

# 光通信インフラの飛躍的な高度化に向けた 取組み——概要——

Research Activities towards Extremely Advanced Transmission : Overview

盛岡敏夫 淡路祥成

## 1. EXAT 研究会とは

現在の通信ネットワークの基幹を成す光ファイバ通信技術は、電子回路の高速化、波長分割多重技術や光ファイバ増幅器 (EDFA)、近年でのデジタルコヒーレント伝送方式<sup>(用語)</sup>などの技術革新により、過去 30 年間で、光ファイバ 1 芯当りの容量が 400 Mbit/s から 8 Tbit/s へと 2 万倍に増大している。更なる大容量化に向けては光信号パワーの増大が必要となるが、光ファイバ中の非線形光学効果や、光ファイバそのものが熱損傷するファイバフェーズと呼ばれる現象により、最大入力パワーには絶対的な物理限界がある。このため、既存光ファイバを用いた場合、ファイバ 1 芯当りの最大伝送容量は数十 Tbit/s から 100 Tbit/s 程度と予想されていた。今後 30 年で我が国のトラヒック需要が 4 桁から 5 桁増えることを考えれば、毎秒ペタビットをはるかに超える伝送能力を有する新たな光伝送路や光伝送技術の創出に早期に着手する必要があることは明白であった。

このような認識に基づき、2007 年 6 月から、産学官連携のオールジャパンで新技術を議論する研究会の創設に向けた検討を開始した。産学官の関連主要機関と約半年間議論を重ねた後、2008 年 1 月に、独立行政法人情報通信研究機構 (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、東

北大学電気通信研究所の中沢正隆教授を委員長として発足した。毎秒ペタビットをはるかに超える光伝送路技術に関する世界に先駆けた議論の場となった本研究会には、産学官から約 25 名のメンバーが集まり、新技術による 2015 年以降の実用可能なプロトタイプ完成と 2020 年以降の実用化を目指して、2008 年から 2009 年にわたって精力的な活動を展開した<sup>(1)~(4)</sup>。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、時分割多重や波長分割多重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。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、「光通信インフラの飛躍的な高度化」の英訳である Extremely Advanced Transmission に由来するが、加えて「毎秒エクサ (EXA=10<sup>18</sup>) ビット伝送を目指した技術」の意も包含する。メンバーには、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。2 期にわたる活動の成果はそれぞれ報告書にまとめられ、2008 年 11 月には、第 1 期成果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について議論を深めた。

2010 年 4 月には、電子情報通信学会通信ソサイエティにおいて「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」が発足した。この時限研究専門委員会のミッションは、新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研究戦略の検討、新規技術のインキュベーションなどに関し、幅広い議論を加速

盛岡敏夫 正員：フェロー デンマーク工科大学 Photonics Engineering 学科  
E-mail tomo@fotonik.dtu.dk  
淡路祥成 正員 独立行政法人情報通信研究機構ユニバーサルコミュニケーション研究所  
E-mail yossey@nict.go.jp  
Toshio MORIOKA, Fellow (Department of Photonics Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, 2800 Denmark) and Yoshinari AWAJI, Member (Universal Communication Research Institute, National Institute of Information and Communications Technology, Kyoto-fu, 619-0289, Japan).  
電子情報通信学会誌 Vol.97 No.2 pp.98-101 2014 年 2 月  
©電子情報通信学会 2014

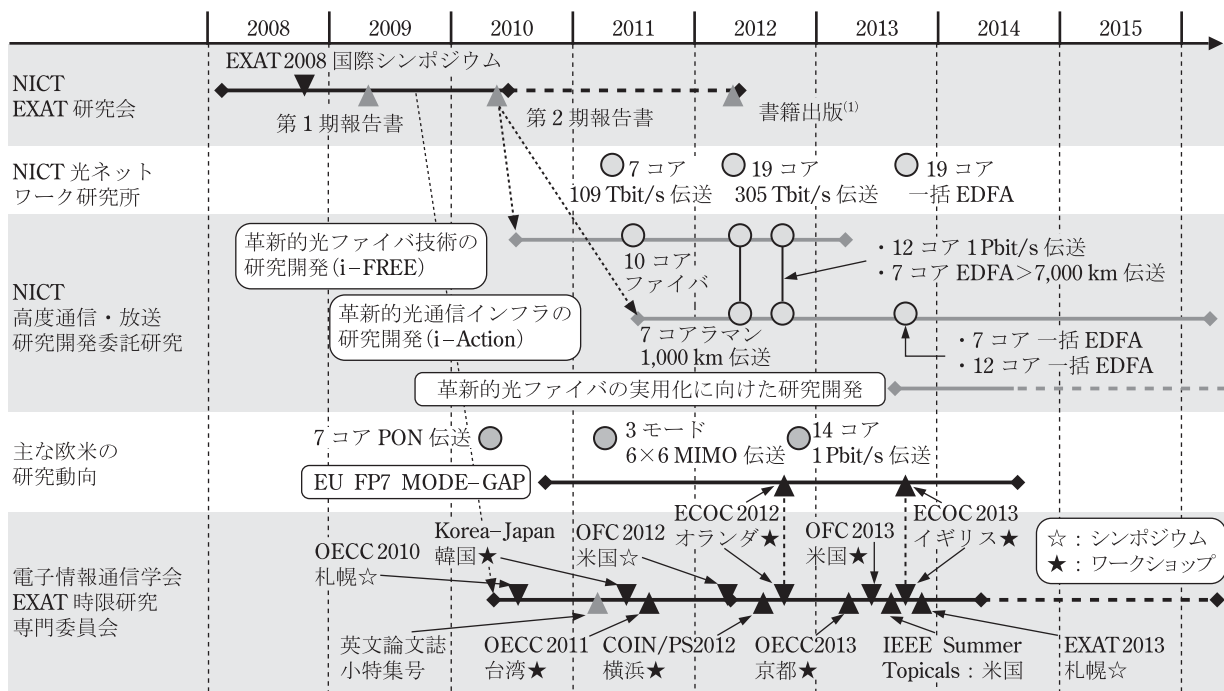


図1 EXAT 研究会の発足から現在までの歩み NICT の EXAT 研究会として始まり、多くの成果を輩出する委託研究や、国際連携を精力的に進める電子情報通信学会時限研究専門委員会に引き継がれている。

するための場を提供することである。現在、2014年3月までの第2期において、国際連携を推進する活動をアクティブに行っている。NICT 主催の研究会から電子情報通信学会時限研究専門委員会に至る EXAT の活動概要を、関連国家プロジェクトの成果なども含め図1にまとめる。国際連携としては、これまでに12件の国際シンポジウム・ワークショップ・英文論文誌特集に関与し、国内技術のプロモーションとともに国内外の関係技術者間の交流の場を提供している。特に、2011年頃からは欧州第7次フレームワークプログラム (EU FP7) のSDM 関連のプロジェクトである MODE-GAP と密に連携を取り、欧州最大の光通信会議 European Conference and Exhibition on Optical Communication で、ワークショップを2012年と2013年に共催した。

## 用語解説

**デジタルコヒーレント伝送方式** 位相に情報を印加した光信号をコヒーレント方式により検波し、デジタル信号処理によって処理する受信方式のこと。コヒーレント光受信で難しいとされてきた光位同期や多値信号復調を、デジタル信号処理で可能としている。

**マルチコアファイバ** 光を伝送する部分であるコアが、1本のファイバの中に複数配置された光ファイバの総称。複数のコアに入射された光信号がそれぞれ独立に伝搬するので、伝送できる情報量を拡大することができる。

## 2. EXAT 研究会の基本思想

光ファイバ通信の容量を制限する要因としては、前述の非線形光学効果やファイバフェーズによる入力光パワーの制限のほかに、光増幅器の帯域制限や、電力の供給が難しい海底系における消費電力制限がある<sup>(5)</sup>。EXAT 研究会では、これらの制限を回避して通信容量を飛躍的に増大させるために、マルチコアファイバ (MCF)<sup>(用語)</sup> や多モードファイバ (MMF) などの新規伝送路を用いた SDM 伝送処理技術の研究開発を推進することを基本思想とし、新規光ファイバ伝送路技術、多重化伝送技術、光ノード技術、光海底ケーブルシステムに向けた超長距離伝送技術の3領域について検討を行っている。

新規光ファイバ伝送路技術については、毎秒ペタビットをはるかに超える情報伝送が可能な新規光ファイバ伝送路、ハイパワー伝送に耐え得る光コネクタ技術、融着技術、ケーブル化技術を検討する。新規光ファイバとしては、SDM やモード分割多重 (MDM) が可能で耐パワー性に優れた MCF や MMF を主な対象とする。加えて、光ファイバのハイパワー耐性向上、将来の実用化で重要となるハイパワー光通信システムの安全性も検討する。

多重化伝送技術、光ノード技術については、SDM、MDM などの新たな多重化伝送技術や、ノードアーキテクチャを検討する。多重化伝送技術としては、現状に比べて格段に高い周波数利用効率を有する多値変復調技術

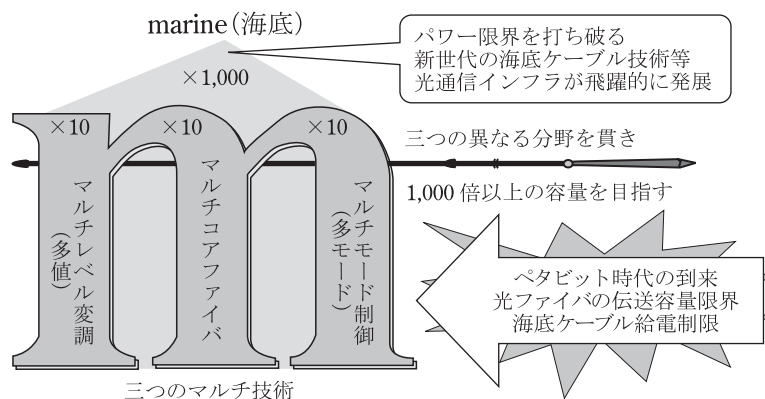


図2 3M技術のコンセプト図 マルチコアファイバ, マルチレベル(多値)変調, マルチ(多)モード制御の三つの頭文字が“3M”の由来である。

とMCFやMMFを融合したSDM/MDM伝送を対象とし、MIMO処理技術、合分波技術、マルチコア/多モード光増幅技術も検討する。

光海底ケーブルシステムに向けた超長距離伝送技術では、エクサビット毎秒×kmの容量距離積を実現するため、変復調や各種信号処理などの送受信技術、低雑音光増幅技術、MCF超長距離光伝送技術などを検討する。

### 3. 3M技術のコンセプト

EXAT研究会が解決課題とする光ファイバ通信容量制限の打破に対して、有望な技術的対策を象徴的に表したものが、図2に示す3M技術である<sup>(2)</sup>。

まず、容量制限の最大要因である光ファイバを刷新することこそ、解決策の鍵となり得る。そこで、新たな多重化軸である空間を積極的に利用するために、同一クラッド中に複数のコアを収容したマルチコアファイバ(Multi-core fiber)を第1の技術要素とした。

次に、MIMOなどの電子回路技術による高次モード分離などの多モード制御(Multi-mode control)技術を活用したMMF伝送を実現する。MMFによる実効断面積の大幅な拡大によって、容量危機の一側面であった非線形シャノン限界が打破される。MCFと並び、空間多重を軸に据えた意欲的な取組みである。

最後に、究極の周波数利用効率を実現する多値変復調(Multi-level modulation)が伝送容量拡大の要となる。単一コアファイバ伝送での技術に加えて、隣接の空間チャンネルからのクロストークに対する耐性を高めるなどの数段の技術の進展が不可欠である。

これらMulti-core fiber, Multi-mode control, Multi-level modulationの頭文字を冠した3M技術が、標準単一モードファイバの容量限界を数桁上回る新しいポテンシャルを持った光通信インフラの礎になる、という未来予測が、EXAT研究会の主要な結論であった。

### 4. 研究開発動向

EXAT研究会で検討した課題を具体的な研究開発活動とするため、技術課題の精査と研究開発ロードマップ作成が進められた。その成果を基に、NICTによる委託研究課題として二つのプロジェクトが立ち上がり<sup>(6)</sup>、数多くの成果が上げられている<sup>(7)</sup>。

まず、「革新的光ファイバ技術の研究開発(i-FREE)」が2010年度から2012年度にかけて行われた。i-FREEは、空間の利活用を主眼とした「革新的光ファイバ」をスコープとし、主にMCFに関する基礎的・探索的な研究成果を多岐にわたって上げた<sup>(8)</sup>。例えば、6~19コアのMCFの提案と試作、モード多重との融合を見据えたMCF伝搬モードの数モード化、MCFのコア間干渉を低減する製造法や数値モデル策定などである。

2011年度からは「革新的光通信インフラの研究開発(i-Action)」が期間5年で始まった。MCFを通信システムで利用するための技術開発をスコープとし、MCF同士の接続、MCFと単一モードファイバの接続、マルチコア増幅器技術が検討されている。i-Actionの出口はMCFを利用した伝送実証であり、容量1Pbit/sを超える伝送<sup>(9)</sup>や、7,000km超の伝送<sup>(10)</sup>が達成されている。

### 文 献

- (1) 光通信技術の飛躍的高度化—光通信の新たな挑戦—, 中沢正隆, 鈴木正敏, 盛岡敏夫(編), オプトロニクス社, 東京, 2012.
- (2) “我が国基礎・基盤研究の現状—NICT EXAT研究会—” ITUジャーナル, vol. 39, no. 5, pp. 3-25, May 2009.
- (3) T. Morioka, “New generation optical infrastructure technologies: “EXAT Initiative” towards 2020 and beyond,” OECC 2009, no. FT4, 2009.
- (4) M. Nakazawa, “Giant leaps in optical communication technologies towards 2030 and beyond,” 36th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC2010), Plenary Talk, Trino, 2010.
- (5) T. Morioka, Y. Awaji, R. Ryf, P. Winzer, D. Richardson, and F. Poletti, “Enhancing optical communications with brand new fibers,” IEEE Commun. Mag., vol. 50, no. 2, pp. s31-s42, 2012.
- (6) [http://www.nict.go.jp/collabo/commission/itaku\\_3rd\\_chuki.html#block\\_top2](http://www.nict.go.jp/collabo/commission/itaku_3rd_chuki.html#block_top2)

- (7) M. Suzuki, "Recent progress in space-division multiplexing R & D in Japan," IEEE Summer Topicals 2013, no. TuC1.1, Hawaii, 2013.
- (8) 例えば, 東 裕司, 中島和秀, 大橋正治, 小柴正則, 國分泰雄, "空間多重用光ファイバ技術の研究動向と今後の展望," EXAT 2013年2月研究会, EXAT2012-6, 東京, 2013. など
- (9) H. Takara, A. Sano, T. Kobayashi, H. Kubota, H. Kawakami, A. Matsuura, Y. Miyamoto, Y. Abe, H. Ono, K. Shikama, Y. Goto, K. Tsujikawa, Y. Sasaki, I. Ishida, K. Takenaga, S. Matsuo, K. Saitoh, M. Koshihira, and T. Morioka, "1.01-Pb/s (12 SDM/222 WDM/456 Gb/s) crosstalk-managed transmission with 91.4-b/s/Hz aggregate spectral efficiency," ECOC2012, no. Th. 3. C. 1, 2012.
- (10) K. Igarashi, T. Tsuritani, I. Morita, Y. Tsuchida, K. Maeda, M. Tadakuma, T. Saito, K. Watanabe, K. Imamura, R. Sugizaki, and M. Suzuki, "1.03-Exabit/s·km super-nyquist-WDM transmission over 7,326-km seven-core fiber," ECOC2013, no. PD3. E. 3, London, 2013.

(平成 25 年 9 月 20 日受付 平成 25 年 11 月 11 日最終受付)



もりおか としお  
盛岡 敏夫 (正員:フェロー)

昭 57 早大・理工・応物卒. 昭 59 米アリゾナ大 Optical Sciences 修士了, 昭 60 早大大学院物理及応用物理学専攻修士了. 同年日本電信電話株式会社入社. 以来, 超高速光信号処理技術, 超広帯域光伝送技術の研究に従事. 平 23 デンマーク工科大・教授, 博士 (工学). 平 7 年度本会業績賞, 小林記念特別賞, 平 7 櫻井健二郎氏記念賞, 平 9 IEE Electronics Letters Premium, 平 16 レーザー学会論文賞各受賞. 平 17 本会通信ソサイエティ英文論文誌編集委員長. OSA (米国光学会) フェロー. 応用物理学会, レーザー学会, IEEE 各会員.



あわじ よしなり  
淡路 祥成 (正員)

平 3 東工大・工・電子物理卒. 平 5 同大学院総合理工学研究科物理情報博士前期了. 平 8 同専攻博士後期了. 同年郵政省通信総合研究所入所. 以来, 光ネットワーク研究に従事. 平 16 内閣官房. 平 18 独立行政法人情報通信研究機構主任研究員, 平 24 研究マネージャー, 平 24 第 44 回市村学術賞受賞. IEEE 会員.

