ 2005年に発生したプロテクション動作: 17,000回
  - メンテナンスのためのWorking to Protection : 2,000回
  - 故障による Working to Protection : 5,000回
  - 最適化のための切替 : 10,000回



## 謝辞

- ◆ 本講演資料の作成には、以下の方々に御協力いただいております。
  - 平野章氏 (NTT)
  - 大谷朋広氏、林通秋氏 (KDDI研究所)
  - Photonic Internet Lab. の皆様
  - けいはんなオープンラボ相互接続性検証ワーキンググループの皆様
  - Optical Internetworking Forum の皆様



# Thank you!

# Questions?