

大容量光伝送用デバイス

次世代の光伝送基盤を実現する鍵となる 光伝送用デバイスの小型化・省電力化を追求

NTT デバイスイノベーションセンターにおける取り組みの1つの柱が、光ネットワークシステムを支えるデバイス技術のプロダクト化である。次世代の超高速光伝送基盤を経済的に実現するには、光ネットワークシステムを構成する光伝送用デバイスの大容量化と省電力化が欠かせない。光ネットワークシステムのキーデバイスの1つである「デジタルコヒーレントトランシーバ」の小型化と低消費電力化を例に挙げて、同センターにおける光伝送用デバイス開発の取り組みについて紹介する。

光伝送用デバイスの消費電力は 大容量化しても増やせない

光ネットワークシステムを構成する光伝送用デバイスの消費電力は、通信速度が高速化（大容量化）しても基本的にはあまり増やせない。デバイスの配置場所の電源容量や空調能力が決まっているからだ。そのためビット当たりの消費電力は、速度が10倍になった場合には、10分の1に抑えるのが理想的である。

ただし現実には、このような低消費電力化を実現するのは非常に難しい。NTT はこれまで、2.4Gbps、10Gbps、40Gbps、100Gbps と光伝送システムを堅調に大容量化してきたが、消費電力については大容量

化に伴う技術の高度化等の理由で高止まりしている状況にある。例えば、10Gbps 伝送システムを基準にすると100Gbps 伝送システムのビット当たりの消費電力は3分の2程度にしか抑えられていない。

「100Gbps 伝送システムでは、超高速デジタル信号処理を取り入れたデジタルコヒーレント光伝送技術を採用しています。伝送距離が飛躍的に伸びた一方でこのデジタル信号処理用のLSIにより消費電力が増加しました。このLSIを構成部品に持つデ

ジタルコヒーレントトランシーバというデバイスの消費電力を、これからどれだけ削減できるかが大きな課題です。」（フォトリックネットワークデバイスプロジェクト 主幹研究



NTT デバイスイノベーションセンター
フォトリックネットワークデバイスプロジェクト
[左から] プロジェクトマネージャ 金子 明正氏
主幹研究員 石川 光映氏

員 石川 光映氏)

デジタルコヒーレントトランシーバは2012年頃から使われるようになった新しいデバイスということもあり、技術の進展が非常に速い。光伝送デバイスに関する標準規格やプロトコルを策定する業界団体「OIF (The Optical Internetworking Forum)」は、デジタルコヒーレントトランシーバの消費電力やサイズについての規格を定めているが、その規格は1~2年ごとに目まぐるしく変わっている(図1)。

デジタルコヒーレントトランシーバの開発者は、この規格を満たすように装置の小型化と低消費電力化を進めていく必要がある。2016年3

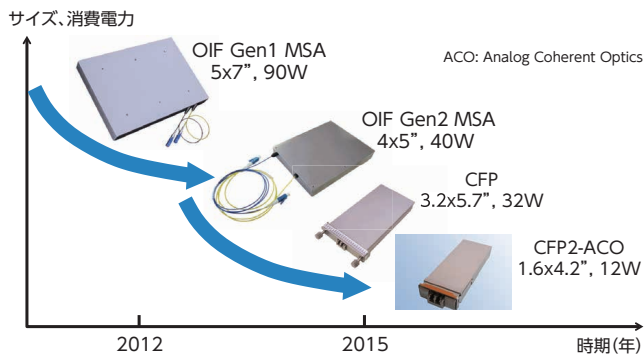


図1 デジタルコヒーレントトランシーバの変遷

現時点の最新規格は「CFP2-ACO」である。同規格への対応は各社から発表されているが、すでに量産化を達成しているのは NTT 技術を活用した 1 社を含めた 2 社だけである。

光変調器の材料としてリン化インジウム (InP) を採用

デジタルコヒーレントトランシーバは図2のような構成になっている。キー部品は、光源となる「狭線幅波長可変レーザー」、信号を光に載せる「光変調器」、光信号を受ける「集積コヒーレント受信器」、信号をデジタル処理する「DSP」の4つである。

光変調器については、NTT が長年研究してきたリン化インジウム (InP) という材料を採用することで、小型化や省電力化、高速化を実現した。同材料は、光変調器に使われることが多いニオブ酸リチウム (LiNbO3) に比べて効率が 10 倍高い物性定数を持っており、サイズをニオブ酸リチウムの 10 分の 1 の 3mm に小型化できる (図 3 左)。

また、リン化インジウムの素子は駆動電圧が低いことに加え、電気信号を差動方式で与える構成として低消費電力を実現している。動作の安定性も高く、ニオブ酸リチウム変調器で見られたような稼働中に次第にバイアスが変化するような現象はみられないという。

その一方、波長や温度への依存性が大きいという欠点もある。そのため、温度を一定に保つペルチェ素子を使用することで対応している。「NTT 研究所では、優れた特性を持

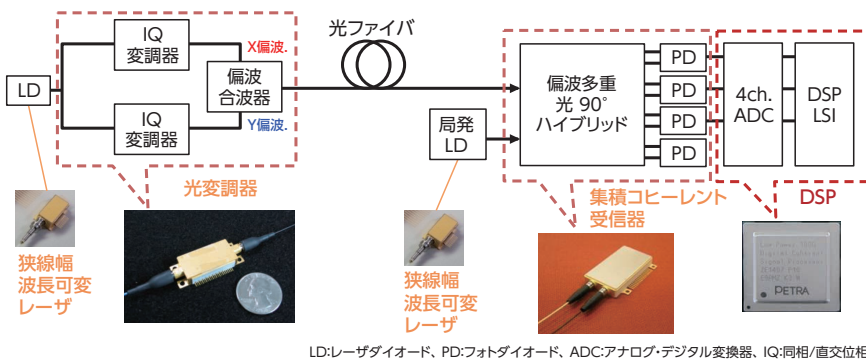


図2 コヒーレントトランシーバのキー部品

光変調器

- 小型、低電圧、技術完成度の高さから InP (リン化インジウム) 材料を使用

	LiNbO ₃	InP
サイズ	大 (~3cm)	小 (~3mm)
駆動電圧	大 (~3V)	小 (1.5~2.5V)
変調速度 (材料起因)	高速 (>35GHz)	非常に高速 (>45GHz)
波長・温度依存性	非常に小	大
光損失	小	中
安定性	低 (バイアス変動)	高

集積コヒーレント受信器

- 部品の小型化とアレイ化 (多連化)
- マイクロレンズを介した PD との集積

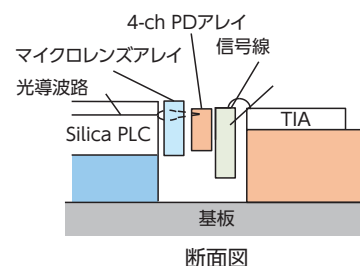


図3 コヒーレントトランシーバの小型化、低消費電力化を実現する技術

つリン化インジウムに 10 数年前から着目して研究を進めてきました。他社に先駆けてプロダクト化を実現できたのは、長年にわたる地道な研究で同材料の長所・短所を知り尽くしていたからだと自負しています。」(石川氏)

PLCとマイクロレンズアレイで光受信器を小型化

受信器については、他の光伝送デバイスで実績のあるシリカ PLC (プレーナ光波回路) 技術を活用して部品点数削減と小型化を実現した。PLC 技術とは電子回路を集積した IC と同様に、基板表面上に石英ガラスなどの薄膜を形成してそこに光

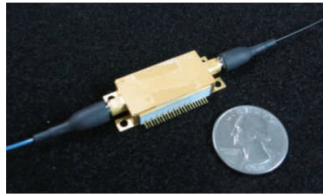
導波路を作成する技術である。

PLC で導いた光は、PLC 端面に貼り付けたマイクロレンズアレイ (複数のマイクロレンズを並べたもの) を介してフォトダイオード (PD) に伝える (図 3 右)。こうした工夫によって、従来の受光器に比べてサイズを半分以下 (約 2.8 分の 1) にできた。

こうして開発した光変調器と集積光受信器の写真と特徴を図 4 に挙げた。小型であることや、優れた特徴を備えていることが分かる。

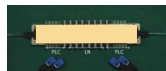
表 1 は、以前の製品 (第 1 世代) と現行製品 (第 2 世代) のスペックを比較したものである。小型化と省電力化を達成できたことが一目瞭

InP偏波多重直交変調器
(34×15.6 mm)



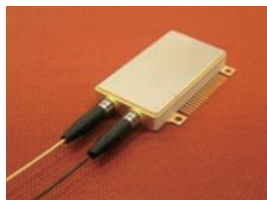
- ・差動駆動
- ・表面実装型RFインタフェース
- ・駆動電圧 (Vp): < 2.5V@32Gbaud
- ・消光比: > 20dB
- ・サイズ: 既存LN変調器の1/2以下

(参考)
LN変調器



全長 > 90mm

集積光受信器
(16×30×5 mm)



- ・シリカPLC偏波多重90°光ハイブリッド
- ・マイクロレンズアレイを用いたPDとのハイブリッド集積
- ・可変光減衰器を集積し、広い入力光強度範囲に対応
- ・OIF準拠のパッケージ

図4 小型・低消費電力の光変調器と集積光受信器を開発

デバイス	項目	第1世代	第2世代
光変調器	構成	LN	InP
	サイズ	13.2×90.5×7mm	15.6×34×6.5mm
	消費電力*	5.2W	3.5W
集積型受信器	構成	GEN1-ICR	GEN2-ICR
	サイズ	27×50×9 mm	16×30×5 mm

* 変調器+ドライバの消費電力。ドライバ消費電力はOIF2013.239.00による

表1 第1世代デバイスと第2世代のデバイスの比較

然である。「光変調器の消費電力は信号を与えるドライバによって概ね決まります。ニオブ酸リチウム(LN)用のドライバの消費電力が5.2W、リン化インジウム用のドライバは2.5Wです。リン化インジウムの方は温度を一定に保つためのペルチェ素子の駆動に1W程度必要です。そのためトータルでは3.5Wの消費電力となります。」(石川氏)

次世代規格への対応に向けてシリコンフォトニクスを研究

現行規格(CFP2-ACO)では、デジタルコヒーレントトランシーバの幅は1.6インチ(約42mm)と規

小さな領域に閉じ込めることができる。多数の光回路を集積できることから、デバイスをより小型化できる。

LSIの製造で培ってきた高度なプロセス技術を活用できることも利点である。「光回路の集積度は、光の性質上、電子回路ほどは上げられません。そのため、LSIでは数世代前に相当するプロセス技術で十分対応できます。減価償却した設備を活用できるため、非常に経済的です。シリコンフォトニクスによって光伝送デバイスのさらなる小型化・経済化に道が拓けると期待しており、NTT デバイスイノベーションセンターにおいてもシリコンフォトニクスの研究

定されているが、1~2年後に実用化される見込みの次世代規格(CFP4)では、これが半分の約21mmになる。

こうした小型化を経済的に実現できるとして注目されている新技術が「シリコンフォトニクス」である。これは、シリコン基板上に集積光回路を作成する技術である。シリコンはガラスに比べて屈折率が大きく、光を

開発を進めています。これまでに同技術を使った集積光送受信器を開発しています。」(同プロジェクトプロジェクトマネージャ 金子 明正氏)

有望な新技術であるシリコンフォトニクスではあるが、光変調器に使う場合は、物性上の制限から変調速度を最大で45Gbaud程度までしか上げられない問題がある。それに対して、リン化インジウムを使った変調器は64Gbaudといった高速変調にも対応できる。「そのため、小型化や経済化の優先度が高いデータセンター間接続にはシリコンフォトニクス変調器、高速・長距離伝送が必要な部分にはリン化インジウム変調器を使うといった棲み分けがなされると予想しています。なぜ両方の技術を研究しているのかと聞かれることがあります。そうした未来を想定しているからです。」(金子氏)

光伝送デバイス小型化技術としてほかに検討しているものに、デジタル信号処理をするDSPの活用が挙げられる。高速な信号をやり取りするようになると、基板上の短い距離を進むだけで信号が劣化してしまう。それをアナログ的に補うには、比較的大がかりな仕組みが必要である。DSPで信号をデジタル処理すれば、劣化した信号を簡単に補正できる。

「光伝送デバイスの分野は非常に競争が激しく、今後どういう技術が生き残るか不透明です。幅広い視野で技術の研究を進め、タイムリーな技術開発を実現していくつもりです。」(金子氏)