



再構成可能なインフラのための
スケーラブル・フレキシブル光通信技術研究開発
Scalable And Flexible optical Architecture for
Reconfigurable Infrastructure (SAFARI)

<http://www.ict-safari.eu/>

研究代表者

宮本 裕 日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所

研究分担者

水野 隆之[†] 田中 貴章[†] 小林 孝行[†] 乾 哲郎[†] 芝原 光樹[†] 磯田 暁[†] 濱岡 福太郎[†] 小野 浩孝[†]
平野 章[†] 木坂 由明[†] 西沢 秀樹[†]
愛川 和彦^{††} 竹永 勝宏^{††} 佐々木 雄佑^{††} 安間 淑通^{††} 斉藤 翔太^{††}

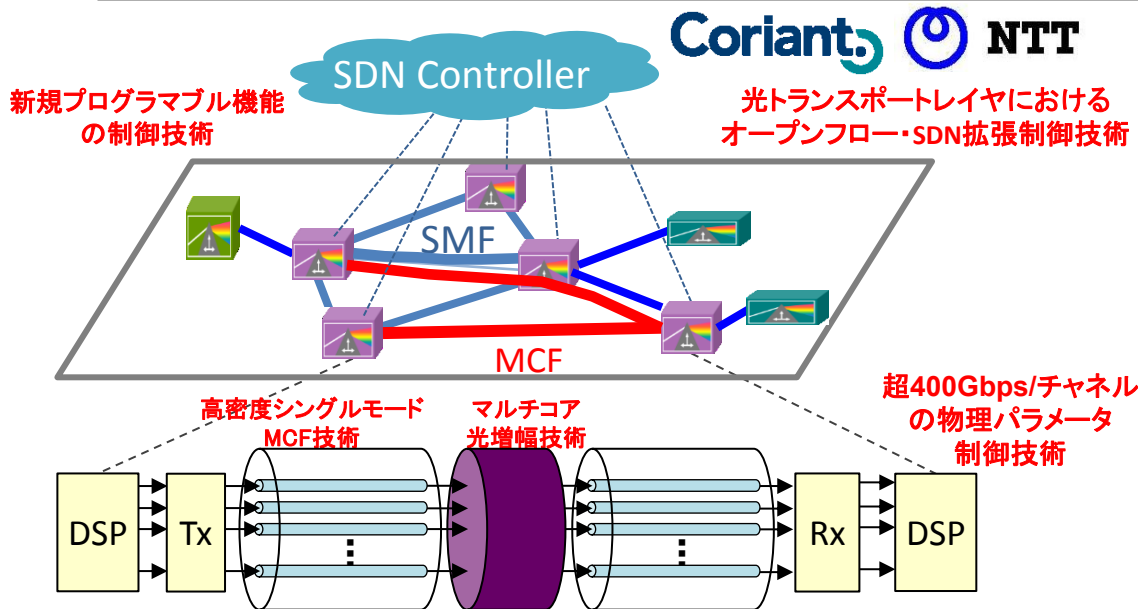
[†]日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所 ^{††}株式会社フジクラ 先端技術総合研究所

研究期間 平成26年度～平成29年度

SAFARIの目的・実施内容



- 日本2機関 (NTT、フジクラ)、欧州3機関(デンマーク工科大学、サウサンプトン大学、コリアント)によるパートナーシップの下、将来のペタビット級のスケラブル光ネットワーク実現に向けた様々なフレキシビリティ(変調方式、サブキャリア数、空間多重数)の制御技術を確認する。
- 日欧連携テストベッドにおけるネットワーク制御実験による要素技術の有効性を実証する。



空間多重光通信の高密度多重化
(コア多重数 ≥ 30)

スケラブル光ネットワークの実現と
高信頼なプログラマブル機能制御

可変周波数利用効率
(変調方式)

可変帯域幅
(マルチキャリア数)

MCF: マルチコアファイバ
SMF: シングルモードファイバ
SDN: Software Defined Network
DSP: Digital Signal Processing Circuit

主な日本側研究成果(1/2)

- ① コア数30以上の低コア間クロストークシングルモードマルチコアファイバの開発に成功
 - 2種コア構造： 32コア長尺ファイバ(合計110 km)作製に成功。(IEEE J. of Lightwave Technol., Invited, 2016)
 - 3種コア構造： 世界最大37コアファイバ実証。(OFC2017, Top-scored paper, Th1H.2, 2017)
- ② カメラを用いたコア間クロストークの複数コア同時測定技術を開発し測定時間を 1/6~1/8に低減。
- ③ マルチコアファイバ融着接続で低接続損失を実現： 32コアファイバで、融着接続損失 0.32 dB以下

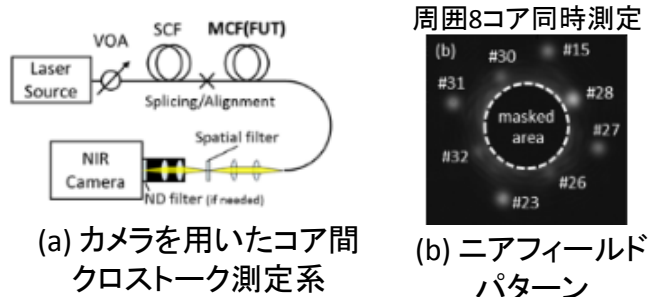
本課題で作製した、高密度マルチコアファイバの特性

	30コア ファイバ	31コア ファイバ	32コア ファイバ	37コア ファイバ
断面写真				
クロストーク 低減技術	異種コア	疑似シングル モード	異種コア 1-km λ_c	異種コア 1-km λ_c
異種コア数	4	1	2	3
製造性	×	◎	○	△
平均合計XT at 1550 nm	-32 dB/1000 km	-11 dB/1000 km	-27 dB/1000 km	-30 dB/1000 km
ファイバ長	9.6 km	11.0 km	110 km	7.9 km

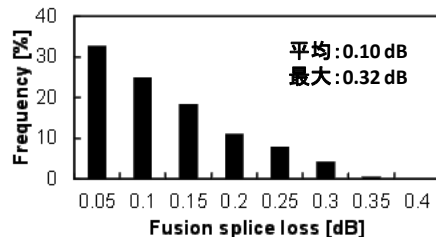
$A_{eff} \sim 80 \mu\text{m}^2$ 、クラッド径 < 250 μm

異なる設計の短尺30、31コアファイバを試作、評価。その結果から光学特性に優れ、製造性のよい32コアファイバを開発。世界最大37コアファイバの実現性確認

カメラを用いたコア間クロストーク測定

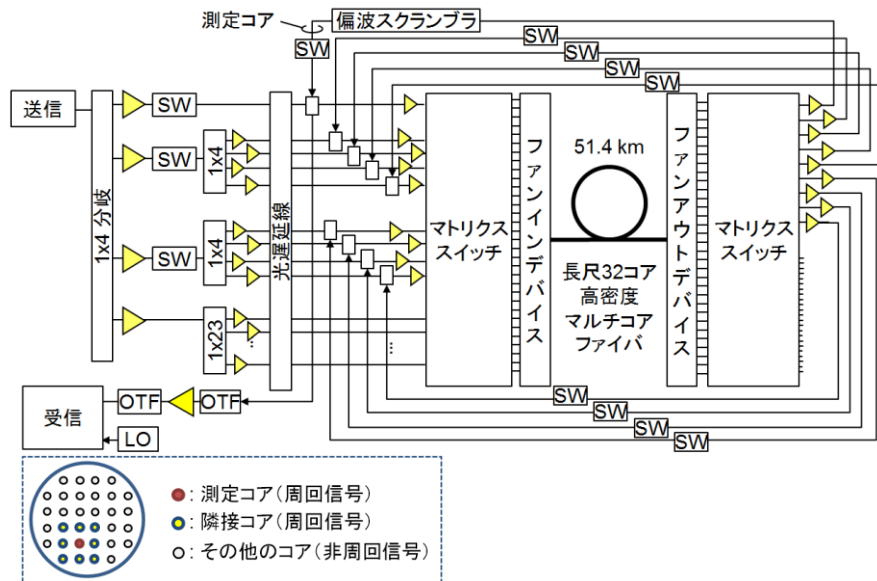


融着接続損失のヒストグラム(32コア)

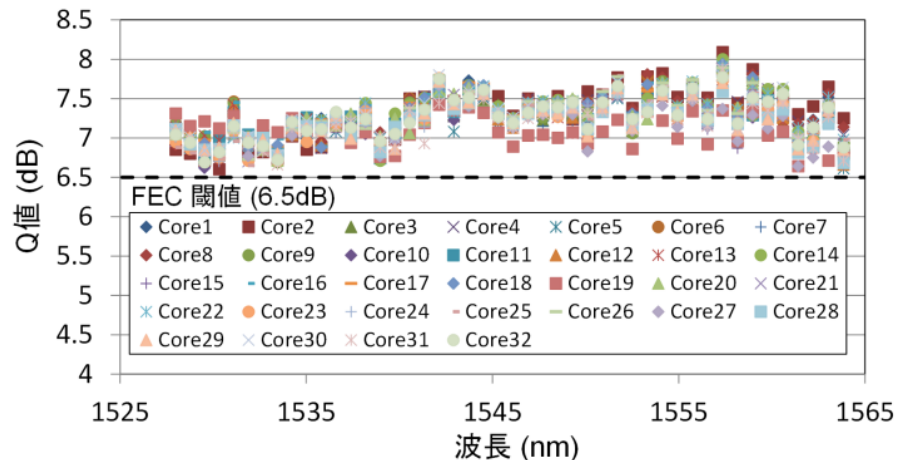


- ① インサービスのコア間クロストークモニタ方式提案と32コア中継増幅伝送路における実証 (OFC2017, paper M3J.2, 及び ECOC2016, PD paper Th.3.A.1)
- ② 世界初の32コア多重、1600 km超の高密度空間多重長距離伝送を実証 (OFC2016, PD paper Th5C.3)
- ③ 世界初のペタビット級容量の高密度空間多重光増幅中継伝送を実証 (OFC2017, PD paper Th5B.1)

長尺32コアコアファイバを用いた 1644.8 km高密度空間多重長距離伝送を実証



1Pbit/s容量、205.6 km光増幅中継伝送実証



従来の半分の帯域(c帯のみ)で従来の2倍以上の
200 km以上の光増幅中継伝送を実証

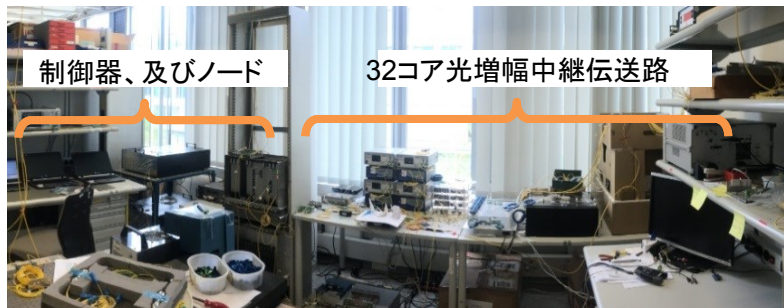
日欧連携テストベッド実験実証



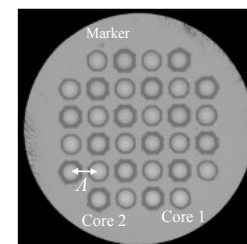
- ① コリアント社(ドイツ・ミュンヘン)において各社の要素技術を連携・実装した日欧連携テストベッドを構築。
- ② 1000 km級Pbit/s光ネットワークの実現に向け、空間多重光通信に適した機能拡張SDN制御プラットフォームを適用し、プログラマブルなチャネル容量可変400 Gbit/s級光パス制御を実験実証 (ECOC2017, PD paper Th.PDP.B.5)。



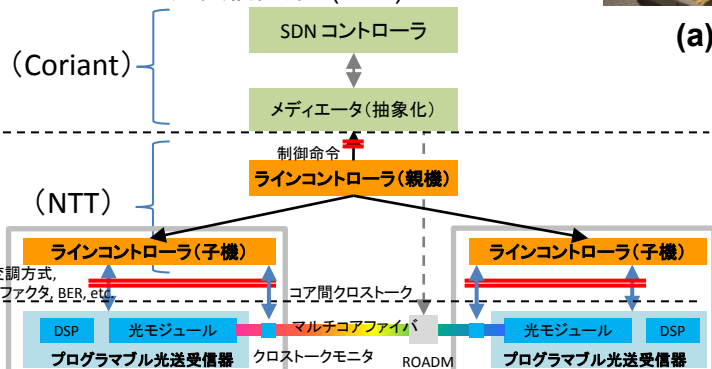
400-Gbit/s プログラマブル送受信回路 (NTT)



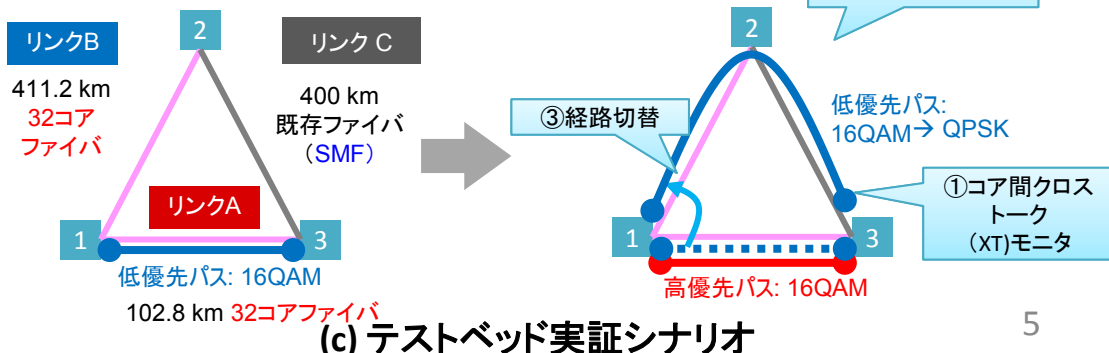
(a) 日欧連携SAFARIテストベッド概観と要素技術



32コアファイバ (フジクラ)



(b) 機能拡張SDN制御プラットフォーム



(c) テストベッド実証シナリオ

本分野の更なる発展に向け、今後も主要な国際会議等においてグローバルな技術トレンドを牽引。

①プログラム制御可能な光ハードウェア技術

- **ONF (Open Networking Foundation)** において、以下の実績を元に欧州パートナーとも情報交換を行いつつ、標準化活動を推進予定。
 - H28年10月: マルチコアファイバを用いたNWの運用ユースケースおよび制御モデルを提案し、ONF公式文書 "Use Cases for Carrier Grade SDN" として採択。
 - H29年10月: 課題ウで実施した1,000km級のテストベッドでの提案ユースケース実証実験を、産業界向け SDN NFV World Congress2017において招待講演。

②超大容量光トランスポートネットワークの研究開発

- **ITU-T SG (International Telecommunication Union -Telecommunication Study Group)15** において、以下の実績を元に、今後も関係する欧州キャリアやベンダーとも情報交換をしつつ、標準化活動を推進予定。
 - NTTは国内外通信キャリアと共同で、“空間多重光通信技術”を標準化議論の開始をITU-T SG15 Q5/6で初めて提案し、2017-2020年会期のWork Itemsとして採択。
- データセンタ・光ノード装置内配線等の高密度化を見据え、**IEC(International Electro-technical Commission)**において、本PJを知見を元に、既存光ファイバと同じクラッド外径(125 μ m)の4~5コア光ファイバ、光コネクタの標準化を推進予定。