

氏名	ながせりょう 長瀬 亮
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成10年3月13日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和60年3月 東北大学大学院工学研究科精密工学専攻前期課程 修了
学位論文題目	単一モードファイバ用光コネクタの設計と性能向上に関する研究
論文審査委員	主査 東北大学教授 江村 超 東北大学教授 清野 慧 東北大学教授 羽根 一博

## 論文内容要旨

### 1. はじめに

光通信ネットワークを構築するために不可欠な基本部品の一つである単一モードファイバ用光コネクタにおいては、接続する双方の光ファイバを1 μm以下の精度で再現性良く位置決めできるとともに長期に渡って特性が安定でかつ低コストであることが求められている。

本論文は光通信システムに使用される単一モードファイバ用光コネクタについて、通信ネットワークを高度化するためにより高性能な光コネクタを実現するため、単一モードファイバ用光コネクタの小型化、低コスト化、高機能化へのアプローチと設計手法の提案、および次世代高度通信システムへの応用に関して述べたものである。

### 2. 単一モードファイバ用光コネクタの小型化

光通信システムの高度化に伴い、より小型で高密度な実装が可能な光コネクタが要求されるようになったため、従来の2/5の断面積を有するMU形光コネクタを開発した。

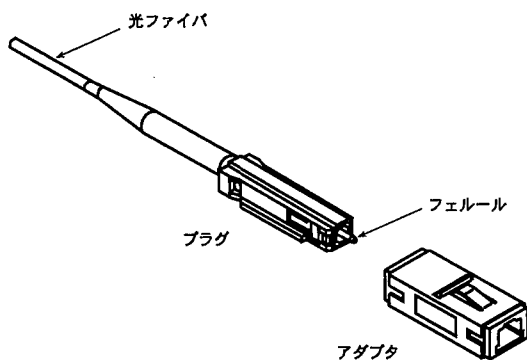


図1 MU形光コネクタの外観

まず単一モードファイバ用光コネクタの小型化に関し、小型化を制限する要因が機械的強度、機械的衝撃に対する接続安定性、およびPC接続の耐環境的安定性にあることを明らかにするとともに、要求性能を満たしながら限界まで小型化するための手法を示した。次に各構成要素に関して高性能、高信頼な光コネクタを実現するための設計技術を提案するとともに最適設計を行い、MU形光コネクタの試作を行った。試作したMU形光コネクタの外観を図1に、接続光学特性を図2に示す。この他機械的特性および耐環境特性に関して評価した結果、MU形光コネクタが要求条件を満足していることを確認した。

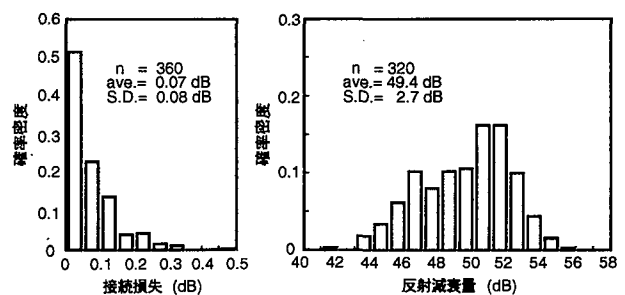


図2 MU形光コネクタの接続光学特性

### 3. 単一モードファイバ用光コネクタの低コスト化

光加入者システムを普及させるため、1加入者当たり多数個使用される光コネクタの抜本的な低コスト化が求められている。光コネクタを低コスト化するためには構造の簡易化と部材の低コスト化が有効である点に着目し、SC/MU形簡易光レセプタクルおよび結晶化ガラスフェルールを開発した。

#### (1) 簡易光レセプタクル

交換機側の光配線盤 (FTM) や光加入者線端局装

置 (ONU) における装置内部の光モジュールと外部の光ケーブルの接続点において、ケーブル引張力に対する耐性は装置内部側について不要である。そこで、従来対称構造のプラグ-アダプタ-プラグによる接続点を非対称構造とし、装置内部側の構造を大幅に簡易化した簡易光レセプタクルを開発した。

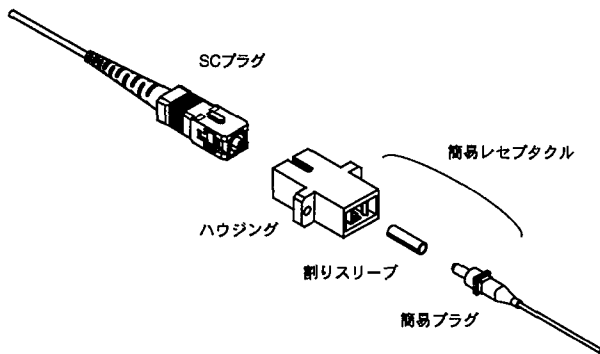


図3 SC形簡易光レセプタクルの構成

通常のSC形光コネクタプラグと完全な互換性を有するSC形簡易光レセプタクルの構成を図3に示す。本簡易レセプタクルはハウジング、割りスリーブ及び簡易プラグより構成され、従来のプラグとアダプタにより構成される場合と比較して部品点数を半分以下に削減することができた。

また、FTMにおいて高密度な実装を実現するため、同様の構成により試作したMU形16連簡易光レセプタクルの外観を図4に示す。本簡易レセプタクルにより、従来の4倍に相当する1架当たり4,000心収容可能なFTMが実現できる。

これらの簡易光レセプタクルは通常のSC/MU形光コネクタと同等の接続光学特性、機械的特性及び耐環境特性を有することを確認した。

## (2) 結晶化ガラスフェルール

光コネクタを低コスト化するためには、その構成

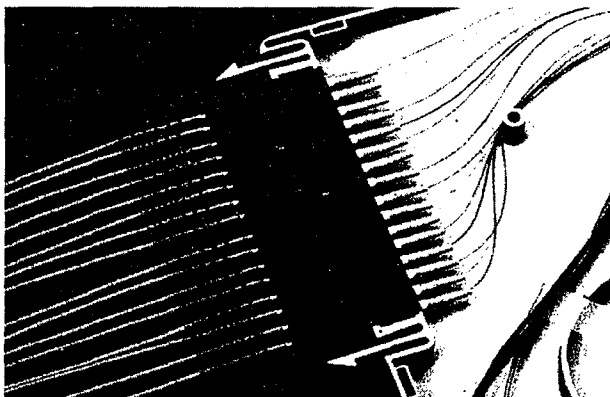


図4 MU形16連簡易光レセプタクルの外観

部品の中で最も高価であるフェルールの低コスト化が効果的である。従来のジルコニアフェルールは必要な寸法精度を実現するため、個別に内/外径を研磨仕上げする必要があった。そこで、セラミック材並みに強度が高い結晶化ガラスで作製した精密な母材から、図5(a)に示すように線引き加工により多数個のフェルールを無研磨で製造できる結晶化ガラスフェルール (GCF) を開発した。試作したSC/MU形フェルールの構造を図5(b),(c)に示す。

使用した結晶化ガラスは線膨張係数、ヤング率ともジルコニアより低く、フェルール端面をフィジカル・コンタクトさせる光コネクタに適した材料である。また、硬度が低く端面研磨が容易になる一方、耐磨耗性が劣る面があるが、試験の結果ジルコニア割りスリーブに対して繰り返し着脱しても劣化は認められず、GCFはジルコニアフェルールに代えて使用できることを確認した。

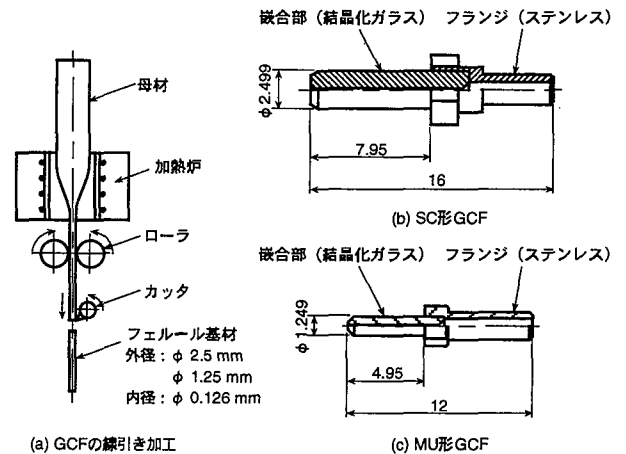


図5 結晶化ガラスフェルール

簡易光レセプタクル構造とGCFを用いることにより、従来と同等の接続光学特性や信頼性を維持しながら、従来の接続点に比較して44%程度に低コスト化できる見通しを得た。

## 4. 単一モードファイバ用光コネクタの高機能化

次世代の高度光通信システムに適用できる高機能な光コネクタとして、偏波保持ファイバ用光コネクタおよび金属ドープファイバを用いた光固定減衰器を開発した。

### (1) 偏波保持ファイバ用光コネクタ

まず偏波保持光ファイバとして代表的なPANDAファイバについて、端末化した場合の偏波消光比劣化要因がフェルール接着時に発生する内部の不均一

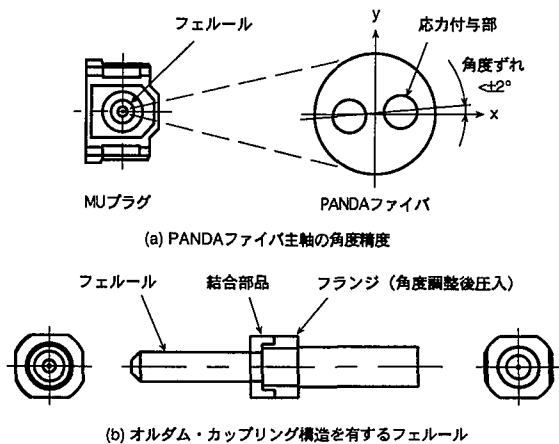


図6 PANDAファイバ用MU形光コネクタ

な応力分布にあることを明らかにするとともに、偏波消光比劣化の少ない端末構造を提案し、試作により特性を改善できることを確認した。

次に通常の光コネクタと同等の接続特性を維持しながら、接続時のPANDAファイバ主軸の角度ずれ(図6(a))を最小限に押さえることができる偏波保持ファイバ用光コネクタを実現するため、SC形光コネクタおよびMU形光コネクタそれぞれに特化した新たな構造を提案し、試作、特性評価を行った。

MU形光コネクタにおいては、フェルールの角度ずれ( $\pm 2^\circ$ )およびフロート量( $>0.1\text{mm}$ )を確保するため、図6(b)に示すようなオルダム・カップリング構造を有するプラグ構造とした。本MU形光コネクタの接続損失及び接続時の偏波消光比の分布を図7に示す。

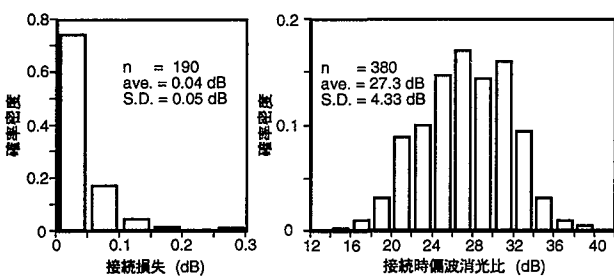


図7 PANDAファイバ用MU形光コネクタの特性

また、PANDAファイバ用光コネクタにおける最適なキー方向を接続損失分布の観点から明らかにするとともに、角度ずれ許容値に対して必要なキーイング精度について明らかにし、前記高偏波消光比端末構造とともに接続時に偏波消光比劣化の少ない光コネクタを実現できることを示した。

(2) 金属ドープファイバを用いたSC形光固定減衰器  
光通信ネットワークにおいて受光量の調整用とし

て光固定減衰器が使われている。近年光ファイバンプの導入により、光通信においても100mWクラスの高パワー光信号が扱われるようになり、固定減衰器にも高耐入力が必要されている。そこで従来の金属蒸着膜に換え、金属ドープファイバによる光減衰方式を提案し、SC形光固定減衰器を開発した。

本光固定減衰器は図8に示すように構造が簡単なため低コストに製造できるとともに、高耐入力、高安定である。また、金属ドープファイバのコア中心部分に $\text{Co}^{2+}$ イオンをドープし、 $\text{Co}^{2+}$ の吸収係数とモードフィールドの差による波長依存性が相殺するように設計することによって、減衰量の波長依存性が少ない光固定減衰器を実現した。

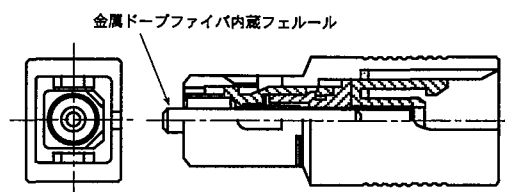


図8 金属ドープファイバを用いたSC形光固定減衰器

## 5. 光部品実装への応用

前述のように新たに開発した単一モードファイバ用光コネクタのシステムへの応用として、高密度な光実装が要求されるモジュール間光接続切替装置を試作した。本装置を実現するため、まず石英系導波路形 $8 \times 8$ マトリクス光スイッチの高信頼化をねらいとして駆動回路を一体化したマトリクス光スイッチモジュールを試作した。次にMU形光コネクタおよび新たに提案した光配線部品を用い、現在実用に供されている通信装置用ユニット実装方式に適合する高密度な光実装を実現した。試作したモジュール間光接続切替装置の動作確認を行うことによって、本研究に基づく光コネクタ技術が、高度な次世代光通信システムへ適用できることを示した。

## 6. まとめ

本研究では、光加入者システムから次世代の高度光通信システムまで、用途に応じた要求条件を整理するとともに新たな設計手法を提案し、小型、低コスト、高機能な単一モードファイバ用光コネクタ類を新規に開発した。これらの光コネクタはNTTにおける商用光通信ネットワークで実際に使用されるとともに、MU形光コネクタは汎用小型光コネクタとして標準化され、広く使われるに至っている。

## 審査結果の要旨

光ファイバ通信システムを一般ユーザまで広げ、高度な情報通信サービスを実現するためのFTTH (Fiber To The Home) 計画が進められている。FTTHを実現するためには、光通信システムの基本要素の一つである光コネクタの信頼性向上と低コスト化を進めることが極めて重要である。本論文は、光コネクタの小型化、低コスト化および高機能化を目的として行った著者の一連の研究成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒論であり、本研究の背景と目的および意義について述べている。

第2章では、光コネクタの基礎技術として重要な、接続損失や反射戻り光の発生要因と低減技術、ならびに接続損失と反射減衰量の測定方法について述べている。

第3章では、はじめに、光コネクタの小型化を妨げている要因が機械的な接続安定性と接続時の耐環境性にあることを明らかにし、要求性能を満たしながら小型化を図る手法を示している。次に、高性能で信頼性の高い光コネクタを実現するための設計法を提案するとともに、MU形と名付けた光コネクタを開発している。このMU形光コネクタは、最高水準の性能と信頼性を具備しながら大幅な小型化を実現しており、実際に普及するとともにJISおよびIECにおいて標準化されるまでに至っている。これは優れた成果である。

第4章では、光レセプタクルの低コスト化の研究について述べており、はじめに、構造の簡略化を図ったSC形簡易光レセプタクルを提案している。この光レセプタクルは、構造が極めて簡単にもかかわらず性能、信頼性ともに高いため、急速に需要が増えている。次に、光コネクタの構成部品の中で最も高価であるフェルールの製造原価を下げるために、母材から線引加工により製造可能な結晶化ガラスフェルールの研究を行い、結晶化ガラスフェールが従来のジルコニアフェールと同等の光学特性、耐久性および信頼性を有していることを明らかにしている。これは光コネクタの低コスト化に極めて有効である。

第5章では、光コネクタの高機能化のために、はじめに、偏波保持光ファイバ用コネクタの偏波消光比劣化要因を明らかにするとともに、偏波消光比劣化の少ない端末構造を提案している。次に、接続時の角度ずれを抑えるためのキーの構造を接続損失分布の観点から明らかにするとともに、必要なキーイング精度を定量化し、偏波消光比劣化の少ない光コネクタを実現できることを示している。また、金属ドーピングファイバによる光減衰方式を提案し、これを用いたSC形光固定減衰器が近年の高パワー光信号を取り扱う光通信システムに適した性能を有していることを明らかにしている。

第6章では、高密度モジュール間光接続切替装置の実現のために、駆動回路を一体化した石英系導波路形マトリクス光スイッチモジュールを試作し、MU形光コネクタを用いて高密度な光実装を実現している。また、同装置の動作確認を行うことによって、本研究の光コネクタ技術が次世代通信システムにも使用可能であることを示している。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は精密工学の技術を駆使することによって従来にない構造の小型、低コスト、高機能な光コネクタを実現し、実際に世の中で広く使われるまでに完成度を高めたものであり、精密工学および機械電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。