

世界最高密度の光ファイバを実用に耐えうる信頼性で実現

～従来の光ファイバの100倍以上となる伝送容量で、ハイビジョン映画数千本の情報を1秒で転送可能に～

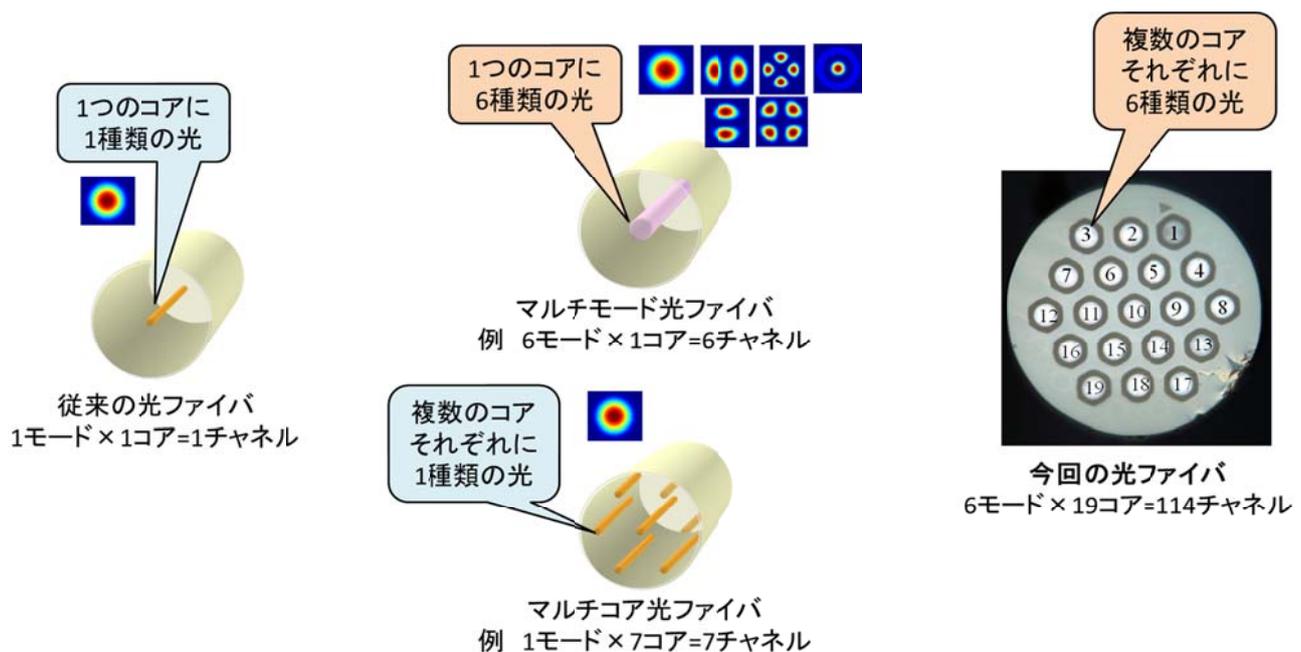
日本電信電話株式会社(東京都千代田区、代表取締役社長: 鶴浦博夫、以下 NTT)と株式会社フジクラ(本社: 東京都江東区、代表取締役社長: 伊藤雅彦、以下 フジクラ)、国立大学法人北海道大学(北海道札幌市、総長: 山口佳三、以下 北大)は、6種類の光(モード)を同時に伝搬可能な光の通り道(コア)を19個配置し、1本に114(=6モード×19コア)の情報経路(チャンネル)を多重化した世界最高密度の光ファイバを、250 μm以下という実用的な細さで実現しました。

今回、ガラス部分の直径^{※1}を250 μm以下と細く制限することで光ファイバの信頼性(折れない・曲げやすい)を維持し、高密度で取り扱いやすい光ファイバの作製に成功しました。このような光ファイバを用いることで、将来的にはハイビジョン映画数千本の情報を1秒で転送するようなことも可能となります。この研究で、今後のデータ通信量の増大に伴い必要とされる数ペタ・ビットから、その1000倍となるエクサ・ビットにも対応可能な信頼性の高い光ファイバに、実現の道が拓けたと言えます。

今後も、本光ファイバ技術の実用化をはじめ、将来の大容量伝送に対応可能な光伝送基盤の実現に貢献していきます。

今回の成果は3月にアメリカのアナハイムで開催された米国最大の光通信国際会議(OFC2016)におけるポストデッドライン論文^{※2}として報告しました。

なお、本研究開発の一部は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究成果を用いています。



従来の光ファイバから今回作製した光ファイバへ

【研究の背景】

平成 26 年版の情報通信白書^{※3}によると、日本のデータ通信容量は 2013 年 11 月時点で毎秒 2.5 テラ・ビット[2.5 Tbit/s](テラは 10^{12} でペタの 1000 分の 1)を超え、2020 年代の後半には 100 テラ・ビットを上回るデータ通信需要が生じるものと予想されています。そして同時期に、既存の光ファイバ(1 種類の光(モード)を伝搬可能な 1 つの光の通り道(コア)を有します)の伝送容量限界が顕在化すると懸念されています。したがって、2020 年代には光ファイバの本数そのものを増やすことが必要になりますが、光ケーブルに収納可能な光ファイバの数にも上限があり、光ケーブルを収納する空きスペースが無い場合には、地下や屋内の光配線設備から構築しなおす必要が生じます。

このため、1 本の光ファイバでより多くの情報を伝送することを目指し、1 本の光ファイバの中に複数のコアを配置したマルチコア光ファイバや、1 つのコアの中に複数のモードを導波可能なマルチモード光ファイバを用いるなど、1 本の光ファイバ内により多くの情報を伝送できる空間多重伝送により、既存光ファイバの伝送容量限界を打破しようとする研究開発が世界的に推進されています。しかし、実用的に利用可能な光ファイバ直径の上限や、コアの屈折率分布^{※4}の制御性の問題を考慮すると、コア数を増やすだけ、もしくはモード数を増やすだけでは、光ファイバ 1 本で 50 を超える情報経路(チャンネル)を実現することは現実的に困難でした。そこで、NTT、フジクラ、北大(情報通信フォトニクス研究室)は、コア多重(マルチコア)とモード多重(マルチモード)のベストミックスにより、実用的に利用可能な光ファイバ 1 本で 100 以上のチャンネルを多重可能にする光ファイバの研究開発を進めてきました。

【今回の研究概要とその成果】

今回の研究では、

「100 以上のチャンネルを有する光ファイバの設計指針の明確化」

「設計指針を踏まえ、大容量伝送に適した特性を持つ光ファイバの作製・評価」

「最新の光伝送技術を用いた大容量伝送への適用性の検証」

を行い、以下の 2 点を成し遂げました。

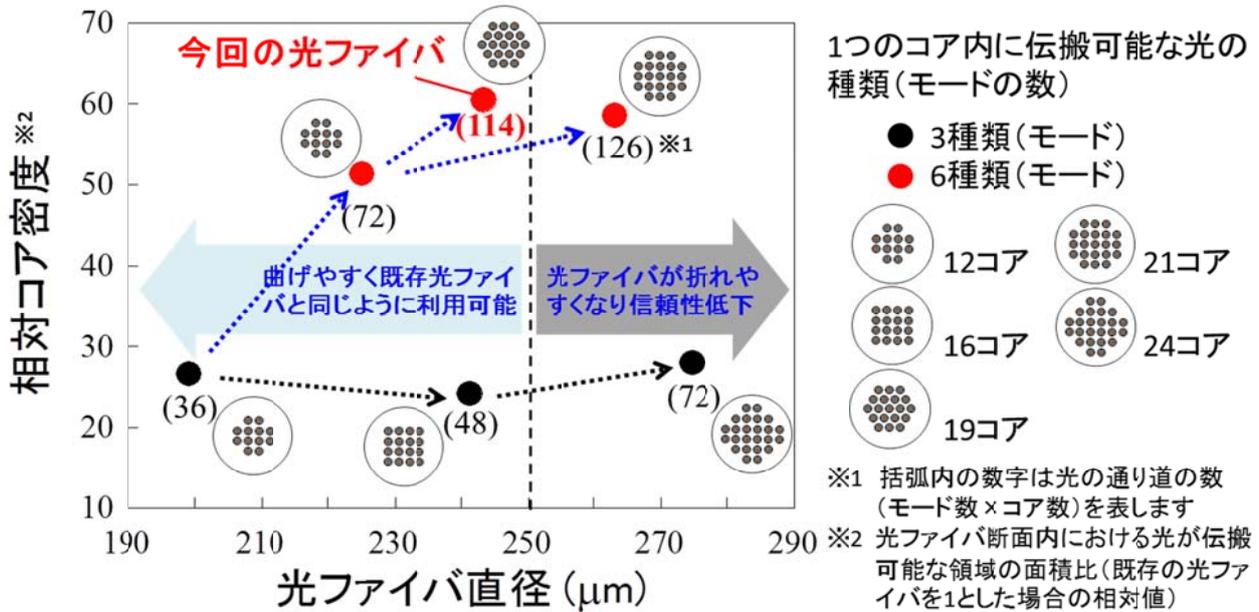
- ① 陸上光伝送路に適用可能な 250 μm 未満の光ファイバ直径で、114 チャンネル(=6 モード×19 コア)を多重することが可能となり、ペタからエクサ・ビットの超大容量伝送に対応可能な光ファイバ技術をより実用に近いレベルに高めることができました。
- ② 114 全てのチャンネルで優れた低損失性と均一性(光の通り道によって伝送特性が大きく変化しないこと)を実現し、最新の大容量伝送技術を用い、作製した光ファイバがペタ・ビット級の光伝送へも適用可能であることを明らかにしました。

以上の結果により、将来の実用性を有する世界最高密度の光ファイバを実現することができました。

【研究の詳細】

1. 光ファイバの設計指針

NTT ではこれまでに、光ファイバの直径を 250 μm 以下とすることにより、既存の陸上光伝送路と同等の半径 15~30 mm の曲がり半径を付与しても、20 年以上に渡り使用可能な光ファイバが実現できるという知見を得ていましたが、それを今回改めて実験し確認しました。そして、NTT と北大は、250 μm 以下の光ファイバ直径で 100 以上のチャンネルを多重するため、3 および 6 種類の光(モード)を伝搬可能な光の通り道(コア)の屈折率分布を最適化し、その最適化されたコア構造を用い、コア間の光信号の干渉^{※5}を十分に抑圧可能な様々なコア配置について検討を行いました。その結果、6 モードを導波可能なコアを蜂の巣状に 19 個配列することで、250 μm 未満の光ファイバ直径に、世界最大の 114 チャンネル(=6 モード×19 コア)を多重できることを明らかにしました。これは、従来の光ファイバ(1 種類の光(モード)を伝搬可能な 1 つの光の通り道(コア)を有します)の 60 倍以上に相当する世界最高の密度です。

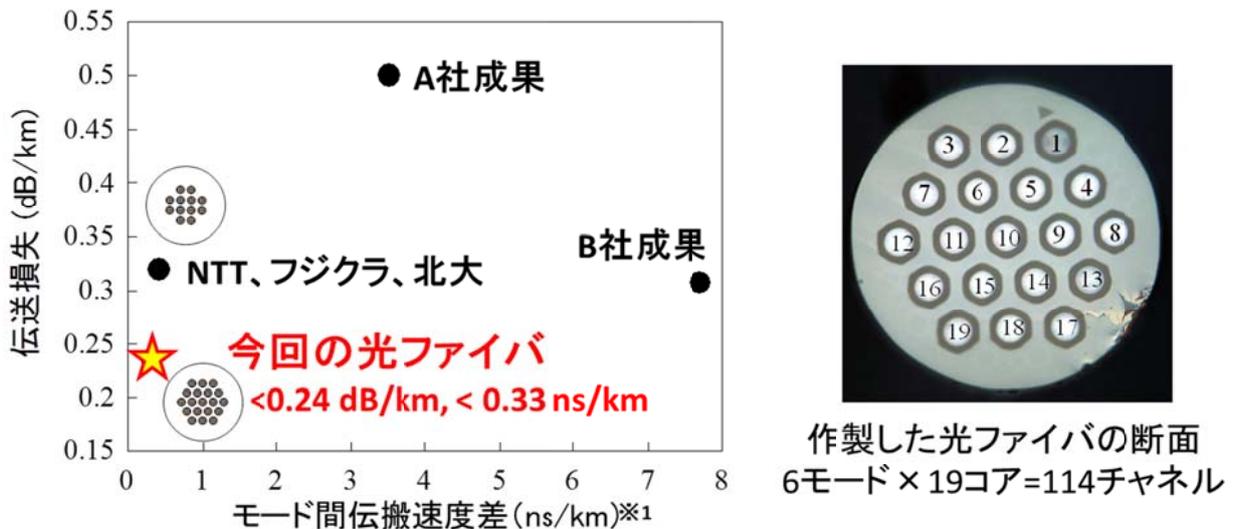


6種類の光(モード)が伝搬可能な光の通り道(コア)を蜂の巣状に19個配列することで、直径250 μm 未満の断面内に114(=6モード×19個)の情報経路(チャンネル)を実現できます。

図1 世界最高密度光ファイバの設計指針

2. 光ファイバの作製と評価

上述の設計指針に基づき、長さ8.85 kmの光ファイバをフジクラにて作製し、NTTにてその特性を評価しました。全114チャンネルの波長1550 nmにおける伝送損失は0.24 dB/km未満であり、これまでに報告されている6モードを用いたマルチコア光ファイバの中でも最小の伝送損失を実現しました。また、各チャンネル間における伝送損失の偏差は0.03 dB/km以下であり、極めて均一性の高い高密度光ファイバを実現することができました。更に、複数のモードを同時に用いた光伝送で重要になるモード間伝搬速度差^{※6}は0.33 ns/km未満であり、これまでに報告されている6モードを用いたマルチコア光ファイバの中でも最小の速度差を実現することができました。これは、19個のコアの屈折率分布が高精度に制御されていることを表すものです。



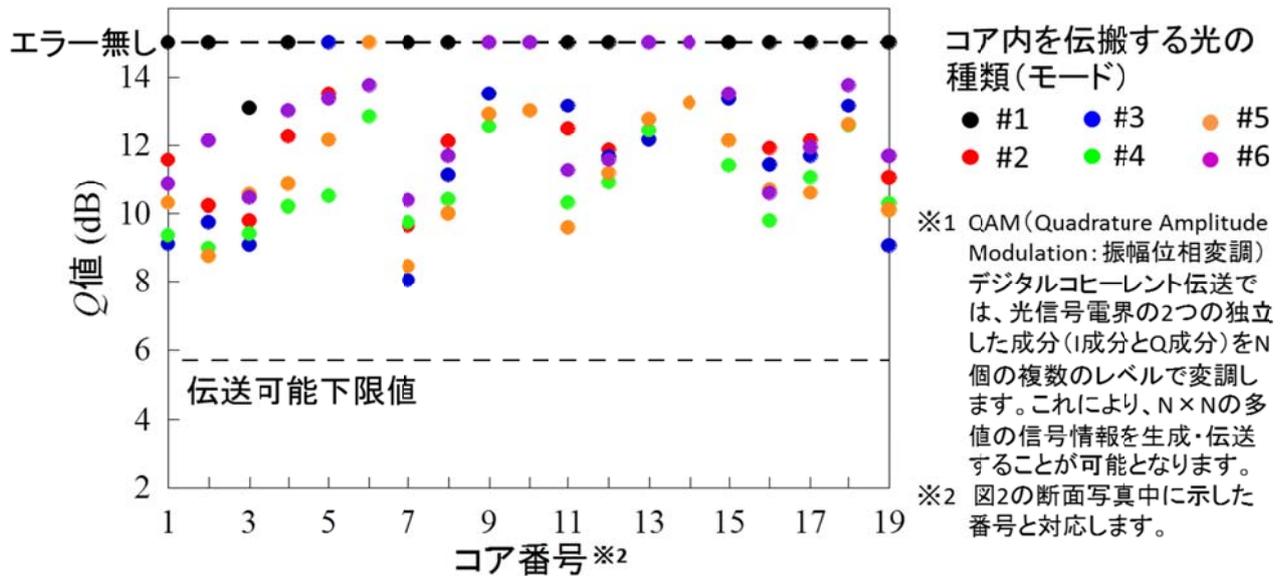
※1 同一のコア内を伝搬するモード間の速度の違いを表し、速度差が増大すると受信端で光信号を復元することが困難になります。このため、伝送損失と同様にできる限り小さな値が望まれます。

6種類の光(モード)が伝搬可能なコアを用いたマルチコア光ファイバの中で、最も長距離・大容量伝送に適した特性(低損失かつ低モード間伝搬速度差)を実現しました。

図2 作製した光ファイバの特性

3. 大容量伝送への適用性検証

NTT は、作製した 114 チャンネルを有する光ファイバが、実際の超大容量伝送への適用性を有するか否かを確認するため、最新の QAM デジタルコヒーレント伝送技術^{※7}と、入射端で 114 のチャンネルに異なる光信号を合波し、出射端で 114 のチャンネルからの光を分波する光ファイバ型の Fan-In・Fan-Out デバイスを用い、各チャンネルの伝送品質を評価しました。その結果、114 全てのチャンネルについて伝送限界を上回る良好な大容量伝送が行えることを確認しました。



最新の QAM デジタルコヒーレント伝送技術を用い、114 全てのチャンネルで伝送可能下限値を上回る良好な伝送品質 (Q 値) が得られることを確認しました。

図 3 QAM 信号の伝送特性

【今後の展望】

今回の研究成果は、光ファイバ内の空間(モードとコア)を有効に活用することにより、1 本で現在の 100 倍の伝送容量を有し、数十年の単位で安心して利用できる光ファイバの実現性を示したもので、限られた空間における伝送容量を飛躍的に増大することを可能にします。

今後も、本光ファイバの 2020 年代における実用化を目指すとともに、増大し続けるデータ通信需要に持続的に対応可能な光伝送基盤の実現に貢献していきます。

<論文情報>

タイトル: Low-loss and Low-DMD Few-mode Multi-core Fiber with Highest Core Multiplicity Factor

<参考・用語解説>

※1 光ファイバの直径

一般に光ファイバの直径が大きくなるとガラスの脆弱性が増大し、光ファイバ自身が折れやすくなってしまいます。このため、既存の光ファイバは半径 15~30 mm の曲げが加えられた状態でも、20 年以上に渡り使い続けられるよう、光ファイバの製造工程で微小な傷を取り除くプルーフ検査が施されています。現在の実用的なプルーフ検査で保証可能な光ファイバの直径の上限は 250 μm 程度になります。

※2 ポストデッドライン論文

一般論文投稿締め切り後(ポストデッドライン)に受け付けられる論文です。光通信国際会議では、本分野の研

究機関が会議直前の最新技術によって光通信技術の最高性能を競い合います。会議期間内に論文選考が行われ、極めて高い評価を受けた研究成果のみが報告の機会を得ることができます。

※3 平成 26 年版 情報通信白書(総務省)

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc255320.html>

※4 屈折率分布

光ファイバはコアの径方向の屈折率の高低を制御することで所望の伝送特性を実現するように製造します。複数のモードを伝搬するマルチモード光ファイバでは、屈折率がコア中心からコア外周部にかけて徐々に減少するように制御する必要があり、モード数の増大に伴いより高精度な屈折率の制御が必要となります。

※5 コア間の光信号干渉

光ファイバ中を伝搬する光はわずかながらコアの外周に染み出して伝搬していきます。このため、マルチコア光ファイバでは、隣接するコア間の距離が近すぎると各コアを伝搬する光信号間の干渉により伝送品質が劣化してしまいます。

※6 モード間伝搬速度差

同一のコア内を伝搬する複数のモードの伝搬速度は少しずつ異なるため、光ファイバの出射端では到着時間にばらつきが生じます。このモード間の伝搬速度差が大きくなると、光ファイバの受信端で光信号を復元することが困難になります。

※7 QAM デジタルコヒーレント伝送

従来の光通信では光の ON/OFF と情報の 0/1 を対応させることが一般的でしたが、QAM(Quadrature Amplitude Modulation: 振幅位相変調) デジタルコヒーレント伝送では、光信号電界の 2 つの独立した成分(I 成分と Q 成分)を N 個の複数のレベルで変調します。これにより、 $N \times N$ の多値の信号情報を生成・伝送することが可能となります。

<本件に関するお問い合わせ先>

■日本電信電話株式会社

情報ネットワーク総合研究所 企画部 広報担当

TEL: 0422-59-3663

Email: inlg-pr@lab.ntt.co.jp

■株式会社フジクラ

総務・広報部

TEL: 03-5606-1110

Email: wwwadmin@jp.fujikura.com

■国立大学法人北海道大学

<1>研究内容に関するお問い合わせ

北海道大学大学院情報科学研究科 教授 齊藤 晋聖

TEL: 011-706-6541

Email: ksaitoh@ist.hokudai.ac.jp

<2>報道に関するお問い合わせ

北海道大学総務企画部広報課広報・渉外担当

TEL: 011-706-2610

Email: kouhou@jimu.hokudai.ac.jp