

メッシュネットワークの光パス障害復旧技術

中村徳昭* 山崎 創*
吉原直利*
吉田聡太*

Optical Path Restoration Method for Mesh Network

Noriaki Nakamura, Naotoshi Yoshihara, Sota Yoshida, Hajime Yamasaki

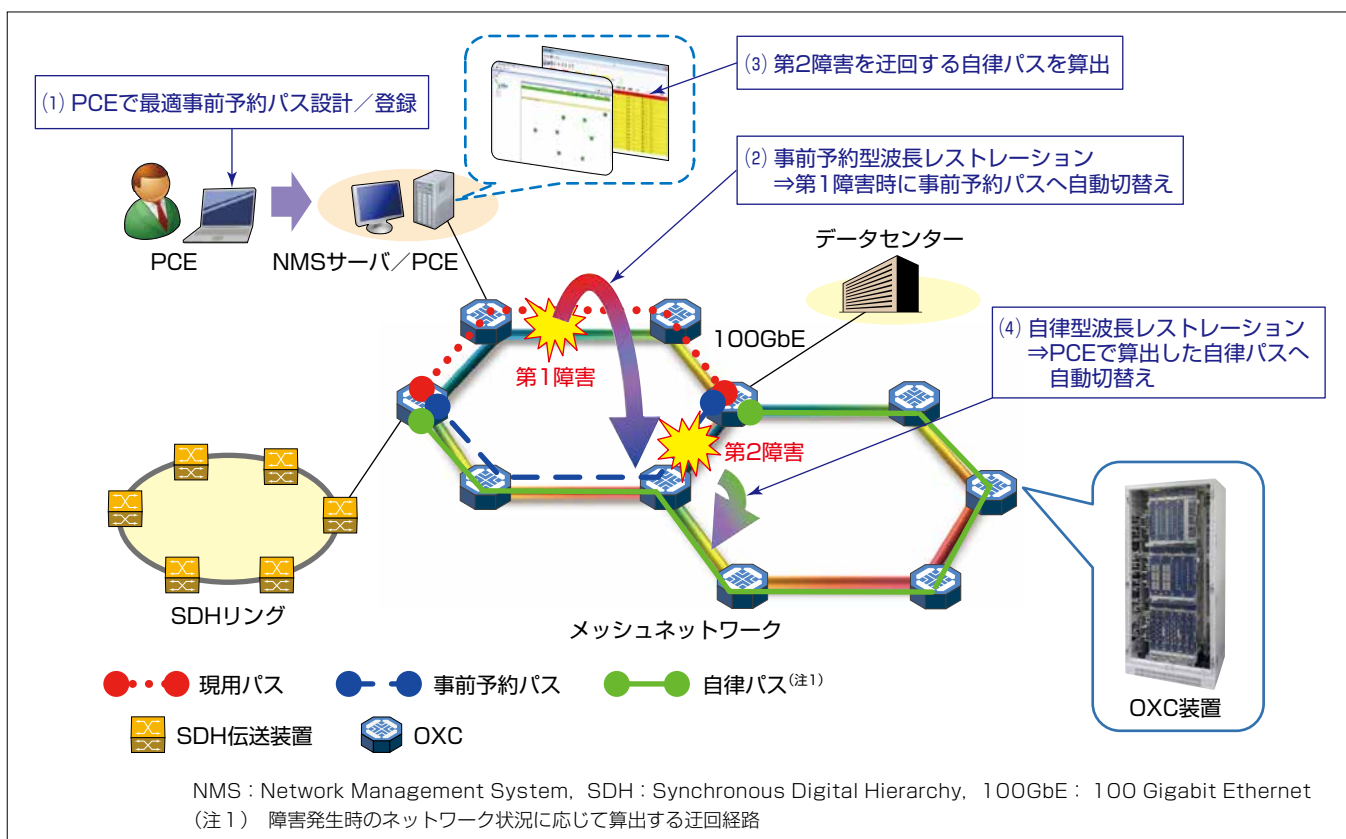
要 旨

スマートフォンやタブレット端末の高機能化，企業のクラウドサービス利用の普及によって，通信サービスは我々の日常生活や産業経済活動に必要な不可欠なものになっている。加えて，第5世代移動通信システム(5G)の実用化開発や，IoT(Internet of Things)／M2M(Machine to Machine)といった5Gを活用した新サービスの検討が各所で進められており，通信トラフィック需要の継続的増加が見込まれる。

これら通信サービスを支える基幹光ネットワークでは更なる高信頼化への要求が高まっている。三菱電機は，障害発生時にあらかじめ設定した迂回(うかい)経路に切り替える波長レステーション機能等を具備し，高信頼なメッシュネットワークの構築を可能にする100Gbps×88波×8方

路光クロスコネクト(Optical Cross-Connect : OXC)の開発を進めてきた⁽¹⁾。

将来の通信トラフィック需要増を見据えて基幹光ネットワークの大規模化が進められている中で，自然災害等による複数地点での障害同時発生や，想定外の広範囲障害発生に対する経済的な光パス障害復旧技術がより一層求められている。大規模ネットワークの経済性と高信頼性を確保するために，迂回経路構築に必要なリソース(波長資源と3R再生中継装置)を抑制し，経済的な装置設計を自動化するPCE(Path Computation Element)機能と，災害等による障害発生時にそのリソース状況下で算出した迂回経路に切り替える自律型波長レステーション機能を新たに開発した。



メッシュネットワークの光パス障害復旧技術

基幹光ネットワークを構築する光クロスコネクシステムには，障害発生時に事前登録した迂回経路(事前予約パス)に切り替える事前予約型波長レステーション機能など，可用性を確保する各種機能が実装されている。迂回経路設計を自動化するPCE機能と，障害発生時のネットワーク状況に応じた迂回経路(自律パス)を自動算出して切り替える自律型波長レステーション機能に対応したことで更なる高信頼化を実現した。

1. ま え が き

インターネットアクセス回線やモバイルのブロードバンド化が進み、トラフィックが急増している。光アクセスでは、高速回線を安価に提供する10G-EPON(10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network)の導入が可能になってきている。モバイルに関してもLTE(Long Term Evolution)等高速通信サービスの普及や5Gサービス導入に伴い、今後も大容量化が進んでいくと考えられる。昨今はSNS(Social Networking Service)の普及によって、大多数のユーザーがインターネットを通じて日常生活に必要な情報収集を行っており、通信サービスは我々の生活や社会にとって不可欠なものになっている²⁾。通信サービスを支える基幹光ネットワークに障害が発生した際の社会生活に及ぼす影響は大きく、基幹光ネットワークの高信頼化への要求は年々強まっている。この要求に対応するため、障害発生時に迂回可能な経路を複数備えたメッシュネットワークを構築可能な光クロスコネクシステム³⁾の導入が進められている。

当社は、柔軟なメッシュネットワーク構築に適した波長及び方路の独立性が高いCDC(Colorless, Directionless and Contentionless: 波長無依存, 方向無依存, 無競合)機能と装置間監視制御機能、障害発生時にあらかじめ設定した迂回経路に信号を切り替える事前予約型波長レステーション(光パス障害復旧)機能を具備した光クロスコネクシステムの開発を進めてきた⁴⁾。

近年、将来の通信トラフィック需要増を見据えてメッシュネットワークの大規模化が進められている中で、自然災害等による複数地点での障害同時発生や、想定外の広範囲障害発生に対する経済的な光パス障害復旧技術がより一層求められている。この要求を満たすため、当社は大規模ネットワーク内の複雑な迂回経路の最適化を自動設計するPCE機能と、障害発生時のリソース状況に応じて算出した迂回経路に信号を切り替える自律型波長レステーション機能を具備した光クロスコネクシステムを追加開発した。

本稿では、2章で従来の当社光クロスコネクシステムのCDC機能、装置間監視制御機能、及び事前予約型波長レステーション機能の特長について述べ、3章で今回追加開発したPCE機能、及び自律型波長レステーション機能について述べる。

2. 当社の光クロスコネクシステム

基幹光ネットワークでは、従来のリング・リニアネットワークから、メッシュネットワークへの移行が進んできた。メッシュネットワークに適した高信頼な光クロスコネクシステムの実現には、既存光信号に影響を与えずに遠隔から波長や方路を設定変更可能なCDC機能や、耐障

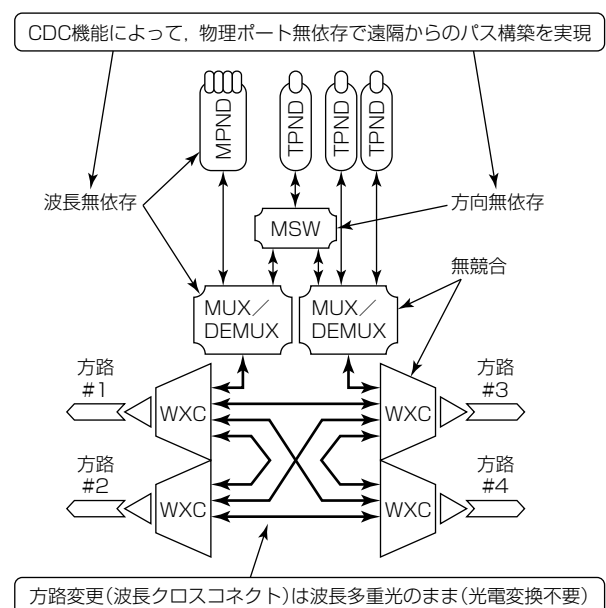
害性の高い装置間監視制御機能、障害発生時に遠隔制御であらかじめ設定した迂回経路に信号を切り替える事前予約型波長レステーション機能が不可欠となる。

2.1 CDC機能

CDC機能は、既存光信号に影響を与えずに光パスの切替え作業を可能にする機能である。従来は光パス構築のたびに人手でファイバを再接続して波長や方路を切り替えていたが、任意のポートにあらかじめファイバを接続することによってCDC機能を実現し、全て遠隔から波長や方路を自由に切り替えることができる。また、CDC機能を実現するMUX/DEMUX(光合分波)機能部、MSW(メッシュスイッチ)機能部を図1に示すように機能ごとに独立した物理構成にすることで、波長及び方路の独立性を高くし、物理的な波長干渉を抑制できる。これによって、波長・方路増減設時や障害発生時の他方路への主信号影響を抑止可能な高信頼なシステム構成を実現している。

2.2 装置間監視制御機能

メッシュネットワークでは、複数障害発生時にも装置間監視を継続できるネットワーク管理の実現が課題である。図2に示すように、装置の外部回線を使用するアウトバンド通信と装置間の空き通信領域を使用するインバンド通信を組み合わせ、それぞれで同報する構成を適用することによってメッシュネットワークの装置間監視技術を実現した。装置のアウトバンド通信では任意に定義可能なサブネットワークごとにGNE(Gateway Network Element)を3か所設置し、NMSに対して3経路で同報する構成にした。インバンド通信では装置から各経路に対して同一メッセージを同報し、受信側で重複する通知を削除することでロバストな経路冗長構成とした。これらの構成によって、複数の



MPND : MultiPoNDer, TPND : TransPoNDer, WXC : Wavelength Cross Connect

図1. CDC機能構成

障害発生時でも光信号の監視制御に影響を与えることなく、継続管理可能な装置監視を実現している⁽³⁾。

2.3 事前予約型波長レストレーション機能

事前予約型波長レストレーション機能を図3に示す。事前予約型は、現用パスに対してあらかじめ迂回ルートと迂回波長(事前予約パス)をNMSに登録しておき、障害発生時に登録した予備の事前予約パスを確立し、現用パスを切り替える。現用パスに対して、複数の事前予約パスを登録することで、多重障害発生時での信号復旧を可能にする⁽⁴⁾。現用パスで障害検出した後にシグナリングを行い、事前予約パスを設定するため、複数の現用パスに対して事前予約パスのリソース共有が可能であり、波長資源及び3R再生

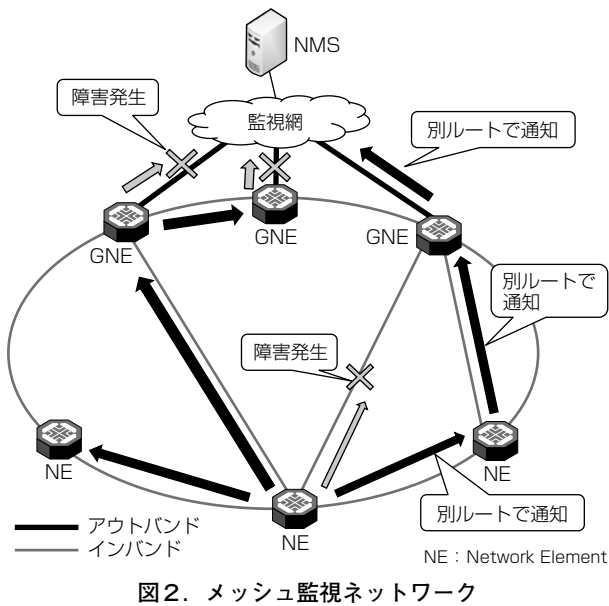
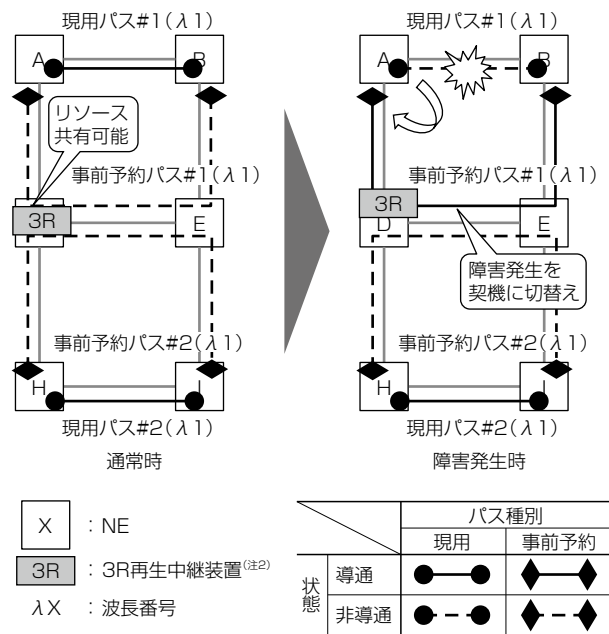


図2. メッシュ監視ネットワーク



(注2) 長距離伝送に伴い劣化した光信号に対し、光増幅(Re-amplification)、波形整形(Re-shaping)、タイミング再生(Re-timing)を行い、伝送性能を補償する装置

図3. 事前予約型波長レストレーション機能

中継装置の高効率活用を実現した。リソース共有は、現用パス同士が同一リンクを経由しない場合だけ許容する条件を設定したことで、単一障害発生時には100%復旧可能にした。

3. 大規模メッシュネットワーク向け光パス障害復旧技術

大規模メッシュネットワークでは、多数の冗長経路が構築可能なため、経済的で高信頼な迂回経路の導出と、多重障害時でもサービス継続可能とする光パス障害復旧技術の実現が重要となる。

3.1 PCE機能

大規模メッシュネットワークでは、光信号の始点から終点まで取りうる経路パターンが膨大に存在するため、経済性/信頼性に優れた光パスを選択することが難しい。特に事前予約型波長レストレーション方式では、複数の現用パスに対して事前予約パスのリソース共有が可能であるため、リソースの高効率化を考慮した光パス群を自動算出する技術が求められている。オペレータが入力する経路探索条件を満たし、波長資源及び3R再生中継装置の割当てが可能で限り少なくなるような光パス群を算出するPCE機能⁽⁵⁾を開発した。

図4に既存メッシュネットワークへの光パス追加設計時のPCE機能による経路探索の流れを示す。NMSからネッ

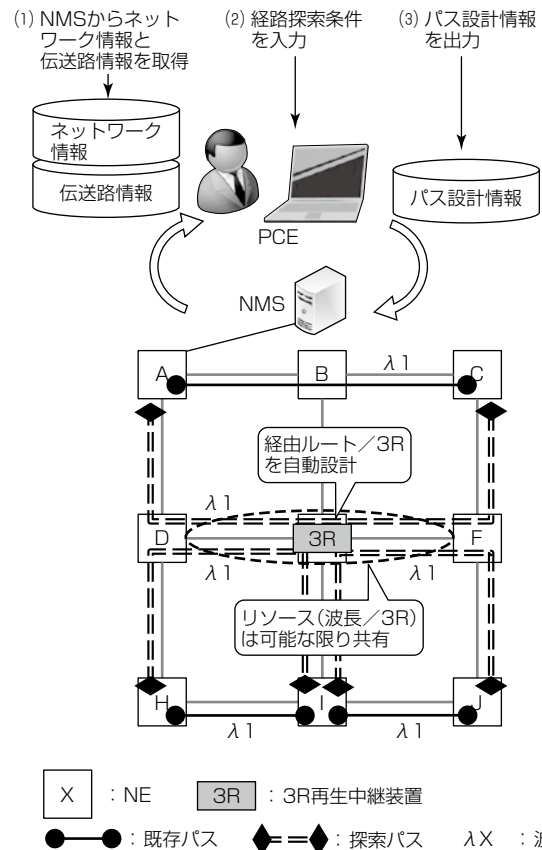


図4. PCE機能による経路探索の流れ

トワーク情報(NE配置, OTS(Optical Transmission Section)リンク接続, 既存パス情報等)と伝送路情報(伝送距離, 伝送路損失値等)を取得してPCEに入力する。PCEでは, オペレータが入力する経路探索条件(パス種別, 経路ノード・リンク, 事前予約パス本数等)と伝送路情報を基にOSNR(Optical Signal to Noise Ratio)を算出し, 伝送性能の補償が必要な場合は, メッシュネットワーク全体で3R再生中継装置の数が必要最小限となるように経路ルートと3R再生中継装置の配置を自動設計し, 最適な光パス群を導出する。光パス群の探索結果はパス設計情報として出力されるため, オペレータは出力された情報に従って簡単に光パス追加が可能になる。

現用パス同士が完全に別ルートである場合, 事前予約パスの波長資源と3R再生中継装置をできる限り共用する設定を可能にすることで, 単一障害時の復旧率100%を達成しつつ, リソースの高効率化を達成する経路探索アルゴリズムをPCE機能に搭載した。また, 事前予約パスを設計する場合, 現用パス1本について複数の事前予約パスを探索指定可能にすることで, 現用パスの重要度に応じて複数の事前予約パスを確保し, 耐障害性を向上させた。

また, ネットワークの複雑化に伴い, オペレータが直感的に操作できるPCE機能のGUI(Graphical User Interface)を開発した。図5にPCEの画面例を示す。NMSから取得したネットワーク情報をPCEにインポートすることによって, NE配置, OTSリンク接続, 既存パス情報等を一覧表示する。インポートした既存パス及びPCE上で設計した新規パスは, 光パス表示部で一覧表示することができ, 任意のパスをクリックすることで, 当該パスの経路ルートをグラフィカルに確認できる。

3.2 自律型波長レストレーション機能

PCE機能をNMSに搭載することによって, 障害発生時に最新のネットワーク状況に基づき, 迂回経路をリアルタイムで算出し, 当該パスへ切替えを行う自律型波長レ

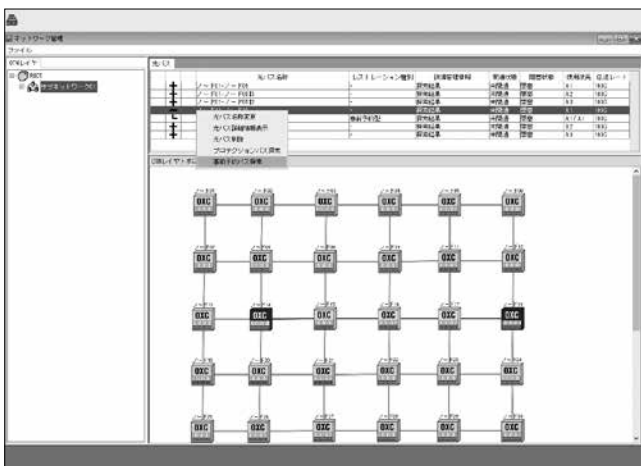


図5. PCEの画面例

レーション機能を開発した。自律型は, 切替え可能な迂回ルートを障害発生時にNMSでリアルタイムで算出することによって迂回ルートと迂回波長(自律パス)を確立し, 現用ルートの光パスを切り替える。事前予約型と同様, 現用パスで障害検出した後にシグナリングを行うため, 予備リソースの高効率活用が可能である。図6に自律型波長レストレーション切替え例を示す。自律型と事前予約型の併用によって, 全ての事前予約パスへの切替えが失敗した場合, PCE機能が搭載されたNMSで自律パスを算出して自動切替えを行う。想定内障害の場合は事前予約パスへの切替えで計画復旧し, 想定外の大規模障害の場合は自律パスへの切替えによる光信号導通の維持が可能になる。

3.2.1 リアルタイム経路計算技術

図7にPCE機能による自律型波長レストレーション切

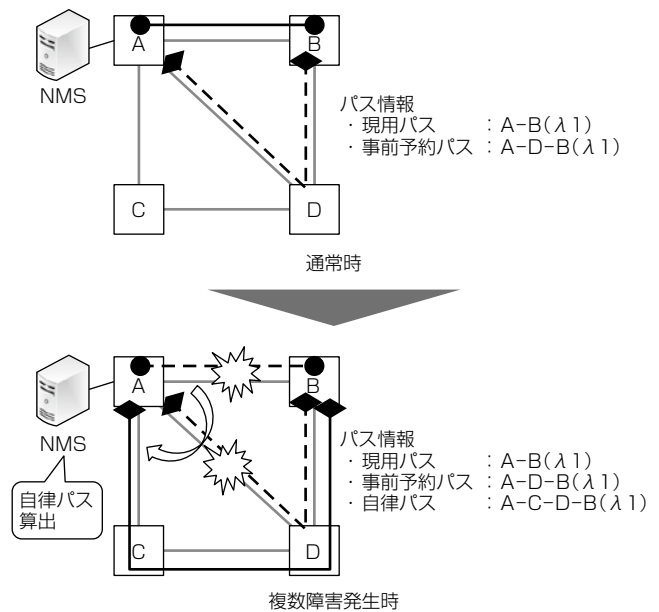


図6. 自律型波長レストレーション切替え例

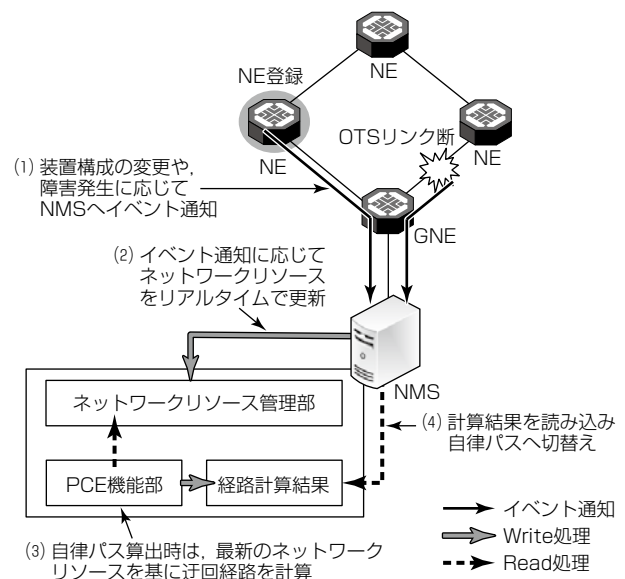


図7. PCE機能による自律型波長レストレーション切替え

替えを示す。NMSサーバはネットワーク構成情報の変更や、障害発生/障害復旧等の通知に応じて、ネットワークリソース(NE接続情報、OTSリンク、波長資源、3R再生中継装置)をリアルタイムで逐次更新する。現用パスの障害発生時には、最新のネットワークリソースを基にPCE機能部で自律パスを算出し、当該パスへ自動切替えを行う。経路切替え制御及びネットワークリソース管理はNMSサーバによって一元管理されているため、経路間の衝突を回避した確実な切替え制御が可能である。この機能によって、利用可能なネットワークリソースを有効活用し、想定外の大規模障害に対して柔軟な切替え方式を実現した。

また、NMSサーバはホットスタンバイ方式で0系ACT、1系STANDBYの冗長構成をとっており、常に両系サーバがデータ整合して動作している。片系サーバで障害が発生した場合でも監視・制御状態は切れることなく、常に監視・制御可能である。これによって、波長レステーション切替え動作中に片系サーバで障害が発生した場合でも、経路算出及び光パス切替え処理の継続が可能である。

3.2.2 切替え優先度による高信頼パス切替え技術

このシステムは、現用パス1本について複数本の事前予

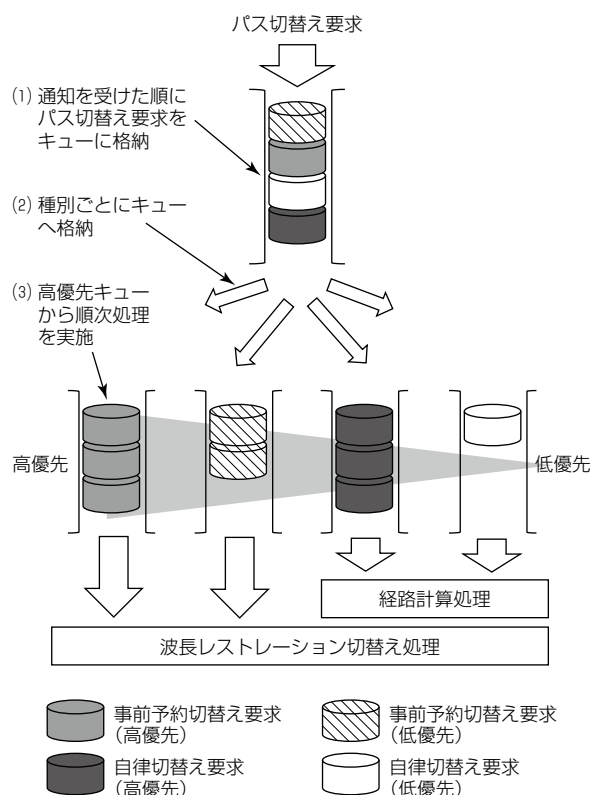


図8. 切替え優先度による波長レステーション切替え

約パスと自律パスを設定できる。各現用パスに対して切替え優先度を設定することによって、波長レステーション切替え発動時には、優先度の高い現用パスから順に切替えが可能になる。図8に切替え優先度による波長レステーション切替えを示す。NMS内で通知を受けた順にパス切替え要求をキューに格納後、さらに切替え種別(波長レステーション種別と優先度)に応じたキューへ格納する。高優先キューから切替え処理を実施することによって、ネットワークリソースが不足している場合でも、重要度の高いパスを優先的に障害復旧させることが可能になる。光パス閉塞解除失敗などの要因によって切替えが失敗した際には、切替え未実施の事前予約パス又は自律パスに対する切替え要求を再度通知する。この技術によって、迂回経路構築に必要なリソースを抑制した経済的かつ確実な障害復旧と、災害による複数障害や想定外障害の復旧の両立を実現した。

4. む す び

メッシュネットワークでの光パスの最適設計を自動化するPCE機能及び障害発生時にリアルタイムで算出した迂回経路に切り替える自律型波長レステーション機能について述べた。これらの技術によって、柔軟かつ高信頼な基幹光ネットワークを構築可能であり、今後想定される南海トラフや首都圏直下型地震を見据えたBCP(Business Continuity Plan)への備えとしても有用である。

引き続き、災害に強い高信頼なネットワークを実現するために、ネットワーク装置のようなハードウェア面だけでなく、障害復旧オペレーションを含めたソフトウェア面にも新技術を取り入れ、より安心・安全な社会インフラの構築に努めていく。

参 考 文 献

- 山崎 創, ほか: 88波×8方路光クロスコネクシステム, 三菱電機技報, 90, No.6, 327~331 (2016)
- 総務省: 平成30年版 情報通信白書
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/index.html>
- 片岡久宜, ほか: 監視制御装置, 特開2014-232944
- 吉原直利, ほか: 光伝送システム, 管理装置, 光伝送ノード及び光伝送方法, 特許第6465627号
- 中村徳昭, ほか: 経路探索装置及び経路探索方法, 特開2017-98593