

## 3-2 JGNIIを用いた1000波WDM伝送及び波長群パスルーティング実証実験

### 3-2 1000 Channel WDM Transmission and Grouped-Wavelength Path Routing Experiments using JGNII Test bed

高良秀彦 山浦 純 大原卓也 山崎悦史 増田浩次 山本貴司  
鈴木和宣 高田 篤 盛岡敏夫

TAKARA Hidehiko, YAMAWAKU Jun, OHARA Takuya, YAMAZAKI Etsushi,  
MASUDA Hiroji, YAMAMOTO Takashi, SUZUKI Kazunori, TAKADA Atsushi,  
and MORIOKA Toshio

#### 要旨

JGNII光テストベッドを利用して、スーパーコンティニウムマルチキャリア光源を用いた現場環境下における1000波WDM伝送の実証実験を行ったので報告する。また、WDM光一括波長変換を用いた波長群パス設定実証実験等についても述べる。

A 1000 channel WDM transmission experiment based on a supercontinuum multi-carrier source as well as a group-wavelength path routing experiment utilizing simultaneous WDM wavelength conversion on a JGNII test bed are reported.

#### [キーワード]

WDM伝送, マルチキャリア光源, 波長群パス, 一括波長変換, JGNII光テストベッド  
WDM transmission, Multi-carrier source, Grouped-wavelength path routing,  
Simultaneous wavelength conversion, JGNII test bed

## 1 まえがき

インターネットの社会生活への広範な浸透、それを利用した音声や、広帯域映像データ等の通信サービスによるトラフィックの増大が持続している。将来のユビキタスネットワーク社会では、コンピュータだけではなく、家電、タグ・センサ等のあらゆるモノがストレスなくネットワークを介して情報をやり取りすることが期待されている。これを支える通信ネットワークには広帯域性、柔軟性、秘話性などが求められる。波長分割多重(WDM)伝送技術と光スイッチング技術に基づくフォトニックネットワーク技術は上記の要請に応えるものとして研究開発が進展している。

特にフォトニックネットワークの広帯域化やネットワークのEnd to End間での全光化を実現するには、波長数が1000波を超えるWDM伝送技

術が必要となる。さらに、1000波級の波長をネットワーク上で有効に利用するには、群波長変換技術等の研究開発が必要である。

本稿では、フォトニックネットワークの広帯域化、全光化、高効率化に必要な1000波を超えるWDM伝送技術、波長変換・波長群変換技術について、JGNII光テストベッド及びNICTけいはんな情報通信オープンラボを利用した実証実験を行ったので報告する。

## 2 1000波を超えるWDM伝送技術

柔軟で、経済的なフォトニックネットワークを実現するためには、超広帯域光伝送技術が有効であり、その要素デバイスであるWDM光源、光増幅器、光フィルタ等の超広帯域化が重要な課題となる。

スーパーコンティニウム技術を用いたマルチキャリア光源 (SC-MCS) は、正確に光周波数軸上に配置された高 SNR の 100 チャンネル以上の光キャリアを一括に発生できるため、WDM 光源の簡易化、コストの低減及び波長制御性の向上が期待できる。これまでに、この SC-MCS を用いた S、C、L 帯をシームレスに使用した 124nm の広帯域伝送実験 (313 波長、160km)[1] 及び長スパン光伝送実験 (100 波長以上、1000km 以上)[2] により、SC-MCS がマルチスパンの WDM 伝送に適用できることを確認している。さらに、1000 波を超える長多波長伝送について検討した。

本節では、はじめに SC-MCS による超 1000 波長発生及び光周波数安定化について述べ、その結果に基づいて実施した JGN II 光テストベッドにおける 1000 波 WDM 伝送実験について報告する。

## 2.1 超多波長・高精度のマルチキャリア光発生技術

SC-MCS を用いた超多波長・高精度の光キャリア発生について検討を行った。

繰り返し周波数 6.25GHz の光パルス列を SC ファイバに入射することで、6.25GHz 間隔のマルチキャリアを発生した。図 1 に、発生した SC 光スペクトルを示す。励起光源の光スペクトルは SC ファイバ中で 170nm 以上の超広帯域スペクトルに変換されている (図 1 (a))。波長 1560nm 付近のスペクトル図 1 (b) に示されているように光キャリアは 6.25GHz 間隔で正確に配置されている。1490nm から 1660nm の波長域において光キャリアが発生できていることが確認できた。

また、SC-MCS から発生される光キャリアの光周波数を安定化するため、光キャリアの光周波数を光周波数安定化光源にロックさせた[3]。その結果、図 2 に示したように光周波数精度・安定度  $\pm 1$ MHz 以内のマルチキャリア発生を実現した。

## 2.2 1000 波 WDM 伝送実験

次に、JGN II 光テストベッド及び NICT けいはんな情報通信オープンラボを用いて現場環境下での 1000 波長 WDM 伝送実験を行った (図 3)[4]。送信系及び受信系を NICT けいはんな情報通信オープンラボに、光増幅中継系を大阪堂島に配置し

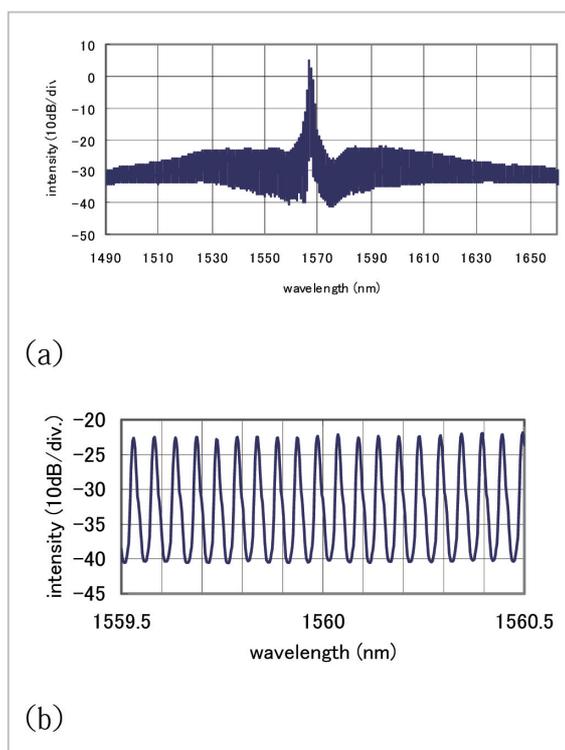


図1 SC-MCS の出カスペクトル

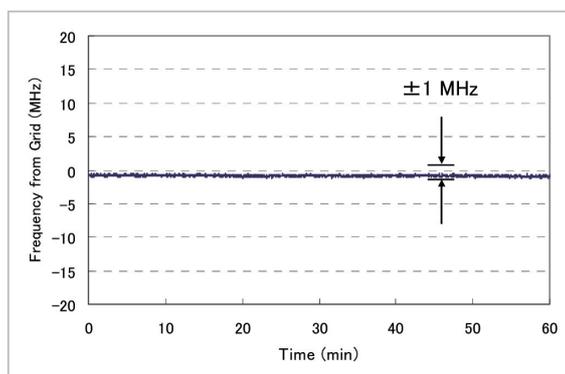


図2 光キャリアの周波数安定度

た。伝送ファイバは JGN II 光テストベッドの一部であり、NICT けいはんな情報通信オープンラボと大阪堂島間に敷設された SMF である。SC-MCS により発生したチャンネル間隔 6.25GHz の超高密度・超多波長光のうち、波長域 1539-1600nm の範囲の 1000 波長程度を利用した。これらの多波長光を強度変調器によって 2.67Gbit/s ( $2^{31}-1$  PRBS) に変調したのち、C、L 帯それぞれを増幅し、SMF 伝送路に入射した。光信号の波長は、C 帯は 1539.07~1564.68nm、L 帯は 1572.01~1600.01nm である。伝送路は 2 スパンで構成される 126km (63km×2) である。伝送光ファイバ

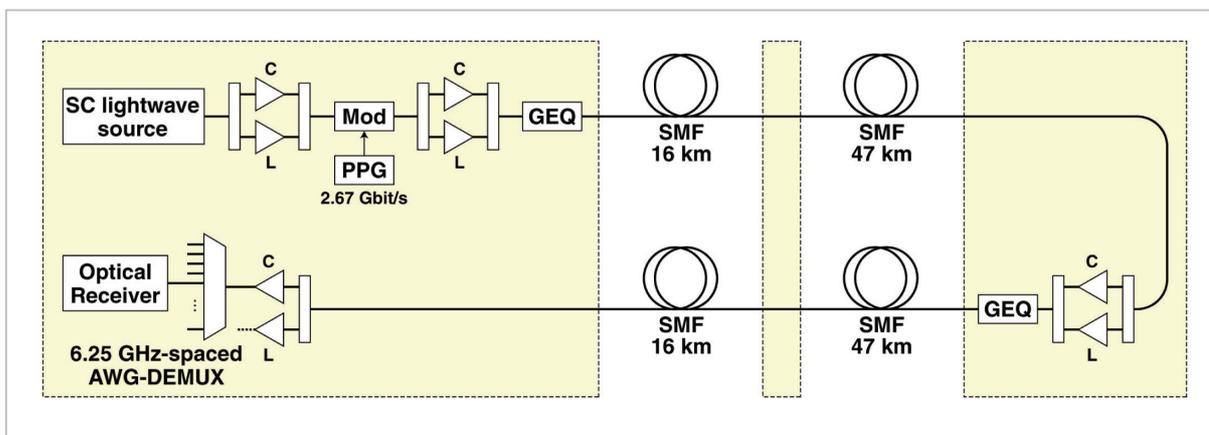


図3 伝送実験系

への入射パワーは、伝送光ファイバ中の FWM の影響を十分抑圧できるように 1 チャンル当たり -15dBm に設定した。

伝送後の WDM 信号を 6.25GHz 間隔分波器を用いて分波し、Q 値を測定した(図 4)。その結果、1046 チャンルの Q 値が 11.1dB 以上 (FEC 使用時のビット誤り率 (BER) <math>10^{-12}</math>に相当)であった。

この結果より、現場環境下で 1000 チャンル以上の 6.25GHz 間隔超高密度 WDM 伝送が可能であることを実証した。今後、光源の更なる高 SNR 化、光増幅器の利得平坦化及び伝送路特性の最適化などを図ることで、更なる長距離化を目指す。

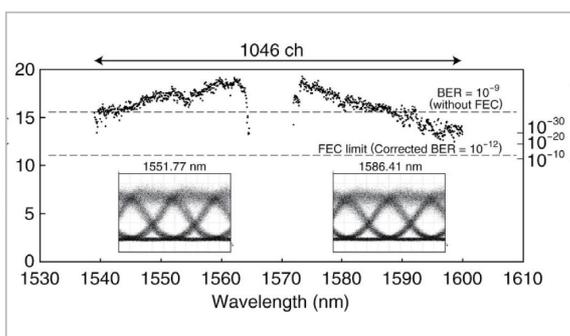


図4 伝送後の WDM 信号の Q 値

### 3 波長変換・波長群変換技術

高速・大容量のユーザ間接続を実現するために、複数波長で構成する波長群パスの運用法・ノード構成法の検討が重要である。波長群パスをダイナミックに運用するには、複数波長を一括波長変換可能なデバイスが求められ、その方法として、

パラメトリック波長変換が有望である。ここでは、パラメトリック波長変換を実現する光非線形材料として擬位相整合ニオブ酸リチウム(QPM-LN)導波路を用い、JGN II 光テストベッド及び NICT けいはんな情報通信オープンラボを利用したバーチャル波長群パス設定実証実験を行った。

25 GHz 間隔 - 8 チャンル (チャンネル 1 : 1555.4nm - チャンネル 8 : 1556.8nm、NRZ 10Gbit/s (PRBS :  $2^{31}-1$ )) から構成される波長群パス設定の実証実験構成を図 5 に示す [5]。変調された信号は 2 分岐され、二つの波長群を構成し、スイッチ出力側ファイバで生じる衝突を偏波無依存化波長変換回路と光スイッチにより回避する。敷設ファイバは JGN II 光テストベッドシステムの一部である NICT けいはんな情報通信オープンラボと奈良を結ぶ 16km の 2 本の SMF を奈良で折り返し、32km として使用した。図 6 は波長群を 64 チャンネルで構成した場合での波長群パス設定実験の構成図である [6]。

図 7 は、8 チャンル波長群 (短波側：変換なし、長波側：変換あり) 合波後 32km 伝送後のスペクトルとアイパターンである。偏波無依存化波長変換回路により均一な波長変換特性が得られた。変換効率の変動は、実験中に観測されなかった。すべての出力信号において  $Q > 15.6\text{dB}$  (BER  $10^{-9}$  未満)を確認した。図 8 は、64 チャンル波長群、32 km 伝送後のスペクトルである。偏波無依存化波長変換回路は、70nm にわたる波長変換帯域を持つことが確認できる。波長変換した波長群の信号パワーの傾きは、L 帯光増幅器のゲインプロファイルによるものである。すべてのチャンネルにおい

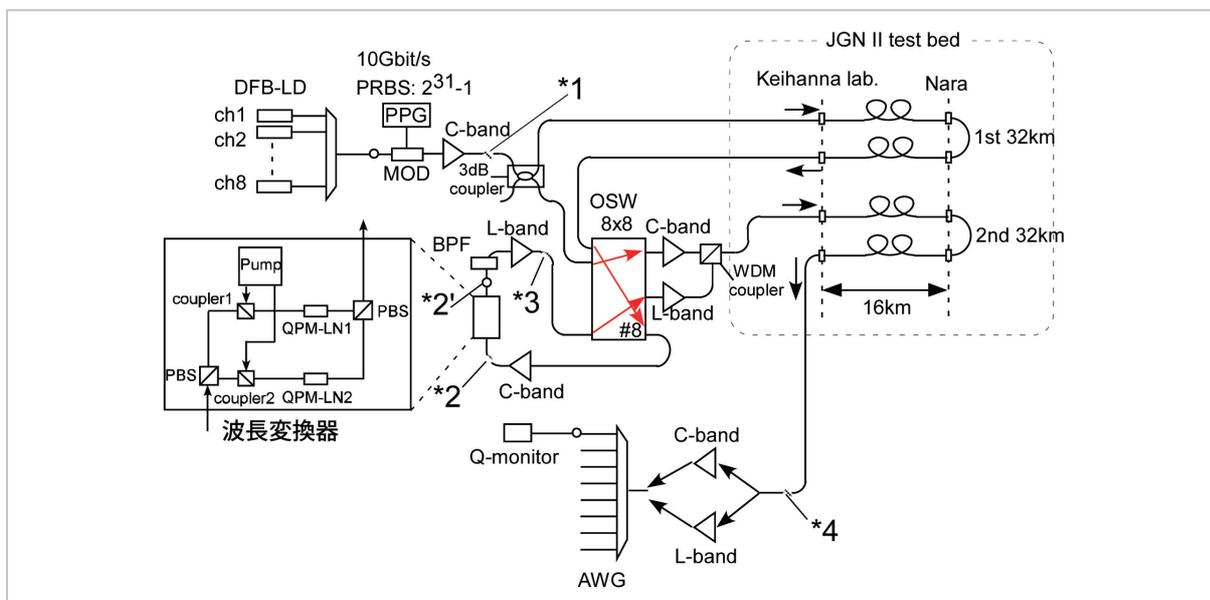


図5 8チャンネル波長群衝突回避実験系

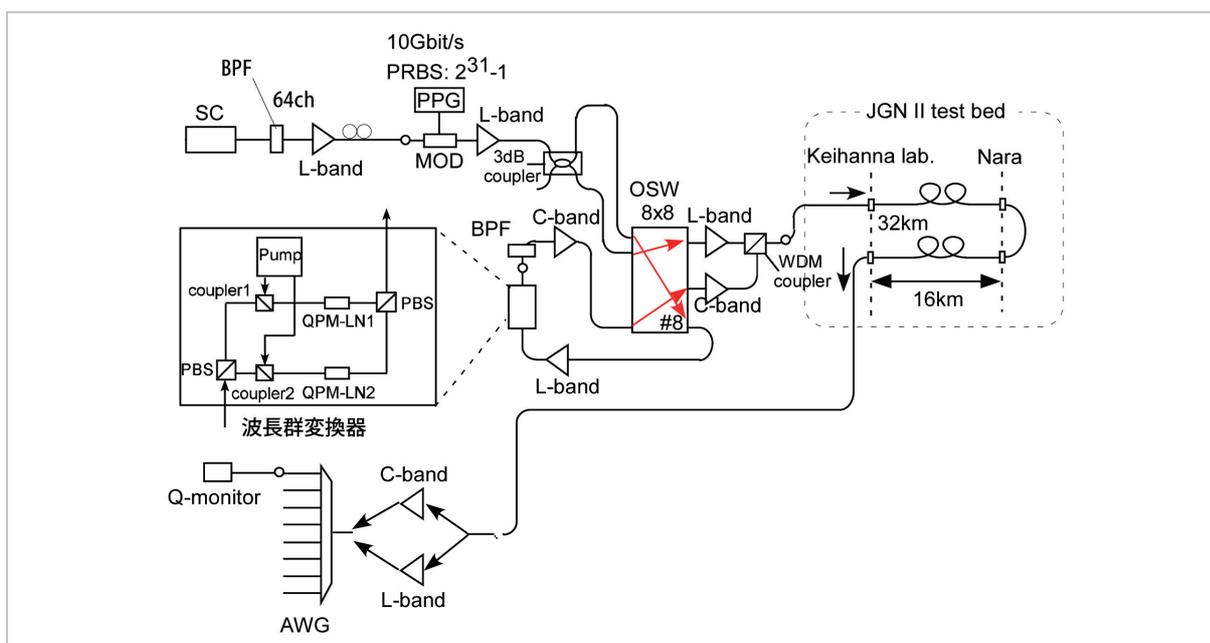


図6 64チャンネル波長群スイッチング実験系

て、 $Q > 15.6\text{dB}$  以上 (BER  $10^{-9}$  以下) であることを確認した。なお、偏波変動に対しても  $Q$  値の変動は観測されず、安定な波長群変換がなされた。

## 4 むすび

JGN II 光テストベッド及び NICT けいはんな情報通信オープンラボを利用して、現場環境下での超高密度・超多波長 WDM 信号の伝送実験(ビッ

トレート 2.5Gbit/s、1046 チャンネル、距離 126km) に成功した。この結果により、初めて 1 本の光ファイバにより 1000 波長以上の WDM 信号が伝送可能であることを実証した。この SC-MCS を用いた超広帯域光伝送技術は、簡単な構成で、広大な波長帯域での一括伝送を可能とするため、将来の光ネットワークの高機能化や低コスト化への貢献が期待される。

また、同様に JGN II 光テストベッド及び NICT

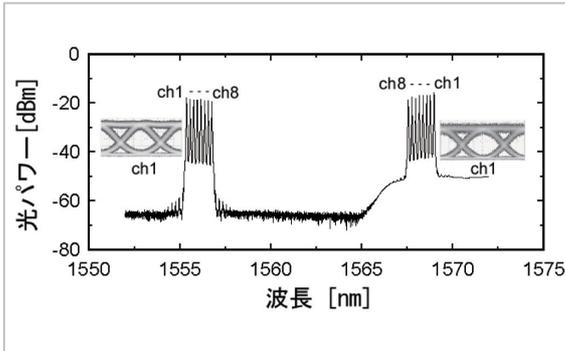


図7 ノード通過後 32km 伝送後のスペクトル

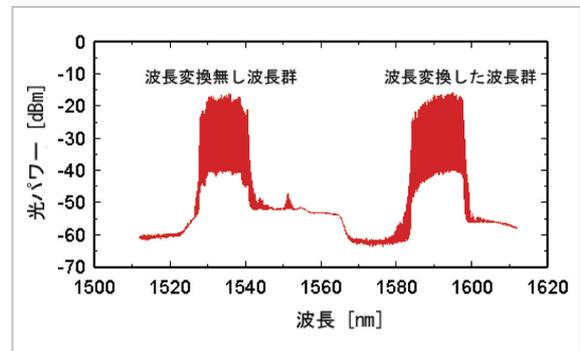


図8 32km 伝送後のスペクトル

けいはんな情報通信オープンラボを利用して、バーチャル波長群パス設定実証実験を行った。8チャンネル、64チャンネルの2種類の波長群構成で、現場環境下において、

- 偏波無依存波長変換回路の安定動作

- OSW の多波長一括スイッチングを実証し、スループット 5Tbit/s の可能性を有する群波長スイッチングの実証実験に成功した。本研究の一部は NICT の委託研究により実施したものである。

### 参考文献

- 1 H.Takara, H.Masuda, K.Mori, K.Sato, Y.Inoue, T.Ohara, A.Mori, M.Kohtoku, Y.Miyamoto, T.Morioka, and S.Kawanishi, "124nm seamless bandwidth, 313x10Gbit/s DWDM transmission", Electron. Lett., Vol.39, No.4, pp.382-383, Feb. 2003.
- 2 H.Takara, T.Ohara, and K.Sato, "Over 1000km DWDM transmission with supercontinuum multi-carrier source", Electron. Lett., Vol.39, No.14, pp.1078-1079, July 2003.
- 3 K.Suzuki, M.Koga, and T.Morioka, "MHz-accuracy, frequency-stabilized optical comb over S-, C-, L-bands for precise wavelength measurements", in Proceedings of ECOC 2004, Stockholm, Sweden, We 3.6.6, Vol.3, pp.456-457, Sep. 2004.
- 4 T.Ohara, H.Takara, T.Yamamoto, H.Masuda, T.Morioka, M.Abe, and H.Takahashi, "Over 1000 channel, 6.25 GHz-spaced ultra-DWDM transmission with supercontinuum multi-carrier source", in Technical Digest of OFC/NFOEC 2005, Anaheim, USA, Paper OWA6, Mar. 2005.
- 5 J.Yamawaku, E.Yamazaki, A.Takada, and T.Morioka, "Field demonstration of virtual grouped-wavelength-path switching with transparent waveband conversion in QPM-LN and PLC matrix switch in the test bed of JGN II", in Proceedings of ECOC 2004, Stockholm, Sweden, Paper Th4.5.3., Sep. 2004.
- 6 J.Yamawaku, E.Yamazaki, A.Takada, T.Morioka, and K.Suzuki, "Virtual grouped-wavelength-path switching based on QPM-LN waveband converter and supercontinuum wavelength-bank source", in Technical Digest of OFC/NFOEC 2005, Anaheim, USA, Paper OFE2, Mar. 2005.

たからひでひこ  
**高良秀彦**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
高速・大容量光伝送技術、光計測技術

おおはらたくや  
**大原卓也**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
高速・大容量光伝送技術

ますだひろし  
**増田浩次**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
高速・大容量光伝送技術、光増幅技術

すずきかずのり  
**鈴木和宣**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
フォトニックネットワークの研究

もりおかとしお  
**盛岡敏夫**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
フォトニックネットワークの研究開発

やまわくじゅん  
**山浦 純**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所 (現所属：東京エレクトロンAT  
株式会社)  
光信号処理技術、光バーストスイッチ  
ング技術

やまざきえつし  
**山崎悦史**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
光信号伝達・処理、非線形光学、光ブ  
ローピング

やまもとたかし  
**山本貴司**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
高速・大容量光伝送技術

たかだあつし  
**高田 篤**

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと  
研究所  
光信号処理技術、光バーストスイッチ  
ング技術