

審査の結果の要旨

論文提出者 大谷 朋広

本論文は、光海底ケーブルシステムにおける、光増幅・波長多重による長距離大容量化、多段接続による大規模ネットワーク化制限要因、および全光デジタル再生装置について行った研究を英文で論じたもので、6章より構成されている。

第1章は序論であって、研究の背景、動機、目的と、論文の構成が述べられている。

第2章は「Optically amplified submarine cable system」と題し、長距離大容量化を目指した光増幅海底ケーブルシステムの研究結果について述べている。光増幅中継システムを大洋横断海底ケーブルシステム(～9,000km)へ適用し、長距離伝送後にも良好な特性が得られることを確認した。また、ケーブル障害および中継器障害に対する耐性評価と、そのシステム設計手法を世界に先駆けて明らかにした。また、システムの設計と初期運用は単一波長システムであっても、波長多重(WDM)技術の導入により、需要の伸びに応じたシステムの容量拡張が可能となることを実験的に示している。以上の成果は第5太平洋横断海底ケーブルネットワーク(TPC-5CN)をはじめとする実システムへ適用されている。

第3章は「Optically amplified WDM submarine cable system」と題し、より大容量化を目指したWDM光増幅海底ケーブルシステムについて述べている。まずWDM光送受信伝送装置の開発を行い、小型化が可能な電界吸収(EA)光変調器集積分布帰還型(DFB)半導体レーザモジュールを導入した送信器の試作評価を行って、本送信器を用いてWDM信号の長距離伝送(～12,000km)が可能なることを世界に先駆けて示している。受信側には、光ファイバグレーティングと光サーキュレータを従属接続した方式を提案し、波長間隔が狭い(100GHz)WDM信号に対してもほとんどクロストーク無しで分波可能なことを示している。またこの分波方式と分散補償ファイバを組み合わせ、従来は各チャンネルに必要であった分散補償ファイバを共通化して補償する方式を提案し、長距離信号伝送評価によりその有効性を確認した。さらに、各中継器において利得特性と逆の損失特性を有する利得等化フィルタを用い利得平坦化する方式について研究を行い、長距離(～12,000km)伝送後にも広い伝送帯域が維持されること、各チャンネルの伝送品質も良好であることを世界に先駆けて示した。以上の成果はSMW-3, China-USケーブルネットワークをはじめとする大容量WDM光増幅海底ケーブルシステムへ適用され、データ通信に不可欠な基幹網として国内外で利用されている。

第4章は「Cascadability of network elements in submarine cable networks」と題し、WDM光増幅海底ケーブルシステムが将来ネットワーク化される際の光ノード構成技術について研究を行っている。従来の海底ケーブルシステムでは、陸揚げ局毎に光信号は一度電気に終端されていたが、この方式は波長数が多くなると大幅なコストの上昇を招く。ここでは、光ノードにて電気的な終端を行わず、光合分波装置により波長多重信号から必要なチャンネルのみを分離、多重し、それ以外のチャンネルは光のまま通過させる方式について検討を行った。特に、光ノード内で用いられる光合分波装置が多段接続されることで引き起こされる信号品質劣化に着目している。合分波装置の透過特性を実フィルタのデータから見積もり、合分波装置の中心波長偏差に対して統計的な処理を加えて、偏差量と信号品質の劣化度合いの関係を数値解析により求めた。さらに、信号波長ずれを考慮に入れた信号品質劣化についても評価を行った。合分波装置の透過特性は丸型よりも平坦化した方が多段通過後の信号品質劣化が少ないこと、合分波装置の中心波長偏差並びに信号波長の中心偏差がある一定値を満足すれば、大規模海底ケーブルネットワークの実現が可能となることが示された。また、実際の光合分波装置の透過特性においては平坦化が理想的でないために、理想値からのずれによって信号品質劣化の度合いが異

なることを明らかにした。電気的な終端をできるだけ省略した光海底ケーブルネットワークの実現には、光ノードで用いる光合分波装置の透過特性とその中心波長ずれ、信号波長ずれの特性管理が重要であることを明らかにしている。

第5章は「Optical 3R regenerator applicable to submarine cable networks」と題し、光信号処理技術を応用した全光デジタル再生装置について述べている。光ノード、伝送路等で引き起こされる信号劣化を除去するために、現在は陸揚げ局にて電氣的に信号再生を行っているが、波長数が増すと大幅にコストが上昇し、問題である。光信号処理技術を応用した全光デジタル再生装置は、光信号を光のまま再生できる装置で、高速の光電子部品が少なく済み、また小型化、低消費電力が期待できるため、ネットワークコストを大幅に低減する可能性がある。ここではEA光変調器の相互吸収変調特性に基づく波長変換を用いた光デジタル再生装置を考案し、まず10Gbit/sでの動作を確認した。2つの周回伝送路を用いて光デジタル再生装置のネットワークにおける動作を模擬的に実現し、これを用いて信号伝送すれば、4,000km程度だった伝送距離を約6,000km程度まで延伸できることを実際に示した。次に、光電変換による40GHzクロック抽出技術および狭帯域EA変調器による40GHz光パルス発生技術を確認し、世界に先駆けて40Gbit/s光デジタル再生装置を実現した。本再生装置を用いて1,000km伝送路を用いたネットワーク動作評価を行ったところ、光デジタル再生装置を用いなかった場合には1,000km伝送後には信号品質が著しく劣化したのに対して、中間地点(500km)に再生装置を導入すると1,000km伝送後にQ値にして1.5dBの伝送特性の改善が得られた。これらの結果により、全光デジタル再生装置の有効性が証明されたとともに、光信号処理技術が大規模な光海底ケーブルネットワークを構築する際の鍵であることを示した。

第6章は結論であって、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように本論文は、光増幅方式、波長多重方式の導入による光海底ケーブルシステムの大容量化を研究しその実用化に貢献すると共に、波長多重光海底ケーブルシステムをネットワーク化する際のスケラビリティ制限要因を明らかにした。また、光ネットワークノード用の新たな全光デジタル再生装置を提案・研究し、伝送路、光ノードでの劣化要因がこれによって除去可能であることを実験的に示してネットワーク大規模化への道を拓いたもので、電子工学、特に光情報通信分野へ貢献するところ少なくない。

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。