

## 光クロスコネクトを用いる陸上・海底 統合ネットワークテストベッド試験

大谷 朋広 林 通秋 鈴木正敏 山本 周† 戸田 信一‡

株式会社 KDDI 研究所

〒356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15

†KDDI 米国研究所    ‡KDDI 海底ケーブルシステム

E-mail: otani@kddilabs.jp

**あらまし** 光クロスコネクト装置(OXC)を介して陸上、海底ネットワークをメッシュ接続し、都市の POP (Point of Presence) 間でクライアント信号を直接伝送する City-to-City 型の統合ネットワークが提案されている。本報告では、この統合アーキテクチャに基づき設計された陸上・海底統合ネットワークテストベッド試験結果について述べる。テストベッド試験は、OXC を基本とした 5 ノード、ファイバ総長約 10,000 km から構成されており、各区間に OC-192 信号 4 波長が収容されている。SONET/SDH アナライザ及び SDTV と HDTV 映像のクライアント信号に対して、OXC を用いた波長パスプロビジョニング、プロテクション機能などが良好に実現できることを確認した。また、Submarine-line terminating equipment (S-LTE) の FEC 機能を用いたパフォーマンスモニタと OXC の協調動作により、品質劣化に対してもクライアント信号のプロテクション機能が達成可能であることを示した。本テストベッド試験により、OXC を介した陸上・海底システムの効率的な統合が可能であることが確認された。

**キーワード** 光クロスコネクト装置、陸上ネットワーク、海底ネットワーク、誤り率訂正

### Integrated terrestrial and submarine cable network test bed using optical cross-connect equipment

Tomohiro Otani, Michiaki Hayashi, Masatoshi Suzuki, Shu Yamamoto † and Nobukazu Toda ‡

KDDI R&D Laboratories, Inc.

2-1-15 Ohara Kamifukuoka, Saitama, 356-8502 Japan

† KDDI Labs. America, ‡ KDDI Submarine Cable System Inc.

E-mail: otani@kddilabs.jp

**Abstract** An integrated terrestrial and submarine network is proposed so far, so that a client signal is directly transported using optical cross-connect equipment (OXC) between points of presence without glooming at landing stations. In this paper, the architecture of the integrated terrestrial and submarine network was investigated and the test bed based on this concept was experimentally demonstrated. Various test items were successfully conducted such as path provisioning, path protection and so forth for SONET/SDH analyzer client signals as well as SDTV and HDTV video signals. In addition, the protection switching initiated by the performance monitoring in submarine-line terminating equipment (S-LTE) was also firstly demonstrated. These network test bed evaluation results provided the confidence to introduce this new network architecture.

**Key words** Optical cross connect (OXC), terrestrial network, submarine network and forward error correction (FEC).

## 1. はじめに

陸上ケーブルネットワークと海底ケーブルネットワークは、現在まで SONET/SDH 伝送レートの TDM レベルでの接続が主体であり、またネットワークの構築、運用はそれぞれ独立に行われてきた。しかしながら、各種のデータ通信需要の増加により、以前と比してインターフェースが高速化、多様化したクライアント装置からの接続や、波長接続サービスなどの要求が増えつつあり、従来の構築、運用方式では End-to-end で迅速に対応することが困難になると予想される。このような場合には、クライアント信号に対して、海底陸揚げ局にて電気グルーミングを行わずに、光クロスコネクタ装置(OXC)を介して陸上・海底ネットワークをメッシュ接続し、都市の POP (Point of Presence)間を直接伝送する City-to-City 型ネットワークが効率的と考えられる [1-3]。従来のネットワーク構築および運用方法と比較して、統合ネットワークの導入により、サバイバビリティに優れ、クライアント信号を End-to-end で効率的に収容可能なネットワークが構築可能になると期待される。今回、この陸上・海底統合ネットワークアーキテクチャに基づきテストベッド実験を行い、良好な結果を得たので報告する。

## 2. ネットワークアーキテクチャ

まず、今回構築したネットワークテストベッドの構成概略を図1に示す。本テストベッドは、東京、大阪、シアトル、ロス、ニューヨークなどの大都市を想定した5ノードより構

成される。5ノードのうち、4ノードを海底陸揚げ局(A～D)、1ノードを陸上局(E)とみなした。

海底区間を構成するために、擬似線路、簡易中継器を用いて、6,600 km (A-C)、2,000 km (B-D)、250 km (A-B)、250 km (C-D)のラインテストベッドを構築した。また、陸上区間(C-E、D-E)を50 kmのファイバで接続した。それぞれの区間で、OC-192信号の4波長パス(C-E区間はOC-48が1波長)を設定した。各光波長パスは、各ノードにて海底用 Line Terminating Equipment (S-LTE)もしくは陸上用LTEにて終端した。終端された信号はOXCを介して、クライアント装置および他の区間のS-LTEもしくはLTEと接続される。

今回用いたOXCは、256×256の3次元Micro-electro mechanical system (MEMS)の大規模光スイッチ[4]から構成されている。更に、本光スイッチは内部的に冗長化されているため、OXC装置の高信頼性が実現されている。

## 3. クライアント装置

クライアント信号としては、図2に示すようにSONET/SDHアナライザ、並びにアプリケーション装置を用いた。アプリケーション装置としては、画像伝送装置を用い、IPルータを介してネットワークテストベッドへ接続した。

SONET/SDHアナライザに対して、ノードA-C間、及びA-E間に光波長パスを設定した。画像信号伝送用光波長パスは、ノードA-E間直結ルート及びA-C-E間でノ

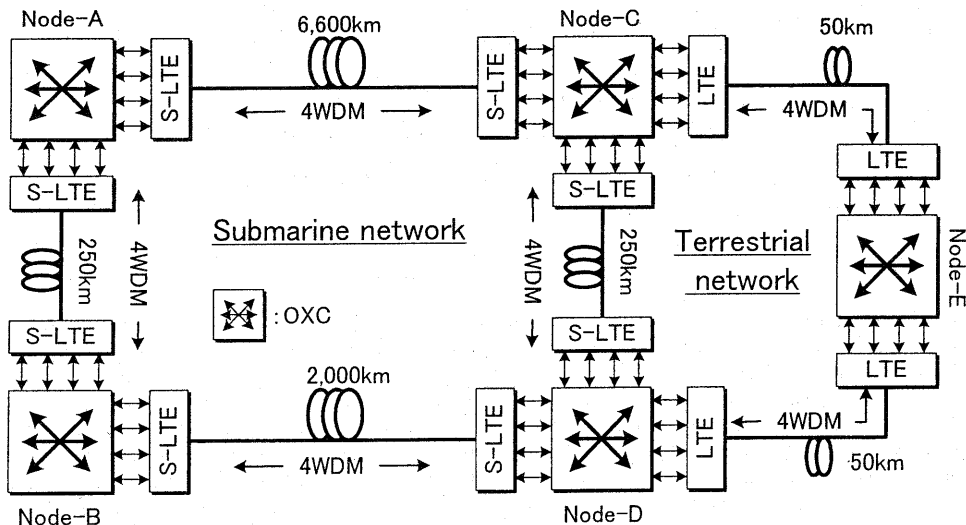


図1 陸上・海底統合ネットワークテストベッド構成概略

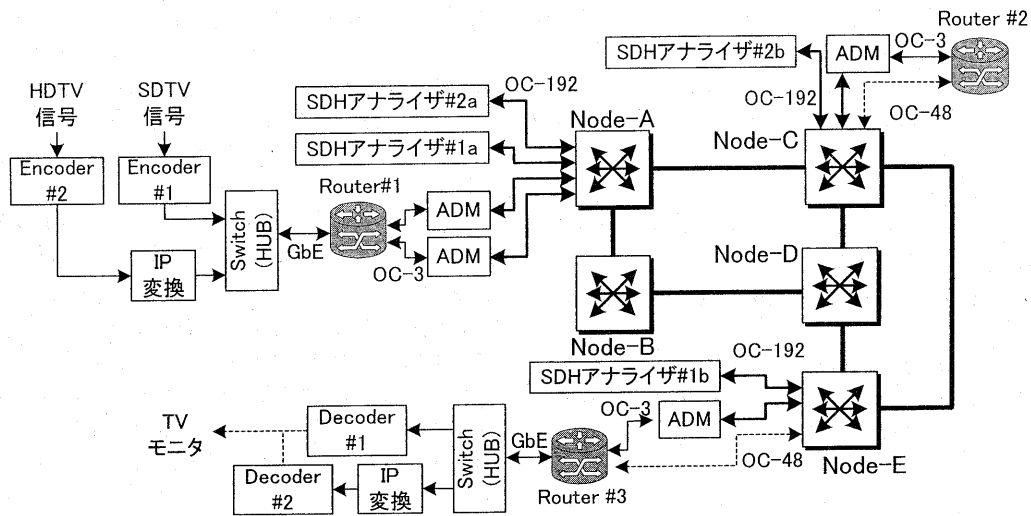


図2 クライアント装置構成図

ードCを経由するルート(ルータも経由する)に設定した。

画像伝送に関しては、まず High Definition TV (HDTV)、Standard definition TV (SDTV)信号をEncode後、IPパケット化した。次に、IPルータにてOC-3 POS信号に変換後、ADM装置にてOC-192信号とし、ネットワークテストベッド内を伝送した。伝送後の信号は、ADM装置にてOC-3信号へ分離され、ルータにてIPパケットへ復元した。最後に、Decode後にテレビモニターで受信した。また、図2には示されていないが、HDTV信号の伝送方式として、Encode後にTransport Stream (TS)/OC-3変換し、ADM装置にてOC-192へ多重しネットワークテストベッド内を伝送した後、ADM装置にてOC-3信号へ分離し、OC-3/TS変換、Decodeする方式も併せて実施した。

#### 4. ネットワーク試験

##### 4.1 OXC動作

まず、OXCのNetwork Management System (NMS)を用いて、

- パスプロビジョニング(片方向、両方向)
- パス属性(予備パスあり、なしなど)
- 障害時の切り替え動作(プロテクション動作)
- 現用パスから予備パスへの強制切り替え及びその逆

などのOXC機能の実現を確認した。波長パス設定の確

認には、SONET/SDHアナライザを用いた。パスプロビジョニングは、ポイント&クリックにより10秒程度で設定可能であった。

次に、プロテクション動作の評価を行った。伝送路中に挿入した光減衰器により、各区間に模擬的に伝送路障害を発生させた。障害の発生により、まずS-LTEもしくはLTEにおいてOXC側光インターフェースが遮断された。次に、OXCにてその遮断が検出され、迂回経路へのパスへの切り替えが行われた。切り替え後にSONET/SDH信号が、再び良好に伝送されることを確認した。本テストベッド試験では、5台のOXCを1台のOXCで模擬するためのトランスレータを用いているため、その内部のソフトウェア処理に時間がかかり、実際のOXCの切り替え時間スペック(~100ms)を満足することが出来ていない(数秒から数十秒)。切り替え時間スペックは、5台のOXCを用いれば達成可能であると考えている。

その他、カード障害に対する切り替え評価を実施し、OXC及びS-LTE各装置のカード障害時(電源断など)にも、良好にプロテクション動作が行われることを確認した。

##### 4.2 クライアント信号伝送評価

クライアント信号を伝送するために、Node A⇔E、Node A⇔C、Node C⇔Eなどに光波長パスをプロビジョニングし、ルータ#1、#3を直接接続するクライアント信号

経路と、ルータ#2 を経由するクライアント信号経路を設定した。SONET/SDH アナライザ信号のエラーフリー伝送並びに HDTV、SDTV 画像信号の良好な伝送特性を得た。また、4.1 項と同様に、Node A-C 間の伝送路中に挿入した光減衰器により模擬的に伝送路障害を発生させたところ、迂回プロテクションパスへの切り替えが行われ、映像信号をはじめとするクライアント信号が再び良好に伝送されることを確認した。

#### 4.3 FEC のパフォーマンスモニタによる OXC の切り替え試験

以上の切り替え評価は、図3(a)に示すように、伝送路障害を S-LTE もしくは LTE が検出後に OXC 側光インターフェースを遮断し、OXC がその光信号断(Loss of

light: LOL)を検出することに基づいて実施していた。このように、OXC は、主信号ビットレートやプロトコルに依存しない透明性を有している反面、切り替えトリガーとして光パワー(LOL)に基づく伝送路監視を行っているため、図3(b)に示すような品質劣化に基づく切り替え動作が課題であった。

S-LTE は、Forward error correction (FEC) 機能[5, 6] が実装されており、誤り訂正時にエラーカウントを行うことができるため、品質モニタ機能を有していることになる。図4に示すように、S-LTE 内の Decoder 回路において、誤り訂正数による品質モニタを定期的に行う。次に、品質劣化が発生し伝送品質が予め設定した閾値を越えた場合に OXC 側へ送出する信号を遮断するように制御すれば、OXC への切り替えトリガーとすることができる。こ

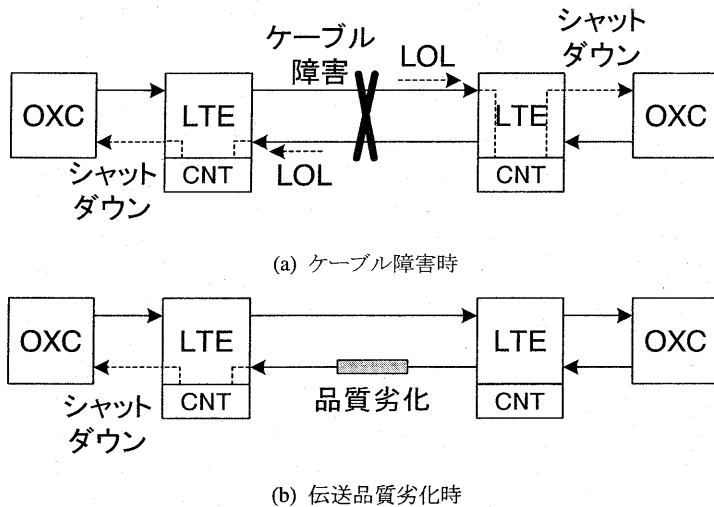


図3 S-LTE の OXC 側光インターフェースの動作(CNT: コントローラ)

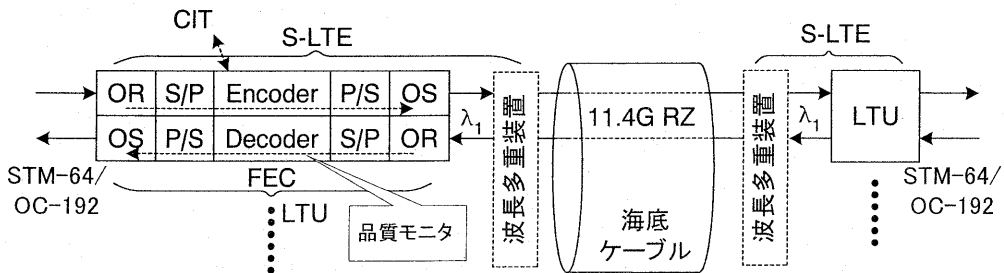


図4 FEC 回路をパフォーマンスモニタに用いた S-LTE 構成(OS:光送信器、OR:光受信器、S/P, P/S:シリアル・パラレル変換回路、LTU: Line terminating unit)

れにより、光パワーレベルに基づいて切り替えを行う OXC に対して、データ品質に基づくプロテクション機能を付加可能となる[7, 8]。なお、この閾値は S-LTE の Craft interface terminal (CIT)より任意に設定される。

S-LTE の信号遮断応答の一例として、図3の動作とは異なるが、伝送路側の光インターフェースを折り返した図5(a)の構成にて S-LTE の応答時間を評価した。まず、

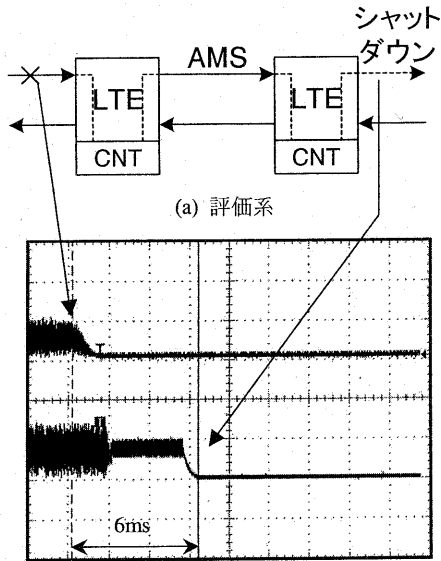


図5 S-LTE 応答時間評価結果

S-LTE への入力信号(OXC 側)を遮断することにより、伝送路警報を発生し(Alternated maintenance signal: AMS)、OXC 側送信信号が遮断されるまでの応答を評価した。図5(b)に示すように 6msec 程度の高速応答が可能であることが確認された。

次に、図6に示すようにネットワークテストベッドの一部を用いて切り替え評価を実施した。OXC のプロビジョニングにより、Node A-D 間に現用パス、Node A-B-C-D 間にバックアップパスを設定した。6,600 km 区間に光減衰器の減衰量を増加させ、伝送品質(Bit error ratio: BER)を意図的に劣化させた。Node D の S-LTE に切り替え閾値を設定し、S-LTE により切り替えトリガ(シャットダウン)を発生させた。BER 劣化が閾値を超えた場合、伝送端局からの信号がシャットダウンし、これを検出した OXC により波長パスのプロテクションが良好に行われることを確認した。

更に、OXC が切り替えを行う時点での波長パス品質を SDH アナライザで計測した。閾値設定が  $1 \times 10^{-3}$  及び  $3 \times 10^{-3}$  の時は、切り替え後も波長パスの安定した品質が得られた。しかしながら、 $5 \times 10^{-3}$  とした場合は、切り替え実施時点で大きな品質劣化と変動が発生することが明らかとなった。これは、閾値を FEC の訂正限界に近い領域に設定したこと、及びパフォーマンスモニタのサンプリング周期が 1 秒と長く( $1 \times 10^{10}$  に相当)、その間に品質が FEC 訂正限界以上に変動してしまったことが原因と考えられる。この結果から、閾値としては FEC 訂正限界よりもある程度品質の良い値に設定するか、パフォーマンスモニタのサンプリング周期を短くする必要があること

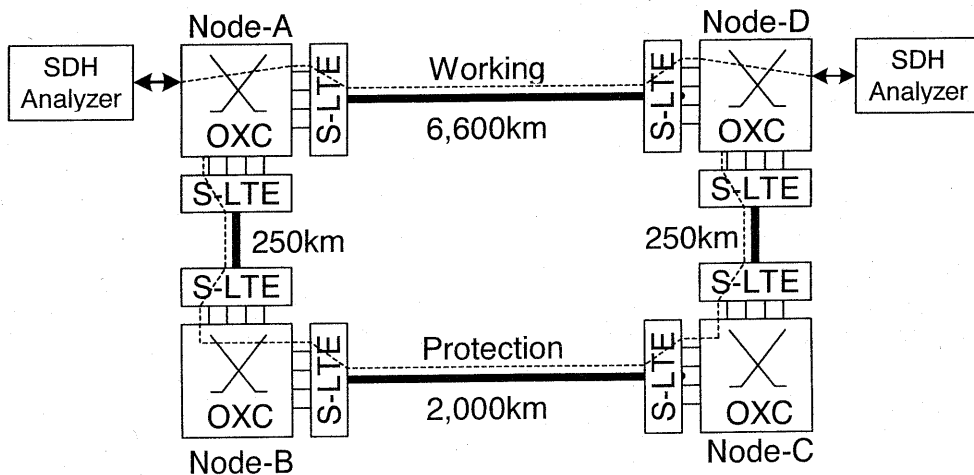


図6 品質モニタによる切り替え実験系

が分った。

昨今、Internet Engineering Task Force (IETF)、Optical internetworking forum (OIF)などの標準化団体において、OXC と伝送端局との標準的な Optical Line Interface (OLI) [9]として、LMP-WDM [10]をはじめとするプロトコルの策定が進められている。今回評価した S-LTE のシャットダウンによる切り替えトリガーの発出だけでなく、OLI の標準化とともに、よりインテリジェントな OXC と伝送端局のインターワーキングが期待される。

## 5. まとめ

陸上・海底統合ネットワークのコンセプトに基づき構築したネットワークテストベッドの評価結果について述べた。ネットワークテストベッドは 5 ノードから構成され、大規模ネットワークを指向して各ノード間の伝送路総長は約 10,000 km とした。各ノードは、OXC を基本とした構成となっており、それぞれの区間に OC-192 信号の 4 波長パスを收容した。SONET/SDH アナライザ及び SDTV と HDTV 映像のクライアント信号を用いて、OXC により波長パスプロビジョニング、プロテクション機能などが良好に実現されることを確認した。また、端局の FEC 機能を用いたパフォーマンスモニタと OXC の協調動作により、品質劣化に対してもクライアント信号のプロテクションが可能であることを示した。本テストベッド試験により、OXC を介した陸上・海底システムが End-to-end で効率的に統合可能であることが確認された。

今後のマルチベンダ環境のフレキシブルなネットワーク構成を考慮すると、各装置の Generalized multiprotocol label switching (GMPLS)や User-Network Interface (UNI)などの標準化への対応が必要である。また、このようなインテリジェント光ネットワークが拡大していくことを考えると、異なる光ドメイン間を接続する Network-Network Interface (NNI)に関する標準化[11, 12]への対応も必要である。

## 謝辞

日頃からご指導いただく株式会社 KDDI 研究所浅見所長、松島副所長、KDDI 海底ケーブルシステム株式会社の秋葉副社長、山本専務に感謝いたします。共同実験に協力頂いたルーセントテクノロジーの L. A. Baxter 氏、K. Raychaudhuri 氏に感謝いたします。

## 文 献

[1] S. Yamamoto N. Toda, L. Baxter and K. Raychaudhuri, "Next

generation submarine networks integrating terrestrial systems", Suboptic 2001, T3.5.4, pp301-304, 2001.

- [2] 大谷、林、鈴木、武田、山本、戸田、宮崎、L. Baxter、K. Raychaudhuri、「陸上海底統合光ネットワークテストベッド実験」、2001 年電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-10-111、2001。
- [3] R. Lingampalli and L. Ceuppens, "Roll of all-optical switching in submarine cable networks", in Suboptic 2001, P4.2.2, 2001.
- [4] D. T. Neilson, et al, "Fully provisioned 112 x 112 micro-mechanical optical crossconnect with 35.8Tb/s demonstrated capacity", OFC2000, PD12, 2000.
- [5] W. C. Barnett H. Takahira, J. C. Baroni and Y. Ogi, "The TPC-5 cable network", IEEE communications magazine, pp. 36-40, Feb., 1996.
- [6] H. Taga, H. Yamaguchi, T. Inoue, K. Goto, N. Edagawa and M. Suzuki, "Performance improvement of highly nonlinear long-distance optical fiber transmission system using novel high gain forward error correcting code", OFC2001, TuF3-1, 2001.
- [7] 林、大谷、鈴木、宮崎、安田、山本、K. Raychaudhuri、「伝送端局の品質モニタ機能を用いた光クロスコネクタ装置の切替え実験」、2001 年電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-10-108、2001。
- [8] Tomohiro Otani, Michiaki Hayashi, Shu Yamamoto, Masatoshi Suzuki, Nobukazu Toda and Kamal Raychaudhuri, "PXC protection switching triggered by performance monitoring with FEC for submarine cable networks", OFC2002 にて発表予定。
- [9] <http://search.ietf.org/internet-drafts/draft-many-oli-reqts-00.txt>
- [10] <http://search.ietf.org/internet-drafts/draft-fredette-lmp-wdm-03.txt>
- [11] OIF document of 2001.513, "Carrier Services Requirements section of the NNI study document"
- [12] <http://search.ietf.org/draft-ietf-ipo-carrier-requirements-00.txt>