

令和 4 年 4 月 14 日現在

機関番号：16201
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2018～2021
課題番号：18H01443
研究課題名(和文) 超大容量・空間分割多重光パス網を実現するための空間光スイッチング基盤技術の研究

研究課題名(英文) Research on spatial optical switching technologies to achieve ultra-large capacity, space division multiplexing optical networks

研究代表者
神野 正彦 (Jinno, Masahiko)
香川大学・創造工学部・教授

研究者番号：10503550
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：将来の光ネットワークにおいて一層の大容量化と経済化を実現するためには、波長単位だけではなくコア単位のルーティングを可能とする光ネットワークアーキテクチャが有効である。本研究はそのような光ネットワークを実現するための基本構成要素となる独自のコア選択スイッチ(CSS)を考案し、マイクロレンズアレイとMEMS(微小電気機械システム)ミラーアレイからなるCSSを試作、評価した。その結果、130nmという非常に広い光通信波長帯域において、低損失(1.2dBから2.7dB)であり、偏波依存損失も極めて小さい(0.3dB以下)であることを実験的に確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果に対して、国際会議OECC/PSC 2019 Best Paper Award、国際会議ECOC 2019 Highly Scored Paper、国際会議OECC 2020 Best Student Paper Award、電子情報通信学会OCS奨励賞ならびにチュートリアル論文賞が授与されており、その学術的意義は高く評価されている。本研究で研究開発したCSSを基本構成要素とする空間分割多重光ネットワークは、2030年前後に提供が想定されているBeyond 5G無線通信サービスが発生する膨大なデータを経済的な転送可能と期待され、その社会的なインパクトは極めて高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：To achieve further capacity increase in a highly economical manner in future optical networks, the hierarchical optical network architecture that enables routing not only at a wavelength granularity but also at a core granularity is promising. We developed a unique core selective switch (CSS) as a building block for achieving scalable and economical optical cross-connects. We prototyped and evaluated CSSs that comprise a micro-lens array and a MEMS (micro-electro-mechanical system) mirror array. We experimentally confirmed that the CSS prototype showed a very low insertion loss (1.2 dB to 2.7 dB) and extremely low polarization-dependent loss (0.3 dB or less) over a very wide wavelength range of 130 nm.

研究分野：光通信技術

キーワード：光通信ネットワーク 光スイッチ 空間分割多重

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2017年6月に発表された Cisco Visual Networking Index の通信トラフィック予測によると、インターネットトラフィックは引き続き年率 30~50%で増加すると見込まれた。一方、最新の波長分割多重(WDM)光ファイバ伝送システムのファイバ当たりの伝送容量は 10 Tb/s に達しているが、現状の単一モードファイバ(SMF)の総伝送容量の理論限界はこの 3 倍から5倍程度と考えられており、現在敷設済みの SMF では、早晚、通信トラフィック需要を収容しきれなくなるとの危惧が広がっていた。

この問題に対処するため、空間分割多重(SDM)技術を採用した新構造の光ファイバ(SDM ファイバ)の研究開発が進められていた。SDM ファイバの構造には、光ファイバ中に複数の単一モードコアを配置するタイプ(Multi Core Fiber: MCF)や複数の空間モードが伝搬するマルチモードコアを配置するタイプ(Multi- or Few Mode Fiber: MMF or FMF)やそれらの組み合わせなどが提案されている。SDM は(コア数) × (モード数)に相当する N 個の WDM システムを並列に配置した並列システムであるので、単純な並列展開では、光送信器、光増幅器、光スイッチ、光受信器の数は N 倍になる。従って、例えば SDM ファイバが N 倍の伝送容量を提供できるとしても、N 倍の通信容量を提供するには N 倍程度のコストがかかってしまう。ユーザが通信サービスに支払える料金はほぼ上限に達しているため、技術革新により、1 ビット当たりの伝送コストとスイッチングコストを 1/N 程度に低減しない限り、光ファイバ通信インフラ容量を持続的に拡大し続けることは経済的に見合わないという課題があった。

2. 研究の目的

1 コア当たりの WDM チャンネル数が少なくなると想定される、今後の光ネットワークにおいて一層の大容量化と経済化を実現するためには、WDM チャンネル編集機能を削ぎ落とし、空間チャンネルのみの編集機能に特化した光ネットワークアーキテクチャを採用することが有効であると考えられる。ここで、空間チャンネルとは、各リンク中の特定のコアを経路上の空間クロスコネクタ装置で連結して送受信ノード間設定される、光信号の媒体チャンネルのことである。本研究の目的は、そのような光ネットワークを実現するための基本構成要素となる新しい構成の光スイッチを考案し、その実現性と有効性を検証することである。

3. 研究の方法

(1) 光空間スイッチ構成法の具体化

光空間スイッチとして、独自構成のコア選択スイッチ(CSS)の構成法を検討し、実現できる機能と必要な部品数、損失等の物理的性能を見積もることで、(3)のプロトタイプ設計に反映させる。CSS の実装方法としては、(a) 導波路型 1 × M スイッチを用いる導波路系構成と、(b) 2 次元空間変調器(LCoS 等)をスイッチング素子として用いる空間光学系構成の2つが考えられる。空間光学系の構成においては、2次元状に稠密に配置したマルチコアファイバ(MCF)の中心の1本を入力ファイバとし、その他を出力ファイバとする。各 MCF の先端に取り付けた GRIN (GRaded Index) 微小レンズにより、各コアから出射した光ビームは、コア位置に応じて LCoS の異なるセクションに集光し、所望の出力ファイバにそれぞれスイッチされる。この構成は、空間光学系の3次元の自由度の利点を活かして、出力ポート数の増加が比較的容易であるとの利点を有している。

(2) 光ノードスイッチング制約・スイッチ構成複雑性定量評価

光ノードの構成としては、(a) 空間光パスの経路の途中ノードで伝搬するコアを変更できるか、(b) 送受信端のノードでどのコアにもアクセスできるか、(c) 送受信端のノードでどの方向のファイバにもアクセスできるかなどの接続の柔軟性の度合いに応じて、光ノードの構成の複雑性が決まる。光ノードの機能と装置コスト、挿入損失(従って伝送可能距離)はトレードオフの関係にある。光ノードの構成法を検討し、機能とコスト、性能を見積もることで、(3)のプロトタイプ設計に反映させた。

(3) 空間選択スイッチの光学設計とプロトタイプによる有効性実証

CSS は 35 nm の波長範囲の WDM チャンネルを一括スイッチングすることから、広い波長範囲にわたって収差の小さい設計が必須である。空間光学系設計ソフトウェアを使用して低収差の CSS を設計して、入出力ファイババンドルを試作する。さらに、低損失で低クロストークの CSS を実現するため、2次元空間変調器(Liquid Cristal on Silicon: LCoS)に付与する屈折率分布の最適制御アルゴリズムを開発する。これらを組み合わせた CSS を構築し、多ポート CSS の実現可能性を検証した。

4. 研究成果

(1) GRIN レンズアレイと LCoS 空間光変調器からなる CSS

CSS は、現在の WDM ネットワークにおける波長選択スイッチ(WSS)に対応する SDM レイヤの新しい光スイッチである。空間光学系 CSS が構想通り動作するかどうかを確認するため、入出力 MCF アレイ、GRIN レンズアレイ、集光レンズ、LCoS 空間変調器からなる CSS を構築した。入出力 MCF アレイの中央には入力 MCF が、その周囲には 6 つの出力 MCF が配置されている。ここでは、入力 MCF を I_0 、出力 MCF を $O_1 - O_6$ 、MCF 内の各 core を、core A (中心コア)、core B-E (外周コア)と呼ぶことにする。CSS は入力 MCF の 5 つのコアからそれぞれ出射した 5 つの光ビームの中の任意のビームを、任意

の出力ファイバ中の同一コア名のコアに入射する機能を提供する。

試作機に使用した MCF のモードフィールド径、外周コア間隔、クラッド径がそれぞれ 9 μm 、44.8 μm 、128 μm である。ピッチ 0.25 の GRIN レンズ(有効焦点距離 f_1 、有効レンズ直径、外径はそれぞれ 530 μm 、250 μm 、420 μm)を採用することでビームの集光とクラッド内のコア位置に応じた出射角を与え、空間多重された光ビームを空間的に分離することができる。焦点距離 f_2 が 50 mm の集光レンズを GRIN レンズ端面から $f_1 + f_2$ の位置に配置し、LCoS 空間変調器を集光レンズの後焦点位置に配置した、テレセントリック構成を採用することで、5 つのビームは LCoS 空間変調器上に倍率 f_2 / f_1 の点对称拡大像として焦点を結び、LCoS 空間変調器をそれぞれのビームに対応した 5 つの領域に分割し、各領域で入射光の位相が 2π ずつ鋸歯状に変化させるように LCoS の屈折率を変調する。各領域の 2 の位相変化の周期と方向を制御することで、所望の出力 MCF に結合するように反射光の反射角度を制御する。

構築した CSS を用いて各出力 MCF の各コアの挿入損失 (Insertion Loss: IL) と偏波依存損失 (Polarization Dependent Loss: PDL) を測定した。測定値には、MCF の各コアに単一モードファイバ SMF を用いてアクセスするための Fan-in Fan-out (FIFO) デバイスの挿入損失(0.9~1.4 dB) および LCoS の回折損失 (~1dB) を含んでいる。出力 MCF o_1 、 o_4 、及び o_5 で比較的高い挿入損失が見られた。また、出力 MCF o_2 の Core C では、最小 IL 4.0 dB、PDL は 0.7 dB という特性が得られた。挿入損失、PDL が各 MCF、Core 毎に顕著な差が表れる原因として、MCF と GRIN レンズの位置関係の不均一性、LCoS 空間変調器に必要な偏波ダイバーシティ光学系が不完全であることに起因すると考えられる。

(2) マイクロレンズアレイと MEMS ミラーアレイからなる CSS

この問題を解決するために、コリメータアレイにマイクロレンズを用いた MCF コリメータアレイと微小電気機械システム (MEMS: Micro electro mechanical system) ミラーアレイを 2 次元的に配置した 5 コアの 1×8 CSS 試作機を構築し、1500 nm から 1630 nm の広い波長帯域 (S、C、L バンド) にわたって IL、PDL、クロストーク (XT: Cross-talk) を測定した。CSS の入出力 MCF には、モードフィールド径 9.1 μm 、コア間隔 31.6 μm (外側コア間隔 44.7 μm)、クラッド径 125 μm の 5 コア MCF を用いた。各 MCF に、ピッチ 250 μm 、有効焦点距離 f_1 (0.37 mm) のマイクロレンズを取り付けることで、MCF の 5 つのコアから出射された光ビームをコリメートするとともに、空間分離させている。中心コアからの光ビームはレンズの光軸と一致するためレンズの光軸に沿って直進するが、外側コアからの光ビームは MCF の断面におけるコア位置と正反対の方位角で発射される。MCF コリメータを 3×3 正方配置し、左下の 1 つの MCF を入力 MCF、その他 8 つの MCF を出力 MCF として用いた。各 MCF はコアの回転位置が同じとなるように回転調整されている。

焦点距離 f_1 のマイクロレンズと焦点距離 f_2 の集光レンズを用いた CSS は、入力 MCF からの 5 つの光ビームの拡大像を、MEMS ミラー面上に拡大率 f_2/f_1 で形成する。構築した 1×8 CSS に採用したマイクロレンズは焦点距離 0.37 mm で、像の拡大率は 67 倍となる。この拡大率を満たすため、焦点距離 24.8 mm の集光レンズを使用した結果、長さ約 50 mm の小型の CSS を構築することに成功した。MEMS ミラーアレイは 1 mm 径のミラー 5 枚が 2.1 mm ピッチで、MCF のコア位置に対応するように配置されている。5 枚のミラーはそれぞれ独立しているため、各ミラーの角度を制御することにより、任意の出力 MCF の、入力コア ID と同一コア ID を持つコアに結合させることができる。

1×8 CSS 試作機の、IL と PDL の波長特性は、設計波長である 1550 nm 付近で最も低い値 (1.5 dB) を示し、波長の両端に向かって徐々に増加した。使用した TLD の制限により測定されていないが、少なくとも 1450 nm (S バンド全域) まで 3 dB 未満の低 IL 特性が得られると考えている。また、全ての出力 MCF で 0.25 dB 未満の PDL が得られ、PDL は非常に小さいことが分かる。LCoS-SLM の代わりに MEMS ミラーを採用したことにより、130 nm の広い波長帯域において、全ての出力 MCF の各コアで低 IL (1.2 dB~2.7 dB)、低 PDL (0.25 dB 以下) を実現した。

(3) コアセレクトとコア・ポートセレクト

CSS に基づく空間クロスコネクタ SXC は、クライアント側に空間分離多重器 (SMUX/DEMUX) を用いると、SMUX/DEMUX のポート番号は各方路のコア番号に紐付いており、ライン側ポートは各方路に紐付いているので、この SXC アーキテクチャは Fixed core access で Directional であるといえる。CSS に基づく SXC アーキテクチャに Any core access 機能を導入するためには、CSS に加えて新しい光デバイスの導入が必要である。Any core access な CSS ベースの SXC を実現するため、コアセレクト (CS) と呼ぶ 1 つの光スイッチを考案した。CS は、ひとつ MCF とひとつの SMF を隣接配置し、これらとひとつの MEMS ミラーの間に焦点距離 f の凸レンズを 2f 光学系で配置する、極めて単純な光学系で構成される。

Nondirectional な SXC は、クライアント側に 1 組の CSS を対向配置し、これらの CSS により入出力方路を切り替えることで実現できる。しかし、この構成では対向配置した CSS を結ぶ MCF が 1 本しかないため、ここでコア競合が発生し、コア資源の利用効率が低下するという問題が懸念される。この問題は、コア・ポートセレクト (CPS) を導入することで解決可能である。CPS は CS における MCF の本数を方路数分用意したもので、CS と同様に MEMS ミラーを用いて、コアと方路を切り替えることを動作原理とする。これら、CS ならびに CPS の構成は、市販の MEMS ベースの光可変アッテネータ、あるいは市販の $1 \times N$ 光スイッチにおいて実績がある製造技術で構築できるので、極めて安価かつコンパクトに提供可能と期待される。

実際、我々は CPS 試作機を構築し (CS は、CPS のサブセットとして動作検証可能)、挿入損失 0.5

dB 程度で所望の動作が可能であることを実証するとともに、CPS 試作機と組み合わせて、Any core access、Nondirectional、Contention-less な SXC を部分的に構築し、100 Gb/s 光信号を含む C バンド帯 WDM 光を用いて、所望の接続自由度を実現可能であることを実証した。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

提案したコア選択スイッチ CSS の研究成果に対して、国際会議 OECC/PSC 2019 Best Paper Award, M. Jinno, et al (2019)、国際会議 ECOC 2019 Highly Scored Paper, M. Jinno, et al. (2019)、国際会議 OECC 2020 Best Student Paper Award, T. Ishikawa, et al (2020)、電子情報通信学会 OCS 奨励賞 石川翼 (2020)、電子情報通信学会チュートリアル論文賞、神野(2020)が授与されている。また、光通信分野の主要な国際会議 OECC/PSC 2019、OFC 2020、ECOC 2020 にて招待講演を依頼されている。このように本研究は、空間分割多重光ネットワークの先駆的な研究であると国内外で高く評価されている。

現在、第5世代(5G)無線通信サービスが市場導入中であるが、通信業界は、2030年前後に導入が想定される次世代(Beyond 5G)無線通信技術の研究開発に早くも着手し、研究開発競争が始まっている。Beyond 5G 無線技術は、5G の特徴である「超高速・大容量」「超低遅延」「多数同時接続」をさらに高度化することを志向しており、Beyond 5G 無線技術で世界をリードすることは、我が国の産業競争力強化の側面のみならず安全保障上も極めて重要であると位置づけられている。B5G 無線サービスは膨大なデータトラフィックを発生するが、この膨大なトラフィックを必要なサーバーへ経済的に転送可能なネットワーク基盤が必須であり、その実現技術として空間分割多重技術に基づく光ネットワークに対する期待が高まっている。

本研究で研究開発した CSS は、光ネットワークに、従来の WXC による波長単位のルーティングに加えて、トラフィックの大きさに応じて SXC によるコア単位のルーティングする機能を導入することを可能にする。これにより、SXC は大きな粒度(コア単位)でルーティングするので、ビット当たりの転送コストが低くなり、したがって超大容量の光ネットワークを極めて経済的に構築することができると期待される。また、CSS は過剰損失が非常に小さいので、CSS を基本構成要素とする SXC の挿入損失を小さく設計することができる。これにより、転送距離を延伸することができ、したがって高価な光再生中継器のコストを低減可能である。

このように本研究で研究開発した CSS により、将来の次世代(Beyond 5G)無線通信サービスの経済的な提供が可能になると考えられ、その社会的なインパクトは極めて高いと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Jinno Masahiko	4. 巻 26
2. 論文標題 Spatial Channel Cross-Connect Architectures for Spatial Channel Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 1~16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSTQE.2020.2975660	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Jinno Masahiko, Kodama Takahiro, Ishikawa Tsubasa	4. 巻 38
2. 論文標題 Feasibility Demonstration of Spatial Channel Networking Using SDM/WDM Hierarchical Approach for Peta-b/s Optical Transport	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 2577~2586
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JLT.2020.2972367	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Jinno Masahiko, Kodama Takahiro, Ishikawa Tsubasa	4. 巻 38
2. 論文標題 Principle, Design, and Prototyping of Core Selective Switch Using Free-Space Optics for Spatial Channel Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 4895~4905
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JLT.2020.3000304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Jinno Masahiko, Asano Yu, Azuma Yoshiki, Kodama Takahiro, Nakai Riku	4. 巻 13
2. 論文標題 Technoeconomic analysis of spatial channel networks (SCNs): benefits from spatial bypass and spectral grooming [Invited]	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Optical Communications and Networking	6. 最初と最後の頁 A124~A124
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/JOCN.403968	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 神野 正彦	4. 巻 J102-B(11)
2. 論文標題 エラスティシティと空間並列性を光ネットワークに導入するためのネットワーク・ノードアーキテクチャ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 B	6. 最初と最後の頁 891 911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2018JBI0001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jinno Masahiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Spatial Channel Network (SCN): Opportunities and Challenges of Introducing Spatial Bypass Toward the Massive SDM Era [Invited]	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Optical Communications and Networking	6. 最初と最後の頁 1~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/JOCN.11.000001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計22件(うち招待講演 10件/うち国際学会 17件)

1. 発表者名 T. Ishikawa, T. Kodama, and M. Jinno
2. 発表標題 Broadcast and Select Reconfigurable Spatial Add Drop Multiplexer for Spatial Channel Ring Network
3. 学会等名 Photonics in Switching and Computing (PSC) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Ishikawa, T. Kodama, and M. Jinno
2. 発表標題 Hierarchical SDM/WDM ROADM with Any Core Access for Spatial Channel Ring Networkpdf
3. 学会等名 OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Jinno
2. 発表標題 Architectures of Spatial Add/Drop Multiplexer and Cross-Connect for Spatial Channel Networks
3. 学会等名 Optical Network Design and Modelling (ONDM 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Jinno
2. 発表標題 Enabling Technologies for Spatial Channel Networks
3. 学会等名 Summer Topicals Meeting Series, Space Division Multiplexing (SDM) 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 m. Jinno
2. 発表標題 Evolution Scenarios for Spatial Channel Networks
3. 学会等名 OptoElectronics and Communications Conference (OECC) 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Jinno
2. 発表標題 Benefits of hierarchical spatial bypassing and spectral grooming in SCh networks.pdf
3. 学会等名 European Conference on Optical Communication (ECOC 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kodama, T. Ishikawa, and M. Jinno
2. 発表標題 Demonstration of Any-Core-Access Non-Directional Spatial Cross-Connects Based on Core Selective Switch with and without Core-Contention Constraint
3. 学会等名 European Conference on Optical Communication (ECOC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神野正彦
2. 発表標題 空間チャンネルネットワーク (SCN) : アーキテクチャ・実現技術・インパクト
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神野正彦
2. 発表標題 空間チャンネルネットワーク (SCN) ~ 来たるべき空間多重時代に向けた空間バイパスの導入 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会 PN研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川翼, 小玉崇宏, 神野正彦
2. 発表標題 空間チャンネルネットワークに向けた コア選択スイッチの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 OCS研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiko Jinno
2. 発表標題 Opportunities, challenges, and solutions for Spatial Channel Networks (SCNs) toward the SDM abundant era
3. 学会等名 OECC/PSC 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiko Jinno, Kosuke Yamashita, and Yu Asano
2. 発表標題 Architecture and Feasibility Demonstration of Core Selective Switch (CSS) for Spatial Channel Network (SCN)
3. 学会等名 OECC/PSC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiko Jinno
2. 発表標題 Spatial Channel Cross-Connect (SXC) Architectures and Their Enabling Technologies for Future Spatial Channel Networks (SCNs)
3. 学会等名 Advanced Photonics Congress 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiko Jinno, Takahiro Kodama, Tsubasa Ishikawa, Kosuke Yamashita, Yu Asano, Riku Nakai, and Daiki Suzuki
2. 発表標題 Demonstration of spatial channel networking using two types of hierarchical optical cross-connects
3. 学会等名 ECOC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiko Jinno, Takahiro Kodama, and Tsubasa Ishikawa
2. 発表標題 Five-Core 1×6 Core Selective Switch and Its Application to Spatial Channel Networking
3. 学会等名 OFC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiko Jinno and Takahiro Kodama
2. 発表標題 Spatial Channel Network (SCN): Introducing Spatial Bypass Toward the SDM Era
3. 学会等名 OFC 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神野正彦, 小玉崇宏
2. 発表標題 超並列光ノード・ネットワーク構成技術
3. 学会等名 電子情報通信学会 PN研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川翼, 小玉崇宏, 神野正彦
2. 発表標題 2種類の新規構成空間チャネルクロスコネクタを用いた空間チャネルネットワークのコンセプト実証
3. 学会等名 電子情報通信学会 OCS研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jinno Masahiko
2. 発表標題 Spatial Channel Network (SCN) architecture employing growable and reliable spatial channel cross-connects toward massive SDM era
3. 学会等名 Photonics in Switching and Computing 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jinno Masahiko
2. 発表標題 Added value of introducing spatial bypass into WDM/SDM networks: Gaussian-noise model analysis for spatially-bypassed and spectrally-groomed optical channels
3. 学会等名 44th European Conference on Optical Communication (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yu Asano and Masahiko Jinno
2. 発表標題 Cost comparison of hierarchical optical cross-connect architectures for Spatial Channel Networks (SCNs)
3. 学会等名 Asia Communications and Photonics Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiko Jinno and Yu Asano
2. 発表標題 Required Link and Node Resource Comparison in Spatial Channel Networks (SCNs) Employing Modular Spatial Channel Cross-Connects (SXCs)
3. 学会等名 Optical Fiber Communication Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 コア選択スイッチ，及び光ノード装置	発明者 神野 正彦	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-034602	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------