光トランシーバの動向

平本 清久*

Overview of Latest Trend of Next Generation Ethernet Optical Transceivers

Kiyohisa HIRAMOTO*

* 日本オクラロ株式会社戦略マーケティングセンタ (〒 252-5250 神奈川県相模原市中央区小山 4-1-55)

* Strategy and Marketing Center, Oclaro Japan, Inc. (4-1-55 Oyama, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-5250)

1. はじめに

Social Media, Internet Protocol (IP) ビデオそしてクラウドサービスなどのトラフィックに牽引され IP トラフィックは、2015 年から 2020 年の間に 22% の年平均成長率で増大すると予測されている。そのような IP トラフィックの増大に対応するため、光通信のあらゆるレイヤーで伝送速度が増大する傾向にある。その中で昨今、特に注目を集めているのが、所謂「クラウドデータセンター内のネットワーク」である。クラウドデータセンターでは、リーフスイッチやスパインスイッチと呼ばれるスイッチ間がメッシュ状に接続されるスイッチファブリックレイヤーや、そのスイッチとデータセンターの外部と接続されるルータや伝送装置とが接続されるコアレイヤーの接続伝送速度は 2015 年から 40 Gb/s から 100 Gb/s へ急速に移行が始まっており、さらに今後 200 Gb/s や 400 Gb/s への高速化が進むと見込まれている。またクラウドデータセンターが拡大する一方で、伝送レートの高速化に伴い Multi-mode Fiber (MMF) でカバーできる距離が短くなる傾向にあり、このためデータセンター構内ファイバとして Single-mode Fiber (SMF) が適用されるトレンドがある。その様な背景のもと、Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) では SMF 向けの次世代イーサネットの物理層の規格化に着手しており、またそれに対応する光トランシーバの検討が各種 Multi-Source Agreement (MSA)[†]で行われている。その動向を解説する。

2. 次世代イーサネット規格の最新動向

データセンター内のスイッチファブリックおよびコアレイヤーの機器間の通信プロトコルとしてはイーサネットが使われるが、IEEE では上述のクラウドデータセンターのトレンドに答えるべく、次世代イーサネットの物理層の規格化に着手している。IEEE ではコアネットワーク向けに 400GbE の規格化を 2013 年に着手し、2017 年末に規格化完了予定である。一方、データセンター内のスイッチファブリック接続を想定した次世代イーサネット規格として 200GbE や 50GbE の規格化が 2015 年末からスタートしており、これらは 2018 年中に規格化完了の予定である。表 1 に各規格がサポートするデータレートおよび伝送距離を示す。表中の 802.3xx は各規格の検討を推進している Task Force 名を示す。表中の上段には光インターフェースとして光のレーン数および各レーン毎の伝送速度も合わせて示している。

今後のトランシーバのトレンドの中心となるのが、表中で太線で囲った部分にある SMF 用の次世代イーサネット規格である。特徴としては既存の 100GbE 規格から本格的に導入が始まった多チャンネル方式 (Wavelength Division Multiplexing (WDM) 方式または Parallel Single Mode Fiber (PSM)[†]方式) が採用されていること、および変調方式として Non Return to Zero (NRZ) に変わり多値変調である 4-level Pulse Amplitude Moderation (PAM4) 方式が採用されたことである。PAM4 方式では、1 シンボルあたり 2 ビットのデータを伝送できる。このためメリットとしては同じビット

表 1. IEEE において進行中の次世代イーサネット規格¹⁾

Ethernet PMD		Data rate/Optical Interface											
		25GbE	40GbE		50GbE	100GbE				200GbE	400GbE		
		1 × 25 G	4 × 10 G	1 × 40 G	1 × 50 G	10 × 10 G	4 × 25 G	2 × 50 G	1 × 100 G	4 × 50 G	16 × 25 G	8 × 50 G	4 × 100 G
Reach/ Fiber type	100 m MMF	SR 802.3by	SR4 802.3ba		SR 802.3cd	SR10 802.3ba	SR4 802.3bm	SR2 802.3cd		SR4 802.3cd	SR16 802.3bs		
	500 m SMF								DR 802.3cd	DR4 802.3bs			DR4 802.3bs
	2 km SMF			FR 802.3bg	FR 802.3cd					FR4 802.3bs		FR8 802.3bs	
	10 km SMF	LR 802.3cc	LR4 802.3ba		LR 802.3cd		LR4 802.3ba			LR4 802.3bs		LR8 802.3bs	
	40 km SMF	ER 802.3cc	ER4 802.3bm				ER4 802.3ba						

レートデータを伝送するのに必要な光部品の素子の変調速度は半分であり、NRZの場合と比べて低速の光部品を適用できることが挙げられる。ただしNRZに比べて原理的に光波形の開口が1/3となり、光 signal-to-noise ratio (SNR) で4.8 dB 損をするため受信感度の確保が困難となる。このため Forward Error Correction (FEC) の使用が前提とされている。以降これら新規格に対応する光トランシーバ（特にコアネットワークやスイッチファブリック用途）に着目して紹介する。

3. 次世代イーサネット光トランシーバの最新動向

3.1 第一世代 400GbE 用光トランシーバ：CFP8²⁾

400GbE 用の光トランシーバは、第一世代と第二世代に分かれる見通しである。第一世代は、コアルータや伝送装置などのコアネットワーク用ネットワーク機器のインターフェース用途であり、本年より北米でフィールドトライアルが始まっている。光モジュールのサイズや消費電力については制約が緩く、400GbE の先行投入が期待されるマーケットである。一方、第二世代はクラウドデータセンター用のアプリケーションもターゲットとしており、光トランシーバに対しては小型・低消費電力であること、さらに低コストであることが要求される。第一世代の 400GbE 用光トランシーバとしては CFP8 と呼ばれる MSA 準拠のタイプのサンプル出荷が既に数社から始まっている。CFP8 のサイズは幅 40×長さ 102×高さ 9.5 (mm) であり、図 1 に 400GBASE-FR8 および 400GBASE-LR8 と呼ばれる 2 km および 10 km の光インターフェース規格準拠のモジュールの構成を示す。光インターフェースは 1 波長あたり 50 Gb/s PAM4 を 8 波長で束ねて伝送する WDM 方式であり、その波長を表 2 に示す。電気インターフェースは 400GAUI-16 と呼ばれる 25 Gb/s×16 レーンである。特徴は 100GbE の技術を踏襲し、4 ch の集積 Transmitter Optical Sub-assembly (TOSA) および Receiver Optical Sub-assembly (ROSA) を 2 個ずつ搭載していること、TOSA/ROSA の外に 2 対 1 の光 Mux/DeMux 搭載していることである。その他 PAM4/NRZ

図 1. CFP8 内部ブロック図

エンコーダ・デコーダ機能を有する Digital Signal Processor (DSP) IC を搭載している。

3.2 次世代イーサネット光トランシーバ

上述の通りコアネットワークでは第一世代 400GbE 用光トランシーバの適用が見込まれるが、クラウドデータセンターでは次世代イーサネット光トランシーバとして 200GbE 用光トランシーバまたは第二世代の 400GbE 用光トランシーバが適用される見通しである。

3.2.1 200GbE: QSFP56

200GbE 用には QSFP56 と呼ばれるフォームファクタが適用される。モジュールの形状・サイズは、既存の 100GbE 用の光トランシーバである QSFP28 と同じで幅 18.4×長さ 72×高さ 8.5 (mm) である。図 2 に 200GBASE-FR4 および 200GBASE-LR4 と呼ばれる 2 km および 10 km の光インターフェース規格準拠のモジュールの構成を示す。光インターフェースは 1 波長あたり 50 Gb/s PAM4 を 4 波長で束ねて伝送する WDM 方式であり、その波長を表 3 に示した。10 km 用の規格である 200GBASE-LR4 の波長は LAN-WDM と呼ばれ、表 2 で示した 400GBASE-FR8/LR8 の波長の長波側

表 2. 400GBASE-FR8/LR8 光インターフェース波長

Lane	Center Wavelength (nm)	Wavelength MIN (nm)	Wavelength MAX (nm)
L ₀	1,273.54	1,272.55	1,274.54
L ₁	1,277.89	1,276.89	1,278.89
L ₂	1,282.26	1,281.25	1,283.27
L ₃	1,286.66	1,285.65	1,287.68
L ₄	1,295.56	1,294.53	1,296.59
L ₅	1,300.05	1,299.02	1,301.09
L ₆	1,304.58	1,303.54	1,305.63
L ₇	1,309.14	1,308.09	1,310.19

図 2. QSFP56 の内部ブロック図

表 3. 200GBASE-FR4/LR4 光インターフェース波長

200GBASE-FR4 Lane	Center Wavelength nm	Wavelength Range nm
L0	1,271	1,264.5 to 1,277.5
L1	1,291	1,284.5 to 1,297.5
L2	1,311	1,304.5 to 1,317.5
L3	1,331	1,324.5 to 1,337.5

200GBASE-LR4 Lane	Center Wavelength nm	Wavelength Range nm
L0	1,295	1,294.5 to 1,296.6
L1	1,300	1,299.0 to 1,301.1
L2	1,304	1,303.5 to 1,305.6
L3	1,309	1,308.1 to 1,310.2

Source: IEEE cole_50GE_NGOATH_01_0116

の4波長と同じであり、CFP8で使われるTOSAをそのまま適用可能である。一方2 km用の規格である200GBASE-FR4の波長は無温調で動作するレーザの適用を想定したCWDM波長であり、データセンター用に低コスト、低消費電力を意識した仕様となっている。これら200GbEの規格は第一世代400GbEと同じく50 Gb/s PAM4をベースとしており、既に第一世代400GbEに開発が進んでいる技術をそのまま適用可能であることから、本年中にはサンプル出荷が始まるものと見込まれる。

3.2.2 第二世代400GbE: QSFP56-DD³⁾/OSFP⁴⁾/COBO⁵⁾

次世代イーサネットの最終的なゴールは第二世代400GbEであることがマーケットのコンセンサスとなっている。第二世代400GbE用光トランシーバに要求される制約条件は、ファブリックスイッチのボードの単位である19インチラックに最低32個搭載可能であること（ボードあたりの伝送容量は12.8 Tbps）である。そのような要件を満たすソリューションとして現在3つのフォームファクタが注目を集めている。QSFP56-DD、OSFPおよびCOBOである。表4に第一世代のCFP8と第二世代のQSFP56-DDおよびOSFPとのサイズ、19インチラックあたりの伝送容量の比較を示す。表4を見てわかるように、QSFP56-DDおよびOSFPはCFP8に比べてサイズが大幅に小さくなっていることが分かる。またQSFP56-DDとOSFPを比べるとOSFPの方が若干サイズは大きい、19インチラックあたり12.8 Tbpsの要求条件は満足している。このような小型化および低消費電力化を実現するためには光および電気のレーン数の削減が必要であり、QSFP56-DDおよびOSFPの光インターフェースは1波長あたり100 Gb/s PAM4を4レーンまたは4波長で束ねて伝送する方式、電気インターフェースは400GAUI-8と呼ばれる50 Gb/s PAM4×8レーンとなる見通しである。光インターフェースに関してはパラレルSMFを用いて100 Gb/s PAM4を4レーンで伝送する400GBASE-DR4という規格化が802.3 bsのタスクフォースで進行中であるが、4波長で束ねて伝送する規格は現時点で存在せず、今後の規格化が待たれる。またCOBOはオンボードタイプのモジュールであり、Microsoft主導で仕様化が進められている。オンボードタイプのメリットとしてはボードのフェースプレートの実装密度が光モジュールの大きさで制約されないため、ボードあたりの伝送容量を上げることができること、また光モジュールをApplication Specific Integrated Circuits (ASIC)

表4. 次世代400GbE用フォームファクタ比較

	CFP8	OSFP	QSFP-DD
サイズ L×W×H (mm)	102×40×9.5	100.4×22.6×13*	78.3×18.4×8.5
電気インターフェースのレーン数	16	8	8
19インチラックあたりのポート数	18	32	36
19インチラックあたりの伝送帯域	7.2 Tb/s	12.8 Tb/s	14.4 Tb/s

*With heat sink

の近くに配置できるため、ボードあたりの消費電力を低減できるところなどがある。ただし次世代イーサネットに要求される伝送帯域である12.8 TbpsはQSFP56-DDやOSFPで達成可能であることから、プラグブルトランシーバのメリットを捨ててまで採用するメリットは少ないと考えられ、400GbEの次のイーサネット規格での適用が期待される。

4. まとめ

今後クラウドデータセンターに牽引されて行くと見られる、次世代イーサネット対応の光トランシーバの動向について概観した。次世代のスイッチASICのロードマップに牽引され、今現在急速に導入が進んでいる100GbE用の光トランシーバの次世代のイーサネット対応の光トランシーバの導入が2018年には始まると予測されているが、その方向性にはエンドユーザであるクラウドデータセンターオペレータにより、200GbEの導入や第二世代400GbEの導入など複数のシナリオが存在する。また次世代イーサネット対応のトランシーバも、第一世代400GbE用CFP8に加えて、QSFPタイプ、OSFPタイプおよびオンボードタイプなど複数のソリューションの提案があり、マーケットは細分化の傾向にある。最終着地点は第二世代400GbE（1波長100 Gb/s PAM4）であるも、その量産時期がいつになるかにより複数のシナリオが存在し、光トランシーバ製造メーカにおいては、どのソリューションに注力するか悩ましい状況が今後続く予想される。

(2017.5.17- 受理)

文 献

- 1) IEEE 802.3 (Ethernet): <http://www.ieee802.org/3/>
- 2) CFP MSA: <http://www.cfp-msa.org/>
- 3) QSFP-DD MSA: <http://www.qsfp-dd.com/>
- 4) OSFP MSA: <http://osfpmasa.org/>
- 5) COBO (Consortium for On-Board Optics): <http://cobo.azurewebsites.net/>

用語解説

MSA：光トランシーバの形状やフットプリント、制御インターフェースなどを規定する業界団体標準。

PSM：多芯のSMFの光インターフェース。

著者紹介

平本清久（ひらもと きよひさ）

1989年3月東北大学物理学科卒業、1991年3月同大学院物理学科卒業。1991年4月日立製作所中央研究所入所、EDFA 励起用980 nm 帯ポンプ半導体レーザの開発に従事。1999年10月よりアメリカ Hitachi Semiconductor America にて営業技術職として駐在、2004年1月帰国、同年日本オプネクストへ転籍。以来10 Gb/s、40 Gb/s、および100 Gb/s 光トランシーバの製品企画およびマーケティングを担当。またXFP、CFP、PSM4、CWDM4など数々のMSAやIEEEなどの標準化会合活動へ参画。現在は主に100 Gb/s 超級の光トランシーバの製品企画およびマーケティングに従事。