

GMPLS による障害回復と予備帯域を用いた Extra LSP サービス

堀内栄一⁽¹⁾ 末村剛彦⁽²⁾ 塩本公平⁽³⁾

フォトニックインターネットラボ標準化戦略ワーキンググループ

(1) 三菱電機株式会社 〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1

(2) 日本電気株式会社 〒216-8555 神奈川県川崎市宮前区宮崎 4-1-1

(3) 日本電信電話株式会社 〒180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

E-mail: ⁽¹⁾ eiichi@isl.melco.co.jp, ⁽²⁾ y-suemura@bp.jp.nec.com, ⁽³⁾ shiomoto.kohei@lab.ntt.co.jp

URL: <http://www.pilab.org/>

あらまし 大容量、高信頼な通信ネットワークを低コストで実現するための技術革新が行われている。“GMPLS” (Generalized Multi-Protocol Label Switching) はそれを実現する手段として期待されており、そのための様々な研究、標準化、相互接続試験が報告されている。その中で、ネットワークの高信頼化を実現する障害回復のための GMPLS プロトコル拡張が IETF (The Internet Engineering Task Force) を中心に検討されている。フォトニックインターネットラボ (PIL) において、フォトニックネットワークの障害回復を実現するため、IETF での検討をベースとし、実装、相互接続可能なレベルへの仕様化を行い、有効な障害回復方式を検討した。本論文は、その検討内容を報告する。また、障害回復の予備帯域を有効活用する Extra LSP サービスを提案し、その実現方法について検討する。

キーワード 障害回復、プロテクション、リストラクション、GMPLS、シグナリング、ルーティング、RSVP-TE、OSPF-TE、フォトニックネットワーク

GMPLS based Fault Recovery and Extra LSP Service utilizing protecting bandwidth

Eiichi Horiuchi⁽¹⁾, Yoshihiko Suemura⁽²⁾, Kohei Shiomoto⁽³⁾

(1) Mitsubishi Electric Corporation, 5-1-1 Ofuna, Kamakura-shi, Kanagawa 247-8501 Japan

(2) Networking Research Laboratories, NEC Corporation, 4-1-1 Miyazaki Miyamae-ku

Kawasaki-shi, Kanagawa 216-8555 Japan

(3) NTT Corporation, 9-11, Midori-Cho 3-Chome Musashino-Shi, Tokyo 180-8585 Japan

E-mail: (1) eiichi@isl.melco.co.jp, (2) y-suemura@bp.jp.nec.com, (3) shiomoto.kohei@lab.ntt.co.jp

Abstract There have been various technical innovations to realize high capacity and reliable communications networks with economical cost. GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) is expected to be one of those technologies and there are various researches, standardization, and inter-operability tests. The Internet Engineering Task Force (IETF) has been developing extension of GMPLS protocols for fault recovery to realize highly reliable networks. Based on the IETF works, Photonic Internet Lab (PIL) has developed a specification enabling implementation and inter-operability for fault recovery of photonic networks, and also studied effective fault recovery mechanism. This paper reports the study, proposes an Extra LSP service utilizing protecting bandwidth of recovery, and proposes how to realize the service.

Keyword fault recovery, protection, restoration, GMPLS, signaling, routing, RSVP-TE, OSPF-TE, photonic network

1. はじめに

1.1. フォトニックネットワークの障害回復

ブロードバンドアクセスの発展，それに伴う映像配信サービスの開始，モバイル通信の普及などにより通信トラフィックの増大は衰えを知らない．大容量伝送を実現する技術の1つとして WDM (Wavelength Division Multiplexing) に代表されるフォトニックネットワーク技術の研究，開発が進んでいる．一方，ネットワークの大容量化のみならず，e-commerceなどの信頼性を要求する様々なアプリケーションが通信サービスを利用するようになり，サービス断の無い通信ネットワークを提供することが強く要求されている．万が一の障害発生時には，高速に待機系の伝送路への切替を行うことでサービス断時間を最小限に抑え，サービスを継続することが必要である．また，高信頼化実現のためには，装置や転送ルートを冗長化する手段が考えられるが，そのための設備コスト，運用コストなどの追加コストが発生する．これらのコストを最小限に抑えることが強く求められている．

1.2. GMPLSによるフォトニックネットワーク制御

次世代のフォトニックネットワークを制御する技術として，GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) の適用が検討されている[1]-[4]．GMPLSは MPLS のネットワーク設計の柔軟性，拡張性をさらに一般化したプロトコルであり，パケット，TDM (Time Division Multiplexing)，波長 (WDM)，ファイバ等すべてのレイヤを統一的に扱うプロトコルである．このように通信ネットワーク全体を共通のプロトコルで管理，制御することが出来るため，負荷分散などのトラフィックエンジニアリング，ネットワーク構成変更，end-end のサービスプロビジョニングを自動化，簡略化，高速化することが可能となり，ネットワークの設備コスト，運用コストを大幅に削減することが期待できる．GMPLS のプロトコルは，IETF，ITU-T，OIFなどで標準化されており，シグナリング，ルーティングプロトコルの基本的な仕様は完成されつつある．また，障害回復を実現するため，GMPLS を更に拡張する検討が，主に IETF において行われている．

1.3. PIL (Photonic Internet Lab)

フォトニックインターネットラボ (PIL) は，次世代フォトニックネットワークが新しいインターネットの時代を切り拓くことを目標とし，世界標準を目指したフォトニックネットワーク制御技術の研究開発を推進することを目的として，2002年9月に創設され，現在国内7社が参加し，GMPLS を主とした次世代フォトニックネットワークの研究開発・標準化活動・技術検証を行っている．今回，PILにて GMPLS による障害回復の実現へ向けて，IETF での検討をベースとし，実装，

相互接続可能なレベルへの仕様化を行い，有効な障害回復方式を検討した．障害回復方式に関する新たな提案として予備帯域を有効活用する Extra LSP サービスを提案し，その実現方法を検討した．

2. GMPLSによるメッシュ型ネットワーク障害回復

2.1. メッシュ型ネットワーク

SONET/SDH に代表されるような従来の伝送ネットワークは，主に Point-to-Point あるいはリング型を前提としたネットワーク構成であり，それらの構成を前提とした障害回復方式が用いられている．リング型の SDH 伝送ネットワークにおいては，UPSR (Unidirectional Path Switched Ring)，BLSR (Bidirectional Line Switched Ring) と呼ばれるプロテクション方式が一般に用いられている．end-end のパスレベルの高信頼化に関しては，いずれもトラフィックを転送する現用のパスとは別に，逆回りに予備のパスをあらかじめ確保しておき，障害発生時にトラフィックの転送先，受信側の選択を切り替えることにより障害回復する (図1)．BLSR方式においては，予備パスに割り当てられた SDH のタイムスロットは，障害回復による切替が発生しなければ使用されない．これを有効活用するために，高信頼性を必要としない低優先のトラフィックの転送に割り当てることが出来る．これを Extra traffic と呼ぶ．しかし，これらの方式は，本来の転送に必要な帯域と同じだけの予備帯域 (待機系の帯域) を必要とするというデメリットがある．また，リング型のネットワークでは，トポロジーが限定されること，非対称的なトラフィックに対しては非効率であるというデメリットがある．

次世代のフォトニックネットワークにおいては，従来の Point-to-Point やリング型だけでなく，それらを連結したネットワーク構成や，様々なトラフィック分布に対応したパス設定や障害回復が必要である．すなわち，メッシュ型のフォトニックネットワークの制御，障害回復が求められる．

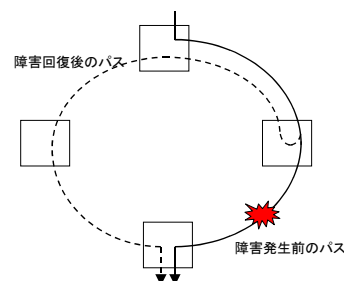


図1 リング型障害回復の例 (BLSR)

2.2. GMPLS 障害回復方式の分類

メッシュ型ネットワークの障害回復を GMPLS の枠組みで実現する検討が IETF の CCAMP WG (Common

Control and Measurement Plane-Working Group), P&R (Protection and Restoration) デザインチームにおいて行われている [5]-[8]. [5]は障害回復のための RSVP-TE シグナリングプロトコルを拡張している. ネットワークを利用するアプリケーションによって, 要求する信頼度 (availability), 通信断時間の長さ (切替所要時間) は異なる. また, メッシュ型ネットワークの障害回復を実現する手段も様々な方式が考えられ, 方式によって実現する信頼度, 切替所要時間, 帯域等のネットワーク資源の利用効率が異なる.

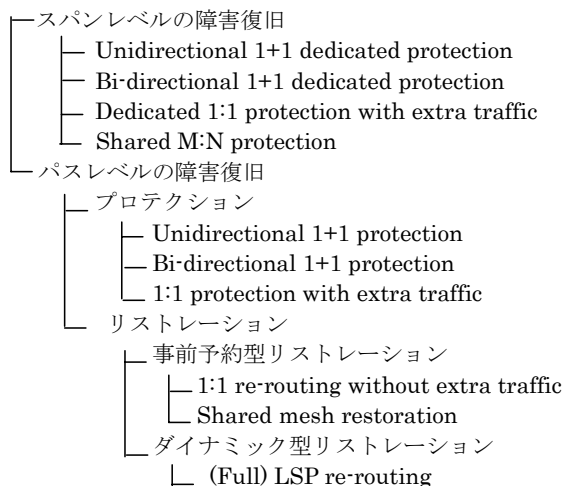


図2 障害回復方式の分類

図2は障害回復方式を分類したものである. 障害回復は, 隣接する装置間のリンク (スパン) を保護するものと, 複数のリンクに渡る end-end のパスを保護するものに分けられる. 更に, パスの障害回復の方式は, プロテクションとリストラクションに分けられる. プロテクションは, あらかじめ予備パスを設定し, 障害発生時に, パスの両端でのみ切替制御を行うものである. 例えば 1:1 プロテクション (1:1 protection with extra-traffic) の場合には, あらかじめ現用パスと, これをバックアップする予備パスを設定しておく (本論文では, 通常の状態ではトラフィックを転送するパスを現用パス, 現用パスに障害が発生した後にトラフィックを転送するために使われるパスを予備パスと定義する). ユーザトラフィックの入力端ノード (ingress ノード) では, 通常は現用パスにのみトラフィックを転送し, もう一方の端にあるユーザトラフィックの出力端ノード (egress ノード) では, 現用パスからトラフィックを受信するように受信先を選択する. 障害発生時, ingress ノードと egress ノードの間で同期をとり, ingress ノードではトラフィックを予備パス上に転送し, egress ノードは予備パスから受信するように切り替える. この方式では障害発生時にパスの中継ノードでの処理が介在しないためリストラクションに比べて

高速な切替が可能である. また, 予備パス上に Extra traffic を適用して予備帯域を有効活用することが可能である (図3).

リストラクションは, 障害発生後に切替のための予備パスのシグナリングを行い, 障害回復時, パスの中継 (transit) ノードにおいてスイッチ設定やシグナリング処理などの処理が介在するものである. リストラクションは, 更に2つに分類される. 1つは障害発生前にあらかじめ予備パスのルートを決出し, リソースを予約しておく事前予約型リストラクションであり, もう1つは障害発生後に予備パスのルートを決出し, 予備パスを設定する完全にダイナミックなリストラクションである. 事前予約型リストラクションは更に, 予備パス毎に専用の帯域を割り当てる 1:1 re-routing without extra traffic と, 予備パス間で帯域を共有する Shared mesh restoration (後述) に分けられる.

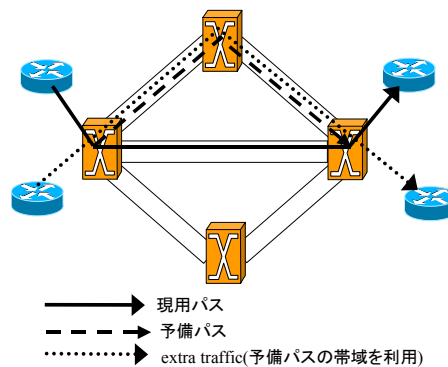


図3 1:1 protection with extra-traffic

2.3. PIL における検討

PIL では, [5]-[8]をベースとして, 実装可能な障害回復シグナリングおよびルーティングのプロトコル仕様を規定し, それを元に各社が実際にコードを実装し, 相互接続性を確認する試みを行っている. 上記障害回復の分類においては, パスレベルの障害回復のうち, プロテクションと Shared mesh restoration を主な検討の対象とした. プロテクションは 1+1 による無瞬断の切替や 50msec 以下等の高速切替を実現し, 高信頼かつ通信断時間が短時間に限定されるアプリケーションに適用できる. Shared mesh restoration はプロテクションに比べて切替が低速だが, 帯域の利用効率が良く, 事前に予備パスを確保しておくため障害発生時確実に切替を実施することが可能であることから, 高信頼が要求されるが通信断時間への要求が厳しくないアプリケーションに適している. PIL では, これらパスレベルのプロテクション, Shared mesh restoration に関する実装レベルのプロトコル仕様書 (Implementation Agreement) を作成した. 現用パス/予備パスの設定, 切替, 切り戻し時等のシグナリングについて, 交換さ

れる RSVP-TE メッセージの順序, 設定される Object の値, 各ノードでの処理内容等を規定した. 例えば, [5]では, プロテクション/リストレージョンのシグナリングに使用する Protection Object を新規に定義し, このオブジェクトの中で S ビット, P ビットのように現用, 予備パスの切替状態を示すビットを使って障害回復のためのパス設定, 切替を制御している. しかし, これらのビットの使用方法についての記述が曖昧なため解釈や使用方法に違いが生じたり, 異なるベンダ装置間で値の変更タイミングの違いが生じるなど, 相互接続性に問題が生じる可能性がある. また, プロトコルレベルの動作規定の範囲内だけでは, 装置毎の動作の違いによって, 全体として所望の動作が実現できない可能性もある. このような問題を無くすため, シグナリングの際に設定するビットの値や動作シーケンスを具体的に規定した. また, 基本的なシグナリングの仕様のほかに, 現状[5]-[8]では規定されていないルーティングの検討や, マルチレイヤシグナリングへの適用, 障害通知の方式検討を行った.

3. Extra LSP の提案

3.1. Shared mesh restoration

本論文で提案する Extra LSP の対象となる Shared mesh restoration について説明する. 図 4 は, 波長レイヤにおける Shared mesh restoration の現用パス, 予備パスの設定例である. 2つの現用パス, 予備パスのペアとして, 合計 4本の LSP (Label Switched Path) が設定されている. 一方のペアでは, ノード A と B 間でトラフィックを転送するため, A-B のルートで現用パスを設定し, A-C-D-B で予備パスを設定している. また, もう一方のペアでは, ノード E と F の間でトラフィックを転送するため, E-F の現用パス, E-C-D-F の予備パスを設定している. 2本の予備パスは, C-D 間の共通のリンクを通して設定されているが, Shared mesh restoration においては, この共通のリンクを通る複数の予備パス間で, 障害発生時に使用する波長を共有することが出来る. ただし, 現用パス A-B の障害と現用パス E-F の障害が同時に発生するリスクが無いか極めて低くしなければならない. このように, 複数の予備パスが同一のリンクの帯域を共有することで, 予備パスのために必要な帯域を抑えることが出来る.

Shared mesh restoration のシグナリングは, 2つのフェーズに分けられる. 最初に現用パスと予備パスの設定を行う. 現用パスの設定においては, ingress, transit, egress ノードのそれぞれにおいてスイッチ (例えば光スイッチ) が設定され, トラフィックを転送できる状態となる. 予備パスの設定においては, 波長などのリソースの予約は行わぬが, スwitch の設定は行わず, 実際に予約された波長上にトラフィックは転送されない.

以上が最初のフェーズである. 次に障害が発生すると, RSVP-TE における Notify メッセージ等の手段を用いて, 障害発生が ingress ノードに通知される. ingress ノードは, 事前に設定された予備パスに関して, トラフィックの転送を予備パスに切り替えるためのシグナリングを開始する. これにより, 予備パス上の各ノードのスイッチ設定が行われ, これまで現用パス上に転送されていたトラフィックを予備パスの波長上に転送することが可能となる.

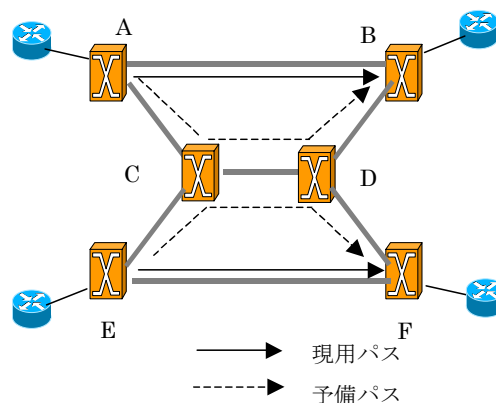


図 4 Shared mesh restoration のパス設定例

3.2. Extra LSP

Shared mesh restoration の適用により, 予備帯域を共有することによる経済効果が期待できるが, 予備帯域は, 障害が発生していない間は使用されていない. これら予備帯域を更に活用することができれば, より一層の経済効果が期待できる. このために, 先述した 1:1 プロテクションや, SDH における BLSR のように, 予備帯域を活用して, Extra traffic のような低優先のトラフィックを転送することが考えられる. しかし, [5]における検討では, Shared mesh restoration については, このような Extra traffic は考慮されていない. また, メッシュ型のネットワークにおいては, 同一の 2地点間で転送されるトラフィックに関して, 保護され転送される高優先のトラフィック量と, 低優先のトラフィック量は必ずしも同程度の量とはならないと考えられ, プロテクションにおける Extra traffic のように, 予備パスと同じルートに低優先度のトラフィックを転送するという方式は必ずしも最適ではない.

本論文で提案する方式は, これらの課題を解決するものである. Shared mesh restoration において, 優先度の低いトラフィックを転送するパスを Extra LSP と定義する. 図 4 において, 先述したように 2つのペアの現用/予備パスが設定されている状態において, 更に A-C-D-F というルートの低優先のパス (Extra LSP) を設定することを考える. Extra LSP は, A-C, C-D, D-F という 3つのリンクを使用する. この際, A-C 間リンクでは, 現用パス A-B の予備パスである A-C-D-B に割

り当てた波長を使用し、C-D間リンクでは、予備パスA-C-D-B、E-C-D-Fに共有されて割り当てた波長を、D-F間リンクでは予備パスE-C-D-Fに割り当てた波長を使用する。このように、Extra LSPでは、予備帯域の使用に関して、プロテクションにおけるExtra trafficのように特定の予備パスと同一のルート、帯域を使用するという制限を設けない。予備帯域を任意の2地点間の低優先トラフィック転送に活用することが出来るため、現状のShared mesh restoration方式に比べ、予備帯域の有効活用をより一層図ることが出来る。なお、障害が発生した際は、Extra LSPが使用している予備帯域は、事前に割り当てられた予備パスに使用されることになるため、Extra LSP上に転送されたトラフィックの転送を継続することは不可能となる。これは先述したExtra trafficと同様の振る舞いである。

4. Extra LSPの実現方法

4.1. 要求機能

提案するExtra LSPは、IETFでは考慮されていないことから、その実現方法を検討し、IETFに対して提案中である[9]。Extra LSPの実現に必要な機能は、以下の4点である。

- ①Extra LSPに割り当て可能な帯域を広告する必要がある。このためにルーティングの拡張が必要である。
- ②設定されるパスがExtra LSPであることを示す必要がある。このためにシグナリングの拡張が必要である。
- ③障害発生時、Extra LSPが使用している帯域を予備パスが使用することになるため、Extra LSPを切断する必要がある。このためのシグナリング手順が必要である。
- ④障害発生時、波長パスのような回線交換のパスでは、予備パス上のノードでスイッチの設定内容を変更することになる。この際、Extra LSPと予備パスの間の一時的な誤接続が発生しないように考慮する必要がある。

図5は、④の誤接続の例である。図4において先述したのと同様に、2本の現用/予備パスのペアと、A-C-D-FのExtra LSPのパスが設定されている。A-B間のリンクに障害が発生し、A-C-D-Bの予備パスに切り替える場合、最初にBノードのスイッチ設定を変更し、Aからの受信を、Dからの受信とするように切り替え、次にDノードのスイッチ設定を変更し、CからFに転送していた設定を、CからBに転送するように切り替えたと仮定する。この場合、AからF宛てにExtra LSP上転送されていたデータがBに転送されてしまう。このように一方のユーザのデータが他方のユーザに誤って転送されないように考慮してスイッチ設定を変更する必要がある。このためのシグナリング手順を定める必要がある。

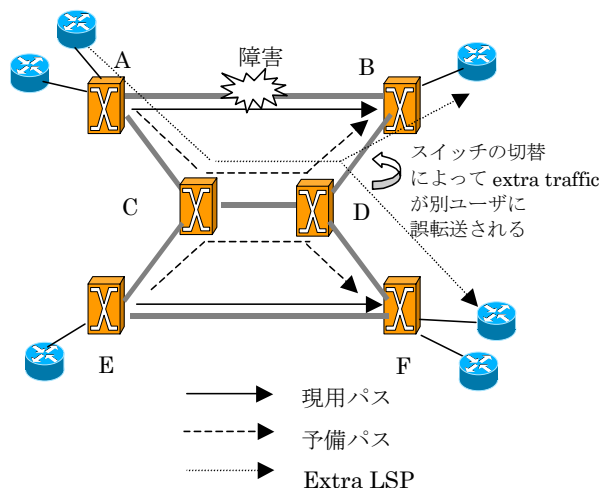


図5 障害回復時のExtra LSPの切断と誤接続

4.2. Diffserv-Aware MPLS-TE (DSTE)の適用

以上のように、Extra LSPの実現にはルーティング、シグナリングプロトコルの拡張が必要である。拡張の際は、極力、仕様化済または実装されているプロトコル仕様を適用することにより、プロトコルや管理ソフトウェアの開発コスト、運用コストを最小限に抑えることを図る必要がある。現在IETFではTE-WG (Traffic Engineering Working Group)にてDiffserv-AwareのMPLS-TE (DSTE)における要求条件、プロトコル、帯域制約モデルを議論しており[10]-[14]、この適用が考えられる。DSTEは、Diffservの種々のPHB (EFクラスやAFクラス)をMPLSで実現することを目的としており、同じアプリケーションを運ぶトラフィックなど、同じ性質の帯域制約 (bandwidth constraints)を持つトラフィックの集合をClass-Type (CT)と定義づける。更に、CTとトラフィックの優先度 (preemption priority)の組み合わせをTE-Classと定義づける。優先度の関係は、異なるCT間においても有効とする。現状のOSPF-TEでは、現状8つのpriorityの帯域を広告することができるが、これをTE-Classに対応づけて使用する。また、RSVP-TEについてはCTを示すオブジェクトを追加定義して使用する。

先述のようにExtra LSPの実現のためには、現用/予備パスに割り当て可能な帯域のほかに、Extra LSPに割り当て可能な帯域を広告する必要があること、障害発生時に予備パスがExtra LSPより優先的に帯域を使用する (割り込む) 必要がある。また、障害発生以外の通常時はExtra LSPは現用パスや予備パスの設定に割り込まれずに維持したい運用ケースも想定され、このようなパス間の優先度を示す必要がある。DSTEはこれらの要求を満たす。例として、現用パス/予備パス/Extra LSPのパスを3つのTE-Classのクラスに対応付けることが出来る。

- ・ 現用パスの TE-Class[0] :
CT=CT1, setup priority = 0, holding priority = 0
- ・ 予備パスの TE-Class[1] :
CT=CT0, setup priority = 0, holding priority = 0
- ・ Extra LSP のパスの TE-Class[2]:
CT=CT0, setup priority = 0, holding priority = 1

すなわち、予備パスと Extra LSP は帯域を共有する関係にあり、現用パスの帯域とは排他的であるため、現用パスとは異なる Classy-Type とする。現用パスと予備パスの間に優先度の違いは無いため、同じ setup/holding priority とする。予備パスと Extra LSP の優先度の関係に関しては、Extra LSP のパス設定においては予備パスと Extra LSP は帯域を共有することになるため、Extra LSP の setup priority は予備パスの holding priority より高くはならないが、障害発生時に予備パスが Extra LSP に使用されている帯域を横取りして使用することになるため、予備パスの setup priority を、Extra LSP のパスより高く設定する。なお、この場合 priority は、予備パスの最初のフェーズでのシグナリング(Provisioning)ではなく、障害発生後の切替時のシグナリング(Activation)に適用することとなる。

また帯域制約に関する CT 間の関係のモデルが幾つか検討されており MAM(Maximum allocation bandwidth constraints model) [12], RDM (Russian dolls bandwidth constraints model) [13], MAR (Max allocation with reservation bandwidth constraint model) [14]などが提案されている。提案する障害回復には MAM が適用可能である。MAM モデルにおいては CT 毎に帯域制約を独立に定義することが可能である。

5. まとめ

フォトニックインターネットラボ (PIL) にて、GMPLS による障害回復の実現へ向けて、IETF での検討をベースとし、相互接続可能なレベルの仕様化を行い、有効な障害回復方式を検討した。障害回復方式に関する新たな提案として Shared mesh restoration において予備帯域を有効活用する Extra LSP サービスを提案し、その実現のための要求条件を検討した。またシグナリング、ルーティングプロトコルの拡張として、Diffserv-Aware の MPLS-TE (DSTE) の適用を検討した。今後は、これらの検討を踏まえた実装と、ベンダ間の相互接続による技術的な検証を行っていききたい。

6. 謝辞

本論文をまとめるにあたって有益な議論をしていただいたフォトニックインターネットラボ (PIL) の関係者各位に感謝いたします。PIL は、総務省戦略的情報通信研究開発制度の国際技術獲得型研究プログラムのサポートを受けて運営されています。

文 献

- [1] E. Mannie, Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture, draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-07.txt, IETF, May 2003.
- [2] L. Berger, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description, RFC 3471, IETF, January 2003.
- [3] L. Berger, Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions, RFC 3473, IETF, January 2003.
- [4] K. Kompella and Y. Rekhter, OSPF Extensions in Support of Generalized MPLS, draft-ietf-ccamp-ospf-gmpls-extensions-12.txt, IETF, October 2003.
- [5] J.P. Lang et al, RSVP-TE Extensions in support of End-to-End GMPLS-based Recovery, draft-lang-ccamp-gmpls-recovery-e2e-signaling-02.txt, IETF, September 2003.
- [6] J.P. Lang et al, Generalized MPLS Recovery Functional Specification, draft-ietf-ccamp-gmpls-recovery-functional-01.txt, IETF, September 2003.
- [7] E. Mannie, Recovery (Protection and Restoration) Terminology for GMPLS, draft-ietf-ccamp-gmpls-recovery-terminology-02.txt, IETF, May 2003.
- [8] D. Papadimitriou et al, Analysis of Generalized MPLS-based Recovery Mechanisms (including Protection and Restoration), draft-ietf-ccamp-gmpls-recovery-analysis-02.txt, IETF, September 2003.
- [9] Katsuhiko Shimano et al, Extra class LSP service using protecting resources in GMPLS networks, draft-pil-ccamp-extra-LSP-01.txt, IETF, October 2003.
- [10] F. Le Faucheur and W. Lai, Requirements for Support of Differentiated Services-aware MPLS Traffic Engineering, RFC 3564, IETF, July 2003.
- [11] Francois Le Faucheur, Protocol extensions for support of Diff-Serv-aware MPLS Traffic Engineering, draft-ietf-tewg-diff-te-05.txt, IETF, September 2003.
- [12] F. Le Faucheur and W. Lai, Maximum Allocation Bandwidth Constraints Model for Diff-Serv-aware MPLS Traffic Engineering, draft-ietf-tewg-diff-te-mam-01.txt, IETF, September 2003.
- [13] Francois Le Faucheur, Russian Dolls Bandwidth Constraints Model for Diff-Serv-aware MPLS Traffic Engineering, draft-ietf-tewg-diff-te-russian-04.txt, IETF, September 2003.
- [14] Jerry Ash, Max Allocation with Reservation Bandwidth Constraint Model for MPLS/DiffServ TE & Performance Comparisons, draft-ietf-tewg-diff-te-mar-02.txt, IETF, October 2003.