

新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発  
課題Ⅱ. マルチコア大容量光伝送システム技術

The R&D of innovative optical network technologies for supporting new social infrastructure. PartⅡ. High-capacity multi-core fiber transmission system technologies

代表研究責任者 森田 逸郎 株式会社 KDDI 総合研究所

研究開発期間 平成30年度～令和3年度

**【Abstract】**

Due to the spread of ultra-high definition video and 5th generation wireless communications, it is required to evolve optical networks that support various network services as social infrastructure to cope with the increase in network traffic and power consumption. Therefore, the objective of this project is to establish innovative optical network technologies that comprehensively increase transmission capacity and efficiency from the backbone network to the access network, and to contribute to the development of the social infrastructure of our country.

In order to cope with rapidly increasing network traffic, R&D of high-capacity optical transmission system technology using space-division multiplexing (high-capacity multi-core fiber transmission system technology) that can dramatically expand the system capacity per optical fiber will be conducted. Targeting optical transmission systems for core and submarine networks, this project aims to increase the total capacity per cable to 240Tb/s class or higher, which is more than four times the capacity of existing optical submarine cable systems, by using space-division multiplexing technology.

**1 研究開発体制**

- **代表研究責任者** 森田 逸郎 (株式会社 KDDI 総合研究所)
- **研究分担者** 吉田 真人 (国立大学法人東北大学 電気通信研究機構)  
榎本 正 (住友電気工業株式会社)  
杉崎 隆一 (古河電気工業株式会社)  
津村 聡一 (日本電気株式会社)  
渡辺 正行 (株式会社オプトクエスト)
- **総合ビジネスプロデューサ** 鈴木 正敏 (株式会社 KDDI 総合研究所)
- **ビジネスプロデューサ** 八坂 洋 (国立大学法人東北大学 電気通信研究機構)  
小谷野 裕史 (住友電気工業株式会社)  
藤崎 晃 (古河電気工業株式会社)  
緒方 孝昭 (日本電気株式会社)  
熊谷 達也 (株式会社オプトクエスト)

○ **研究開発期間** 平成30年度～令和3年度

○ **研究開発予算** 総額 815.8百万円

(内訳)

平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度 (令和2年度 3次補正予 算)
210.0百万円	203.8百万円	200.6百万円	201.4百万円

## 2 研究開発課題の目的および意義

超高精細映像や第5世代無線通信(5G)の普及による通信トラフィック増大とそれにかかる消費電力増大に対応し、社会インフラとして様々なネットワークサービスを支える光通信網が必要とされている。そこで、基幹網からアクセス網まで総合的な大容量化・高効率化を実現する革新的光通信技術を確立し、我が国の社会・経済活動を支える情報通信インフラの持続的な維持・発展に貢献することを目的とする。

急速に増大する通信トラフィックに対応するため、現在開発中の1Tbps級の光伝送技術よりもさらに大容量を実現する光通信技術として、光ファイバー本あたりの伝送容量を飛躍的に拡大可能な空間分割多重技術を用いた大容量光伝送システム技術(マルチコア大容量光伝送システム技術)の研究開発を実施する。コア・海底ネットワーク用光伝送システムを対象として、空間多重技術を利用し1ケーブル当りの総容量(ケーブル総容量)が既存海底ケーブルシステム(\*)の4倍以上となる240Tbps級以上の大容量化を目指し、空間多重型光ファイバ伝送方式とその要素基盤技術(ケーブル化技術、増幅技術、性能評価技術等)を確立する。\*既存太平洋横断級海底ケーブルシステム(FASTER:2016年):伝送容量10Tbps/FP, 6FP

## 3 研究開発成果(アウトプット)

空間多重技術を利用し1ケーブル当りの総容量(ケーブル総容量)が既存海底ケーブルシステムの4倍以上となる240Tbps級以上の大容量化を目指し、課題ア)大容量マルチコア伝送方式の検討では、主要技術であるa)ファイバ、b)評価、c)増幅器の3つの技術の方式検討を行う体制とし、それぞれの技術確立を行った。さらに、課題イ)マルチコア要素基盤技術開発では、課題ア)の方式検討結果を反映しながら、増幅器の必須要素である高密度光デバイスの基盤開発を、またケーブル試作や光増幅ブロックの試作などを通してシステム全体の基盤開発を行う体制とし、課題間連携のもと研究開発を推進した(図1研究開発体制)。さらに、光ファイバ、光デバイス、海底システムに関して精通した外部有識者をお招きして研究開発運営委員会(図1研究開発体制)を設置し、年約3回、4年間で計10回、コロナ禍においてオンラインで開催しながら、研究開発全体の方針等幅広くご助言を頂きながら研究開発を進めた。表2に各課題の到達目標達成状況を示す。

研究責任者：森田 逸郎（KDDI総合研究所）

ア) 大容量マルチコア伝送方式の検討

ア)-a) 空間多重型光ファイバの方式検討

- ア)-a)-1 マルチコアファイバ方式（KDDI総合研）
- ア)-a)-2 マルチコアファイバ伝送方式における光雑音処理に関する技術開発（東北大）

ア)-b) 空間多重型光ファイバの評価技術検討

- ア)-b)-1 透過型測定による空間多重型光ファイバの評価技術（住友電工）
- ア)-b)-2 OTDRによる空間多重型光ファイバの評価技術の開発（東北大）

ア)-c) 空間多重型光中継器の方式検討

- ア)-c)-1 高効率マルチコア光増幅技術（古河電工）
- ア)-c)-2 結合型マルチコア光増幅システム技術（NEC）（R1年度まで）

イ) マルチコア要素基盤技術開発

- イ)-a) 空間多重型高密度デバイス基盤技術（オプトクエスト）
- イ)-b) マルチコアファイバケーブルシステムの基盤開発（NEC）

マルチコア伝送システム研究開発運営委員会

- 座長 松島裕一 教授（元早稲田大学）
- 構成員 秋葉重幸 教授（元東京工業大学）
- 構成員 國分泰雄 教授（ものづくり大学）
- 構成員 齋藤晋聖 教授（北海道大学）

図 1 研究開発体制

表 1. 各課題の目標達成状況

課題	到達目標	目標に対する主な成果	達成状況
ア-a)	既存海底ケーブルと同等のスペースで、ケーブル総容量 240Tbps 以上、伝送距離 1000km 超を可能とする空間多重型光ファイバの設計および伝送技術を確立する。	極めて低損失で低クロストーク (XT)、低空間モード分散 (SMD) な長尺の標準外径非結合型 4 コアファイバおよび結合型 4 コアファイバ (両ファイバとも 60.2 km×4 スパン) の設計・開発に成功。課題全体で、既存ケーブル構造のまま目標の 7 倍以上のケーブル容量 <b>1.74Pbps</b> (4 コア 32 心、伝送距離 3120km) の可能性を実証。さらに両非結合型、結合型 4 コアファイバにてそれぞれ太平洋横断 <b>9150km</b> 伝送の可能性も実証。結合型 MCF 伝送については 7200km 伝送後でリアルタイム MIMO 信号処理の可能性を実証。MCF の GAWBS 雑音の影響・補償技術を世界に先駆け実証。	目標以上 120%
ア-b)	空間チャネルの損失均一性およびチャネル間結合を測	波長掃引法と OTDR 法の 2 つの方式でチャネル間結合を評価する技術を確立、双方の評価値	目標達成 100%

	定評価する基本技術、および、評価結果に基づき、ケーブル化されたファイバの伝送性能の予測を可能にする基本技術を確立する。	の一致を確認。波長掃引法で結合型 MCF の損失均一性 (MDL) を評価する技術を確立、±15%の精度で実証。ファイバ特性と仮定するケーブル曲げ半径から、 <b>ケーブル化後の性能を予測する基本技術を確立。</b>	
ア-c)	効率的な励起技術を開発し、コア当たりの消費電力が現行のシングルモードファイバ用増幅器に匹敵する増幅技術を確立する。	<b>クラッド励起方式</b> の励起効率を改善するため、クラッド内に散乱体（今回気泡）を設け励起効率の上昇を確認。また、 <b>双方向伝搬とポンプサイクルの両機能の併用・実証</b> により、シングルモードファイバ用増幅器に匹敵する性能（クロストークの半減）と、残留励起光の再入力による必要励起光の低減を実証。 <b>コア励起結合型 4 コア増幅器</b> において出力レベルを±1.5dB以内（実力値：32GBaud で 0.5dB 以下）の <b>安定化技術を確立。</b>	目標達成 100%
イ-a)	アイソレータ・カップラ等の複数機能デバイスを統合した2つ以上の機能を有する基本デバイス技術を確立し、システムの小型化・高性能化を実現するとともに、コア径・コアピッチに依存せず使用可能な汎用性の高いデバイス技術を確立する。また、多数空間チャンネルによる高入力パワーに耐えうる低損失デバイス技術を確立する。	2つ以上の機能を複合した光増幅器用機能光デバイスを顧客のニーズに合わせて <b>4 種類開発</b> し、 <b>サイズ 55%以下、損失 0.8dB 以下</b> の技術を確立。単一レンズの使用によりコア径・コアピッチに依存しない構造を実現。振動衝撃試験、温度サイクル試験等複数の信頼性試験で特性劣化がないこと、 <b>1.5W/コアの高入力パワー耐性</b> も確認。IR カメラを用いた光学調心技術を開発し、空間結合型デバイスのデメリットとして指摘される <b>製造時間を従来工法と比較して 23%削減</b> に成功。	目標以上 120%
イ-b)	フィールドに導入可能なケーブル面積及び15kVの給電上限を考慮したマルチコアファイバケーブルシステムの設計技術を開発する。ケーブル総容量 240Tbps の長距離大容量伝送システム技術を確立する。試作する中継器では、部品点数の削減を通じて、ケーブル実装の可能性を示す。また、短距離ケーブルの試作評価によりア-b)	クロストーク (XT) を考慮した Generalized OSNR やマルチコア増幅器のセルフヒーリング効果の検討を通して、MCF システム特有の設計技術を開発。非結合型および結合型 4 コアファイバケーブルを試作し、 <b>既存 17mm ケーブルに最大で 16 ファイバペア</b> (コア数で言えば、4 コア×16 ファイバペア×2=128 コア)の MCF 収容が可能であることを実証 (ア-a) と連携し <b>1.74Pbps のケーブル容量</b> を実証)。本件、報道発表を行い、 <b>NHK ニュースに掲載</b> 。ア-c)、イ-a)と連携し、部品点数削減と部品最適配置などにより、 <b>現行収容スペースの 1/2</b> を実現。ア	目標以上 120%

で確立するファイバ性能予測技術の妥当性を実証するとともに、ケーブルの性能評価指標を明確化する。	-b)と連携し、2種の開発ケーブルにてファイバ性能予測技術の妥当性を実証し、MCF特有のXT、MDL、SMD等の性能指標を明確化。	
---	---	--

研究成果については、査読付き誌上発表論文数 16 件（全て海外論文誌）（目標 11 件）、査読付き口頭発表論文数 51 件（内海外 39 件）（目標 20 件）、口頭発表数 69 件（内海外 8 件）（目標 33 件）、特許出願数 41 件（内 PCT 出願他 12 件）（目標 19 件）と目標を上回る多数の成果を国内外に発表するとともに、受賞数 7 件、報道発表数 8 件（目標 8 件）、報道掲載数 42 件の成果を出した。特に報道掲載数については、最終年度に課題間連携を通して得られた成果を報道発表や記者説明会において広く世の中にアピールし、NHK の朝のテレビニュースや新聞各社にも取り上げられた。

各年度の予算配分を表 2 に示す。最初の H30、H31 年度は、課題アの各種方式検討に予算を充当し、各種方式の骨子確立を加速させ、後半の R2、R3 年度は課題イの光デバイスおよびシステムの基盤開発に予算を充当することで、アウトカム目標に掲げる実用化に向けた技術開発を加速させた。以上より、研究グループ全体で費用対効果を最大限に高められる施策を行うことで、表 2 に示す大きな成果を達成することができた。

表 2. 分担者毎の予算配分（単位百万円：小数点第二位四捨五入）

	分担者	H30 年度	H31 年度	R2 年度	R3 年度
課題ア	a-1) KDDI 総合研究所	65	63	19.1	19
	a-2) b-2) 東北大学	14	13.6	13.5	13.4
	b-1) 住友電気工業	13	12.8	4.7	7
	c-1) 古河電気工業	29	28.1	10	10
	c-2) 日本電気	35	34	-	-
課題イ	a) オプトクエスト	24	23.3	18	18
	b) 日本電気	30	29	135.3	134
	合計	210	203.8	200.6	201.4

### 3. 1 大容量マルチコア伝送方式の検討

#### 3. 1. 1 空間多重型光ファイバの方式検討

既存海底ケーブルと同等のスペースで、ケーブル総容量 240Tbps 以上、伝送距離 1000km 超を可能とする空間多重型光ファイバの設計および伝送技術を確認する。

##### ア-a-1) マルチコアファイバの方式検討 (KDDI 総合研究所)

既存海底ケーブルと同等のスペースで、ケーブル総容量 240 Tb/s 以上（4 ファイバペア (FP) を想定した場合は 60 Tb/s/心以上）、伝送距離 1,000 km 以上を可能とする空間多重型光ファイバの設計および伝送技術を確認すべく、結合型及び非結合型マルチコアファイバを用いた伝送実験を実施した。

はじめに、非結合型及び結合型 4 コアファイバ (4CF) の試作を行った。各スパンのファイバ長は 60.2 km、非結合型 4CF の伝搬損失及びコア間クロストーク (XT) は 0.156 dB/km 及び -57.3 dB/span 以下、結合型 4CF の伝搬損失及び空間モード分散 (SDM) は 0.155 dB/km 及び 7.1 ps/√km であり、極めて低損失で低 XT、低 SMD な長尺の標準外径 4CF (60.2 km×4 スパン) の開発に成功した。次に、試作

した非結合型または結合型の 4CF (4 スパン)、ファイバの入出力デバイスである FIFO (Fan-in/Fan-out) デバイス、 $2 \times 2$  光スイッチ、C 帯光アンプ、利得等化用の C 帯波長選択スイッチから構成される 4 スパン周回伝送用の評価システムを構築した (図 3.1.1.1)。

まず、大規模波長分割多重 (WDM) 信号を用いた 3,120 km 伝送実験を実施した。変調多値度を最適化し伝送容量を最大化するために PS (Probabilistic shaping) -QAM 信号技術を適用することで、結合型 4CF においては、25 GHz 間隔の 24 Gbaud 152WDM 偏波多重 (DP) -PS-16QAM 信号を伝送し、ファイバ 1 心あたり 85.2 Tb/s の伝送容量を、非結合型 4CF においては、25 GHz 間隔の 24 Gbaud 190WDM DP-PS-16QAM 信号を伝送し、ファイバ 1 心あたり 109.3 Tb/s の伝送容量を達成した。これらの結果は、目標であるケーブル総容量 240 Tb/s 以上 (4 ファイバペアを想定した場合は 60 Tb/s/心以上)、伝送距離 1,000 km 以上を大きく上回る値である。

さらに、太平洋横断級の伝送距離である 9,150 km においても検証を行った。結合型 4CF においては、25 GHz 間隔の 24 Gbaud 152WDM DP-QPSK 信号を伝送し、ファイバ 1 心あたり 50.47 Tb/s の伝送容量を、非結合型 4CF においては、25 GHz 間隔の 24 Gbaud 187WDM DP-QPSK 信号を伝送し、ファイバ 1 心あたり 63.17 Tb/s の伝送容量を達成した。以上の結果より、当初の目標であった 1,000 km の伝送距離を大きく上回る 9,150 km での伝送評価を実施し、太平洋横断級の伝送可能性についても明らかにした。

また、結合型マルチコアファイバ (MCF) においては、ファイバ中に生じるコア間の結合を補償するために、計算負荷の大きい MIMO 信号処理 (DSP) が必要であるため、実用化に向けては、その MIMO DSP のリアルタイム化が重要な課題である。そこで、FPGA ボードを用いて、リアルタイム MIMO DSP を試作し、結合型 4CF を用いたリアルタイム伝送実験を行った。16WDM の 5 サブキャリア多重 2.048 Gbaud DP-QPSK 信号を大洋横断級である 7,200 km 伝送し、試作したリアルタイム MIMO DSP により復調可能であることを確認した。本結果により、結合型 MCF のリアルタイム長距離伝送が可能であることが示された。

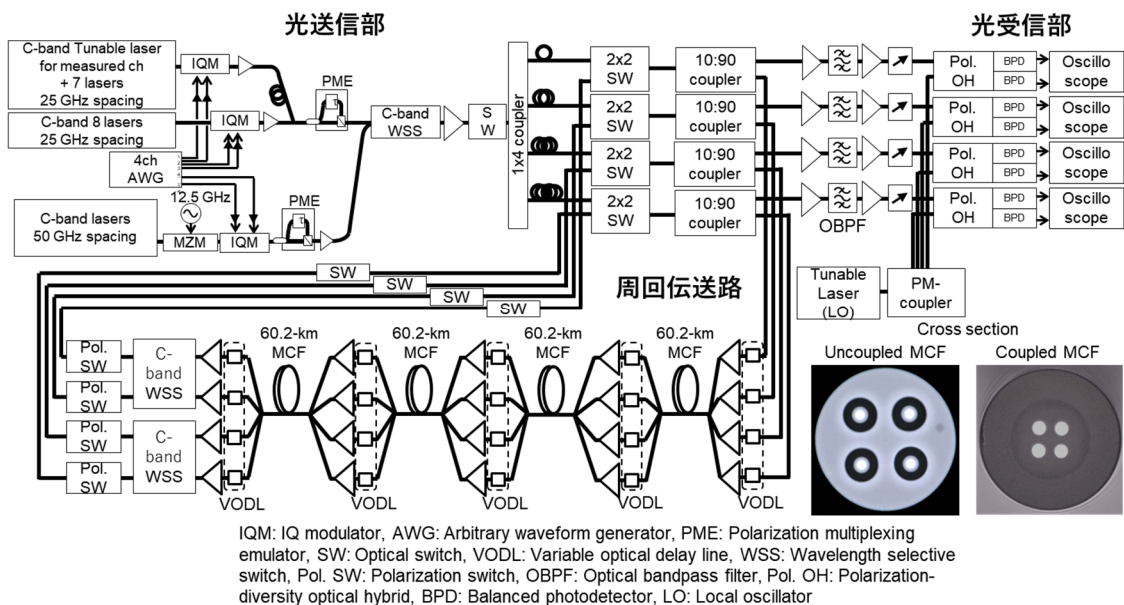


図 3.1.1.1 マルチコアファイバを用いた 4 スパン周回伝送評価システム

上述の検証結果を踏まえ、課題間で連携し、本プロジェクトとしてのマルチコアファイバ光海底ケーブルシステムの骨子を明確化した。図 3.1.1.2 に、マルチコアファイバを用いた光海底ケーブルシステム

骨子を示す。2018年のプロジェクト開始時においては、早期商用化を意識し、既存ケーブル・中継器構造を踏襲し、マルチコア化によるケーブル容量の拡大を示すため、①既存光海底ケーブルシステムである FASTER (10 Tb/s×6FP=60 Tb/s) のケーブル容量の5倍に相当する320 Tb/s以上、かつ②アジア域での使用を想定し3,000 km以上の伝送距離の2つを目標に設定した。近年は、1心当たりの容量増加は頭打ちとなり、FP数を増やしてケーブル容量を最大化する手法が主流となりつつある。

本プロジェクトにおける検証結果を考慮すると、早期実用化に向けては、複雑なMIMO信号処理が不要である標準外径の非結合型マルチコアファイバを用いた光海底ケーブルシステムが有力であると考えられる。課題全体において、非結合4コアファイバ1心で109.3 Tb/sかつ3,120 kmの伝送可能性、4コアを16FP分実装可能な光海底ケーブルの開発、19コアEDFA中継器の小型化(現行の1/2以下)を実証した。したがって、ファイバペア数の制限要因が電力制限ではなくスペース制限であるアジア域(3,000 km)での光海底ケーブルシステムにおいて、当初の目標を大きく上回る109.3 Tb/s×16ファイバペア=1.748 Pb/sのケーブル容量の実現可能性を実証した。



図 3.1.1.2 マルチコアファイバを用いた光海底ケーブルシステム骨子

#### ア-a-2) マルチコアファイバ伝送方式における光雑音処理に関する技術開発(東北大学)

導波音響波型ブリルアン散乱(Guided Acoustic Wave Brillouin Scattering: GAWBS)に起因した位相雑音がマルチコアファイバを用いた多値QAM伝送特性に及ぼす影響を解析し、その雑音の影響により10,000 km級の太平洋横断伝送時にはQAM信号の多値度を64値(6ビット/シンボル)以上に上げられないことを明らかにした。すなわち信号多値度を5ビット/シンボル以内に設定するのが適切であるといった変調方式の指針を示した。具体的にはKDDI総合研究所が長距離伝送実験に使用した4コアファイバ中のGAWBS雑音特性を実測および数値解析し、その位相雑音の大きさが通常の単一コアファイバと同程度であることを示した。また、その位相雑音の分布はガウス分布に従うこと、および雑音電力はファイバ長に比例の関係にあることを実験解析し、その結果をもとに伝送距離をパラメータとしてGAWBS位相雑音が光位相を用いたコヒーレントQAM伝送に及ぼす影響を数値解析した。その結果、64 QAM-10,000 km伝送時にはGAWBS位相雑音の影響により符号誤り率が $1 \times 10^{-2}$ を超える関係にあることがわかった。このことから、20%オーバーヘッドのFECを用いることを前提とした際にGAWBS雑音の影響の観点から許容できる信号多値度は5ビット/シンボルであることを明らかにした。

また、マルチコアファイバ中で生じるGAWBS位相雑音について、そのスペクトル形状ならびに各コアで生じた雑音間の相関強度といった雑音特性の詳細を解析し、マルチコアファイバ伝送時における

GAWBS 雑音補償法に関わる有益な知見を得た。まず通常の単一コアファイバと異なり  $R_{0,m}$  音響モードの影響は小さく、それに代わり多数の高次  $TR_{n,m}$  音響モードが問題になることを明らかにした。また、高次  $TR_{n,m}$  音響モードによる位相雑音の大きさはコアの位置によって強く依存するため、マルチコアファイバの各コアで生じた GAWBS 雑音は互いに相関が弱いことを明らかにした。すなわち、あるコアで検出した雑音情報を他コアの補償に適用することは困難であり、各コアに対し独立にその補償回路を構成する必要があることを明らかにした。

さらに、長距離伝送時に問題となる GAWBS 位相雑音ならびに WDM チャンネル間の相互変調雑音に対する補償技術を開発し、1.2 dB の Q 値の改善効果を示すとともに、長距離伝送時において光ファイバ伝送路中の波長分散がその補償効果に及ぼす影響を明らかにした。具体的には、原理実証実験として 60 ch の WDM 256 QAM-160 km 伝送実験を行い、同時に配信したトーン信号で検出した各種位相雑音の情報をもとに各 WDM チャンネルに付与された同雑音を相殺する逆位相変調法を確立した。また、長距離伝送時においてトーン信号と WDM 信号の間に生じる波長分散に起因した群遅延がその雑音補償効果に及ぼす影響を実験および数値解析した。その結果、3000 km 以上の長距離伝送時にはその群遅延量を低減するために両信号の周波数差を 10~20 GHz 程度に狭めることが重要であることがわかった。このことから残留キャリアをトーン信号として利用する OFDM 変調方式が精度の高い雑音補償を実現する上で有効であることを明らかにした。

以上の研究成果に対し査読付き誌上発表論文 9 件、査読付き口頭発表論文 12 件の実績を得た。

### 3. 1. 2 空間多重型光ファイバの評価技術検討

空間チャンネルの損失均一性およびチャンネル間結合を測定評価する基本技術、および、評価結果に基づき、ケーブル化されたファイバの伝送性能の予測を可能にする基本技術を確立する。

#### ア-b-1) 透過型測定による空間多重型光ファイバの評価技術 (住友電気)

損失均一性に相当するモード依存損失(MDL: Mode Dependent Loss)、チャンネル間結合に相当するクロストーク(XT: Crosstalk)を測定する測定系を開発し、コア数 4 以上、長さ 60km 以上のマルチコアファイバ(MCF: Multi-Core Fiber)を測定できることを実証した。本測定系を用いてファイバおよびケーブルの測定を行い、ファイバでの測定結果からのケーブル性能の予測を検証した。各項目の詳細内容を以下に記載する。

開発した測定系の外観を図 3.1.2.1(a)に示す。MDL 測定に関しては、既知の MDL を生成する MDL エミュレータを作成し、エミュレータを対象として測定を行った。その結果、図 3.1.2.1(b)に示すように、エミュレータで生成した MDL に±15%の相対標準偏差で一致する値が測定値として得られ、測定が妥当であることを確認した。また、長さ 6~98km、コア数 4 の結合型マルチコアファイバ(C-MCF: Coupled-core MCF)の MDL を測定可能であり、ファイバの MDL が十分に低く実用的であることも併せて実証した。

XT 測定に関しては、課題ア-b-2 および課題イ-b と連携し、ケーブル化された 60km のコア数 4 の非結合型マルチコアファイバ(U-MCF: Uncoupled-core MCF)を対象としてクロストーク測定を行ない、図 3.1.2.1(c)に示すように、本方式(波長掃引法)と OTDR 法による測定値が 1dB 以内で一致し、測定が妥当であることを実証した。

ケーブル性能予測に関しては、U-MCF の XT に関して、ファイバでの測定値および XT の曲げ半径依存性の理論モデルを用い、ケーブル内でのファイバの蛇行を考慮して曲げ半径を 200~500mm と仮定すると、図 3.1.2.2(a)に示すように、XT の予測値がケーブルでの実測値に整合することを示した。また、



C-MCFに関して、MDLはファイバ状態依存性が小さく、ファイバ状態とケーブル状態で有意な差が見られなかったため、モード分散に関して検討し、図 3.1.2.2(b)に示すように、ファイバ曲げ半径依存性の理論モデルからの予測値とケーブルでの実測値が整合することを示した。また、C-MCF ケーブルにおいても U-MCF ケーブルと同様にケーブル内でのファイバの蛇行を考慮して曲げ半径を 200~500mm と仮定すると上記のように予測値と実測値が整合することから、曲げ半径の想定も妥当であると考えられる。

以上の成果により、透過型測定を用いて U-MCF および C-MCF の XT、MDL を測定し、ケーブル性能を予測する技術を実証した。

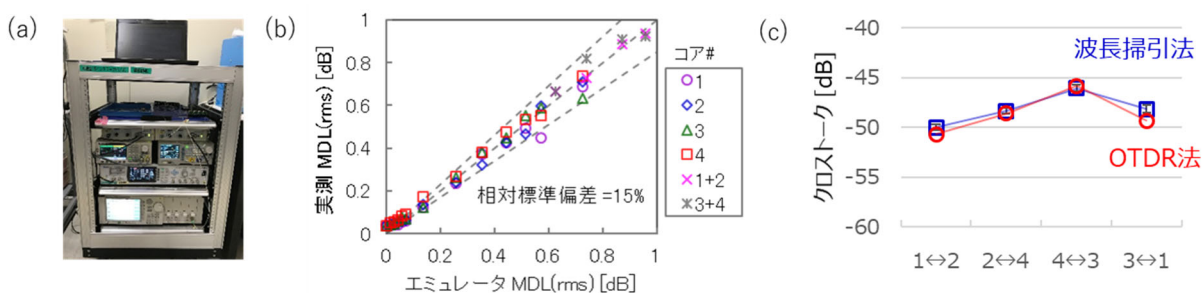


図 3.1.2.1 (a)開発した測定系、(b)MDL エミュレータによる MDL 測定検証結果、および(c)OTDR 法を比較対象とした XT 測定検証結果。

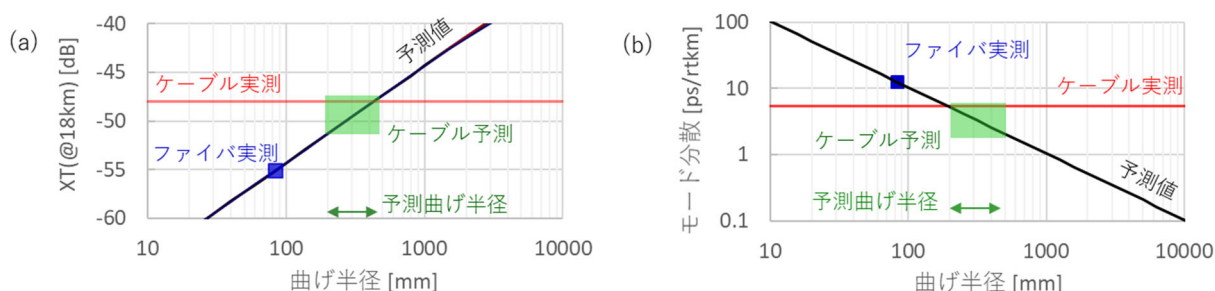


図 3.1.2.2 (a)非結合型 4 コアファイバのケーブル化後のクロストークの予測値および実測値、(b)結合型 4 コアファイバのケーブル化後のモード分散の予測値および実測値。

### ア-b-2) OTDR による空間多重型光ファイバの評価技術 (東北大学)

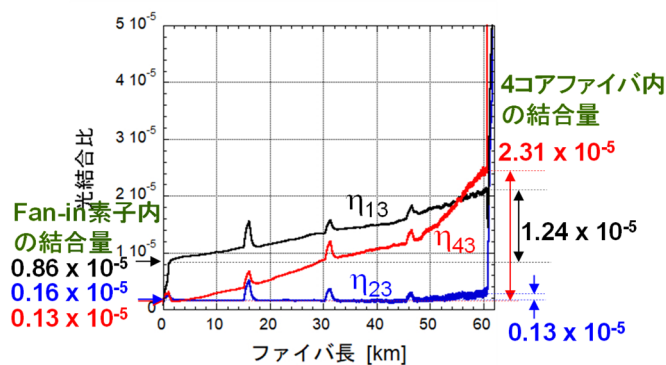
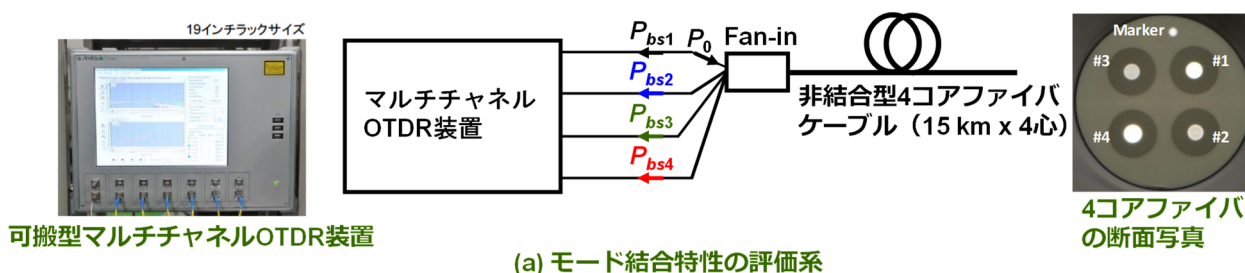
時間領域光リフレクトメトリ (Optical Time Domain Reflectometry: OTDR) を用いたマルチコアファイバのコア間モード結合特性の評価システムを開発し、被測定光ファイバの片側の端面での測定が可能な実用性の高い評価技術を確立した。

まず 4 チャンネルの同期測定が可能なマルチチャンネル OTDR 装置を用いて KDDI 総合研究所が長距離伝送実験に使用した長さ 60 km の結合および非結合型 4 コアファイバのモード結合特性評価を実施した。結合型マルチコアファイバにおいては、パルス励振したコアから他の 3 つのコアへ同レベルで光結合し、かつそのモード結合量が 60 km のファイバ全域に亘り一様に分布していること明らかにした。このことから本ファイバはその構造に高い一様性を有していることを実証した。一方、非結合型 4 コアファイバに対しては、ファイバ中のモード結合量が隣接コア間で約 50 dB、対向コア間で約 65 dB と低く、長距離伝送に適した良好な特性を有することを確認した。

つぎに NEC が試作した非結合型 4 コアファイバケーブルの特性評価を実施した (図 3.1.2.3 参照)。

80 dB 以上の高い測定感度の条件のもと長さ 60 km の 4 コアファイバケーブル中の微小なモード結合量の長手方向変化を評価した。そして、4 コアファイバを含めた部品毎 (Fan-in/out) のモード結合量を分離して測定できることを実証した。さらに、住友電気工業が実施した透過光を用いたクロストーク特性の結果との良好な一致を得た。このことから両測定法による評価結果の有効性を実証した。

片端測定が可能な本 OTDR 法は敷設されたマルチコアファイバ伝送路のモード結合特性の評価が可能であり、空間多重伝送システムの管理用ツールとしての応用が期待できる。



(b) コア間におけるモード結合量の長手変化特性の評価結果の一例

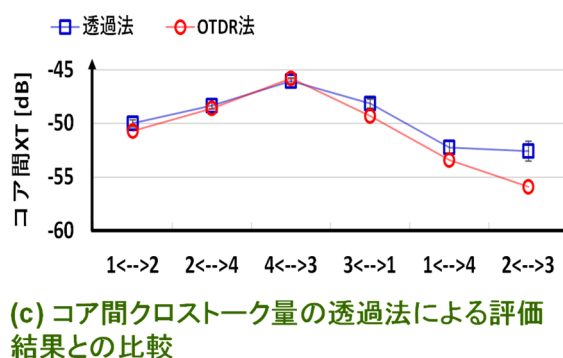


図 3.1.2.3 OTDR 法を用いた 4 コアファイバケーブルのモード結合特性の評価結果

### 3. 1. 3 空間多重型光中継器の方式検討

効率的な励起技術を開発し、コア当たりの消費電力が現行のシングルモードファイバ用増幅器に匹敵する増幅技術を確立する。

#### ア-c-1) 高効率マルチコア光増幅技術 (古河電工)

クラッド励起型マルチコア増幅器の検討においてマルチコア EDF の特性改善と励起技術の改善の 2 つの技術に取り組んだ。マルチコア EDF の特性改善としてはクラッド内に散乱体を設けて励起光の散乱を促す構成を実現した。励起技術の改善では信号伝搬方向の双方向化に取り組んだ。

ファイバの改善として行った散乱体付与として、クラッド内に気泡を配置する取り組みを行った。マルチコア EDF 内において励起光はマルチモード伝搬している。しかし、積極的なモード多重は行われず、ほとんどの光パワーは一定のモードにて伝搬することとなる。光ファイバ全体を伝搬する励起光がコア内の信号光に作用して増幅を行うが、この相互作用もマルチモードとして伝搬している励起光パワーの一部のモードのみが使用され、減衰していくことになる。励起に寄与していないモードが散乱体の存在により励起可能なモードへ変換されれば励起効率が増大されることとなる。実際に試作でマルチコア EDF 中に気泡を混入させたところ励起効率の上昇が確認された。

クラッド一括励起方式において励起効率はクラッド径と相関があり、クラッドの断面積の縮小に比例して励起効率が增大する。これはクラッド内の平均励起光パワーと励起効率が呼応しているためである。マルチコアEDFのクラッド径を縮小するためには各コア間距離（コアピッチ）を低減させる必要がある。しかし、コアピッチの縮小はクロストークの増大と直結しているため、コアピッチ縮小によるクラッド径縮小には限界がある。一方クロストークは信号の伝搬方向依存性があり、逆方向に信号を伝搬させたコアからのクロストークは実質受けない。このため隣接コアを伝搬する信号の伝搬方向を逆向きにすることによりコアピッチを拡大せずにクロストークを低減する技術の確認を行った。この結果、増幅特性に悪影響なく、クロストークが半減できることが分かった。この技術の適用により、マルチコアEDFのクラッド径縮小、さらには励起効率増大の見通しが確認された。

図 3.1.3.1 に双方向伝搬に加え励起光リサイクル技術を適用した効率化の例を示す。励起光リサイクル技術はすでに実績のあり、マルチコアEDFのクラッド内で消費しきれなかった残留励起光を回収し、再入力することにより、励起効率を高める技術である。この2つの技術を合わせて活用することにより、効率的に利得効率をあげる取組も実証できた。

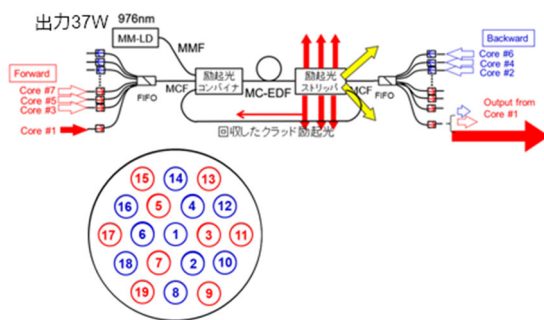


図 3.1.3.1 双方向伝搬、ポンプリサイクルの適用

### ア-c-2) 結合型マルチコア光増幅システム技術 (NEC)

結合型7コア光増幅器、および、より実用化に近い結合型4コア光増幅器の試作を行った。コア毎の出力レベルを安定化させるために、励起光を入力するファイバにクロストークが少ないものを使用する増幅器の構成とした。次に、コア毎の励起光制御を可能にするために、図 3.1.3.2 のように1コアあたり5msの高速なモニタを実現し、コア内時間変動を0.6dB以下(目標は3.0dB以下)を実現した。

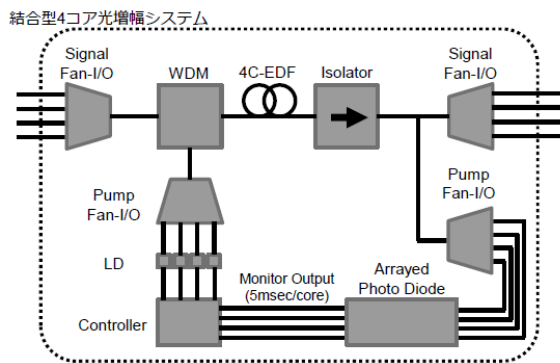


図 3.1.3.2 結合型4コア光増幅システム構成

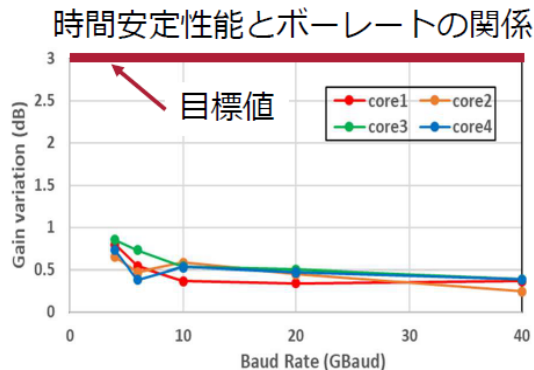


図 3.1.3.3 時間安定性能とボーレートの関係

図 3.1.3.2 は構築した結合型4コア光増幅システムの構成図であり、図 3.1.3.3 はその時間安定性を測

定したものである。図 3.1.3.3 の横軸は光信号の Baud Rate で、縦軸が光増幅器のゲイン変動である。この図から、4GBaud の光信号であれば 0.9dB 以下、現在の一般的なシステムで用いられている 32GBaud 以上であれば 0.5dB 以下を実現し、当初目標であった結合型光増幅器において、増幅コア毎に出力レベルを ±1.5dB 以内に安定化させることを実現した。

### 3. 2 マルチコア要素基盤技術開発

#### 3. 2. 1 空間多重型高密度デバイス基盤技術

アイソレータ・カプラ等の複数機能デバイスを統合した 2 つ以上の機能を有する基本デバイス技術を確立し、システムの小型化・高性能化を実現するとともに、コア径・コアピッチに依存せず使用可能な汎用性の高いデバイス技術を確立する。また、多数空間チャンネルによる高入力パワーに耐えうる低損失デバイス技術を確立する。

##### イ-a) 空間多重型高密度デバイス基盤技術（オプトクレスト）

本研究によって 2 つ以上の機能を有する複合機能デバイスとして表 3.2.1.1 に示す 4 種のデバイスを開発した。それぞれのデバイスはシステムの小型化・高性能化を実現する指標として挿入損失 1.0dB 以下、サイズ比率 1.5 倍以下を掲げて開発を進めて、その目標を達成した。表 3.2.1.2 にそれぞれのデバイスの目標値に対する具体的な特性を示した。研究初期において 2 つのマルチコアファイバを隣接させて搭載する 2 芯マルチコアファイバアレイ構造を新たに開発して小型化を実現し、アイソレータ (ISO) 内蔵 TAP デバイスを検討した。また、後期においてはその派生として 3 種の Fan-IN/OUT 機能を有する複合機能デバイスを検討した。これらのデバイスは単レンズを用いることによりコア径・コアピッチに依存しない構造とし、初期に検討した ISO+TAP デバイスでは 5 コア MCF を用いて試作評価を行い、後期 3 種類の複合機能デバイスでは 4 コア MCF を用いてそれぞれ所望の特性が得られることを確認した。高入力パワーに対する耐性に関する研究としては、ハイパワー入力時のファイバ発熱のメカニズムを明らかにし、問題を解決するための手段としてファイバ保持部の熱を拡散する構造とすることでこれまでの構造に比べて発熱を大幅に低減することを確認し、最大 1.5W/core を複数コアに同時に入力する 1 時間の通光試験に耐えることを示した。

更に本研究では新たな生産技術として IR カメラを用いた光学調心技術を開発し、空間結合型デバイスのデメリットとして指摘される製造時間を従来工法と比較して 23%削減することに成功した。

表 3.2.1.1 開発した 4 種の複合機能デバイスの概要と内部構成および外観写真

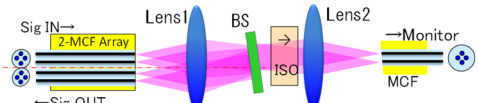
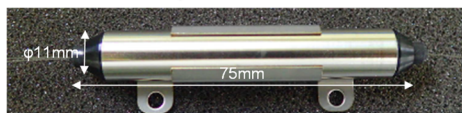
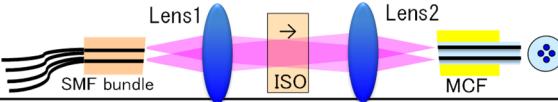
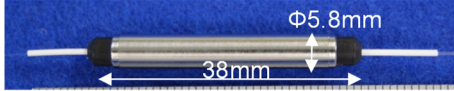
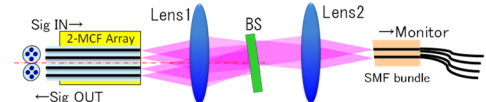

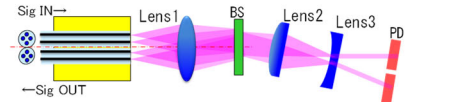
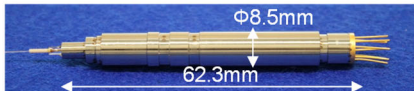
<p><b>1) ISO+TAPデバイス</b></p> <p>アイソレータ機能とTAPモニタ機能を複合化したデバイス。小型化のための2芯MCF構造やMCF種に依存しない特性を確認した開発初期のデバイス。後継となる2)~4)のデバイスの礎となった。</p>	<p>内部構成</p>  <p>外観写真</p> 
<p><b>2) FIFO+ISOデバイス</b></p> <p>アイソレータ機能とFIFO機能を複合化したデバイス。空結型FIFOの空間光路中にISOを搭載して複合デバイス化した。</p>	<p>内部構成</p>  <p>外観写真</p> 
<p><b>3) Fan-OUT内蔵TAPデバイス</b></p> <p>ファンアウト機能とTAPモニタ機能を複合化したデバイス。2芯MCFアレイによる小型化構造とバンドルファイバとで構成した。</p>	<p>内部構成</p>  <p>外観写真</p> 
<p><b>4) O/E変換器内蔵TAPデバイス</b></p> <p>TAPモニタ機能とO/E変換機能とを複合化したデバイス。2芯MCFアレイによる小型化構造サブマウント型PDの採用による汎用性の高いモニタデバイス。</p>	<p>内部構成</p>  <p>外観写真</p> 

表 3.2.1.2 実現した各デバイスの目標値に対する特性

	損失 (平均値 / 3σ 値 / 平均+3σ) (目標値 : 1.0dB 以下)	サイズ比率 (目標値 : 1.5 倍以下)
1) ISO+TAP デバイス	0.65dB / 0.14dB / <u>0.79dB</u>	1.06 倍
2) FIFO+ISO デバイス	0.29dB / 0.41dB / <u>0.70dB</u>	0.50 倍
3) TAP+FO デバイス	0.52dB / 0.27dB / <u>0.79dB</u>	0.76 倍
4) O/E 変換器内蔵 TAP デバイス	0.15dB / 0.16dB / <u>0.31dB</u>	0.35 倍

### 3. 2. 2 マルチコアファイバケーブルシステムの基盤開発

フィールドに導入可能なケーブル面積及び 15kV の給電上限を考慮したマルチコアファイバケーブルシステムの設計技術を開発する。ケーブル総容量 320Tbps の長距離大容量伝送システム技術を確立する。試作する中継器では、部品点数の削減を通じて、ケーブル実装の可能性を示す。また、短距離ケーブルの試作評価によりア-b)で確立するファイバ性能予測技術の妥当性を実証するとともに、ケーブルの性能評価指標を明確化する。

#### イ-b) マルチコアファイバケーブルシステムの基盤技術 (NEC)

今までのシングルコアファイバでは存在しないマルチコアファイバ特有のクロストークを考慮した GOSNR (Generalized optical signal-to-noise ratio) の検討やマルチコア光増幅器のセルフヒーリング効果を明らかにし、図 3.2.2.1 に示すように非結合型および結合型の 4 コアファイバケーブルの試作を行

った。それにより、17mm ケーブルに最大で 16 ファイバペア（コア数で言えば、4 コア×16 ファイバペア×2=128 コア）のマルチコアファイバが収容可能であることを実証した。

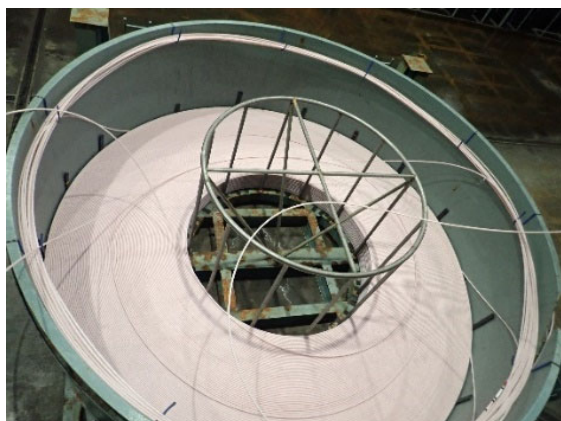


図 3.2.2.1 試作した非結合型マルチコアケーブル



図 3.2.2.2 試作したマルチコアゲインブロック

ク

また海底ケーブルシステムの中継器の小型化に関しては、中継器の主要な役割でもあり体積の多くを占める光増幅機能（ゲインブロック）に着目しその小型化を検討した。マルチコアファイバシステムの場合コア数に比例して光増幅器が必要となるが、マルチコアに対応した部品の開発・使用、および、接続関係を考慮した部品の最適配置などにより、現行収容スペースの 1/2 を実現した(図 3.2.2.2)。さらに課題ア－b)と連携し、試作した非結合型/結合型マルチコアケーブルを用いて、その性能予測技術の妥当性を検証した。

#### 4 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた取組みの実施状況

ケーブルオーナーである Google 社と意見交換を行う（NEC 社、住友電工社も参加）と共に、招待講演やポストデッドラインペーパーを含む国際会議（OFC、ECOC、OECC 等）での発表、海底ケーブルシンポジウムでのキーノート講演、論文誌への投稿・採録を通じて、プロジェクトの重要性の積極的な社外発信を行った。また、国際標準化活動の一環として、関連する NICT 委託研究プロジェクトとも協力して、ITU-T SG15 において空間分割多重用光ファイバケーブルの技術レポートの作成を進めた。具体的には、空間多重技術の検討背景、適用領域、空間多重光ファイバ、ケーブル及び関連部品の分類等について、技術レポートの修正および新規コンテンツの追加を提案し承認された。以上より、マルチコアファイバ技術を含む次世代光海底ケーブルシステムの実用導入検討を計画通りに促進した。（KDDI 総合研究所）

東北大学が担当した技術開発は、KDDI 総合研究所（空間多重型光ファイバの方式検討）ならびに住友電気工業（空間多重型光ファイバの評価技術検討）が担当する研究課題を補助するものである。

空間多重型光ファイバの方式検討において、KDDI 総合研究所が実施する長距離ファイバ伝送時に問題となる GAWBS 位相雑音の実験および理論的解析が順調に進み、本雑音デジタルコヒーレント伝送に及ぼす影響について有益な知見を得ている。研究開発は計画通り進んでいる。

空間多重型光ファイバの評価技術検討においては、最終目標であったケーブル化したマルチコアファイバの OTDR 法によるモード結合特性評価を実施し、住友電気工業による透過光を用いた評価結果との測定値の良い一致を得た。これにより両者の開発した評価技術の有効性を実証するとともに、住友電気工業の方

式では測定が困難であった、モード結合量のファイバ長手方向分布特性の評価を補うことに成功している。  
(東北大学)

マルチコアファイバ技術開発に加え、イラクイラ大学らと共同での世界初の陸上敷設実証を行ない、大容量伝送が可能であることを実証した。これらの成果を情報発信することでマルチコアファイバ技術の実用化に向けた議論を活性化させた。(住友電工)

海底中継器にて使用可能な増幅器への取組として増幅器サイズの小型化をはかった。アウトプット目標では増幅器としての性能を重視した取り組みを行ってきたのに対し、実用化に向けては海底ケーブル用中継器内で収容可能な小型増幅器の開発を進めた。現時点で、通常のシングルコア増幅器に対して半分のサイズとすることができることを実証しており、今後の部品集約化などにより更なる小型化が進む見通しを立てた。

知財確保に向けて積極的に取り組み、増幅媒体としてのマルチコアEDFの最適化、励起光導入などの特許出願を行った。今後の権利化活動も積極的に取り組んでいく予定である。(古河電工)

NEC は本研究開発で得られた成果を光ファイバ通信の業界では著名な学会である OFC や ECOC で重ねて発表するとともに、海底ケーブルのサプライヤとして Google などの顧客との議論を通じた市場要求の反映とプロモーションを行った。(日本電気)

開発したデバイスを潜在顧客にアピールするために国内外の研究学会での技術成果発表や展示会での製品展示を行っており、また本開発品のサンプル出荷が可能な体制を構築し、対外顧客へ告知する弊社ホームページ上での記事掲載も行い今後の製品の上市を目指している。関連製品の知財に関しては、特許としてデバイスの特性を維持するための基本構造に関するものや生産技術に関する申請を行っており、競合他社に対する参入障壁として機能するよう配慮した知財戦略を行っている。(オプトクエスト)

## 5 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた計画

本研究開発を通して得た知見を次世代光海底ケーブルシステムの骨子技術とし、具体的なケーブルシステム建設計画検討へと進められるよう、伝送技術面およびその周辺必須技術開発支援、加えて建設・運用保守面での課題解決を促進する。(KDDI 総合研究所)

2022 年度～： 接続・敷設・運用保守技術等の周辺必須技術開発の推進

マルチコアファイバ・ケーブルの標準化推進

伝送品質に関するケーブル受け入れ条件要素の検討・明確化

2025 年以降： マルチコアファイバケーブルシステムの導入

空間多重型光ファイバの方式検討に関して、プロジェクト終了後も引き続き数 1000 km の長距離伝送時の光雑音補償回路の改良を図り、低雑音化に最適な変調方式を KDDI 総合研究所へフィードバックする。空間多重型光ファイバの評価技術検討においては、可搬型の実用性の高い測定装置を実現した。得られた研究成果を学会報告し、その有用性をアピールしていく。(東北大学)

海底通信向け低損失マルチコアファイバ技術開発や、陸上での敷設マルチコアファイバの実証に取り組み、成果を対外発表して導入に向けた議論の活性化を図る。また、マルチコアファイバ技術に関する標準化議論に参加し、標準化に向けた合意形成に貢献する。(住友電工)

これまでに取り組んできた、増幅器の省電力化、小型化及び知財活動を継続していくとともに、各製品の信頼性検証を行い、海底用中継器として適用可能な増幅器として商用化可能とする活動へと展開していく予定である。さらに、出願済特許の権利化と継続開発により必要となれば追加出願も行い、商用化を進めていく。(古河電工)

NECは海底ケーブルシステムのサプライヤとして、1)顧客、市場へのプロモーション、2)マルチコア海底ケーブル、マルチコア海底中継器の量産化技術の確立、3)マルチコア融着技術、ケーブル建設、保守、メンテナンスにかかわるマルチコア周辺技術の確立に取り組み、マルチコアファイバ海底ケーブルの事業化を進める。(日本電気)

今後は研究成果で実現したデバイスのサンプル出荷を通して市場投入を実施し、同様に潜在顧客にアピールするため広く展示会での製品展示を行っていく予定である。その中から多くのユーザーからの要望を抽出し、本委託研究で得られた基本技術をベースに更なる機能デバイスの開発も実施していく予定である。また、完成度をさらに高めるため構造や製造工程の見直しを実施し、量産可能な製品を目指した取り組みを継続していく。(オプトクエスト)



## 6 査読付き誌上発表論文リスト

- [1] M. Yoshida, N. Takefushi, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Suppression of large error floor in 1024 QAM digital coherent transmission by compensating for GAWBS phase noise," *Optics Express*, Vol. 27, No. 25, pp. 36691-36698 (2019年12月)
- [2] N. Takefushi, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Theoretical and experimental analyses of GAWBS phase noise in various optical fibers for digital coherent transmission," *Optics Express*, Vol. 28, No. 3, pp. 2873-2883 (2020年2月)
- [3] Hitoshi Takeshita, Masaki Sato, Yoshihisa Inada, Emmanuel Le Taillandier de Gabory, Yuichi Nakamura, "Past, Current and Future Technologies for Optical Submarine Cables," 2019 IEEE/ACM Workshop on Photonics-Optics Technology Oriented Networking, Information and Computing Systems, pp. 36-42 (2019年11月)
- [4] Shohei Beppu, Daiki Soma, Seiya Sumita, Yuta Wakayama, Hidenori Takahashi, Takehiro Tsuritani, Itsuro Morita, and Masatoshi Suzuki, "402.7-Tb/s MDM-WDM transmission over weakly coupled 10-mode fiber using rate-adaptive PS-16QAM signals," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 38, No. 10, pp. 2835 - 2841 (2020年5月)
- [5] Shohei Beppu, Koji Igarashi, Masahiro Kikuta, Daiki Soma, Tomoyuki Nagai, Yasuo Saito, Hidenori Takahashi, Takehiro Tsuritani, Itsuro Morita, and Masatoshi Suzuki, "Weakly coupled 10-mode-division multiplexed transmission over 48-km few-mode fibers with real-time coherent MIMO receivers," *Optics Express*, Vol. 28, No. 13, pp. 19655-19668 (2020年6月)
- [6] N. Takefushi, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "GAWBS phase noise characteristics in multi-core fibers for digital coherent transmission," *Optics Express*, Vol. 28, No. 15, pp. 23012-23022 (2020年7月)
- [7] M. Yoshida, N. Takefushi, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Precise measurements and their analysis of GAWBS-induced depolarization noise in various optical fibers for digital coherent transmission," *Optics Express*, Vol. 28, No. 23, pp. 34422-34433 (2020年11月)
- [8] T. Kan, K.Sato, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Spectrally efficient pilot tone-based compensation of inter-channel cross-phase modulation noise in WDM coherent transmission using injection locking," *Optics Express*, Vol. 29, No. 2, pp. 1454-1469 (2021年1月)
- [9] K. Sato, T. Kan, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Chromatic dispersion dependence of GAWBS phase noise compensation with pilot tone," *Optics Express*, Vol. 29, No. 7, pp. 10676-10687 (2021年3月)
- [10] Daiki Soma, Shohei Beppu, Yuta Wakayama, Seiya Sumita, Hidenori Takahashi, Noboru Yoshikane, Itsuro Morita, Takehiro Tsuritani and Masatoshi Suzuki, "50.47-Tbit/s Standard Cladding Coupled 4-Core Fiber Transmission over 9,150 km," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 39, Issue 22, pp. 7099-7105 (2021年11月)
- [11] K. Sato, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "GAWBS noise correlation between cores in multi-core fibers," *Optics Express*, Vol. 29, No. 26, pp. 42523-42537 (2021年12月)
- [12] Shohei Beppu, Masahiro Kikuta, Koji Igarashi, Hiroshi Mukai, Masahiro Shigihara, Yasuo Saito, Daiki Soma, Hidenori Takahashi, Noboru Yoshikane, Takehiro Tsuritani, Itsuro Morita and

- Masatoshi Suzuki, "Long-haul coupled 4-core fiber transmission over 7,200 km with real-time MIMO DSP," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 40, Issue 6, pp. 1640-1649 (2022年3月)
- [13] M. Yoshida, K. Sato, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Precise Measurements and their Analysis of GAWBS-Induced Depolarization Noise in Multi-Core Fiber for Digital Coherent Transmission," *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E105-B, No. 2, pp. 151-158 (2022年2月)
- [14] Daiki Soma, Shohei Beppu, Yuta Wakayama, Seiya Sumita, Hidenori Takahashi, Noboru Yoshikane, Itsuro Morita, Takehiro Tsuritani, Masatoshi Suzuki, "Trans-Pacific class transmission over a standard cladding ultralow-loss 4-core fiber," *Optics Express*, Vol. 30, Issue 6, pp. 9482-9493 (2022年3月)
- [15] Manabu Arikawa, "Long-Haul WDM/SDM Transmission over Coupled 4-Core Fiber with Coupled 4-Core EDFA and Its Mode Dependent Loss Characteristics Estimation," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 40, No. 6, pp. 1664-1671 (2022年3月)
- [16] K. Kasai, T. Kan, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Broadband injection-locked homodyne receiver for digital coherent transmission using a low Q Fabry-Perot LD," *Optics Express*, Vol. 30, Issue 8, pp.13345-13355 (2022年3月)

## 7 査読付き口頭発表論文（印刷物を含む）リスト

- [1] M. Yoshida, N. Takefushi, M. Terayama, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Reverse Phase Modulation Technique for GAWBS Noise Error Floor Elimination in 1024 QAM-160 km Digital Coherent Transmission," *OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2018*, 4B1-3 (2018年7月2日～6日)
- [2] K. Kasai, Y. Wang, S. Okamoto, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "200 Gbit/s, 10 Gsymbol/s-1024 QAM Injection Locked Coherent Transmission over 160 km with a Pilot-Assisted Adaptive Equalizer," *OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2018*, 4B1-4 (2018年7月2日～6日)
- [3] T. Kan, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "50.4 Tbit/s, 128 QAM L-band WDM Injection Locked Coherent Transmission over 160 km with Spectral Efficiency of 10.5 bit/s/Hz," *OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2018*, 5B3-3 (2018年7月2日～6日)
- [4] 別府翔平、相馬大樹、高橋英憲、釣谷剛宏, "MIMO capacity analysis for the MMSE detection in strongly-coupled SDM systems," *International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) 2019*, P-22 (2019年5月30日)
- [5] エルソン ダニエル、高橋英憲、釣谷剛宏, "On the effect of back propagation bandwidth on nonlinear compensation in multicore fibres," *International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) 2019*, P-27 (2019年5月30日)
- [6] 相馬大樹、別府翔平、角田聖也、若山雄太、釣谷剛宏、森田逸郎、鈴木正敏, "402.7-TB/S WEAKLY-COUPLED 10-MODE-MULTIPLEXED TRANSMISSION USING RATE-ADAPTIVE PS PDM-16QAM WDM SIGNALS," *European Conference on Optical Communication (ECOC) 2019*, W.2.A.2 (2019年9月25日)

- [7] 別府翔平、五十嵐浩司、向啓志、菊田将弘、嶋原正博、相馬大樹、釣谷剛宏、森田逸郎, “Real-time strongly-coupled 4-core fiber transmission,” Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2020, Th3H.2 (2020年3月12日)
- [8] N. Takefushi, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “GAWBS Noise Characteristics in Digital Coherent Transmission in Various Optical Fibers,” OptoElectronics and Communications Conference / International Conference on Photonics in Switching and Computing (OECC/PSC) 2019, Th2C-5 (2019年7月8日～11日)
- [9] N. Takefushi, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Experimental and theoretical analyses of GAWBS depolarization noise in digital coherent transmission,” European Conference on Optical Communication (ECOC) 2019, Tu.1.C.1 (2019年9月23日～26日)
- [10] N. Takefushi, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Experimental and theoretical analyses of GAWBS phase noise in multi-core fiber for digital coherent transmission,” Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2020, T4J.3 (2020年3月9日～12日)
- [11] H. Sakuma et al., “125- $\mu$ m-cladding low-loss uncoupled four-core fiber,” International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) 2019 (2019年5月29日)
- [12] H. Sakuma et al., “Microbending behavior of randomly-coupled ultra-low-loss multi-core fiber”, European Conference on Optical Communication (ECOC) 2019, M.1.D.2 (2019年9月22日)
- [13] Koichi Maeda, Shigehiro Takasaka, Kohei Kawasaki, Kazuaki Yoshioka, Ryuichi Sugizaki, and Masayoshi Tsukamoto, “Propagation Direction Interleaved Cladding Pumped 19-core EDFA,” OptoElectronics and Communications Conference / international Conference on Photonics in Switching and Computing (OECC/PSC) 2019, MC2-3 (2019年7月8日)
- [14] Shigehiro Takasaka, Koichi Maeda, Kohei Kawasaki, Kazuaki Yoshioka, Ryuichi Sugizaki, and Masayoshi Tsukamoto, “Absorption Ratio Dependence of Gain Characteristics on Cladding Pumped Multicore EDFAs,” European Conference on Optical Communication (ECOC) 2019, P-77 (2019年9月25日)
- [15] Ryuichi Sugizaki, Masanori Takahashi, Koichi Maeda, Shigehiro Takasaka and Masayoshi Tsukamoto, “Multicore fiber technologies toward practical use,” SPIE Photonics West, 11308-23 (2020年2月6日)
- [16] 中村康平, “Performance of Multi-Core EDFA for Submarine Cable Application,” International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) 2019, P-28 (2019年5月30日)
- [17] 竹下仁士, “Real-Time Optical Gain Monitoring for Coupled Core Multi-Core EDFA with Strong Inter-Core Crosstalk,” Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2020, M4C.4 (2020年3月9日)
- [18] T. Takahata, Y. Minagawa, T. Kobayashi, “Compact Composite Device Using Multi-core Fiber for Space Division Multiplexed Systems,” International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) 2019, P-04 (2019年5月30日)
- [19] T. Takahata, Y. Minagawa, T. Kobayashi, “Compact Tap-Isolator Module using Multicore Fibre with Practically Low loss and Small loss-variation,” European Conference on Optical

- Communication (ECOC) 2019, W.2.C.3 (2019年9月25日)
- [20] Yuta Wakayama, Jaekwon Ko, Noboru Yoshikane, Takehiro Tsuritani, "Pure-Silica Single-Core to Multi-Core Fiber Coupler with Side-Polishing Approach," OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020, T3-3.4 (2020年10月7日)
- [21] Daiki Soma, Shohei Beppu, Seiya Sumita, Yuta Wakayama, Noboru Yoshikane, Takehiro Tsuritani, "Ultra-High-Capacity Weakly Coupled Mode-Division-Multiplexed Transmission," OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020, T2-5.1 (2020年10月8日)
- [22] Shohei Beppu, Daiki Soma, Hidenori Takahashi, Noboru Yoshikane, Itsuro Morita and Takehiro Tsuritani, "Experimental Verification on Digital Back Propagation Gain in MCF transmission over 6020-km Uncoupled and Coupled 4-Core Fibres," European Conference on Optical Communication (ECOC) 2020, Mo2E-2 (2020年12月7日)
- [23] Daiki Soma, Shohei Beppu, Hidenori Takahashi, Noboru Yoshikane, Itsuro Morita, Takehiro Tsuritani, "Performance Comparison for Standard Cladding Ultra-Low-Loss Uncoupled and Coupled 4-Core Fibre Transmission over 15,000 km," European Conference on Optical Communication (ECOC) 2020, Mo2E-4 (2020年12月7日)
- [24] K. Sato, T. Kan, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Chromatic Dispersion Dependence of GAWBS Noise," OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020, T2-1.2 (2020年10月5日~8日)
- [25] T. Kan, K. Sato, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Precise and Wideband Compensation of Inter-Channel Cross-Phase Modulation Noise in WDM Coherent Transmission Using Injection Locking," OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020, T2-3.4 (2020年10月5日~8日)
- [26] M. Yoshida, K. Sato, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Precise measurements and their analysis of GAWBS-induced depolarization noise in multi-core fiber for digital coherent transmission," 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ITETC), C2-3 (2020年12月2日~4日)
- [27] Koichi Maeda, Shigehiro Takasaka, Ryuichi Sugizaki, "Recent progress of cladding pumped MC-EDFA," OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020, T5-3.2 (2020年10月7日)
- [28] Koichi Maeda, Shigehiro Takasaka, Kazuaki Yoshioka, Ryuichi Sugizaki, Masayoshi Tsukamoto and Yoshihiro Arashitani, "Propagation Direction Interleaved Cladding Pumped 19-core EDFA," OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020, VP56 (2020年10月7日)
- [29] Takasaka Shigehiro, Maeda Koichi, Sugizaki Ryuichi, Arashitani Yoshihiro, "Output Power Increase of Cladding Pumped 7-core EDFA by Using Mie Scattering," European Conference on Optical Communication (ECOC) 2020, Th2A-2 (2020年12月10日)
- [30] Manabu Arikawa and Hidemi Noguchi, "Fast Convergence by Machine Learning Optimizer for Adaptive MIMO Equalizer Used in SDM Transmission over Coupled-Core 4-Core Fiber and 4-Core EDFA," European Conference on Optical Communication (ECOC) 2020, Mo2E-6 (2020年12月6日)

- [31] Hitoshi Takeshita, Manabu Arikawa, Keiichi Matsumoto, Kohei Hosokawa and Emmanuel Le Taillandier de Gabory, "Evaluation of the Signal Amplified by CC-MC-EDFA under Inter-core Crosstalk Using a Scalable SDM/TDM Translation," European Conference on Optical Communication (ECOC) 2020, Th2A-3 (2020年12月7日)
- [32] T. Takahata, A. Kaya, S. Nagayama, T. Kobayashi, "Compact Monitor device for Multicore Fibre with Practically Low loss using Multiple Lenses," European Conference on Optical Communication (ECOC) 2020, Th1A-6 (2020年12月10日)
- [33] Manabu Arikawa, "Long-Haul WDM/SDM Transmission over Coupled 4-Core Fiber with Coupled 4-Core EDFA and Its MDL Characteristics Estimation," Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021, W7D.2 (2021年6月6日)
- [34] K. Sato, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "GAWBS Noise Correlation Between Cores in Four-Core Fiber," Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021, Tu6B.3 (2021年6月8日)
- [35] S. Beppu, K. Igarashi, M. Kikuta, H. Mukai, M. Shigihara, Y. Saito, D. Soma, H. Takahashi, N. Yoshikane, I. Morita and T. Tsuritani, "Real-time MIMO-DSP Technologies for SDM Systems," Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021, W7D.4 (2021年6月9日)
- [36] Daiki Soma, Shohei Beppu, Yuta Wakayama, Seiya Sumita, Hidenori Takahashi, Noboru Yoshikane, Itsuro Morita, Takehiro Tsuritani and Masatoshi Suzuki, "50.47-Tbit/s Standard Cladding Ultra-Low-Loss Coupled 4-Core Fiber Transmission over 9,150 km," Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021, W7D.3 (2021年6月9日)
- [37] T. Kan, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Broadband Dynamic Injection-Locking Performance of Fabry-Perot LD and Its Application to Coherent Homodyne Receiver," Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021, F2A.5 (2021年6月11日)
- [38] S. Beppu, M. Kikuta, K. Igarashi, H. Mukai, M. Shigihara, Y. Saito, D. Soma, H. Takahashi, N. Yoshikane, I. Morita, M. Suzuki and T. Tsuritani, "Real-time Transoceanic Coupled 4-core Fiber Transmission," Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021, F3B.4 (2021年6月11日)
- [39] T. Hasegawa and T. Hayashi, "Measurement of Mode Dependent Loss of Randomly-Coupled Multi-Core Fiber using Scrambling Method," OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2021, T2C.2 (2021年7月6日)
- [40] Shohei Beppu, "Real-Time Mode-Division-Multiplexed Transmission with Coupled-Core Multicore Fibers," Signal Processing in Photonic Communications 2021, SpTu4D.3 (2021年7月27日)
- [41] 別府翔平、吉兼昇、"実時間 MIMO 信号処理回路を用いたモード多重伝送実験"、EXAT 研究会、招待講演 (2021年8月26日)
- [42] S. Beppu, M. Kikuta, K. Igarashi, H. Mukai, M. Shigihara, Y. Saito, D. Soma, H. Takahashi, N. Yoshikane and T. Tsuritani, "Mode-multiplexed 16QAM transmission over 60-km coupled four-core fibres using real-time MIMO-DSP with high-accuracy frequency offset estimation," European Conference on Optical Communication (ECOC) 2021, We1C2.3 (2021年9月15日)
- [43] T. Takahata, A. Kaya, S. Nagayama, Y. Ozawa, Y. Minagawa, T. Kobayashi, "High Reliability Fan-in / Fan-out Device with Isolator for Multi-core fibre Based on Free Space Optics," European

Conference on Optical Communication (ECOC) 2021, We1A.5 (2021年9月15日)

- [44] Shohei Beppu, Noboru Yoshikane, “Real-time MIMO detection over SDM fibers: Feasibility and challenges,” Asia Communications and Photonics Conference (ACP) 2021, M4H.5 (2021年10月25日)
- [45] M. Yoshida, K. Sato, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “GAWBS phase noise correlation between cores in 19-core fiber,” International symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) 2021, P-11 (2021年11月4日)
- [46] H. Sakuma, et al., “Ultra-low loss SDM fiber technologies for long-haul transmission,” International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) 2021, F1.3 (2021年11月5日)
- [47] Shohei Beppu, Noboru Yoshikane, “Real-time long-haul MDM transmission over coupled-core multicore fibers using real-time MIMO DSP,” International Workshop on Optical signal processing and Optical switching 2021, Session 1-1 (2021年12月8日)
- [48] Shohei Beppu, Noboru Yoshikane, “Demonstration of real-time space division multiplexed transmission using coupled-core fibers with real-time MIMO DSP,” Photonics West On Demand 2022, Paper 12028-3 (2022年2月21日)
- [49] Hitoshi Takeshita, “First Demonstration of Uncoupled 4-Core Multicore Fiber in a Submarine Cable Prototype with Integrated Multicore EDFA,” Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2022, M4B.1 (2022年3月7日)
- [50] 井上貴則, “海底光ケーブルシステム向けマルチコアファイバケーブル特性”, 電子情報通信学会総合大会 (2022年3月15日)
- [51] 別府翔平, 相馬大樹, 吉兼昇, “結合型・非結合型 MCF の大洋横断級長距離伝送技術”, 電子情報通信学会総合大会, 企画セッション (2022年3月16日)

## 8 その他の誌上発表リスト

なし

## 9 口頭発表リスト

- [1] 管貴志, 葛西恵介, 吉田真人, 廣岡俊彦, 中沢正隆, “注入同期法を用いた 12 bit/s/Hz, 58.2 Tbit/s, 256 QAM-160 km C バンド WDM 伝送”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (金沢市) (2018年9月11日~14日)
- [2] 吉田真人, 竹節直也, 葛西恵介, 廣岡俊彦, 中沢正隆, “GAWBS 位相雑音補償による 1024 QAM コヒーレント光伝送におけるエラーフロアの抑制”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (金沢市) (2018年9月11日~14日)
- [3] 葛西恵介, 中沢正隆, “自己光帰還法を用いた線幅 8 kHz, 出力 50mW, C 帯波長可変 DFB LD”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (金沢市) (2018年9月11日~14日)
- [4] 管貴志, 葛西恵介, 吉田真人, 廣岡俊彦, 中沢正隆, “注入同期法を用いた 12 bit/s/Hz, 58.2 Tbit/s, 256 QAM-160 km C バンド WDM 伝送”, OFT 研究会 (仙台市) (2018年10月11日~12日)
- [5] 竹節直也, 吉田真人, 葛西恵介, 廣岡俊彦, 中沢正隆, “デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS

- 雑音の観測とその補償技術の開発”、OFT 研究会（仙台市）（2018 年 10 月 11 日～12 日）
- [6] 管貴志、葛西恵介、吉田真人、中沢正隆、“注入同期法を用いた 12 bit/s/Hz, 58.2 Tbit/s, 256 QAM-160 km C バンド WDM 伝送”、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会（仙台市）（2018 年 12 月 12 日）
  - [7] 吉田真人、竹節直也、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS 雑音の観測とその補償技術”、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会（仙台市）（2018 年 12 月 12 日）
  - [8] Emmanuel Le Taillandier de Gabory, et al., “Advances in Power-Efficient SDM Transmission Technologies,” Asia Communications and Photonics Conference (ACF) 2018（中国広州）（2018 年 10 月 26 日）
  - [9] Emmanuel Le Taillandier de Gabory, “Part II: Multicore Fiber and Amplification Technology,” Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2019（San Diego）（2019 年 3 月 6 日）
  - [10] 釣谷剛宏、“空間分割多重（SDM）伝送システム技術”、電子情報通信学会総合大会、BCI-1-1（東京都新宿区）（2019 年 3 月 19 日）
  - [11] 杉崎隆一、前田幸一、高坂繁弘、塚本昌義、“クラッド励起用 MC-EDF の吸収特性向上検討”、電子情報通信学会総合大会、B-13-28（東京都新宿区）（2019 年 3 月 21 日）
  - [12] 森田逸郎、“光海底ケーブルシステムの最新技術動向”、第一回光海底ネットワークシンポジウム（東京都目黒区）（2019 年 10 月 4 日）
  - [13] 釣谷剛宏、高橋英憲、“Space-division multiplexing (SDM) technologies for future submarine cable system,” Asia Communications and Photonics Conference (ACP) 2019（中国成都）（2019 年 11 月 5 日）
  - [14] 相馬大樹、別府翔平、高橋英憲、釣谷剛宏、“標準外径マルチコア光ファイバを用いた長距離伝送システムの方式検討”、EXAT 研究会、招待講演（那覇市）（2020 年 2 月 27 日）
  - [15] 相馬大樹、別府翔平、角田聖也、若山雄太、釣谷剛宏、“402.7-Tb/s C+L バンド弱結合 10 モード多重伝送実験”、OCS 研究会（那覇市）（2020 年 2 月 28 日）
  - [16] 別府翔平、相馬大樹、釣谷剛宏、“モード多重 MIMO 伝送システムにおける CMA の収束挙動”、電子情報通信学会総合大会（東広島市）（2020 年 3 月）
  - [17] 竹節直也、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS 雑音の影響とそのファイバ依存性”、OCS 研究会（盛岡市）（2019 年 6 月 20 日～21 日）
  - [18] 管貴志、葛西恵介、吉田真人、廣岡俊彦、中沢正隆、“注入同期型ホモダイン検波回路を用いた 50.4 Tbit/s, L-band 480 ch-WDM, 128 QAM-160 km デジタルコヒーレント光伝送”、OCS 研究会（盛岡市）（2019 年 6 月 20 日～21 日）
  - [19] 竹節直也、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“デジタルコヒーレント光伝送における各種ファイバの GAWBS 雑音特性”、電子情報通信学会ソサイエティ大会（豊中市）（2019 年 9 月 10 日～13 日）
  - [20] 竹節直也、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“デジタルコヒーレント光伝送における各種ファイバの GAWBS 雑音特性”、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会（仙台市）（2019 年 11 月 13 日）
  - [21] 竹節直也、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS

- 雑音の影響とそのファイバ依存性”、電子情報通信学会光通信システムシンポジウム（三島市）（2019年12月17日～18日）
- [22] 長谷川健美、“SDM 光ファイバ・接続・光増幅の技術動向”、情報通信技術委員会主催セミナー（東京都港区）（2019年9月2日）
- [23] 佐久間洋宇、林哲也、永島拓司、中西哲也、相馬大樹、釣谷剛宏、長谷川健美、“極低損失ランダム結合型4コアファイバのマイクロベンダ特性”、電子情報通信学会総合大会（広島市）（2020年3月）
- [24] 高坂繁弘、前田幸一、“マルチコア EDF を用いた光増幅特性”、電子情報通信学会ソサイエティ大会（豊中市）（2019年9月10日）
- [25] 前田幸一、高坂繁弘、川崎浩平、吉岡和昭、杉崎隆一、塚本昌義、“19 コアクラッド一括励起型 EDFA の双方向伝搬によるクロストークの低減”、電子情報通信学会ソサイエティ大会（豊中市）（2019年9月11日）
- [26] 高坂繁弘、前田幸一、川崎浩平、吉岡和昭、杉崎隆一、塚本昌義、“低吸収率7コア EDFA の増幅特性”、電子情報通信学会ソサイエティ大会（豊中市）（2019年9月12日）
- [27] 杉崎隆一、高橋正典、前田幸一、高坂繁弘、塚本昌義、“マルチコアファイバ技術”、2019年度第4回フォトニックデバイス・応用技術研究会（東京都港区）（2020年1月22日）
- [28] Emmanuel Le Taillandier de Gabory, “Efficient EDFA for SDM Transmission (SDM 伝送用高効率 EDFA),” OPTICS & PHOTONICS International Exhibition 2019（横浜市）（2019年4月24日）
- [29] Emmanuel Le Taillandier de Gabory, “Power Efficient High Capacity Transmission Systems Using Space Division-Multiplexing Technologies,” International Symposium on Ultrafast Photonics Technologies 2019 (NAPA)（2019年6月17日）
- [30] Emmanuel Le Taillandier de Gabory, “Efforts towards realization and application of SDM technologies to submarine systems,” OptoElectronics and Communications Conference / International Conference on Photonics in Switching and Computing (OECC/PSC) 2019（福岡市）（2019年7月7日）
- [31] 小林哲也、高島武敏、皆川洋介、都澤雅見、“空間結合型マルチコアファイバデバイスの入力パワーに対する検証”、OCS 研究会（釧路市）（2019年8月29日）
- [32] 小林哲也、高島武敏、“空間結合型小型 MCF デバイスの結合ずれによるコア間クロストークへの影響”、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-10-8（豊中市）（2019年9月12日）
- [33] 高島武敏、皆川洋介、小林哲也、“マルチコア光モジュールの検討”、EXAT 研究会、招待講演（那覇市）（2020年2月27日）
- [34] 別府翔平、五十嵐浩司、向啓志、菊田将弘、嶋原正博、相馬大樹、高橋英憲、吉兼昇、釣谷剛宏、“強結合4コアファイバ実時間伝送実験”、OCS 研究会（オンライン開催）（2020年10月23日）
- [35] 森田逸郎、“光海底ケーブルシステム伝送技術の最新動向”、海底ケーブルの科学利用と関連技術に関する将来展望 第3回ワークショップ（オンライン開催）（2020年12月4日）
- [36] 吉田真人、竹節直也、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“デジタルコヒーレント伝送におけるマルチコアファイバ中の GAWBS 位相雑音に関する実験および理論解析”、OCS 研究会、OCS2020-7（オンライン開催）（2020年8月27日～28日）
- [37] 吉田真人、竹節直也、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“マルチコアファイバ中の GAWBS 雑音に関する実験および理論解析”、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-10-10（オンライン開催）（2020年



9月15日～18日)

- [38] 吉田真人、廣岡俊彦、中沢正隆、“デジタルコヒーレント伝送における GAWBS 雑音の解析”、EXAT 研究会、招待講演 (オンライン開催) (2020 年 11 月 10 日)
- [39] 前田幸一、高坂繁弘、吉岡和昭、杉崎隆一、塚本昌義、新子谷悦宏、“双方向伝搬構成によるクラッド一括励起型 19 コア EDFA のクロストーク低減”、OCS 研究会、OCS2020-6 (オンライン開催) (2020 年 8 月 28 日)
- [40] 高坂繁弘、前田幸一、杉崎隆一、塚本昌義、新子谷悦宏、“クラッド励起マルチコア EDFA における増幅特性の吸収率依存性”、OFT 研究会、OFT2020-8 (オンライン開催) (2020 年 8 月 28 日)
- [41] Emmanuel Le Taillandier de Gabory, “Optimized Multicore Amplifiers for Space-Division Multiplexing Transmission Systems,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2020 (オンライン開催) (2020 年 5 月 11 日～15 日)
- [42] ル・タヤンディエ・ドゥ・ガボリ エマニュエル、“実用化が近づく SDM (空間分割多重) 通信 : SDM 光デバイス技術”、マルチメディア推進フォーラム PART822 (2020 年 6 月 19 日)
- [43] 竹下仁士、“【招待論文】マルチコア光増幅器における励起光回生技術～Turbo Cladding Pumping Scheme～”、EXAT 研究会 (オンライン開催) (2020 年 11 月 10 日～11 日)
- [44] 竹下仁士、松本恵一、細川晃平、ル・タヤンディエ・ドゥ・ガボリ エマニュエル、“Multicore Erbium Doped Fiber Amplifiers for Multicore Fiber Transmission Systems,” 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (オンライン開催) (2020 年 12 月 2 日～4 日)
- [45] 井上貴則、“SDM Research and Development (SDM 研究開発),” Google 社との技術交流会議 (オンライン開催) (2020 年 12 月 10 日)
- [46] 小林哲也、榎明日美、高島武敏、“OE 変換モニタを内蔵した MCF 機能デバイスの提案”、電子情報通信学会ソサイエティ大会 (オンライン開催) (2020 年 9 月 15 日)
- [47] 榎明日美、高島武敏、小林哲也、“MCF 用 Fan-out 内蔵 TAP モニタデバイス”、電子情報通信学会ソサイエティ大会 (オンライン開催) (2020 年 9 月 16 日)
- [48] 佐藤耕造、管貴志、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“GAWBS 雑音の波長分散依存性に関する考察”、OCS 研究会、OCS-2020-30 (オンライン開催) (2021 年 1 月 14 日)
- [49] 佐久間洋宇ら、“長距離伝送に適した低損失・低非線形性空間分割多重ファイバ”、EXAT 研究会 (オンライン開催) (2021 年 2 月 18 日)
- [50] 高島武敏、榎明日美、小澤佑太、皆川雄介、小林哲也、“【招待論文】空間光学系による標準外径 4 コアマルチコアファイバ用アイソレータ内蔵ファンアウトの特性”、EXAT 研究会 (オンライン開催) (2021 年 2 月 24 日)
- [51] 佐藤耕造、管貴志、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“GAWBS 雑音の波長分散依存性に関する考察”、電子情報通信学会総合大会、B-10-10 (オンライン開催) (2021 年 3 月 9 日)
- [52] 管貴志、佐藤耕造、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“注入同期法を用いた広帯域・高精度 WDM チャネル間相互位相変調雑音補償”、電子情報通信学会総合大会、B-10-13 (オンライン開催) (2021 年 3 月 9 日)
- [53] 小林哲也、皆川洋介、長山さやか、榎明日美、高島武敏、“O/E 変換モニタを内蔵した MCF-Tap デバイスの特性改善”、電子情報通信学会総合大会 (オンライン開催) (2021 年 3 月 11 日)
- [54] 榎明日美、高島武敏、小林哲也、“マルチコアファイバ用 TAP モニタデバイスの提案”、OFT 研究会

- (オンライン開催) (2021年5月13日)
- [55] 長谷川健美、林哲也、“スクランブル法によるランダム結合型マルチコアファイバのモード依存損失の測定”、電子情報通信学会総合大会、B-10-5 (オンライン開催) (2021年3月11日)
- [56] 相馬大樹、別府翔平、若山雄太、角田聖也、高橋英憲、吉兼昇、森田逸郎、釣谷剛宏、鈴木正敏、“50.47-Tb/s 結合型 4 コアファイバ 9,150km 伝送実験”、OCS 研究会 (オンライン開催) (2021年8月27日)
- [57] 高坂繁弘、前田幸一、杉崎隆一、新子谷悦宏、“ミー散乱による C バンドクラッド励起 7 コア EDFA の出力パワー増加”、OFT 研究会 信学技報, vol. 121, no. 151, OFT2021-19, pp. 39-42 (オンライン開催) (2021年8月27日)
- [58] 前田幸一、高坂繁弘、吉岡和昭、杉崎隆一、塚本昌義、新子谷悦宏、“クラッド一括励起型 L バンド 19 コア EDFA への双方向伝搬構成の適用によるクロストーク低減効果の検証”、OCS 研究会 信学技報, vol. 121, no. 150, OCS2021-9, pp. 1-4 (オンライン開催) (2021年8月27日)
- [59] Shigehiro Takasaka, “Multicore Erbium Doped Fibre Amplification Techniques,” European Conference on Optical Communication (ECOC) 2021, Tu1A.1 (Tutorial) (BORDEAUX FRANCE) (2021年9月14日)
- [60] 高島武敏、榎明日美、小澤佑太、皆川雄介、小林哲也、“標準外径 4 コアマルチコアファイバ用アイソレータ付きファンアウトデバイスの温度特性評価”、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-10B (オンライン開催) (2021年9月15日)
- [61] 佐藤耕造、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“4 コアファイバにおけるコア間の GAWBS 位相雑音の相関特性”、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-10-14 (オンライン開催) (2021年9月16日)
- [62] Koichi Maeda, Shigehiro Takasaka, Ryuichi Sugizaki, “Nobel Functions of Multicore EDFA,” IEEE Photonics Conference (IPC) 2021(Invited) (オンライン開催) (2021年10月19日)
- [63] 別府翔平、菊田将弘、五十嵐浩司、向啓志、嶋原正博、相馬大樹、高橋英憲、吉兼昇、釣谷剛宏、“高分解能オフセット周波数補償アルゴリズムを用いた実時間 4 モード多重 16QAM 伝送実験”、OCS 研究会 (オンライン開催) (2021年11月19日)
- [64] Daiki Soma, “High-Capacity Transmission based on Mode Division Multiplexing Technologies”、2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications, IB2-2 (オンライン開催) (2021年12月2日)
- [65] 井上貴則、“海底光ケーブルシステムにおける空間分割多重技術の動向”、電子情報通信学会光通信システムシンポジウム (オンライン開催) (2021年12月15日)
- [66] 別府翔平、相馬大樹、高橋英典、吉兼昇、森田逸郎、釣谷剛宏、“PS-16QAM 信号を用いた 85.2-Tbps 結合 4 コアファイバ 3,120km 伝送実験”、OCS 研究会 (山口市/ハイブリッド開催) (2022年1月13日)
- [67] 立野翔真、“海底ケーブルにおける SDM 伝送システムでの伝送容量拡大”、電子情報通信学会総合大会 (オンライン開催) (2022年3月15日)
- [68] 吉田真人、中沢正隆、“マルチチャネル OTDR を用いたマルチコアファイバ評価技術”、電子情報通信学会総合大会、企画セッション BI-10-7、招待講演 (オンライン開催) (2022年3月16日)
- [69] 佐藤耕造、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、“19 コアファイバにおけるコア間の GAWBS

位相雑音の相関特性”、電子情報通信学会総合大会、B-10-11（オンライン開催）（2022年3月17日）

## 10 出願特許リスト

- [1] 高橋英憲、相馬大樹、別府翔平、釣谷剛宏、空間分割多重光ファイバ用の中継器、光送信装置及び光受信装置、日本、2018年12月4日
- [2] 長谷川健美、林哲也、川口雄揮、モード依存損失測定装置およびモード依存損失測定方法、日本、2019年2月22日
- [3] 柳町成行、ル タヤンディエ ドゥ ガポリ エマニユエル、光増幅器、及びその制御方法、日本、2019年2月22日
- [4] 日本電気株式会社、光増幅器及びその制御方法、日本、2019年2月
- [5] 竹下仁士、松本恵一、柳町成行、マルチコア光ファイバ伝送システムおよび伝送方式、日本、2019年4月8日
- [6] 高橋英憲、相馬大樹、別府翔平、釣谷剛宏、空間分割多重光ファイバ用の中継器、光送信装置及び光受信装置、PCT、2019年10月3日
- [7] 竹下仁士、松本恵一、野口栄実、光増幅装置、光伝送システム、および光増幅方法、PCT、2019年10月7日
- [8] 小林哲也、高島武敏、マルチコアファイバ用一括モニタ及びモニタリング方法、日本、2019年11月1日
- [9] 森田逸郎、高橋英憲、釣谷剛宏、光増幅器、日本、2019年12月2日
- [10] 高橋英憲、釣谷剛宏、森田逸郎、光中継器、日本、2019年12月11日
- [11] 高橋英憲、相馬大樹、別府翔平、釣谷剛宏、光ファイバの融着接続装置及び融着接続方法、日本、2019年12月26日
- [12] 柳町成行、ル タヤンディエ ドゥ ガポリ エマニユエル、光増幅器、及びその制御方法、PCT、2020年2月19日
- [13] 長谷川健美、林哲也、川口雄揮、モード依存損失測定装置およびモード依存損失測定方法、PCT、2020年2月20日
- [14] 松本恵一、野口栄実、光モニタ装置、モニタ方法、光増幅器、及び光伝送システム、日本、2020年2月27日
- [15] 松本恵一、野口栄実、ル タヤンディエ ドゥ ガポリ エマニユエル、マルチコア光伝送路のコア間クロストークモニター方法、日本、2020年2月27日
- [16] 高坂繁弘、前田幸一、杉崎隆一、マルチコア光増幅ファイバ、マルチコア光ファイバ増幅器および光通信システム、日本、2020年3月24日
- [17] 高坂繁弘、前田幸一、杉崎隆一、マルチコア光増幅ファイバ、マルチコア光ファイバ増幅器および光通信システム、日本、2020年3月26日
- [18] 高坂繁弘、前田幸一、杉崎隆一、マルチコア光増幅ファイバ、マルチコア光ファイバ増幅器および光通信システム、日本、2020年3月30日
- [19] 高坂繁弘、前田幸一、杉崎隆一、光ファイバ増幅システムおよび光通信システム、日本、2020年3月30日
- [20] 高坂繁弘、前田幸一、杉崎隆一、光ファイバ増幅器および光通信システム、日本、2020年3月31日

- [21] 竹下仁士、松本恵一、柳町成行、光増幅装置、光伝送システム、および光増幅方法、日本、2020年4月2日
- [22] 竹下仁士、松本恵一、野口栄実、光増幅装置および光増幅方法、日本、2020年5月8日
- [23] 有川学、MIMO 処理装置、信号受信装置、信号伝送システム、及びフィルタ係数更新方法、日本、2020年5月18日
- [24] 高坂繁弘、前田幸一、相曽景一、荒井慎一、杉崎隆一、武笠和則、土田幸寛、高橋正典、光増幅ファイバ、光ファイバ増幅器および光通信システム、日本、2020年8月17日
- [25] 高坂繁弘、前田幸一、相曽景一、荒井慎一、武笠和則、土田幸寛、高橋正典、杉崎隆一、光増幅ファイバ、光ファイバ増幅器および光通信システム、日本、2020年8月17日
- [26] 高坂繁弘、土田幸寛、前田幸一、光結合器、光増幅器及び通信システム、日本、2020年8月17日
- [27] 小林哲也、榎明日美、マルチコアファイバ結合系、日本、2020年8月28日
- [28] 竹下仁士、松本恵一、野口栄実、細川晃平、光伝送システムおよび光伝送方法、日本、2020年9月11日
- [29] 松本 恵一 他1名、モニタ装置、モニタ方法、光増幅器、及び光伝送システム、PCT、2021年2月15日
- [30] 松本 恵一 他2名、モニタ装置、モニタ方法、及び光伝送システム、PCT、2021年2月15日
- [31] 竹下 仁士、マルチコア・マルチバンド光増幅装置および方式、日本、2021年2月26日
- [32] 柳町 成行、ル タヤンディエ エマニュエル、光増幅器、及びその制御方法、日本、2021年7月8日
- [33] 高坂繁弘、前田幸一、相曽景一、荒井慎一、武笠和則、土田幸寛、高橋正典、杉崎隆一、光増幅ファイバ、光ファイバ増幅器および光通信システム、PCT、2021年08月10日
- [34] 柳町 成行、ル タヤンディエ エマニュエル、OPTICAL AMPLIFIER, AND CONTROL METHOD THEREFOR、US、2021年8月18日
- [35] 竹下 仁士、松本 恵一、柳町 成行、光増幅装置、光伝送システム、および光増幅方法、日本、2021年9月13日
- [36] 竹下 仁士、松本 恵一、柳町 成行、OPTICAL AMPLIFICATION DEVICE, OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM, AND OPTICAL AMPLIFICATION METHOD、US、2021年10月4日
- [37] 高島武敏、榎明日美、小澤佑太、小林哲也、ファイバコリメータ対向系の調整装置及び製造方法、日本、2021年11月26日
- [38] 竹下仁士、光増幅装置および光増幅方法、PCT、2021年11月
- [39] 竹下仁士、光増幅装置および光増幅方法、PCT、2022年2月
- [40] 竹下仁士、光増幅装置、光伝送システム、および光増幅方法、日本、2022年3月14日
- [41] 竹下仁士、LIGHT AMPLIFICATION DEVICE, LIGHT TRANSMISSION SYSTEM, AND LIGHT AMPLIFICATION METHOD、EP、2022年3月23日

## 1 1 取得特許リスト

なし

## 1 2 国際標準提案・獲得リスト

- [1] ITU-T SG15、SG15-C2357、Proposal on TR.sdm、2021年4月12日～23日

### 1 3 参加国際標準会議リスト

なし

### 1 4 受賞リスト

- [1] M. Yoshida, N. Takefushi, M. Terayama, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa、OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2018 Best Paper Award, “Reverse Phase Modulation Technique for GAWBS Noise Error Floor Elimination in 1024 QAM-160 km Digital Coherent Transmission,” 2018年7月4日
- [2] 竹節直也、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会 学生ポスター奨励賞優秀賞、“デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS 雑音の観測とその補償技術の開発”、2018年10月11日～12日
- [3] 竹節直也、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、電子情報通信学会光通信システム研究会 OCS 奨励賞、“デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS 雑音の影響とそのファイバ依存性”、2019年6月20日～21日
- [4] 相馬大樹、別府翔平、角田聖也、若山雄太、釣谷剛宏、電子情報通信学会光通信システム研究会 OCS 論文賞、“402.7-Tb/s C+Lバンド弱結合 10モード多重伝送実験”、2020年2月28日
- [5] 竹節直也、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、2019年度電子情報通信学会学術奨励賞、“デジタルコヒーレント光伝送における各種ファイバの GAWBS 雑音特性”、2020年3月19日
- [6] Koichi Maeda, Shigehiro Takasaka, Kazuaki Yoshioka, Ryuichi Sugizaki, Masayoshi Tsukamoto and Yoshihiro Arashitani、OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020 Best Poster Paper Award, “Propagation Direction Interleaved Cladding Pumped 19-core EDFA,” 2020年10月4日～8日
- [7] 佐藤耕造、管貴志、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆、電子情報通信学会光通信システム研究会 OCS 奨励賞、“GAWBS 雑音の波長分散依存性に関する考察”、2021年1月14日

### 1 5 報道発表リスト

#### (1) 報道発表実績

- [1] “世界最小損失の低クロストークマルチコアファイバを開発”、KDDI 総合研究所、2020年11月30日
- [2] “世界最小損失の低クロストークマルチコアファイバを開発”、古河電工、2020年11月30日
- [3] “「マルチコアファイバ光アンプ用複合機能デバイス(3種)」を開発”、“オプトクエスト”、2021年10月22日
- [4] “世界初、リアルタイムでの MIMO 信号処理方式による結合型マルチコア光ファイバ 7,200km 光伝送実験に成功”、KDDI 総合研究所、2021年6月24日
- [5] “世界最小損失の低クロストークマルチコアファイバを開発”、古河電工(取材対応)、2021年9月27日
- [6] “世界で初めてマルチコアファイバを収容した海底ケーブルを開発”、NEC、OCC、住友電気工業、

2021年10月4日

- [7] “NEC、海底ケーブルに適用される光ファイバについて、マルチコアファイバの研究論文が OFC2022 の「注目論文」に選出”、NEC、2022年3月7日
- [8] “世界に先駆け、マルチコアファイバによる光海底ケーブルの大容量化を実現する基盤技術を開発・実証～既存システムの7倍の容量拡大可能性を確認～”、KDDI 総合研究所、東北大学、住友電工、古河電工、NEC、株式会社オプトクエスト、2022年3月28日

(2) 報道掲載実績

- [1] “古河電工と KDDI 総研、海底ケーブル用のマルチコア光ファイバーを開発”、ケータイ Watch、2020年11月30日
- [2] “古河電工、世界最小級に伝送損失を低減した低クロストークマルチコアファイバを開発”、株式新聞、2020年11月30日
- [3] “古河電工ら、海底向け4コアファイバで12000km伝送”、OPTRONICS ONLINE、2020年11月30日
- [4] “古河電工と KDDI 総研、新型光ファイバ開発。海底通信の容量拡大に貢献”、日刊鉄鋼新聞(web)、2020年11月30日
- [5] “新マルチコアファイバー開発 超高速伝送に成功”、日刊産業新聞、2020年12月1日
- [6] “古河電工と KDDI 総研 新型光ファイバ開発 海底通信の容量拡大に貢献”、鉄鋼新聞、2020年12月1日
- [7] “低クロストーク MCF を実証 古河電工 KDDI 総研”、化学工業日報、2020年12月2日
- [8] “大容量通信可能光海底ケーブル 古河電工など”、電気新聞、2020年12月2日
- [9] “古河電工と KDDI 総研 世界最小級の伝送損失 4コア実装 低クロストーク MCF 開発”、電波新聞、2020年12月4日
- [10] “古河電工と KDDI 総研が低クロストーク MCF 開発世界最小級の伝送損失”、電波新聞デジタル、2020年12月4日
- [11] “世界最小級に伝送損失を低減した低クロストークマルチコアファイバを開発”、Laser Focus World Japan、2020年12月4日
- [12] “世界最小級に伝送損失を低減した低クロストーク MCF を、開発へ 古河電工と KDDI”、電線新聞、2020年12月7日
- [13] “低クロストーク MC ファイバを開発 KDDI 総合研など 世界最小級に伝送損失低減”、電波タイムズ、2020年12月9日
- [14] “世界最小級に伝送損失を低減した低クロストークマルチコアファイバを開発”、読売新聞オンライン、2020年11月30日
- [15] “リアルタイム MIMO 信号処理方式による結合型マルチコア光ファイバ 7,200km 光伝送実験に成功”、Laser Focus World Japan、2021年6月25日
- [16] “KDDI ら、4 コアファイバで7,200km リアルタイム伝送”、OPTRONICS ONLINE、2021年6月25日
- [17] “KDDI 総研と阪大、リアルタイム MIMO 信号処理方式で7200km の光伝送実験に成功”、ケータイ Watch、2021年6月26日
- [18] “NEC 通信領域最大4倍に 新たな海底ケーブル開発に成功”、NHK おはよう日本、2021年10月4日

日

- [19] “NEC、新海底ケーブル 通信量増加に対応 住友電工と共同開発”、日本経済新聞 電子版、2021 年 10 月 4 日
- [20] “NEC、新海底ケーブル、住友電工と通信量増加に対応。”、日本経済新聞 夕刊、2021 年 10 月 4 日
- [21] “マルチコアファイバー 海底光ケーブルを開発 NEC など 3 社”、化学工業日報、2021 年 10 月 5 日
- [22] “マルチコアファイバー収容 世界初の海底ケーブル 住友電工・OCC など”、日刊産業新聞、2021 年 10 月 5 日
- [23] “海底ケーブル、伝送路 4 本 NEC など マルチコアファイバー収容”、日刊工業新聞、2021 年 10 月 5 日
- [24] “海底ケーブルにMCFを搭載 NEC、住友電工”、電気新聞、2021 年 10 月 5 日
- [25] “住友電工など 3 社／「次世代光海底ケーブル」開発／太さ変えず通信容量大幅増”、鉄鋼新聞、2021 年 10 月 5 日
- [26] “NEC ら、マルチコアファイバ収容した海底ケーブル開発 - 従来のコア 4 倍”、Tech+、2021 年 10 月 4 日
- [27] “NEC・OCC・住友電気工業が世界初マルチコアファイバーを収容した海底ケーブルを開発、通信の大容量高速化に対応”、TechChunch、2021 年 10 月 4 日
- [28] “そこが聞きたい 海底用 MCF 25 年まで量産化 線引き 400km の母材開発中”、電線新聞 7 面、2021 年 10 月 25 日
- [29] “Multicore Fiber in Submarine Cables Dramatically Increases Data Transmission Rates”、OFC、2022 年 2 月 1 日
- [30] “Transmission Benefits of multicore fiber in submarine cables to be discussed at OFC 2022”、Lightwave、2022 年 2 月 4 日
- [31] “Multicore Fiber in Submarine Cables Dramatically Increases Data Transmission Rates”、CISION PR Newswire、2022 年 2 月 1 日
- [32] “世界に先駆け、マルチコアファイバによる光海底ケーブルの大容量化を実現する基盤技術を開発・実証”、Digital PR Platform、2022 年 3 月 28 日
- [33] “マルチコアファイバーによる海底光ケーブル、容量が既存システムの 7 倍に”、TECH+、2022 年 3 月 28 日
- [34] “KDDI ら、光海底ケーブルをマルチコアで大容量化--2020 年代半ばの実用化へ”、ZDNet Japan、2022 年 3 月 28 日
- [35] “KDDI 総研など、海底ケーブル容量倍に拡大 技術実証”、日本経済新聞、2022 年 3 月 28 日
- [36] “NEC など、大容量光海底ケーブルの技術開発 20 年代半ばにも実用化”、時事ドットコム、2022 年 3 月 28 日
- [37] “KDDI 総研ら、4 コアで 109Tb/s を 3120km 伝送”、OPTRONICS ONLINE、2022 年 3 月 28 日
- [38] “光海底ケーブルを 7 倍大容量化 KDDI 総研や古河電工など 6 者が技術基盤構築に成功”、電波新聞デジタル、2022 年 3 月 29 日
- [39] “光海底ケーブルの通信速度を 7 倍に、大容量化基盤技術を確立——KDDI 総研や NEC ら 6 機関”、ケータイ Watch、2022 年 3 月 29 日

- [40] “KDDI 研究所や NEC など 6 者、マルチコアファイバーによる大容量光海底ケーブル技術を開発・実証”、クラウド Watch、2022 年 3 月 29 日
- [41] “海底ケーブルの通信容量を一気に 7 倍へ、KDDI 総研や NEC らが開発”、日経クロステック、2022 年 3 月 29 日
- [42] “毎秒 1.7 ペタビット、既存技術の 7 倍の容量を可能にするマルチコアファイバーによる光海底ケーブルの 5 つの基盤技術を確立”、TechCrunch Japan、2022 年 3 月 29 日



## 研究開発による成果数

	平成30年度	令和元年度	令和2年度
査読付き誌上発表論文数	0件 ( 0件)	3件 ( 3件)	6件 ( 6件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	3件 ( 3件)	16件 ( 11件)	13件 ( 12件)
その他の誌上発表数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
口頭発表数	11件 ( 2件)	22件 ( 2件)	21件 ( 2件)
特許出願数	4件 ( 0件)	16件 ( 4件)	11件 ( 2件)
特許取得数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
国際標準提案数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
国際標準獲得数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
受賞数	2件 ( 1件)	3件 ( 0件)	2件 ( 1件)
報道発表数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	2件 ( 0件)
報道掲載数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	14件 ( 0件)

	令和3年度	合計
査読付き誌上発表論文数	7件 ( 7件)	16件 ( 16件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	19件 ( 13件)	51件 ( 39件)
その他の誌上発表数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
口頭発表数	15件 ( 2件)	69件 ( 8件)
特許出願数	10件 ( 6件)	41件 ( 12件)
特許取得数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
国際標準提案数	1件 ( 1件)	1件 ( 1件)
国際標準獲得数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
受賞数	0件 ( 0件)	7件 ( 2件)
報道発表数	6件 ( 0件)	8件 ( 0件)
報道掲載数	28件 ( 3件)	42件 ( 3件)

注1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注2：「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読(peer-review(論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等(Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のあ

る小論文、研究速報、レター等を含む)を計上する。

注3 : 「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集 (電子媒体含む) に掲載された論文等 (ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。) を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等 (電子情報通信学会技術研究報告など) は、「口頭発表数」に分類する。

注4 : 「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等 (査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む) を計上する。

注5 : PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。(何カ国への出願でも1件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6 : 同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。