

広帯域光ファイバ増幅技術の概要

光ファイバアンプは、通信システムの大規模化および高機能化を進めるうえで重要なデバイスであり、特に長距離伝送系ではネットワークの運用波長帯を決定するキーデバイスです。本稿では、 Er^{3+} 添加ファイバアンプ(EDFA)に代表される希土類添加ファイバアンプとファイバラマンアンプの光ファイバアンプの広帯域化技術の概要を紹介します。

やまだ まこと
山田 誠

NTTフォトニクス研究所

光ファイバアンプの広帯域化の重要性

PCに代表される情報端末の普及とインターネットをはじめとするマルチメディア技術およびそれをういたEC(Electronic Commerce)の社会への浸透は、通信ネットワークを大規模(長距離)かつ複雑にするとともに、トラフィック量を着実に増大させてきました。このため長距離通信ネットワーク系では、伝送用光ファイバに複数の波長の異なる光信号を配置して伝送するDWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)による伝送容量の増大化とともに光クロスコネクタ、Add/Drop技術等を応用した光ノード機能の付加によるシステムの柔軟性向上・多機能化が可能なフォトニックネットワークの開発が進められています⁽¹⁾。DWDM伝送をベースとするフォトニックネットワーク構築において光ファイバアンプは、伝送用光ファイバや同ネットワークを構成する光デバイス(例えば光合分波器、光スイッチ等)における損失を補償しネットワークの大規模化・長距離化を推し進めるうえで重要なシステム構成要素であり、その増幅帯域あるいは動作波長帯

は、同システムの運用波長帯を決定するといっても過言ではありません。すなわち大容量なフォトニックネットワークを実現するためには光ファイバアンプの広帯域化が不可欠であり、まさに

ネットワークの大容量化は光ファイバアンプの帯域がC帯(1530-1565 nm)、L帯(1565-1625 nm)、さらにS帯(1460-1530 nm)へと拡大されるのと相まって進んできました⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。光ファ

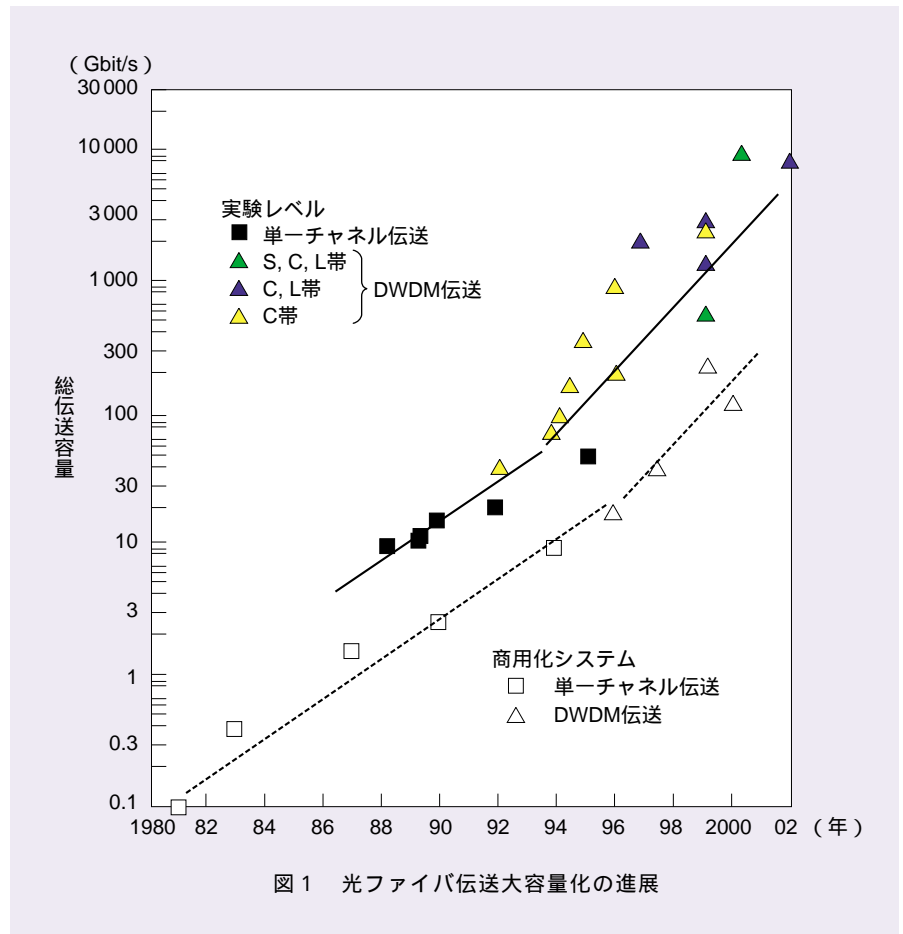


図1 光ファイバ伝送大容量化の進展

イバ伝送大容量化の進展を図1に示します⁽⁵⁾。現在、S、C、Lの3帯域を用いて10.92 Tbit/sの大容量伝送が実証されています。

また近年、短・中距離伝送系あるいはメトロ系ネットワークでは、DWDMに比べ比較的安価にネットワークが構築できるCWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) 伝送系の導入が開始されており、同伝送系においても光ファイバアンプを付加することによる伝送大容量化・長距離化が期待されています。

さらに、1500 nm帯通信帯を用いるDWDMあるいはCWDM用光ファイバアンプのほかに、短・中距離伝送系で運用されている1300 nm帯 (O帯, 1260-1360 nm) あるいは監視光波長域であるU帯 (1625-1675 nm) についても同様に光増幅技術を導入してネットワークの特性向上が検討され

ています。

広帯域化の概要

光ファイバアンプには、Er³⁺添加ファイバアンプ (EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier) に代表される希土類添加ファイバアンプと、誘導ラマン散乱現象⁽⁶⁾を用いて光増幅を行うファイバラマンアンプ (FRA: Fiber Raman Amplifier) があります。希土類添加ファイバアンプでは、希土類の種類により増幅できる帯域が限定され、Er³⁺はS、C、L帯、Tm³⁺ (Thulium) はS、U帯、Pr³⁺ (Praseodymium) はO帯の光増幅として使用されます。一方、ファイバラマンアンプは、希土類添加ファイバアンプに比べ励起効率の面で課題があるものの、増幅したい波長帯の短波長側 (1500 nm帯では約100 nm短波長) に励起光を入射することによって、任意の波長の信号を

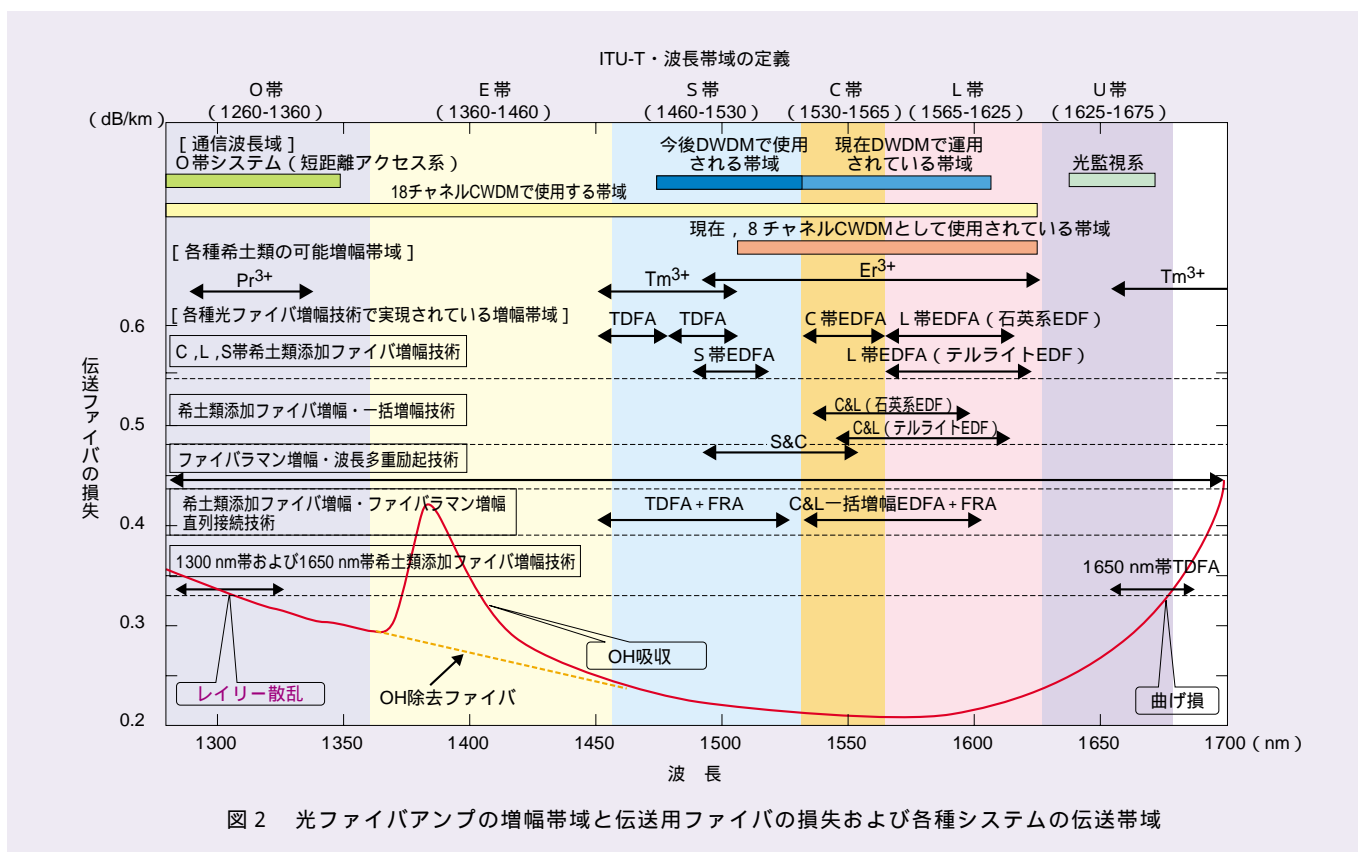
増幅可能であるという特徴があります。

これまで開発された希土類添加ファイバアンプとファイバラマンアンプの増幅帯域と伝送用ファイバの損失スペクトルを図2に、ファイバアンプで用いられている広帯域化のコンセプト、それを実現するための技術要素および構成を表に示します⁽⁷⁾。なお、広帯域化技術は主にWDM伝送の伝送帯域拡大に向けて開発され、次の2つの方法に分類されます。

増幅帯域の異なる光ファイバアンプを並列接続する方法

増幅帯域自体を拡大する方法

希土類添加ファイバアンプでは、広帯域並列型アンプを目指してC帯EDFAに次いでL帯EDFAが実用化され、さらにS帯希土類ファイバアンプの実現を目指してTm³⁺添加ファイバアンプ (TDFA: Thulium Doped Fiber Amplifier) やS帯EDFAが



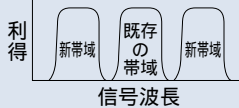
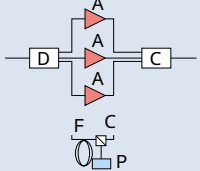
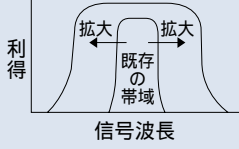
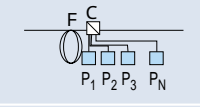
開発されています。またアンプ自体の広帯域化のため、 Er^{3+} を添加するファイバを新規ガラスファイバであるテルライトファイバあるいはビスマスファイバに変更することによる広帯域化、C帯EDFAの増幅帯域をL帯に広げたC&L帯・一括増幅技術、S帯T DFAの増幅帯域をC帯への拡張を試みたS&C帯・一括増幅技術が開発されました。

一方ファイバラマンアンプでは、波長多重励起技術により広帯域化が図られるとともに、同技術にラマン増幅媒体としてテルライトガラスファイバを用いることにより一層の広帯域化が検討されています。さらに、希土類添加ファイバアンプの増幅帯域をラマン増幅により補う希土類添加ファイバ増幅・ファイバラマン増幅直列接続技術も提案され、広帯域化に対して有効であることが実証されています。なお、並列増幅技術では、希土類添加ファイバアンプにFRAを組み合わせて一層の広帯域化も可能です。

現在、光ファイバアンプでは、C帯、L帯、S帯およびC&L帯、S&C帯希土類ファイバ増幅技術、任意の帯域に増幅が実現できる広帯域・ファイバラマン増幅技術、希土類添加ファイバ増幅・FRA直列接続技術とともに、1300 nm帯 Pr^{3+} 添加ファイバ増幅技術や1650 nm帯T DFA増幅技術を組み合わせることによって、伝送用ファイバで利用できる全波長域(1300~1650 nm帯)で増幅動作が可能です。今後、このすべての光ファイバ増幅の増幅帯域を有効に活用する大規模・広帯域フォトニックネットワークあるいは光通信システムが実現できるものと期待します。

本特集では、NTTフォトニクス研究所が精力的に進めてきた、

表 ファイバアンプで用いられている広帯域化のコンセプト、それを実現するための技術要素および構成

コンセプト	技術	アンプ構成
増幅帯の異なるファイバアンプの並列接続 	C, L, S帯希土類添加ファイバ増幅技術 ・C帯EDFA技術 ・L帯EDFA技術 ・S帯増幅技術 (T DFA, S帯EDFA技術) ファイバラマン増幅技術の適用	
増幅帯域自体の拡大 	新規ファイバ材料による希土類添加ファイバ増幅およびファイバラマン増幅帯域の拡大 ・テルライトガラスファイバ、ビスマスガラスファイバ 希土類添加ファイバ増幅・一括増幅技術 ・C&L帯・一括増幅技術 ・S&C帯・一括増幅技術 ファイバラマン増幅・波長多重励起技術 希土類添加ファイバ増幅・ファイバラマン増幅直列接続 ・T DFA+ファイバラマン増幅技術 ・C&L帯一括増幅EDFA+ファイバラマン増幅技術	A (テルライト, ビスマスファイバ) A (C&L帯増幅) A (C帯増幅) (S帯増幅) 

A: 希土類添加ファイバアンプ, F: 伝送用ファイバあるいはラマン増幅用ファイバ, C: 合波器
D: 分波器, P: ファイバラマン増幅用励起光源

希土類添加ファイバ増幅によるL帯広帯域化技術、C&L帯一括増幅技術
 T DFAおよびS帯T DFAによるS帯増幅と Pr^{3+} 添加ファイバアンプによるO帯増幅技術
 テルライトファイバを用いたラマン増幅の広帯域化技術
 を詳細に説明するとともに、これら広帯域化技術を用いて近年実現したC WDM用光ファイバアンプについても紹介します。

参考文献

- 青山: “フォトニックネットワークの展望,” 信学誌, Vol.82, No.7, pp.704-712, 1999.
- 清水: “次世代光通信用光ファイバ増幅器,” Material Stage, Vol.12, 2001.
- 増田: “波長広帯域化と光増幅器,” 光学, Vol.29, No.3, pp.136(18)-142(24), 2000.
- 山田・清水: “広帯域光ファイバ増幅技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.15, No.4, pp.50-53, 2003.
- 古賀・高知尾・宮本: “波長多重光伝送システムの現状と将来,” 信学誌, Vol.83, No.7, pp.569-575, 2000.
- 森・増田: “テルライトラマンアンプ,” NTT

技術ジャーナル, Vol.16, No.10, pp.21-24, 2004.

- M. Yamada, S. Aozasa, H. Ono, A. Mori, T. Sakamoto, K. Shikano, and M. Shimizu: “Novel fiber amplifier technology,” SPIE, Vol.5246, pp.216-223, 2003.



山田 誠

光ファイバアンプの広帯域化は光通信の大規模化、高機能化に不可欠な研究課題です。この課題の改善に引き続き精力的に取り組むとともに、光ファイバアンプの汎用化のために小型化、経済化の側面からも研究を進めたいと考えています。

問い合わせ先

NTTフォトニクス研究所
 複合光デバイス研究部
 TEL 046-240-4373
 FAX 046-240-4526
 E-mail myamada@aecl.ntt.co.jp