

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

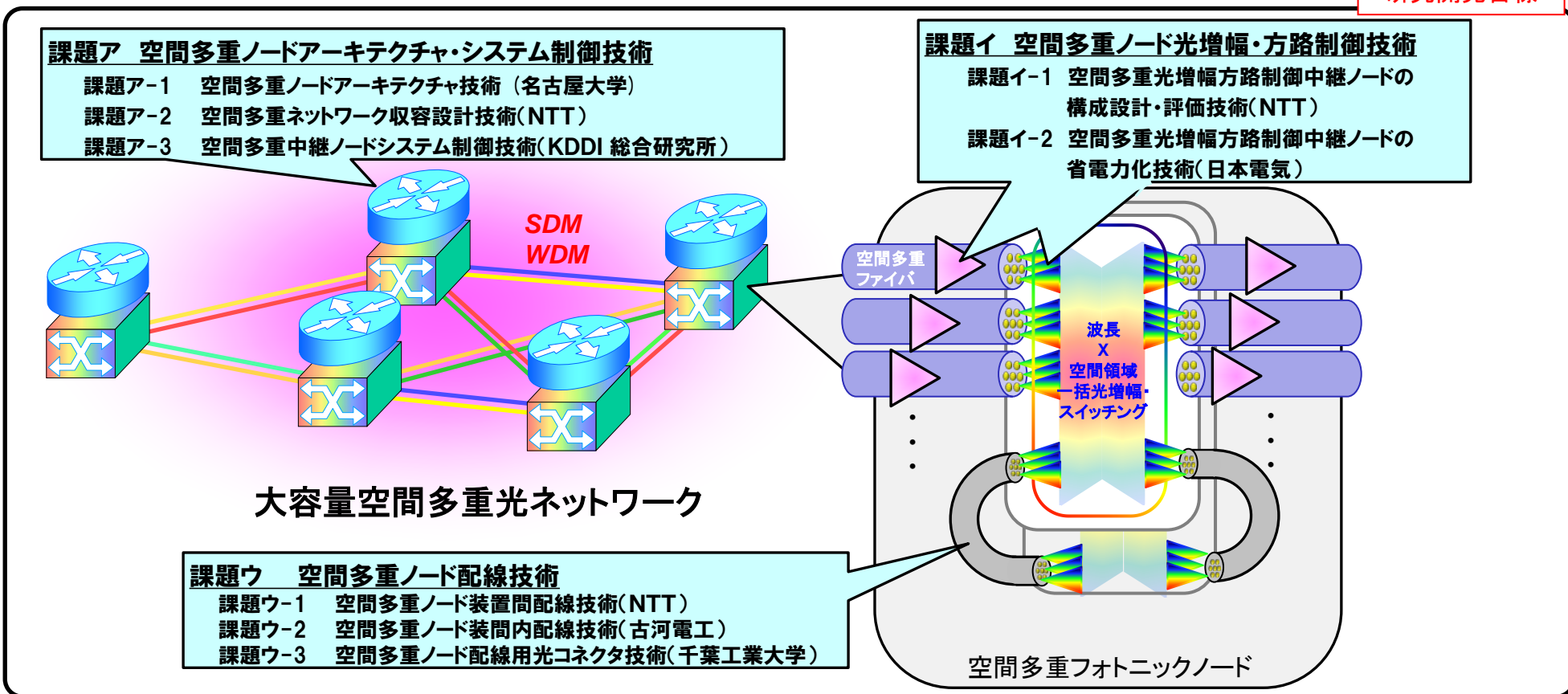
- ◆研究開発課題名 : 空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発
- ◆副題 : 空間多重光通信技術を適用したスケーラブルフォトニックノードの研究
- ◆実施機関 : 日本電信電話(株)、名古屋大学、(株)KDDI総合研究所、日本電気(株)、古河電気工業(株)、千葉工業大学
- ◆研究開発期間 : 2016(平成28)年度～2020(平成32)年度(5年間)
- ◆研究開発予算 : 総額750百万円(平成30年度 150百万円)

2. 研究開発の目標

将来の10 Pbit/s超にスケール可能なノードスループットを有する大規模フォトニックノードシステムの実現に向けて、ノードのスイッチング規模、実装密度の観点から物理的な限界を打破する空間多重フォトニックノード基盤技術として、次の三つの要素技術を確立する。

①空間多重ノードアーキテクチャ・システム制御技術、②空間多重ノード光増幅・方路制御技術、③空間多重ノード配線技術

研究開発目標



研究開発成果: 課題ア 空間多重ノードアーキテクチャ・システム制御技術

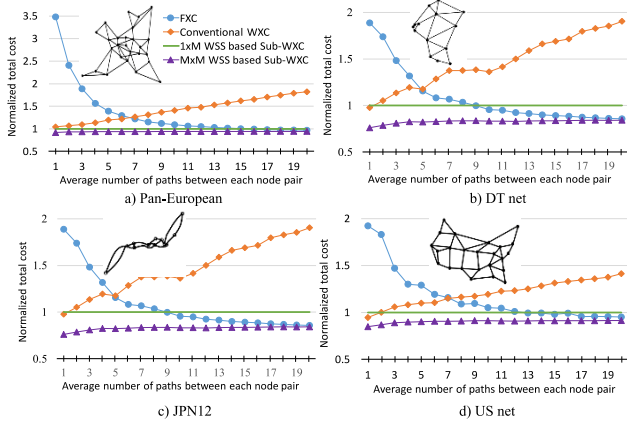
課題ア-1 空間多重ノードアーキテクチャ技術

(国立大学法人名古屋大学)

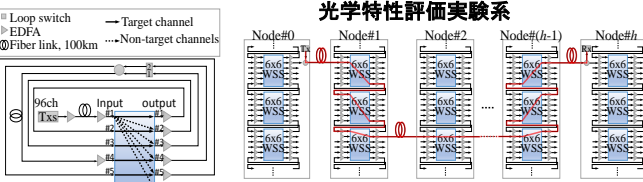
主な研究開発成果:

- ①ファイバロスコネクと波長パスクロスコネクの経済性評価
- ②NxN WSSを適用した、コンパクトでスケーラブルなOXCのフイージビリティを検証(課題イ-1と連携)

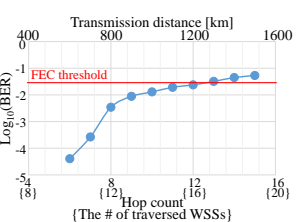
①ファイバロスコネクと波長パスクロスコネクの経済性評価



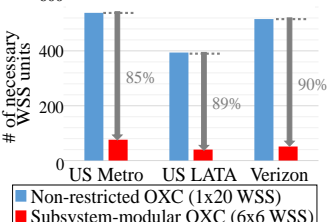
② 6x6 WSSを適用したサブシステムモジュラーOXCのフイージビリティを検証



12 hop (16 WSS), 1200 km 伝送



大幅な WSS 数の削減



課題ア-2 空間多重ネットワーク収容設計技術

(日本電信電話株式会社)

主な研究開発成果:

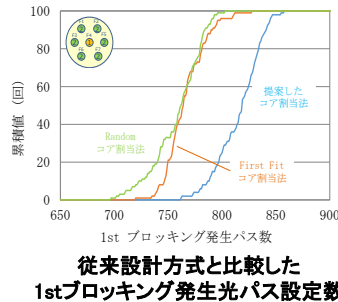
- ①空間多重ネットワーク収容設計の基本方式の追加検討
- ②収容設計基本方式/拡張方式の評価
- ③空間多重ノードの光学特性の評価

①空間多重ネットワーク収容設計の基本方式の追加検討

波長ブロッキングの発生を遅らせ、ネットワークリソース全体を効率的に利用するコア割当方式として、光パスの始終点ノードのコア間クロストーク量による伝送可否を考慮した最適なコア経路を割り当てる。

②収容設計基本方式/拡張方式の評価

追加検討した基本方式の評価として、伝送路となるマルチコアファイバのコア割当アルゴリズムの特性について、変調方式16QAMを想定し、伝送路とノードのコア間クロストーク量を加味した場合の光パス収容の1st Blocking発生光パス設定数、1st Blocking抑圧効果を示した。



③空間多重ノードの光学特性の評価

空間多重ノード特性評価用備品類を用いて、マルチコア伝送路を含めた空間多重ノード構成を検討。また、多連WSSとマルチコア増幅器からなる空間多重ノードを構成し、WDM光を複数ポートに入力し、空間多重ノードの光学特性・光増幅特性を明らかにした。

課題ア-3 空間多重中継ノードシステム制御技術

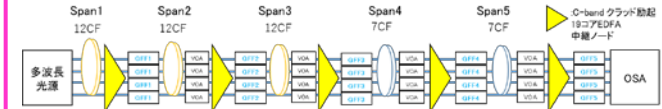
(株式会社KDDI総合研究所)

主な研究開発成果:

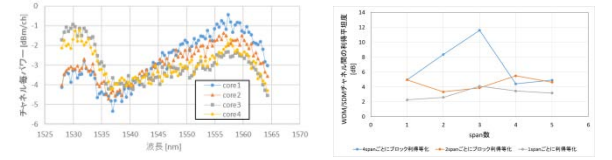
- ①5段の中継ノードを考慮したブロック等化ノードの作製評価
- ②信号雑音比(SNR)をコア間で均等化する手法の提案・実証

① 5段の中継ノードを考慮したブロック等化ノードの作製評価

・クラッド励起19コアEDFA・12コアファイバ(CF)・7CF伝送路において、課題イの利得平坦性の2倍以内(±3dB)を達成



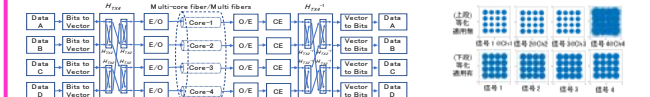
ブロック等化設計ストラテジーおよび実験評価構成図



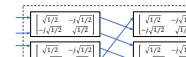
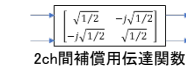
4中継毎ブロック等化の5中継ノード通過後 WDM/SDMチャンネル間の利得平坦度

②信号雑音比(SNR)をコア間で均等化する手法の提案・実証

・4信号間で均等化可能にする伝達関数の設計方法を提案し、シミュレーション及び実験にてQ値偏差0.1dB以下へ低減を実証

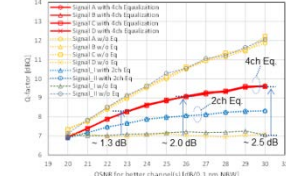


コア間(チャンネル間)Q値偏差補償方式構成図



4ch間補償用の複合伝達関数

コンスタレーションマップの例



Q値偏差補償方式の実験結果

研究開発成果: 課題イ 空間多重ノード光増幅・方路制御技術

課題イ-1 空間多重光増幅方路制御中継ノードの構成設計・評価技術

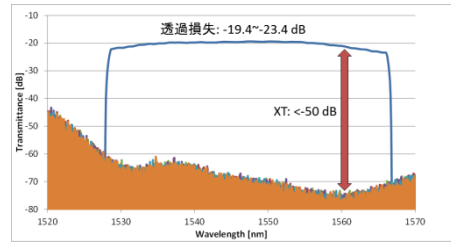
(日本電信電話株式会社)

主な研究開発成果:

- ①低クロストーク型多連WSSを組み合わせて6x6 WSSを実現した。
- ②スイッチモジュール間の複雑なシャッフル配線が課題であったが、新たなスイッチ設計手法を提案し、さらに課題ウの小型多心配線技術を適用することで、NxN WSS内配線を大幅に簡略化できる見通しを得た。
- ③低クロストーク型6x6 WSSにおいても、クラッド励起マルチコアEDFAの利得等化が可能であることを確認した。

①低クロストーク型6x6 WSS

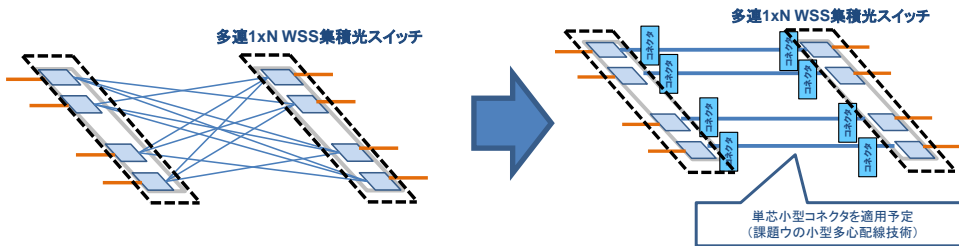
低クロストーク型多連WSSを組み合わせて6x6 WSSを実現し、-50dB以下のクロストーク特性が得られることを確認した。



6x6 WSSの透過損失及びクロストークスペクトル例

②NxN WSS内配線の簡略化

PLC構成の最適化により、下図のように10x10WSS内シャッフル配線の簡素化できる見通しを得た。

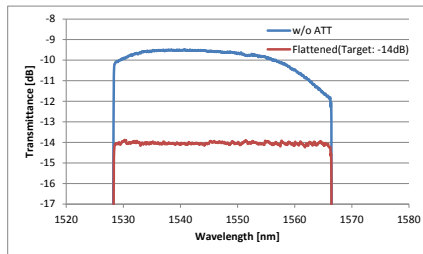


従来配線(シャッフル配線)

提案配線(シャッフルレス配線)

③低クロストーク型6x6 WSSによる利得等化

波長ごとに異なる位相を追加で変調し、波長チャネルごとに独立して損失を与えることにより、±0.17 dBの誤差で利得スペクトルの平坦化ができることを確認した。



利得スペクトル等化の例

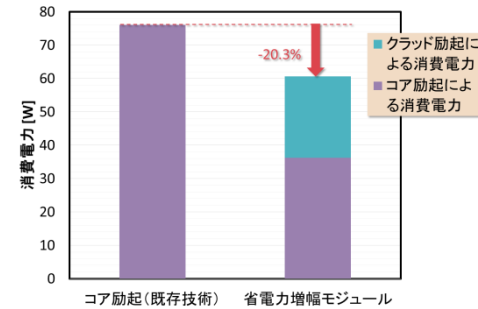
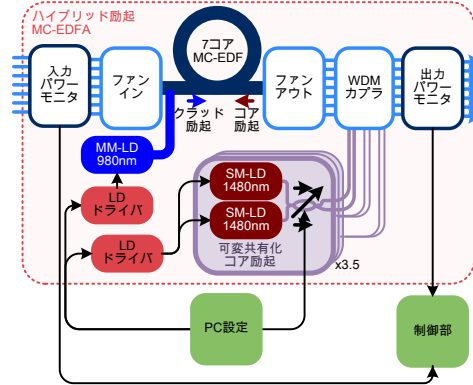
課題イ-2 空間多重光増幅方路制御中継ノードの省電力化技術

(日本電気株式会社)

主な研究開発成果:

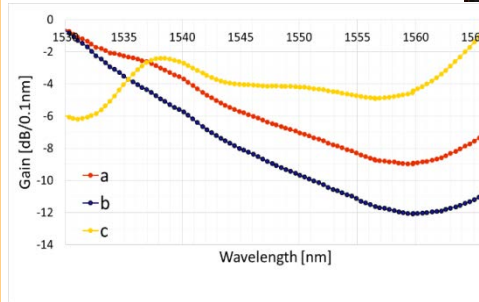
- ①省電力光増幅モジュールと光増幅モジュール省電力化制御とを結合させて動作検証を行い、20.3%の省電力効果を確認した。さらに省電力化を高めるため、19コアMC-EDFの試作を完了した。
- ②光損失を緩和するコア間利得平坦化に加え、波長帯域内での利得プロファイル进行调整する方式に関する、平坦化制御部の試作を完了した。

単体に検証した光増幅モジュール

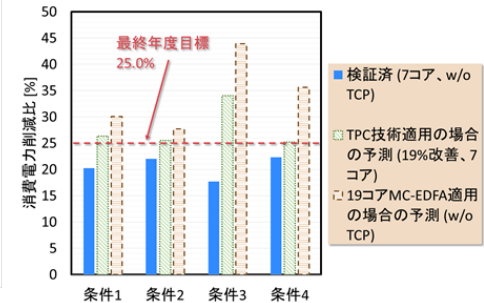


構成技術と制御技術の連携

試作した検証用制御部



コア内光増幅利得等化光フィルタ透過特性の設計結果(計算値)



7コア、19コアにおける省電力効果見振り

研究開発成果：課題ウ 空間多重ノード配線技術

課題ウ-1 空間多重ノード装置間配線技術

(日本電信電話株式会社)

主な研究開発成果：

- ①10コア超MCF一括接続コネクタの作成および評価
- ②PLC型SMF-MCF接続デバイスのコア数拡張性検証

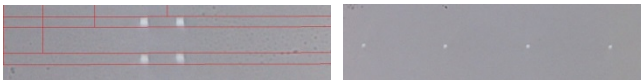
①10コア超MCF一括接続コネクタの作製方式の提案および原理検証

10コア超一括接続コネクタの実現に向けて、多心固定ブロックを用いた4心4コアファイバMTコネクタを試作し、16コアで中間目標で掲げた光学特性を実現した。

項目	中間目標	達成値
コア数	10	16
損失	< 2 dB	< 1.5 dB
反射減衰量	> 35 dB	> 40 dB
XT	< -35 dB	< -37 dB

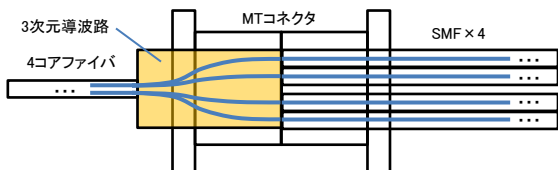
②PLC型SMF-MCF接続デバイスの設計・試作

異種MCFを接続可能なデバイスについて、3次元導波路を包含する多心コネクタについて検討を行い、一例として4コアファイバとSMF×4心を変換するデバイスの作製及び原理実証を行った。



(a) 4コアファイバ側 (b) SMF×4側

作製した3次元導波路の端面画像



3次元導波路を用いた4コアファイバ-SMF×4変換器の概要

課題ウ-2 空間多重ノード装置内配線技術

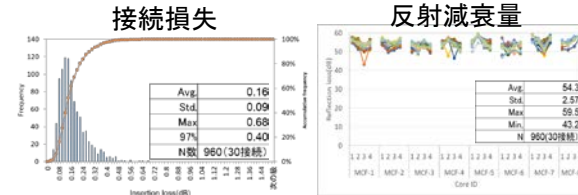
(古河電気工業株式会社)

主な研究開発成果：

- ①8心マルチコアコネクタ 平均接続損失 0.16dB
- ②19コアファンアウトの高パワー耐性確認
- ③小型多心配線部材の24心化検討実施

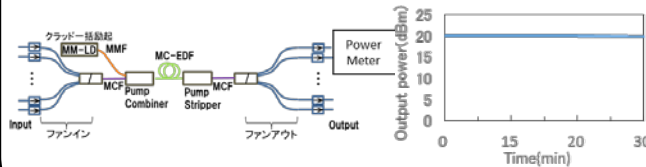
①多心マルチコアコネクタの特性改善

4コアMCF-8MTコード 6本のランダム接続実施



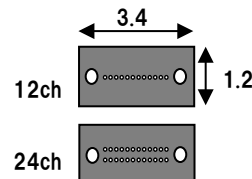
②マルチコアファイバファンアウトの開発

19コアEDFAにおけるファンアウト側の耐パワー特性を確認。中心コアにおいて+20dBm出力後、30分パワー劣化なし。



③小型多心配線部材の特性改善

小型コネクタを24心化するための問題点の洗い出しを実施。



課題ウ-3 空間多重ノード配線用光コネクタ技術

(学校法人千葉工業大学)

主な研究開発成果：

- ①4コアMCF用SC形光コネクタのランダム接続特性評価
 - 接続損失 平均0.16 dB、99.7%で0.5 dB以下(Grade C)
 - 反射減衰量 平均49.2 dB、最低46.6 dB(全コアPC接続)
- ②MCFコネクタ接続損失測定法標準化の了解を得る

①4コアMCF用SC形光コネクタ

結合時にオルダム・カップリング機構を構成する簡易構造MCF用SC形光コネクタ(図1)を、図2に示す4コアMCFの両端に取り付けた10本のパッチコードを作製し、IEC 61300-3-34に規定されたランダム接続損失測定、および同じ組合せによる反射減衰量測定を行った。Grade C/2(IEC 61755-1)を確認。

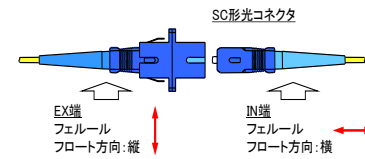


図1 簡易構造MCF用SC形光コネクタ

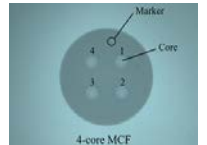
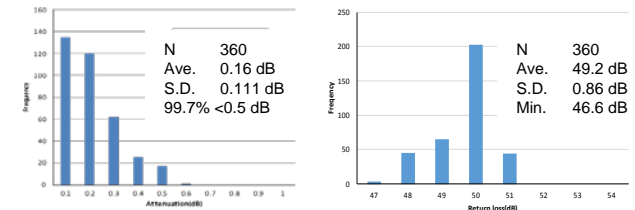


図2 4コアMCF

外径 125 μm
コアピッチ 40 μm



(a) ランダム接続損失分布 (b) ランダム接続反射減衰量

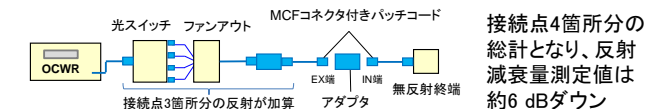


図2 4コアMCF用SC形光コネクタのランダム接続特性

②MCFコネクタ関連標準化の推進

IEC TC86/SC86B会合においてMCFコネクタ接続損失測定法に関する標準化の開始が合意された。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
空間多重フォトニックノード 基盤技術の研究開発	24 (10)	11 (5)	11 (5)	147 (55)	3 (0)	5 (1)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) 主な学会発表

- ・R. Hashimoto et al., “First Demonstration of Subsystem-Modular Optical Cross-Connect Using Single-Module 6x6 Wavelength-Selective Switch (invited),” IEEE/OSA, JLT, Vol. 36, No. 7, pp. 1435-1442 (2018).
- ・犬塚史一他, “空間多重光ネットワークにおける光パス収容設計方式,” 信学技報, vol. 118, no. 394, OCS2018-78, pp. 57-60.
- ・H. Takahashi et al., “Experimental Evaluation of Channel Number Dependency in Vector-Domain Signal Quality Equalization to Mitigate Core-to-Core Q-Difference for SDM transmission,” in Proc. ECOC2018, Th1F.6.
- ・M. Nakajima, et al., “Optical Arbitrary Waveform Processing of Over 100 Spatial Channels for Optical Performance Monitoring,” IEEE/OSA, JLT, Vol. 37, No. 2, pp. 291-299 (2019).
- ・H. Takeshita et al., “Transmission of 200Gbps PM-16QAM Signal through 7-core MCF and MC-EDFA using Novel Turbo Cladding Pumping Scheme for Improved Efficiency of the Optical Amplification,” in Proc. ECOC2018, We2.35.
- ・K. Nakajima et al., “Progress on SDM Fiber Research in Japan (invited),” in Proc. OFC2019, M1E.1.
- ・川崎浩平他, “125mmクラッドMCF用MT型8心コネクタの特性改善,” 信学技報, vol. 118, no. 40, OFT2018-4, pp. 17-20.
- ・今泉可津貴他, “SC形MCFコネクタの光学特性,” 信学技報, vol. 118, no. 202, OFT2018-9, pp. 15-18.

(2) 受賞

- ・橋本涼太, 平成29年度 電子情報通信学会 東海支部 学生研究奨励賞, 電子情報通信学会 東海支部 (2018年6月受賞)
- ・R. Sugizaki et al., Optimization of 12 Core MCF with Hexagonal Close-Packed Structure, Outstanding Poster Paper of IWCS 2017 (2018年10月受賞).
- ・境目賢義, MCFコネクタを用いたPC接続におけるフェルルール端面変形解析, 2018年 OCS表彰 奨励賞, 電子情報通信学会 光通信システム研究会 (2018年12月受賞)
- ・川崎浩平, 125mmクラッドMCF用MT型8心コネクタの特性改善, 2018年 OFT表彰 奨励賞, 電子情報通信学会 光ファイバ応用研究会 (2019年3月受賞)
- ・松本恵一, 異種励起光源可変共有方式による光増幅器の低消費電力動作に関する実験検証, 2018年度 学術奨励賞, 電子情報通信学会 (2019年3月受賞)

(3) 展示会

- ・第32回光通信システム(OCS)シンポジウム(2018年12月、静岡県三島市)でパネル展示

5. 今後の研究開発計画

・【課題ア 空間多重ノードアーキテクチャ・システム制御技術】

ノードスループットを 10Pbit/s以上に拡張可能なノードの空間多重ノードアーキテクチャ技術、空間多重ネットワーク収容設計技術、空間多重中継ノードシステム制御技術を確認/実証する。それまでに得られた成果を基に課題間連携実験を実施する。

・【課題イ 空間多重ノード光増幅・方路制御技術】

多連1×10 WSS集積光スイッチモジュールを用いた10×10 WSSサブシステムモジュール技術、並びにハイブリッド省電力クラッド励起一括増幅・制御技術の課題イ内連携実験を実施し、提案空間多重フォトニックノードが10Pbit/s超のスループットのスケーラビリティと省電力動作の実現可能性を実証する。

・【課題ウ 空間多重ノード配線技術】

空間多重ノード装置間配線技術として、クラッド径125 μmのマルチコアファイバを対象とし、既存の多心コネクタと同等の特性を有する最大20コア程度の一括接続技術、空間多重ノード装置内配線技術として、1方路あたり最大20コア程度の信号を1.5dB以下、クロストーク -40dB以下で一括接続にてノードへ入力可能とする装置内配線を、空間多重ノード配線用光コネクタ技術として、マルチコアファイバ等による架間配線に使用できる光コネクタ接続技術を検討する。