

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 内藤 崇男

本論文は「波長多重光増幅中継を用いた大容量長距離伝送システムの研究」と題し、9章からなる。

波長多重光増幅中継伝送方式は、波長多重信号光を一括光増幅するエルビウムドープファイバ増幅中継器 (Erbium doped fiber amplifier: EDFA) を用いるため、光通信システムの大容量化および長距離化を実現する有力な光伝送方式である。しかし、光増幅器が持つ利得偏差の累積による信号光波長帯域幅の制限、光増幅器から発生する自然放出光の累積による光 SN 比の低下、光ファイバが持つ非線形効果および波長分散による伝送波形歪みなどが、伝送特性を制限する。本論文は、大容量長距離波長多重光増幅中継伝送方式を光海底ケーブル伝送システムへ適用することを目的として、これらの問題を解決するために行った研究の成果について述べ、波長多重光増幅中継伝送方式の性能を改善するための指針を示している。

第1章は、「序言」であり、波長多重光増幅中継伝送システムの概要と課題を論じた後、本論文の目的と構成を示している。

第2章は、「利得等化技術による広帯域化」と題し、Al-Ge-SiO₂ EDFA の利得等化を行うことにより、信号光波長帯域幅を拡大できることを実証している。まず、EDFA の利得波長特性を精度良く補償するために、2つの異なる波長周期を持つ光フィルタを階層的に用いる利得等化法を提案し、利得等化器の波長周期および最大損失波長などの最適設計法を明らかにした。実際に、10,000 km 伝送後の信号光波長帯域幅を 12 nm まで拡大できることを示し、この利得等化法が信号光波長帯域幅の拡大に有効であることを明確にした。

第3章は、「Al 高濃度添加光ファイバ増幅中継技術による広帯域化」と題し、利得媒体であるエルビウムドープファイバ (EDF) 自体の性能改善を図ることにより、光増幅中継器の信号光波長帯域幅拡大および高出力化を達成している。まず、1480 nm 励起 Al 高濃度添加 EDFA の設計・開発を行い、1550 nm において +0.04 dB/nm の利得偏差、4.7 dB の雑音指数および +11.5 dBm の出力光パワーを持つ EDFA を実現した。更に上記の EDFA と長い波長周期を持つ利得等化器を用いて、10,000 km 伝送時の信号光波長帯域幅を 18 nm まで拡大できることを確認した。次に、信号光波長帯域幅の一層の拡大を目指して、1.55 μm 帯および 1.58 μm 帯の並列増幅、ラマン増幅の併用を実現した。

第4章は、「可変型利得等化技術による利得波長特性安定化」と題し、可変型利得等化器を用いたインライン自動利得傾斜補償法を提案し、その効果を初めて実証している。開発した可変型利得等化器は、1535 nm から 1565 nm の波長範囲において、-7 dB から +7 dB まで損失傾斜を変化させることが可能であり、これを用いて光増幅中継器の累積利得傾斜を自動的に補償できることを明らかにした。

第5章は、「伝送路の分散スロープ補償」と題し、伝送路の波長分散スロープによる累積波長分散が与える伝送特性劣化について、理論および実験の両面から検討を行っている。光送信機および光受信機において各波長毎に前置および後置分散補償を行うことを提案し、その有効性を、5.3 Gbit/s, 1波 4,760 km 伝送実験によって示した。また、光送信機におけるプリチャープを併せて用いると、伝送波形が更に改善することを計算機解析および実験の両面から明らかにした。

第6章は、「偏波スクランブラによる四光波混合発生抑圧」と題し、高速偏波スクランブラを用いた四光波混合発生抑圧法を提案し、5.3 Gbit/s, 4波長多重 4,713 km 伝送実験によって本提案の効果を確かしている。特にQ値長時間連続測定を行ない、Q値の時間揺らぎを定量的に評価することにより四光波混合発生が十分に抑圧されることを明らかにした。

第7章は、「相互位相変調による伝送限界とその対策」と題し、相互位相変調による伝送波形歪みについて、理論および実験の両面から検討を行っている。5.3 Gbit/s, 2波長多重 2,740 km 伝送実験における伝送波形劣化について、計算機解析および実験の両面から検討を行い、相互位相変調が波長多重光増幅中継伝送方式の支配的な制限要因の一つであることを明らかにした。更に、相互位相変調による伝送波形歪みを低減する分散マネジメント法を提案した。

第8章は、「波長多重光増幅中継を用いた大容量長距離伝送実験」と題し、本論文で開発された技術を導入して行われた伝送実験の結果を示している。1.55 μm 帯および1.58 μm 帯を併用した光増幅器、広帯域、コア径拡大および低損失な伝送路、相互位相変調による伝送波形歪みを低減する分散マネジメントを用いて、1 Tbit/s(10 Gbit/s, 104波長多重)10,127 km 光伝送を達成した。

第9章は結言であり、本論文の結論をまとめるとともに、今後の展望について述べている。

以上のように本論文では、波長多重光増幅中継を用いた大容量長距離伝送システムの伝送特性を制限する主要な要因である光増幅器帯域幅の制限、光増幅器雑音の累積による光SN比の低下、光ファイバの非線形効果および波長分散による伝送波形歪みを解決する手法を提案し、伝送実験によりその有効性を確認した。さらにこれらの技術を導入することにより、1Tbit/s-10,000kmの光伝送に世界で初めて成功した。本論文は、大容量長距離光ファイバ通信技術に大きく寄与すると考えられ、電子工学への貢献が大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。