



Title	Study of High Capacity Optically Amplified Submarine Cable System Development
Author(s)	枝川, 登
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42186">https://hdl.handle.net/11094/42186</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	えだ 枝 川 のぼる 登
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 5 5 2 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成12年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	Study of High Capacity Optically Amplified Submarine Cable System Development (大容量光増幅海底ケーブルシステムの開発に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 小林 哲郎  (副査) 教 授 山本 錠彦    教 授 占部 伸二

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高度情報化社会に不可欠となった経済的で信頼性の高い国際大容量通信路を提供している光海底ケーブルシステム／ネットワークにおいて、近年の発展の礎となった光増幅中継技術および高速光信号伝送技術、さらに、今後重要になると目されている全光信号処理技術に関する研究成果である。本論文は、本文6章と謝辞から構成される。

まず、第1章では、本研究の背景として光海底ケーブル技術の変遷や光増幅技術の一般的な事項を紹介し、本研究の目的、意義、本論文の構成および各章の概要について述べている。

次に、第2章では、世界で初めて提案した $1.46\mu\text{m}\sim 1.47\mu\text{m}$ 高出力半導体レーザ (LD) 励起ファイバラマン増幅 (FRA) 方式の有効性を示す、 $1.2\text{Gbit/s}$  変調 $1551\text{nm}$  光と $565\text{Mbit/s}$  変調 $1560\text{nm}$  光による $80\text{km}$ 波長多重伝送 FRA 実験結果について述べている。 $90\text{mW}$  のポンプパワーに対し、ラマン利得は約  $7\text{dB}$  であった。本実験により、モード競合による強度雑音が大きい高出力 LD を用いた LD 励起 FRA で良好な伝送特性が得られること、および、FRA が波長多重伝送に適用可能であることを世界に先駆け実証する結果を示した。

次に、第3章では、現在商用化されているエルビウムドープ光ファイバ増幅器 (EDFA) 中継方式の実用性を世界で初めて示した種々の実験結果について述べている。まず、中継利得 $20\text{dB}$  の EDFA と $218\text{km}$ 光ファイバとを用いて $1.2\text{Gbit/s}$ 中継伝送実験を行い、殆ど劣化のない中継伝送が可能であること、また、EDFA を用いた光海中継器を作製して水深 $3000\text{m}$ で海洋実験を行い、実環境化において EDFA 光中継器が安定に動作できることを確認した結果について示した。さらに、 $12$ 台の EDFA を用いて $1.2\text{Gbit/s} \cdot 904\text{km}$ 伝送実験を行い、長距離多中継伝送の実現性を実証した結果についても示している。また、大洋横断伝送を模擬するため波長分散の大きい $700\text{km}$ 光ファイバを用いて行った $2.4\text{Gbit/s}$ 多中継伝送実験においては、 $12300\text{ps/nm}$ の累積分散があっても $2.4\text{Gbit/s}$ 伝送が可能なこと、および、累積分散が大きい場合には信号光源線幅を小さくする必要があることについて示した。

次に、第4章では、高速ビットレート光伝送へ適用が期待される光ソリトン伝送方式の実用性を検証した $100\text{km}$ 中継・ $20\text{Gbit/s} \cdot 1000\text{km}$ 伝送実験の結果について述べている。 $20\text{dB}$ 以上の  $Q$  値が  $2\text{dB}$  以上の信号レベル変動と  $4\text{nm}$  以上の信号波長変動に対して確保可能であることを示した。さらに、光増幅多中継伝送時における本質的な伝送特性劣化要因である Gordon-Haus ジッタを抑圧するために考案した「周期的分散補償方式」の実用性を検証する  $8123\text{km} \cdot 20\text{Gbit/s}$  伝送実験の結果について述べた。 $Q$  値は $19\text{dB}$ 、中継器出力マージンは約  $2\text{dB}$ 、約  $3\%$  の中継器

障害でも Q 値劣化は約0.4dBであり、大洋横断光ソリトン伝送の商用可能性を世界で初めて実証した結果を示している。

次に、第5章では、新しい波長変換器として、DC バイアスされた電気吸収型光変調器（EA 変調器）の一方から信号光を、他方から CW 光を入射し、EA 変調器の相互吸収飽和効果により波長変換を行う方式を考案し、その動作確認を市販の10Gbit/s・NRZ 変調用 InGaAsP-EA 変調器を用いて行い、その結果、本方式が40Gbit/s・RZ 光信号に対しても十分適用可能で、波長変換範囲が30nm 程度と広く、信号特性劣化が極めて少ないことを実証した結果について述べている。さらに、DC バイアスされた EA 変調器を用いた可飽和吸収素子を上記波長変換器出力側に縦続接続する新しい光リミッタを考案し、市販の InGaAsP-EA 変調器と1550nm 帯10Gbit/s・RZ 光信号を用いて、本光リミッタにより、2 dB 程度のパワー変動が平滑可能で、Q 値を16dB から19dB に改善できることを示した。

最後に、第6章では、前章までの研究成果の総括と今後の課題および展望について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、経済的で信頼性の高い国際大容量通信路として高度情報化社会に不可欠な光海底ケーブルシステムの、近年の発展の礎となった光増幅中継技術と高速光信号伝送技術、および、今後の光海底ケーブルシステム／ネットワークにおいて重要となる全光信号処理技術に関する研究成果をまとめたもので、本文6章と謝辞から構成される。

まず、第1章では、本研究の背景として光海底ケーブル技術の変遷や光増幅技術の一般的な事項を紹介し、本研究の目的、意義について述べている。次に、第2章では、世界で初めて提案した1460～1470nm 高出力半導体レーザー（LD）励起ファイバラマン増幅（FRA）方式の有効性を示した後、1.2Gbit/s・1551nm 光と565Mbit/s・1560nm 光を用いて行った80km波長多重伝送 FRA 実験結果について述べている。90mW のポンプパワーに対し、ラマン利得は約7 dBであった。本実験により、モード競合による強度雑音の大きい高出力 LD を用いた LD 励起 FRA で伝送特性劣化が特に生じないこと、FRA が波長多重伝送に適用可能であることを世界に先駆け実証した。第3章では、エルビウムドープ光ファイバ増幅器（EDFA）中継方式の実用性を示すために世界最初に行った種々の実験結果について述べている。まず、中継利得20dB の EDFA と218km光ファイバを用いて1.2Gbit/s 中継伝送実験を行い、殆ど劣化のない中継伝送が可能であることを実証、ついで EDFA を用いた中継器を作製し水深3000m で海洋実験を行い、実環境化において EDFA 中継器が安定に動作できることを確認、さらに、12台の EDFA を用いて1.2Gbit/s・904 km伝送実験を行い、EDFA を用いた長距離多中継伝送が可能であることを実証している。また、大洋横断伝送環境を模擬するため波長分散の大きい700km光ファイバを用いて行った2.4Gbit/s 多中継伝送実験においては、12300ps/nm の累積分散があっても2.4Gbit/s 伝送が可能なこと、および、累積分散が大きい場合には信号光源スペクトル幅を小さくする必要があることを導いている。これらの結果は現在の EDFA の実用化に大きく貢献している。第4章では、高速ビットレートを伝送することが潜在的に可能な光ソリトン伝送方式を実環境で利用するために考案した「周期的分散補償方式」の実用性を、8123kmテストベッド伝送路を用いた20Gbit/s 伝送実験により実証している。Q 値は19dB と十分高く、約2 dB の中継器出力マージンがあり、約3 %の中継器障害でも Q 値劣化は約0.4 dB と小さいことを確認し、光ソリトン伝送が実環境に適用可能であることを世界で初めて示した。第5章では、新しい波長変換器として、DC バイアス電気吸収型光変調器（EA 変調器）の一方から信号光を、他方からCW 光を入射し、相互吸収飽和効果により波長変換を行う方式を考案し、その動作確認を市販の10Gbit/s・NRZ 変調用 InGaAsP-EA 変調器を用いて行い、その結果、40Gbit/s・RZ 光信号に対しても十分適用可能で、波長変換範囲が30nm 程度と広く、信号特性劣化が極めて少ないことを実証している。さらに、DC バイアス EA 変調器を可飽和吸収素子として用い上記波長変換器出力側に縦続接続する新しい光リミッタを考案し、市販の InGaAsP-EA 変調器と1550nm 帯10Gbit/s・RZ 光信号を用いて、その動作を実証している。最後に、第6章では、前章までの研究成果の総括と今後の課題および展望について述べている。

以上のように、本論文は、申請者が進めてきた海底光ファイバ通信システムの基礎開発研究の成果をまとめたもので、その内容は現在の国際通信の基盤を築く上で重要な役割を果たし、さらに今後のこの分野の進展にも大きく寄与するものと考えられるので、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。