

# 8波長可変 EML 搭載 25Gbit/s 光送信機

8-Wavelength Tunable 25 Gbit/s Electro-Absorption Modulator Integrated Laser

鈴木 貴之\*  
Takayuki Suzuki

田中 弘巳  
Hiromi Tanaka

金子 俊光  
Toshimitsu Kaneko

甲斐田 憲明  
Noriaki Kaida

5G無線アクセスネットワークにおけるモバイルフロントホールでは、通信トラフィックの増加に対応するため25Gbit/sの伝送速度が広く採用され、波長分割多重方式を駆使した光ファイバ利用効率の向上が期待されている。特に近年、アンテナ装置と中央拠点に集約された無線制御装置を繋ぐモジュール間で波長可変光トランシーバの需要が高まっている。今回我々は、モバイル・アクセス市場向けに低消費電力動作が可能な8波長可変電界吸収型変調器集積レーザを開発し、その諸特性を小型送信機ならびに25Gbit/s DWDMトランシーバ (SFP28) に搭載して評価したので、ここに報告する。

This paper presents our development of an 8-wavelength tunable electro-absorption modulator integrated laser, designed for mobile and access networks. The laser was created in response to the increased data traffic and data rate demands within 5G mobile fronthaul communication networks, particularly in areas with limited fiber infrastructure. This solution addresses the growing need for wavelength tunable optical transceivers and supports the adoption of wavelength division multiplexing. The performance of the laser was evaluated in a compact 25 Gbit/s dense wavelength division multiplexing (DWDM) transceiver, housed in an SFP28 form-factor.

キーワード：波長可変光源、EML、DWDM、モバイルフロントホール

## 1. 緒言

動画配信サービスの普及やモバイル端末の高機能化にともない、高速かつ低遅延の通信を実現する5G通信サービスの利用が進んでいる。5G無線アクセスネットワークでは、アンテナ装置と中央拠点に集約された無線制御装置の接続（モバイルフロントホール）にeCPRI<sup>\*1</sup>準拠の光ファイバ通信が広く採用されており、伝送速度は25Gbit/sまで高速化される。特に通信トラフィックが集中する都市部では、狭い範囲に多数のアンテナ装置が配置されるため、高密度光波長分割多重（Dense Wavelength Division Multiplexing: DWDM）技術を駆使した光ファイバ利用効率の向上が求められる。これまでモバイルフロントホールでは、固定波長タイプの光トランシーバが広く用いられてきたが、波長ごとに異なる機種を揃える必要があり、調達と在庫管理に課題があった。この解決に向けて、波長可変光トランシーバの需要が高まっている。波長可変光トランシーバは、接続先の光フィルタのポートに合わせて送信波長を自動でチューニングする機能を搭載することにより、敷設作業を大幅に簡略化できる利点も持つ。

波長可変光トランシーバは、100GHz間隔で40波長以上の変調範囲をもつFull-band tunableタイプが知られているが<sup>(1)</sup>、もともと長距離通信用に開発された技術をベースにしており、マッハツェンダ変調器の集積による送信機の大規模化や制御の複雑化、消費電力の増大、高コストなどの課題がある。当社では、これまで培ってきた波長可変光源<sup>(2)</sup>や電界吸収型変調器集積レーザ（Electro-absorption Modulator integrated Laser: EML）<sup>(3)、(4)</sup>の技術を活用

し、従来の固定波長タイプの小型送信機に搭載可能な8波長可変EMLを開発した。今回、諸特性の評価にあたり、波長可変EML搭載送信機と、それを導波路アバランシェ・フォトダイオード（Avalanche Photodiode : APD）搭載光受信機<sup>(5)</sup>と組み合わせた光トランシーバSFP28<sup>\*2</sup>を試作した。

## 2. 目標仕様

表1に、8波長可変EMLを搭載する光トランシーバの目標仕様を示す。IEEE<sup>\*3</sup>やITU-T<sup>\*4</sup>、O-RAN ALLIANCE<sup>\*5</sup>等で定められた標準規格をベースに、市場要求を加味し、当社が独自に設定した。波長可変幅は、100GHz間隔のC-Band<sup>\*6</sup> DWDMにおける8波長分に相当する。

表1 光トランシーバ目標仕様

項目	仕様	単位
動作温度	-40~85	℃
伝送速度	25.78125	Gbit/s
変調方式	NRZ	-
最大伝送距離	15	km
波長可変幅	≥5.6	nm
変調時平均光出力	≥0	dBm
サイドモード抑圧比	≥35	dB
消光比	≥7	dB
消費電力	≤2.5	W
ロスバジェット	≥19	dB
自動波長チューニング時間	<60	s

表1をもとに、レーザの目標仕様を表2のとおり定めた。光出力の目標値は、変調ロス、結合ロス、経年劣化、環境温度による変動を考慮して試算した。

表2 レーザ目標仕様

項目	仕様	単位
波長可変幅	≥5.6	nm
光出力強度 <sup>†1</sup>	≥4.5	mW
サイドモード抑圧比	≥35	dB
消費電力 <sup>†2</sup>	≤250	mW

†1：変調器電圧0Vにおけるレーザチップ端の出力強度  
 †2：変調器電圧を印加した実際の駆動条件における消費電力

図1は、C-Band DWDMで広く用いられる波長帯を8波長可変EMLに合わせて分別した概略図である。1529.55nm (196.0THz) から1560.61nm (192.1THz) までの40波長 (100GHz間隔) を8波長ごとにグループ化した。本稿では、各グループにおける8波長を短波からλ1、λ2と数え、最長波をλ8と定義した。

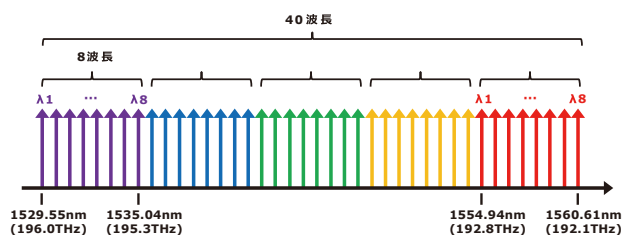


図1 波長テーブル

### 3. デバイス設計

レーザチップは、一般的なFull-band tunable用レーザの約1/5の面積に相当する1.25×0.25mmのサイズで設計し、写真1に示す従来型の小型送信機 (Transmitter Optical Sub-Assembly: TOSA) への搭載を可能とした。

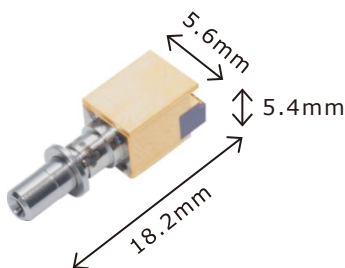


写真1 小型パッケージサイズのTOSA

図2は、試作した光トランシーバのブロック図である。ホスト装置から光トランシーバへ入力された25Gbit/sの電気信号は、クロック・データ・リカバリ (Clock Data Recovery: CDR) で信号処理された後、レーザドライバで増幅され、TOSA内部のEMLで光信号へ変換される。EMLは、TOSA内部の小型冷却素子によって温調する。また、レーザの利得部と波長制御用の2つのヒータにそれぞれ電流を印加する。一方、受信した25Gbit/sの光信号は、受信機 (Receiver Optical Sub-Assembly: ROSA) 内部のAPDで電気信号へ変換され、トランスインピーダンス・アンプ (Transimpedance Amplifier: TIA) で増幅後、CDRで信号処理され、ホスト装置へ送信される。なお、試作した光トランシーバには、SmartTunable MSA<sup>※7</sup>準拠の自動波長チューニング機能を搭載した。

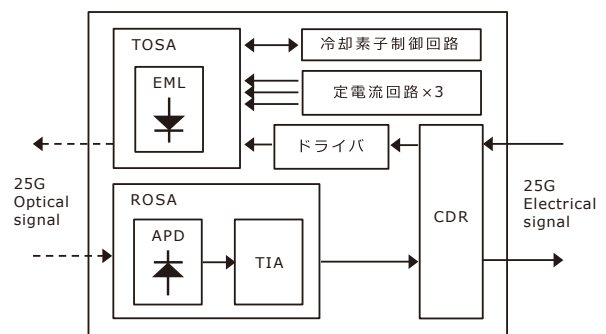


図2 光トランシーバのブロック図

### 4. デバイス静特性

レーザの波長可変特性を図3に示す。発振波長は、ヒータ電力に対しておよそ0.1nm/mWと線形に変化し、動作電力の範囲内で8nm以上の波長可変幅が得られている。従

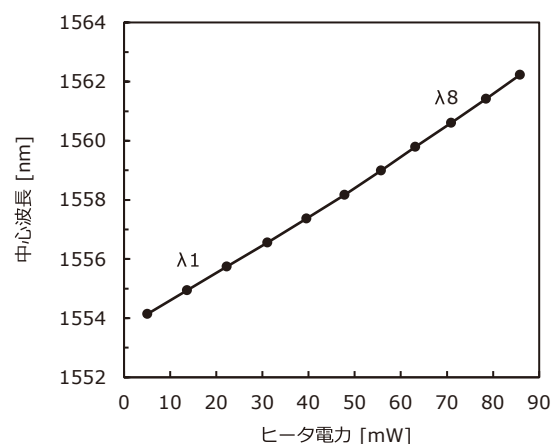


図3 波長可変特性

来型の固定波長 DWDM 製品と比較して、わずか 80mW 未満の追加電力によって 8 波長可変特性を獲得することに成功した。

図4に、光出力特性を示す。評価時のレーザ温度は45℃、レーザ電流は90mA、変調器電圧は0Vとした。変調器の吸収スペクトル端とレーザの発振波長の差が最も小さいλ1においても、5mW以上の光出力強度が得られている。

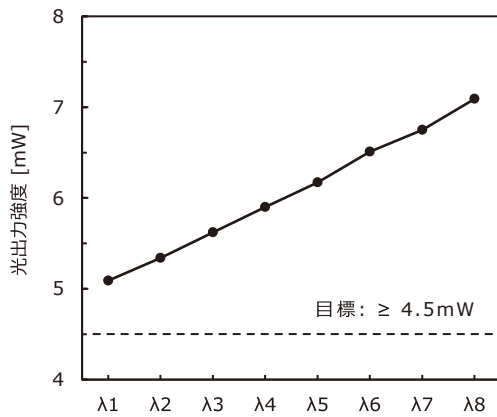


図4 光出力特性

図5に、レーザ光スペクトルを示す。サイドモード抑圧比は、全8波長で50dB以上と目標を上回る良好な特性が得られている。

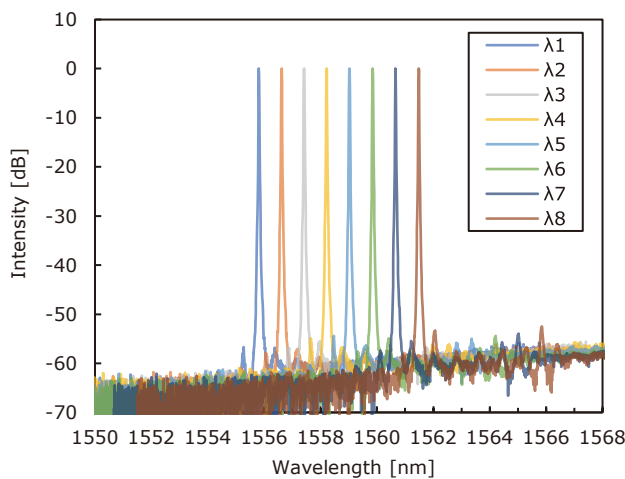


図5 レーザ光スペクトル

図6に、λ1およびλ8におけるEMLの消費電力とその内訳を示す。評価時のレーザ温度は45℃、レーザ電流は

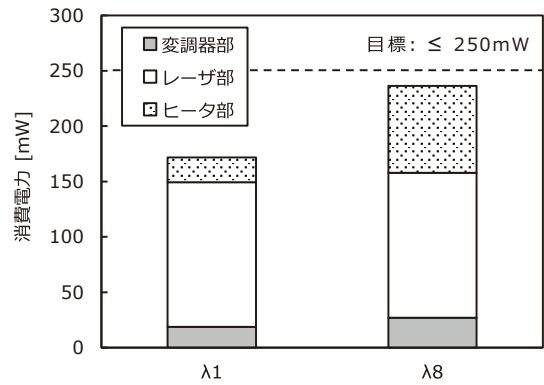


図6 波長可変EMLの消費電力内訳

90mA、変調器電圧は波長ごとに調整した。ヒータ電力が最大となるλ8においても236mWと、表2の目標仕様を満足している。

## 5. デバイス動特性

### 5-1 送信特性

図7に、光トランシーバの変調時平均光出力を示す。全8波長の光出力は表1の目標仕様を満足し、各波長間の変動も0.2dB未満と小さい。

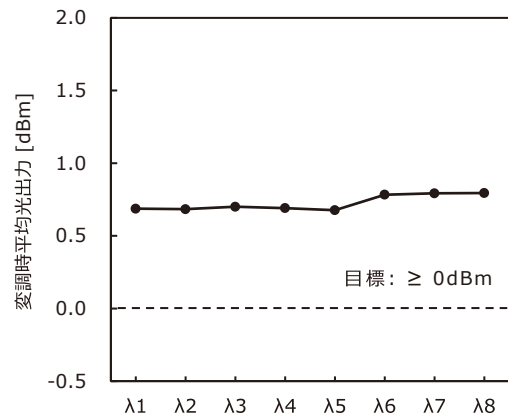






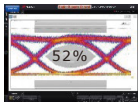
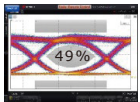


図7 変調時平均光出力特性

表3に、試作した光トランシーバの光波形を示す。伝送速度は25.78125Gbit/s、信号パターンはPRBS31<sup>\*8</sup>、変調器の駆動振幅は1.7Vppである。消光比は、全ての波長9dB以上の特性が得られ、目標仕様を満足した。また、IEEE802.3cc 25GBASE-LRの規定に基づくマスクマージンは、全波長で49%以上と非常に明瞭なアイ開口が得られた。

表3 光波形

λ1	λ2	λ3	λ4
			
消光比:9.3dB	消光比:9.3dB	消光比:9.3dB	消光比:9.3dB
λ5	λ6	λ7	λ8
			
消光比:9.5dB	消光比:9.2dB	消光比:9.1dB	消光比:9.0dB

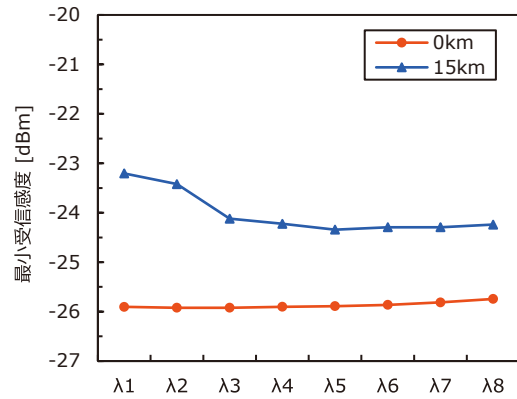


図10 送信波長と受信感度特性の関係

### 5-2 受信特性

図8は、受信特性の評価システムである。25.78125 Gbit/sの信号生成とビット誤り率の測定には、誤り率測定機を用い、自己折り返しにより評価した。



図8 受信特性の評価システム

図9にビット誤り率の評価結果を、図10にビット誤り率が $5 \times 10^{-5}$ となる最小受信感度と送信波長の関係を示す。伝送距離は0kmまたは15kmである。15km伝送後の最小

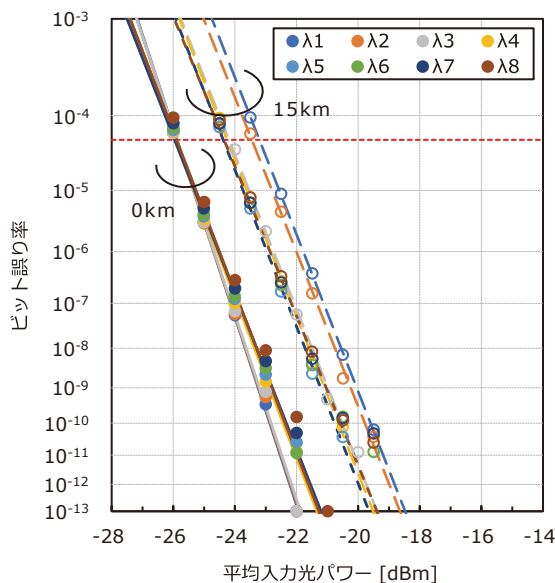


図9 ビット誤り率と平均入力光パワー

受信感度は、全8波長で-23dBm以下と良好な結果が得られた。5-1の送信特性と合わせると、ロスバジェットは23.5dB以上となり、目標の19dBを十分に満足している。

### 5-3 自動波長チューニング時間

図11は、自動波長チューニング時間の評価システムである。光トランシーバの送信信号を波長可変フィルタに入力し、もう1台の光トランシーバと対向させた。波長可変フィルタの中心波長は、λ1からλ8の波長を都度ランダムに設定し、2台の波長が確定するまでの自動波長チューニング時間を計100回測定した。図12に示すとおり、自動波

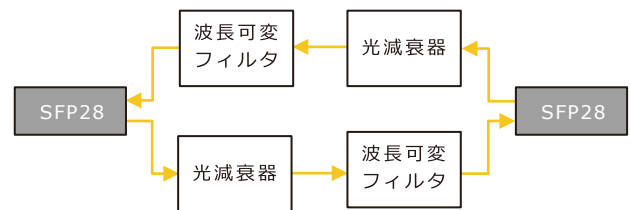


図11 自動波長チューニング時間の評価システム

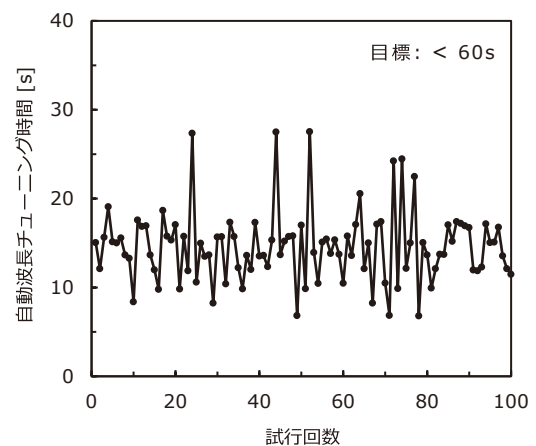


図12 自動波長チューニング時間の評価結果

長チューニング時間は平均15秒、最大でも28秒であった。8波長可変のコンセプトを活かし、Full-Band Tunable製品では最大約5分を要していた自動波長チューニング時間を大幅に低減することに成功した。

## 6. 結 言

モバイルフロントホールに最適な小型かつ低消費電力な8波長可変EMLを開発した。当社製の高感度APD受信機と組み合わせたSFP28を試作し、市場で求められる諸特性を満たしていることを確認した。開発した波長可変EMLは、さらなる高出力化によるNG-PON2<sup>\*9</sup>システムへの適用や、下り200Gbit/s (8波長×25Gbit/s) の伝送容量を実現する次世代高速FTTH<sup>\*10</sup>への応用にも有望である。

### 用語集

#### ※1 eCPRI

Evolved Common Public Radio Interface：無線基地局とアンテナ部の通信に使用されるイーサネットをベースとした通信規格。

#### ※2 SFP28

Small Form-factor Pluggable：25GbEに準拠した小型光トランシーバの業界標準の一つ。伝送速度は25Gbit/s。

#### ※3 IEEE

Institute of Electrical and Electronics Engineers：米国電気電子学会の略称で、電気、電子技術分野における規格標準化を行う組織。

#### ※4 ITU-T

International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector：国際電気通信連合の一部門。電気通信に関する規格標準化を行う組織。

#### ※5 O-RAN ALLIANCE

無線アクセスネットワークのオープン化や仮想化を推進するための規格標準化を行う組織。

#### ※6 C-Band

Conventional-band: 光通信で使用される波長帯域の一つ。波長は1530~1565nm。

#### ※7 SmartTunable MSA

SmartTunable Multi Source Agreement：波長可変トランシーバにおける自動波長チューニング機能の標準規格。

#### ※8 PRBS31

Pseudo-Random Bit Sequence: 疑似ランダムビット列。PRBS31は $2^{31}-1$ の周期を持つランダム信号系列。

#### ※9 NG-PON2

Next Generation Passive Optical Network 2：波長あたり10Gbit/sの伝送速度で4波長多重することにより、下り40Gbit/sの伝送容量を提供するアクセス網の通信規格。

#### ※10 FTTH

Fiber To The Home: 光ファイバを用いた家庭向けの通信サービス。

### 参考文献

- (1) A. J. Ward, "Monolithic Integration of AllnGaAs DS-DBR Tunable Laser and AllnGaAs MZ Modulator with Small Footprint, Low Power Dissipation and Long-Haul 10Gb/s Performance," in Proceedings of 39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC), p.1-3 (2013)
- (2) 石川務、「デジタルコヒーレント通信用狭線幅フルバンド波長可変レーザ」、SEIテクニカルレビュー第183号、pp.50-54 (2013)
- (3) 藤田尚士、「光トランシーバ向け25Gbit/s光送信モジュール」、SEIテクニカルレビュー第186号、pp.65-68 (2015)
- (4) 本田昌寛、「データセンタ向け53GBaud変調器集積レーザ」、住友電工テクニカルレビュー第202号、pp.19-23 (2023)
- (5) 朝羽貴士、「導波路APD搭載25Gbps光受信器」、住友電工テクニカルレビュー第202号、pp.8-12 (2023)

### 執筆者

鈴木 貴之\*：住友電工デバイス・イノベーション(株)



田中 弘巳：住友電工デバイス・イノベーション(株) 主幹



金子 俊光：住友電工デバイス・イノベーション(株) 主幹



甲斐田 憲明：住友電工デバイス・イノベーション(株) 主幹



\*主執筆者