

■モード多重光ファイバ伝送路におけるモード信号強度制御

2022年（令和4年）

本研究では、異なる種類（モード）の信号光間で発生する光の強度差を、低損失・広帯域に可変補償する小型光デバイスを世界で初めて実証しました。

NTT 株式会社ニュースリリースはこちら：<https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/06/27/220627a.html>

1本の光ファイバで複数のモードを伝搬するモード多重伝送は、将来の大容量光伝送の候補技術として期待されています。しかし、光ファイバ中の減衰量や光増幅器の増幅効率が、モード間でわずかに異なるため、長距離伝送後にはモード間の光強度差が増大してしまいます。このモード間の光強度差は、受信装置内の電気信号処理を複雑化し、伝送可能距離を著しく制限します。今回、小型の平面光波回路（PLC：Planar Lightwave Circuit※1）内で、特定モードの光強度を選択的に減衰させ、モード間の光強度差を $\pm 0.5\text{dB}$ 以下に補償することに成功しました。これにより、提案デバイス1台で伝送可能距離を200km程度拡張できると期待されます。本成果は、NTTが提唱するIOWN※2構想がめざす、1ペタ超の大容量光伝送基盤の実現に向けた要素技術の一つとして期待されます。



図1 作製したデバイスの外観と信号光間の光強度差の低減イメージ

1. 研究背景

モード多重伝送は、多重するモード数に比例して伝送容量を拡張できるため、次世代の大容量光伝送基盤の実現技術の一つとして注目されています。しかし、図2に示すように、モード多重光伝送路では、モード間で光の減衰量がわずかに異なるため、減衰量の偏差が伝送距離とともに累積してしまいます（図2の①）。また、光増幅器中ではモード間の増幅効率が異なるため、増幅出力にもモード間の偏差が生じてしまいます（図2の②）。一方、モード多重伝送路の出力端では、複数のモードが混ざり合って出力されるため、入力信号の情報を復調するための電気信号処理が必要となりますが、信号処理の計算量はモード数と特性偏差に応じて指数関数的に増大してしまいます。また、光伝送路の特性偏差は、伝送距離や増幅効率の要求条件に依存して変化するため、モード多重伝送の実現には、光伝送路におけるモード間特性偏差を可変

制御する技術が不可欠です。しかし、これまでに小型・低損失・可変性の要素を兼ね備えた技術は提案されていませんでした。

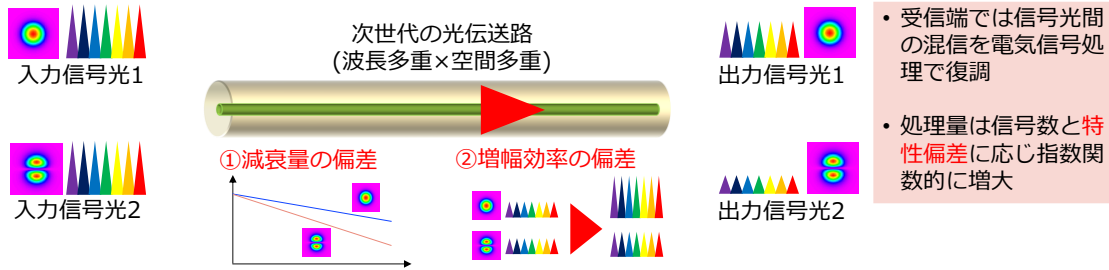


図2 モード多重光伝送路における光強度偏差の発生要因と信号処理との関係

2. 研究概要

今回の研究では、小型・量産性に優れる PLC 技術を活用し、①2モード中の特定モードに対する減衰量の可変制御と、②多モード光増幅器で発生する増幅効率差の広帯域補償を世界で初めて実証しました。

① 特定モード減衰量の可変制御

図3に提案した PLC の構成と動作イメージを示します。提案デバイスは、2台の光分岐結合回路が従属に接続された構造を有します。光強度の異なる2種類の信号光のうち、光強度の高い信号光の50%が、1段目の光分岐回路で主導波路から遅延線導波路に結合します。ここで、光分岐回路の結合長 L_c と導波路間隔 g を適切に設計することにより、所望の信号光を選択することができます。遅延線導波路に結合した信号光は2段目の光結合回路で主導波路に再結合しますが、その結合量は遅延線導波路で受けた遅延時間（位相）に応じて変化します。このため、遅延線導波路の屈折率をヒーターで可変することで、特定の信号光の結合量（減衰量）を制御することができます。一方、入力時の光強度が低い信号光は主導波路を透過するだけなので、原理的に過剰な損失が発生しません。このため、提案デバイスは小型・低損失・可変性を同時に実現することができます。

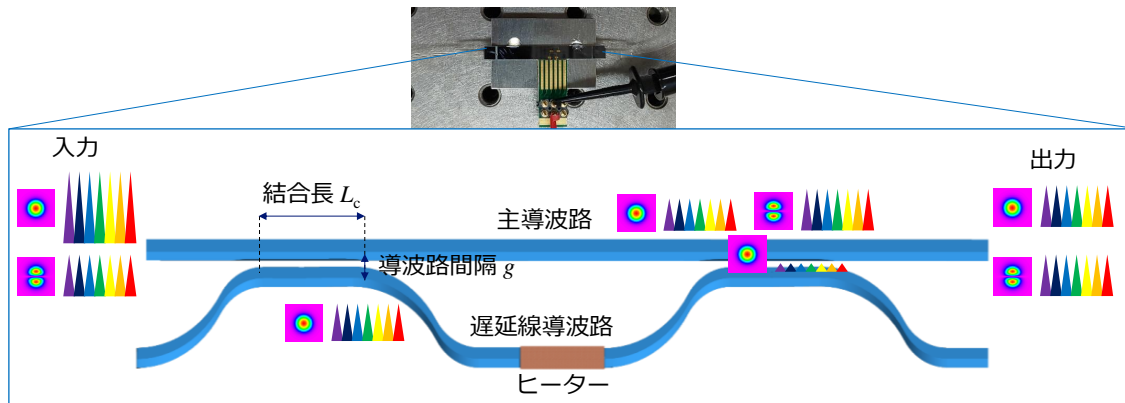


図3 提案デバイスの構成と動作イメージ

図4にヒーターの電力に対する減衰対象信号の相対的な光強度の変化を示します。50~170mWのヒーター電力で減衰量を最大2.3dBまで可変できることが分かります。光伝送路中の減衰量の偏差は、概ね1kmあたりで0.01dB以下と考えられるので、提案デバイス1台で200km超相当の光強度差を補償することができます。

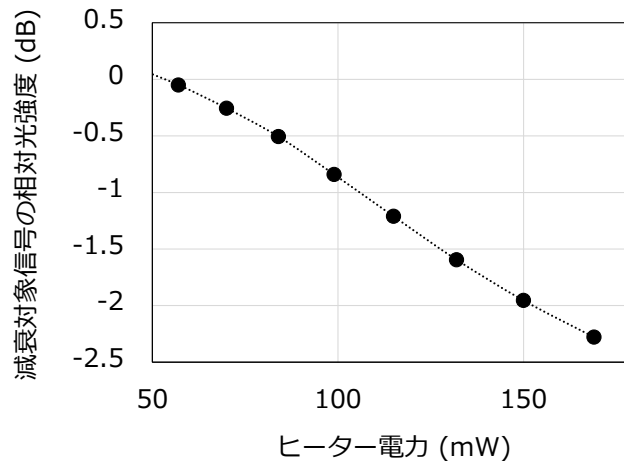


図4 ヒーター電力に対する減衰対象信号の相対光強度

②増幅効率差の広帯域補償

図5に、1530~1565nmの波長帯域で2モードの光増幅を行う光増幅器を用い、提案デバイスの有無による増幅効率差の変化を評価した結果を示します。黒のプロットが提案デバイスを用いない場合の特性で、増幅波長帯域の全域で1.5dB以上の増幅効率差が発生してしまいます。また増幅効率差は、光増幅器の動作条件（励起光強度：図中の●、▲、■のプロットに相当、励起光強度に応じて増幅光強度が変化する）に応じて、最大3dBまで増大することが分かります。一方、赤のプロットで示したように、提案デバイスを用いることにより増幅効率の波長依存性を劣化させることなく、いずれの動作条件であっても増幅効率差を+0.5dB以下に低減することができました。

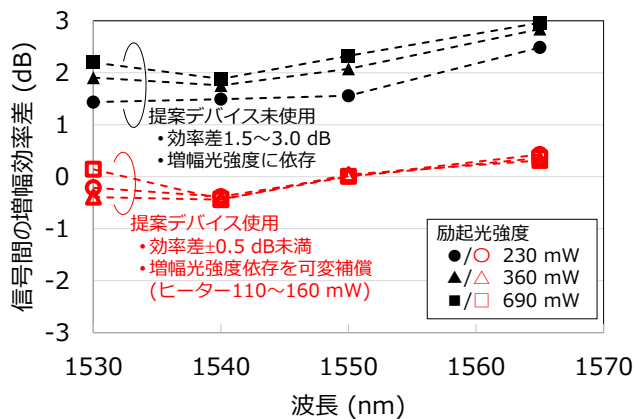


図5 光増幅器における増幅効率差の補償効果

※1 平面光波回路 (PLC : Planar Lightwave Circuit)

NTT が実用化してきた石英光導波路技術で大規模集積回路と同様のプロセスで製造できるため量産性に優れる

※2 IOWN (アイオン : Innovative Optical and Wireless Network)

スマートな世界を実現する最先端の光関連技術および情報処理技術を活用した未来のコミュニケーション基盤

※3 光ケーブル構造により光ファイバ内の伝送特性を制御

<https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/03/09/200309a.html>