

## 3-3 JGNIIを用いたリconfigurable光パケット ADM 実験

### 3-3 Reconfigurable Optical Packet ADM Experiment using JGNII Network Testbed

和田尚也 片岡伸元 曾根恭介 青木泰彦 宮田英之  
尾中 寛 久保田文人 北山研一

WADA Naoya, KATAOKA Nobuyuki, SONE Kyousuke, AOKI Yasuhiko,  
MIYATA Hideyuki, ONAKA Hiroshi, KUBOTA Fumito, and KITAYAMA Kenichi

#### 要旨

再構成可能な光分岐挿入多重化装置 (ROADM) は、波長パスを介して可変で動的なノード間接続を可能とする、メトロリングネットワークのノードにおいて重要な構成要素である。我々はこれまでに波長可変なフィルタと光パケット ADM (PADM) を組み合わせた可変データ粒度 ROADM ノードを提案している。本論文では、新たに開発したアドレス再構成可能な光符号 (OC) ラベルとペイロードの同時生成技法を利用した、波長選択・パケット選択スイッチを持つ可変データ粒度 ROADM ネットワークを提案し、JGNII を利用した初のフィールド試験について述べる。10Gbps での 90km を超える伝送実験において、16 波長チャンネルすべてで  $10^{-12}$  以下のビット誤り率 (BER) を達成した。

Reconfigurable optical add/drop multiplexer (ROADM), which enables dynamic and flexible node-to-node connection via wavelength path, is a key building block in metro ring network nodes. We have proposed and demonstrated a data-granularity-flexible ROADM node that combines a wavelength-tunable filter and an optical packet ADM (PADM). In this report, we demonstrate the first field trial of the data-granularity-flexible ROADM network with wavelength- and packet-selective switch at JGNII test-bed. In this demonstration, PADM based on a novel concurrent generation technique of address-reconfigurable optical code (OC) label and payload is proposed and used. Bit error rate (BER) of less than  $10^{-12}$  for all 16-wavelength channels are obtained over 90 km transmission at 10 Gbps.

#### [キーワード]

SONET, 波長分割多重, 光符号ラベル, 光相関, 光処理, 光分岐挿入多重化装置, 光パケット伝送  
SONET, Wavelength division multiplexing, Optical-code label, Optical correlation,  
Optical processing, Optical add/drop multiplexer, Optical packet transmission

## 1 はじめに

近年、多数のサービスプロバイダが幅広いサービスをユーザに提供しており、データトラフィック量が急速に増えている。そのため近い将来、トラフィックの様々な要求を満足するネットワークが必要となると予測されている。そこではデータ粒度の変化を伴うサービスを含むことになる。例えば、サービスの種類がコンテンツ配信か、ユー

ティリティ計算か、記憶かにより、粒度が変化することになる。光リングネットワークにおいて光分岐挿入多重化装置 (ROADM) は重要な機能であり [1]、高速の音響光学波長可変フィルタ (AOTF) を利用した、再構成可能な ROADM (ROADM) が最近実現されている [2]。これにより、波長パスを介して可変で動的なノード間接続が可能になる。しかし、ROADM は波長パスにだけ対応し、細かなデータ粒度を持つパケットの分岐挿入多重化は

サポートしていない。光パケット ADM (PADM) が最近提案され[3]、実験実証されているが[4]、これはパケットのヘッダと最後尾に光符号 (OC) ラベルを付加することで、光領域においてパケットごとの分岐挿入又はパケットごとの通過を可能にするものである。ノードアドレスとルーティング情報は光ラベル上にマッピング可能である。また、ごく最近、AOTF と PADM を組み合わせた可変データ粒度 ROADM ノードが示された[5]。従来の ROADM と比較して、波長利用効率が向上している。

本論文では、最近、JGN II を用いてフィールド実証試験に世界で初めて成功した、敷設ファイバを用いる 16 波長 10Gbps での 90km を超える可変データ粒度 ROADM ネットワーク実証実験の内容を説明する。また、本実証実験ではアドレス再構成可能な、OC ラベル作成の新技法を新たに採用するとともに、符号とペイロードデータの連続的な同時変調を可能にしている。任意長の符号生成が可能であるため、この光ラベル生成技法によりネットワークのスケラビリティ向上が期待される。フィールドに設置されたファイバリンクにおいて、90 km を超えて 16 波長チャネルすべてで、エラーフリー (ビット誤り率  $10^{-12}$  以下) 転送と挿入に成功した。

## 2 可変データ粒度 ROADM ノードの構成

可変データ粒度 ROADM ノードの構成を図 1 に示す。ノードは二つの機能から成り、それは波長チャネルの ADM を行う AOTF と、パケット単位の ADM を行う PADM である。ROADM ノードは複数の AOTF と PADM、一つの波長阻止フィルタ、複数の光カップラから構成される。波長パス制御は各 AOTF により実現される[6]。LiNbO<sub>3</sub> 基板上に集積された光導波路を持つ各 AOTF は、高速スイッチング特性 ( $\sim 10\mu\text{s}$ )、広帯域波長同調 ( $>100\text{nm}$ )、小型、低価格という利点がある。

PADM の動作原理は光符号相関処理に基づいている[7][8]。基本的な構成を図 1 に示す[4]。PADM は OC ラベルセレクタと光スイッチから構成される。各ノードには OC ラベルが重複する

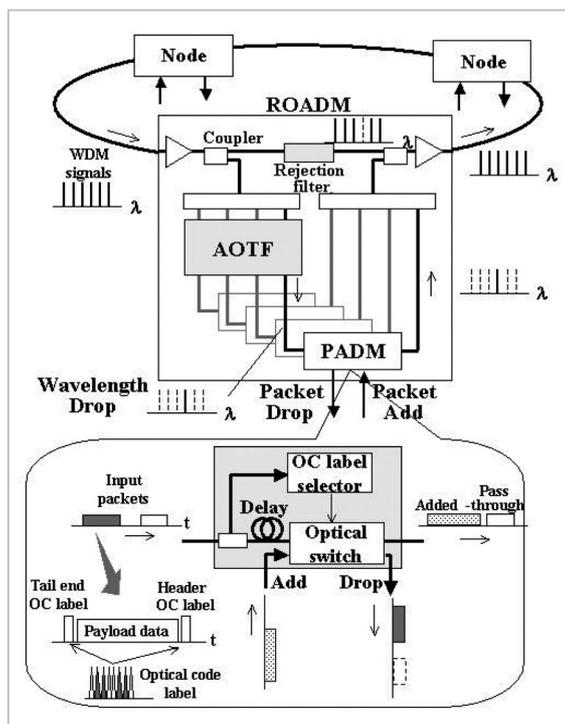


図1 データ粒度可変 ROADM システムの構成

ことなく割り当てられ、各ラベルは光符号にマッピングされ、入出力ポートは単一の WDM リンクに接続されていると仮定する。光パケットの形式も図 1 に示している。光パケットはヘッダと最後尾にある OC ラベルと、ペイロードデータとから構成され、OC ラベルはあて先アドレスの情報を運ぶ。PADM の基本的な機能は、OC ラベルの選択と光スイッチングである。ノードに割り当てられた符号と受信パケットの光バイポーラ符号間の光相関処理に基づいて OC ラベル選択が行われる。OC ラベルセレクタでは、受信パケットの OC 光ヘッダを光処理して制御情報を得て、そのパケットを分岐させるか通過させるかという、光スイッチの状態を制御信号により決定する。分岐の後でスイッチの状態をクロス状態から元のパー状態へリセットするために、光パケット最後尾の OC ラベルを利用する。したがって、本 PADM ではパケットの長さに無関係に光パケットの ADM が行える。使用される受動的光素子中での光速によってのみ処理速度が制限される光復号化処理は、OC ラベル処理の特異な点であり、これにより、ほかの方法と比較して超高速かつ低消費電力のラベル処理が可能となる[9][10]。可変データ粒度 ROADM ノードでは、AOTF により分岐

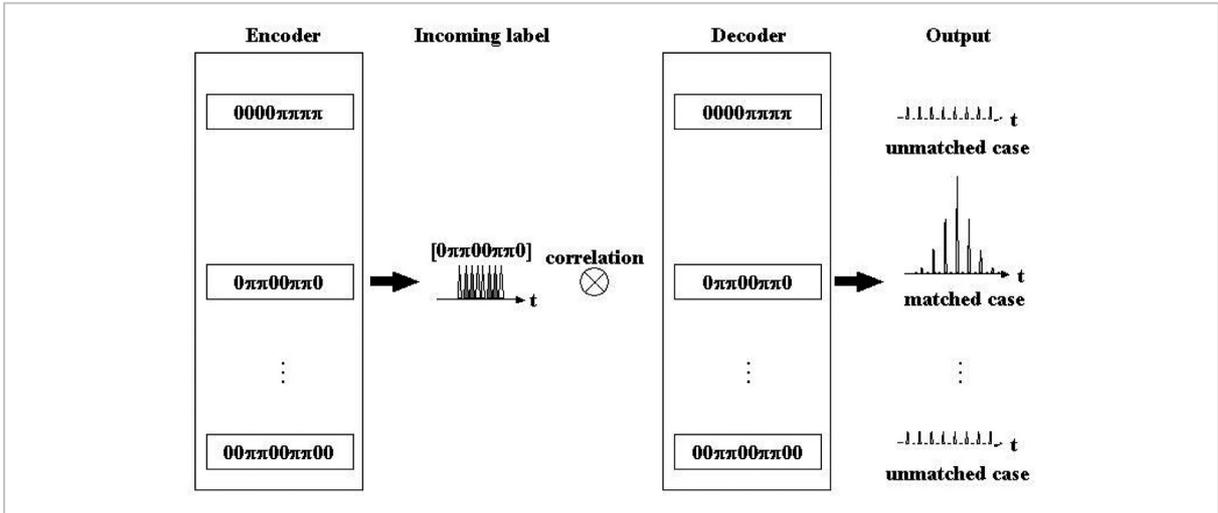


図2 OC ラベル処理における光相関特性

された波長チャンネルは PADM へと送られ、ほかのチャンネルは通過を許可される。阻止フィルタは AOTF で分岐された波長と同一の波長の信号は通過しないように設定される。PADM により、選択した波長に対して光パケットが分岐又は挿入される。AOTF、PADM、阻止フィルタの出力は結合され、伝送回線へと送られる。

### 3 光符号ラベルとペイロードの同時生成技法

#### (1) 動作原理

超高速パケット選択のためには、ペイロードデータの転送とヘッダ処理を光領域で行う必要がある。ここでヘッダ処理には、光ラベル認識と新たな光ラベル生成が含まれる。光ラベル生成において重要なことは、中間ノードでのルーティング表の情報に従い、実時間で要求どおりに光ラベルを自由に変更できるという意味で再構成可能な点である。ヘッダ内の、ルーティング情報がマッピングされる光ラベルとして、波長やサブキャリア、光符号などが最近提案され実施されている[11]-[15]。OC ラベルを使用している PADM において、受信パケットの光ラベルは中間ノードでルーティング表にあるすべてのラベルと比較され、一致したラベルが認識される。

近年、光トランスバーサルフィルタ [16][17] やファイバブラッグ格子 (FBG) [18]、空間光変調器 [19] などの様々な受動的光素子を用いた OC ラベルの

符号化・復号化が提案されている。OC ラベル処理を図 2 に示す。この処理は光相関により実施可能である。符号が一致したビット期間にだけ自己相関ピークが現れ、そのほかはすべて相互相関となる。光復号化器として使用される受動的光素子の伝搬遅延によってのみ、この OC ラベル処理の処理速度が限定されるため、超高速のラベル処理が可能となる。しかし、現在の光トランスバーサルフィルタによる符号化器・復号化器は符号長が 32 までに限られ [20]、小型ではない。一方、FBG 符号化器・復号化器はスケラビリティがよく小型で、これまで最大 511 チップ符号までの実績があるが [21]、符号のチューナビリティが限定されている [22]。さらに、本ノードシステムではネットワークスケラビリティがないため、これらの符号化器・復号化器を利用したノードでは、ラベル数分の多数の光符号化器・復号化器が必要になる。

我々は、図 3(a) に示すように、光強度変調器と光位相変調器を縦列接続した、OC ラベルとペイロードデータの同時生成技法を提案し、実験的にその有効性を示す。この技法では、特別な光符号化器を使用せずに、位相変調で任意長の OC ラベルを再構成可能に生成し、また、同時にペイロードデータの生成を行うことができる。その技術的な簡易性と最大アドレス数の増加という点で、この符号化技法はほかの方法よりも優れている。

#### (2) OC ラベル生成・認識実験

実験における光復号化器としての光トランスバ

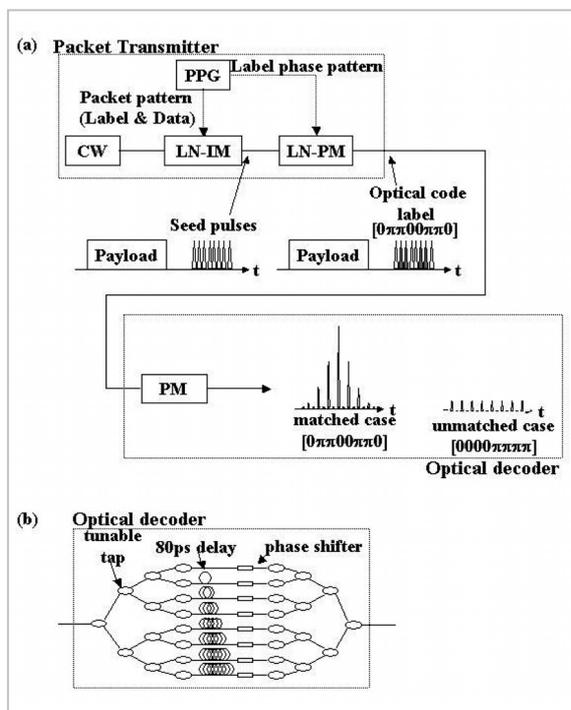


図3 (a) OC ラベル、ペイロードデータ連続生成システム、(b) 全光復号器

一サルフィルタの構成を図 3 (b) に示す。連続波長 (CW) 光源、LiNbO<sub>3</sub> 強度変調器 (LN-IM)、LN 位相変調器 (PM)、パルスパターン生成器 (PPG) から生成器は構成される。この予備実験では簡単のために、データ生成は省き、種パルス列の後でペイロードデータは追加できることとする。LN-IM により、種パルス (半値全幅 40 ピコ秒) 列が 12.5GHz で 8 チップ (640 ピコ秒長分) 生成される。この種パルス列は LN-PM において位相変調され、8 チップバイポーラ位相変調 (BPSK) OC ラベルが生成される。実験において光符号のチップ速度は 12.5 ギガチップ毎秒であるが、このチップ速度とペイロードデータのビット速度が独立に設定できることは大きな特徴である。ここでは位相シフトが  $\pi$  になるように LN-PM のバイアス電圧を正確に設定する。生成された OC ラベルの相関特性を調べるために、トランスバーサルフィルタ型の光復号器を利用する。これは入力信号を 8 分岐するためのタップ群、多数の 80 ピコ秒の遅延線、プログラマブル・バイナリー光位相シフタ、結合器から構成される。これらの部品は平坦な光波回路 (PLC) としてモノリシックに集積されている [23]。入力された OC ラベルの各チップパルスは遅延され、同じ振幅で八つに分かれる。各

チップの光位相が 0 度又は  $\pi$  だけシフトされ、分割されたチップパルスが出力でコヒーレントに結合される。受信した OC ラベルが復号器のラベル (復号器内部の位相組合せ) と一致すると、光復号器からは自己相関波形が出力される。ラベルが不一致の場合には相互相関が生成される。

ラベル・データ生成器の出力波形を図 4 (a) に示す。光ラベルの各チップパルスには 80 ピコ秒の時間間隔がある。符号 0 [00000000] の自己相関計算波形 (上側) と測定波形 (下側) を図 4 (b) の (i) に示す。この場合、種パルスは LN-PM では変調されていない。時間的自己相関波形のピーク間は 80 ピコ秒離れており、これは時間領域での位相符号化の期間に対応する。符号 0 の時間的自己相関波形の理論的な電力分布は (12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 72, 62, 52, 42, 32, 22, 12) である。図 4 (b) の (i) に示すように、時間領域での測定結果は理論的な予測値とよく一致している。符号 1 [0 $\pi\pi$ 00 $\pi\pi$ 0] の自己相関計算波形と測定波形、また相互相関 (符号化器では符号 2 [0000 $\pi\pi\pi\pi$ ] => 復号器では符号 1 [0 $\pi\pi$ 00 $\pi\pi$ 0]) 波形をそれぞれ図 4 (b) の (ii) と (iii) に示す。図示のように、時間領域での測定結果は理論的な予測値とよく合っている。これらの結果から、提案した符号化・復号化技法は十分に光ラベル識別に利用できることが分かる。

## 4 フィールド実証実験

### (1) 実験系

フィールド実証実験装置を図 5 に示す。ノード 1 においては、200 GHz 間隔で 16 波長を (チャンネル 1 は 1533.47nm で、チャンネル 16 は 1557.36nm) 分布帰還形レーザダイオード (DFB-LDs) により生成した。各波長チャンネルではそれぞれパケット 1 とパケット 2 と呼ぶ二つの光データパケットを生成する。各パケットは提案した光ラベル符号化技術を用いて、8 チップ OC ラベル (12.5 ギガチップ毎秒) と RZ 形式で 10 ギガビット毎秒の 2048 ビット長疑似ランダムビット列 (PRBS) ペイロードデータとから構成されている。OC ラベル 1 [0 $\pi\pi\pi$ 00 $\pi\pi$ 0] と OC ラベル 2 [0000 $\pi\pi\pi\pi$ ] のあて先アドレスはそれぞれノード 2 とノード 3 に割り当てられている。単一モードファイバ (SMF)

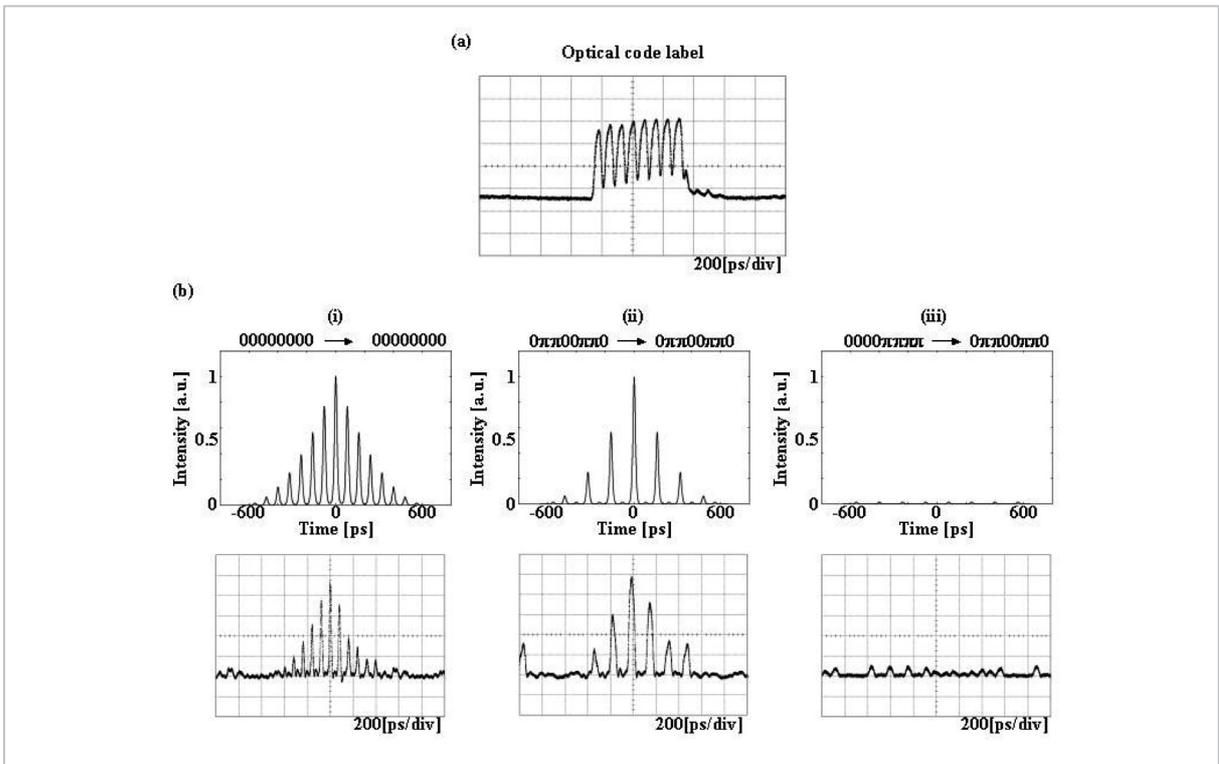


図4 (a) OC ラベル生成器出力波形、(b) OC ラベル相関波形の計算値と実測値  
 (i) [00000000] => [00000000], (ii) [0πππ00ππ0] => [0πππ00ππ0],  
 (iii) [0000ππππ] => [0πππ00ππ0]

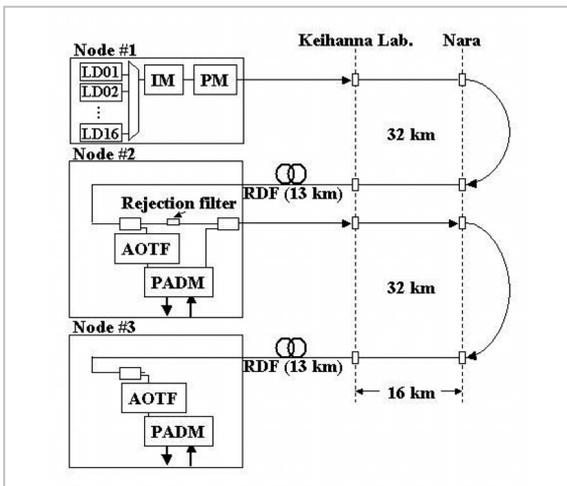


図5 フィールド試験実験系

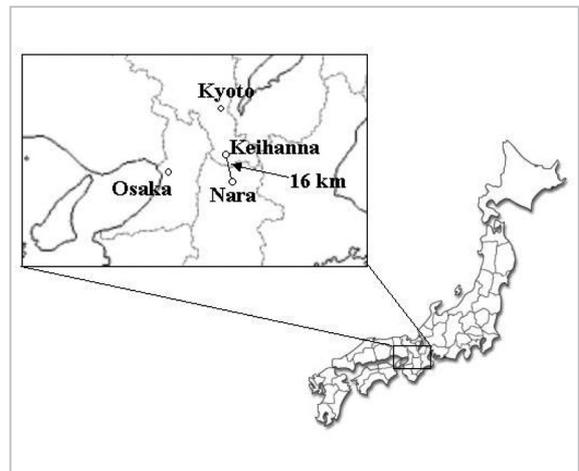


図6 フィールド試験に用いた敷設ファイバ経路 (JGN2)

により三つのノードの間で上記パケットを転送した。伝送ファイバは図6に示すように、往復長32kmのループバック構成で、情報通信研究機構(NICT)のけいはんな情報通信融合研究センターと奈良大安寺間のフィールドに設置してあるJGN II回線(光テストベッドA)を利用した[24]。研究所での光ジャンパケーブルとコネクタにおける損失を含み、往復での損失は8dBであった。各ノ

ードにおいて逆分散ファイバ(RDF)(13km)を用いて分散を補償し、ノード間の送信距離の合計は45kmであった。

ノード2において、16波長チャンネル中のある波長チャンネルがAOTFで分岐されてPADMへと送信されるが、ほかのチャンネルは通過を許可される。阻止フィルタにより、AOTFで分岐された波長と同一の波長では信号の通過が妨げられ

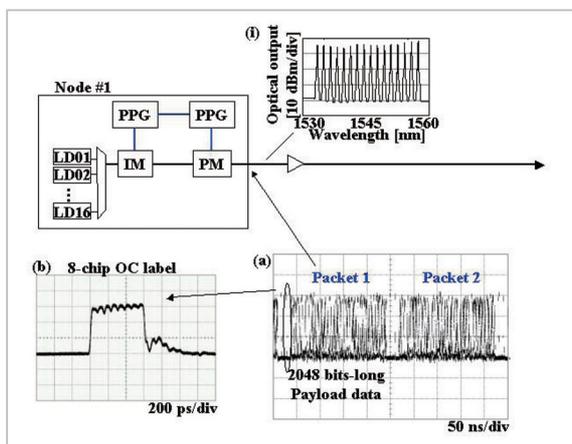


図7 実験結果(ノード #1)

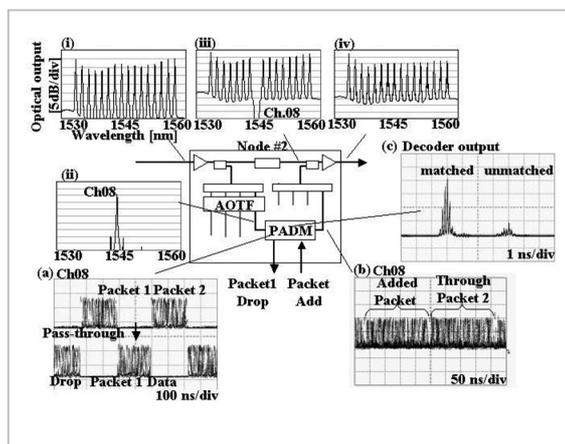


図8 実験結果(ノード #2)

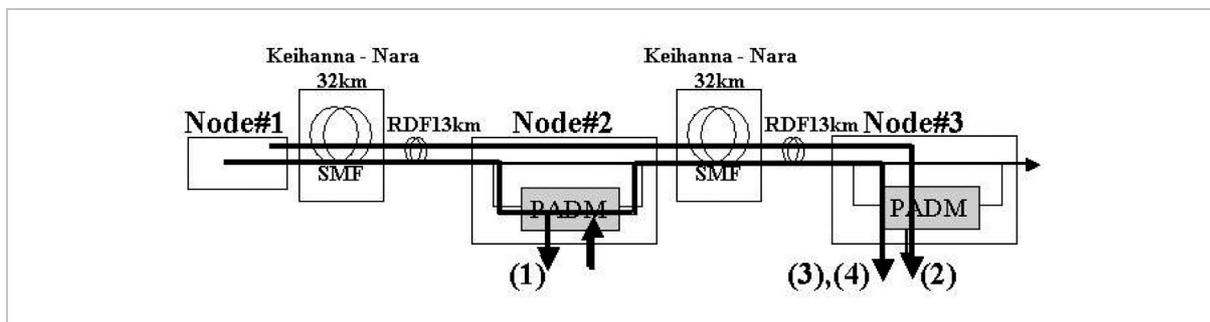


図9 BER 計測点

る。PADMでは、所望の光パケットを選択した波長から分岐、挿入が可能である。AOTF、PADM、阻止フィルタの出力が結合され伝送回線に送られる。ノード3においては、ノード2と同様に、ある波長チャンネルを選択し、所望のパケットを分岐した。

(2) 実験結果

ノード1での光スペクトルと光パケット波形を図7に示す。ノード1での出力された16波長の光スペクトルを図7(i)に示す。また、生成された光パケットと8チップ光符号ラベルをそれぞれ図7(b)と図7(c)にそれぞれ示す。

ノード2でチャンネル08についての光スペクトルと光パケット分岐挿入波形を図8に示す。ノード2での入力信号を図8(i)に示している。入力信号はAOTFで選択され、分岐された波長チャンネルと同一の波長チャンネルが阻止フィルタにより阻止される(図8(ii)と図8(iii)を参照)。これらのスペクトルから明らかなように、完全に可変な波長パス動作が達成されている。PADMにおいて、パケット1内のノード2アドレスに従って、パケ

ット1の分岐又は挿入が行われた(図8(a)と図8(b)を参照)。光復号化器の自己相関出力と相互相関出力を図8(c)に示す。この結果はWDM送信信号の中でどの波長においても、提案した符号化・復号化方式を利用して、所望の光パケットのみをノードで分岐又は挿入できることを実証している。

ノード2とノード3で、各波長において分岐したパケットペイロードデータの送信特性を測定した。ビット誤り率(BER)の測定点を図9の(1)から(4)で示す。測定点(3)と(4)は連続していて、測定点(3)はノード1から送られたパケットがノード2のPADMを通過しノード3で分岐した点で、測定点(4)はノード2で挿入されたパケットがノード3で分岐する点である。

測定BERが $10^{-12}$ の場合で、0.1nmの分解能においてチャンネルごとの光SN比(OSNR)を図10(a)に示す。図内の番号は図9の測定点に対応する。すべての波長チャンネル上のパケットについて $10^{-12}$ 以下のBERを得た。

ノード2とノード3で、0.1nmの分解能におい

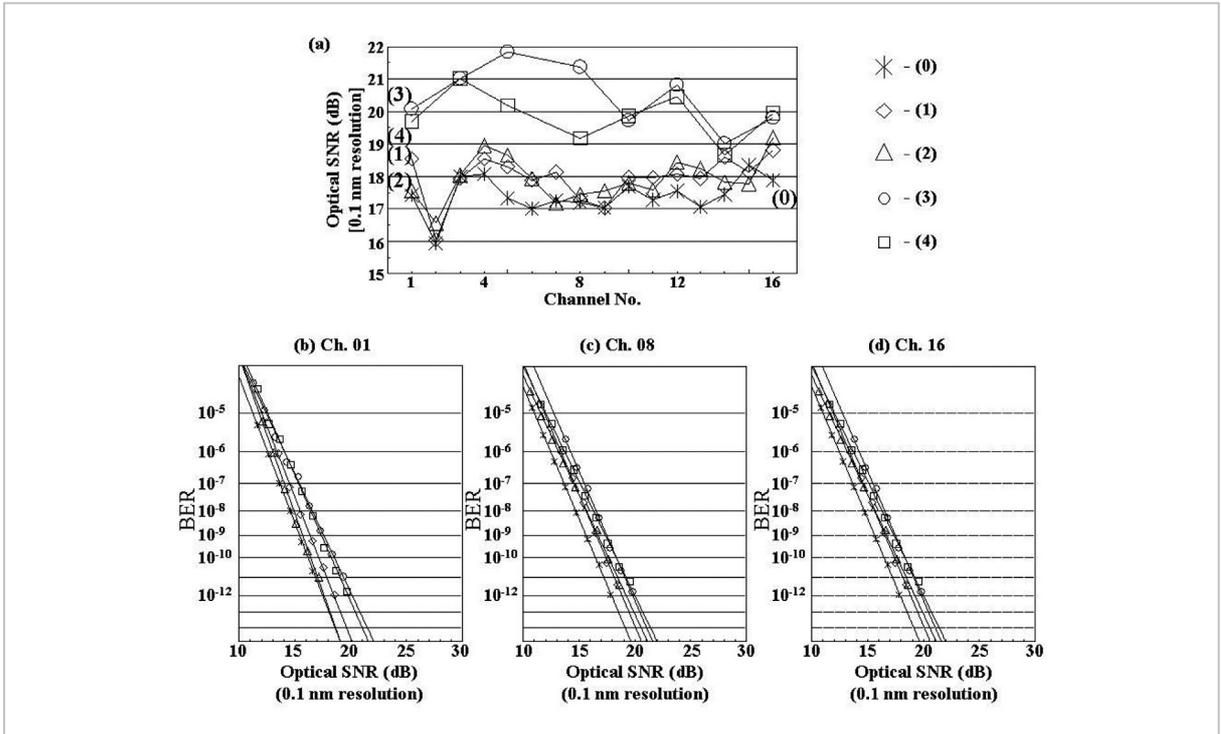


図10 ノード #1 及び #2 における (a) OSNR (BER=10<sup>-12</sup>)、(b) チャンネル01、(c) チャンネル08、(d) チャンネル16 における BER

て BER と OSNR の関係を波長チャンネル 01、08、16 についてそれぞれ図 10 (b)、図 10 (c)、図 10 (d) に示す。ノード 2 とノード 3 の間でのペナルティは、各入力 (通過と挿入) のために PADM での光パケットスイッチの干渉雑音によって生じている。パケットの測定 BER は 10<sup>-12</sup> 以下で、良好なシステム動作を実証している。

## 5 結論

光符号ラベル処理を用いた光パケットスイッチと高速の波長選択フィルタを利用し、90km のフィールド設置したファイバ上において、10Gbps において 16 波長の可変データ粒度 ROADM ネットワークの初めてのフィールド試験に成功した。ペイロードデータと OC ラベルを連続して同時に変調する実用的な新 OC ラベル生成技法により、任意長の符号生成が可能となり、それによりネットワークの透明性とスケーラビリティが大きく向上する。波長選択・パケット選択スイッチを持つ可変データ粒度 ROADM の有望な用途は、超高速メトロリングネットワークや LAN においてごく近い将来に見つかるものと期待する。

また、こういった最先端のフォトニックネットワーク技術を、実験室レベルを超えて、より実環境に近いフィールド敷設ファイバを利用し実証試験することは重要な意義を持つ。これらのフィールド試験では、最先端技術の有効性を確認するとともに、実環境における問題点や課題などの早期抽出を可能とし、新技術の早期実現を加速するものである。

## 謝辞

本研究を進めるに当たり、フィールド試験における有益な議論をして頂いた、情報通信部門超高速フォトニックネットワークグループリーダーの宮崎哲哉氏、実験において多大なご協力を頂いた、情報通信部門超高速フォトニックネットワークグループ牧野健、富山吉広両氏に感謝する。

さらに、長期間にわたるフィールド試験において、良好な実験環境の提供とサポートをして頂いた、けいはんなオープンラボラトリーの潮見治男、西浦哲慶両氏、同じく吉田一志氏はじめ JGN II センター関係各位へ感謝する。

## 参考文献

- 1 E.Modiano and A.Narula-Tam, "Mechanism for providing optical bypass in WDM-based networks", *Optical Networks*, Vol.1, pp.11-18, Jan. 2000.
- 2 Y.Kai, K.Sone, T.Ueno, M.Noguchi, H.Miyata, T.Nakazawa, H.Miyata, and H.Onaka, "Photonic gateway with ms-order wavelength path control for metro access networks", in Proc. 29th European Conference on Optical Communication (ECOC)'03, Rimini, Italy, paper We3.4.4., Sept. 2003.
- 3 K.Kitayama and M.Murata, "Photonic Access Node Using Optical Code-Based Label Processing and Its Applications to Optical Data Networking", *IEEE J. Lightwave Technol.*, Vol.19, No.10, pp.1401-1419, Oct. 2001.
- 4 N.Kataoka, N.Wada, F.Kubota, and K.Kitayama, "40-Gb/s Packet-Selective Photonic Add/Drop Multiplexer Based on Optical-Code Label Header Processing", *IEEE J. Lightwave Technol.*, Vol.22, No.11, pp.2377-2385, Nov. 2004.
- 5 N.Kataoka, K.Sone, N.Wada, H.Miyata, F.Kubota, H.Onaka, and K.Kitayama, "Demonstration of data granularity-adjustable ring network using wavelength-tunable and packet-selective oadm", in Proc. 30th European Conference on Optical Communication (ECOC)'04, Stockholm, Sweden, paper Th2.6.2., Sept. 2004.
- 6 H.Miyata, S.Aoki, T.Nakazawa, and H.Onaka, "Aotf with low loss and low crosstalk for 100-ghz channel spacing wdm systems", in Proc. 28th European Conference on Optical Communication (ECOC)'02, Copenhagen, Denmark, paper 2.3.3., Sept. 2002.
- 7 K.Kitayama, H.Sotobayashi, and N.Wada, "Optical code division multiplexing (OCDM) and its applications to photonic networks (invited)," *IEICE Trans. Fundamentals*, No.12, pp.2616-2626, Dec. 1999.
- 8 "Code division multiplexing lightwave networks based upon optical code conversion", *IEEE Select. Areas Commun.*, Vol.16, pp.1309-1319, Sept. 1998.
- 9 A.Srivatsa, H.D.Waardt, M.T.Hill, G.D.Khoe, and H.J.S.Dorren, "All-optical serial header processing based on two-pulse correlation", *IEEE Electron. Lett.*, Vol.37, No.4, pp.234-235, Feb. 2001.
- 10 M.T.Hill, A.Srivatsa, N.Calabretta, Y.Liu, H.D.Waardt, G.D.Khoe, and H.J.S.Dorren, "1x2 optical packet switch using all-optical header processing", *IEEE Electron. Lett.*, Vol.37, No.12, pp.774-775, June 2001.
- 11 Y.M.Lin, W.Way, and G.Chang, "A Novel Optical Label Swapping Technique Using Erasable Optical Single-Sideband Subcarrier Label", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol.12, No.8, pp.1088-1090, Aug. 2000.
- 12 C.Bintjas, N.Pleros, K.Yiannopoulos, G.Theophilopoulos, M.Kalyvas, H.Avrampoulos, and G.Guekos, "All-Optical Packet Address and Payload Separation", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol.14, No.12, pp.1728-1730, Dec. 2002.
- 13 J.Zhang, N.Chi, P.Holm-Nielsen, C.Peucheret, and P.Jeppesen, "A novel optical labeling scheme using a fsk modulated dfb laser integrated with an ea modulator", in Proc. Optical Fiber Communication Conference (OFC)'02, Vol. 1, Atlanta, GA, pp.279-280, Mar. 2003.
- 14 J.Yu, G.Chang, and Q.Yang, "Optical Label Swapping in a Packet-Switched Optical Network Using Optical Carrier Suppression, Separation, and Wavelength Conversion", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol.16, No.9, pp.2156-2158, Sept. 2004.

- 15 W.Shieh, X.Yi, and A.V.Tran, "Label swapping for dpsk encoded labels without wavelength conversion", in Proc. Optical Fiber Communication Conference and National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC)'05, Anaheim, CA, paper OTuC1, Mar. 2005.
- 16 N.Wada and K.Kitayama, "Photonic ip routing using optical codes: 10 gbit/s optical packet transfer experiment", in Proc. Optical Fiber Communication Conference(OFC)'00, Vol.2, pp.362-364, Baltimore, U.S.A., Mar. 2000.
- 17 K.Kitayama, N.Wada, and H.Sotobayashi, "Architectural considerations for IP router based upon optical code correlation", IEEE J. Lightwave Technol., Vol.18, No.12, pp.1834-1844, Dec. 2000.
- 18 X.Wang, K.Matsushima, A.Nishiki, N.Wada, and K.Kitayama, "High reflectivity superstructured FBG for coherent optical code generation and recognition", Optics Express, Vol.12, No.22, pp.5457-5468, Nov. 2004.
- 19 Z.Jiang, D.S.Seo, S.-D.Yang, D.E.Leaird, and A.M.Weiner, "Four user, 2.5gb/s, spectrally coded ocdma system demonstration using low power nonlinear processing", in Proc. Optical Fiber Communication Conference(OFC)'04, Los Angeles, CA, Feb. 2004, postdeadline paper PDP29.
- 20 S.Osawa, N.Wada, K.Kitayama, and W.Chujo, "Arbitrarily-shaped optical pulse train synthesis using weight/phase-programmable 32-tapped delay line waveguide filter", IEEE Electron. Lett., Vol.37, No.22, pp.1356-1357, Oct. 2001.
- 21 X.Wang, T.Hamanaka, N.Wada, A.Nishiki, and K.Kitayama, "10-user, truly-asynchronous ocdma experiment with 511-chip ssfbg en/decoder and sc-based optical thresholder", in Proc. Optical Fiber Communication Conference and National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC)'05, Anaheim, CA, Mar. 2005, postdeadline paper PDP33.
- 22 P.T.M.R.Mokhtar, M.Ibsen, and D.Richardson, "Simple dynamically reconfigurable ocdma encoder/decoder based on a uniform fiber bragg grating", in Proc. Optical Fiber Communication Conference (OFC)'02, Anaheim, CA, pp.688-690, Mar. 2002.
- 23 A.Himeno, K.Kato, and T.Miya, "Silica-Based Planar Lightwave Circuits", IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., Vol.4, No.6, pp.913-924, Nov. 1998.
- 24 <http://www.jgn.nict.go.jp/03-about/03-2/index.html>



**和田尚也**  
情報通信部門超高速フォトニックネットワークグループ主任研究員 博士  
(工学)  
フォトニックネットワーク



**片岡伸元**  
大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻  
フォトニックネットワークシステム

**曾根恭介**  
株式会社富士通研究所  
フォトニックネットワークシステム

**青木泰彦**  
株式会社富士通研究所 博士(工学)  
フォトニックネットワークシステム

**宮田英之**  
富士通株式会社  
フォトニックネットワークシステム

**尾中 寛**  
富士通株式会社  
フォトニックネットワークシステム



**久保田文人**  
情報通信部門研究主管 工学博士  
フォトニックネットワーク



**北山研一**  
大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻教授 工学博士  
フォトニックネットワーク、光ファイバ無線通信、光信号処理