

EXAT研究会の15年の歩み



東北大学
災害科学国際研究所
特別名誉教授

なかざわ まさたか
中沢 正隆



国立研究開発法人
情報通信研究機構
フォトニックICT研究
センター
研究センター長

あわ じ よしなり
淡路 祥成



デンマーク工科大学
Department of
Electrical and
Photonics
Engineering 教授

もりおか とし お
盛岡 敏夫

1. はじめに

本特集は、2023年12月11日に東京で開催された、電子情報通信学会 通信ソサイエティ EXAT研究会^[1]主催の「光通信インフラの飛躍的高度化に関するシンポジウム—EXAT (3M) 研究活動開始15年の節目を迎えて—」での講演内容をまとめたものである。2008年1月に情報通信研究機構 (NICT) 主導により発足したEXAT研究会^[2]は、2010年4月からは、電子情報通信学会 通信ソサイエティの研究会として、その活動の場を移し、現在、世界の最先端光ファイバ通信技術を牽引している。この間、本研究会が、提唱する3M空間多重光伝送技術 (マルチコアファイバ、マルチモード制御、マルチレベル変調) (図1) によって、光ファイバ1本当たりの伝送容量 (実証実験) は、毎秒32テラビットから約23ペタビットと約3桁近く拡大した。本稿では、2008年～2009年の創成期、2010年からの電子情報通信学会EXAT研究会での積極的な国際連携活動、さらには、NICT・総務省のEXAT関連国家プロジェクトや商用化に向けた動きなど、これまでの15年の歩みを概観する。



■図1. 1,000倍の伝送容量を実現する3M技術

2. NICT EXAT研究会の創生 (2008年～2009年)

年率40%程度で増加する通信トラフィックの急増 (20年で

3桁程度の増加) に鑑み、3桁以上の伝送容量を有する新たな光伝送路や光伝送技術の創出を目指して、2008年1月に、NICT主催の「光通信インフラの飛躍的な高度化に関する研究会 (EXAT研究会)」が、世界に先駆けて発足した。産学官からの約25名のメンバにより、第1期 (2008年) では、現状技術の限界把握、毎秒ペタビットをはるかに超える伝送能力を有する新規光ファイバや、時分割多重 (TDM) や波長分割多重 (WDM) を超える空間分割多重 (SDM) などの新規伝送処理技術を議論した。メンバには、将来の実用化を見据え、光通信の各分野から若手の第一線の研究者、光通信システム関連の実用化経験者、ITUやIEC等の国際標準化に現役で携わる方々が名を連ねた。第2期 (2009年) では、第1期で検討した技術に関して、産学官連携での新規国家プロジェクト創設に向けた技術課題について議論を重ねた。研究会名の略称であるEXATは、EXtremely Advanced Transmissionに由来するが、加えて「毎秒エクサ (EXA=10¹⁸) ビット伝送を目指した技術」の意も包含する。2008年11月には、第1期活動の報告会を兼ねた国際シンポジウムEXAT2008が、約200名の参加者を集めて東京で開かれ、世界に先駆けて新規光ファイバやSDM伝送技術の研究開発の方向性を議論した。

3. 電子情報通信学会 EXAT研究会 (2010年～) における国際連携活動

NICT EXAT研究会の活動を受けて、2010年4月には、世界に向けた本技術分野の啓発と促進、次世代の光通信インフラを目指した技術研究戦略などについて更に幅広い議論を加速するために、電子情報通信学会通信ソサイエティ「光通信インフラの飛躍的な高度化に関する時限研究専門委員会 (EXAT研究会、現在、特別研究専門委員会)」^[1]が発足した。これまで、EXAT2008を含め7件の国際シンポジウムの主催、23件の国際学会でのワークショップ・シ

ンポジウムの技術協働を実施し、積極的に国際連携活動を進めている。また、本分野の技術ロードマップの詳細化と社会実装への寄与の一環として、標準クラッド径マルチコアファイバについて、そのロードマップ Ver.2^[3]を完成させた。

近年、標準クラッド径マルチコアファイバ技術は、空間多重伝送の実用展開に向けた最初のマイルストーンとして国際的に注目を集めており、ITU-T SG15においても、2022年に発行した空間多重光ファイバケーブルに関する技術レポート^[4]の中で、空間多重光ファイバの実用展開に向けた候補技術の一つとして位置付けられている。本技術レポートの検討・発行提案は日本からの寄書投稿により実現したものであり、EXAT研究会メンバも寄与している。ロードマップと国際標準化動向については、本特集の「EXATロードマップ活動とSDM光ファイバの標準化動向」を参照されたい。なお、これまでEXAT研究会で検討した技術分野の進展は、日本語出版^[5]並びに英語出版^[6]において詳細に記述されている。

4. NICT・総務省 EXAT関連国家プロジェクト

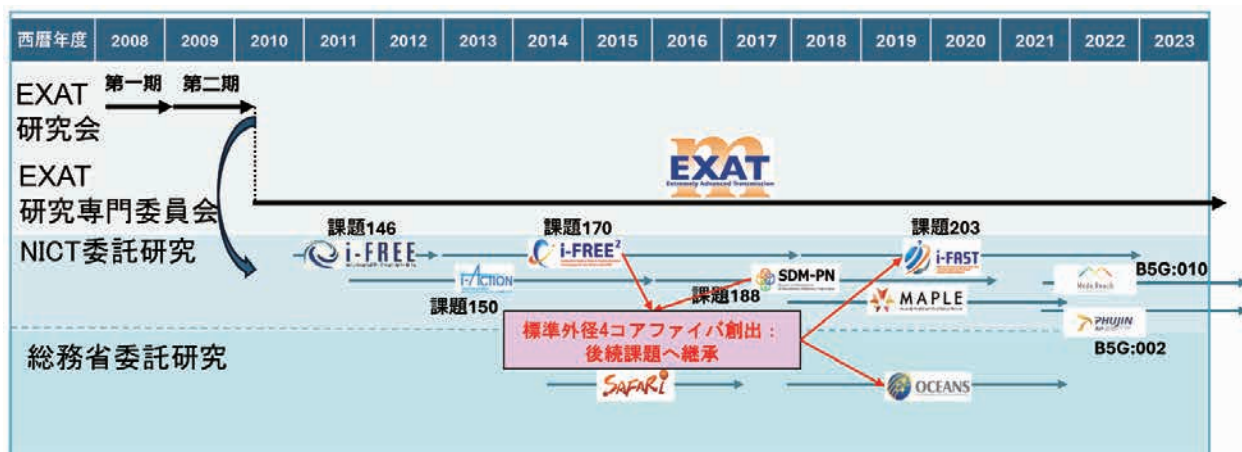
図2に産学官連携プロジェクトを含めたEXAT研究会の発足から現在までの歩みを示す。

国内の研究連携については、複数の通信キャリアが連携する枠組みの仲介及び総合調整をNICTが担い、さらに、主要ファイバメーカー、主要ベンダがそれぞれの業態に則した要素技術に関して参画するとともに、ファイバ設計や理論検討面で大学等がコミットする、産学官バランスのとれたオールジャパン研究開発体制を2009～2010年にかけて準備した。2010年当時、SDM技術は萌芽技術の段階に

あったため、初動では公的資金の投入を主軸としてリスクの高い研究開発を迅速に進めて一定の成果を挙げ、国際的な技術のコンセンサスの形成や事業化の機運を段階的に高めて、民間事業者の投資を徐々に拡大し、スムーズに事業化・商用化に至る戦略を執っていた。

具体的にはNICTの高度通信・放送研究開発委託研究制度（いわゆるNICT委託研究）を用いて、複数の企業・大学が参画する研究開発プログラムが段階的かつ継続的に実施されてきた。皮切りとなったのは2010年から3か年かけて実施した、課題146「革新的光ファイバ技術の研究開発」であり、史上初めて通信用のマルチコアファイバの設計、製造方法及び性能評価を組織的に実施したプロジェクトである。なお、当時の背景説明として「5～10年後にペタビット級光通信を実現するため」と銘打たれていたが、奇しくも2年後には1ペタビット毎秒の光伝送が実現することとなる（後述）。続く、課題150「革新的光通信インフラの研究開発」は2011～2015年にかけて実施され、マルチコアファイバを用いた光伝送システムの構成要素である、マルチコア光増幅技術、マルチコアファイバ接続技術に加えて、当時欧米にてマルチコアファイバとの競合技術として立ち上がってきたマルチモード伝送も視野に入れたマルチコア・マルチモード伝送技術の3つの柱によって成り立っていた。課題146と併せてこのプロジェクトの完遂により、初期段階のマルチコアファイバ光伝送システムの概観が見通せるようになった。なお、課題150実施期間の中途、2012年に12コアファイバを用いた1ペタビット毎秒が達成された^[7]。

その後、課題146の後継としては、課題170「革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」（2013～2017年）において、本格的なマルチコアファイバの研究が行われ、マルチコア



■図2. EXAT研究会の発足から現在までの歩み



ファイバの設計指針、作成方法の確立、低損失化、コア間干渉低減などの評価指標の検討、解析的・数値的な理論強化、数モード・多モードの検討、性能と製造性の両立、入出力・結合方法などの技術的進展に加えて、初めて標準化に向けた行動計画の立案なども実施された。さらに続く、課題203「マルチコアファイバの実用化加速に向けた研究開発」(2018~2022年)では、課題170及び後述の課題188実施中に発明された標準外径マルチコアファイバを早期実用化の主力と位置付けて、量産性の向上につながる標準外径マルチコアファイバの製造技術と、ケーブル化などの周辺技術及び評価技術に関する集中的な研究開発を推進した。

一方、課題150の後継としては、マルチコアファイバによって増大するリンク伝送容量を収容可能な10ペタビット毎秒級のノードスループットを実現する大容量交換技術に重点化した課題188「空間多重フォトニックノード基盤技術の開発」(2016~2020年)が実施され、空間多重ノードアーキテクチャやシステム制御を前提とした評価手法、空間多重ノード内での光増幅、方路制御技術及び空間多重に最適化された配線技術など、ノードの構成要素を網羅する研究開発が行われた。加えて、総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業において当該技術分野における日欧の連携を促進するための「再構成可能なインフラのためのスケラブル・フレキシブル光通信技術の研究開発(SAFARI)」や、ICT重点技術の研究開発プロジェクトにおいて海底ケーブルシステムに特化した「マルチコア大容量光伝送システム技術(OCEANS)」、マルチコアファイバ接続技術を含む「超高速・低消費電力光ネットワーク技術の研究開発」など多角的に社会実装を促進する研究開発プログラムが実施されてきている。

そして、現在もNICT革新的情報通信技術(Beyond 5G(6G))基金事業として、課題002「Beyond 5G大容量無線通信を支える空間多重光ネットワーク・ノード技術の研究開発」、課題010「Beyond 5G時代に向けた空間モード制御光伝送基盤技術の研究開発」などのプログラムが継続的に実施されており、直近の実用化だけでなく、光通信インフラの「持続的な」飛躍の高度化を目指した最先端の研究開発が行われている。

5. 商用化へ向けて

前述した研究連携の中で課題170及び課題188において、早期実用化を目指して創出された標準外径のマルチコアファイバのコンセプトは、後継の課題である課題203及び総務省のOCEANSに主たる研究対象として継承された。この2つのプログラムにおいて各社連携の枠組みの中で技術が成熟し、プログラム終了後も国内企業における技術蓄積が継続された結果が実ったのであろうか、2023年秋に、国内ファイバメーカーによる世界初のマルチコアファイバ量産の開始と、米国プラットフォーマーによる太平洋横断ケーブルシステムにおけるマルチコアファイバの導入計画について、それぞれ発表がなされた^[8]。これらはマルチコアファイバの初の商用化であり、2010年に描いたスムーズな事業化・商用化が進展し始めた兆しである。

参考文献

- [1] 電子情報通信学会 光通信インフラの飛躍的な高度化に関する特別研究専門委員会
<https://www.ieice.org/~exat/?FrontPage>
- [2] 「我が国基礎・基盤研究の現状~NICT EXAT研究会~」ITUジャーナル 2009年5月号
https://www.ituaj.jp/member_archive/itu2009.php
- [3] EXATロードマップhttps://www.ieice.org/~exat/Roadmap/EXAT_Roadmap_ver2.pdf
- [4] ITU-T Technical Report GSTR-SDM “Optical fibre, cable, and components for space division multiplexing transmission” (09/2022) https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2022-1-PDF-E.pdf
- [5] 「光通信技術の飛躍の高度化」(中沢、鈴木、盛岡 編) オプトロニクス社(2012年) http://shop.optronics.co.jp/products/detail.php?product_id=427
- [6] M. Nakazawa, M. Suzuki, Y. Awaji, T. Morioka (eds.) “Space-Division Multiplexing in Optical Communication Systems,” Springer Series in Optical Sciences, vol 236. Springer, Cham. (2022年) <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-87619-7>
- [7] H. Takara, et. al., “1.01-Pb/s (12 SDM/222 WDM/456 Gb/s) Crosstalk-managed Transmission with 91.4-b/s/Hz Aggregate Spectral Efficiency,” ECOC2012, Th.3.C.1.
- [8] 「世界初 極低損失マルチコア光ファイバの量産化に成功」(2023年9月) <https://sumitomoelectric.com/jp/press/2023/09/prs115>
「マルチコアファイバー技術で海底ケーブルを強化」(2023年9月) <https://cloud.google.com/blog/ja/products/infrastructure/delivering-multi-core-fiber-technology-in-subsea-cables?hl=ja>