

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 08801

研究開発課題名 大容量デジタルコヒーレント NTN に向けたアダプティブ光集積デバイスの研究開発

(1) 研究開発の目的

大容量デジタルコヒーレント光伝送ネットワークを NTN にまでシームレスに拡張することを目的として、受信器側でアダプティブに光の波面を補償する光集積デバイスを開発し、100 Gbps 級以上のデジタルコヒーレント空間光伝送システムに適用可能性を実証することを目指す。

(2) 研究開発期間

令和 6 年度から令和 8 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東京大学<代表研究者>
株式会社 KDDI 総合研究所
三菱電機株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 6 年度 69 百万円 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 アダプティブ波面補償光集積デバイス開発

1-a) メタサーフェス型モード分離デバイス開発 (国立大学法人東京大学)

1-b) 低損失窒化シリコン集積フォトニクス回路技術開発 (株式会社 KDDI 総合研究所)

研究開発項目 2 デジタルコヒーレント空間光伝送システム実証

2-a) アダプティブ空間光伝送システム実証 (国立大学法人東京大学)

2-b) デジタルコヒーレント自由空間光通信システム実装技術開発 (三菱電機株式会社)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	5	5
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	21	21
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	1	1
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

1-a) メタサーフェス型モード分離デバイス開発 (国立大学法人東京大学)

ジョーズ行列随伴法に基づき、多段メタサーフェスの最適設計手法を構築した。これにより、6 モード空間・偏波分離素子の最適設計を行い、低損失 (<0.9 dB) かつ低クロストーク (<-30 dB) のモード分離機能を数値的に実証した。さらに、反射型素子の作製プロセスを開発し、当初計画を前倒して、原理検証用デバイスの試作と実験検証に成功した。また、透過型メタサーフェスを用いた構成についても検討を進め、8 入力モードを空間・偏波分離し、研究開発項目 1-b) において開発する 8 モード用窒化シリコン (SiN) 集積フォトニクス回路

に結合する素子の設計を完了した。

1-b) 低損失窒化シリコン集積フォトニクス回路技術開発（株式会社 KDDI 総合研究所）

窒化シリコン（SiN）集積フォトニクス回路を構成する各コンポーネント（多モード干渉力ブラ、スポットサイズコンバータ等）の設計及び数値シミュレーションによる特性評価を終え、当初目標を上回る 8 モード用 SiN 光回路の全体設計を完了した。さらに当初計画を前倒しして、ファウンドリによるチップ試作を開始した。可視帯受信回路の検討については、バルク部品を用いた検証実験を行い、1Tbps 超（可視帯光通信で過去最大）の伝送実証に成功した。さらに当初計画を一部前倒し、可視光波長領域にて動作する 90 度ハイブリッドの設計を実施した。

研究開発項目 2 デジタルコヒーレント空間光伝送システム実証

2-a) アダプティブ空間光伝送システム実証（国立大学法人東京大学）

多モードファイバを用いた受信系について数値解析モデルを構築し、受信感度を検証した。その結果、単一モードファイバを用いた従来の構成に比べて入射角度誤差耐性が大幅に向上し、入射角度が 7 度の場合においても、挿入損失が -3dB 以下に収まり、集積フォトニクス回路によって波面歪みの影響が補正されることを明らかにした。並行して、予備実験用の多モードファイバを用いた受信光学系を構築し、多モードファイバ内を伝搬することによる波面歪みを観測した。

2-b) デジタルコヒーレント自由空間光通信システム実装技術開発（三菱電機株式会社）

大気伝搬シミュレーション環境を構築し伝搬距離 20km での波面プロファイルを生成した。また、大気揺らぎによる多モード化と波面補償光回路の機能を取り込んだ自由空間光（FSO）通信システムのシミュレーション環境を構築、生成した波面プロファイルを取り込み 100Gbps DP-QPSK の光特性を算出した。さらに、実際の FSO 通信システムにおいて問題となるドップラーシフトによる影響をデジタル信号処理（DSP）によって送受共に補償する方法を検討し、数値解析と実機を用いた検証実験により有効性を実証した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1：アダプティブ波面補償光集積デバイス開発

1-a) メタサーフェス型モード分離デバイス開発（国立大学法人東京大学）

まず、メタサーフェス構造の作製プロセス、ポリマー材料を用いた埋め込みプロセス、及び、金属ミラー集積プロセスについて、各種条件の絞り込みと設計へのフィードバックを繰り返すことで、最適な条件を抽出する。その上で、1 次デバイスを試作し、空間・偏波モード分離機能の評価を行う。この評価結果に基づき、メタサーフェスの設計にフィードバックを行う。作製誤差を考慮し、所望の特性が得られるように各メタアトム形状を補正する。最終的に、10 モード以上を 3 dB 以下の損失で分離できることを実証する。その上で、研究開発項目 1-b) において開発した集積フォトニクス回路と組み合わせることで、波面補償機能を実証することを目指す。

1-b) 低損失窒化シリコン集積フォトニクス回路技術開発（株式会社 KDDI 総合研究所）

前年度の検討を踏まえて、6 モード以上を有する多モードのマルチモードファイバに結合可能な、波長 1550nm にて動作する窒化シリコンアダプティブ受信デバイスを試作する。また、デバイス内損失を測定し、3 dB 未満であることを確認する。さらに、実際にマルチモードファイバからの複数出力を試作したデバイスに結合し、最大比合成する実験を行う。並行して、前年度の検討を踏まえて、可視光波長領域にて動作する 90 度ハイブリッドの試作と評価を行う。これらの成果をもとに 10 モード以上に拡張し、研究開発項目 1-a) で開発したメタサーフェス型モード分離デバイスを組み合わせ、超小型アダプティブ波面補償集積デバイスの実証を目指す。また、90 度光ハイブリッドの試作を行い、可視光波長帯にまで対応した小型コヒーレ

ント受信器の実証を目指す。

研究開発項目 2 デジタルコヒーレント空間光伝送システム実証

2-a) アダプティブ空間光伝送システム実証（国立大学法人東京大学）

まず、自由空間光伝送の原理検証実験を行う。波面補償回路に搭載した位相制御器を操作することで、アダプティブに波面補償が行えることを確認する。数値解析モデルによる結果と実験結果の比較検証を行うことで、数値解析モデルに改良を重ね、実システムへの適用に向けた要求仕様を明らかにする。これらの実験結果を踏まえ、メタサーフェス型モード分離デバイスの導入を進めることで偏波分離機能を付加し、高効率化を図る。最終的には、200 Gbps 以上の偏波多重四位相シフト変調（DP-QPSK: dual-polarization quadrature phase-shift keying）光信号を用いた空間光伝送実験を行い、大容量デジタルコヒーレント空間光伝送の可能性を示す。

2-b) デジタルコヒーレント自由空間光通信システム実装技術開発（三菱電機株式会社）

前年度の基本検討を踏まえて、アダプティブ波面補償機能を有するデジタルコヒーレント自由空間光通信システムについて数値計算などによる機能検証を行い、通信距離 20 km 級を想定した大気中での波面揺らぎとその補償機能効果を考慮した自由空間光通信システムの特性見積りを行う。また、残留モード分散補償を含めた本システムに適したデジタル信号処理手法を検証し、システム実装技術の実証に向けたデジタルコヒーレント自由空間光通信システム実験系の一部試作と評価を行う。これらのシステム実装技術の検討結果と評価結果からのフィードバックに基づき、将来の通信距離 20 km 級、100 Gbps 級以上のデジタルコヒーレント自由空間光通信システムの社会実装に向けた実証実験を行い、有効性を示す。その上で、研究開発項目 1 において開発するアダプティブ波面補償光集積デバイスと連携したデジタルコヒーレント自由空間光通信システムの実証を目指す。