

10 Gb/s チューナブルトランスポンダの開発

Development of 10-Gb/s Tunable Transponder Module

系原 洋行*

Hiroyuki Itohara

田原 雅史*

Masafumi Tabara

篠田 誠也*

Nobuya Shinoda

概 要 波長間隔 50 GHz で 8 波長の可変機能を持つ 10 Gb/s 伝送用波長可変トランスポンダモジュールの開発を行った。波長可変光源、波長ロック、変調器、制御回路、受信機をコンパクトなきょう体に高密度に実装し、電気/光インターフェースは業界標準である 300pin MSA に準拠している。

DWDM 伝送では、従来は必要波長数と同じ数のトランスポンダ種類（波長別品種）を準備する必要があったが、今回開発したチューナブルトランスポンダを使用することにより従来に比べて波長別品種を最大 8 分の 1 に削減することができる。

1. はじめに

1990 年代の北米に端を発するインターネットの急速な普及、浸透により通信トラフィックが爆発的に増加しており、光通信ネットワークの大容量化が進んでいる。この発展には、遠距離まで電気変換することなく信号伝送する光信号増幅技術、多数の信号を異なった波長で 1 本の光ファイバで伝送する波長多重通信（WDM: Wavelength Division Multiplexing）技術が大きく貢献している。

本稿では、今回開発を行った 10 Gb/s 波長チューナブルトランスポンダモジュールについて報告する。トランスポンダモジュールは中長距離 WDM 伝送装置を構成する部材のひとつであり、光送受信機能、電気多重・分解機能を一体化したモジュールである。従来のトランスポンダモジュールは固定波長であり、WDM システムを構築するためには多重する波長数と同じ数のトランスポンダ種類（波長種別）を用意する必要があったが、本チューナブルトランスポンダを使用することにより、トランスポンダの波長種別を削減することが可能である。

2. トランスポンダモジュールの機能

トランスポンダモジュールのアプリケーションと機能について説明する。

2.1 アプリケーション

トランスポンダモジュールは様々な WDM 伝送装置のみならず各種光伝送装置に使用されるが、ここでは今回開発したトランスポンダが利用される中長距離 WDM 伝送装置を例に説明をする。中長距離 WDM 伝送システムの一例を図 1 に示す。伝送端局において、各信号の伝送路切り替えを行うクロスコネクタ（XC）からの光信号（通常は 1310 nm 帯）は、伝送装置において λ_1 から λ_n までの異なった 1500 nm 帯波長に変換された後、波長多重・増幅されて光ファイバ伝送路にて他端局へ伝送される。図 2 は端局内の伝送装置の一例である。伝送装置には各波長に対応するトランスポンダカードがあり、1310 nm 帯光信号と 1500 nm 帯の所定波長の光信号の波長変換を行っている。波長変換は電気信号を介して行われるが、10 Gb/s 伝送装置においては通常 10 Gb/s の電気信号は 16 本の 622 Mb/s に分解して

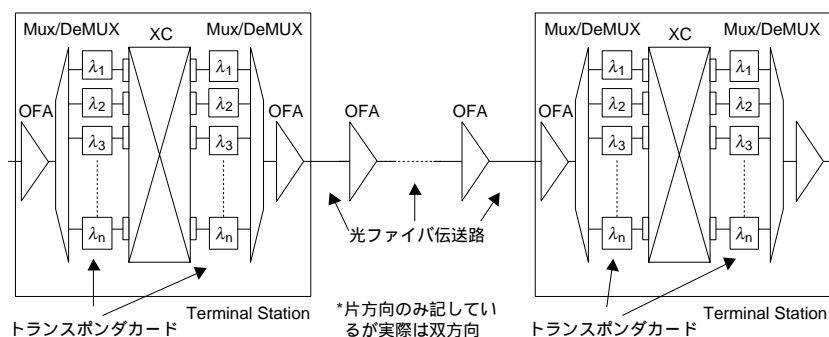


図 1 中長距離伝送システムの一例
An example of long haul transmission

* ファイテルネットワーク研究所 WT チーム

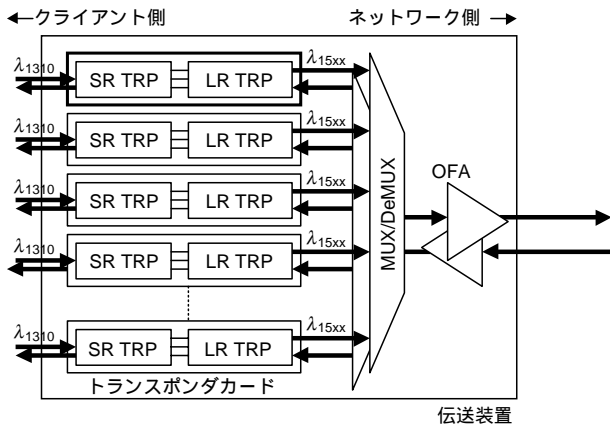


図2 伝送装置の一例
An example of transmission equipment

扱われ、符号誤り訂正や伝送特性モニタ等の処理がなされて更に 10 Gb/s 電気信号に多重される。

2.2 機能

10 Gb/s トランスポンダモジュールとは、以下の機能を備えた小型モジュールであり、トランスポンダカードに搭載される。

- ・ 16本の622 Mb/sの電気信号を多重して10 Gbps信号とする。
- ・ 10 Gbps 電気信号を10 G 光信号に変換する。
- ・ 10 Gb/s 光信号を電気信号に変換する。
- ・ 10 Gb/s 電気信号を16本の622 Mb/s信号に分解する。

3. トランスポンダモジュールの動向

トランスポンダモジュールの標準化、分類に関して10 Gb/s における動向を中心に説明する。

3.1 トランスポンダモジュールの標準化

2001年4月にトランスポンダモジュールメーカー9社により300pin 10 Gb/s Transponder MSA Document (電気インターフェースに300pin コネクタを使用するためこのような名称である)初版が発行された(2002年8月発行の第4版が最新)。MSA参加の11社以外のトランスポンダメーカーも含め事実上の業界標準となっており、各社からMSA準拠の様々な製品がリリースされている。本標準では、下記に関する基本仕様が決まっている

- ・ 主信号、クロック、制御、アラーム等の電気信号インターフェース
- ・ 電源条件
- ・ 300pin コネクタのピン配置
- ・ 機構条件

MSA化が進むことにより、トランスポンダモジュールを利用しやすい環境が整ってきている。今回我々が開発した10 Gb/s チューナブルトランスポンダもこの300pin MSAに準拠したものである。

3.2 トランスポンダモジュールの分類

トランスポンダモジュールは、表1に示すように伝送距離に応じて大きく3種類に分類される。SR用トランスポンダは端局内伝送等短距離伝送用に使用される。IR用トランスポンダ

表1 トランスポンダの分類
Category of transponders

分類	用途
SR (Short Reach)	主に端局内クライアント側の短距離伝送に使用される。
IR(Intermediate Reach)	主に ~ 40 km 程度の中距離伝送に使用される。
LR (Long Reach)	~ 80 km 程度のポイント-ポイント伝送や光増幅器を介す長距離(LH)/超長距離(ULH)伝送に使用される。

は主に 40 km 程度までの中距離伝送に使用される。LR用トランスポンダは40 ~ 80 km 程度まで伝送可能なものであり、光増幅器を介して更に長距離の伝送にも使用される。1550 nm 帯の 10 Gb/s 伝送においては、ファイバ線路(1310 nm SMF)の波長分散の影響により著しい伝送劣化生じるため、IR・LR用トランスポンダでは外部変調方式が採用されている。今回開発したチューナブルトランスポンダモジュールは光増幅器を介した長距離伝送にも対応するため、マッハツェンダ型外部変調器を使用している。

4. チューナブルトランスポンダモジュールの特徴

従来のトランスポンダカードは固定波長であったため、多重する波長数と同じ数の品種(波長種別)が必要であり、またそこに搭載するトランスポンダモジュールも同数の品種が必要であった。今回開発を行ったチューナブルトランスポンダは50 GHz 間隔にて8波長の可変機能を有しており、波長種別による品種数を最大8分の1に削減することが可能である。図3に本チューナブルトランスポンダモジュールを使用することによる品種削減効果例を示す。

4.1 構成

チューナブルトランスポンダモジュールの構成を図4に示す。送信側ではCW光源に温度チューナブルDFB(Distributed Feed Back)LDを採用し、波長間隔50 GHz(0.4 nm)での運用において最大8波長まで可変することが可能である。LDモジュールには波長ロックを内蔵しており、波長間隔50 GHzのDWDMシステムに対応可能である。また長距離伝送に適した高い消光比を得るためにLN(LiNbO₃:ニオブ酸リチウム)を用いたマッハツェンダ型外部変調器を使用している。

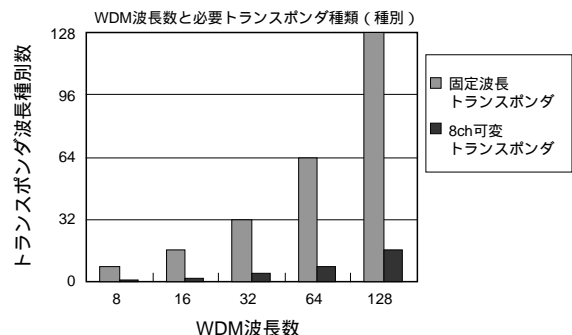


図3 多重波長数とトランスポンダ品種数
Necessary varieties of transponder vs multiplexed wavelength

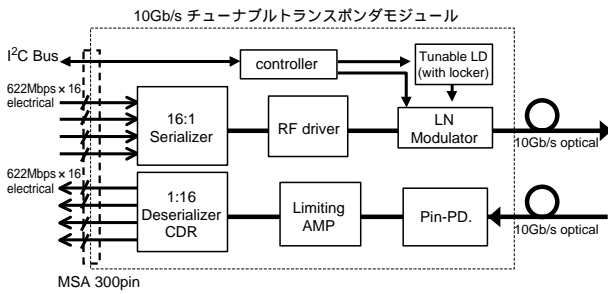


図4 チューナブルトランスポンダモジュール構成
Block diagram of tunable transponder module

電気・光インターフェースにおいては、トランスポンダモジュール外部から与えられる622 Mb/s × 16本の電気信号は電気多重部 (Serializer) により10 Gb/s信号へ多重され、上記変調器を経て光信号としてトランスポンダモジュールより出力される。一方、受信した10 Gb/s光信号はPin-PD (Photo Diode) により電気信号に変換される。リミティングアンプにより適度な信号レベルに補正されて、電気信号分解部 (Deserializer) により622 Mb/s × 16本の信号に分解される。

また、温度チューナブルLDや外部変調器の制御、アラーム管理等を行うためにマイクロプロセッサを搭載している。300pin電気インターフェースを経由したパラレル線による制御入力・アラーム出力だけでなくI²Cバス (シリアルインターフェース) による外部コントローラとの通信も可能である。

4.2 外観

チューナブルトランスポンダモジュールの外観を図5に示す。チューナブルDFB LD、マッハツェンダ型外部変調器を搭載するために、デバイスサイズによる実装制約があるが、SR・IR用トランスポンダと同等のサイズである3.5 × 4.5 × 0.53インチ (88.9 × 114.3 × 13.5 mm) を実現した。ケースは放熱効率の良いアルミニウム合金をベースとしている。

4.3 諸元

チューナブルトランスポンダの諸元を表2に示す。伝送速度はSONET/SDHに使用される9.95 Gb/sだけでなく、長距離伝送に一般的に使用される10.66 Gb/s, 10.709 GbpsといったFEC (Forward Error Correction) レートにも対応している。光出力は+5 dBm以上, 最小受光レベルは-17 dB以下であり、伝送路分散がないときは許容損失22 dB以上、伝送路分散 ± 1000 ps/nmにおいても光許容損失20 dB以上を諸元としている。



図5 チューナブルトランスポンダ外観
Appearance of developed tunable transponder module

表2 チューナブルトランスポンダ主要諸元
Characteristics of tunable transponder module

項目	条件	諸元
光許容損失	@ ± 1000 ps/nm @0 ps/nm	Min. 20 dB Min. 22 dB
伝送速度		9.95/10.66/10.709 Gb/s
消費電力	3電源 (+ 3.3 V, + 5.0 V, -5.2 V)	Typ. 14 W
環境温度	ケース温度	- 5 ~ 70
サイズ	突起物及びヒートシンクを除く	3.5 × 4.5 × 0.53インチ (88.9 × 114.3 × 13.5 mm)
光出力	PRBS2 ³¹ -1	Min. + 5 dBm
消光比	PRBS2 ³¹ -1	Min. + 11 dB
波長		1530 ~ 1620 nm
波長可変範囲		8 ch × 50 GHz
受光感度	BER 10 ⁻¹² Average @0 ps/nm	Min. - 17 dBm
受光飽和レベル	BER 10 ⁻¹² Average	Min. - 4 dBm

5. 特性評価

10 Gb/sチューナブルトランスポンダの送受信特性測定結果について説明する。

5.1 波長可変特性

本トランスポンダは温度チューナブルLDを使用しており、LD温度を制御することにより3.2 nmの波長可変範囲を得ている。図6に波長1 (1541.35 nm) から波長8 (1544.13 nm) までの各波長でロックさせた状態 (軌跡) を示す。

5.2 送信特性

伝送速度10.709 Gb/sにおける送信特性の測定結果としてアイパターンを図7に示す。(a)及び(b)はケース温度25 °Cのときの波長1 (1541.35 nm) と波長8 (1544.13 nm) におけるアイパターンである。最短波長~最長波長に渡って良好な特性が得られていることが確認できた。(c)及び(d)は同一波長 (波長1) に固定した場合でケース温度が-5 °Cと70 °Cのときのアイパターンである。ケース温度は-5 ~ 70 °Cにおいて良

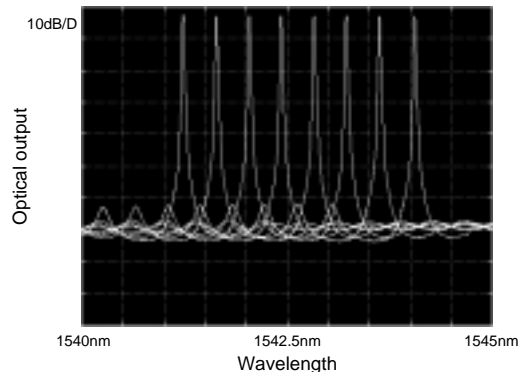


図6 波長1から波長8まで可変時の軌跡 (各波長ロック時)
Tuning between wavelength 1 and 8

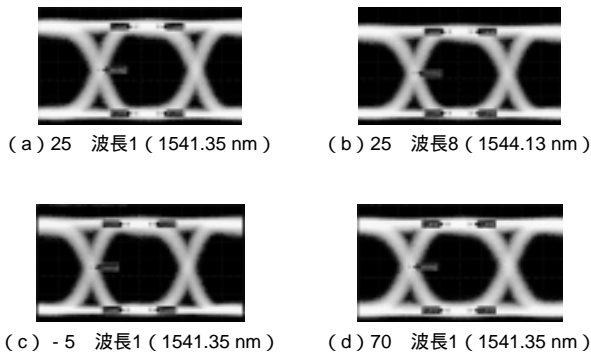


図 7 アイパターン
Eye pattern

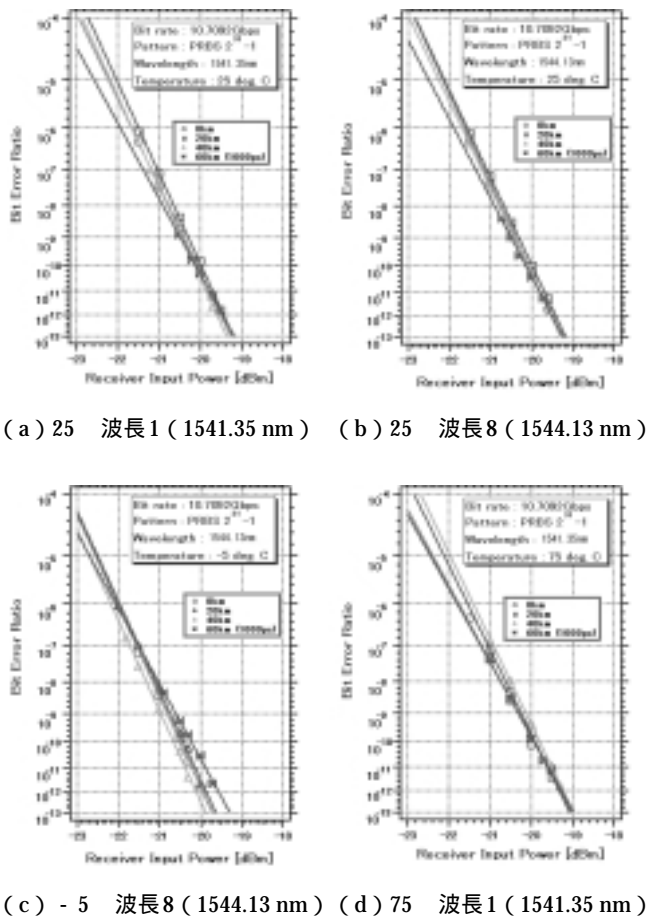


図 8 光受信レベル対誤り率
Bit error rate (BER) vs optical receiving level

好に動作していることが確認できた。いずれの温度、波長にお
13 dB 以上の消光比が得られている。

5.3 受信特性

受信特性の測定結果として、伝送速度 10.709 Gb/s で光ファ
イバ 0 ~ 60 km (+ 1000 ps/nm 相当) を伝送した場合の光受信
レベル対誤り率 (BER) の測定結果を図 8 に示す。(a) 及び
(b) はケース温度 25 における波長 1 (1541.35 nm), 波長 8
(1544.13 nm), (c) 及び (d) は波長 1 におけるケース温度 - 5
及び 70 時の測定データである。いずれも - 19 dB 以下の受光
レベルで所望の BER 性能 10^{-12} 以下の良好な特性が得られてい
る。また、各温度、各波長におけるファイバ分散によるペナル
ティー (@BER = 10^{-12}) における分散ペナルティーは 60 km 伝
送時でも 0.5 dB 以下である。

6. おわりに

今回開発を行った波長間隔 50 GHz で 8 波長の可変機能を持
つ 10 Gb/s チューナブルトランスポンダについて報告した。所
望の波長可変範囲において温度特性を含め良好な送受信特性が
得られることが確認できた。

本開発の成果は、WDM 伝送システムの経済性や柔軟性に貢
献するものであると考えている。

参考文献

- 1) 300pin MSA Group: Reference Document for 300 pin 10Gb Transponder Edition 4 (14 Aug. 2002)
- 2) I2C Reference Document for 300 Pin MSA 10G and 40G Transponder Edition 3 (24 July 2002)
- 3) ITU-T G.691 Optical interface for single channel STM-64, STM-256 System and other SDH systems with optical amplifier
- 4) ITU-T G.692 Optical interface for multichannel systems with optical amplifiers