

OFC/NFOEC ショート速報 [光ファイバ]

山本 義典 (住友電気工業株式会社)

会議名 : Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) and National Fiber Optic Engineers Conference 2011

開催期間 : 2011年3月6日-10日

開催場所 : Los Angeles Convention Center (Los Angeles, CA, 米国)

*****要約*****

OFC/NFOEC2011における光ファイバ関連の注目トピックスを紹介する。伝送用ファイバ関連の報告数が最も多くいずれも盛況であったが、ハイライトは、将来の大容量伝送を実現するための技術として、マルチコアファイバに大きな進展が見られたことである。また、低損失・低非線形ファイバなど他の伝送用ファイバにおいても実用を見据えた検討が盛んに進められているのに加え、高非線形ファイバ・微細構造ファイバ・増幅用ファイバについても、これまでに引き続き、特殊な機能を活かした研究成果が多数報告された。

1. はじめに

OFC/NFOEC2011は、2011年3月6日-10日に米国 Los Angeles にて開催された。本学会における光ファイバ関連報告は、招待講演、チュートリアル、ポスター、ポストデッドラインペーパーを含めて合計87件であった。筆者による分類では、プラスチック光ファイバ(POF)を含めた伝送用ファイバが34%と最も多く、応用検討を含めた高非線形ファイバ関連が18%、微細構造ファイバが14%と続く。数年前までは高非線形ファイバ関連の報告が最も多かったのに対して、昨年からは伝送用ファイバの割合が増加しており、また、発表セッションにおいても多くの聴衆を集めていた。さらなる大容量伝送の実現に対する期待が高まる中、それを支える伝送用ファイバ技術の研究に興味が高まっていると感じさせた。本稿では、OFC/NFOEC2011で報告された光ファイバ関連の研究成果の中から、筆者が特に注目したトピックスを紹介する。

2. 伝送用ファイバ

2.1 空間多重用マルチコアファイバ、モード多重用ファイバ

現行のシングルモードファイバにおける伝送容量の限界を打ち破る技術として、1本のファイバ中で空間多重またはモード多重を行う研究が近年盛んに行われている。空間多重伝送用のマルチコアファイバ(MCF)では、コア間のクロストーク低減が最大の技術課題であったが、本学会で非常に大きな進展があった。各コアにトレンチ型屈折率分布を採用することで光の閉じ込めを強くして、クロストークを低減した7コアMCFが、フジクラと住友電工からそれぞれ報告された。さらに、住友電工はクロストークがファイバの曲げ径に依存することを用いて、約17km伝送後に平均-77dB以下という極めて低い隣接コア間クロストークを実現し、ポストデッドラインペーパーでの報告を行った。10,000km伝送後もクロストークは実用上問題のないレベルであると推測している。また、ポストデッドラインペーパーにおいて、MCFを用いた大容量伝送実験が初めて報告されたことも特筆に値する。NICTは、前述の住友電工の7コアMCF 16.8kmを用いて、

97 波長の 172Gb/s 信号を伝送し、ファイバー本あたりの伝送容量では世界記録となる 109Tb/s の DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing : 高密度波長分割多重方式) 伝送を実現した。また、OFS は、より長尺の 7 コア MCF 76.8km において 56Tb/s (80 波長×107Gb/s) の伝送を報告している。伝送を行うには、通常のシングルモードファイバから MCF への入出力デバイスの実現も重要であるが、前者はレンズによる空間光学系、後者は 7 本のシングルモードファイバの一端をテーパ状にして束ねた fiber-based tapered multicore coupler を用いている。MCF の報告に対しては、学会では普通あまり聞かれないファイバの価格に関する質問が繰り返されるなど、このようなファイバが次世代の伝送用ファイバとして現実的なものになり得るのか知りたい、という聴衆の意図が感じられた。

また、モード多重伝送に関しても、NTT より 2 モードの 10Gb/s 信号をカットオフシフトファイバで 10km にわたって伝送させた結果が報告された。信号光波長を 1080nm とすることで LP01 と LP11 の 2 モードの伝搬を可能にしている。ファイバ入出力におけるモード変換装置もキーデバイスとなるが、ここでは長周期ファイバグレーティングを採用している。さらに、ポストデッドラインペーパーでは、The Univ. of Melbourne, Alcatel-Lucent Bell 研 (France), Alcatel-Lucent Bell 研 (米国) の 3 機関からそれぞれ 100Gb/s 級の 2 または 3 モード伝送が報告された。伝送技術の詳細はここでは割愛するが、波長 1550nm 帯で選択的に 2 または 3 モードのみを伝搬する few mode fiber を用いたのがファイバとしての共通した特徴である。また、モード変換装置としては、金属格子をファイバに押しつけることでグレーティングと同等の機能を持たせたもの、LCOS (Liquid Crystal on Silicon) を用いた位相マスク、位相板を介した空間光学系など、それぞれユニークな装置が提案されている。

空間多重およびモード多重による大容量伝送の可能性が本学会で示され、今後は、さらなる長距離伝送の実証や、マルチコア/マルチモード増幅など周辺技術の革新が望まれるだろう。マルチモード増幅については唯一 Technisch Univ. Dortmund よりその概念が提案されており、今後さらに研究が盛んに行われることを期待したい。

2. 2 長距離・大容量伝送用ファイバ

既に実用化が進みつつあるデジタルコヒーレント伝送に適したファイバとして、低損失・低非線形ファイバについての報告も盛んに行われた。Corning と住友電工の招待講演では、純シリカコアとすることで伝送損失を 0.16dB/km に低減し、さらに被覆樹脂を改善することで A_{eff} (実効断面積) 拡大に伴うマイクロベンドロスの増大を抑制し、従来 $80\mu\text{m}^2$ だった A_{eff} を $130\mu\text{m}^2$ 以上に拡大したファイバが報告された。このようなファイバの性能指数として OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) 改善量を用いるが、Corning の報告では OSNR 改善量がこれまでで最大となる伝送損失 0.157dB/km, $A_{eff}149\mu\text{m}^2$ のファイバが実現されている。また、 A_{eff} が拡大するとラマン増幅効率が劣化することが懸念されるが、むしろ OSNR を改善できることも両社より示され、ラマン増幅システムへの適用も期待される結果となった。 A_{eff} を $150\mu\text{m}^2$ 以上に拡大したファイバについては Draka と古河電工からもそれぞれ報告があり、Draka は、トレンチ型屈折率分布を採用することで、同じ A_{eff} に対してマイクロベンドロスを SSMF の 1/10 に低減することを示した。また、古河電工からは、クラッド部に空孔を配することでマイクロベンドロスを低減できることが実験的に報告された。昨年引き続き、所謂ヒーロー伝送実験においても低損失・低非線形ファイバは広く使用されており、近年の長距離・大容量伝送技術の進展に大きな貢献を果たしている。

2. 3 Bend insensitive fiber, プラスチック光ファイバ

アクセス系で用いる Bend insensitive fiber に関しては、hole-assisted fiber (HAF) の空孔構造と空孔表

面粗さを双方向 OTDR で評価できることを実験的に示したフジクラの報告をはじめ、ファイバ評価手法や信頼性など、実用面を考慮した検討が多くなされている。

同じくアクセス系用途では、Politecnico di Torino がステップインデックス型の POF 75m で、real-time の 1Gb/s 双方向伝送を実現した。1mm と石英ファイバに比べて大きなコア径を持つプラスチック光ファイバは、敷設の容易性が長所であり、今後、home-networking への適用が期待される。Sydney 大学は、microstructured POF の伝送損失について、線引張力を上げることで空孔表面粗さを改善して、波長 650nm で 0.16dB/m と通常の POF 並の伝送損失を実証した。一方で、線引張力により残留応力が大きくなり、ファイバ化後に高温雰囲気下で損失増加する現象が見られたが、50°C程度でアニールすることで損失増加を抑えられることも報告している。実用的な観点からは、長期間の損失変化についても検討が待たれる。

3. 高非線形ファイバ、微細構造ファイバ、増幅用ファイバ

シリカベースの高非線形ファイバは、既にその応用検討に興味に移った印象があるが、ファイバ自体の発表としては、古河電工より直径 25mm の小型サイズにモジュール化された偏波保持高非線形ファイバが報告された。ボビンを使わずファイバをコイル状に保持することで、ボビン巻きによるファイバへのストレスを除去し、偏波クロストークを実用的な水準に抑えている。一方、石英より高い非線形係数を持つ材料を用いた、更なる高効率な非線形現象の応用も検討が進められている。Southampton 大学は、3 種類の市販 lead silicate ガラスを用いて W 型の屈折率分布とすることで、波長 1550nm 帯で小さくかつ平坦な波長分散特性を実現した。このファイバ 2.2m を用いて、四光波混合による 160Gb/s から 40Gb/s への高効率な demux を実証している。また、Bath 大学は微細構造ファイバに関するチュートリアルを行い、Lehigh 大学は bismuth-tellurite holey fiber における波長可変な third harmonic generation の観測を報告し、引き続き着実に研究が進められていることが感じられた。

増幅用ファイバとしては、新たな通信波長帯の利用を目指して、Bismuth-doped fiberによる 1430nm帯の増幅がRussian Academy of Scienceより報告された。波長 1310nm、パワー65mWの実用的なポンプ光を用いて 24dBの利得が得られるとしている。また、National Sun Yat-sen 大学は、powder-in-tube (PIT) と呼ばれる方法を用いて作製したクロム添加ファイバを報告した。PIT法を用いることでCr³⁺イオンによる蛍光強度を改善できるとしており、波長 800-1200nmの広帯域光源やOptical Coherence Tomography (OCT) 用光源としての応用が期待される。

4. ファイバ評価技術

OFDR (周波数領域光反射測定法) において、長距離測定と高い空間分解能との両立を狙った報告が NTT よりなされた。phase-noise-compensated OFDR と称する光源の位相雑音を補償する技術に加え、測定信号帯域を分割することで高速掃引を可能として外部環境の影響を抑え、測定距離 40km で 2cm の空間分解能を実現している。多くの陸上システムのスパン長が最大 80km 程度であるため、スパン両側から測定すると考えると、スパン全体を評価することができるため、実際の敷設伝送路の評価への適用が期待される。

5. おわりに

OFC/NFOEC2011 における光ファイバ関連のトピックスを紹介した。OFC/NFOEC2012 は、今年と同じく Los Angeles Convention Center にて 2012 年 3 月 4 日-8 日に開催される予定である。