Technology Reports

CDC-ROADM　WSS　MCS

CDC技術を用いたつながり続ける光伝送ネットワークの実現

無線アクセス開発部　前田 祥郎（まえだ あきお）　恵美奈 弘（えみな ひろし）
森澤 亮（もりさわ りょう）　髙科 翔一（たかしな しょういち）

昨今激甚化している自然災害に起因する光伝送路断により，大規模な通信サービスの障害発生，および復旧に時間がかかることが問題となっている．その解決策の1つとして考えられるのは，光伝送路の多ルート化装置導入で，伝送路の冗長性向上，迂回経路への切替えによる復旧時間の短縮化が可能となり，つながり続ける光伝送ネットワークの実現が期待できる．本稿では，2017年よりドコモで導入を開始した多ルート化装置およびその要素技術であるCDCの概要を解説する．

1. まえがき

従来の光伝送装置（ROADM（Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer）*1）は，現用／迂回用の伝送路（2方路）による1：1の冗長性を確保しているが，大規模な自然災害により現用／迂回用伝送路の双方で伝送路障害が発生した場合は，それらのどちらかが復旧するまで通信サービス中断が発生してしまう．また，障害復旧には，現地でのケーブル張替えや融着作業が必要となるが，被災地への人員の派遣が困難であるなど，サービス復旧が完了するまで多くの時間を要していた．

その解決策として，光伝送路の多ルート化が考えられる．多ルート化を実現するための要素技術であるCDC（Colorless，Directionless and Contentionless）機能を用いた光伝送装置（以下，多ルート化装置）の導入により，迂回用伝送路が複数（*N*本）となり，1：*N*の冗長性を確保できる．また，ユーザによる遠隔切替もしくは装置の自律切替により，被災していない伝送路へ切替えをすることが可能となり，サービス復旧に要する時間が大幅に短縮される．

本稿では，2017年よりドコモで導入を開始した多ルート化装置およびその要素技術であるCDCの概要を解説する．

2. 従来のネットワークの課題

従来のドコモの中継光伝送路は，e-OADM*2光伝送装置［1］を用いて大規模な光基盤を構築している．

©2020 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

＊1　ROADM：光信号の分岐／挿入を行う光多重システム．
＊2　e-OADM：小型／低消費電力のROADM．

e-OADM光伝送装置は，トランスポンダ（TPND：TransPoNDer）*3，光波長多重・分波部，アンプで構成されている（**図1**）．TPNDは，ルータなどのクライアント装置を収容し，クライアント装置の送受信信号とe-OADM光伝送装置の送受信信号を相互に変換する機能（電気信号⇔光信号など）を有し，出力したい方路の光波長多重・分波部へ接続する．光波長多重・分波部は，TPNDから入力された複数の光信号を多重する多重機能部と，伝送路側から受信したWDM（Wavelength Division Multiplexing）*4信号を分波する分波機能部を有する．多重および分波にAWG（Arrayed Waveguide Gratings）*5を使用し，入出力する波長とポート*6の組合せが固定されている．アンプは，EDFA（Erbium-Doped Fiber Amplifier）*7などの光増幅器を用いて，光信号をTPNDや対向の光伝送装置が受信できる強度に調整する機能を有する．

e-OADM光伝送装置は最大で2方路の伝送路に光信号を出力することができるため，伝送路の冗長性を確保するためには，リング構成*8で構築することが有効である．e-OADM光伝送装置でリング構成を構築した際の信号の流れを**図2**(a)に示す．本構成においては，1方路の伝送路に障害が発生した際，障害が発生していない伝送路を使用することによりサービスを継続することが可能である．しかし図2(b)のように，2方路に故障が発生した場合には，クライアント装置間の疎通が不可になり，サービス中断が発生する．サービス中断解消のための伝送路復旧には現地作業が必要であり，伝送路障害の内容によってはサービス中断が長期に及ぶ．また，どうしても伝送路障害が復旧困難な場合，障害区間を通らない別伝送路へ新たに接続することも考えられるが，

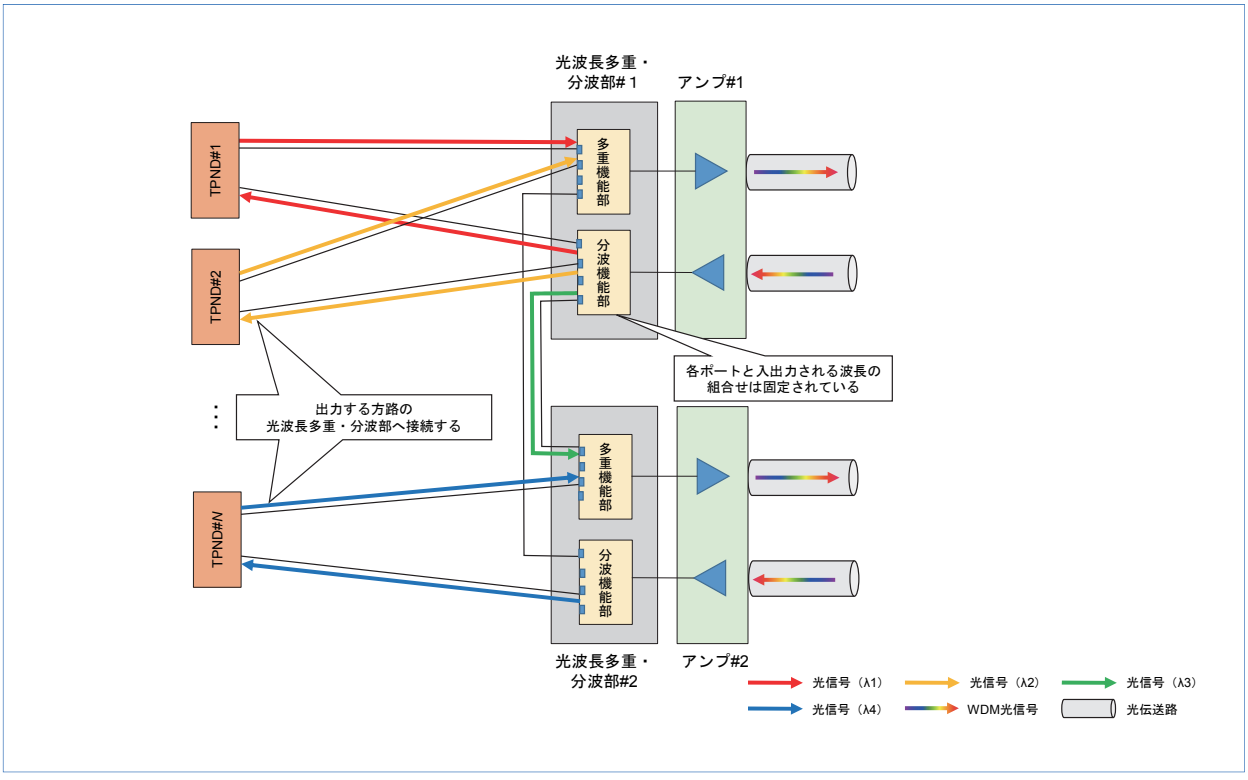

図1　e-OADM光伝送装置の構成イメージ

*3　トランスポンダ（TPND）：クライアント装置の送受信信号と光伝送装置の送受信信号を相互に変換する機能を有する機能部．
*4　WDM：波長多重分割と呼ばれる，1本の光ファイバに複数の異なる波長の光信号を伝送する技術．
*5　AWG：複数の異なる波長を合分波することができる光部品．
*6　ポート：他装置とデータをやり取りするための物理インタフェース．
*7　EDFA：光信号の強度を高める光増幅器の一種．
*8　リング構成：ネットワークのトポロジ構成の1つ．光伝送装置同士が環（リング）状に接続されている．

本手法にも伝送路設計や現地でのパッケージ実装や配線が伴い，やはりサービス中断は長期に及ぶ．

3. 多ルート化装置で実現できるネットワーク

多ルート化装置では，CDC機能により3方路以上の伝送路と接続してメッシュ構成*9を構築することが可能となり，パッケージ実装や配線変更を伴わず光信号を任意の伝送路で出力することができる．メッシュ構成における信号の流れを**図3**(a)，(b)に示す．このように，複数の伝送路障害が発生しても，障害が発生していない伝送路を使用してサービスを継続することが可能である．

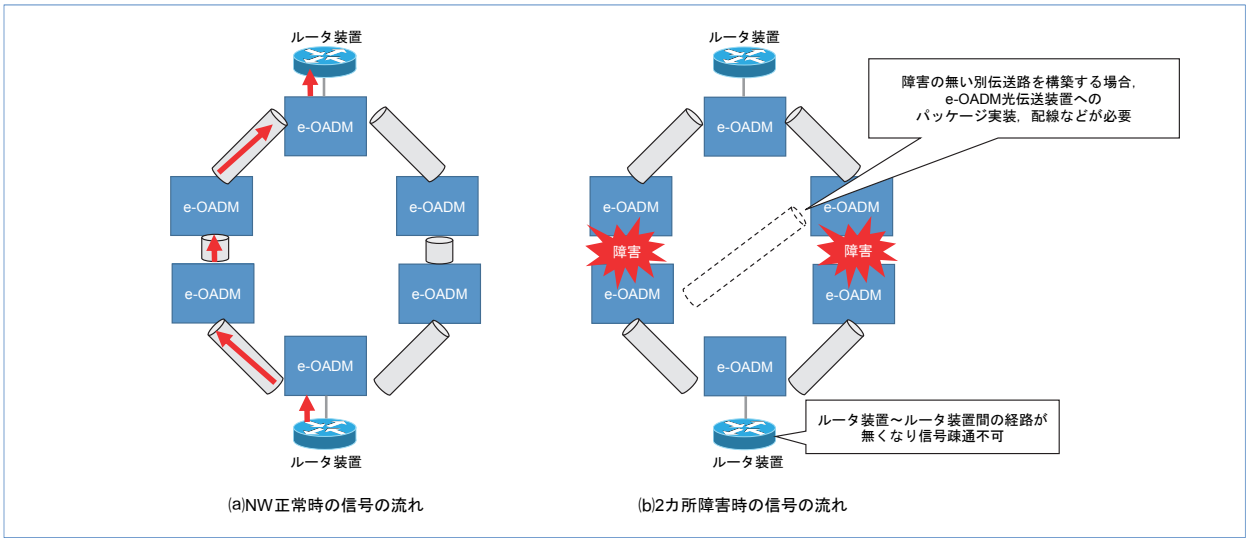

図2　リング構成における信号経路例

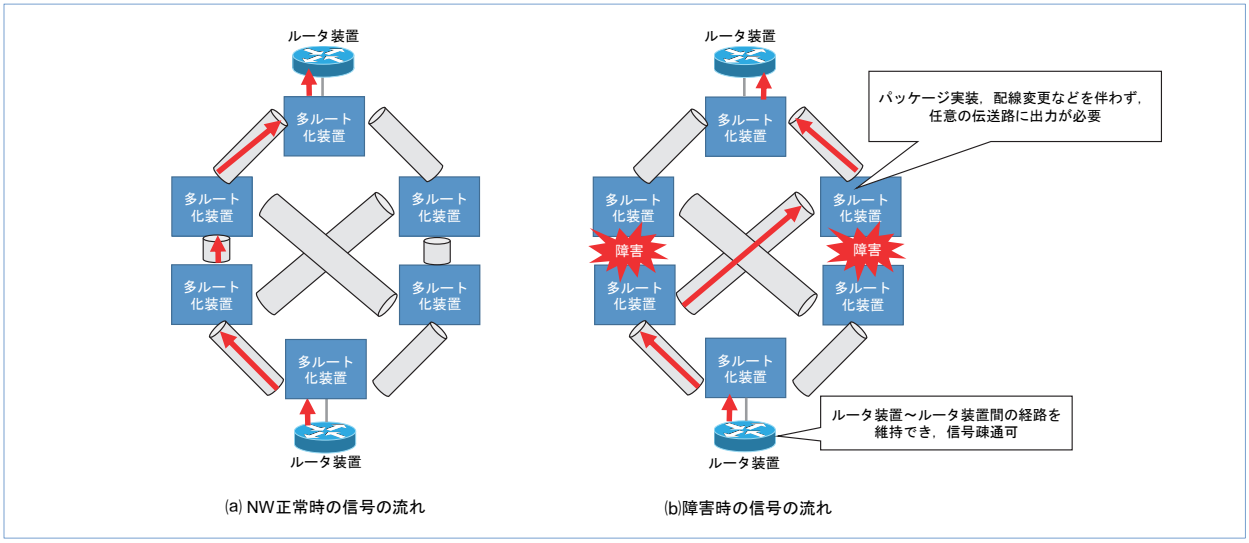

図3　メッシュ構成における信号経路例

*9　メッシュ構成：ネットワークのトポロジ構成の1つ．複数の光伝送装置同士が網の目のように相互に接続されている．

3.1 多ルート化装置の構成

多ルート化装置の各機能部およびCDC機能イメージを**図4**に示す．多ルート化装置では，TPND，MCS（MultiCast Switch），WSS（Wavelength Selective Switch）[2]，アンプを組み合わせて構成される．TPNDおよびアンプはe-OADM光伝送装置と同様の機能を有する．MCSは，TPND側およびWSS側から入力される光信号を任意のポートに出力する$N \times M$スイッチ機能を有する．WSSは，伝送路側から入力されたWDM信号を分波する分波機能部，分波した光信号を任意のポートに出力するスイッチ機能部，TPND側から入力された光信号を多重する多重機能部で構成される．MCSとWSSの要素を組み合わせることで，CDC機能を実現し，最大M方路の伝送路を確立して冗長性を確保することができる．

3.2 CDC機能概要

CDC機能は，Colorless機能，Directionless機能，Contentionless機能の頭文字を取った略称で，各機能を組み合わせることで，光信号を任意の波長・伝送路に出力することが可能になり，効率的なネットワークの運用が可能となる．

⑴Colorless機能

Colorless機能は，多重機能部・分波機能部の各ポートに対して任意の波長を割り当てできる機能である．Colorless機能が無い装置において，多重機能部・分波機能部の各ポートは，入力可能な波長が固定されていた．そのため，波長の変更が必要な場合は現地でのポート接続替えなどの作業が必要と

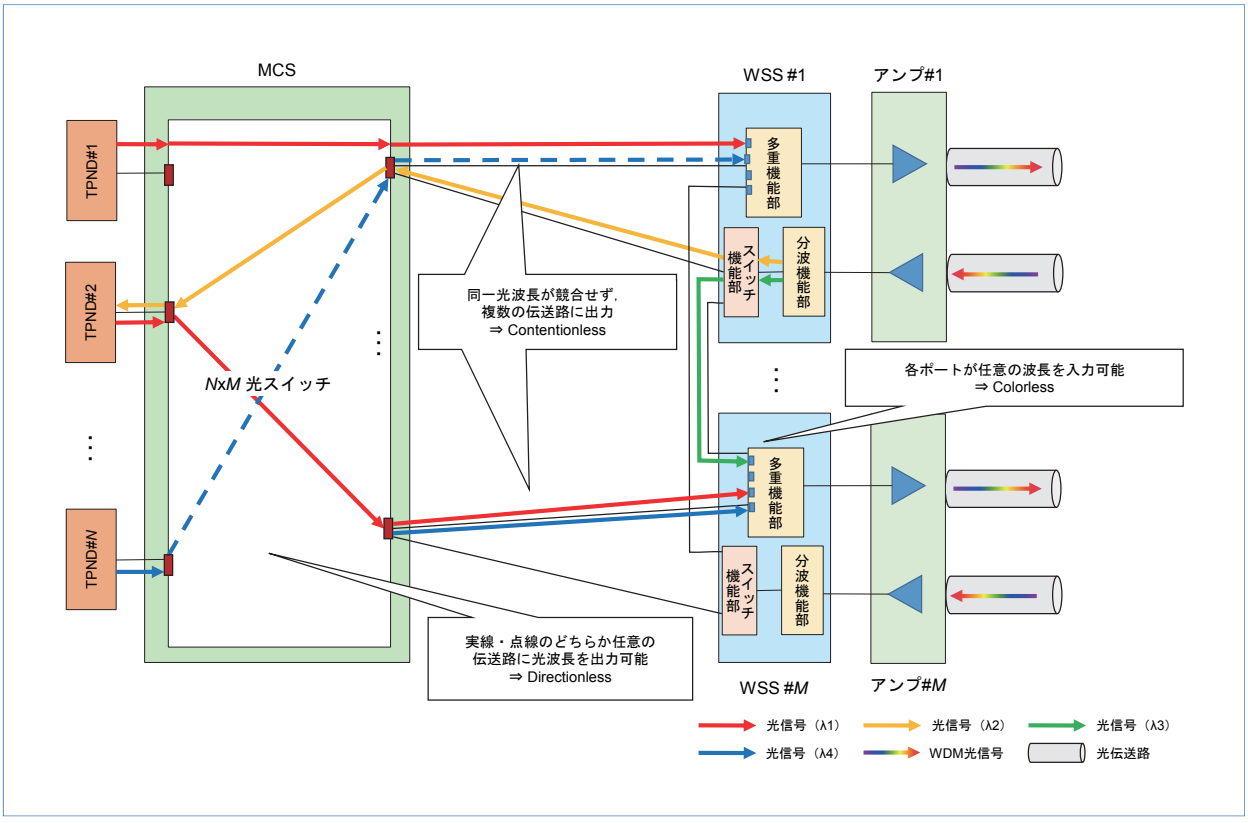

図4　多ルート化装置の各機能部およびCDC機能イメージ

なっていた．一方，Colorless機能を実装した装置では，多重機能部，分波機能部の各ポートが任意の波長で入出力可能になる．それにより，波長変更が必要な場合でも現地のポート接続替えが必要なくなり，装置の設定変更のみで対応可能となる．

⑵Directionless機能

Directionless機能は，特定の波長の光信号を任意の伝送路に出力することができる機能である．Directionless機能が無い装置において，特定の波長の光信号の出力先は1つの伝送路に固定されている．そのため，出力先伝送路を切り替えたい場合でも，現地でのポート接続替えなどの作業が必要となる．一方，Directionless機能を実装した装置では，MCSやWSSの光スイッチ機能を活用することで，任意の伝送路に光信号の出力が可能となる．そのため，出力先伝送路の切替えは装置の設定変更のみで対応可能となる．

⑶Contentionless機能

Contentionless機能は，Colorless/Directionless機能を具備した装置において，装置内で同一光波長が競合せずに複数の伝送路に出力される機能である．これにより，効率的に障害時の伝送路切替えが可能となる．

3.3　伝送路が正常な時の信号の流れ

多ルート化装置を組み合わせてメッシュ構成の光伝送路を構築した際の光信号の経路を**図5**に示す．多ルート化装置#A（以下，#A）のTPND#A2から#CのTPND#C1に向かう光信号は，MCS#AによってWSS#A2に送信され，それが接続する光伝送路

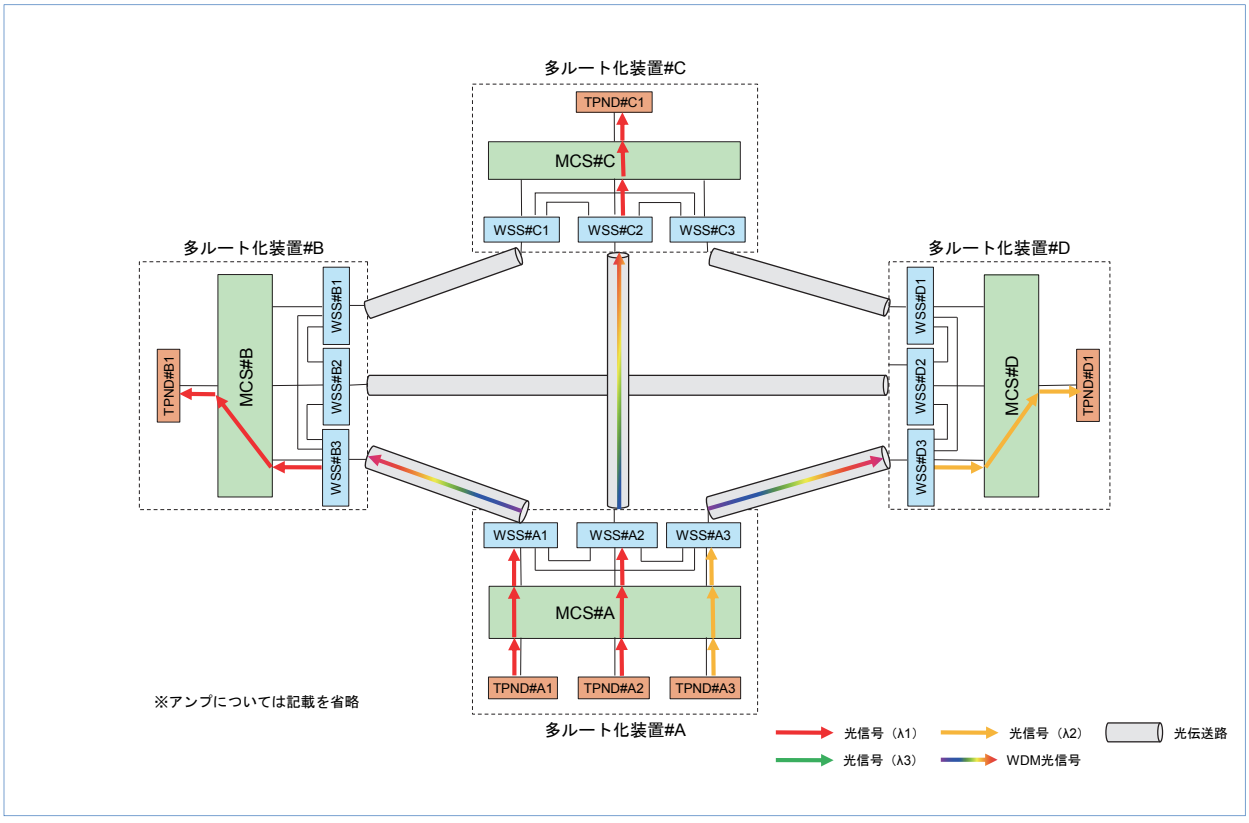

図5　多ルート化装置4台メッシュ構成での信号経路例

に出力される．その後，WSS#C2が光信号を受信し，MCS#Cを通してTPND#C1に送られる．

TPND#A2の光信号と同様に，TPND#A1，TPND#A3から送信される光信号も，MCS#Aにより任意の方路の伝送路に出力される．このとき，Contentionless機能によって，光信号λ1が競合することなく，複数の伝送路に送出されている．

3.4 伝送路に障害が発生した時の信号の流れ

⑴#A～#C間の光伝送路障害発生時

図5で示した多ルート化装置4台のメッシュ構成において，#A～#C間の光伝送路障害が発生した時の信号経路を**図6**に示す．

#A～#C間を経由していたTPND#A2の光信号（λ1）は，MCS#Aによって，送信先をWSS#A2からWSS#A3に切り替え，TPND#A3の光信号（λ2）と多重されて#D向けの伝送路へ出力される．#Dに到達後，TPND#A2の光信号はWSS#D3にて分波され，WSS#D1方向へスイッチし，#C向けの伝送路に出力される．#Cに到達後，WSS#C3にてMCS#C方向へスイッチされTPND#C1に到達する．このようにして，#A～#C間の光伝送路障害が発生しても別の経路を迂回して，目的のTPNDに到達することができる．このとき，TPND#A2の光信号は，Directionless機能により現地でのポート接続替えなどの作業をすることなく，#Dを経由して#Cへ経路切替えを行う．

⑵#A～#C間，#A～#D間の光伝送路障害発生時

図6の状態から，#A～#D間の光伝送路にも障害が発生した時の信号経路を**図7**に示す．TPND#A2

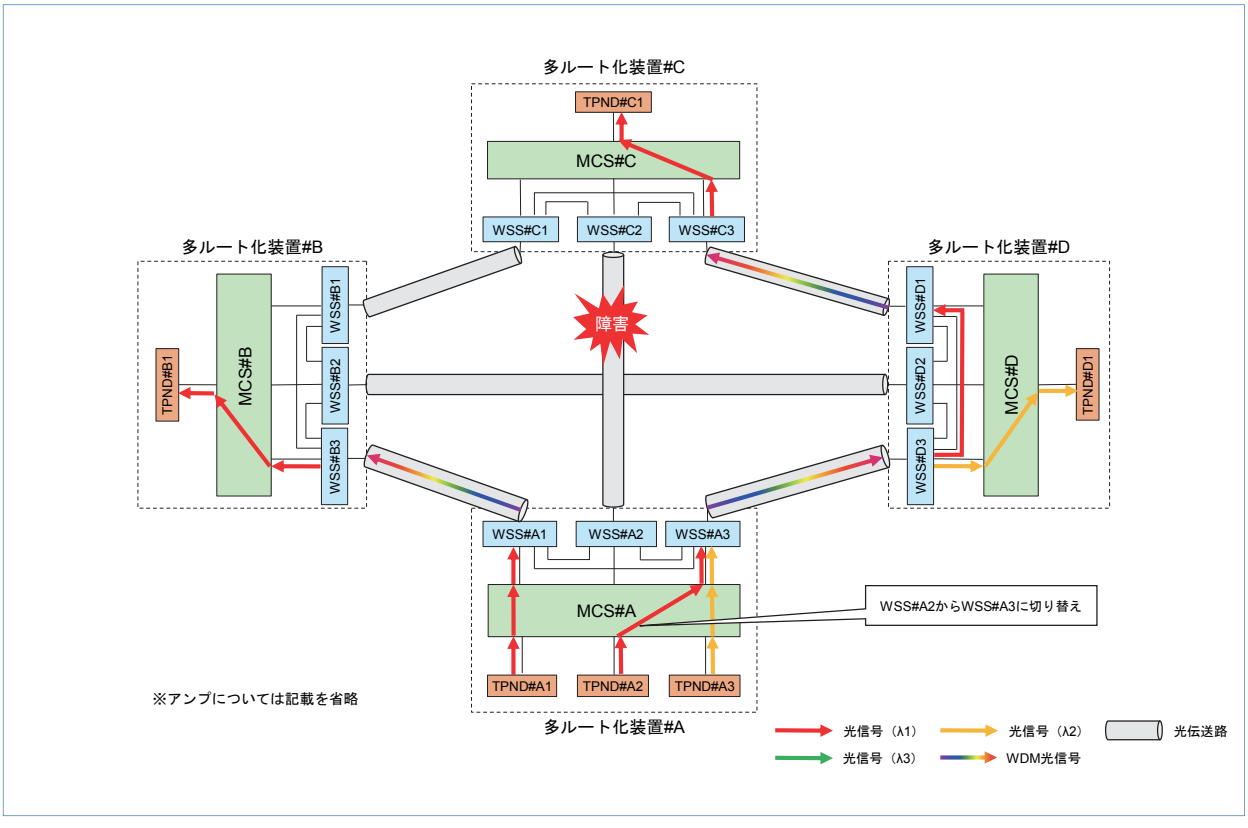

図6　#A～#C間伝送路障害時の信号経路例

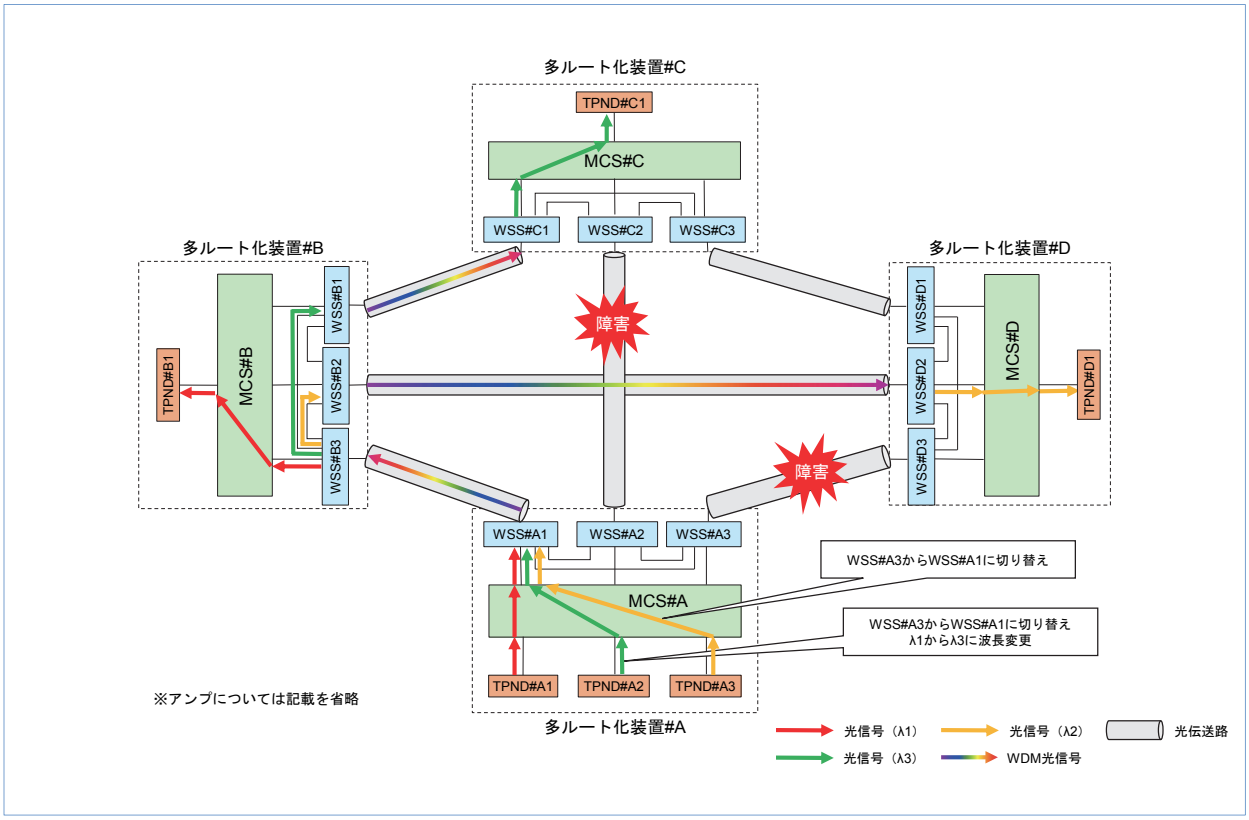

図7　#A～#C間，#A～#D間伝送路障害時の信号経路例

は，障害の発生していない#B向けの伝送路から光信号を出力するため，TPND#A1と重複しない波長（λ3）に変更し，MCS#AによってWSS#A3からWSS#A1に伝送路を切り替え，他波長と多重されて#B向けの伝送路に光信号を出力する．#Bに到達後，TPND#A2の光信号はWSS#B3で分波され，WSS#B1へスイッチし，#C向けの光伝送路に出力される．#Cに到達後，WSS#C1で，MCS#C方向へスイッチされTPND#C1に到達する．またTPND#A3の光信号も同様に，MCS#Aにより#B経由に伝送路を切り替えることで#Dに到達することができる．このようにして，2方路の伝送路で障害が起きた場合でも正常な伝送路へ切替えを行うことが可能である．また多ルート化装置では，切替先の経路に同じ波長が存在した場合は，Colorless機能により重複しない波長へ変更できる．

4. あとがき

本稿では，多ルート化装置およびその要素技術であるCDCの概要を解説した．

これまで述べてきたように，CDC技術を用いた多ルート化装置により，複数の経路に迂回することが可能になり，災害時もサービス中断時間を大幅に短縮し，つながり続ける光伝送ネットワークを構築することができる．

今後は5Gへの対応として，基幹網のトラフィックを束ねる支社間伝送路における大容量化，すなわち波長あたり100G超（Beyond100G）の実現が求められる．またeHealth，自動運転などのさまざまな

アプリケーションを転送することを考慮した場合の低遅延化の実現に向け設置場所をなるべく問わないノード構成のための超低消費電力化，さらには大容量化に伴う波長数増に対応した波長の可視化を実現するため，コントローラとの連携といったことも検討していきたい．

文　献

［1］ 大石，ほか：“小型化と低消費電力化を実現する光伝送装置の開発，”本誌，Vol.17，No.1，pp.14-18，Apr. 2009.

［2］ 坂巻 陽平，河合 武司，福徳 光師：“より柔軟な光ノードを実現する光スイッチ技術，”NTT技術ジャーナル，Vol.25，No.11，pp.16-20，Nov. 2013.