

## ECOC2007 ショート速報 [光伝送システム]

報告者：森田 逸郎 (KDDI 研究所)

会議名：33rd European Conference on Optical Communication (ECOC2007)

開催期間：2007年9月16日-20日

開催場所：International Congress Centrum (Berlin, ドイツ)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*  
9月にドイツ・ベルリンで開催された ECOC2007 について、主に基幹系システム向けの光伝送技術に関して報告する。今年の光伝送技術関連の発表では、100GbE 伝送技術、デジタル信号処理を用いたコヒーレント受信技術、光 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送技術に関する報告が注目を集めた。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

第33回目となる今年の ECOC (European Conference on Optical Communication) は、9月15日から20日にかけて、ドイツのベルリンで開催された。本会議初日のプレナリー・セッションの時点で登録参加者数は1150人と発表され、昨年に引き続き1000人以上の多数の参加者を集めた。投稿論文数は、一般論文で737件、最新の研究成果が発表されるポストデッドライン (PD) 論文で63件と、昨年 (一般論文：955件、PD論文：96件) よりわずかに減少した。プレナリー・セッションでは、採択論文の全著者数の統計も発表されたが、首位の日本は474人と他国を圧倒しており (2位の米国は282人、開催国のドイツは3位で274人)、本会議に対する日本からの貢献の大きさを明確に示した。本稿では主に基幹系向けの光伝送システム関連のトピックスに関して報告する。

## 2. 100Gbit/s 伝送

初日の午前中に、“100GbE for Carrier Class Transport Networks”が開催され、キャリアクラスイーサネットの必要性や、100GbEを実現するためのスイッチ技術、光信号伝送技術について議論された。本ワークショップは、日曜日の午前中の開催にも関わらず、150人以上の参加者が集まった。本会議中でも、100Gbit/s 伝送関連の発表がある“High Speed Transmission”セッション等では立ち見が出るほどの多くの聴衆が集まり、100Gbit/s クラスのイーサネットへの関心が非常に高くなっていることがうかがわれた。IEEE802.3で次世代高速イーサネットの標準化検討を進めている HSSG (Higher Speed Study Group) では、10Gbit/s、または、20-25Gbit/s ベースの並列伝送が中心に議論されているが、100GbE の長距離トランスポートを念頭においた単一波長による 100Gbit/s シリアル信号の長距離伝送に関する検討も進展している。NTT は、光領域で生成した 100Gbit/s OFDM 信号 (50Gbit/s DQPSK x 2 サブキャリア) を 30 チャネル波長多重し、10 の OADM (Optical Add/Drop Multiplexing) ノードを含む 1300km 伝送実験の結果を報告した (PD1.7)。本実験では、DQPSK 信号生成用に一般的に用いられている並列型のマツハツェンダ (MZ) 型光変調器を 2 台

集積した（計4台のMZ型光変調器を集積）モジュールを使用した。また、Alcatel-Lucentのドイツのグループは、シリアル電気多重による107Gbit/s NRZ信号を光フィルタによりVSB（Vestigial Side Band）フィルタリングする方法を用いた、80チャンネル、510kmの波長多重伝送実験結果（PD1.8）を報告した。本実験では、光変調器およびそのドライバの帯域不足による波形劣化の影響をVSBフィルタリングにより波形等化することで特性改善を図っている。Alcatel-Lucentの米国Bell研究所のグループは、26.75GSymbol/sのRZ-DQPSK信号を偏波多重した107Gbit/s信号と、42.7Gbit/sのRZ-DQPSK信号（シンボル速度：21.3GSymbol/s）を50GHz間隔で混在させた1280kmのWDM伝送実験結果（PD1.9）を報告した。本実験では、107Gbit/s信号の偏波分離には手動制御の偏波コントローラと偏波ビームスプリッタを用いており、偏波分離後の53Gbit/s DQPSK信号は、遅延干渉系を用いて復調した後、バランスド受信している。伝送カテゴリで、Alcatel-Lucentのグループは、後述するポストデッドライン（PD）論文をもう1件（PD1.6）発表しており、伝送関連の4件のPD論文の内、3件がAlcatel-Lucent（米国、フランス、ドイツのグループ）からの発表となり、発表中のイントロ部分で同一のスライドを使用するなど、Alcatel-Lucentの技術力を強くアピールした。

### 3. 変復調方式

光伝送速度の高速化にともなって、従来の強度変調方式（OOK：On Off Keying）では十分な伝送特性を得ることが難しくなっている。そのため、位相変調方式を中心に、従来のOOK方式とは異なる変復調方式の検討が盛んになっている。今回のECOCでは、コヒーレント・システムとOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）に関するセッションが各2セッション設けられ、これらの技術に対する注目が集まった。

#### 3.1 光OFDM

高速光通信へのOFDMの適用を早くから提唱し、その有効性をOFC2006のPD論文で示したオーストラリアMonash大学のLowery教授によるチュートリアル講演（4.2.1）は、立ち見が出るほどの盛況で、本技術に関する注目の高さを示した。光OFDM伝送の大きな特徴は、高速信号を多数の低速信号（サブキャリア）に分割して伝送することにより、高速光信号伝送で大きな障害となる波長分散や、偏波モード分散（PMD）に対する耐力が飛躍的に増大することである。KDDI研究所の著者らのグループは、26.3Gbit/s光OFDM信号を偏波多重して52.5Gbit/s（誤り訂正符合やOFDM伝送に必要なガードインターバル等の付加ビットを除いた伝送速度は40Gbit/s）に高速化し、分散補償ファイバを一切用いずに4160kmの標準シングルモードファイバ伝送が可能であることを示した（PD1.3）。本実験では、無線通信でも用いられているMIMO（Multi Input Multi Output）技術を用いて受信機での偏波分離を行っている。また、40Gbit/s相当の光信号を50GHz間隔で波長多重伝送しており、光OFDMの高密度WDM伝送への適用性も示している。

光OFDMとして一般に検討されている方式では、フーリエ変換を初めとしたデジタル信号処理を前提にOFDM信号発生・受信を電気領域で実現し、光部品への要求の低減を図っている。これに対し、前述したNTTのグループによる光OFDM伝送実験（PD1.7）では、光領域でOFDM信号を生成・受信するため、サブキャリア毎に光変調器と光受信器が必要となるアプローチとなっている。そのため、サブキャリア数も他の検討では100程度以上を前提としているのに対し2サブキャリアにとどまっており、OFDMを高分散耐力化を目的としてではなく、超高密度多重化したWDM伝送に適用したような実験となっている。

#### 3.2 コヒーレント光通信

デジタル信号処理を用いたコヒーレント受信方式（デジタル・コヒーレント受信方式）の提案により、コヒーレント光通信の実現性が高まり、本方式の有効性を示す発表が多数あった。現在、主に検討されているのは局部発振光が送信光源の周波数が完全に一致していなくても良いイントラダイン方式であり、実現の難しい光位相同期ループを不要とする効果が大きい。また、前述の偏波多重光 OFDM 伝送（PD1.3）と同様に、光受信機を偏波ダイバーシティ構成とすることで、デジタル信号処理による偏波分離が可能であり、偏波多重方式の併用が可能なる点も特徴である。偏波多重を併用した方式は、高速信号伝送のシンボル速度低減に有効であり、40Gbit/s 伝送システムに適用した報告（7.2.2、7.2.3、8.3.1、10.4.1、10.4.2）の他、80Gbit/s や 100Gbit/s 伝送システムに適用した例も報告された（1.3.2、PD1.6）。PD1.6 では、Alcatel-Lucent のフランスのグループが、偏波多重 80Gbit/s QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)信号を 50GHz 間隔で波長多重伝送した 160 チャネル（総伝送容量：12.8Tbit/s）、2550km の長距離 WDM 伝送実験結果を報告した。本実験では、従来は 300km 以下にとどまっていた 10Tbit/s 以上の大容量伝送の伝送距離を一挙に 2000km 以上に延伸している。

#### 4. 電気分散補償

電気分散補償（EDC：Electronic Dispersion Compensation）に関しても、初日の午後に開催されたワークショップに始まり、複数のセッションで種々の報告があった。Feed Forward Equalizer(FFE)と Decision Feedback Equalizer(DFE)を用いたアナログ型の EDC については、Alcatel-Lucent のドイツのグループから OOK、DPSK(Differential Phase Shift Keying)、デュオバイナリの各種変調信号に対する効果の比較（3.1.2）や、DPSK 信号に対する PMD 耐力改善（3.1.4）について報告された。NTT のグループからは、DQPSK 信号に対する PMD 耐力改善（3.1.3）が報告された。Alcatel-Lucent のグループは、適応型 EDC を用いているのに対し、NTT のグループは固定式 EDC を用いている。また、伝送中に受ける波長分散の効果の逆特性を送信信号に加えることで、波長分散の影響を抑制する予等化方式に関しては、分散補償ファイバによる分散管理との併用時の効果（3.1.5）や、デュオバイナリ信号に適用した場合の所要サンプリング数の低減（3.1.6）が報告された。その他に、最尤系列推定（MLSE:Maximum Likelihood Sequence Estimation）に関しては独立したセッションが設けられ、DPSK 信号の受信に用いる遅延干渉系の 2 出力を用いた MLSE の効果に関する実験報告（9.1.2）や、予等化システムでの効果（9.1.3）について報告された。前述したデジタル・コヒーレント受信方式でも、電気領域での分散補償が可能であり（10.4.1）、デジタル信号処理による分散補償の検討も進展してきている。

#### 5. おわりに

デジタル・コヒーレント受信や光 OFDM 伝送等のデジタル信号処理をベースとした技術への関心が急速に高まっていることを再認識した今回の EOCC であった。これらの技術の研究に取り組む研究機関の拡がりと共に、予想以上のペースで技術開発が進む可能性もあるため、今後の技術の進展について注目したい。次回の ECOC2008 は、9月21日～25日にベルギーのブリュッセルで開催される予定である。

以上