

令和元年 10 月 4 日

空間多重光信号を経済的に転送可能な新構成の光ネットワークの実証実験に成功 ～ポスト 5G 時代に向けて光通信ネットワークのさらなる大容量化と経済化を可能に～

研究成果のポイント

- 空間多重技術⁽¹⁾に基づく次世代型光ファイバであるマルチコアファイバ⁽²⁾に対応可能な新構成の光ネットワーク「空間チャンネルネットワーク⁽³⁾」を世界に先駆けて提唱しています。
- 空間チャンネルネットワーク実現の鍵となる、全く新しい構造の光スイッチ「コア選択スイッチ⁽⁴⁾」を考案し、その原理動作確認に成功するとともに、コア選択スイッチを用いた空間チャンネルネットワークの実証実験に世界で初めて成功しました。
- 本技術を利用することで、光ファイバ通信ネットワークにおける、光スイッチ 1 台当たりのスイッチング容量の 30 倍以上の超大容量化と、1 ビット当たりの転送コストの 30 分の 1 以下の大幅経済化が可能になります。
- 本技術は、ポスト 5G⁽⁵⁾時代に必要な膨大な量のデータ通信を経済的に実現するための、我が国発の基盤技術として、大いに期待されます。

研究成果の概要

香川大学創造工学部の神野正彦教授と小玉崇宏講師の研究チームは、空間多重⁽¹⁾技術に基づく次世代型光ファイバであるマルチコアファイバ⁽²⁾に対応可能な新構成の光ネットワーク「空間チャンネルネットワーク⁽³⁾」を世界に先駆けて提唱しています。今回、同研究チームは空間チャンネルネットワーク実現の鍵となる、全く新しい構造の光スイッチ「コア選択スイッチ⁽⁴⁾」を考案し、その原理動作確認に成功するとともに、コア選択スイッチを用いた空間チャンネルネットワークの実証実験に世界で初めて成功しました。これにより、光スイッチ 1 台当たりのスイッチング容量の現行比 30 倍以上の超大容量化と、1 ビット当たりの転送コストの現行比 30 分の 1 以上の経済化が可能になります。本空間チャンネルネットワーク技術は、ポスト 5G⁽⁵⁾（第 5 世代）時代に必要な毎秒 1 ペタ⁽⁶⁾ビット級の光通信システムを経済的に実現するための基盤技術となることが期待されます。同研究チームは本研究成果のコア選択スイッチを、7 月 7 日～11 日に福岡で開催された光エレクトロニクス・光通信国際会議（OECC/PS 2019）において発表し、最優秀論文賞を受賞しました。また、空間チャンネルネットワーク実証実験を、本年 9 月 22 日～26 日にアイルランド、ダブリンにて開催された欧州光通信国際会議（ECOC 2019）にて発表し、高い評価点を得た論文として特に紹介されました。なお、本研究成果の一部は、JSPS 科研費（26220905, JP18H01443）の助成、ならびに情報通信研究機構委託研究（採択番号 20401）により得られたものです。

研究の背景

[1] 既存光ファイバの通信容量限界を打破する新構造の光ファイバの開発が加速

現在、第 5 世代（5G）の移動通信サービスが商用導入を間近に控え、ポスト 5G 時代に向けた研究開発がすでに始まっています。ポスト 5G 時代には、データ通信量のさらなる増加が見込まれ、これを支える光ファイバ通信システムには、一層の大容量化と経済化が求められています。一方、現在、世界中で広く使用されている単一モードファイバ⁽⁷⁾

を用いた最新の通信システムの容量は毎秒 10 テラ⁽⁸⁾ビットを超えており、単一モードファイバの容量の物理限界（～毎秒 100 テラビット）に肉薄しています。このため、単一モードファイバに変わる新構造の光ファイバとして、光ファイバ当たり複数のコアを有するマルチコアファイバ等の研究開発が盛んに行われています。ここで、コアとは光の導波路のことであり、ファイバ中に 1 つのコアしか有しない現状の単一モードファイバに比べて、マルチコアファイバはコア数分だけ光ファイバ当たりの伝送容量を増やすことができます。これまで、光ファイバ当たり 4～36 本のコアを有する各種マルチコアファイバが報告されており、ポスト 5G 時代に必要な、毎秒 1 ペタビット級の光通信システムに向けた研究開発が進んでいます。このように、複数の光導波路を空間的に並列配置する技術のことを空間多重技術と呼びます。

[2] 新構造光ファイバに対応し大容量かつ経済的な光ネットワークの実現が急務

一方、国内外の様々な都市との間で大量のデータをやり取りするためには、各都市を、光ファイバで相互に接続し、光信号を送受信できる仕組みを構築する必要があります。そのような仕組みのことを光ネットワークと呼びます。様々な相手と通信するためには、ネットワーク中に配置した複数の光スイッチを適切に制御して、光信号の通信経路を設定する必要があります。これは鉄道網でいえば、線路のポイントが切り替えられて列車が別の線路に進んだり、途中駅で別の路線を走る列車に乗客が乗り換えたりすることに相当します。現状の光ネットワークでは、単一モードファイバのコアに、複数の波長の光信号を多重化して伝送し、波長選択スイッチ⁽⁹⁾と呼ばれる光スイッチを用いて、波長ごとに光信号の経路を細かく切り替えています。しかし、将来の空間多重技術に基づく光ネットワークにおいて、従来の波長選択スイッチを使用しつづけることは、必要な波長選択スイッチ数の激増を招き、コストと設置スペースの面で現実的ではありません。このため、今後、導入が進むと予想されるマルチコアファイバに対応可能で、大容量かつ経済的な光ネットワークの新たな構成法（アーキテクチャ）と、これを可能とする新しい光スイッチの創出が求められています。

今回の研究成果は、この課題を解決するために当研究チームで考案した新構成の光ネットワークアーキテクチャ「空間チャンネルネットワーク」と、これを可能とする新しい原理に基づく光スイッチ「コア選択スイッチ」に関するものです。

研究成果の内容

図 1 に現在のネットワークと当研究チームが提唱する空間多重時代のネットワークの構成を示します。現在のネットワークは、ルータなどの電気スイッチ装置からなる IP（インターネットプロトコル）ネットワークと波長クロスコネクタ装置からなる波長多重ネットワークの階層構造を採用しています。隣接する波長クロスコネクタ装置は単一モードファイバで接続され、複数の波長の光信号が単一モードファイバのコアに多重化されて伝送し、波長選択スイッチと呼ばれる光スイッチを用いて、波長ごとに光信号の経路を細かく切り替えています。これに対して、当研究チームが提唱している将来ネットワークでは、波長多重ネットワークの下部に、マルチコアファイバで接続された空間クロスコネクタ装置からなる空間チャンネルネットワークを新たに配置します。空間クロスコネクタ装置は、マルチコアファイバのコアごとに光信号の経路を切り替えます。切り替え単位を大きくすることで、今後ますます大容量化が進む光信号を経済的かつ高品質に転送することが可能になります。

このような空間クロスコネクタ装置の実現の鍵となるのが、当研究チームが考案したコア選択スイッチです。図 2 にコア選択スイッチの構成と動作原理を示します。コア選択スイッチは、マルチコアファイバアレイと微小レンズアレイ、ミラーアレイから構成された独自の空間光学系を採用しています。マルチコアファイバアレイは、中央に配置された入力マルチコアファイバと、その周囲に配置された出力マルチコアファイバから構成されています。入力マルチコアファイバ中の 4 つのコアを伝搬してきた各光信号は、直後に配置された微小レンズにより、出射角度の異なる

4つの光ビームに分かれて空間を進み、集光レンズによりミラーアレイ上の個々のミラー面上に結像します。各ミラーの角度を個別に調整することで、各光ビームが出力すべき出力マルチコアファイバに結合し、出力されます。

図3にコア選択スイッチの原理確認実験の様子を示します。今回の実験では実験系構築の容易さを考慮して、ミラーアレイ素子として液晶ベースの空間光変調器を用いましたが、今後、シリコンの微細加工技術に基づく微小ミラーアレイを採用することで、小型で簡易な構成のコア選択スイッチが実現可能と期待されます。図4にコア選択スイッチに基づく空間クロスコネクタ装置からなる空間チャンネルネットワークの実証実験の様子を示します。各空間クロスコネクタ装置は、4つのコアを有するマルチコアファイバにより接続されています。図4(a)は実験に使用したマルチコアファイバの断面写真であり、図4(b)はすべてのコアに光信号が入力された際のモニタ装置の出力画像です。図4(c)は、900 Gb/sの超大容量光信号に対して実施した、空間チャンネルネットワークが提供する各種スイッチング機能の検証の様子を示した図です。各機能によりスイッチされた光信号の符号誤り率を測定することで、提唱する空間チャンネルネットワークが超大容量光信号を信号品質の劣化なしに転送可能であることを実験的に確認しました。

研究成果の意義

コア選択スイッチは、従来の波長選択スイッチに比べて非常にシンプルな構成であるので、光スイッチ1台あたりの製造コストは、波長選択スイッチと同等以下となることが期待できます。これまでにファイバ当たり36個のコアを配置したマルチコアファイバが実現されており、さらに多くのコアを配置可能な光ファイバ技術の革新が続いています。香川大学創造工学部の研究チームが考案した新構成の光スイッチ「波長選択スイッチ CSS」が実用化され、同チームが提唱している空間チャンネルネットワークが実現されると、光スイッチ1台当たりのスイッチング容量の現行比30倍以上の超大容量化と、1ビット当たりの転送コストの現行比30分の1以上の経済化が可能になると考えられます。

本成果は、ポスト5G（第5世代）時代に必要な毎秒1ペタビット級の光通信システムを経済的に実現するための基盤技術として、国内外の情報通信インフラの発展を支えるとともに、我が国発のオリジナル技術として、我が国の産業競争力の一層の強化に貢献することが期待されます。

研究助成等

本研究成果の一部は、JSPS 科研費（26220905, JP18H01443）の助成、ならびに情報通信研究機構委託研究（採択番号20401）により得られたものです。

論文情報

1. 「空間チャンネルネットワークに関する論文」M. Jinno, "Spatial channel network (SCN): Opportunities and challenges of introducing spatial bypass toward massive SDM era [Invited]," J. Opt. Commun. Netw., vol. 11, no. 3, 2019 (**Invited paper**) .
2. 「コア選択スイッチに関する論文」M. Jinno, K. Yamashita, and Y. Asano, "Architecture and feasibility demonstration of core selective switch (CSS) for spatial channel network (SCN)," OECC/PSC 2019, W A2, 2019 (**Best paper award**).
3. 「空間チャンネルネットワーク実証実験に関する論文」M. Jinno, T. Kodama, T. Ishikawa, K. Yamashita, Y. Asano, R. Nakai, and D. Suzuki, "Demonstration of spatial channel networking using two types of hierarchical optical cross-connects," ECOC 2019, Th.1.A.6, 2019 (**Highly Scored Paper**).

用語解説

- (1) 空間多重技術：並列に近接配置された複数の光導波路を用いることで、システム容量増を図る多重化方式
- (2) マルチコアファイバ：1本の光ファイバに複数のコア（光の導波路）を配置する次世代ファイバ
- (3) 空間チャンネルネットワーク：空間チャンネル（光ファイバの1本のコアで伝送可能な全スペクトルを使用して転送される光信号）をスイッチ単位とする将来の光ネットワーク
- (4) コア選択スイッチ：入力マルチコアファイバ中の異なるコアを伝送された複数の光信号のうち、任意の光信号を任意の出力マルチコアファイバに出力可能な1入力多出力の光スイッチ
- (5) ポスト5G：今後導入が期待される10 Gb/s程度の高速無線伝送、多数端末無線接続、低遅延無線伝送の実現を目指す第5世代移動通信システムのさらにその先を目指す将来移動通信システム
- (6) ペタ：10の15乗
- (7) 単一モードファイバ：1本の光ファイバに1つのコアが配置された現行の光ファイバ
- (8) テラ：10の12乗
- (9) 波長選択スイッチ：入力単一コアファイバ中を伝送されてきた、波長の異なる複数の光信号のうち、任意の光信号を任意の出力単一コアファイバに出力可能な1入力多出力の光スイッチ

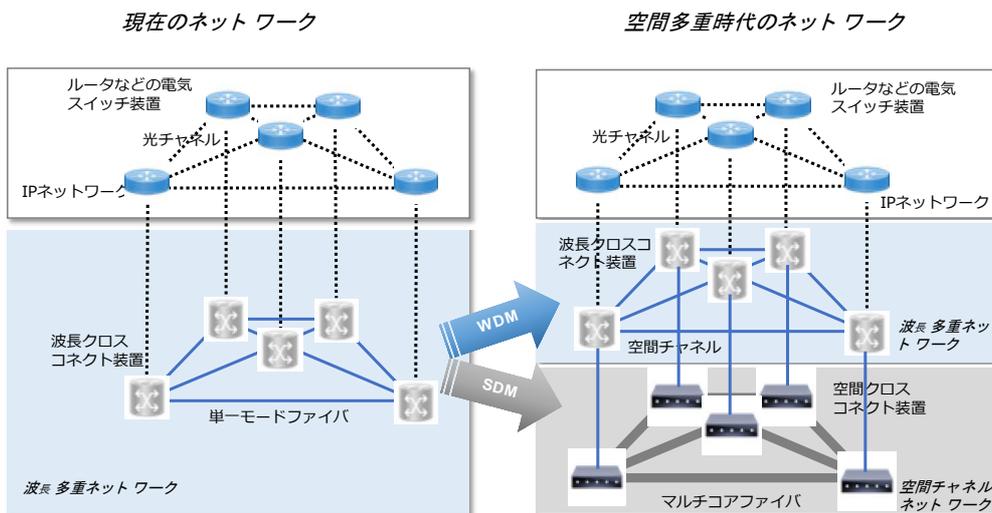


図1 現在の光ネットワークと提唱する空間多重時代のネットワークの構成

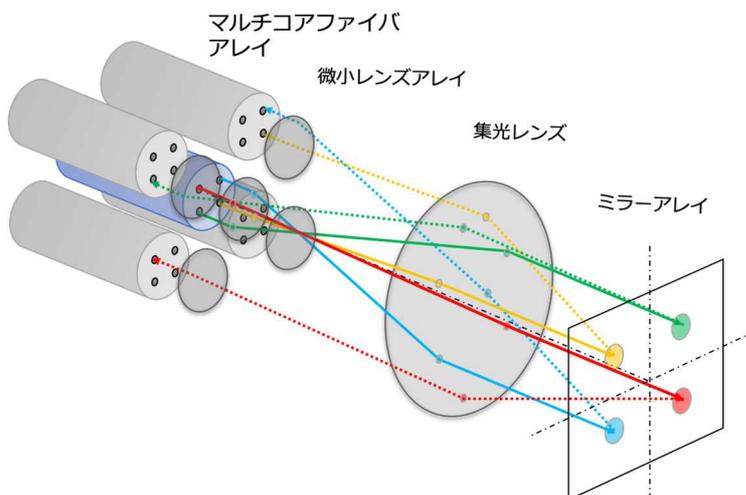


図2 コア選択スイッチの構成と動作原理

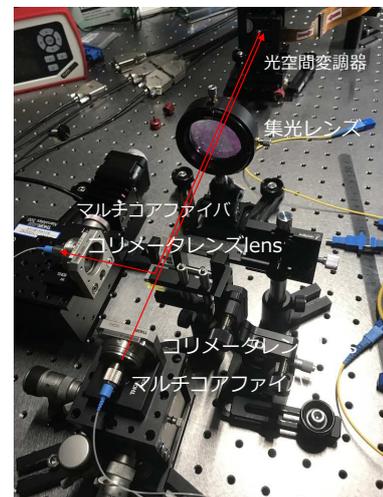
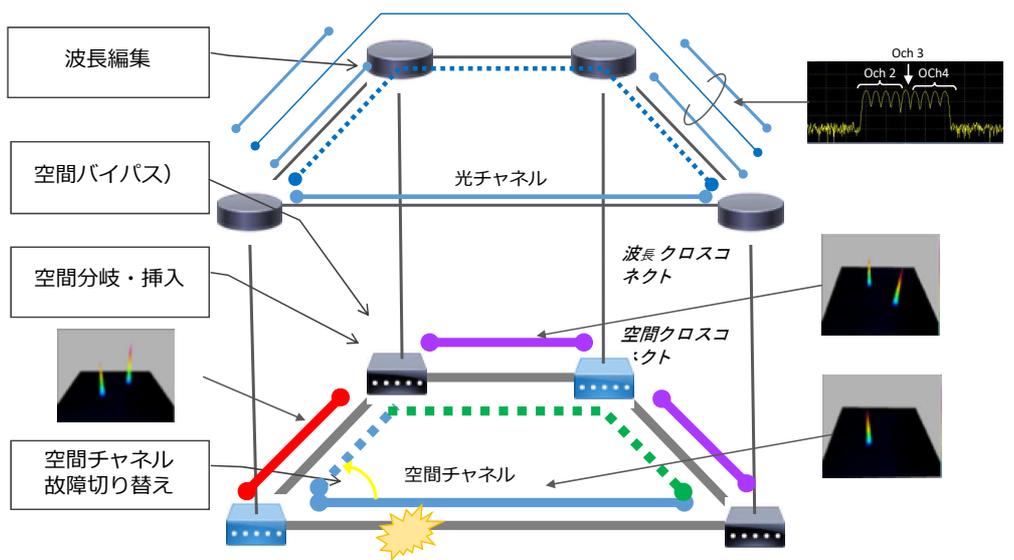
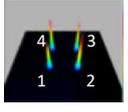


図3 コア選択スイッチの原理確認実験の様子



(c) 空間チャンネルネットワークにおける各種スイッチ機能の検証実験の様子

図 4 空間チャンネルネットワークの実証実験の内容



➤ お問い合わせ先

香川大学 創造工学部 教授 神野 正彦

TEL : 0 8 7 - 8 6 4 - 2 2 4 2

E-mail : jinno@eng.kagawa-u.ac.jp

※上記不在の場合

香川大学 創造工学部 庶務係 大熊

TEL : 0 8 7 - 8 6 4 - 2 0 0 0 FAX : 0 8 7 - 8 6 4 - 2 0 3 2

E-mail : koshomu2@jim.ao.kagawa-u.ac.jp