

2012年9月20日

(報道発表資料)

日本電信電話株式会社
株式会社 フジクラ
国立大学法人 北海道大学
デンマーク工科大学

毎秒1ペタビット、50kmの世界最大容量光伝送に成功

～光ファイバ1本でハイビジョン映画 約5000本分を1秒で伝送可能に～

日本電信電話株式会社(本社: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:長浜 洋一、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:佐伯 浩、以下 北大)、デンマーク工科大学(Denmark Lyngby、President: Anders Overgaard Bjarklev、以下 DTU)は、12個のコア(光の通路)を持つ光ファイバ1本で毎秒1ペタ(1000テラ)ビット(ペタは1000兆、テラの1000倍)の超大容量データを52.4km伝送することに成功しました。

毎秒1ペタビットという数値は、2時間のハイビジョン映画5000本を1秒間で伝送可能な速度に相当し、中距離の中継ビルの間隔に相当する約50kmの伝送が可能になることを示しています。これまでの1本の光ファイバを用いた伝送性能として世界最高となるものです。

今回の成果は9月16日からオランダのアムステルダムで開催されているヨーロッパ最大の光通信国際会議(ECOC2012)において、9月20日(現地時間)にポストデッドライン論文^{*1}として発表されました。

なお、本研究開発の一部は、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)委託研究の成果を用いています。

1. 研究の背景

総務省統計[1]によれば、近年のFTTHやスマートフォンの普及に伴うブロードバンドサービスの急速な発展とともに、通信トラヒックは年率1.2倍(10年で約10倍)のペースで増え続けています。通信トラヒックの急増に対応する光ネットワークの大容量化は、これまで、光ファイバの基本構造は変えずに、光通信システム装置の大容量化を実現することにより経済的なインフラを実現し、ブロードバンドサービスの普及を支えてきました。現

在の大容量光ネットワークの基盤となっている光ファイバは、1本の光ファイバに1つのコア（光信号の通路）を持つもので、毎秒1テラビット容量を長距離伝送する光ネットワークが実用化されています。しかし、トラヒックの増加率から、将来の通信トラヒックへの長期的な対応が課題とされていました。

このような中で、DTUの盛岡教授（元NTT先端技術総合研究所）は、トラヒック増加を支え続ける長距離大容量光ネットワークの実現に向けて、1本の光ファイバに複数のコアを持つマルチコア光ファイバ等を含む新しい空間的な構造を持つ光ファイバを用いた空間多重光通信技術^{※2}の研究開発を提唱し、以来本分野を牽引してきました[2]。本提案は、最近の光通信システムの大容量化に関する世界的な研究開発の潮流になりつつあります。日本発の本提案の有効性の確認に向け、NTT、フジクラ、北大、DTUは、産学連携により、これまで、それぞれの持っている技術を結集し、空間多重光通信技術による実現目標領域（図1）を目指して、マルチコア光ファイバ設計・製造技術やその性能を極限まで引き出すための伝送技術の研究を進めてきました。

2. 実験と実験結果（図2）

光通信システムの大容量化を実現するために、今回、コアをほぼ同心円状に配置した新しい構造の12コアマルチコア光ファイバ、および入出力デバイスを開発し、各コアに高密度に波長多重可能なデジタルコヒーレント光伝送技術を適用しました。コアの新しい配列により、従来課題であったコア間の光信号の漏れ（クロストーク）を低減しています。さらに、光の波の性質（位相^{※3}・偏波^{※4}）を用い、多数の信号の伝送を可能とする偏波多重32値QAMデジタルコヒーレント技術を用いることで、コアあたりの伝送効率を、従来のマルチコア光ファイバ伝送と比較して、4倍以上に高密度化することに成功しました。

この結果、1コアあたり毎秒84.5テラビット伝送容量（=1波長あたり380Gbps容量 x 222波長チャンネル）を実現し、12コアのマルチコア光ファイバ1本で総容量毎秒1.01ペタビット（=12 x 84.5テラビット）の信号を52.4kmにわたり伝送可能であることを実証しました。それぞれのコアにおいて通信品質を示すQ値が非常に均一であることから、コアごとの伝送品質のばらつきやエラーのない高品質の通信が可能であることを示しています（図3）

今回の成果は、これまでの従来の光ファイバを用いた研究レベルの伝送容量記録 [3]に比較して10倍以上の大容量化を実現するとともに、空間多重光通信技術による実現目標領域においてマルチコア光ファイバを用いた伝送容量の世界記録である毎秒305テラビット（テラは1兆）伝送（伝送距離:10km）[4]を更新し、1本の光ファイバで、毎秒1ペタビットの大容量光伝送を世界で初めて実現しました。

3. 技術のポイントおよび役割分担

(1) 12 コア-マルチコア光ファイバ設計・製造・評価技術【NTT、フジクラ、北大】（図 4）

1本の光ファイバに複数のコアを持つマルチコア光ファイバでは、従来ファイバと同等以上のデータの低損失特性を実現するとともに、コア間の光信号が互いにもれて交じり合うこと（クロストーク）を十分低減することが重要となります。しかしながら、従来構造のマルチコア光ファイバは、コア数を7以上にするとクロストークによるコアあたりの伝送効率の劣化が課題となっていました。

今回、フジクラと北大は共同で、12個のコアをほぼ同心円状に配列した新しい構造（非六方細密構造）のマルチコア光ファイバを設計しました。隣接するコア数を左右1個ずつの2つにすることで従来構造のマルチコア光ファイバに比べてクロストークを低減することが可能となり、低損失特性との両立を可能としました。NTTがファイバ特性を評価した結果、各コアの光信号の損失特性は、従来の光ファイバとほぼ同等であり、コア間のクロストークもほぼ設計値以内で低減でき、コア間の各特性が均一なマルチコア光ファイバが実現できていることを確認しました。

(2) マルチコア光ファイバ入出力接続技術【NTT、フジクラ】（図 5）

通常の光送受信回路を用いて、光信号をマルチコア光ファイバの12個のコアに効率よく入出力するためには、通常の光ファイバを介してマルチコア光ファイバと高効率で接続する入出力接続デバイス技術（ファンイン・ファンアウト：12本の従来ファイバと1本の12コア・マルチコア光ファイバを安定な接続・変換を行う）を確立する必要があります。今回、12コア-マルチコア光ファイバのコアの位置にあわせ、従来の光ファイバ径に比較して1/3以下の細径の光ファイバを12本精度よく配置・実装する構造を提案し、低損失でコア間のクロストークを低減可能なファンイン・ファンアウトデバイスを実現しました。

(3) 高密度多値 QAM デジタルコヒーレント技術【NTT】（図 6）

従来の光通信では光 ON/OFF の2つの強度の状態を使って伝送する方式が一般的です。本提案では、スマートフォンでも一部適用されているデジタル信号処理を光通信に応用・発展させ、光の波の性質（位相・偏波）を用いて多数の信号状態を作ります。今回、デジタル信号の1と0を、この複数の信号状態に対応させて光信号を高効率に伝送する偏波多重多値 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) デジタルコヒーレント技術^{※5}を用い、新たにマルチコア光ファイバ伝送に応用することで、マルチコア光ファイバのクロストークがある程度あっても安定な伝送を実現し、1波長あたりの伝送効率を従来の ON/OFF 変調技術に比較して、約10倍以上向上可能な大容量光伝送技術を実現しました。

4. 今後の展開

今回の実験を通じて、光ファイバ自体の伝送性能を、現在実用化されている商用技術の1000倍以上に飛躍的に向上させる革新的な光通信システム実現のキーとなる要素技術を開発しました。光ファイバの空間的な構造の自由度を駆使する本技術を発展させ、光増幅技術等との連携より、さらなる長距離化の実現を目指すとともに、本技術により、今後のブロードバンドサービスの発展を支え続ける将来の長距離大容量光ネットワークの実現に貢献していきます。

[1] http://www.soumu.go.jp/main_content/000149220.pdf

[2] T. Morioka, *New generation optical infrastructure technologies: "EXAT initiative" towards 2020 and beyond*, 14th OptoElectronics and Communications Conference, OECC 2009 FT4 (2009).

[3] A. Sano et al, *102.3-Tb/s (224 x 548-Gb/s) C- and Extended L-band All-Raman Transmission over 240 km Using PDM-64QAM Single Carrier FDM with Digital Pilot Tone*, OFC.NFOEC2012, PDP5C.3 (2012).

[4] J. Sakaguchi, et al, *19-core fiber transmission of 19 x 100 x 172Gb/s SDM-WDM-PDM-QPSK signals at 305 Tb/s*, OFC.NFOEC2012, PDP5C.1 (2012).

【用語解説】

※1 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、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。会議期間内で論文選考が行われ、高く評価された研究成果のみが報告されます。

※2 空間多重光通信技術

光ファイバの空間的な自由度を活用したマルチコア光ファイバ、等の新しい構造を持つ光ファイバの特性を極限まで引出し、コアが一つしかない従来の光ファイバを用いた大容量光伝送と同等以上の光伝送効率を実現するための大容量光通信基盤技術の総称を意味します。

※3 位相

光は電波と同じように波としての性質を持っています。この波の振動するタイミングを位相と呼びます。波は周期的に振動していますので、位相は0～360度までの自由度を持っています。この自由度を使って、異なる位相（たとえば0度と180度）にデジタルデータの1,0を対応させ受信側でその位相の差を検出することで従来の光のON/OFFのみを使う方式に比べて高感度受信による長距離化や、高効率な通信による大容量化が可能となります。このような通信方式を位相変調と呼びます。

※4 偏波

光は電波と同様に、2つの独立な振動方向（X軸とY軸）があります。この独立な軸のことを偏波といい、3D映画ではよくこのような性質を使って、右目と左目に異なる情報を送って立体的映像を実現しています。従来の光通信では、受信側で2つの偏波の向きを安定に検出することが困難であったため、どちらか一方の偏波成分しか利用することができませんでした。デジタルコヒーレント技術では、受信側で2つの独立な偏波方向を安定に分けることができるため、各々の偏波に独立な情報を乗せて通信できるようになり効率的な大容量伝送が実現できます。

※5 偏波多重 QAM デジタルコヒーレント技術

通常は強度の2つの状態（ON/OFF）に信号の0,1を対応させて送る強度変調技術が一般的ですが、偏波多重 QAM デジタルコヒーレント技術では、2つの強度状態（ON/OFF）の代わりに、光信号の持つ2つの独立な偏波光信号の各々に関して、光信号電界のさらに2つの独立な方向（I成分・Q成分）を多値（複数のレベル）で変調します。I/Q成分が異なる多値信号（たとえば各々N値）で変調されることで、各偏波信号の電界は異なる強度と位相の組み合わせによる複数（ $N \times N$ ）の信号状態（振幅位相変調：Quadrature Amplitude Modulation）が生成されます。この状態に、複数ビット（ $=\log_2 N$ ）のデジタル信号を対応させることで高効率・高感度な光伝送ができます。NTTでは、本技術をコアが1つしかない従来の光ファイバを用いた高効率光伝送に適用し、従来構造の光ファイバでの世界最大容量の毎秒102テラビット波長多重伝送を実証しています。

<本件に関する問い合わせ先>

日本電信電話株式会社
先端技術総合研究所 広報担当
a-info@lab.ntt.co.jp
TEL046-240-5157

株式会社 フジクラ
コーポレート企画室
TEL03-5606-1112

国立大学法人北海道大学
総務企画部 広報課
TEL 011-706-2610

図1

大容量伝送技術

空間多重光伝送技術を用いた大容量伝送技術の提案と本成果の位置づけ

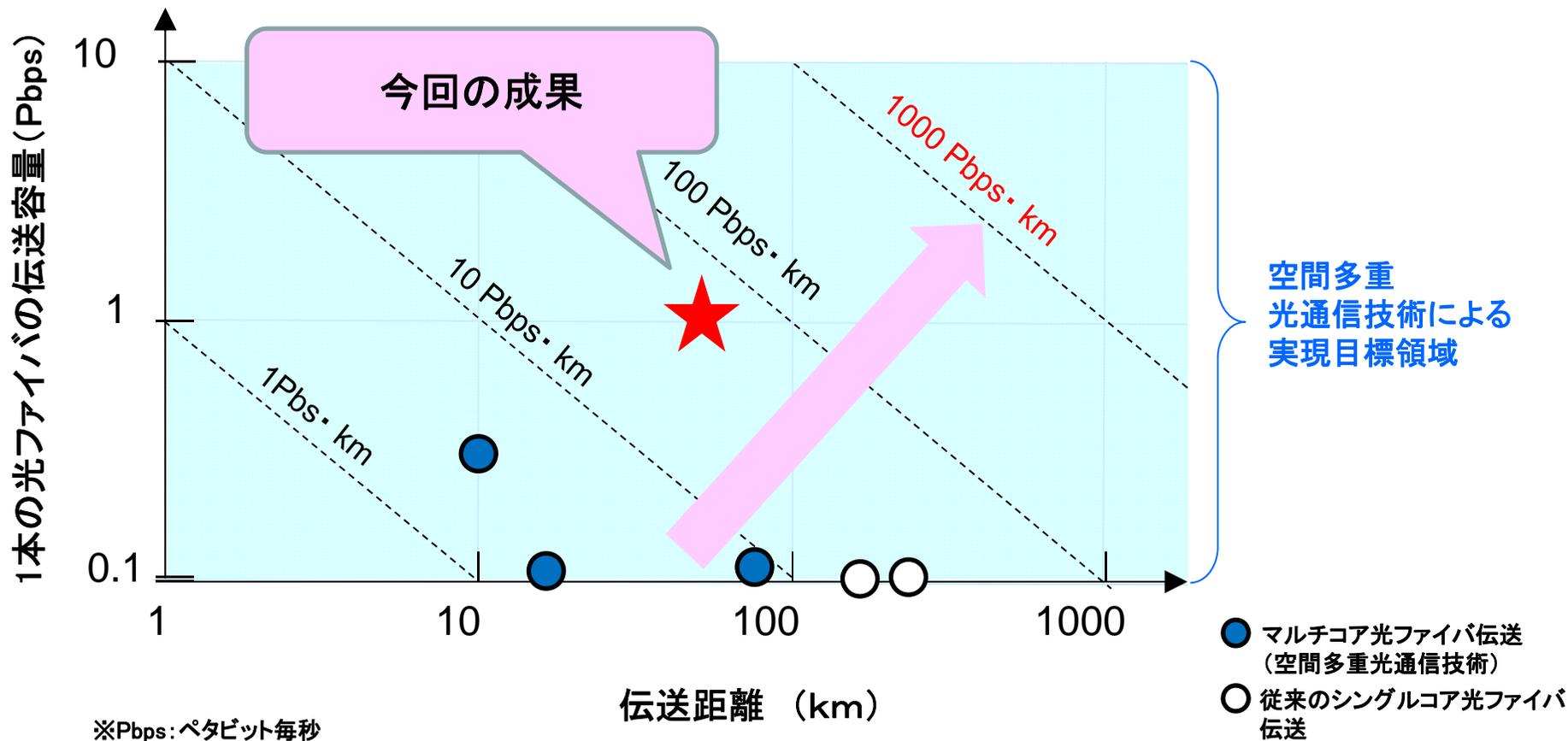
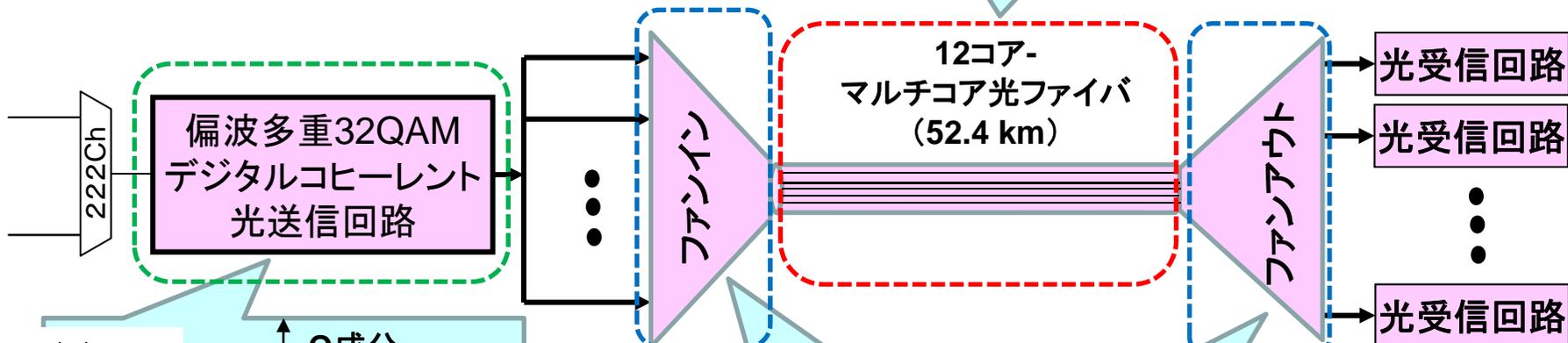
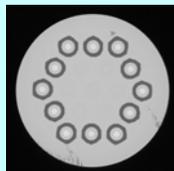


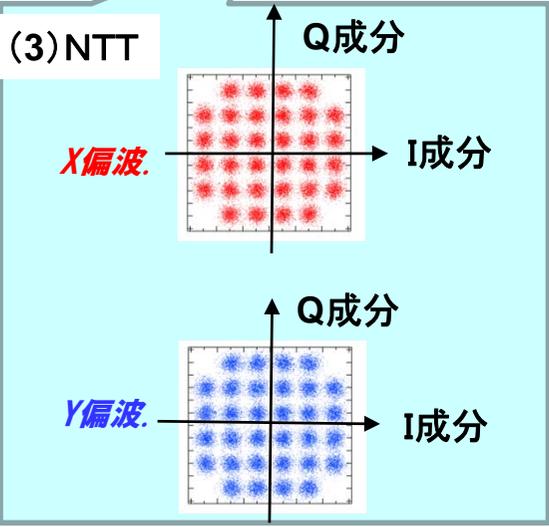
図2 実験構成と要素技術諸元・各機関の役割

デンマーク工科大学(盛岡教授)
:空間多重の提唱・拡張性

(1) NTT・フジクラ・北大



(3) NTT



(2) NTT・フジクラ

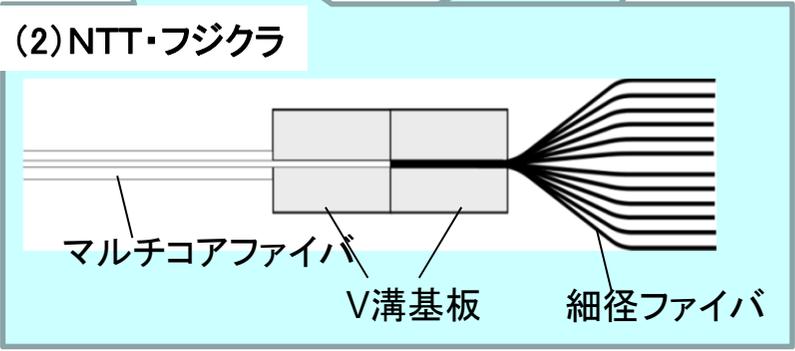
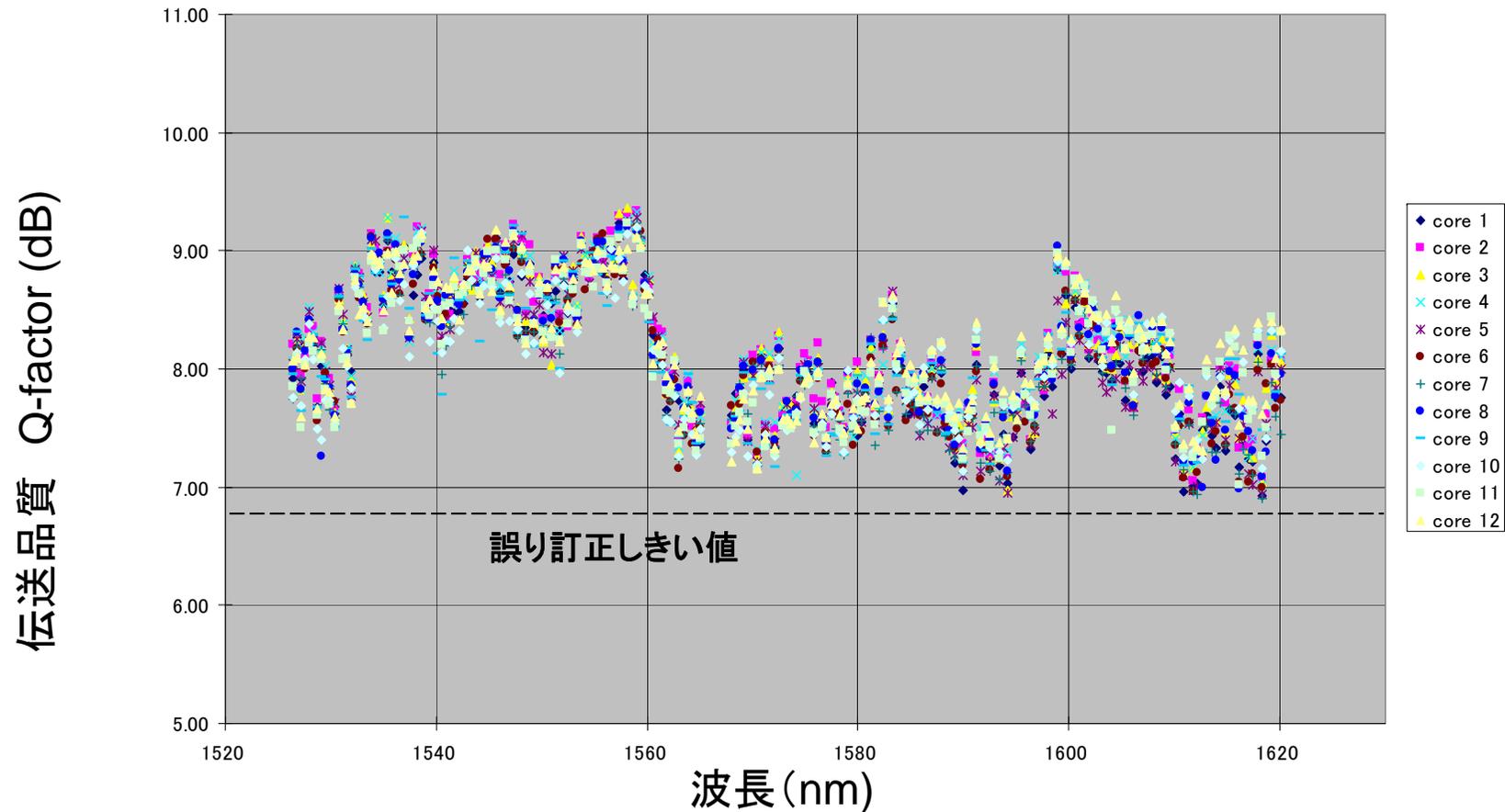


図3

実験結果

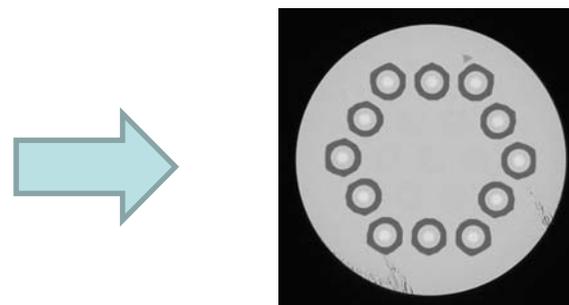
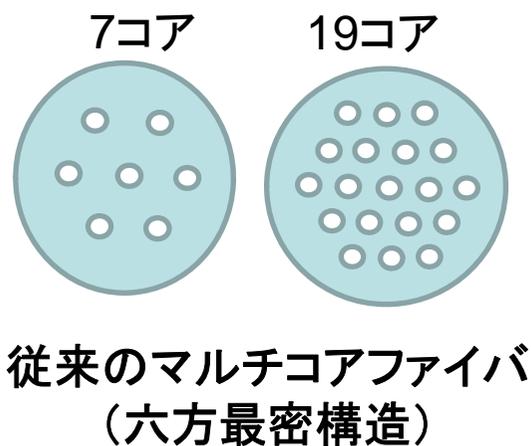
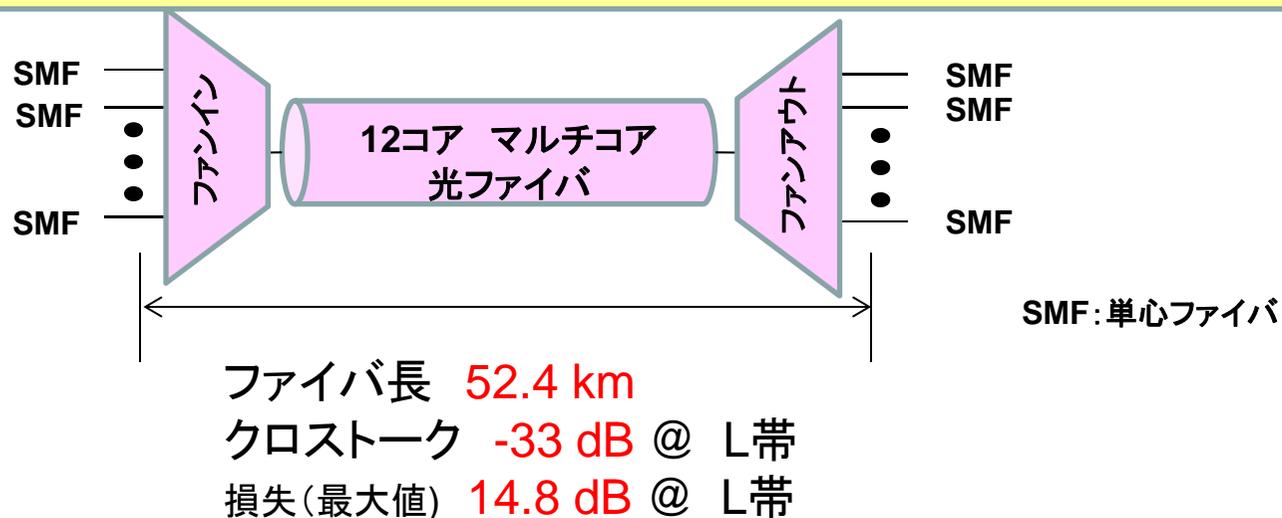


- ・全チャンネル:2664ch(=12コア x 222ch/コア) にわたり誤り訂正可能なしきい値以上の特性を確認し、1.01 Pbps 52 km伝送に成功。
- ・非六方最密構造(12コア) によるコア間ばらつきの少ない均一なマルチコア特性を確認。

図4

12コア-マルチコア光ファイバ

- 非六方最密構造(12コア)により、コア間のクロストーク特性の劣化を回避するとともに、良好なコア性能(低損失・低非線形性)を両立した。

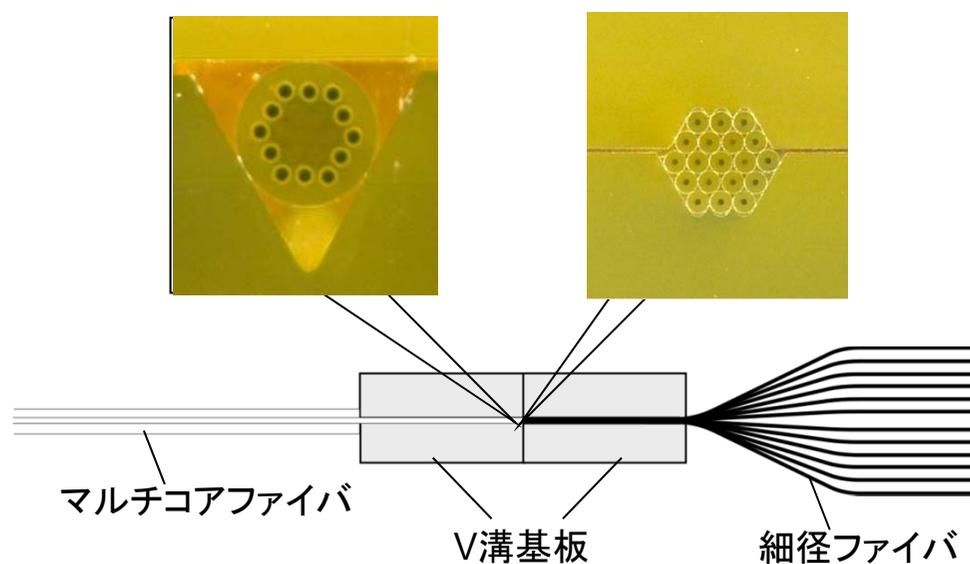


本提案のマルチコアファイバ
(非六方最密構造)
同心円上にコアを配置し隣のコア数を削減

図5

マルチコアファイバ入出力接続技術

- 12コアMCFを12本の単芯ファイバへと変換するファンイン/ファンアウトデバイスを試作
- 高精度加工されたV溝への細径ファイバ充填によるコア配置/位置合わせ構造により挿入損失 0.4 ~ 1.1 dB, コア間 クロストーク < -30 dB を実現



ファンイン/ファンアウトデバイス試作品

図6 偏波多重32QAMデジタルコヒーレント光送信回路

コア間クロストーク-30dBにおいて全波長範囲(11THz)で**周波数利用効率 7.6 bps/Hz**を実現

⇒380Gbps偏波多重32QAMデジタルコヒーレントマルチキャリア変調を適用

